

博士論文

我が国の土壌における重金属元素, 希土類元素の
地球化学的挙動の解明

慶應義塾大学大学院

理工学研究科

開放環境科学専攻

2005年度

大谷 晴啓

目次

1. はじめに	1
2. 研究目的	3
3. 研究試料および地質概要	4
3.1. 火山岩質土壌：黒ボク土，ローム土，褐色森林土 (Andosol, Loam, Brown forest soil)	4
3.1.1. 神奈川県秦野市	4
3.1.2. 神奈川県平塚市	5
3.1.3. 群馬県赤城村	6
3.1.4. 東京都八丈島	6
3.2. 赤黄色土壌(Red-Yellow soil)	7
3.3. ラテライト(Laterite)	8
Figures	9
4. 分析および実験方法	20
4.1. 粉末 X 線回折分析;(XRD)	20
4.2. 蛍光 X 線分析;(XRF)	20
4.3. 誘導結合プラズマ質量分析;(ICP-MS)	20
4.4. 土壌 pH 測定	21
4.5. 分別溶解(抽出)実験	21
5. 分析結果および考察	24
5.1. 土壌構成鉱物	24
5.1.1. 火山岩質土壌：黒ボク土，ローム土，褐色森林土 (Andosol, Loam, Brown forest soil)	24
5.1.2. 赤黄色土壌(Red-Yellow soil)	24
5.1.3. ラテライト(Laterite)	25
Tables	26
5.2. 土壌構成元素の変動率および AI 規格値より見る元素移動	30
5.2.1. 主成分元素 (Si, Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P)	31
5.2.1.1. 火山岩質土壌：黒ボク土，ローム土，褐色森林土 (Andosol, Loam, Brown forest soil)	31
5.2.1.2. 赤黄色土壌(Red-Yellow soil)	34
5.2.1.3. ラテライト(Laterite)	36
5.2.1.4. 各土壌における主成分元素挙動の相違	37
Tables & Figures	39
5.2.2. 微量元素 (Sr, Zr, Th, U)	72

5.2.2.1. 火山岩質土壌: 黒ボク土, ローム土, 褐色森林土	
(Andosol, Loam, Brown forest soil)	72
5.2.2.2. 赤黄色土壌(Red-Yellow soil)	74
5.2.2.3. ラテライト(Laterite)	76
5.2.2.4. 各土壌における微量元素挙動の相違	77
Figures	79
5.2.3. 重金属元素 (V, Cr, Mo, Co, Ni, Cu, Zn, Pb)	99
5.2.3.1. 火山岩質土壌: 黒ボク土, ローム土, 褐色森林土	
(Andosol, Loam, Brown forest soil)	100
5.2.3.2. 赤黄色土壌(Red-Yellow soil)	103
5.2.3.3. ラテライト(Laterite)	106
5.2.3.4. 各土壌における重金属元素挙動の相違	107
Tables & Figures	108
5.2.4. 希土類元素 (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)	147
5.2.4.1. 火山岩質土壌: 黒ボク土, ローム土, 褐色森林土	
(Andosol, Loam, Brown forest soil)	147
5.2.4.2. 赤黄色土壌(Red-Yellow soil)	148
5.2.4.3. ラテライト(Laterite)	149
5.2.4.4. 各土壌における希土類元素挙動の相違	150
Tables & Figures	152
5.3. 主成分分析	195
5.3.1. 火山岩質土壌: 黒ボク土, ローム土, 褐色森林土	
(Andosol, Loam, Brown forest soil)	196
5.3.1.1. 重金属元素	196
5.3.1.2. Sr, Zr, Th, U, 希土類元素	198
5.3.2. 赤黄色土壌(Red-Yellow soil)	200
5.3.2.1. 重金属元素	200
5.3.2.2. Sr, Zr, Th, U, 希土類元素	201
5.3.3. ラテライト(Laterite)	202
5.3.3.1. 重金属元素	202
5.3.3.2. Sr, Zr, Th, U, 希土類元素	202
5.3.4. 主成分分析から考える微量元素, 重金属元素, 希土類元素の挙動	203
Tables & Figures	204
5.4. 分別溶解(抽出)実験	237
5.4.1. 火山岩質土壌: 黒ボク土, ローム土, 褐色森林土	
(Andosol, Loam, Brown forest soil)	237

5.4.1.1. 重金属元素	237
5.4.1.2. Sr, Zr, Th, U, 希土類元素	241
5.4.2. 赤黄色土壌(Red-Yellow soil)	243
5.4.2.1. 重金属元素	243
5.4.2.2. Sr, Zr, Th, U, 希土類元素	244
5.4.3. ラテライト(Laterite)	245
5.4.3.1. 重金属元素	245
5.4.3.2. Sr, Zr, Th, U, 希土類元素	245
5.4.4. 分別溶解(抽出)実験から考える微量元素, 重金属元素, 希土類元素の挙動	246
Tables & Figures	247
6. 結論	358
7. 謝辞	360
8. 参考文献	361
Appendix	367

1. はじめに

近年、土壌浄化法が施行されるなど土壌に関する関心が高まっている。土壌、堆積物に関する化学的研究や環境問題に関する研究等、応用的な研究は幅広く行われてきている(Bascomb, 1968; Tessier et al. , 1979; Chao, 1983; Tessier et al. , 1989; 中野ほか, 1991; 中野ほか, 1993; 上野ほか, 1992; 金井, 1995; Olafur et al. , 1995; 中野ほか, 1997; 管, 1993; 管, 1998; 関, 1998; 鹿園ほか, 2003)。それらの研究の例として鉱物分離による土壌構成鉱物の分析, 土壌・地下水間における元素の風化挙動メカニズムに関する研究, 重金属汚染問題や廃棄物処分問題などを想定した研究等が挙げられる。しかし, 有機物・重金属汚染問題に関して言えば, 土壌汚染といっても単に有機物・重金属元素濃度が高いというだけで人為的汚染と判断する事は難しいと思われる。例えば重金属元素について考えてみると, 自然のバックグラウンドとして元来, 土壌中に存在している重金属元素濃度は様々であり, また, 土壌種の相違によって土壌中の重金属元素の挙動(例えば風化による濃度増減等)は異なるため, それら土壌中での重金属元素の規則性を考慮し, そこから大きくずれた場合のみ, 人為的汚染とみなす必要がある。このため, 自然のバックグラウンドにおける重金属元素の挙動を解明する事は, 汚染状況を的確に把握するためには必要不可欠であると考えられる。

放射性廃棄物処分問題に関しては現在, 原子力発電所から発生する高レベル放射性廃棄物(HLW)の地層処分計画が進められている。しかし地層処分を行うことで様々な問題が生じる可能性がある。その中でも重要視されている事として処分場からの放射性核種の移行問題が考えられる。この移行は処分場周辺からの地下水による運搬, 隆起・侵食等によりなされる。放射性核種によって生物圏に与えられる放射線量が安全なレベルになるまでに 10 万年~100 万年かかることから, 長期的な放射性核種の挙動の予測が必要であるとされている(核燃料サイクル開発機構, 1999)。現段階の処分計画では地下 300~1000m 付近に処分を行う予定であるが, 生物圏付近での放射性核種の挙動が最重要である以上, 岩盤とは性質の異なった土壌部分での放射性核種の挙動について考えなければならない。これまでに地下深部における放射性核種の挙動に関する研究は多く行われており, その結果, 想定処分場所として考えられる地下深部のような還元的な環境下では放射性核種は地下水に難溶であるとされている(Brookins, 1978)。また, 岐阜県の東濃ウラン鉱床における研究からも, 長期に渡ってウランの移動が起こっていないといった結果が報告されている(Yusa, et al, 1991; 吉田ほか, 1995)。しかし, 10 万年~100 万年という長期間に隆起・侵食が起こり, 廃棄物処分場が地表付近に達することも考えられる。従って, 地表付近の土壌環境における放射性核種の移行を明らかにする事が重要である。しかし, 現存する土壌中に高レベル放射性

廃棄物中に含まれる放射性核種(Am や Cm 等)は存在せず, このため天然試料での研究が困難である. そこで放射性核種の化学的類似元素(例えば, Am, Cm の化学的類似元素である希土類元素)の研究が必要である. しかしながらその種の研究は非常に限られている(Takahashi and Minai, 2001; 鹿園ほか, 2003). また, これまで行われてきた研究の大部分は岩石中におけるものであり, 土壌における元素の挙動研究例は非常に少ないため, 土壌における研究を進める事は非常に有意義な事であると考えられる.

2. 研究目的

我が国には様々な土壌が存在し、大きく分別して火山岩質土壌と堆積岩質土壌に分別される。火山岩質土壌の代表的土壌としては褐色森林土、黒ボク土、ローム土等が挙げられ、堆積岩質土壌としては赤黄色土壌が挙げられる。その中でも褐色森林土、黒ボク土は日本全国に幅広く分布しており、赤黄色土壌は主に西南西日本、特に典型的な赤黄色土壌は沖縄県に分布している。これら土壌に関しては今まで様々な観点から多くの研究が成されてきた(岩佐, 1978; Arculus et al. 1991; 市川ほか, 1992; 岡本ほか, 1992; 上野ほか, 1992; Berger et al. , 1994; 古川ほか, 1994; 河名, 1994; 井上, 1996; 中島, 1997; Olafur et al. , 1995; Aiuppa et al. 2000; 南ほか, 2001; 中井, 2001; 川村ほか, 2002; 久保寺, 2003)。これら研究の中でも黒ボク土、ローム土に関しては土壌中の元素挙動解明、環境問題への応用的研究が行われてきたが、赤黄色土壌に関しては、赤黄色土壌の海岸域への流出に関するもの等であり、沖縄県の赤黄色土壌に関する微量・希土類元素の風化挙動メカニズムに関する研究は、筆者らが知る限り皆無である。赤黄色土壌中の微量成分分析の研究例はいくつか見られ、例えば Yoshida (1998)らによる研究があるが、これらは赤黄色土壌の研究というより、我が国の代表的土壌の分析的研究である。

そこで本研究では我が国に広く存在する黒ボク土、ローム土、褐色森林土、赤黄色土を研究対象土壌とし、これら土壌中の重金属元素、希土類元素の地球化学的挙動を明らかにし、各土壌における元素の風化挙動支配要因の相違を知る事を第一の研究目的とした。研究対象土壌として大きく火山岩質土壌と堆積岩質土壌に分別出来るが、土壌を構成している鉱物種に大きな相違は無くとも、各元素挙動は明瞭に異なっている可能性がある。例えば、火山岩質土壌においては本研究土壌では玄武岩、安山岩、石英安山岩と幅広い岩石種によって土壌が構成されているが、源岩が異なっても、火山灰の有無等によっては同じ土壌種としてみなされている土壌が存在しているため、細部での風化挙動解明は、各土壌における重金属元素・希土類元素の自然のバックグラウンドを明かにするためには必要不可欠である。また、土壌源岩が同じでも土壌生成にあたって風化過程の相違がどの程度影響を及ぼしているかによって生成する土壌は異なる。これを例に挙げると、ラテライトも火山岩質土壌であるが、その性質は同一源岩をもつ土壌(例えば黒ボク土、褐色森林土)とは明瞭に異なっていると考えられる。そこで、これらの相違を比較・検討するためにハワイ諸島のラテライトも研究対象土壌として用いた。

また、重金属元素、希土類元素の地球化学的挙動を細部まで知る事により、重金属元素による汚染土壌浄化技術の一因(不溶化)を見出す事、放射性廃棄物処分問題のナチュラルアナログ研究として、希土類元素の浅地層(土壌)環境での移行メカニズムの解明を第二の研究目的とした。

3. 研究試料および地質概要

前述したように、土壌の分別としては大きく分けて火山岩質土壌と堆積岩質土壌に分けられる。我が国に分布する主な土壌として褐色森林土、黒ボク土、赤黄色土壌、岩屑性土壌、グライ土壌、未熟土壌等が挙げられる(永塚, 1997)。この中で褐色森林土が最も広く分布するが、これに続くものとして黒ボク土、赤黄色土壌が挙げられる。以下では土壌の分類を火山岩質土壌と堆積岩質土壌に分けて、それぞれの土壌の特徴等について記す。なお、褐色森林土に関しては火山岩、堆積岩どちらの岩石も源岩として有するが、本研究における褐色森林土は火山岩である玄武岩、安山岩、石英質安山岩を源岩としているため、火山岩質土壌として分類した。

3. 1. 火山岩質土壌:黒ボク土, ローム土, 褐色森林土 (Andosol, Loam, Brown forest soil)

火山が散在する我が国では火山灰土が全国的に分布している。黒ボク土は農耕地土壌分類によると、排水条件によって黒ボク土、多湿黒ボク土、黒ボクグライ土の 3 土壌群に分類されており、わが国では国土の約 16.4%を占め、太平洋側を中心に全都道府県に分布している成帯内性土壌である(岩生ほか, 1985;三枝, 1989)。従来、黒ボク土は「火山放出物の風化堆積層上部に暗褐色ないし黒色を呈する非泥炭質の腐食の集積した土壌」と定義されている(岩生ほか, 1985)。これまでの研究では主に土壌中のアロフェン含有量に着目されて来たが、アロフェンを含まないものや非火山灰起源の土壌も含まれる事が近年判明したため、今ではアロフェンに重点を置く名称が避けられている(加藤ほか, 1996)。

褐色森林土は主に湿潤温帯の落葉広葉樹林や広葉樹と針葉樹との混交林下に分布する成帯性土壌である。我が国では北海道の低山地・丘陵地、本州・四国・九州の山地や丘陵地に広く分布し、雨量が多いため塩基性飽和度の低い酸性褐色森林土が大半を占める。黒ボク土が排水条件によって分割されているように褐色森林土も乾性、弱乾性、適潤性、弱湿性、湿性に細分化されている(松井ほか, 1996)。

今回、研究対象地域として神奈川県(秦野市, 平塚市)、群馬県(赤城村)、東京都(八丈島)の土壌を用いて研究を行った。各地域における土壌は黒ボク土、ローム土、褐色森林土であるが、土壌源岩が異なる。以下に各地域における地質概要、採取地について述べる。

3. 1. 1. 神奈川県秦野市

神奈川県秦野市柳川の試料採取地点は山道沿いの露頭で、表層の黒ボク土とその下層にローム層が見られる。黒ボク土は淡色黒ボク土で、ローム層は武蔵野ローム層(更新世後期)であると考

えられる(Fig.1). 南関東では富士山を中心とした火山灰が分布し、特に富士山は 100,000 年前より近年(1707 年)まで頻繁に噴火していた事から、南関東における黒ボク土の主な母材は富士山の噴出物である玄武岩と火山灰であるといえる。

試料採取は黒ボク土のみの土壌断面が露出している地点と、黒ボク土からローム層へ変化する土壌断面が露出している地点の 2 地点で試料の採取を行い、前者を A 地点、後者を B 地点とした。A 地点では上部ほど黒色礫が多く、全体的に B 地点に比べて礫が多い。また B 地点では礫は少なく全体的に粘土質である。黒ボク土層、ローム層両方に褐色軽石が点在しており、黒ボク土からローム層への遷移は漸移的である。A 地点、B 地点では地表から 30cm の地点から 10cm ごとに 50ml ステンレス製円筒採土管を用いて不攪乱試料を採取した。試料数は A 地点 15 サンプル、B 地点 13 サンプルである。

3. 1. 2. 神奈川県平塚市

神奈川県平塚市根坂間の試料採取地点(露頭)は、東海道新幹線が崖線と交わる地点の北西に位置し、露頭の高さは約 20m で、東に面している。分布する地層は下位より吉沢層、吉沢ローム層、新期ローム層(第四紀更新世中期～後期)である。本研究では、試料採取が可能な吉沢ローム層下部～中部を対象とした(Fig.2)。吉沢ローム層は主として箱根火山の新期外輪山のテフラからなり、また、吉沢ローム層は大磯丘陵より東方の高座丘陵、座間丘陵、多摩丘陵南部、下末吉台地、下総大地などに広く分布し、模式地の下末吉ローム層と同一の地層であるとされる。吉沢ローム層は、層の境界の斜交関係により SB(最下部)、Kl(下部層)、Km(中部層)、Ku(上部層)の四層に区分される。Kl は層厚が大磯丘陵南部で 10～15m、北部で 5～6m であり、識別できるテフラ層は南部で 30 層以上、北部で 11 層以上ある。発泡の良い軽石礫主体のテフラ群で多量の岩片を含むものが多く、軽石層には下位から順に KIP-1～16 までの番号がふられている。軽石層の大部分は複輝石デイサイト質軽石であり、前述したように供給源としては箱根火山である(関東第四期研究会, 1987)。

試料採取は KIP-10～11 から KmP-5 にかけて 12 試料、土壌断面よりスコップを用いて連続に採取した。試料番号 1 から試料番号 12 までは約 10m である。軽石層中には様々な色を呈した軽石が見られ(黄、白、橙等)、軽石層全体の色としては白、黄色を呈している。また、砂層、砂礫層がローム層下部でいくつか確認され、軽石層との境界に赤茶色の 1cm 位の層が見られる事がある。KIP-11 直下のローム層(試料番号 7)は他の茶色を呈したローム層とは異なり、層全体の色は灰色で砂が多く混在しており、また、黒色層も見られた。

3. 1. 3. 群馬県赤城村

群馬県赤城村の試料採取地点は山道沿いの露頭で、表層に黒ボク土、中層に軽石層、その下層にローム層(更新世)が見られる(Fig.3). 試料採取地点は赤城山から約 20Km 西の地点であるが、土壌起源となる火山噴出物は火山灰層の形成様より赤城火山の噴出物ではなく榛名火山の噴出物によるものであると考えられる. Fig.4 より二ツ岳の軽石層の分布図ではサンプリングポイントは 50cm の等層厚線の少し外側に存在する. Fig.3 より軽石層の厚さは 20cmではあったが、この軽石層が二ツ岳の噴火によるものであると考えてよいだろう. また、Fig.4 の浅間山の噴火による黒土の等層厚線図ではサンプリングポイントは 75cmの等層厚線上になる. これもサンプリングポイントの黒土の厚さと一致する. 以上より、サンプリングポイントの土壌の起源は二ツ岳や浅間山などこの地点より西側の火山によるものであると考えられる. また、赤城山は 2 万 5 千年以上前に噴火活動を停止している事、さらにこのあたり一帯における火山灰の堆積の傾向を見ると、上空を吹く強い偏西風の影響により西から東へ運ばれることも以上のように考える根拠として挙げられる.

これらより試料採取地点の土壌の母材は榛名火山の噴出物である安山岩と火山灰であるといえる.

試料採取は黒ボク土から軽石層、ローム層へ変化する土壌断面が露出している 2 地点で試料の採取を行い、前者を A 地点、後者を B 地点とした. A, B 両地点とも褐色軽石が点在しており、黒ボク土からローム層への遷移は漸移的である. A 地点では地表から 10cm の地点から 10cm ごとに 16 点採取し、そこから 20cm ごとに 4 点採取した. B 地点では地表から 10cm の地点から 20cm ごとに 8 点採取し、そこから 30cm 地点に 1 点、さらに 20cm 下に 1 点採取した.

A 地点、B 地点ともに 50ml ステンレス製円筒採土管を用いて不攪乱試料を採取した. 試料数は A 地点 20 サンプル、B 地点 10 サンプルである.

3. 1. 4. 東京都八丈島

八丈島は伊豆七島の最南端の火山島で、島の南東部に東山火山、北西部に西山火山があり、後者は伊豆七島中で最も高い山であり、八丈島の火山の基盤は伊豆七島の湯ヶ島層群に類似したものであると考えられている. この湯ヶ島層群は下部・中部・上部層の三層に別けられ、地表 450 ~650m に分布する古第三系黒色頁岩を基盤とすると考えられている説(鮫島ほか, 1968)があるが、確定はしていない. 湯ヶ島層群下部層には主に著しく変質した濃緑色で無層理の輝石安山岩質の火山角礫岩・凝灰角礫岩からなり、輝石の大型斑晶を含む安山岩の溶岩・凝灰岩・凝灰質砂岩をはさみ、その上位に玄武岩質溶岩・火山角礫岩層・凝灰質な砂岩とシルト岩の互層からなる地

層である。湯ヶ島層群中部層は主に青緑色の凝灰質の砂岩からなり、火山礫凝灰岩・凝灰角礫岩・軽石凝灰岩をはさむ。また、湯ヶ島層群上部では主に輝石安山岩の溶岩・同質の火砕岩からなり、ホルンブレンド安山岩・デイサイト・凝灰岩・凝灰質砂岩などを伴うとされている(植村・山田, 1996)。

八丈島の試料採取地点は主に露頭で行った。試料採取地点の土壌は大別して二種に分別され、東山周辺の土壌としては褐色森林土と黒ボク土であり、西山周辺の土壌は火山抛出力未熟土である(Fig.5)。各試料採取地点の土壌源岩は東山は玄武岩から石英質安山岩まで幅広く取り、西山においては玄武岩のみであると考えられる(監修:国土庁土地局国土調査課 発行:財団法人日本地図センター, 1977)。

試料採取は東山 28ヶ所、西山 19ヶ所で行い、試料数は東山 109 試料、西山 72 試料である。この中で深さ方向に連続で採取できる地点では連続で採取した(東山, 試料番号 20 等)。連続で採取した地点では地表から 20~50cm 間隔で土壌断面よりスコップを用いて採取を行った。神奈川県秦野市、群馬県富士見村の試料採取地点では上部から下部にかけてローム層(粘土層)へと漸移的に遷移していたのに対し、八丈島の試料採取地点では層の変化が必ずしも粘土層に移行していない(例えば黒ボク土-粘土層-溶岩層)。試料採取の深さはそれぞれの場所で異なるが、ほぼ 3m 前後である。また、試料数は各地点で異なるが、3~10 個位の試料採取を行った。

3. 2. 堆積岩質土壌:赤黄色土壌 (Red-yellow soil)

赤黄色土壌とは湿潤亜熱帯モンスーン気候下に発達する成帯性土壌であり(松井ほか, 1996)、我が国では西南日本に広く存在する赤黄色の土壌である。赤黄色土壌は赤色土と黄色土とに独立した土壌型で扱われることもあり、土壌分類は主に源岩の鉄含有量の相違によるものである(松井ほか, 1996)。

今回、研究対象地域として沖縄本島及び石垣島の赤黄色土壌を用いて研究を行った。沖縄県は亜熱帯気候下であり県全域に赤黄色土壌が分布しているが、地域によって土壌の源岩が異なるため(久保寺, 2003)土壌の理化学的性質は異なる。沖縄県には様々な土壌が分布しており、大きく酸性土壌とアルカリ性土壌に分類され、酸性土壌には赤色土壌、黄色土壌があり、アルカリ性土壌は暗赤色土壌である(Fig.6)。ここでは赤色土壌、黄色土壌、暗赤色土壌を赤黄色土壌と呼ぶ。この赤黄色土壌は土壌水の pH をもとに酸性土壌とアルカリ性土壌に大きく二分されている(監修:国土庁土地局国土調査課 発行:財団法人日本地図センター, 1977)。本研究における土壌種の分別は土地分類図(監修:国土庁土地局国土調査課 発行:財団法人日本地図センター, 1977)。

及び原色日本土壤生態図鑑(永塚, 1997)を基に酸性土壤, アルカリ性土壤に分別を行った. この他に採取土壤の pH を測定し, 上記記載の正当性を確認した. すなわち分布図にもとづいて酸性土壤, アルカリ性土壤とした各土壤の土壤水 pH は酸性土壤 pH4.2~6.8, アルカリ性土壤 pH7.2~7.8 であった. なお, 土壤 pH の測定方法については 3. 分析及び実験方法に記す.

試料採取地点を Fig.7~10 に示す. 試料採取は酸性土壤 15ヶ所, アルカリ性土壤 7ヶ所で行い, 試料数は酸性土壤 78 試料, アルカリ性土壤 41 試料である. その中で沖縄本島北部での試料採取地点は主に山道沿いの露頭で行った. 中部及び南部での試料採取は主に石灰岩鉱山内で行った. 中部及び南部での試料採取が主に鉱山内であるのは北部に比べ露頭が少ないためである. また石垣島での試料採取は主に西部で行い, 露頭で行った. 各試料採取地域の土壤源岩は, 本島北部: 堆積岩(国頭層群, 砂岩, 千枚岩), 本島中部: 本部石灰岩, 本部チャート(本部層), 堆積岩(国頭層群, 砂岩, 千枚岩), 本島南部: 琉球石灰岩(琉球層群), 石垣島: 堆積岩(富崎層, 砂岩, 千枚岩; 国頭礫層, 砂礫堆積物)である. なお, 沖縄本島, 石垣島の地質については古川(1994), 土地分類図(1977)を参照されたい. 酸性土壤の多くは国頭層群(白亜紀後期-第三期前中期)の千枚岩, 一部チャート, 砂岩, 結晶片岩, アルカリ性土壤の源岩は南部; 琉球層群(更新世)の石灰岩, 中部は本部層(中・古生代)石灰岩である. 沖縄本島, 石垣島地域とも土壤断面が露出している部分から採取を行い, 各露頭では深さ方向に試料採取を行った. 試料採取の深さはそれぞれの場所で異なるが, ほぼ 30cm 間隔で 3m 前後である. また試料数は各地点で異なるが, 3~10 個位の試料採取を行った.

3. 3. ラテライト (Laterite)

ラテライトとは熱帯雨林気候帯ないし熱帯モンスーン気候帯に分布している成帯性土壤を包括した名称でラトソルとも呼ばれている. 第三紀鮮新世または中新世に生成された年代の古い, 厚い風化殻により特徴づけられる(永塚, 1996).

今回, 研究対象地域としてアメリカ合衆国ハワイ州(オアフ島, ハワイ島)のラテライトを用いて研究を行った (Fig.11). ハワイ諸島は現在も火山活動が活発に起こっており, 各島によって土壤生成年代が異なる. オアフ島での試料採取は主に土壤断面が露出している地点で行い, 試料数は 5 地点, 32 試料である. ハワイ島での試料採取は主に土壤源岩であると考えられる岩石及び溶岩の採取を行った. 試料数は 2 地点, 4 試料である.

4. 分析及び実験方法

以上の各土壌試料について、土壌構成鉱物同定(粉末 X 線回折分析;XRD), 主成分元素組成分析(蛍光 X 線分析;XRF), 微量成分分析(誘導結合プラズマ質量分析;ICP-MS), 抽出実験を行った。これらの分析, 実験について以下に方法, 及び条件を記す。

4. 1. 粉末 X 線回折分析;(XRD)

土壌試料中の構成鉱物は粉末 X 線回折装置(X-ray diffractometer, XRD)を用いて同定した。用いた装置は RAD-C(理学電機株式会社製;慶應義塾大学)である。測定条件は,

加速電圧・電流:40kv・60mA(Cu-K α), スキャンステップ:0.1°, 走査速度:1°/min, スリット幅: DS, SS ともに 0.1° である。

4. 2. 蛍光 X 線分析;(XRF)

土壌試料中の主成分元素組成(Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P)は蛍光 X 線分析(X-ray fluorescence analysis)を用い, ガラスビード法により主成分元素定量分析を行った。用いた装置は RIX1000(理学電気株式会社製;慶應義塾大学)である。

まず粉末試料をドライオーブンで 24 時間, 110°Cで乾燥させ吸着水を除去した。その後粉末試料約 0.6gをあらかじめマッフル炉中で焼成しておいた(900°C, 13 時間)蓋付坩堝に入れ 900°Cで 13時間焼成し, 粉末試料中の揮発性成分(S, C, H₂O^(*g*))を散逸させた。この時の粉末試料減量は灼熱減量(Loss On Ignition, LOI)として重量の測定を行った。こうして得られた粉末試料 0.400±0.0002gに対して, Li₂B₄O₇(和光純薬株式会社製, 純度min, 99.0%)4.000±0.0002gを混合し, 1150°Cで 7 分間熔融後, 冷却させ, 均質なガラスビードを作成した。得られたガラスビードを用いて XRF分析を行った。未知試料 5 試料毎に標準試料(産業技術総合研究所地質調査総合センター発行標準試料)として JB-1b 試料の測定を行った。検量線は標準試料として JB-3, JH-1, JSy-1, JG-2, JF-1, JGb-2, を用いて作成した。

4. 3. 誘導結合プラズマ質量分析;(ICP-MS)

土壌試料中の微量元素組成(Sr, Zr, Th, U), 重金属元素組成(V, Cr, Mo, Co, Ni, Cu, Zn, Pb)及び希土類元素組成(La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)は、誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)により定量した。

乾燥粉末試料 50.0mgに 1ml(HF)+1ml(HCl)+1ml(HNO₃)+0.8ml(HClO₄)を加え, 蓋付テフロン

容器内で 120°C, 12 時間, 混酸処理を行った。混酸処理を施した試料は蒸発乾固を行い, 放冷後 70% HNO_3 2.5ml を添加した。この溶液を超純水で 50g に定量した後, 溶液 2ml に内標準溶液として 10ppb の In 溶液 1ml, さらに 3.5% HNO_3 溶液 7ml を加え, 計 10ml としたものを ICP-MS 用の分析溶液とした。作製した分析溶液は産業技術総合研究所地質調査総合センター (茨城県つくば市) の誘導結合プラズマ質量分析装置 (横河電気株式会社製, HP4500) により分析を行った。標準試料として地質調査総合センター発行の JB-3, JG1-a, JLK-1 を用い, 未知試料 20 試料前後毎に測定した。

4. 4. 土壌 pH 測定

土壌の pH は国際土壌学会(1930)により決定した 1:2.5 方法を用いて測定した。風乾細土(常温で乾燥後, 2mm のふるいを通した土壌)5g に対し超純水 12.5ml を加え, 1 時間以上攪拌した後, ガラス電極製 pH メーターを用いて測定した。

4. 5. 分別溶解(抽出)実験

土壌試料中の各元素の存在状態を知るために分別溶解実験を行った。土壌中での各元素は一次鉱物からの溶出後, 二次鉱物として新たな鉱物を生成, または様々な鉱物(例えば粘土鉱物や水酸化物)によって吸着・固定されることで一部の元素は土壌溶液中に溶出することなく存在し続けていると考えられる。様々な要因によって重金属元素・希土類元素の移動抑制がなされていると考えられるが, どの要因によって最も強く支配が起こっているかをここでは確認するために, 土壌を構成している鉱物, 物質の抽出を行った。なお, 分別溶解実験を行うにあたって, Miller (1986) による方法を用いて実験を行った。実験方法を Fig.12 に示す。

まずステップ 1 として風乾細土 5g を測り取り, 超純水 20ml とともに 50ml 遠沈管に入れ, 振盪機 (ヤマト科学株式会社製, SA300) で 16 時間振盪後, 吸引濾過した。その後, 残渣を乾燥させた後, ステップ 2 として 0.5M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 20ml を加え, 16 時間振盪後, 吸引濾過した。以下同様に, 残渣を乾燥させた後, ステップ 3 (20ml (0.05M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ + 0.1M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), 16 時間振盪), ステップ 4 (20ml (0.44M CH_3COOH + 0.1M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), 8 時間振盪), ステップ 5 (20ml (0.01M $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ + 0.1M HNO_3), 30 分振盪), ステップ 6 (20ml 0.1M $\text{K}_2\text{P}_2\text{O}_7$, 24 時間振盪), ステップ 7 (20ml (0.175M $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ + 0.1M $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), 暗闇下, 4 時間振盪), ステップ 8 (25ml 0.1M $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, 85°C, 3 時間振盪), ステップ 9 (1ml aqua regia + 10ml HF, 110°C, 2 時間振盪)を行った。その後, 全ての濾液について蒸発乾固を行い, 放冷後 70% HNO_3 2.5ml を添加した。この溶液を超純水で 50g に

定量した後、溶液 2ml に内標準溶液として 100ppb の In 溶液 1ml、さらに 3.5% HNO_3 溶液 7ml を加え、計 10ml としたものを ICP-MS 用の分析溶液とした。作製した分析溶液は産業技術総合研究所地質調査総合センター（茨城県つくば市）の誘導結合プラズマ質量分析装置（横河電気株式会社製、HP4500）により分析を行い、各鉱物、物質中の重金属元素・希土類元素濃度を測定した。標準試料として地質調査総合センター発行の JB-3, JA-2, JG1-a を用い、未知試料 20 試料前後毎に測定した。

5. 分析結果および考察

5. 1. 土壌構成鉱物

XRD 分析より同定された各土壌構成鉱物を Table1~6 に示す.

5. 1. 1. 火山岩質土壌:黒ボク土, ローム土, 褐色森林土 (Andosol, Loam, Brown forest soil)

本研究で用いた土壌試料のうち, 神奈川県秦野市及び東京都八丈島(西山, 東山の一部)で採取を行った土壌の源岩は玄武岩である. このため XRD より同定された鉱物を一次鉱物, 二次鉱物で分類するならば, 一次鉱物としては玄武岩を構成していると考えられる長石, 斜長石, かんらん石, 輝石, 磁鉄鉱である. また二次鉱物はハロイサイト, カオリナイト, スメクタイト, ゲータイトである. このほかに非晶質物質であるアロフェンやイモゴライト, さらに火山ガラスの存在が考えられる. 二次鉱物に関しては神奈川県秦野市の試料からはカオリナイトは同定されなかった.

また, 神奈川県平塚市, 群馬県赤城村, 東京都八丈島(三原山の一部)で採取を行った土壌の源岩は安山岩から石英質安山岩, 流紋岩と幅広い源岩である. XRD より同定された鉱物種は玄武岩を源岩とする神奈川県秦野市及び東京都八丈島(八丈富士, 三原山の一部)の土壌試料とほぼ同じであったが, 一次鉱物として考えられる石英の存在が確認された. また, 群馬県赤城村の試料中にはクリストバライトや角閃石も確認された. これは玄武岩が塩基性岩であるのに対し安山岩, 石英質安山岩, 流紋岩は酸性岩であり Si の含有量が多いためであると考えられる. また, 二次鉱物としてモンモリロナイトの存在が安山岩質土壌である神奈川県平塚市, 群馬県赤城村, 東京都八丈島(東山の一部)の土壌では多く確認された.

5. 1. 2. 赤黄色土壌 (Red-yellow soil)

本研究で用いた赤黄色土壌の源岩であると考えられる岩石は, 酸性土壌は砂岩, 千枚岩, 本部チャートであり, アルカリ性土壌は琉球石灰岩, 本部石灰岩である(古川・黒田, 1994; 土地分類図, 1977). 一次鉱物であると考えられる鉱物は長石, 石英, カルサイト, ドロマイト, ヘマタイト, 白雲母であり, 二次鉱物は, ハロイサイト, ゲータイト, ギブサイト, イライト, スメクタイト, パーミキュライトである. Table5 の XRD 分析結果より, 酸性土壌とアルカリ性土壌において構成鉱物種はほぼ等しいことがわかる. 一方, 量的相違として, カルサイト, ハロイサイト, モンモリロナイト, 黒雲母がアルカリ性土壌に多く, 石英が酸性土壌で多い事が挙げられる.

5. 1. 3. ラテライト(Laterite)

本研究で用いたラテライトの源岩であると考えられる岩石は神奈川県秦野市及び東京都八丈島(西山, 東山の一部)と同様, 玄武岩である. しかし, 玄武岩を同じ源岩としている土壌であるが, 土壌構成鉱物には大きな相違がある. これはラテライトの生成環境及び土壌生成年代の違いによる. 2. 3. に記したようにラテライトは主に熱帯雨林気候帯ないし熱帯モンスーン気候帯に分布しており, 非常に降水量の多い地域に発達している. このため可溶成分の溶脱が著しく, 土壌を構成している鉱物は非常に溶解度の低い鉱物が大部分である.

土壌構成鉱物の分類は一次鉱物として長石, マグネタイト, マグヘマイト, 二次鉱物としてギブサイト, ベーマイト, ダイアスポア, ゲータイト, カオリナイトが確認された. 長石やカオリナイトのように神奈川県秦野市及び東京都八丈島(八丈富士, 三原山の一部)と同様の鉱物も含有するが, これら鉱物の量はラテライト中には僅かであり, 二次鉱物として考えられる鉱物の量が大部分を占めているため, 土壌の性質は大きく異なると考えられる.

土壌を構成している鉱物が土壌中の元素挙動を支配する要因として重要であると考えられるが, 構成鉱物の種類に大きな相違が無い土壌も存在する事から, 構成鉱物種の違いだけで大まかな元素挙動を考えることは不可能である. そのため次に述べる変動率及び AI 規格値を推定し各元素挙動を支配する要因を考えた.

5. 2. 土壌構成元素の変動率および AI 規格値より見る元素移動

各土壌の XRF 分析, ICP-MS 分析結果を Table7~30 に示す。この分析値を基に以下で定義される変動率および AI 規格値を算出した。

$$\text{変動率(Rate of variability)}(\%) = \{(X_{\text{sample}}/A_{\text{sample}})/(X_{\text{std.}}/A_{\text{std.}}) - 1\} \times 100$$

ここで,

X; 試料中の各元素濃度(酸化物の重量%), Al; Al₂O₃濃度(重量%)

std.; 標準試料

$$\text{AI 規格値(AI normalized value)} = (X_{\text{sample}}/A_{\text{sample}})/(X_{\text{std.}}/A_{\text{std.}})$$

ここで,

X; 試料中の各元素濃度(酸化物の重量%), Al; Al₂O₃濃度(重量%)

std.; 標準試料

ここでは変動率を求める際, 黒ボク土, ローム土, 褐色森林土の標準試料として産業技術総合研究所地質調査総合センター (茨城県つくば市)発行の JB-3, JB-2(玄武岩), JA-2(安山岩)を用い, ラテライトの標準試料としては USGS(アメリカ合衆国地質調査所)発行のハワイ諸島玄武岩標準試料値を用いた。また赤黄色土壌に関しては各試料の源岩ではなく PAAS(Post Archean Australian Shale: Taylor and McLennan, 1988)を用いた。この理由として以下が挙げられる。(1)各サイトにおいて, 新鮮な源岩は必ずしも露出していない, (2)石灰岩が源岩であると考えられる場合が多いが, この場合, 一般的に純粋な石灰岩ではなく粘土鉱物等の不純物を含んだり, 泥岩等, 他の堆積岩を含む場合が多く, 不均一である。この純粋な石灰岩を源岩として規格化し, 変動率を求めたが, 考えがたい変動率となる事が多い。このことは, 石灰岩の不均一性を考慮に入れなければならない事を示す。(3)PAAS は今までに多くの研究者により, 堆積岩の標準岩石として認められている。(4)本論文においては, 各元素の風化による移動率を定量的に求める事が目的ではない。

さらに AI を用いて規格化したのは AI は非常に風化抵抗性が大きい元素であると考えられているためである(Nesbitt, 1979)。なお, AI と同様に風化抵抗性の大きい元素として Ti が挙げられるが, AI 規格変動率と Ti 規格変動率にほとんど相違は無かった。従ってここでは Ti 規格変動率についての議論は行わない。また, Nb, Zr, Y といった元素も同様のことが考えられているが(Winchester and Floyd, 1977; Young and Nesbitt, 1998; Hill et al., 2000), これら元素の土壌中での濃度は ppm オーダーであるため, 分析誤差による影響を考慮し(例えばジルコンの溶解度は非常に低い

ため、測定準備の段階で完全に溶解していない可能性もある)、本研究では規格化の指標としては用いなかった。

なお、AI規格値の算出は深さ方向に連続で採取できた試料についてのみ行った。これは、採取地点が同じ場所である事から、最も未風化であると考えられる試料が決定出来るためである。黒ボク土、ローム土、褐色森林土といった火山噴出物によって生成した土壌では、徐々に堆積した岩石、火山灰が風化作用を受け生成した土壌である。従って、一般に上部の土壌の方が風化作用を受けていないと考えられる。従って、最上層試料をこれらの土壌に対する標準試料とした。一方、堆積岩の場合は、主に雨水が地表より下へ浸透し、風化されていくので、下部程風化を受けにくい。従って、最下層の試料を標準試料とした。

すなわち、黒ボク土、ローム土、褐色森林土においては最上層試料、赤黄色土では最下層試料を標準試料として用いた。

求められた変動率および AI 規格値を Fig.13~111 に示す。なおサンプル数が多いため、Fig.13~18, 35~40, 55~60, 84~89 に示す変動率は各元素における平均値である(平均値:標準偏差法による計算を行い、約 20%の誤差範囲内で平均化、Table7~30 より突出した数値を示す試料についてはあらかじめ除外した)。

以下では各元素の変動率について見てみる。

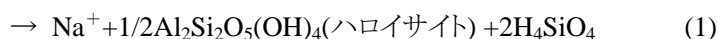
5. 2. 1. 主成分元素 (Si, Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P)

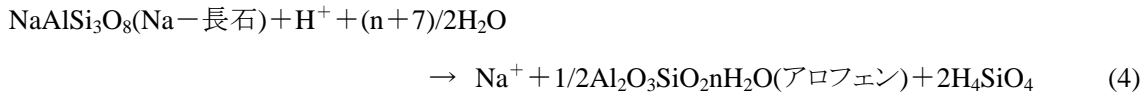
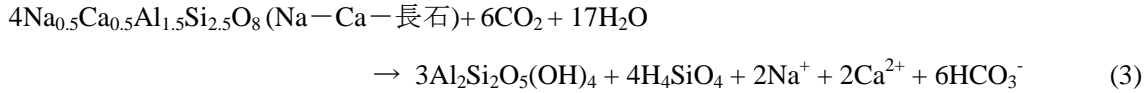
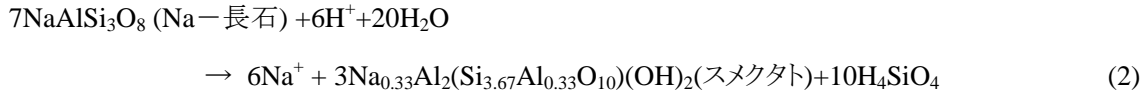
5. 2. 1. 1. 火山岩質土壌:黒ボク土, ローム土, 褐色森林土 (Andosol, Loam,

Brown forest soil)

アルカリ元素:

変動率を基に各元素の挙動(Fig.13~18)を見ると、酸性土壌である黒ボク土、ローム土、褐色森林土においては全ての試料で Na, K といったアルカリ元素の移動(減少)が大きくなった。これは XRD より同定された、アルカリ元素を比較的多く含む、珪酸塩鉱物の溶解ならびに沈殿反応によると考えられる(鹿園・瀧野, 2002)。





アルカリ土類元素:

Mg, Ca といったアルカリ土類元素も全ての土壌種において Na, K と同じ傾向が見て取れた. Mg, Ca といった元素は Na, K 同様, 主に珪酸塩鉱物中に多く含まれる. このため(2), (3)式に示される溶解反応により, 土壌溶液中に溶出しやすいと考えられる. しかし Fig.13~18 を見ると, Mg の AI 規格値に大きな移動傾向(減少)は見取れない. 特に秦野市の試料 B においては 90cm 以深(ローム土部分)においてその傾向は強く, むしろ増加傾向にある. これは各土壌が有するローム土(粘土層)を構成する鉱物種及び標準試料の相違によるものであると考えられる. 例えば, 秦野市の試料 B に関して, 上部(黒ボク土部分)においては以下で示される様な鉱物の溶解によって Mg は移動すると考えられる.



しかしローム層に差し掛かる辺りからハロイサイト, ゲータイト, スメクタイト, アロフェンといった鉱物の量が多くなる. スメクタイトは陽イオン交換容量(CEC)が大きく, 土壌溶液中に溶出した Mg^{2+} を吸着・固定すると考えられるが, 本研究で用いたローム層中の粘土鉱物の大部分はハロイサイト, カオリナイトであり, スメクタイト含有量は多くないため, 粘土鉱物への吸着によって移動が抑制されているとは考えがたい. このため, ゲータイトといった Fe 鉱物やアロフェンによって移動が支配されているのではないかと考えられる. Fe 鉱物との関係については以下の P の項で示す. また, 標準試料の相違についてだが, 変動率は土壌源岩である玄武岩を用い, AI 規格値は最も未風化な土壌試料を用いて算出を行った. このため, 各元素の傾向を見るにあたっては AI 規格値の方がより土壌の性質を反映していると考えられるため, Mg においては AI 規格値による傾向を支持したい.

P:

Pの移動に関してはアルカリ元素, アルカリ土類元素に続き, 移動は比較的大きいと考えられる. Pは土壌水中ではリン酸イオンとして存在し, 土壌への特異吸着を起こす. リン酸イオンと特異吸着を起こす成分は土壌の性質(酸性もしくはアルカリ性)によって異なる(南條, 1989). 黒ボク土, ローム土, 褐色森林土のような酸性土壌においては活性Alや活性Feが特異吸着を起こす(南條ほか, 1995). 前者はアロフェンの様な非晶質, 準非晶質粘土鉱物, 粘土鉱物結晶端のAl-OH, Al-OH₂⁺等であり, 後者は酸化鉄鉱物, Fe-腐植複合体のFe-OH, Fe-OH₂⁺である. これらのPの特異吸着は以下の通りである.



関東ローム層中(秦野市, 平塚市, 赤城村試料)にはゲータイト, マグヘマイトが卓越しているため(岡崎, 佐藤;1989), 以上の反応によりAl規格値で示されるPのローム層中での移動は小さくなると考えられる. またAl, Feのみでなく, Mgはリン酸塩鉱物を形成しやすいため, 前項におけるローム層でのMgの増加が起こる事も考えられる.

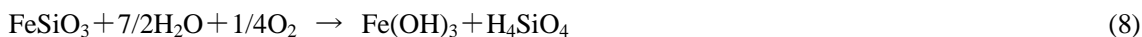
Si:

SiはP同様, アルカリ, アルカリ土類元素に続いて変動率, Al規格ともに移動度が大きい. Siは(1)~(4)式に示される一次鉱物の風化に伴って土壌溶液中に溶出が起きると考えられるが, Siの一部は粘土鉱物(カルセドニー, ハロイサイト, カオリナイト, モンモリロナイト等)や非晶質物質(アロフェン, イモゴライト等)として新たに鉱物や物質を形成し, 土壌中に保持されると考えられる. 溶解した一部のSiはH₄SiO₄として土壌溶液中に溶出するため, 結果としてSiはアルカリ, アルカリ土類元素に比べ変動率, Al規格ともに中間的移動度を示すと考えられる. また, 玄武岩質土壌(秦野市, 八丈島一部)と安山岩質土壌(平塚, 赤城村)の相違についてだが, 変動率, Al規格値の傾向からは大きな相違は見取れない. しかし, 各土壌のXRD分析結果より, 安山岩質土壌中には石英の存在が確認できた事から, 安山岩質土壌の方が玄武岩質土壌よりもSiの移動は起こりにくいと考えられる. これは, 石英の風化抵抗性が非常に大きいためである.

Fe, Ti, Mn:

Fe, Ti, MnはAl同様, 比較的風化抵抗性の大きい元素である. このため, 風化が進行してもFe, Ti, Mnはほとんど溶出せずに, 水酸化物を形成して土壌中に存在し続ける結果, 変動率は高値

を示したと考えられる。例えば Fe の風化過程を考えた場合、以下の(8)式で示されるであろう。



また Fe 水酸化物は頁岩や花崗岩の風化過程において他の元素(主に REE や U)を吸着しやすいとされているが(木村ほか, 1999; 赤川ほか, 2004), 本研究におけるローム層(粘土層)のような比較的 Fe 含有量が多いとされる土壤においても, 重金属元素や希土類元素を吸着しやすいのか, 以下における微量, 希土類元素挙動を解明する上で重要な要因として考慮したい。

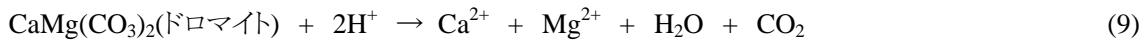
5. 2. 1. 2. 赤黄色土壤 (Red-yellow soil)

アルカリ元素:

赤黄色土壤におけるアルカリ元素(Na, K 等)の変動率は酸性赤黄色土壤, アルカリ性赤黄色土壤ともに減少傾向を示した(Fig.17). しかし, アルカリ性赤黄色土壤においては Na の変動率値はほぼ 100%を示す結果となり, アルカリ元素(Na, K 等) の移動は, pH の低い酸性土壤において(1)~(4)式の反応が著しいと考えられる。しかし, AI 規格値を見てみると, 試料によっては必ずしも変動率で示された傾向を取ってはいない(Fig.28~33). Na, K の傾向は各試料で様々である。前述した黒ボク土, ローム土, 褐色森林土では AI 規格値の傾向は似通っており, AI 規格値で示される傾向を支持したが, ここでは傾向が不均一である事, また変動率を多数の試料で算出している事から変動率で示される傾向を支持したいが, 赤黄色土壤の変動率は PAAS で算出しており, 4. 2. に記したように酸性土壤とアルカリ性土壤中の各元素の風化による移動率を定量的に求める事が目的ではなく, 土壤の相違による傾向の相違を知る事を目的としている。このため同一土壤種での傾向は AI 規格値によって示される傾向を支持したい。この点については新たな検討を必要とすると考えられる。

アルカリ土類元素:

Mg, Ca の変動率はアルカリ性赤黄色土壤においては非常に大きい変動率を示した(Fig.17). Mg, Ca の変動率がアルカリ性赤黄色土壤において高値を示したのは, 本研究におけるアルカリ性赤黄色土壤を構成している源岩がカルサイト, ドロマイトを多く含む琉球石灰岩, 本部石灰岩であるためであると考えられる。酸性赤黄色土壤にもこれらの鉱物が稀に存在していたが(試料番号 21), 含有量が少ない事, また pH より比較的溶解されやすい事((9)式)からアルカリ性赤黄色土壤より低値を取ったと思われる。



しかし、Fig.28～33 を見てみると、酸性赤黄色土壌とアルカリ性赤黄色土壌における Mg, Ca の Al 規格値の傾向は似通っており、どちらの土壌も Mg, Ca は移動を示さない結果となった。変動率の結果から酸性赤黄色土壌においては pH により Mg, Ca を含む鉱物の溶脱が起こりやすいと考えたが、溶脱後の挙動によって Mg, Ca の移動が抑制されている可能性がある。赤黄色土壌にはローム層とは逆に、イライト、スメクタイト、バーミキュライトといった粘土鉱物が多く存在している。これら粘土鉱物は陽イオン交換容量が大きいため、土壌溶液中に溶出したフリーカチオンとの交換が起こりやすいと考えられている(和田ほか, 1991)。粘土鉱物中に固定されたと考えた場合、粘土鉱物の溶解度・溶解速度が低い事から酸性赤黄色土壌中でも土壌中に保持される事も考えられる。このため赤黄色土壌において Mg, Ca は変動率よりアルカリ性赤黄色土壌の方が酸性赤黄色土壌に比べ移動が抑制されると考えられるが、Al 規格値より酸性赤黄色土壌中においても Mg, Ca がほとんど移動していないことが窺える。

P:

P の変動率は Ca, Mg 同様、アルカリ性赤黄色土壌において高値を示し(Fig.17)、Al 規格値では酸性赤黄色土壌、アルカリ性赤黄色土壌ともに不変もしくは僅かな移動傾向となった(Fig.28～33)。

4. 2. 1. 1. に記したとおり P は土壌水中ではリン酸イオン及び有機態リン酸として存在し、土壌への特異吸着を起こす。しかし、前述した黒ボク土、ローム土、褐色森林土や酸性赤黄色土壌のような酸性土壌ではリン酸イオンと特異吸着を起こすと考えられるが、逆に本研究で用いた琉球石灰岩や本部石灰岩を源岩とするアルカリ性土壌においては活性 Al や活性 Fe はリン酸イオンとの反応性が低くなり(関, 1998)、代わって Ca との反応性が高くなる(南條, 1989)。このように酸性、アルカリ性共に P が土壌中に存在しやすくなる要因はあるのだが、本研究においてはアルカリ性赤黄色土壌の方が酸性赤黄色土壌よりも変動率が高値を示したことから他の要因によって P 濃度が支配されている可能性が高いと考えられる。この理由として、酸性赤黄色土壌では P 鉱物(例えば燐灰石)の溶解が起こり、アルカリ性土壌では起こりにくい事が考えられる。これについては後述する。

Si:

Si の変動率はアルカリ性赤黄色土壌が酸性赤黄色土壌を上回る結果となった(Fig.17)。これは pH の低下に伴い、赤黄色土壌を構成している珪酸塩鉱物の溶解((1)～(4)式)が促進される事によ

るものである。Al 規格値を見ても分かるように、赤黄色土壌においても黒ボク土、ローム土、褐色森林土同様、前述した二次鉱物の生成によって土壌中に保持され、アルカリ、アルカリ土類元素に比べ変動率、Al 規格値ともに若干、高値を示す結果となったのだろう。

Fe, Ti, Mn:

Fe, Ti, の変動率は酸性赤黄色土壌において高値を示した(Fig.17)。これは黒ボク土、ローム土、褐色森林土同様、土壌溶液中への溶出が風化抵抗性の強さから起こりにくいからである。Fe化合物、溶存Fe種の熱力学的安定性のpH依存性から考えると、pHの低下に伴い Fe^{3+} として存在し逆にpHの上昇によって $Fe(OH)_3$, $FeO(OH)$ 等として存在しやすくなる(Brookins, 1978)。このことからアルカリ性土壌ほどFeは土壌溶液中に溶出せず安定した状態で存在すると考えられるため、変動率もアルカリ性土壌において高値を取ると考えられたが、本研究試料においては酸性赤黄色土壌、アルカリ性赤黄色土壌の変動率は約 20%の差が生じていた。これはFeが風化の影響を受けにくい結果、他鉱物の著しい溶脱に伴うFe鉱物の濃集であると考えられる。

一方、Mnに関しては火山岩質土壌においてFe, Ti同様、溶脱が起こりにくいと考えられたが、酸性赤黄色土壌においては若干の溶脱が確認された。これは火山岩質土壌が弱酸性土壌であるのに対し、酸性赤黄色土壌は強酸性土壌であるためだと思われる。例えば土壌中のMnが MnO , $MnOOH$, $Mn(OH)_2$ で存在していると考えた場合、各物質の溶解度はFe, Ti鉱物に比べ高い。これは以下で述べる分別溶解実験において、Fe, Tiよりも先にMn酸化物等が抽出されることから明らかである。

5. 2. 1. 3. ラテライト (Laterite)

アルカリ元素, アルカリ土類元素, Si:

ラテライトにおけるアルカリ元素(Na, K), アルカリ土類元素(Mg, Ca), Si の変動率は-40~-90%となり(Fig.18), 可溶成分であるこれら元素の著しい溶脱が覗える。ハワイ諸島のラテライトの源岩は玄武岩であり、秦野市、八丈島(西山, 東山一部)における黒ボク土、ローム土、褐色森林土と同様である事、XRD 分析よりアルカリ元素(Na, K), アルカリ土類元素(Mg, Ca)を含む鉱物として、長石やカオリナイトが確認された事から、ラテライトにおけるアルカリ元素(Na, K), アルカリ土類元素(Mg, Ca), Si の移動は秦野市、八丈島(西山, 東山一部)と同様、(1)~(4)式等の珪酸塩鉱物の溶解によると考えられる。また、XRD 分析より長石、カオリナイトの含有量は少ない事、ラテライトは非常に生成年代の古い土壌であり、温暖で降雨量の多い地域に発達した土壌である事から、溶脱が著しいと考えられる。

P:

P の変動率も-50%前後を示す結果となり、溶脱は起こりやすいと考えられる(Fig.18). 前述したように、P は酸性土壌中では活性 Al や活性 Fe と特異吸着を起こすため、Al, Fe の非常に多いラテライトでは P の移動は抑制されると考えた。しかし、同じ源岩を持つ土壌で比較した場合、変動率値はほぼ同じであり、ラテライト中の P が Al, Fe によって強く保持されやすいという結果ではなかった。この事より、ラテライトにおける P は非常に強い風化作用によって溶脱が起こりやすいと考えられる。

Fe, Ti, Mn:

Fe, Ti, Mn の変動率は-10~20%を示す結果となった(Fig.18). Ti, Mn の変動率は僅かに負を示す結果となったが、これはラテライト中の Al 含有量が非常に高いためである。XRD 分析からラテライト中にはギブサイト、ダイアスポア等、Al 鉱物が非常に多く占めており、源岩に比べ約 3~10%前後 Al 濃度は高い(Table14). また、Ti の含有量も 1~5%前後高くなっており、風化によって溶脱が起こるのではなく、Al 鉱物が非常に多い結果であり、風化が促進されやすい状況下においても、Fe, Ti の風化抵抗性の低さが覗える。また、Mn に関しては酸性赤黄色土壌と同様の事が考えられるだろう。

5. 2. 1. 4. 各土壌における主成分元素挙動の相違

アルカリ, アルカリ土類元素:

アルカリ元素(Na, K), アルカリ土類元素(Mg, Ca), は全ての土壌種において比較的溶脱が起こりやすく、それは酸性土壌である黒ボク土, ローム土, 褐色森林土, 酸性赤黄色土壌, ラテライトにおいて著しいと考えられる。しかし、土壌構成鉱物によっては同じ酸性土壌でも溶脱が抑制される事も考えられ、それは陽イオン交換容量(CEC)の大きいイライト, スメクタイト, バーミキュライトといった粘土鉱物を多く含有する赤黄色土壌でその傾向が見られた。

P:

P は変動率, Al 規格より酸性土壌において溶脱が著しく、アルカリ性赤黄色土壌において移動は抑制されると思われる。P の移動を支配している事として酸性土壌中では Al, Fe 鉱物による特異吸着, アルカリ性土壌中では Ca との反応性の上昇による保持を考えたが、ラテライトにおける P の移動が著しい事から、土壌中のこれら元素量の相違による影響は小さいと思われる。

Si:

Si の移動は P と同様、アルカリ性赤黄色土壌において小さい結果となり、pH への依存性が覗える。しかし、同じ酸性土壌であるが、火山岩質土壌で Si は移動が起こるのに対し、酸性赤黄色土壌では移動が起こりにくい結果となった。本研究で用いた火山岩質土壌は pH6.2~6.7 の弱酸性土壌であり、酸性堆積岩質土壌は pH4.2~6.8 と酸性~弱酸性土壌である。このため Si の溶脱は堆積岩質土壌の方が起こりやすいと考えられるが、変動率が上回った事は pH に依存しているとは考えがたい。各土壌における Si の一次鉱物からの溶解を(1)~(4)式に示したが、その中で(1)、(2)式で示される長石の溶解についてみると、火山岩質土壌においては長石の風化に伴い主にハロイサイトが生成すると考えられるが((1)式)、堆積岩質土壌においては(2)式で示されるように、主にスメクタイトを生成すると考えられる。これらの生成過程における Si の溶出量を考えた場合、ハロイサイトの生成過程のほうがスメクタイトの生成過程よりも Si の溶出量が多い。このため、pH はより低い方が、堆積岩質土壌の方が Si の溶出が抑制されたのだろう。

Fe, Ti, Mn:

Fe, Ti, Mn は全ての土壌種において変動率、AI 規格値ともにほとんど移動は起こりにくいと考えられ、これは Fe, Ti, Mn の風化抵抗性の低さによるものである。Fe, Ti においてアルカリ性土壌に比べ酸性土壌の方が変動率、AI 規格値ともに移動が起こっていない事は、可溶成分の溶脱により土壌中に Fe, Ti 鉱物が濃集する事によるものであると考えられる。しかし Mn に関しては強酸性土壌においては若干の溶脱が起こると考えられる。

5. 2. 2. 微量元素 (Sr, Zr, Th, U)

ここで、微量元素として Sr, Zr, Th, U を取り上げるが、それはこれらの元素の放射性核種が高レベル放射性廃棄物体に存在するためである。

5. 2. 2. 1. 火山岩質土壌: 黒ボク土, ローム土, 褐色森林土

(Andosol, Loam, Brown forest soil)

Sr:

変動率による各元素挙動について考えてみると、Fig.35～38 より Sr は全ての土壌において変動率は負を示す結果となった。XRD より同定された鉱物中で Sr は主に長石、斜長石中に含まれる。Sr は Mg, Ca 同様、アルカリ土類元素であり、物質移動は比較的起こりやすいと考えられるため、(1)～(4)式の反応によって、Sr の溶脱は起こると考えられる。また珪酸塩鉱物の他に火山ガラス中にも多く含まれていると考えられ、火山ガラスの溶解性の高さ(鹿園・大谷, 2003; 鹿園ほか, 2003)から、比較的容易に溶脱が起こると考えられる。

しかし、Al 規格値を見てみると Sr の大きな移動が見取れない試料もある(Fig.41～49)。例えば、秦野 B においては表層から 90cm までの黒ボク土部分では大きな移動傾向が見られるが、90cm 以深(ローム層部分)では移動はほとんど起こっていない(Fig.41)。これは主成分元素である P の挙動と同じである。黒ボク土とローム層の相違として挙げられる事は、珪酸塩鉱物及び Fe 鉱物量の相違である。すなわち、風化進行に伴いローム層中では珪酸塩鉱物量が減少し、Fe 鉱物量が黒ボク土層に比べ増す事である。ローム層部分において Mg は移動が起こりづらく、これは前述した Fe 鉱物及びリン酸イオンによると考えられた。Sr は Mg 同様、アルカリ土類元素であるので、同様の挙動を示してもおかしくはない。ローム層のような P 含有量の大きい土壌では、ベロバイトといったリン酸ストロンチウムを形成している可能性もあるため、Sr はローム層で移動を示さなかった可能性もある。

Zr:

Zr は Al 同様、非常に風化抵抗性が大きく、一般に移動が起こりにくいと考えられている元素である(Moore, 1998; Hill et al. , 2000)。これは Zr (例えばジルコン)の溶解度が非常に低く、溶解速度も遅いためである。

本研究結果から、秦野、赤城、八丈島試料において変動率は減少を示し、平塚試料では大きな増加であった(Fig.35～38)。Al 規格値では全ての試料において移動は不変、もしくは僅かな増加傾向であった(Fig.41～49)。Zr は非常に溶解度が低いため、分析溶液を調整する段階で完全に溶解させるのは困難であり、測定値が正確な値であるか否か判断するのは難しい。これを考慮に入

れた上での両者の傾向から Zr の移動について考えると、AI 規格値で示される移動不変を支持すべきであると考えられる。

Th, U:

Th, Uの移動に関しては試料によって大きな相違となった。全ての試料において変動率は負を示す傾向となった(Fig.35~38)。まず、玄武岩を源岩とする秦野、八丈島(西山, 東山一部)であるが、秦野試料が-20~-50%であるのに対し、八丈島試料はTable18~19 に示されるように、土壌中のTh, Uの量はごく僅かである。特にUに関しては大部分の試料からUが検出されず、風化によって完全に溶出した結果となった。Th, Uは土壌中では主に ThO_2 , UO_2 で存在していると考えられるが、土壌条件によって存在状態を変化させる(Langmuir, 1997)。土壌が酸性かつ酸化的条件下であれば Th^{4+} , U^{6+} となり、土壌溶液中に溶出しやすくなるため、変動率は減少すると考えられる。各土壌の母材である玄武岩や火山灰は火山活動によって噴出され、堆積するが、各土壌の母材の起源である富士山、八丈島西山、東山の活動を比較すると、富士山及び西山はともに1707年まで噴火が起こっており、東山は約2000~3000年前に活動を終えたとされている(大森ほか, 1986)。このことから、表層に近い試料ほど秦野、西山の風化期間は近いと考えられるが、Th, Uの傾向は相違が生じている。両採取地域の相違として、八丈島は秦野に比べ年間降水量が多く、また、平均気温も高い。このため風化が促進され、溶脱も起こりやすい事が考えられるが、採取場所の地質の特徴(褐色森林土は火山灰を含まない(永塚, 1997))からも八丈島試料においてTh, Uの移動が大きかった事も考えられる。秦野市の試料は主に上層が黒ボク土、下層がローム層で構成されており、下層になるにつれて粘土鉱物が多い。このため粘土鉱物表面が負電荷を帯びている事から、Th, Uが風化によって土壌溶液中に溶出しても(Th^{4+} , U^{6+})、粘土鉱物に吸着・固定される事によって土壌中に保持されることが考えられる。しかし、八丈島試料(例えば西山)においては、風化期間が秦野市試料とほぼ同程度ではあるが、粘土鉱物量が秦野市試料に比べ少ない。このため、土壌溶液中に溶出したTh, Uは土壌中に保持される割合が小さい事が考えられる。

安山岩を源岩とする平塚市、赤城村試料において変動率は両地域とも低い値を示し、傾向に相違は無かった。平塚市、赤城村試料も酸性土壌であるため、土壌溶液中に溶出が起こるが、両地域の土壌は秦野市試料同様、ローム層によって構成されているため、粘土鉱物による Th^{4+} , U^{6+} の保持は起こると考えられる。

AI規格値による傾向は、全ての土壌において上部(地表付近)で僅かに移動が起こっているが(Fig.41~49)、下層になるにつれ移動は起こっていない。変動率で示された負傾向が上部で溶出したものによるものとするならば、下層域で移動が起こっていないことは下層域のTh, Uを含む鉱物の

溶解度, 溶解速度, もしくは土壌溶液中に溶出した後の挙動に移動が支配されている事を示しているであろう. 溶出後の挙動として考えられている要因としては, 1)水酸化鉄や粘土鉱物の表面への吸着(Stumm, 1992; 木村ほか, 1999; 鹿園・大谷;2003), 2)二次生成物の結晶構造中への固定, 3)有機物への吸着(Emerson and Husted, 1991)等である. Thに関しては, 本研究試料のようなSi及びPに富む土壌ではXRDより確認できなかった, モナザイト((Ce, La, Nd, Th)PO₄)やハットナイト(ThSiO₄)といった鉱物を形成している可能性もあり, これらの鉱物の溶解度は低いため, 土壌中に存在し続けるとも考えられる. またUは, 黒ボク土, ローム土, 褐色森林土のような火山岩質土壌中では火山ガラスに比較的多く含まれていると考えられるため, 火山ガラスの溶解度の高さより(Berger et al. , 1994), 1)~3)によって移動が支配されると考えられる. 秦野市, 平塚市, 赤城村試料は 1) , 2)として粘土鉱物やアロフェンによってTh, Uを吸着する事が考えられるが, 八丈島試料中にはアロフェンは存在するお考えられるが粘土鉱物量は少ない. しかし, 八丈島試料におけるThのAl規格値は不変もしくは増加となった事から, 火山岩質土壌中のTh, Uの挙動は主にアロフェンやイモゴライトといった非晶質物質によって風化挙動が支配されていると考えられる. また, 1)の水酸化鉄についてだが, 水酸化鉄は全ての土壌中に存在しているが(例えばゲータイト), 土壌pHから考えるとその影響は小さいと考えられる. この水酸化鉄への吸着については後述する.

5. 2. 2. 2. 赤黄色土壌 (Red-yellow soil)

赤黄色土壌における微量元素挙動は Sr, Zr, U についてはアルカリ性赤黄色土壌の方が酸性赤黄色土壌よりも変動率は高値を示す傾向にあった(Fig.39). しかし, Th については相違が無い.

Sr:

両土壌中の Sr の変動率に大差が見られた事については主成分元素である Mg, Ca と同様の原因が考えられる. すなわち, 一般的に源岩である石灰岩中には Sr は多く含まれており, 更に Mg, CaとSrの化学的性質(2価, イオン半径:Ca≒Sr)が似通っているため, (10)式で示されるカルサイト-水溶液間の Sr, Ca のイオン交換反応が起こるのであろう.



このため, アルカリ性赤黄色土壌中では炭酸塩鉱物の溶解が起こりにくいため, Sr が保持されやすいのではないかと考えられる.

しかし, Al規格値よりSrの移動傾向を見てみると(Fig.50~53), 変動率からは酸性赤黄色土壌と

アルカリ性赤黄色土壌において大きな相違が見られたが(Fig.39), Al 規格値においては両土壌とも移動は起こっていないと考えられる(Fig.50~53). (10)式で示されるSrの交換反応による保持は、カルサイト、ドロマイトをほとんど含まない酸性赤黄色土壌中では起こりにくい。このため、Sr の Al 規格値が酸性赤黄色土壌中で移動を示さなかった事は Mg, Ca 同様、赤黄色土壌中の Sr の挙動支配要因としては前述した粘土鉱物への吸着・固定、粘土鉱物中の Ca, Naとの交換反応による部分が大きいと考えられ、その傾向はアルカリ性赤黄色土壌において強い事が考えられる。

Zr:

Zr は黒ボク土、ローム土同様、変動率、Al 規格値ともに移動はほとんど起こっておらず(Fig.39, Fig.50~53), 風化抵抗性の大きさを示唆する結果となった。挙動支配要因としては、黒ボク土、ローム土、褐色森林土と同様の理由が考えられ、酸性赤黄色土壌の方が可溶成分の溶脱が著しい事から、変動率はアルカリ性赤黄色土壌を上回る結果となったのだろう。

Th, U:

Uは酸性赤黄色土壌、アルカリ性赤黄色土壌ともに変動率は正を示し(Fig.39), Al規格値からも移動は起こりにくいと考えられる(Fig.50~53)。土壌中でのUの存在状態は前述した UO_2 で存在しやすいと考えられるため、 UO_2 から U^{6+} への状態変化は酸性赤黄色土壌によってより促され、逆にアルカリ性赤黄色土壌ではUは土壌溶液中に溶出しにくくなり、 UO_2 として安定した形で土壌中に保持される。このため、酸性、アルカリ性において元素の変動率値に差が生じたと思われる。また酸性赤黄色土壌においてUが移動を示さなかったことは次の事も考えられる。本研究試料の酸性赤黄色土壌は源岩として砂岩等によって構成されており、砂岩のような細粒堆積岩中にUは富む事(木村ほか, 1999), 粘土鉱物として吸着能の高いイライト、スメクタイトを有するため、吸着・固定が起こりやすいと考えられ、その結果、Uの移動はほとんど起こらなかったと考えられる。

一方、Th に関して変動率は両土壌ともほぼ同じ値を示し、Al 規格値においても酸性赤黄色土壌とアルカリ性赤黄色土壌の傾向は似通っている事から、Th の移動傾向は両土壌において相違は無いと考えた。4.2.2.1. 同様、ThとUの土壌中での存在状態、溶脱後の状態は似通っていると考えた場合、変動率の傾向はUと同様、酸性赤黄色土壌において移動が起こりやすいと思われる。しかし、両土壌において傾向がほぼ同じであった事は、赤黄色土壌中でのThの存在状態が黒ボク土、ローム土、褐色森林土とは違った状態で存在している可能性も考えられるが、Al 規格値における移動傾向がほぼ等しかった事から、ThはpHによる風化挙動支配を受けにくい事も考えられる。ただし、両土壌中の土壌水の酸化-還元条件がはっきりしていないので、今後の詳しい検討を要する。

5. 2. 2. 3. ラテライト(Laterite)

変動率による各元素挙動について考えてみると、ラテライトにおける微量元素挙動は Fig.40 より Th が約 8%と、若干の増加を示したのに対し、Sr, Zr は-50~-80%と大きな減少を示した。また、U に関しては USGS 玄武岩標準試料値に値が示されていないため変動率の算出を行わなかったが、JB-3 による変動率算出を行ったところ、-2%を示し僅かな減少であった。しかし、Zr の変動率が JB-3 規格による算出において約 0%を示したことから、JB-3 による U の変動率算出結果をラテライト中の U の変動率として考えるのは望ましくない。このため、ラテライトにおける U の変動率については議論を行わない。

Sr:

ラテライトにおける Sr の変動率、Al 規格値が減少を示した事は(Figs.40, 54)、ラテライト中の Mg, Ca と同様の事が考えられ、Sr を含む長石、斜長石の強風化作用による可溶成分の溶脱によるものである。

Zr:

ラテライトにおける Zr について考えてみると、変動率は約-50%を示したが、Al 規格値ではほとんど移動が起こっていない。変動率はこれまでに考えてきた Zr の風化に対する強さを否定する結果となった。ラテライト中には Al 鉱物、Fe 鉱物が非常に多く存在しており(Richard and Blair, 1972)、風化抵抗性の大きい元素鉱物によって土壤の大部分を構成している。このため Zr も溶解度、溶解速度が非常に小さい事から溶脱は起こらずに土壤中に保持されると考えられた。しかし、ラテライトにおいてはそのような傾向を示さなかったことは必ずしも溶脱が起こりにくいわけではない事を示唆している。例えば Moore (1996)による研究では、ハワイ諸島のラテライトにおける Zr の風化による溶脱が報告されており、また、Gardner (2000)においても、ハワイ諸島のラテライトの源岩である玄武岩の風化に伴う Zr の溶脱が起こる事が報告されている。ラテライトの生成は非常に強い風化作用によって齎されるため、風化程度の相違による Zr の溶脱については今後検討する必要がある。

Th:

Th の変動率は約 8%を示す結果となり(Fig.40)、強風化による溶脱は起こりにくい事を示す結果となった。前述したように、黒ボク土、ローム土、褐色森林土において変動率は減少傾向を示したが、Al 規格値から移動がほとんど見て取れなかったことより(Fig.54)、Th はアロフェン等による吸着・固定によって保持されているのではないかと考えた。ラテライト中にはパラゴナイトといったアロフェンと似通った性質を持つ非晶質物質が多く含まれている。このため、パラゴナイトによる Th の

吸着・固定が起こる事で土壤中に保持されている事も考えられる。また、粘土鉱物による吸着・固定も考えたが、ラテライト中に存在する粘土鉱物はその大部分がカオリナイトであり、そのイオン交換・吸着能はそれほど大きくない。僅かにモンモリロナイトといった吸着能の高い粘土鉱物も存在していると考えられているが(Richard and Blair, 1972), 本研究試料からはモンモリロナイトは確認出来なかったため、粘土鉱物による Th の保持は起こりにくいであろう。

5. 2. 2. 4. 各土壌における微量元素挙動の相違

Sr:

Sr は変動率より、酸性土壌である黒ボク土、ローム土、褐色森林土、ラテライト、酸性赤黄色土壌において移動が起こりやすいと考えられ、アルカリ性赤黄色土壌においては移動が起こりにくい結果となった。これは Sr を多く含む鉱物(長石、カルサイト等)の溶解度、溶解速度が pH に依存する事、また Sr が Mg, Ca 同様、比較的物質移動の起こりやすいアルカリ土類元素であるためである。しかし、酸性土壌であるローム土、酸性赤黄色土壌において AI 規格値は移動傾向を示さなかった事から、Sr の移動は土壌構成鉱物種に大きく依存すると考えられる。それは陽イオン交換容量の大きい粘土鉱物(スメクタイト、バーミキュライト等)への吸着・固定やリン酸塩鉱物の形成に伴う土壌中への保持によると考えられる。

Zr:

Zr はラテライトを除く全ての土壌において風化溶脱は起こりにくいと考えられ、それは Zr の溶解度、溶解速度の低さによると考えた。しかし溶解度、溶解速度が非常に小さい事からラテライト以外の土壌における移動支配要因を決定するとするならば、ラテライトにおいても同様の傾向が確認できてもおかしくない。前述したように、ラテライトにおける Zr の溶脱が他の研究によって報告されている事、玄武岩における Zr の溶解が報告されている事から、Zr の風化挙動が溶解度、溶解速度に全て依存するとは考えがたい。また、本研究で用いたラテライトはハワイ諸島の玄武岩、火山灰を母材としており、源岩となる岩石値を比較した場合、黒ボク土、ローム土、褐色森林土の源岩である JB-3 とは若干値に相違がある。風化程度によって Zr の溶脱が起こるのであれば、それがどの程度の期間及び気象条件によって為されるのか、この辺については更なる追求が必要である。

Th, U:

Th, U の挙動に関しては変動率から示される傾向は土壌によって相違があったが、AI 規格値より考えた場合、Th, U は Sr 同様、土壌構成鉱物種に大きく依存すると考えた。すなわち風化抵抗性の低い一次鉱物中に Th, U が多く含まれていても、粘土鉱物や非晶質二次物質の多い土壌に

においては吸着・固定される事によって溶脱が起こりにくい。これは赤黄色土壌のような pH に相違がある土壌において、アルカリ性土壌より酸性土壌における極端な Th, U の溶脱が認められなかった事からも示唆される。黒ボク土のような粘土鉱物量が少なく、土壌構成粘土鉱物が陽イオン交換容量の小さい粘土鉱物(ハロイサイト等)によって構成されている土壌においては Th, U の移動は起こりやすく、逆に赤黄色土壌のような陽イオン交換容量の大きい粘土鉱物を持つ土壌、非晶質物質を多く含む土壌において移動は起こりにくいと考えられる。

5. 2. 3. 重金属元素 (V, Cr, Mo, Co, Ni, Cu, Zn, Pb)

本研究の目的の一つに重金属元素による土壤汚染問題の解明が上げられる。1. のはじめににおいて記したように、土壤汚染問題を解決するにあたって自然のバックグラウンドにおける重金属元素の挙動を解明する事は、汚染状況を的確に把握するためには必要不可欠であると考えられる。現在、土壤浄化技術としては、汚染土壤を掘削し、洗浄する洗浄方法や、土壤構成鉱物特性を利用した不溶化などが土壤汚染回復技術として挙げられる。後者に関しては例えば不溶化方法の一例として、Pbによる汚染を受けている土壤を浄化する方法の一つとしてアパタイト($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F})_2$)処理工法が実用段階にある技術の一つであるが、これは、重金属汚染土壤とリン酸塩などの処理剤を混合し、重金属をアパタイトの結晶内部に封じ込めてしまうものである。重金属を含むリン酸塩鉱物の溶解度や安定性から評価すると、アパタイト処理工法はPb汚染のある中性ないしアルカリ性土壤において、Pbを固定する場合に有効であると考えられているためである(丸茂, 2003)。しかし、一部の赤黄色土壤のようなアルカリ性土壤であれば上述した技術は可能であると考えられるが、火山岩質土壤での重金属元素処理においては、アルミニウムリン酸塩である $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ や鉄リン酸塩の $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ が沈殿する事が予想されるため、これらの鉱物内部にどの程度重金属元素が固定されるかについて検討しなければならない。また、アパタイト処理工法が適さない重金属元素も存在すると考えられるため、それぞれの重金属元素の特性を深く理解し、各元素に適応した不溶化のための技術を見出さなければならない。

そこで以下では、各土壤における重金属元素の風化挙動がどういった要因によって支配されているかについて考える。本研究においては重金属元素としてV, Cr, Mo, Co, Ni, Cu, Zn, Pbについて考えるが、考察を行うにあたってこれら重金属元素をV, Cr, MoとCo, Ni, Cu, Zn, Pbの二つのグループに分けて考える。なぜなら、各元素が風化に伴い一次鉱物中から土壤溶液中に溶出した際の土壤水中での各元素の存在状態を考えた場合、土壤水のpHは6~7であるため、このpH範囲において各元素はV, Cr, Moが陰イオンであるのに対し(Brookins, 1987), Co, Ni, Cu, Zn, Pbは陽イオンとして存在しているためである。

5. 2. 3. 1. 火山岩質土壌:黒ボク土, ローム土, 褐色森林土

(Andosol, Loam, Brown forest soil)

変動率による傾向を見てみると(Fig.55~58), 試料によって各元素の移動度の傾向は様々である. 試料ごとの傾向は以下ようになった.

←起りにくい 起りやすい→

秦野 A: Ni > Co > Zn > Pb ≒ Cu , Cr > V > Mo

秦野 B: Ni ≒ Pb > Zn ≒ Co > Cu , Cr > V > Mo

ローム層: Ni > Co > Zn ≒ Pb ≒ Cu , Cr > V > Mo

平塚: Cu > Zn > Co > Pb > Ni , Mo > V > Cr

赤城 A: Cu > Co > Zn ≒ Pb > Ni , Mo > V > Cr

赤城 B: Cu > Co > Pb > Ni ≒ Zn , Mo > V > Cr

八丈島(玄武岩): Pb > Co > Ni ≒ Zn > Cu , Cr > Mo > V

八丈島(安山岩): Cu > Co > Zn > Pb > Ni , V > Mo > Cr

黒ボク土, ローム土, 褐色森林土における変動率から見る移動の傾向は, 大きく分けて二通りとなった. すなわち, 玄武岩を源岩とするか安山岩を源岩とするかで, 重金属元素の移動の傾向は異なる結果となった. 重金属元素の溶脱は主成分元素同様, 一次鉱物の溶解によって起こる. しかし, 主成分元素の中でもアルカリ, アルカリ土類元素が沈殿・吸着が起りにくく, 固定化されにくいに対し, 重金属元素は固定化されやすい(鹿園, 大谷, 2003). その固定化の程度を支配する要因として, 沈殿, イオン交換, 吸着, 溶存状態が考えられる. 以下では, この物質移動を支配する要因についての考察を行う.

これまでに土壌, 粘土鉱物, 水酸化物による金属元素の吸着の親和度に関する研究が多く成されて来たが(Jenne, 1977; Kinniburgh and Jackson, 1982; Langmuir, 1997), それらによると金属元素の吸着は一般的に以下の(7)に示す Irving-Williams 則に従う.



この Irving-Williams 則とは, 遷移金属元素のコンプレックスの安定度の順序規則性である.

また, 水酸化鉄への吸着の親和度(内圏表面錯体安定度定数; Dzombak and Morel(1990)の拡

散層モデルによる)は、(12)の順序である。

$$\text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Ca} \quad (12)$$

まず、陽イオンであるCo, Ni, Cu, Zn, Pbについて見てみる。Co, Ni, Cu, Zn, Pb の傾向は安山岩を源岩とする赤城、平塚、八丈島試料でほぼ(12)を満たし(ただしPbは合わない)、玄武岩を源岩とする秦野、八丈島試料では(12)とは逆の傾向となり、また、(11)とも異なった傾向であると考えられる。赤城、平塚、八丈島試料が(12)と同じ傾向を示したことから、赤城、平塚、八丈島試料中でCo, Ni, Cu, Zn, Pbは水酸化鉄への吸着が起こり、これら元素の移動は水酸化鉄によって支配されている事が考えられるが、疑問点が存在している。赤城、平塚試料において特にローム層中には、ゲータイトといった鉄水酸化物が存在しているため、水酸化鉄への吸着も考えられるが、Fig.112 を見ると、ゲータイトをはじめ、多くの水酸化鉄の電荷0点(Point of zero net proton charge: PZNPC)はpH=7~8 であり、電荷0点以下のpHにおいては水酸化鉄の表面電荷は $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ となる(Stumm, 1992; Sverjensky, 1994; Langmuir, 1997; 鹿園ほか, 2003)。このため重金属元素(陽イオン)の水酸化鉄への吸着はpHの上昇に伴って起こりやすくなる。黒ボク土、ローム土、褐色森林土は弱酸性土壌であるため、フリーカチオンとして土壌溶液中に存在する重金属元素の多くが、鉄水酸化物であるゲータイトへ吸着されたとは考え難い。水酸化鉄以外の重金属元素の移動支配要因としては粘土鉱物が考えられているが、僅かに存在していた金属イオンを吸着しやすいスメクタイトについて考えてみると、スメクタイトと土壌溶液間のイオン交換は水上・大森(1985)によると次の順序である。

$$\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni} \approx \text{Ca}(\text{Pb}) > \text{Cd} \quad (13)$$

この順序と赤城、平塚、八丈島試料における順序はほぼ一致している(ただし、Pb は合わない)。スメクタイトは同形置換による負電荷を帯びており、水酸化鉄とは異なり、土壌 pH の変化によって表面電荷が変化することはないため(これについては以下の 4.2.4. で詳しく述べる)、フリーカチオンを常に吸着・固定しやすい。以上より、安山岩を源岩とする赤城、平塚、八丈島試料においては微量に存在しているスメクタイトによって Co, Ni, Cu, Zn, Pb の移動が支配されている事が考えられる。しかし、(12)、(13)の傾向はほぼ等しいことから、水酸化鉄への吸着も否定出来ない部分もある。また、赤城、平塚試料と秦野試料は XRD より同定された鉱物に大きな相違が無かったにも

拘らず、傾向が逆になった事は、水酸化鉄や粘土鉱物以外による吸着支配要因があると考えられる。4.2.2.1. で述べたように、黒ボク土、ローム土、褐色森林土中にはアロフェンやイモゴライトの含有量が多い事から、これらに吸着されている可能性も考えられる。しかし、アロフェンも水酸化鉄同様、pH によって表面電荷が変化するため、アロフェンの PZNPC を考えなければならない。丸茂(2003)によると、アロフェンの PZNPC は pH6~9 であると考えられており、土壌 pH の範囲においては陽イオン、陰イオンともに吸着は起こるとされている。このことは、土壌水 pH においては正負両方の表面電荷を持ったアロフェンが共存状態であるという事である。この事は水酸化鉄でも同様の事かもしれない。また、この他の固定化の程度を支配する要因としては、水溶液中での溶存状態が挙げられる。土壌水中でこれらの重金属元素は炭酸塩錯体や有機錯体として存在している可能性がある。炭酸塩錯体、有機錯体(oxalate complex)の安定度定数の順序は(14)に示す通りである(Langmuir, 1997).



この順序と赤城、平塚、八丈島試料の順序はほぼ同一である。このため、土壌溶液中での溶存状態も移動を支配している要因の一つであろう。このように赤城、平塚、八丈島試料においては移動を抑制すると考えられる要因が多数存在していると考えられるが、秦野試料では上述した移動抑制要因に支配されていなかった事やアロフェンやイモゴライトにおける重金属元素の吸着の選択性は明らかでない。このため、重金属元素がどの鉱物中に多く存在し、また土壌中でどういった状態で存在しているかを確認しなければならない。

一方、Al 規格値においては秦野 A と平塚試料の傾向がほぼ(12)を示す結果となったが(Fig.61~63), 秦野 A については変動率と逆の傾向になった。秦野 A における Al 規格値が(12)を満たした事から、Al 規格値による傾向を支持したいが、前述したように、吸着支配要因として挙げられる要因のうち、どの要因によって重金属元素の移動の大部分が支配されているかは定かではない。このため、どちらの傾向が重金属元素の移動傾向を明確に表しているかは断定出来ない。

次に陰イオンである V, Cr, Mo について考える。変動率から見る V, Cr, Mo の移動傾向は Co, Ni, Cu, Zn, Pb 同様、玄武岩質土壌と安山岩質土壌で異なる。V, Cr, Mo の土壌中での固定化要因も主に水酸化鉄、アロフェン、粘土鉱物によると考えられるが、Co, Ni, Cu, Zn, Pb と異なる点はスメクタイトといった 2:1 型粘土鉱物に吸着は起こらない事である。水酸化鉄への吸着は前述した水酸化鉄表面($\text{Fe}(\text{OH})_2^+$)への陰イオンの吸着によるものであり、アロフェンに関しても同様である。V,

Cr, Moは酸化的土壌水中では(pH6~7), H_2VO_4^- , CrO_4^{2-} , MoO_4^{2-} といった状態をとる. これらの表面錯体生成定数($\log K^{\text{int}}$)はLangmuir(1997)によると, VO_4^{3-} (13.57), CrO_4^{2-} (3.9), MoO_4^{2-} (2.4)である. この表面錯体生成定数とは, 以下の反応の平衡定数である.



ここで, M: 金属元素, S: Si, Al等, SOHM^{Z-1} : 表面錯体

変動率から見る傾向と表面錯体生成定数の順序は全ての試料で一致していない. このため固定化の要因としては考え難い. 傾向の相違について考えると, 相違点は Cr と Mo の順序である. Cr, Mo を多く含む一次鉱物に相違があったとしたら, その鉱物の溶解度, 溶解速度の相違が Cr, Mo の変動率の相違となったと考えられるが, 前述したように玄武岩質土壌と安山岩質土壌中の鉱物は XRD 結果からは大きな相違は無く, また, 重金属元素がどの鉱物中に多く含まれているか未知な部分もある. さらに前述した水酸化鉄やアロフェン等に吸着が起こっていたとした場合, V, Cr, Mo は同じ陰イオンの状態で存在しているにも拘らず, 傾向が異なった事も考えなければならない.

一方, Al 規格値による傾向では, 秦野 A においては表面錯体生成定数の順序と一致し, 秦野 B, 赤城, 平塚, 八丈島試料は変動率同様, 一致していない. 秦野 A において Al 規格値が表面錯体生成定数と一致したのに対し, 変動率で一致しなかった事は各規格値を算出するにあたって用いた標準試料の相違によるものであると考えられる. 秦野 A 試料が表面錯体生成定数と一致した事から, Al 規格値による傾向を支持したいが, 秦野 B, 赤城, 平塚, 八丈島試料においては Al 規格値の傾向も表面錯体生成定数の順序と異なったため, 他の要因を考慮しなければならないだろう.

5. 2. 3. 2. 赤黄色土壌 (Red-yellow soil)

変動率より示される赤黄色土壌中の重金属元素の移動傾向(Fig.59)は以下ようになった.

←起りにくい 起りやすい→

酸性赤黄色土壌: $\text{Co} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Pb}$, $\text{Mo} > \text{Cr} > \text{V}$

アルカリ性赤黄色土壌: $\text{Zn} \doteq \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Cu}$, $\text{Mo} > \text{Cr} > \text{V}$

まず, 陽イオンである Co, Ni, Cu, Zn, Pb について見てみる. 酸性赤黄色土壌においては(11)

をほぼ満たす結果となったのに対し(ただし Co は合わない), アルカリ性赤黄色土壌は(12)をほぼ満たす結果となった(ただし Cu は合わない). 赤黄色土壌においても重金属元素の吸着支配要因は **5. 2. 3. 1.** 同様, 粘土鉱物や水酸化鉄への吸着が主な支配要因であると考えられる. 赤黄色土壌中には粘土鉱物や水酸化鉄が非常に多い. その中でも粘土鉱物に関しては黒ボク土, ローム土, 褐色森林土とは異なり, イライト, スメクタイト, バーミキュライトといった pH に影響されない粘土鉱物が卓越している. このため, 陽イオンである Co, Ni, Cu, Zn, Pb の吸着は起こりやすいと考えられる. 酸性赤黄色土壌とアルカリ性赤黄色土壌で傾向が異なった事については次の事が考えられる. 酸性赤黄色土壌, アルカリ性赤黄色土壌ともにイライト, スメクタイト, バーミキュライトは含まれ, 含有量に大差は無い. また, 水酸化鉄に関しても同様である. さらに, 炭酸塩錯体や有機錯体を考えてみても移動傾向は一致しない. このため, 傾向が異なった他の要因が存在していると思われる. 例えば Pb に関して見た場合, アルカリ性赤黄色土壌においては移動が起こりにくいのに対し, 酸性赤黄色土壌では逆に移動は起こりやすい. これは **5. 2. 3.** で述べた, アパタイトへの固定がアルカリ性土壌では起こっているのかもしれない. しかし, アパタイトは XRD 分析からは確認されていない. また, **5. 2. 3. 1.** でも述べたが, 重金属元素がどの鉱物中に含まれているかが未知である. 赤黄色土壌の変動率は PAAS で規格化しているため各元素の溶脱がどの程度起こっているかは判断出来ないが, 変動率結果からはおおむねアルカリ性赤黄色土壌の方が酸性赤黄色土壌よりも重金属元素の移動は起こりにくいといえる. しかし, 元素によっては土壌溶液中での存在状態が同じであると考えられるが(例えば Ni や Cu は 2 価の陽イオンとして考えられる), 変動率の傾向が酸性赤黄色土壌とアルカリ性赤黄色土壌で異なった点など, 重金属元素の土壌中での存在状態は不明な点が多い.

一方, Al 規格値において示される傾向(Fig.75~82)は, 酸性赤黄色土壌は(13)を満たし, アルカリ性赤黄色土壌は(12)を満たす試料と満たさない試料が存在した. 酸性赤黄色土壌の Al 規格値が(13)を満たした事から, 酸性赤黄色土壌における重金属元素は粘土鉱物による吸着が主な要因であると考えられるが, アルカリ性赤黄色土壌は粘土鉱物, 水酸化鉄どちらの要因によって支配されているかは Al 規格値からは判断し難い. しかし, Al 規格値で示される傾向から, 重金属元素の移動は起こりにくいのではないかと考えられる.

次に陰イオンである V, Cr, Mo について考える. 変動率から見る V, Cr, Mo の移動傾向(Fig.59)は, 酸性赤黄色土壌, アルカリ性赤黄色土壌で相違は無いが, V, Cr が酸性赤黄色土壌, アルカリ性赤黄色土壌で大きな相違が無かったのに対し, Mo は酸性赤黄色土壌で移動は起こりにくい結果となった. 前述したように, これら元素は陰イオンの状態で存在していると考えられるため, 僅か

に共存していると考えられる水酸化鉄($\text{Fe}(\text{OH})_2^+$)に吸着していると考えられるが、主な吸着要因として粘土鉱物や水酸化鉄は考え難い。また、変動率で示される傾向は表面錯体生成定数の順序と逆の順序である。

一方、AI規格値で示される傾向(Fig.75～82)も試料によって様々であり、表面錯体生成定数の順序と一致していない。黒ボク土、ローム土、褐色森林土においては表面錯体生成定数に支配されていると考えられる試料が幾つか存在していた。このため、試料によっては変動率で示される傾向よりもAI規格値で示される傾向を支持する事で、V, Cr, Moの移動のされやすさは解明出来る。しかし、赤黄色土壌では両規格値において表面錯体生成定数を満たす試料が存在しなかった事、また酸性赤黄色土壌とアルカリ性赤黄色土壌で傾向に相違が無かった事から、重金属元素(V, Cr, Mo)を多く含む鉱物の特性を詳しく理解する必要がある。例えば赤黄色土壌を構成している鉱物の中で重金属元素(V, Cr, Mo)を多く含む鉱物としては、マグネタイト、イルメナイト、白雲母が考えられるが(Bradl, 2005)、これら鉱物は酸性、アルカリ性両方の赤黄色土壌中に存在している。これら鉱物は風化抵抗性が強い為、風化作用を受けても土壌中に存在し続ける。風化によって可溶成分は溶出されるが、これら鉱物を構成している元素はFeやTiといった溶解度の低い鉱物であるため、風化によって堆積し、結果としてアルカリ性土壌よりも酸性土壌中に卓越しやすい。しかし、本研究試料においてはこれら鉱物量に大きな相違は無かった事、また、V, Crが変動率及びほとんどのAI規格値において僅かに移動傾向を示したのに対し、Moは変動率において60～110%と高値を示し、AI規格値においても移動が起こっていない試料が多かった事から、土壌構成鉱物を細部まで知る必要がある。例えばBradl(2005)によると、本研究で用いた赤黄色土壌の源岩である砂岩や石灰岩中のMoの平均濃度は、砂岩が3ppmに対し石灰岩では0.79ppmと約4倍の濃度差があるが、各源岩中のどの鉱物に多く含まれているかは定かではない。Moの一次鉱物としてはモリブデナイト(MoS_2 , $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$)やヨルディサイト(amorphous MoS_2)、水鉛鉛鉱(PbMoO_4)が挙げられるが、これら鉱物が砂岩や石灰岩中に含まれているかはPbを含んでいると考えられるアパタイト同様、未確認鉱物である。Moの変動率が酸性赤黄色土壌で大きく上回った事は単に源岩中の濃度が高ただけかもしれないが、風化がより進む酸性土壌であるにも拘らずMoの溶出が認められなかった事は、土壌中の存在状態を確認しなければならない。

5. 2. 3. 3. ラテライト (Laterite)

変動率より示されるラテライト中の重金属元素の移動傾向は以下ようになった(Fig.60). なお, 変動率を算出するにあたって用いた USGS: 玄武岩標準試料値中に Mo のデータが無かったため, ここでは Mo の議論は行わない. また, Al規格値においても変動率とほぼ同様の傾向を示すと考えられる.

←起りにくい 起りやすい→

$Pb > Ni > Co \approx Zn \approx Cu$, $Cr > V$

まず, 陽イオンである Co, Ni, Cu, Zn, Pb について見てみる. ラテライトにおける重金属元素の傾向はほぼ(12)を満たしていると考えられる(ただし Ni は合わない). ラテライトが(12)を満たしたのは, ラテライト中には非常に鉄鉱物が多いためであると考えられるが, 4. 2. 3. 1. でも述べた水酸化鉄の表面電荷を考慮に入れた場合, Pb が+80%超の変動率を示す影響が水酸化鉄によってなされたとは考え難い. ラテライト中にはギブサイト, ベーマイト, ダイアスポアといった Al 鉱物が非常に卓越しており, その中でもギブサイトは非常に多い. ギブサイトへの吸着・固定を考えてみても, 低 pH においては水酸化鉄同様, 表面電荷がプラスとなり(Langmuir, 1997), 大きな支配要因とはならないだろう. また, 粘土鉱物への吸着だが, ラテライト中には僅かにカオリナイトが含まれるが, この鉱物の表面電荷も pH によって変化し, 低 pH においてはプラスになると考えられるため, 吸着は起りにくい. さらにカオリナイトは陽イオン交換容量が 2:1 型粘土鉱物に比べ小さいため, イオン交換も起りにくいと考えられる. さらにパラゴナイトにおいてもアロフェンと同様の事が考えられる. 炭酸塩錯体や有機錯体といった溶存種の安定度の傾向とも異なる.

次に陰イオンである V, Cr, について考える. 変動率から見る V, Cr, の移動傾向(Fig.60)は, Cr が僅かな移動を示したのに対し, V は大きな移動傾向を示す結果となった. この傾向は表面錯体生成定数の順序とは異なる. 陰イオンであるこれら元素は, 水酸化鉄やギブサイト, パラゴナイトに吸着されやすいと考えられる. しかし, ラテライトは酸性土壌であるため, カチオン種である水酸化鉄やギブサイト, パラゴナイトが卓越していると考えれば, 変動率値も Co, Ni, Cu, Zn, Pb に比べ V, Cr, の方が大きくなってもおかしくないが, 結果として V の変動率値が最小を示したことから, ラテライト中の吸着要因である水酸化鉄やギブサイト, パラゴナイトは共存状態である可能性が高い.

5. 2. 3. 4. 各土壌における重金属元素挙動の相違

重金属元素の移動支配要因として様々な要因が考えられるが、陽イオン(Co, Ni, Cu, Zn, Pb), 陰イオン(V, Cr, Mo)ともに全岩分析のみでは解明する事が難しい。

Co, Ni, Cu, Zn, Pbといった陽イオンとして土壌中に存在していると考えられる元素に関しては、土壌種によっては移動が抑制されやすいと考えられる。その傾向は、黒ボク土、ローム土、褐色森林土、ラテライトよりも 2:1 型粘土鉱物を多く含有する赤黄色土壌において強く見られると考えられる。また、水酸化鉄による吸着も起こると考えられるが、土壌水中での水酸化鉄の存在状態を考えた場合、全ての土壌種において大きな吸着支配要因にはならないだろう。

V, Cr, Mo といった陰イオンの吸着は、全ての土壌において同様の支配要因が考えられたため、土壌による移動抑制の相違をはっきり見出すことは難しいと考えられる。

そこで重金属元素の存在状態(主にどういった鉱物中に吸着・保持されているか)をより詳しく解明するために主成分分析を行った。主成分分析については別項に記す。

5. 2. 4. 希土類元素 (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)

本研究の目的の一つとして放射性核種である Am や Cm といった元素の挙動を知るために、イオン半径や電荷等が似通っている化学的類似元素として考えられている(Kevin and Klaus, 1995) 希土類元素の挙動解明が挙げられる。従来、天然水試料中の希土類元素濃度が非常に低濃度であることから、希土類元素は風化による水-岩石反応において岩石中からほとんど溶脱することはないと考えられてきた(例えば, Taylor and McLennan, 1985)。しかし近年、風化岩石の希土類元素組成が明らかになるにつれ、むしろ希土類元素は風化により溶脱する元素であるとされている(Macfarlane et al. , 1994; 木村ほか, 1999)。

5. 2. 4. 1. 火山岩質土壌: 黒ボク土, ローム土, 褐色森林土

(Andosol, Loam, Brown forest soil)

変動率による元素挙動について見てみると(Fig.84~87), 秦野市, 赤城村, 八丈島試料において希土類元素の変動率は負を示し, 平塚市試料においては一部の希土類元素を除いて負を示す結果となった。また, AI 規格値より示される傾向を見てみると(Fig.90~102), ほぼ全ての試料において移動傾向を示す結果となったが, ローム層においては希土類元素の移動は起こっていないと考えられる。この傾向は特に秦野試料のローム層において強く見られ, 希土類元素の移動抑制が働いていると考えられる。また, 軽希土類元素が重希土類元素に比べ移動が起りやすい事も見て取れる。希土類元素の移動メカニズムを支配すると考えられる要因としては

- 1)希土類元素を含む鉱物の溶解度, 溶解速度,
- 2)水酸化物等の鉱物の沈殿,
- 3)炭酸塩鉱物中への再濃集,
- 4)溶出後の吸着・固定,

が挙げられる(German and Elderfield, 1990; Koeppenkastrop and De Carlo, 1992; 木村ほか, 1999; Ohta and Kawabe, 2001; Compton et al. , 2003; 鹿園ほか, 2003)。

黒ボク土, ローム土, 褐色森林土において希土類元素を多く含む鉱物としては, 長石や火山ガラスであり, これら鉱物の溶解度は比較的大きい。このため 1)による希土類元素の溶出は起こると考えられる。しかし, AI 規格値で示されるローム層で移動がほとんど起こらなかった事は, ローム層においては 2)~4)のいずれかの要因によって希土類元素の溶出が抑制されていると考えられる。希土類元素の水酸化物の溶解度積は各希土類元素によって大きく異なるが, 本研究においては, 各希土類元素の移動度に大差は無い(平塚・赤城試料は除く)。また, 一次鉱物中の希土類元素濃度は低いため, 溶解した希土類元素濃度は低く, 溶解度積を越える事は考えがたい(鹿園ほか, 2003)。従って 2)は考え難い。黒ボク土及びローム層中では炭酸塩鉱物は確認されなかったため,

これも 2)同様、主要な要因としては考え難い。4)の水酸化鉄や粘土鉱物といった鉱物への吸着・固定を考えると、5. 2. 3. 1. でも述べたが、水酸化鉄の場合、土壌 pH と鉱物の表面電荷を考えた場合、大きな要因にはなりにくい。また、粘土鉱物への吸着だが、ローム層においては僅かにスメクタイトが確認されたが、大部分の粘土鉱物はハロイサイトであるため、その陽イオン交換容量は小さく、これらの粘土鉱物に吸着されたとは考え難いが、非晶質スメクタイトが存在している可能性がある。このため、ローム層中での希土類元素の移動を抑制していると考えられる要因として非晶質物質であるアロフェンおよびスメクタイトへの吸着が考えられる。

5. 2. 4. 2. 赤黄色土壌 (Red-yellow soil)

変動率から見る赤黄色土壌中の希土類元素挙動は(Fig.88)、大部分の元素においてアルカリ性赤黄色土壌が酸性赤黄色土壌の変動率を上回る結果となった。またAl規格値における傾向としては(Fig.103~110)両土壌とも移動傾向は見て取れない。また、重希土類元素が軽希土類元素に比べ移動が起りやすい事も見て取れる。前述した希土類元素の移動メカニズム支配要因から赤黄色土壌中の希土類元素挙動について考えてみると、XRD分析より同定された土壌構成鉱物より、希土類元素を多く含んでいると考えられる酸性赤黄色土壌、アルカリ性赤黄色土壌中の主要構成鉱物に大きな相違は無く、また風化進行度から考えた場合、酸性赤黄色土壌の方が風化によって長石から粘土鉱物等へと変化しているが、中・重希土類元素の変動率が 100%以上を上回るほどの影響を及ぼすほどの差異が珪酸塩鉱物の含有量に依存してはいないだろう。従って 1)は考えにくい。アルカリ性赤黄色土壌は源岩が琉球石灰岩、本部石灰岩であるため、酸性赤黄色土壌よりも炭酸塩鉱物量は多いが、これも 1)同様、大きな要因としては考え難い。希土類元素の吸着は主にFe鉱物や粘土鉱物に起りやすいと考えられている(木村ほか, 1999)。これらの鉱物について考えてみると、Fe鉱物に関しては酸性赤黄色土壌、アルカリ性赤黄色土壌ともほぼ同じ鉱物種を有し、含有量に差は見られない。また風化花崗岩中において希土類元素はFe沈殿物以外にもMn沈殿物中に保持されると考えられているが(赤川ほか, 2004)、本研究試料においてはFe同様、土壌中のMn含有量に差異はみられない。僅かに含まれる(0.1~0.3%)Mn酸化物(MnO_2)の表面電荷は酸性土壌において負電荷を帯びるため(Langmuir, 1997)、吸着は起こると考えられるが、これも大きな要因にはなりえない。次に溶出後の吸着・固定だが、これは一般的に粘土鉱物に対しての挙動が考えられているが、一般的に陽イオン交換容量(CEC)が大きいとされているスメクタイトグループの鉱物の含有量も大差無く、全体的な含有粘土鉱物もほとんど同種である。また本研究でのアルカリ性赤黄色土壌中の粘土鉱物の大部分はメタハロイサイトと言われており(永塚, 1997)、そ

のCECは小さく、希土類元素を保持し易いとは考えがたい。スメクタイト、イライト等の2:1型粘土鉱物のCECは大きく、REEについても吸着・イオン交換能が大きいと考えられる。これらの粘土鉱物は一般的に中・重希土類元素よりも軽希土類元素の方を固定化しやすいと思われる。Fig.34をみると、酸性赤黄色土壌、アルカリ性赤黄色土壌の軽希土類元素(La, Ce, Nd)の変動率に相違がみられない。この事と、酸性赤黄色土壌、アルカリ性赤黄色土壌中の粘土鉱物種に差がみられない事、及び2:1型粘土鉱物のCECが大きい事より、軽希土類元素についてはスメクタイト、イライト等に吸着・イオン交換されたと考えるのが良いと思われる。一方、中・重希土類元素についてはこのような原因は考えにくい。

アルカリ性赤黄色土壌中の中・重希土類元素の変動率が酸性赤黄色土壌中のそれを上回った事は、源岩中に含まれる希土類元素を多く含む鉱物の相違という原因が考えられる。しかし、XRD分析でははっきりとした構成鉱物の相違が見出されていない。そこでこの点を解明するために主成分分析を行ったが、これについては後述する。

5. 2. 4. 3. ラテライト (Laterite)

ラテライトにおける希土類元素の変動率は全ての元素で負を示す結果となり(Fig.89)、各元素における傾向は同じ玄武岩を源岩とする秦野市試料と似た傾向を示した。また、Al規格値で示される傾向(Fig.111)も同様のことが言える。ラテライトにおいても希土類元素を多く含む一次鉱物としては長石や火山ガラスが考えられ、これらの溶解度、溶解速度は大きい。このため一次鉱物からの溶脱は起こりやすいと考えられる。溶脱後の挙動としては前述した粘土鉱物、Fe 鉱物への吸着・イオン交換等が考えられるが、ラテライト中に含まれる主な粘土鉱物はカオリナイトであり、カオリナイトの陽イオン交換容量は小さい事からこれは考え難い。また水酸化鉄への吸着もラテライトが酸性土壌である事から、前述したように水酸化鉄の表面電荷がプラスとなり、これも考え難い。また、5. 2. 3. 3. でも述べた、ギブサイト、ベーマイト、ダイアスポアといったAl 鉱物による吸着・固定も低pHにおいては水酸化鉄同様、表面電荷がプラスとなり考え難い。このため、ラテライトにおける希土類元素の移動を抑制している要因があると考えた場合、その要因は非晶質物質であるパラゴナイトによると考えられる。これは黒ボク土、ローム土、褐色森林土における希土類元素の溶脱抑制がアロフェンによるものであると考えた場合、アロフェンとパラゴナイトは同じ非晶質物質であり、また火山ガラスの変質によって生成するためである。

4. 2. 4. 4 各土壌における希土類元素挙動の相違

全ての土壌において一次鉱物の溶解に伴って土壌溶液中に溶出すると考えられるが、溶出後も粘土鉱物や非晶質二次物質によって吸着・固定は起こると考えられる。この傾向は秦野試料 B において強く見られ、黒ボク土からローム土へ変化するに伴って希土類元素の移動は抑制されていると考えられる。このためローム土や赤黄色土壌といった粘土鉱物、非晶質二次物質の多い土壌においては希土類元素の抑制は抑えられると考えられる。また、希土類元素間の移動されやすさの相違が土壌によって異なった点は次の事が考えられる。

Fig.113～115 に未風化試料に対する希土類元素の枯渇を示すが、Fig.90～110 のAl規格値が示す傾向と同様、軽希土類元素と重希土類元素の移動傾向が黒ボク土、ローム土、褐色森林土と酸性赤黄色土壌で異なっていると考えられ、特に粘土鉱物の多いローム層試料(平塚)と赤黄色土壌で明瞭に異なっていると見える。すなわちこれは次の様に解釈される。酸化条件下における土壌中の希土類元素が+3 価で存在していると考えられる場合、各希土類元素の水和半径はイオン半径が大きくなると共に小さくなり、水和傾向が弱くなると考えられる。イライトやスメクタイトといった層状構造を持つ 2:1 型粘土鉱物において K^+ 、 NH_4^+ 、 Li^+ 、 Na^+ といった同価のイオンを考えた場合、 K^+ 、 NH_4^+ といった結晶イオン半径の大きい元素の方が水和イオン半径が小さく、粘土鉱物の負電荷によって鉱物表面に吸着した際、脱水エネルギーが小さい Si-O 原子面を構成する酸素 6 員環の中央の空所に入り込みやすく、結果として鉱物中に固定されやすいと考えられている(和田ほか, 1991)。本研究試料の赤黄色土壌中にはイライトやスメクタイトといった 2:1 型粘土鉱物が多く存在しており、CECの大きさから吸着が起こり易く、軽希土類元素の方が重希土類元素のイオン半径より大きいと水和が起こりにくく、これらの粘土鉱物中に固定されやすくなるため、移動が起こりづらいと考えられる。逆に黒ボク土、ローム土、褐色森林土においてはイライトやスメクタイトといった鉱物はほとんど存在していないため、上述した粘土鉱物による軽希土類元素の固定は起こりにくい。黒ボク土、ローム層中にはアロフェンが多く含まれており、アロフェンの持つ負電荷はイライトやスメクタイトの同形置換による負電荷とは異なり、鉱物結晶端の破壊原子価部位や非晶質アルミノ珪酸塩、水酸化物表面に存在する水酸基に基づく荷電である(南條, 1989; 丸茂, 1995)。これは次の(15)式で表される。



このため、水和イオン半径の大きい重希土類元素の方が軽希土類元素に比べ、アロフェン表面

での表面錯体(水酸化物錯体)の形成が起こりやすいと考えられる。ローム層中においては赤黄色土壌とは逆に重希土類元素の移動が抑制されると考えられる。

以上より、希土類元素の挙動支配要因としては粘土鉱物、二次生成物への吸着・固定が主たる要因として考えられる。軽希土類元素の移動抑制が起こりやすい土壌としては、黒ボク土、ローム土、褐色森林土より赤黄色土壌の方が抑制が起こりやすいと考えられ、逆に重希土類元素に関しては、黒ボク土、ローム土、褐色森林土の方が赤黄色土壌よりも抑制は起こりやすいと考えられる。また、ラテライトにおける希土類元素の挙動は、Fig.115 より黒ボク土、ローム土、褐色森林土とは異なり、赤黄色土壌と似た傾向である。ラテライト中には赤黄色土壌中の希土類元素の移動を支配していると考えた、2:1型粘土鉱物はXRD分析からは確認出来なかったため、ラテライト中の希土類元素の挙動支配要因としては、ゲータイト、ギブサイトといった水酸化物によるものではないかと考えられる。しかし、水酸化鉄等への吸着は水酸化鉄が持つ負電荷がアロフェンといった非晶質物質同様の要因によって生み出されているため、軽希土類元素の移動が重希土類元素よりも起こりにくかったことから、水酸化物への吸着ではなく、水酸化物の生成の際に結晶内部に取り込まれたことによるのかもしれない。この点については今後の課題である。

5. 3. 主成分分析

これまで各元素の風化挙動支配要因を考えるに当たって、変動率、AI 規格値及び土壌構成鉱物の理化学的性質などをもとに考察を行ってきた。しかし、それらだけでは解明できない点も存在した(例えば赤黄色土壌における希土類元素の挙動支配要因など)。土壌中の微量元素、重金属元素、希土類元素は ppm~ppb オーダーで存在しており、元素によってはどの鉱物中に多く存在しているか未知な部分が多い。例えば U について考えた場合、木村(1999)や Bradl(2005)らによると、砂岩のような細粒堆積岩中に U は富むと考えられており、砂岩を源岩とする酸性赤黄色土壌の一部では U の風化挙動を考えるに当たって重要な一因となる。しかし、XRD 等の分析結果から U を多く含む鉱物が確認できれば問題は無いが、それが不可能である場合、U が土壌中でどの鉱物に多く含まれているか確認出来なくては、変動率や AI 規格値及び土壌構成鉱物の理化学的性質などによって風化挙動を考える事は難しいと思われる。そこで、ここでは多変量解析法の一つである主成分分析を行い、さらなる検討を行った。

主成分分析とは数あるデータポイントから存在状態の近い重要な元素同士を一致させることが出来る多変量解析法である(菅, 1996)。例えば岩石中の Ca 含有量は長石や炭酸塩鉱物中に含まれる Ca やその他の鉱物中の Ca 等、多数の鉱物中の元素含有量の総和であり、単純に Ca 含有量から存在状態を検討するのは困難である。

主成分分析を用いることで多数の化学パラメーターを意義のある少数のパラメーターに集約させることが出来る。主成分分析は主成分と呼ばれる変数をデータセットの基の変数から新たに派生させる方法であり、基の変数とは異なり主成分は互いに相関しないように定義される。また各主成分は説明する基のデータの変動量に従って順序付けられ、例えば主成分 1 が変動の最大部分を説明し、主成分 2 がその次に大きな部分を説明する。最初の 1, 2 または 3 の主成分がほとんどの変動を説明するので、他の主成分を無視することが出来る。

本研究において、AI は風化がほとんど起こらないとしたうえで、これまでの議論を行ってきた。そのため主成分分析を行うにあたって、各元素濃度ではなく変動率値を用いて主成分分析を行った。また、ここまで考察を行うにあたって、元素によっては変動率から示される傾向よりも AI 規格値によって示される傾向を支持した元素もあったが、AI 規格値を算出できない試料が多数存在しているため(例えば赤黄色土壌や褐色森林土のように深さ方向での採取試料が全体の試料数に比べ少ない土壌)、変動率を用いて解析を行った。なお、これまでの考察では主成分元素、微量元素、重金属元素、希土類元素と分けて考察を行ってきたが、主成分分析においては重金属元素と放射性核種類似元素として二つに分けて解析を行った。

5. 3. 1. 火山岩質土壌:黒ボク土, ローム土, 褐色森林土(Andosol, Loam, Brown forest soil)

5. 3. 1. 1. 重金属元素

変動率および AI 規格値より重金属元素の傾向は大別して玄武岩質土壌と安山岩質土壌に分別出来たが, 重金属元素の移動支配要因を全岩分析結果から決定することは困難であった. そこで, 重金属元素が土壌中でどのような鉱物中に存在しているかを主成分分析を行う事で, XRD 分析結果とともに考える.

主成分分析結果より(Table31~38, Fig.116~122), 秦野, 赤城, 平塚の試料においては主成分 1~3 によって, 八丈島試料は主成分 1~5 によって本研究における試料特性の約 8 割を占めていることがわかる. それぞれの試料特性について見てみる.

秦野:

秦野 A において重金属元素(Cu, Pb, V は除く)は, Si やアルカリ元素, アルカリ土類元素と近い所にプロットされている事から(Fig.116-A), 主に珪酸塩鉱物中に含まれていると考えられる. ここで考えられる珪酸塩鉱物としては, XRD 分析より確認された長石, 斜長石, また, 火山灰土壌中に多く含まれるアロフェンと考えられる. しかし, Fig.116-A は主成分 1 を満たしていないため, 秦野 A 試料中でこれら重金属元素の占める割合は小さいと考えられる. また同様に, Fig.116-B で示される Cu, Pb, V といった元素も主成分 2 を満たしていないため, 試料特性を表す要因の一つとしては考え難いが, ここでは Fe, Ti, Mn と近い所にプロットされている事から, 主にマグネタイトやイルメナイト, Mn 酸化物中に多く含まれている事が覗えるだろう.

秦野 B においては Cu, V を除く重金属元素が主成分 1 において相関が良いと考えられ, (Fig.116-C, D), Fig.-C, D からこれら元素を含む鉱物としては Ca, Mg と相関が良い事から, 輝石や微量に存在していると考えられる非晶質スメクタイトが考えられる. また, カルサイトといった XRD 分析からは見出せなかった微量の炭酸塩鉱物が存在し, それら鉱物中に重金属元素が濃集している可能性も考えられるが, 秦野試料は弱酸性土壌であるため, 炭酸塩鉱物は存在し難いと思われる. また, 主成分 2 としてマグネタイトやイルメナイト, Mn 酸化物も考えられたが, 主成分 2 が示す値が 0.2~0.4 と大きくないため, これら鉱物中に含まれている割合は小さいと考えられる. Cu, V を考えてみると, Si と近いところにプロットされていることから火山ガラスやアロフェンが考えられるが, これも前述したマグネタイトやイルメナイト同様, 大きな要因とは考え難いだろう. ローム層においても Co, Ni, Zn, Cr は秦野 B の主成分 1 同様, 輝石や非晶質スメクタイト中の存在が考えられ (Fig.116-E), Mo はマグネタイトやイルメナイト, Mn 酸化物, リン酸塩鉱物中に存在していると考え

られる(Fig.116-F). Cu, Pb, V に関しては鉱物を特定するのは難しい.

平塚:

平塚試料において Co, Cu, V はマグネタイトやイルメナイト, Mn 酸化物に含まれていると考えられるが(Fig.118-A), その割合は小さい事が主成分 1 より考えられる. また, Ni, Zn, Pb, Cr も主成分 1 では Si, 主成分 2 から Fe と近い所にプロットされているが, 各主成分値の絶対値が低いため, これは断定し難い. 主成分 3 から Ni, Cr の相関は良いと考えられるが, この 2 元素からは鉱物を特定出来ず, 他の元素も主成分値の絶対値が低い事から同様の事が言える.

赤城:

赤城 A において Co, Zn, V は Fig.119-A より, 秦野 A 同様, 珪酸塩鉱物やマグネタイトやイルメナイト, Mn 酸化物中に含まれていると考えられる. 主成分 1 の 2 番目の要因として Ni, Cu, Pb と P の相関が良いと考えられるが Fig.119-B, これだけではどの鉱物中に含まれているかを考えるのは難しい. 赤城 A は下層にローム層が存在しているため, ローム層中に多いとされるリン酸塩鉱物中に含まれている事も考えられるが, ローム層における P の特徴として Fe と相関が良い事から(南條, 1989), 断定は出来ない. また, 主成分 1 が 0.3~0.4 前後であるため, 主成分 1 を占める大きな要因とは言い難い. このため, 主成分分析からは Ni, Cu, Pb の存在状態を判断する事は難しいだろう.

赤城 B において Ni, Pb, V, Mo は珪酸塩鉱物, マグネタイトやイルメナイト, Mn 酸化物に含まれていると考えられるが(Fig.119-C), 秦野 A 同様, 赤城 B 試料中でこれら重金属元素の占める割合は小さいと考えられる. Co, Cu, Pb, Cr は主成分 1, 2 からは特に鉱物を断定出来なかった. また, 主成分 3 より Co, Ni, Cu, Cr の相関が良いと考えられるが(Fig.120-A), 主成分 3 からも鉱物を特定し難い.

八丈島:

八丈島試料(玄武岩質)において重金属元素(V, Co, Cu, Pb)は Fig.121-A より, Si, Ca, Na と近い所にプロットされている事から, 長石, 斜長石, 粘土鉱物に含有もしくは吸着されていると考えられる. また, Ti, Fe とも近く, 重鉱物の存在も考えられるだろう. しかし, Cr, Mo, Ni, Zn といった元素は Fig.121 からはどういった鉱物中に多く含まれているかは判断し難い. Fig.122 から, Zn や Mo は Ti や Mn と近い所にプロットされていることから重鉱物の存在も考えられるが, 主成分値の絶対値が低いため, 主成分分析からは主要な要因として判断するのは難しいだろう.

八丈島試料(安山岩質)においては V, Mo, Co, Cu, Zn は重鉱物中に多く存在する事が考えられるが(Fig.121-B), Cr, Ni, Pb は判断し難い. Mn と比較的近い所にプロットされている事から Mn

酸化物も考えられるが、前述したように絶対値の低さより大きな要因とはなりえないだろう。

以上より、黒ボク土、ローム土、褐色森林土中の重金属元素(V, Cr, Mo, Co, Ni, Cu, Zn, Pb)は主に珪酸塩鉱物やマグネタイトやイルメナイト、Mn 酸化物に含まれている可能性が高い事が考えられるが、土壌によって各元素を含んでいると考えられる鉱物が異なるため、主成分分析から鉱物による元素の選択性(吸着・固定など)を考えるのは難しい。この事は赤城 A における主成分 1 が顕著に示している。赤城 A における主成分 1 の 1 要因として、珪酸塩鉱物やマグネタイト、イルメナイト、Mn 酸化物を考えたが、これら鉱物を構成している主元素である Si, Fe, Ti, Mn, アルカリ、アルカリ土類元素がほぼ同じ主成分値を取っているため、どちらに多いかは判断し難い。また、秦野 B においては XRD 分析からは確認出来なかった炭酸塩鉱物の存在が示唆された。前述したように土壌中に微量に存在している可能性もあるが、土壌 pH から考えると断定出来ない部分もある。

5. 3. 1. 2. Sr, Zr, Th, U, 希土類元素

変動率から見られた微量元素(Sr, Th, U)、希土類元素の傾向は平塚試料の中・重希土類元素を除く全ての元素で移動傾向を示した。主成分分析結果を見てみると(Table42~49, Fig.126~132)、全ての土壌において主成分 1~3 によって本研究におけるサンプル特性の約 8 割を占めていることが分かる。各土壌における相違としては、赤城 A 試料、平塚試料においては微量元素、希土類元素によって主成分 1 を満たしているが、秦野試料、赤城 B 試料においては主成分 1 を満たしていない事が見て取れる。このため、秦野試料、赤城 B 試料においては微量元素、希土類元素以外の元素(例えば重金属元素)によって試料特性を表していると考えられる。各土壌における微量元素、希土類元素の存在状態としては次の事が考えられる。

秦野:

秦野 A においてはアルカリ元素、アルカリ土類元素、Si と近い所にプロットされる事から(Fig.126-A)、希土類元素は主に珪酸塩鉱物中に存在している事が覗え、4. 2. 4. 1. で考えたアロフェンによる吸着・固定も起こっている可能性が強い。また、微量元素に関しては Ti, Fe, Mn と近い所にプロットされているため(Fig.126-B)、マグネタイト、ジルコン、水酸化鉄といった重鉱物中に多く存在しているのであろう。秦野 B における希土類元素は秦野 A とは異なり、珪酸塩鉱物中ではなく、重鉱物中に存在している事が考えられ(Fig.126-C)、微量元素も同様である。秦野 B のローム層部分においては、希土類元素と Th が近い所にプロットされている(Fig.126-D)。5. 2. 2. 1. において、Th の一次鉱物からの溶脱後の挙動として、モナザイト((Ce, La, Nd, Th)PO₄)の存在による移動抑制を考えた。XRD 分析からはモナザイトは確認出来ず、また P のプロットが主成分 1 として考えた場

合、希土類元素、Thとずれている事から(Fig.126-E) , 断言する事は難しいかもしれないが、モナザイトの存在している可能性が主成分分析より高くなったと考えられるであろう。

平塚:

平塚試料においても赤城 A 同様、希土類元素、微量元素は主成分 1 を満たしていると考えられるが、平塚試料においては希土類元素のプロットが軽希土類元素と中・重希土類元素で異なっている。変動率の結果からも平塚試料においては軽希土類元素と中・重希土類元素で異なっている。軽希土類元素はマグネタイト、イルメナイト、モナザイト中に含まれていると考えられ(Fig.128-A), 中・重希土類元素はジルコンであると考えられる(Fig.128-B)。また、Si と近い所にプロットされている事から、珪酸塩鉱物の存在を考えたが、Ca, Na とずれているため断言はし難い。微量元素に関しては軽希土類元素同様、マグネタイト、イルメナイト、モナザイト中に含まれていると考えられるだろう。

赤城:

赤城 A において希土類元素、微量元素は主成分 1 を満たしており、全ての元素が主成分 1 において正を示した事から、赤城 A においては主成分 1 によって示される鉱物の存在量は非常に多い事が考えられ、希土類元素は主に珪酸塩鉱物やモナザイト、微量元素は重鉱物中に含まれている事が考えられる(Fig.129-A)。

赤城 B における希土類元素は主に珪酸塩鉱物、重鉱物中に含まれている事が視え(Fig.129-B), Th といった微量元素も同様の事が考えられる。しかし、Sr や U はプロットが外れている。主成分 2 を考えた場合、U は Si と比較的近い所にプロットされる事から(0.5~0.9), 前述したように U は火山ガラスや珪酸塩鉱物中に比較的多く含まれると考えられる。Sr に関しては主成分元素と大きくずれており、また希土類元素や他の微量元素からもずれた結果となった。これまで Sr の考察としては同じアルカリ土類元素である Mg, Ca と似た傾向にあると考えてきた。しかし、Mg, Ca とずれた位置にプロットされた事から Sr と Mg, Ca の起源は必ずしも同一ではない事が確認できる。Sr はカルサイトのような炭酸塩鉱物中に多いとされているが、火山灰質土壌である黒ボク土中には多くない。このため Sr がどの鉱物中に多く含まれているかを改めて検討する必要がある。

八丈島:

八丈島試料における Sr, Th, U, 希土類元素(ただし La, Ce は合わない)は、玄武岩質、安山岩質土壌ともに斜長石や粘土鉱物、重鉱物中に含まれていると考えられる(Fig.131-A, B)。また、非晶質物質であるアロフェンやイモゴライト、非晶質スメクタイトの存在や、安山岩質土壌においてはハットナイト(ThSiO_4)の存在も考えられるだろう(Fig.131-C)。しかし、La や Ce といった軽希土類元素

およびZrの存在状態はFig.131 からは判断し難い。Zrは $ZrSiO_4$ や $Zr(OH)_4$ として存在している可能性が強いと考えられるが、La, Ceは中・重希土類元素に比べ、比較的珪酸塩鉱物中に多く含まれていると考えられるためである。変動率およびAl規格値から火山灰質土壌において軽希土類元素は中・重希土類元素よりも移動が起こりやすい結果となった。これは電荷密度によるものであると考えたが、La, Ceが風化の過程においてで全く吸着や固定が起こらないとは考え難い。重金属元素同様、有機物中に多く含まれているかもしれないが、ここでは判断し難いだろう。

5. 3. 2. 赤黄色土壌 (Red-yellow soil)

主成分分析結果より(Table39～40, 50～51, Figs.123, 124, 133, 134), アルカリ性赤黄色土壌においては秦野, 赤城, 平塚同様, 主成分 1～3 によって試料特性の 8 割を表しているが, 酸性赤黄色土壌では主成分 1～5 によって試料特性の約 8 割を占める結果となった。以下でそれぞれの試料特性について見てみる。

5. 3. 2. 1. 重金属元素

主成分分析結果を Table39～40, Fig.123, 124 に示す。Fig.123 より, 酸性赤黄色土壌における重金属元素(V, Cr, Co)は Fe, Ti と近い所にプロットされている事から(Fig.123-A), 主にマグネサイト, イルメナイト, 水酸化鉄, ゲータイトといった Fe, Ti を主元素とする重鉱物や粘土鉱物中に含有もしくは吸着が起こっていると考えられる。また, Ca や P と近い所にプロットされている事からアパタイトの存在を考えたが, 5. 2. 3. を考慮すると Ca, P と Pb が近い所にプロットされていない事からアパタイトによる影響は考え難いだろう。また, Ni, Cu, Zn, Mo は主成分元素と近い所にプロットされていないため(Fig.123-B), Fig.123 からは存在状態を判断し難い。Fig.124 においては Ni, Cu, Zn は Fe, Ti と比較的近い所にプロットされているが, 各主成分の絶対値が小さいため, 主に重鉱物中に含まれているとは考え難い。このため, 酸性赤黄色土壌における Ni, Cu, Zn, Mo は僅かに重鉱物中に含まれる他に, どういった鉱物中に多く含有もしくは吸着が起こっているかを考えなければならない。全岩試料分析からは, イライトやスメクタイトといった粘土鉱物への吸着が起こりやすいのではないかと考えた。しかし, 主成分分析からは粘土鉱物との関係が見出せなかったため, Ni, Cu, Zn, Mo に関しては判断し難い。

アルカリ性赤黄色土壌における重金属元素は Cu を除いてほぼ同じ所にプロットされる結果となり(Fig.123-C), Si, Ca, Na, P との関係から主に長石や珪酸塩粘土鉱物, アパタイト中に含有もしくは吸着していると考えられる。アルカリ性赤黄色土壌も酸性赤黄色土壌と同様の Fe 鉱物(マグネタ

イト、ゲータイトなど)が存在しているが、重金属元素が長石や珪酸塩粘土鉱物、アパタイトと共存しているのは pH の相違によると考えられる。例えばアパタイトを考えた場合、Fig.136 より酸性条件下における溶解度が高いため、酸性土壌においては存在し難い。逆に Fe や Ti を含む重鉱物は溶解度が非常に低いため酸性条件下でも存在し続ける。Fig.124 より Fe と Cu が主成分 3 で近い所にプロットされているため、アルカリ性赤黄色土壌においても Fe 鉱物による重金属元素の支配が示唆されるが、Table40 より主成分 3 によって示される試料特性は約 8% であるため、大きな影響を及ぼしてはいないだろう。

5. 3. 2. 2. Sr, Zr, Th, U, 希土類元素

赤黄色土壌中の希土類元素挙動を考えるにあたっては、5. 2. 4. 2. でも触れたが、軽希土類元素は主に 2:1 型粘土鉱物に吸着・固定されることで土壌中に保持され、これは酸性赤黄色土壌、アルカリ性赤黄色土壌ともに起こるのであろうと考えた。しかし、中・重希土類元素においてはアルカリ性赤黄色土壌において変動率が上回る結果となり、これは前述した 2:1 型粘土鉱物によるものではないと考えた。また、分析結果からはアルカリ性赤黄色土壌において中・重希土類元素が上回る要因が見出せなかったため、主成分分析を行った。主成分分析結果を Table50~51, Fig.133, 134 に示す。

Table50~51 より主成分 1~3 によって本研究におけるサンプル特性の約 8 割を占めていることが分かる。アルカリ性赤黄色土壌においては Ca, P, 希土類元素によって本研究試料の主成分 1 を構成していると見て取れる(Fig.133-B)。この結果、アルカリ性赤黄色土壌中の希土類元素及び P の挙動に大きく関与していると考えられる事として XRD より確認出来なかったアパタイトやジルコンの存在が考えられる。本研究のアルカリ性赤黄色土壌は琉球石灰岩、本部石灰岩の風化によって生成した土壌であるため、アパタイトが微量に存在している可能性がある。これらの鉱物中に希土類元素は比較的多く含まれる(Show and Wasserburg, 1985; 武辺, 2001)。また、Fig.136 よりアパタイト($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F})_2$)の溶解度はアルカリ条件下で特に低く、この溶解度は、カルサイトの溶解度と比べるとかなり低い。酸性条件ではカルサイト、アパタイトの溶解度は共に高いので、酸性赤黄色土壌生成時において、両鉱物共に溶解する。従って、酸性赤黄色土壌中の希土類元素は溶解する。しかし、アルカリ性赤黄色土壌中ではアパタイトの存在によって、希土類元素がアパタイトに取り込まれる事が考えられ、長石及び炭酸塩中に存在していた希土類元素が風化による溶出後にアパタイト中に濃集されたと考えられる。一方、ジルコンの溶解度は非常に低く、ジルコンは風化の過程でほとんど溶解しなかったと考えられるので、ジルコン中に希土類元素が含ま

れているであろう。なお、各元素の相関係数を求めたところ、Zrと中・重希土類元素(例えばGd, Lu)の相関係数はGd:0.77, Lu:0.72 であり、上の考えを支持する。

一方、酸性赤黄色土壌ではCa, Pと希土類元素によって主成分1を構成している様子は見て取れない(Fig.133-A)。酸性赤黄色土壌中の希土類元素もジルコン中に存在している事が考えられるが、アルカリ性赤黄色土壌の希土類元素が主にアパタイト及びジルコン中に存在している事とは異なり、主にジルコンといった重鉱物中に大部分の希土類元素が存在している事が考えられる。しかし、酸性赤黄色土壌における希土類元素は主成分1として負の値を示す事から、酸性赤黄色土壌中の希土類元素は土壌を構成する主要因の1つでは無いのであろう。さらに主成分2, 3について見てみると、アルカリ性赤黄色土壌では主成分2, 3として珪酸塩鉱物やMn酸化物(Fig133-C, Fig.134-D)、酸性赤黄色土壌では主成分1同様、主成分3, 4としてマグネタイトやイルメナイトが考えられる。酸性赤黄色土壌、アルカリ性赤黄色土壌ともに、珪酸塩鉱物や重鉱物中に希土類元素が存在している点では等しいが、Table51より主成分1が本研究サンプルを最も大きく支配している要因であることは明らかである。このため、アルカリ性赤黄色土壌においては中・重希土類元素の溶脱が起こりにくく、変動率が酸性赤黄色土壌を上回ったのだらう。

5. 3. 3. ラテライト (Laterite)

主成分分析結果より(Table41, 52, Fig.125, 135)、ラテライトにおいても主成分1~3によって試料特性の8割を表す結果となった。以下で試料特性について見てみる。

5. 3. 3. 1. 重金属元素

ラテライトにおける重金属元素(V, Cr, Ni, Cu, Zn)も Fig.125-A より、マグネタイトやイルメナイト、水酸化鉄といった重鉱物等に含有もしくは吸着されている事が考えられる。またCoがSiやCaと近い所にプロットされている事から(Fig.125-B)、珪酸塩鉱物による支配も考えられるだろう。また、Fig.125-C からCo, ZnとMnの関係よりMn酸化物中での存在も僅かに考えられる。Mn酸化物はXRDからは特に確認出来なかった。このためMnO中に存在しているのか、もしくはMnを多く含む鉱物が存在し、その中に多く重金属元素が含まれているのかははっきりした事は不明だが、ラテライトにおいてはMnの存在が重金属元素の移動を支配している一因である事は示唆されるであろう。

5. 3. 3. 2. Sr, Zr, Th, U, 希土類元素

変動率から見るラテライト中の微量元素・希土類元素の傾向は、Thを除く全ての元素で移動傾向を示し、この傾向は秦野試料の傾向と似通っている。主成分分析結果を見てみると(Table52,

Fig.135), ラテライトにおいては主成分 1~3 によって本研究試料特性の 8 割を占めている結果となった。微量元素・希土類元素について考えてみると, 微量元素が主成分 1, 2 を満たしているのに対し, 希土類元素はどちらも満たさない結果となり, ラテライトにおいては希土類元素によって試料特性を占める割合が低い事が考えられる。主成分分析より微量元素においては主成分 1 で示される(Fig.135-A)マグネタイトやイルメナイト, また主成分 2 で示されるジルコンといった鉱物中に含まれると考えられる(Fig.135-B)。希土類元素に関しては主に Mn 酸化物中に含まれると考えられる(Fig.135-C)。また, 主成分 4 より希土類元素と Si のプロットが近い事から, 5. 2. 2. 3., 5. 2. 4. 3. で考えたパラゴナイトとの関係も考えられるが, 主成分 4 が占める試料特性は約 4% であるため大きな影響を及ぼさないと考えられる。このため, ラテライトにおいてはアロフェンとは異なり, パラゴナイトや珪酸塩鉱物による吸着・固定は起こりにくいと考えられる。

5. 3. 4. 主成分分析から考える微量元素, 重金属元素, 希土類元素の挙動

これまで, 変動率及び AI 規格値から重金属元素・希土類元素の挙動を考えてきたが, 挙動支配要因としては主に粘土鉱物, 水酸化鉄, 非晶質物質による吸着・固定・イオン交換が主要因と考えた。主成分分析を行った結果, 上述した鉱物による挙動支配が確認されたが, 全岩試料分析(XRD, 変動率, AI 規格値)からは見出すことの出来なかった鉱物の存在も確認出来た。その代表例としては, 火山岩質土壌における Mn 酸化物, アルカリ性堆積岩質土壌におけるアパタイト, 酸性堆積岩質土壌におけるジルコンといった微量な鉱物による支配も各元素の挙動を大きく支配している事である。これまでに主成分分析を用いることで重金属元素・希土類元素の挙動メカニズムを明瞭にした研究例は非常に少ないが, Mn 酸化物やアパタイトといった鉱物中に重金属元素・希土類元素が多く含まれるといった報告がなされている(Suarez and Langmuir, 1976; Hall and Pelchat, 1999; 丸茂, 2003)事からも, 主成分分析によって考えられた微量鉱物による支配は大きいことが覗えるだろう。

5. 4. 分別溶解(抽出)実験

これまで全岩分析, 主成分分析によって重金属元素, 希土類元素の挙動支配要因を考えてきた. 土壌中での重金属元素や希土類元素の挙動を考える場合, 前述してきたように以下の要因によって支配されている事が考えられる.

- (1) 各元素を多く含む一次鉱物の溶解度・溶解速度, (2) 溶出後の土壌溶液中での存在状態
- (3) 二次鉱物の生成, (4) 溶出後の他鉱物への吸着・固定

これら要因の中でも特に(4)に関しては, 土壌溶液の pH が 6~7 を示すことから, 吸着体と考えられる粘土鉱物や水酸化鉄の存在状態がはっきりしない事が考えられた. また, フリーイオンの吸着の選択性の相違, 全岩試料分析及び主成分分析によって考えられた挙動を支配する鉱物・非晶質物質の影響力の大きさの相違まで解明する事は出来なかった. そこでここでは, 支配要因として考えられてきた鉱物や物質を個々に実験・分析する事でどの鉱物・物質による支配が最も大きいかを明らかにする.

分別溶解法はこれまで多くなされてきており(Chao, 1972; Tessier et al. , 1979; Miller, 1986; 金井, 1995; Mester et al. , 1998; Hall and Pelchat, 1999; Rauret et al. , 1999; Kabala and Singh, 2001; Monica et al. , 2001; Karathanasis and Pils, 2005), 様々な溶液を用いることで土壌中の鉱物・物質を分離抽出することが可能である. これら研究の中でも Miller(1986)による実験法はより細部まで抽出を行うことが可能であるため, 本研究ではこの方法を用いて実験を行った.

5. 4. 1. 火山岩質土壌:黒ボク土, ローム土, 褐色森林土 (Andosol, Loam, Brown Forest soil)

5. 4. 1. 1. 重金属元素

分別溶解実験結果を Table53~57, Fig137~152 に示す.

秦野:

分別溶解実験より秦野市の黒ボク土及びローム土中の重金属元素の存在状態について見てみると(Fig.137~142), 土壌溶液中でカチオンとして存在していると考えられる Co, Ni, Cu, Zn といった元素は, 黒ボク土 A, B ともに step2 で高濃度を示す結果となった. これより step2 により抽出される exchangeable として考えられる, 粘土鉱物とのイオン交換反応および粘土鉱物, 水酸化鉄への吸着が Co, Ni, Cu, Zn の一次鉱物からの溶出後の挙動を大きく支配している第一要因であると考えられる. また, 第二要因としては step5 が高濃度を示したことから, step5 で抽出される Mn 酸化物中への Co, Ni, Cu, Zn の濃集も起こりやすいだろう. 続く要因としては step3, 4 で抽出される Acid

soluble が考えられるが、Acid soluble として考えられる鉱物、物質としては主に炭酸塩鉱物やリン酸塩鉱物が考えられるが、秦野市の黒ボク土は弱酸性土壌であるため、これら鉱物は存在しにくい状況であると考えられる。しかし、アルカリ性赤黄色土壌において主成分分析結果より、微量に存在していると考えられるアパタイト中に重金属元素が濃集している可能性が示唆された事より、黒ボク土中にも炭酸塩鉱物やリン酸塩鉱物が微量に存在しており、それら鉱物中に比較的多く存在している可能性も考えられる。主成分分析結果からも炭酸塩鉱物、リン酸塩鉱物の存在が示唆されていることから、XRD 分析からは確認出来ない微量鉱物による支配があることも視えた。

ローム土における傾向は黒ボク土とは異なる結果となり、Co は step5 が高濃度を示したのに対し、Ni, Cu, Zn は step3, 4 が高濃度を示す結果となった。これより、Mn 酸化物や炭酸塩鉱物、リン酸塩鉱物によってローム土中の重金属元素は大きく支配されていると考えられる。Co と Ni, Cu, Zn が異なる傾向を示した事については以下の事が考えられる。MnO₂ 中の Mn⁴⁺ イオンと置換している Mn³⁺ イオンにより、吸着された Co²⁺ イオンが酸化され Co³⁺ イオンに変化する。この Co³⁺ イオンは八面体場にある Mn³⁺ イオンよりも結晶場安定化エネルギーが大きいため、Mn³⁺ に代わり Co³⁺ がその位置を占め、結晶が安定化されるが、Ni, Cu, Zn は結晶場安定化エネルギーを持たない Mn²⁺ を置換出来るが、36.0 Kcal/mol のエネルギーを持つ Mn³⁺ を置換出来ない (Mckenzie, 1972; Loganathan and Burau, 1973) ため、その結果、Co の Mn 酸化物中への濃集は起こるが、Ni, Cu, Zn は起こりにくいのだろう。一方、Ni, Cu, Zn について考えた場合、黒ボク土における第三要因であった Acid soluble での濃度が高かったことより、ローム土における Ni, Cu, Zn は炭酸塩鉱物やリン酸塩鉱物が考えられる。ローム土も黒ボク土同様、弱酸性土壌であるが、関東ローム層においてはゲータイト、マグヘマイトが卓越して存在しているため (岡崎・佐藤, 1989), 5. 2. 1. 1. で述べた酸化鉄鉱物、Fe-腐植複合体の Fe-OH, Fe-OH₂⁺ と P の特異吸着が起こる事によってリン酸塩鉱物が存在しやすくなる。このため、リン酸塩鉱物中に Ni, Cu, Zn が多く濃集された結果であると考えられる。

V, Cr, Mo の傾向を見てみると、V は黒ボク土、ローム土ともに step7 で高濃度を示したことから、V はアロフェンといった非晶質物質によって挙動が支配されていると考えられるが、Cr, Mo に関しては黒ボク土、ローム土ともに傾向は一致していない。Cr の傾向は黒ボク土 A において step8 が高濃度を示したのに対し、黒ボク土 B, ローム土では step2 が高濃度を示す結果となった。黒ボク土 A において step8 が高濃度を示した事は、黒ボク土 A における Cr はマグネタイトといった酸化鉄鉱物中に多く含まれていると考えられるが、マグネタイトといった酸化鉄は黒ボク土 A を構成している一次鉱物であると考えられるため、一次鉱物からの溶出後の挙動支配要因として考えた場合、step2, 3, 7 がほぼ等しい濃度を示したことより、粘土鉱物とのイオン交換や水酸化鉄等への吸着、非晶質物

質による支配がほぼ均等になされていると考えられる。しかしここでCrの土壤溶液中での状態を考えると、前述したようにCrは土壤溶液のような中性域pHにおいては CrO_4^{2-} で存在していると考えられるため、粘土鉱物とのイオン交換は考え難い。水酸化鉄への吸着に関しては、表面電荷が正負両電荷の水酸化鉄が存在していると考えられるため、 $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ への吸着が起こっているのかもしれない。また、非晶質物質による支配に関しても水酸化鉄同様の事が考えられる。また、Vについてもstep7 が最も高濃度を示し、続いてstep2 が高濃度を示したことも、上述した要因によるであろう。

Mo についても黒ボク土では step2 が高濃度を示したことから、V, Crと同様に考えられるが、ローム土においては step3 が最も高濃度であったことから、ローム土中の Mo は炭酸塩鉱物、リン酸塩鉱物といった比較的溶解しやすい鉱物中に多いと考えられる。しかしリン酸塩鉱物中に Mo が多いにも関わらず、step2から Moが見出せなかった点については疑問が残る。ローム土におけるCo, Ni, Cu, Zn といった元素は step2, 3 が共に高濃度を示した。この事からもリン酸塩鉱物中への濃集が示唆されたわけであるが、Mo においてはCo, Ni, Cu, Znとは異なった傾向であった。Moのリン酸塩鉱物への濃集と水酸化鉄への吸着の関係については今後の課題である。

平塚:

平塚市のローム土における重金属元素の支配要因は秦野市のローム土とは大きく異なる結果となった(Figs.143, 144)。全ての重金属元素において step8 が最も高濃度を示し、続いて step6 中の濃度が高くなっている。これより平塚市のローム土は step8 で抽出される酸化鉄鉱物による支配が最も大きく、続いて step6 で抽出される有機物中にも比較的多く含まれていることがわかる。秦野市のローム土と比較してみると、平塚市のローム土においては粘土鉱物とのイオン交換や水酸化鉄への吸着といった反応は起こりにくいと考えられ、一次鉱物として存在していた重鉱物中に多く含まれ、溶脱が起こりにくいことや、ゲータイトといった二次鉱物が生成する際に結晶構造中に取り込まれた事などが考えられる。秦野市のローム土と平塚市のローム土の源岩について考えた場合、秦野市のローム土は玄武岩を源岩としているため、安山岩を源岩とする平塚市のローム土よりも一次鉱物中の鉄含有量は多い。このため鉄鉱物中への濃集を考えた場合、秦野市のローム土のほうが鉄鉱物による重金属元素の支配は大きいと考えられるが、異なる結果となった。安山岩質土壤、玄武岩質土壤ともに鉄鉱物への濃集や吸着によって重金属元素が支配されている事は明らかであるが、吸着反応と結晶内部への固定の相違がどういった要因によってもたらされているのかについては、さらに追求する必要がある。また、第二要因として有機物の存在が確認されたが、一般に有機物中には重金属元素が比較的多く含まれている事(柴原ほか, 1975)によるものかもしれない。

しかし有機物に関しても、秦野市のローム層から高濃度は確認出来なかったため、この点についても源岩の相違による影響がある事も考えられる。黒ボク土とローム土を比較した場合、黒ボク土の黒色は有機物によってもたらされているため(庄子, 1984), 単に有機物中の重金属元素濃度が高かったら、ローム土よりも黒ボク土のほうが有機物による支配が確認出来てもおかしくない。しかし、結果として黒ボク土(秦野, 赤城両土壌)中の有機物による支配が確認出来なかった。このため有機物による重金属元素の支配は他の要因(例えば酸化鉄)との複合、または土壌中での有機物の状態によって支配力の大小が変化する可能性が考えられる。有機物による支配も今後の課題である。

赤城:

赤城の黒ボク土における重金属元素の傾向は、平塚市のローム土同様の傾向を示し、step8 で最も高濃度を示す結果となった(Fig.145~148)。このため、赤城の黒ボク土も平塚市のローム土と同様の要因によって重金属元素の支配が起こっていると考えられる。また、同じ安山岩を源岩とする黒ボク土とローム土が同様の傾向を示したことから、玄武岩を源岩とする土壌と安山岩を源岩とする土壌で重金属元素の挙動支配要因が異なることが示唆される結果となった。

八丈島:

褐色森林土における重金属元素の傾向を見てみると(Fig.149~152), 安山岩を源岩とする褐色森林土において Co は安山岩質の黒ボク土, ローム土と同様の傾向を示す結果となったが, Ni は step6, 8, Cu は step5, 6, 8, Zn は step6 によって支配が大きいと考えられる。Co, Ni に関しては平塚市のローム土, 赤城の黒ボク土と同様の要因による支配が安山岩質褐色森林土においても起こっていると考えられる。Cu においても有機物や酸化鉄鉱物中への濃集が考えられる点に関しては黒ボク土, ローム土同様だが, step5 も step6, 8 と同程度の濃度を示したことより, Mn 酸化物への Cu の濃集が安山岩質褐色森林土では起こっている事が覗える。Zn においても step6 に続き step5, 8 が高濃度を示していることから安山岩質褐色森林土においては Mn 酸化物による支配が大きな要因の一つであると考えられる。

一方、玄武岩質褐色森林土においては Co:step7, Ni:step2, Cu:step6~8, Zn に関してはほぼ全ての step において同程度の濃度を示す結果となった。ほぼ全ての元素において step8 が第一支配要因を示さなかったことより(ただし Cu は除く), 褐色森林土においても玄武岩質と安山岩質で支配要因は異なることを示唆している。また、玄武岩質黒ボク土, ローム土と比較してみると, Ni に関しては step2 が第一支配要因であると考えられるため, 黒ボク土同様, イオン交換や吸着によって支配されていると考えられるが, Co, Cu, Zn は黒ボク土, ローム土とは異なる傾向を示した。Zn

に関しては Ni 同様、イオン交換や吸着による支配も考えられるが、全てが同程度の濃度であったため、どの要因が最も大きいか決定するのは難しい。褐色森林土と黒ボク土、ローム土の大きな相違点としては、褐色森林土は火山灰を含まない土壌ということである。このため火山灰質土壌である黒ボク土、ローム土においては火山灰中に多く含まれる火山ガラスの溶解によって粘土鉱物が生成しやすいため、重金属元素の挙動も粘土鉱物によって大きく支配された結果、step2 で高濃度を示したのに対し、褐色森林土では同傾向にならなかったのかもしれない。しかし安山岩質の褐色森林土においては平塚市のローム土、赤城村の黒ボク土と同傾向を示し、また、平塚市のローム土、赤城村の黒ボク土も火山灰質土壌であるため、この火山灰の有無による傾向の相違については再検討である。

V, Cr, Mo の傾向を見てみると、安山岩質、玄武岩質ともに V は step7, 8 で高濃度を示したのに対し、Cr, Mo は step6, 8 で高濃度を示す結果となった。この結果より V, Cr, Mo の傾向は安山岩質、玄武岩質で異ならないことを示している。それぞれの源岩における黒ボク土、ローム土の傾向と比較してみても傾向が一致している元素もあればそうでない元素もあり、源岩、火山灰の有無は傾向に関与していないことが窺えた。

5. 4. 1. 2. Sr, Zr, Th, U, 希土類元素

分別溶解実験結果を Table53～57, 61～65, Fig.159～166, Fig.170～201 に示す。

秦野:

秦野市の黒ボク土、ローム土における Sr, Zr, Th, U, 希土類元素の傾向を見てみると(Fig.159～161, Fig. 170～181), Sr:step2, Zr, Th:step7, U:step3, 4, 希土類元素においては step5 が最も高濃度を示す結果となった。Sr に関しては Ca 同様、アルカリ土類元素であるため粘土鉱物とのイオン交換反応による支配が最も大きな要因であることが窺える。Zr, Th といった元素は溶解度が低いため土壌中で水酸化物を形成した際、それ自体が溶解し、フリーイオンとして土壌溶液中に溶出するとは考え難い。本抽出結果からも step9 において非常に高濃度を示したことから、溶出は起こりにくいことが窺える。しかし、step7 で高濃度を示したことから、一部の Zr, Th が溶出した際に関しては非晶質物質による支配が大きいと考えられるが、土壌溶液中に溶出が起こった際に選択的に非晶質物質による吸着・固定が起こる点については今後の課題である。U に関しては step3, 4 で高濃度を示す結果となり、炭酸塩鉱物やリン酸塩鉱物中に多く含まれていることが考えられる。また、火山灰質土壌である黒ボク土、ローム土において U は火山ガラスに比較的多く含まれていると考えられるため、火山ガラスの溶解度の高さより(Berger et al. , 1994), step3, 4 で高濃度を示した

のだろう。

希土類元素の傾向は黒ボク土、ローム土ともに step5 で最も高濃度を示す結果となった。これより希土類元素は Mn 酸化物中に多く含まれていることがわかる。Mn 酸化物中への希土類元素の濃集は起こりやすいことが報告されており、希土類元素の中でも特に Ce においてはその傾向が強いことが知られている(Suarez and Langmuir, 1976; Hall and Pelchat, 1999)。秦野市の黒ボク土、ローム土ともに Ce は特に step5 で高濃度であることが確認されたことから、本研究土壌においても希土類元素は Mn 酸化物による支配が第一要因であろう。

平塚:

平塚市のローム土における Sr, Zr, Th, U, 希土類元素の傾向を見てみると(Fig.162, Fig.182~185), Sr, U:step8, Zr, Th:7, 希土類元素においては La, Ce, Sm といった軽希土類元素および中希土類元素において step7 で高濃度を示し、重希土類元素になるにつれ step3, 8 が最も高濃度を示す結果となった。この結果、平塚市のローム土において、Sr, Zr といった元素は主に重鉱物中に多く含まれると考えられ、Zr に関してはジルコンといった Zr 鉱物の溶解度の低さから土壌溶液中に溶出が起こりにくい結果であると考えられ、Sr に関しては二次的重鉱物生成の際に結晶内部に取り込まれた可能性が考えられる。また、Sr に関しては step6 で比較的高濃度を示したことより、有機物中へ取り込まれることも考えられ、玄武岩を源岩とする秦野市のローム土とは異なる結果となった。軽希土類元素及び Th は非晶質物質中に多く、中希土類元素~重希土類元素になるにつれ、酸化鉄鉱物といった重鉱物中に多く含まれていることがわかる。一次鉱物からの溶出後の挙動として見てみると、Ho を除く中・重希土類元素において軽希土類元素同様、step7 が高濃度を示していることから、平塚市のローム土における希土類元素の第一支配要因としては非晶質物質によると考えられる。

赤城:

赤城村の黒ボク土における Sr, Zr, Th, U, 希土類元素の傾向について見てみると(Figs.163, 164, Fig.186~193), Sr, Zr, Th, U は赤城 A において Sr:step8, Zr, Th:step7, U:step5, 赤城 B において Sr:step4, Zr, Th:step7, U:step5, 希土類元素に関しては、赤城 A:希土類元素(Ce, Tb, Ho, Tm, Lu 除く):step5, Ce:step7, Tb, Ho, Tm, Lu といった希土類元素は step2 で高濃度を示す結果となり、赤城 B に関してはほぼ全ての希土類元素において step4, 5 が高濃度を示した。これより黒ボク土において Zr, Th といった元素は主に非晶質物質中に多いと考えられ、U は Mn 酸化物中に多いことが分かる。また、Sr に関しては A 地点, B 地点で異なる傾向を示したため、step4, 8 どちらの要因が安山岩質黒ボク土において最も大きな支配要因であるかは決定出来ない。一方、希

土類元素に関しては Mn 酸化物中に多く含まれていると考えられ、一部の希土類元素は非晶質物質や粘土鉱物とのイオン交換及び水酸化鉄等への吸着、リン酸塩鉱物や比較的溶解度の高い水酸化物中に多く存在していると考えられる。この一部の希土類元素に関しても第二支配要因として Mn 酸化物が考えられることから、安山岩を源岩とする黒ボク土においても希土類元素の挙動支配は Mn 酸化物によってなされている可能性が最も強いと考えられ、黒ボク土における希土類元素の支配要因は土壌源岩の相違によらない事が窺える。

八丈島:

褐色森林土における Sr, Zr, Th, U, 希土類元素の傾向について見てみると(Figs.165, 166, Fig.194~201), 玄武岩を源岩とする褐色森林土において Sr, Zr, Th, U に関しては秦野市の黒ボク土, ローム土と同様の傾向を示した事より, 黒ボク土, ローム土と同様の要因によって最も強く支配されていると考えられる。希土類元素に関しても step5 で高濃度を示したことから, 黒ボク土, ローム土と同様な要因が考えられるが, step4 も step5 と同程度の濃度を示した事より, 褐色森林土における希土類元素は非晶質物質や粘土鉱物との反応による保持は起こりにくく, リン酸塩鉱物や比較的溶解度の高い水酸化物中に多く存在していると考えられる。これは褐色森林土と黒ボク土, ローム土は同じ火山岩質土壌であるが, 褐色森林土と黒ボク土, ローム土の相違点である火山灰の有無により褐色森林土中には粘土鉱物が少ない事によるものだと考えられる。また, 安山岩を源岩とする褐色森林土における傾向は Sr, Zr, Th, U に関しては赤城 A と同様の傾向を示した事より, 赤城村における黒ボク土, ローム土と同様の要因が考えられ, 希土類元素に関しては秦野市の黒ボク土, ローム土と同様の傾向を示した事は, 前述したように希土類元素の挙動支配要因は源岩の相違及び性質の異なる土壌においても依存していないことが窺える。

5. 4. 2. 赤黄色土壌 (Red-yellow soil)

5. 4. 2. 1. 重金属元素

分別溶解実験結果を Table58, 59, Fig153~156 に示す。

分別溶解実験より赤黄色土壌における重金属元素の存在状態について見てみると, 土壌溶液中でカチオンとして存在していると考えられる Co, Ni, Cu, Zn といった元素は, 酸性土壌, アルカリ性土壌ともに step2 による支配力が大きいと考えられ(酸性土壌における Zn を除く), これら元素は粘土鉱物(特に 2:1 型粘土鉱物)とのイオン交換反応及び水酸化鉄への吸着によって挙動が支配されていることがわかる。しかし, 第二支配要因について見てみると, アルカリ性土壌では火山岩質

土壤同様、Mn 酸化物中に多く含まれていることが確認出来るが、酸性土壤においては重鉍物中に多いことが視え、異なる傾向を示した。これは土壤中の重鉍物量によるものであると考えられ、変動率から考えた酸性土壤における鉄鉍物の濃集の際にゲータイトといった鉄鉍物の結晶内部に取り込まれる事が考えられる。

一方、V, Cr, Moに関してはCo, Ni, Cu, Znとは異なり、酸性土壤とアルカリ性土壤で異なる結果となった。酸性土壤においてV, Crはstep8 で高濃度を示し、Moはstep6 で最も高濃度となったのに対し、アルカリ性土壤ではV, Cr, Mo全てにおいてstep2 が最も高濃度であった。酸性土壤におけるV, Crは重鉍物中に多く含まれ、Moは有機物中に多いことが視え、アルカリ性土壤では前述したCo, Ni, Cu, Zn同様、主に水酸化鉄への吸着が考えられる。この傾向の相違としては、**5. 2. 3. 1.** で述べた水酸化鉄の表面電荷がアルカリ性条件下でより $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ となりやすいため、アニオンとして存在していると考えられるV, Cr, Moの水酸化鉄への吸着が起こりやすかったためであろう。酸性土壤においてV, Crがstep8 で高濃度を示し事に関しては、Co, Ni, Cu, Znにおける第二支配要因と同様の要因が考えられる。

5. 4. 2. 2. Sr, Zr, Th, U, 希土類元素

分別溶解実験結果を Table58, 59, 66, 67, Fig167, 168, Fig.202~209 に示す。

赤黄色土壤における Sr, Zr, Th, U, 希土類元素の存在状態について見てみると(Fig167, 168, Fig.202~209), 酸性土壤における Sr, Zr, Th, U の傾向は、Sr:step2, Zr:step7, Th, U:step8 であるのに対し、アルカリ性土壤では、Sr:step2, Zr:step8, Th:step6, U:step4 で高濃度を示す結果となった。Sr に関しては両土壤ともに 2:1 型粘土鉍物とのイオン交換反応によって保持されていると考えられ、U に関しても酸性土壤において step8 で高濃度を示したことは重金属元素同様、一次鉍物として存在している重鉍物中における濃度が高い事や、二次的鉄鉍物生成の際に結晶内部に取り込まれたことによるのかもしれない。アルカリ性土壤に関して U が step4 で高濃度を示したことは、主成分分析より Ca, Mg を多く含む鉍物中に U が多く含む示唆された(Fig.135-C)事からも、カルサイト、ドロマイトといった炭酸塩鉍物中に多く含まれている事が考えられる。Zr, Th については非晶質物質や有機物、重鉍物中に多く含まれていることがわかり、各元素の溶解度の低さとうによるものであろう。有機物中への濃集がアルカリ性土壤において起こっていたのに対し、酸性土壤中で起こっていなかったことに関しては、両土壤中の有機物に関して細部まで追求する必要がある。

一方、希土類元素に関しては、酸性土壤において step2 が高濃度を示し、アルカリ性土壤においては step3, 4 が高濃度を示した事より、赤黄色土壤における希土類元素の支配要因は変動率

や主成分分析から考えた2:1型粘土鉱やアパタイトといったリン酸塩鉱物、炭酸塩鉱物中に多く含まれていることが確認出来た結果となった。

5. 4. 3. ラテライト (Laterite)

5. 4. 3. 1. 重金属元素

分別溶解実験結果を Table60, 68, Fig157, 158 に示す。

ラテライト中の重金属元素は全ての重金属元素において step6 が最も高濃度を示したことから、有機物中への濃集が第一支配要因であると考えられる。また、続いて step7, 8 中の濃度が高かったことから、第二支配要因としては非晶質物質や重鉱物が考えられ、非晶質物質としてはパラゴナイトがラテライト中には多く存在しており、重鉱物に関してはラテライト中にはマグヘマイトやゲータイト、ギブサイト、ベーマイトといった溶解度の低い鉱物が存在しているため、これら鉱物中に多く含まれているのだろう。

5. 4. 3. 2. Sr, Zr, Th, U, 希土類元素

分別溶解実験結果を Table60, 68, Fig169, Fig.210～213 に示す。

ラテライト中の Sr, Zr, Th, U, 希土類元素について見てみると, Sr, Zr, Th, Uも重金属元素同様, step6 で高濃度を示したことより, 有機物中への濃集が覗える。

一方, 希土類元素に関しては, 軽希土類元素においては step2 が高濃度を示し, 中希土類元素～重希土類元素になるにつれ重鉱物中に占める割合が高くなっている事が覗える。これまで黒ボク土, ローム土, 褐色森林土といった火山岩質土壌における希土類元素の挙動支配要因は, 土壌種及び土壌源岩に依存しないと考えた。しかし, ラテライトにおける希土類元素の傾向は Mn 酸化物に大きく依存していないため, 希土類元素の支配要因は風化程度によって大きく変化する可能性がある。これは風化期間ではなく土壌の生成環境によるものと考えられ, ラテライトのような降雨量の非常に多い, 亜熱帯地域に広く分布する土壌では, 強風化作用に伴って重鉱物の存在量が卓越するため, 水酸化鉄への吸着や重鉱物中への固定が大きな支配要因となるのかもしれない。しかし XRF 分析よりラテライト中の Mn 含有量と黒ボク土, ローム土, 褐色森林土中の Mn 含有量に差が無い事, Mn 酸化物の溶解度も水酸化鉄等と同様, 低いと考えられるため, Mn 酸化物への濃集が起こりにくかったことは, 単に Mn 酸化物量と重鉱物量の相違によるだけかもしれないが, これまでに報告されてきた希土類元素の Mn 酸化物中への濃集が強く見られなかったことに関して

は、ラテライトにおける希土類元素挙動の検討を更に追及していく事を大いに表しているであろう。

5. 4. 4. 分別溶解実験から考える微量元素, 重金属元素, 希土類元素の挙動

これまで変動率, 主成分分析を行うことで微量元素, 重金属元素, 希土類元素挙動を支配すると考えられる鉱物, 物質を各土壌種別に考えてきたが, それら鉱物によって微量元素, 重金属元素, 希土類元素の挙動支配が起こっていることが分別溶解実験からもほぼ一致していることが確認出来た. その中でも特に全岩試料分析からは見出せなかった微量鉱物(Mn 酸化物やアパタイトといったリン酸塩鉱物)による支配が土壌種によっては大きな影響を与えていることが確認でき, また, 元素によっては土壌種に挙動支配要因が依存しない元素(例えば火山岩質土壌における希土類元素(ただし, ラテライトは除く))の存在も確認された.

6. 結論

我が国の火山岩灰質土壌、堆積岩質土壌およびハワイ諸島のラテライトの化学分析・実験的研究(分別溶解実験)及び主成分分析を行うことで以下の事が判明した。

- (1) 主成分元素(アルカリ, アルカリ土類元素, Si)の風化挙動は, それら元素を多く含む長石等の一次鉱物の溶解度, 溶解速度に依存し, 比較的移動が起こり易いと考えられるが, 交換性陽イオンの大きい 2:1 型粘土鉱物(イライト, スメクタイト等)を含む赤黄色土においては, 粘土鉱物への吸着・イオン交換等によって移動が抑制されていることが考えられる。また, ローム層においては粘土鉱物以外の要因(リン酸イオンの卓越等)によって同様に移動が抑制されることが考えられた。
- (2) 微量元素, 重金属元素の移動も主にそれら元素を含む鉱物の溶解度, 溶解速度に依存すると考えられるが, 火山岩質土壌や酸性堆積岩質土壌のような酸性条件下においてこれら元素の移動があまり起こっていなかったことは, 粘土鉱物や二次生成物中への吸着・固定が主たる要因であると考えられ, これは主に 2:1 型粘土鉱物とのイオン交換反応や水酸化鉄への吸着であると考えられる。また, 元素(例えば Co や Pb)によっては XRD 分析からは確認出来ない微量鉱物(Mn 酸化物, アパタイト等)によって挙動が大きく支配されていると考えられた。
- (3) 火山岩質土壌と堆積岩質土壌において, 希土類元素の移動に関しては特に大きな相違が見られた。希土類元素の移動は主に土壌中に含まれる粘土鉱物及び二次生成物の種類に大きく依存する。これは, 希土類元素と粘土鉱物, 二次生成物とのイオン交換, 吸着, 固定が起こる際に, 希土類元素のイオン半径と粘土鉱物及び二次生成物(非晶質物質等)が持つ電荷の種類に依存しているためであると考えられる。また, 重金属元素同様, 微量鉱物による希土類元素の支配も非常に強く起こっており, これは主成分分析, 分別溶解実験を行うことで確認することが出来た。
- (4) 黒ボク土, ローム土, 褐色森林土といった火山岩質土壌において, 源岩の相違によって挙動が異なる元素が存在した。重金属元素の挙動傾向は, 玄武岩質土壌においては移動抑制要因として主に粘土鉱物とのイオン交換反応, 水酸化鉄への吸着等が考えられ, 安山岩質土壌においては重鉱物生成時に結晶内部に多く取り込まれていると考えられる。一方, 希土類元素に関しては玄武岩質土壌において Mn 酸化物が最も大きな支配要因であると考えられるが, 安山岩質土壌においては非晶質物質による支配が大きい。安山岩質土壌における非晶質物質による支配は特に粘土鉱物の多いローム層において強くみられ, Ce といった軽希土類元素においてその傾向が大きい。
- (5) 堆積岩質土壌における酸性土壌とアルカリ性土壌の相違としては, 重金属元素, 希土類元

素の微量鉍物による支配であると考えられる。この微量鉍物による支配は特にアルカリ性土壌において大きく、これは、アルカリ性条件化でのみ存在する鉍物による支配によるものだと考えられる。

以上のことから、火山岩質土壌、堆積岩質土壌およびラテライトでの元素挙動を考えた場合、大部分の元素移動は一次鉍物の溶解度、溶解速度および溶脱後の粘土鉍物等への吸着・固定によって支配されていると考えられるが、元素種により主な支配要因が異なるといえる。特に希土類元素においては土壌中の粘土鉍物、二次生成物の種類及び微量鉍物の有無によって移動が大きく支配されていると考えられる。

従って、重金属元素による土壌浄化(不溶化)を考えた場合、重金属元素は2:1型粘土鉍物、水酸化鉄、Mn 酸化物を多く含んだ土壌、すなわち堆積岩質土壌(特にアルカリ性土壌)において鉍物固定による不溶化は火山岩質土壌に比べより効果的であると考えられる。一方、放射性廃棄物地層処分を行った際に考えられる Am,Cm といった放射性核種の移行について考えた場合、Am,Cm の化学的類似元素として考えられている軽希土類元素の移動傾向から考えると、2:1型粘土鉍物、Mn 酸化物、リン酸塩鉍物の多い土壌でより移動は抑制されると考えられる。Mn 酸化物に関しては酸性土壌、アルカリ性土壌、両土壌中に含まれていると考えられるため、酸性土壌、アルカリ性土壌どちらの土壌種においても放射性核種の遅延効果起こると考えられるが、2:1型粘土鉍物、リン酸塩鉍物の存在による移行抑制を考慮に入れると、イライト、バーミキュライトといった粘土鉍物を多く含有する土壌(例えば堆積岩起源の赤黄色土)の方がこれら粘土鉍物をあまり多く含まない土壌(例えば火山岩質起源の黒ボク土、ローム土、褐色森林土)や結晶質岩(例えば花崗岩)より核種移行に対する遅延効果が大きいと考えられ、また堆積岩質土壌においてもリン酸塩鉍物の溶解度の高さより、アルカリ性堆積岩質土壌においてより効果的であると考えられる。

7. 謝辞

博士論文作成にあたり学部 4 年次より長期に亘りご指導を頂いた慶應義塾大学理工学部地球化学研究室, 鹿園直建教授に深く感謝し, 御礼申し上げます。また, 本論文作製に関し ICP-MS 分析の際, 御助力頂いた産業技術総合研究所, 野原昌人博士, 井上麻夕里博士, XRD 分析に関し御助力頂いた東京学芸大学, 中田正隆教授, 博士論文公聴会の際, 有益なコメントを頂いた慶應義塾大学理工学部, 鈴木孝治教授, 鈴木哲也教授, 柘植秀樹教授, 東京大学工学部, 加藤泰浩助教授に御礼申し上げます。

研究生活を送るにあたって研究室を支えてくれた慶應義塾大学, 地球化学研究室秘書の相澤素瑚さん, 研究生活を共に送りアドバイスを頂いた小川泰正博士, 柏木洋彦博士, 高橋裕之氏, 角田友明氏, 五十嵐智秋さん, 大友一夫氏, Mr. MD. ZKIR. HHOSSEN, 小川貴章氏, 佐藤純氏, 宮本慎也氏, 親松克典氏, 横溝恵子さん, 久保田蘭さん, 時野涼子さん, 原田広康氏, 荒川貴之氏, 金井孝裕氏, 徳山耕平氏, 土橋竜太氏, 足立洋祐氏, 須藤悠己氏, 高橋僚介氏, 木住野由佳さん, 古田望美さんに感謝致します。

最後に長期に亘る学生生活を最後まで支援して下さった両親, 兄, 義姉, 甥に深く感謝致します。

8 . 参考文献

- Aiuppa , A . Allard , P . , D' Alessandro . W . , Michel , A . , Parello , F . , Treuil , M . and Valenza , M . (2000) Mobility and fluxes of major , minor and trace metals during basalt weathering and groundwater transport at Mt . Etna volcano(Sicily) . *Geochim . Cosmochim . Acta* , 64 , 1827-1841 .
- 赤川史典・吉田英一・与語節生・山本鋼志(2004)花崗岩割れ目周辺の酸化還元反応と二次的物質移動現象 - 地質環境中汚染物質の移動と長期的固定に関する研究 - *地質雑* , 110 , 11 , 671-685 .
- Arculus , R . J . , Gust , D . A . and Ikuo Kushiro(1991)Fuji and Hakone . *National Geographic Research & Exploration* , 7 , 276-309 .
- Bascomb , C . L . (1968)Distribution of pyrophosphate-extractable iron and organic carbon in soils of various groups . *J . Soil Sci .* , 19 . 251-268 .
- Berger , G . , Claparols , C . , Guy , C . and Daux , V . (1994)Dissolution rate of a basalt glass in silica-rich solutions : Implications for long-term alteration . *Geochim . Cosmochim . Acta* , 58 , 4875-4886 .
- Bradl , H . B . (2005)Heavy Metals in the Environment . Elsevier Academic Press , p269 .
- Brookins , D . G . (1978)Retention of transuranic and actinide elements and bismuth at the Oklo natural reactor , Gabon : Application of Eh-pH diagrams . *Chem . Geol .* , 23 , 309-323 .
- Chao , T . T . (1972)Selection dissolution of manganese oxide from soils and sediments with acidified hydroxylamine hydrochloride . *Soil Sci . Soc . Am . Proc .* , 36 , 764-768 .
- Chao , T . T . and Liyi Zhou . (1983)Extraction techniques for selective dissolution of amorphous iron oxide from soils and sediments . *Soil Sci . Soc . Am . J .* , 47 , 225-232 .
- Compton , J . S . , White , R . A . and Smith , M . (2003)Rare earth element behavior in soils and salt pan sediments of a semi-arid granitic terrain in the Western Cape , South Africa . *Chem . Geol .* , 201 , 239-255 .
- Dzombak , D . A . and Morel , F . M . M . (1990) Surface complexation modeling . Hydrous ferric oxide . New York , Wiley-Interscience .
- 古川博恭・黒田登美雄(1994)新しい石灰岩と古い石灰岩からなる沖縄島の地形 , 地質について - 南部の [地下ダム] と , 本部七不思議の 1 つ [塩川の湧水] - . 土地分類技術資料・土地分類基本調査現地検討会資料 - 亜熱帯の地形 , 地質 , 土壌 , 土地利用 - , 11 , 20-49 .
- Gardner , L . R . (2000)Isovolumetric evidence for zirconium mobility during saprolite formation . *Southeast . Geol .* 39(3-4) , 117-128 .
- German , C . R and Elderfield , H . (1990)Application of the Ce anomaly as a paleoredox indicator : The ground rules . *Paleoceanography* , 5 , 823-833 .

- Hall, G. E. M. and Pelchat, P. (1999) Comparability of results obtained by the use of different selective extraction schemes for the determination of element forms in soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 112, 41-53.
- Hill, I. G., Worden, R. H. and Meighan, I. G. (2000) Yttrium: the immobility-mobility transition during basaltic weathering. *Geology*, 28(10), 923-926.
- 市川清士・氏原真理子(1992)石垣島白保海域における赤土流出に関する一考察. 駒澤大学大学院地理学研究, 20, 89-95.
- 井上厚行(1996)水を媒体とした粘土鉱物の生成と変化. 鉱物学雑誌, 25, 189-197.
- 岩生周一 (1985) 粘土の辞典. 朝倉書店, 504p.
- 岩佐安(1978)湿潤亜熱帯石垣島の黄橙色の土壤中のレピドクロサイト. 粘土科学, 18, 4, 135-144.
- Jenne, E. A. (1977) Trace element sorption by sediments and soilsites and processes. *Symp. on molybdenum in the environment*, 2, Marcel Dekker, New York. 425-553.
- Kabara, C. and Singh, B. R. (2001) Fractionation and mobility of copper, lead and zinc in soil profiles in the vicinity of a Copper Swelter. *J. Environ. Qual.*, 30, March-April 485-492.
- 核燃料サイクル開発機構(1999)わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ -, 総論レポート.
- 核燃料サイクル開発機構(1999)わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ -, 分冊1 わが国の地質環境.
- 金井豊(1995)状態分析化学的アプローチによる堆積物中の元素の解明 - 分別溶解法によるスペシエーション -. 地質ニュース, 496, 36-39.
- 菅 民郎(1996)多変量統計分析. 現代数学社, 326p.
- 関東第四期研究会(1987)関東地方. 共立出版, 350 p.
- Karathanasis, A. D. and Pils, J. R. V. (2005) Soil&sediment contamination. 14, 293-308.
- 加藤芳郎(1996) 新版地学辞典. 地学団体研究会, 1443p.
- 川村秀久・田脇紳次・松岡信明・長野隆義・百島則幸・大崎進・前田米蔵(2002)九州・沖縄地方の大気 - 植物 - 土壌系における硫黄同位体の動態. 地球化学, 36, 127-135.
- 河名俊男(1994)沖縄県の地形概観. 土地分類技術資料・土地分類基本調査現地検討会資料 - 亜熱帯の地形, 地質, 土壌, 土地利用 -, 11, 5-15.
- Kevin, H. J. and Klaus, J. S. (1995) Speciation of rare earth element neodymium in groundwaters of the Nevada Test Site and Yucca Mountain and implications for actinide solubility, *Applied geochemistry*, 10, 565-572
- 木村進一・鹿園直建・野原昌人・岩井修平(1999)化学的風化に伴う微量・希土類元素の挙動 - 男鹿半島, 女川層堆積岩の例 -. 応用地質, 40, 281-294.
- Kinniburgh, D. G. and Jackson, M. C. (1982) Concentration and pH dependence of calcium and zinc adsorption by iron hydrous oxide gel. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46, 56-61.

- Koeppenkastrop, D. and De Carlo, E. H. (1992) Sorption of rare earth elements from seawater onto synthetic mineral particles: An experimental approach. *Chem. Geol.*, 95, 251-263.
- 国土庁土地局国土調査課(1977)土地分類図(神奈川県, 沖縄県). 財団法人日本地図センター.
- 久保寺秀夫(2003)多様な理化学性の土壌が混在する地域での土壌管理とペドロロジー - 沖縄本島のマージ土壌の乾燥に伴う硬化の問題を例にして - . *ペドロジスト*, 47, 1, 41-45.
- Langmuir, D. (1997) *Aqueous Environmental Geochemistry*. Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey, 600p.
- Loganathan, P. and Burau, R. G. (1973) Sorption of heavy metal ions by hydrous manganese oxide. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 1277-1293.
- Macfarlane, A. W., Danielson, A., Holland, H. D. and Jacobsen, S. B. (1994) REE chemistry and Sm-Nd systematics of late Archean weathering profiles in the Fortescue Group, Western Australia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 1777-1794.
- 丸茂克美(1995)地球表層の微細非晶質物質とは何か. *地質ニュース*, 496, 11-18.
- 丸茂克己(2003)鉱物を用いた地質汚染浄化. *資源地質環境学 - 地球史と環境汚染を読む -*, 393-398.
- 松井健・永塚鎮男(1996)新版地学辞典. 地学団体研究会, 677p.
- Mckenzie, R. M. (1970) The reaction of cobalt with manganese dioxide minerals. *Ibid.*, 8, 97-106.
- Mester, Z., Cremisini, C., Ghiara, E. and Morabito, R. (1998). *Analytica Chimica Acta*, 359, 133-142.
- Miller, W. P., Martens, D. C. and Zelanzny, L. W. (1986) Effect of sequence in Extraction of trace metals from soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 598-601.
- 南哲之・小山内信智・山田孝・黒崎靖介・中村勝正・与那嶺淳(2001)沖縄島における流域単位での赤土砂の流出特性について. *砂防学会誌・新砂防*, 54, 3, 39-46.
- Monica, B. A., Monica, E. M. and Daniel, A. B. (2001) Comparative assessment of two sequential chemical extraction schemes for the fractionation of cadmium, chromium, lead and zinc in surface coastal sediments. *Fresenius J Anal Chem*, 369, 81-90.
- Moore, C. L. (1996) Process of chemical weathering of selected Cainozoic eastern Australian basalt. *Australian national Univ., Canberra, A. C. T., Australia*. 445.
- Moore, C. L. (1998) Evaluation of regolith development and element mobility during weathering using isocon technique. *Geol. Soc. Aust. Spec. Publ.*, 20, 141-147.
- 永塚鎮男(1996)新版地学辞典. 地学団体研究会, 677p.
- 永塚鎮男(1997)原色日本土壌生態図鑑. (株)フジ・テクノシステム, 149p.
- 中井信(2001)日本の土壌中の元素濃度. *地質ニュース*, 558, 48-55.
- 中島亮(1997)衛生データを用いた石垣島轟川流域における赤土流出域の検出 - 植生・土地被覆・表層地質などを考慮に入れた土壌環境評価 - . *国土館大学地理学報告*, 6, 35-48.
- 中野俊・山元孝広・一色直記(1991)八丈島, 西山火山噴出物の全岩化学組成. *岩鉱*, 86, 72-81.

- 中野俊・津久井雅志・星野希宣・一色直記(1993)八丈島火山群の全岩化学組成 - ボーリングコアが示す組成の時間変化 - . 地球惑星科学関連学会 1993 年合同大会予稿集, 306 .
- 中野俊・山元孝広・一色直記(1997)八丈島火山群の全岩化学組成: 地表試料からみた東山火山と西山火山の比較. 地質調査所月報, 48, 2, 93-105 .
- 南條正巳(1989)土壌中での元素の化学変化 - 多量元素, 微量元素 In: 土の化学. 社団法人日本化学会, 112-128 .
- 南條正巳・小林慶一郎・庄子貞雄(1995)土壌および Al-スメクタイトの交換性 Al とリン酸イオンの反応. 粘土科学, 35, 15-23 .
- Nesbitt, H. W. (1979) Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite. *Nature*, 279, 206-210 .
- Ohta, A. and Kawabe, I. (2001) REE(□) adsorption onto Mn dioxide(δ -MnO₂) and Fe oxyhydroxide: Ce(□) oxidation by δ -MnO₂. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 65, 695-703 .
- 岡本勝男・山田一郎・今川俊明・福原道一(1992)ランドサット TM データによる沖縄島北部サンゴ礁の赤土分布評価. 地質雑, 101, 2, 107-116 .
- 岡崎正規・佐藤幸夫(1989) 水和酸化物. In: 土の化学. 社団法人日本化学会, 67-79 .
- Olafur, A., Hallmark, C. T. and Wilding, L. P. (1995) Andisols from Four Different Region of Iceland. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59, 161-169 .
- 大森昌衛・端山好和・堀口万吉(1996) 関東地方. 共立出版, 350 p .
- Rauret, G., Lopez-Sanchez, F., Sahuquillo, A., Rubio, R., Davidson, C., Ure, A. and Quevauviller, Ph. (1999) Improvement of the BCR three step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials. *J. Environ. Monit.*, 1, 57-61 .
- Richard, L. H. and Blair, F. J. (1972) Weathering of basaltic tephra on the island of Hawaii. *Geol. Soc. AM. Bulletin*, 83, 317-332 .
- 三枝正彦(1989) 黒ボク土. In: 土の化学. 社団法人日本化学会, 148-154 .
- 鮫島輝彦・岩橋徹・土隆一・伊藤通玄・黒田直(1968)伊豆半島の地質に関する諸問題. 日本地質学会第 75 年秋季学術大会総合討論会資料, フォッサマグナ, 87-92 .
- 関陽児(1998)土壌・風化帯の形成と水質変化. 地質調査所月報, 49, 12, 639-667 .
- 柴原真理子・山崎理恵子・西田和夫・鈴木潤三・鈴木静夫・西田英郎・多田史(1975)河川底質どの重金属分布 - 全国主要河川の河口付近の底質土の重金属分布 - . 衛生化学, 21, 173-182 .
- 鹿園直建・瀧野晶嗣(2002)風化に伴う玄武岩ガラスの溶解速度. 原子力バックエンド研究, 8, 171-178 .
- 鹿園直建・大谷晴啓・木村進一(2003)高レベル放射性廃棄物地層処分安全性評価のためのナチュラルアナログ研究 - 風化作用による元素の移行評価 - . 資源地質, 53, 201 - 206 .
- 鹿園直建・大谷晴啓(2003)黒ボク土中の重金属元素の移行挙動とその支配要因. 資源地質, 53(2), 147 - 152 .

- 庄子貞雄(1984)非アロフェン質火山灰土の生成と特性．粘土科学，24，152-165．
- Show ,H .F .and Wasserburg ,G. J .(1985)Sm-Nd in marine carbonates and phosphates .*Geochim . Cosmochim . Acta* , 49 , 503-518 .
- Stumm ,W . and Morgan ,J .J .(1996)*Aquatic Chemistry - Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters* - . John Wiley & Sons , Inc . 407 .
- Suarez ,D .L .and Langmuir ,D .(1976) Heavy metal relationships in Pennsylvania soil .*Geochim . Cosmochim . Acta* , 40 , 589-598 .
- 菅香世子(1993)過去一万年間の噴出物にみる八丈島東山火山後期の活動と西山火山の成長．*火山* , 38 , 115-127 .
- 菅香世子(1998)八丈島火山群の形成過程とその特徴．*第四紀研究* , 37 , 59-75 .
- Sverjensky ,D .A .(1994) Zero-point-of-charge prediction from crystal chemistry and solvation theory .*Geochim . Cosmochim . Acta* , 58 , 3123-3129 .
- Takahashi ,Y . and Minai ,Y .(2001)Role of complex formation with humic substances in the redistribution of trivalent rare earth elements and actinides .*Water-Rock Interaction* . Swets &Zeitlinger , Lisse , ISBN90 , 2651 , 824 , 2 .
- 武辺勝道(2001)西～中央太平洋堆積物の希土類元素組成 - 因子分析による検討 - ．*地質雑* , 107 , 5 , 301-315 . *Geochim . Cosmochim . Acta* , 53 , 1511-1522 .
- Taylor ,S .R . and Mcleman ,S .M .(1988)*The continental crust : Its composition and evolution* . Blackwell , Oxford , 312p .
- Tessier ,A . , Campbell ,P .G .C . and Bisson ,M .(1979)Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals . *Anal . Chem .* , 51 . 844-851 .
- Tessier ,A . , Carignan ,R . , Dubreuil ,B . and Rapin ,F .(1989)Partitioning of zinc between the water column and the oxic sediment in lakes .
- 植村武・山田哲雄(1996)日本の地質4 - 中部地方 - ．共立出版，332p .
- 上野広行・鶴見実・一國雅巳(1992)関東ロームを母材とする水田土壌の化学元素の分布と移動．*地球化学* , 26 , 83-94 .
- 和田光史・吉田稔・岡島英夫・楯塚昭三 (1991)土壌の吸着現象 - 基礎と応用 - ．*日本土壌肥料学会編*，博友社，160p .
- Winchester ,JA and Floyd ,PA(1977)Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements . *Chem . Geol .* , 20 , 325-343 .
- 吉田英一・湯佐泰久(1995)放射性核種の地層中での挙動 - 東濃ウラン鉱床における天然ウラン系列核種を例にして - ．*同位元素研究発表特別講演要旨* , 206-209 .
- Yoshida ,S . , Muramatsu ,Y . , Tagami ,K . and Uchida ,S .(1998) Concentrations of Lanthanide elements ,Th ,and U in 77 Japanese surface soils .*Environment International* ,24 ,3 ,275-286 .
- Young ,G .M . and Nesbitt ,H .W .(1998)Processes controlling the distribution of Ti and Al in weathering profiles , siliciclastic sediments and sedimentary rocks . *Jornal of sedimentary*

research , 68 , 448-455 .

Yusa , Y . and Yamakawa , M . (1991)Tono in-situ research facilities for studies of the geological environment . 29th IGC Field Trip , B18 , 145-153 .

Appendix

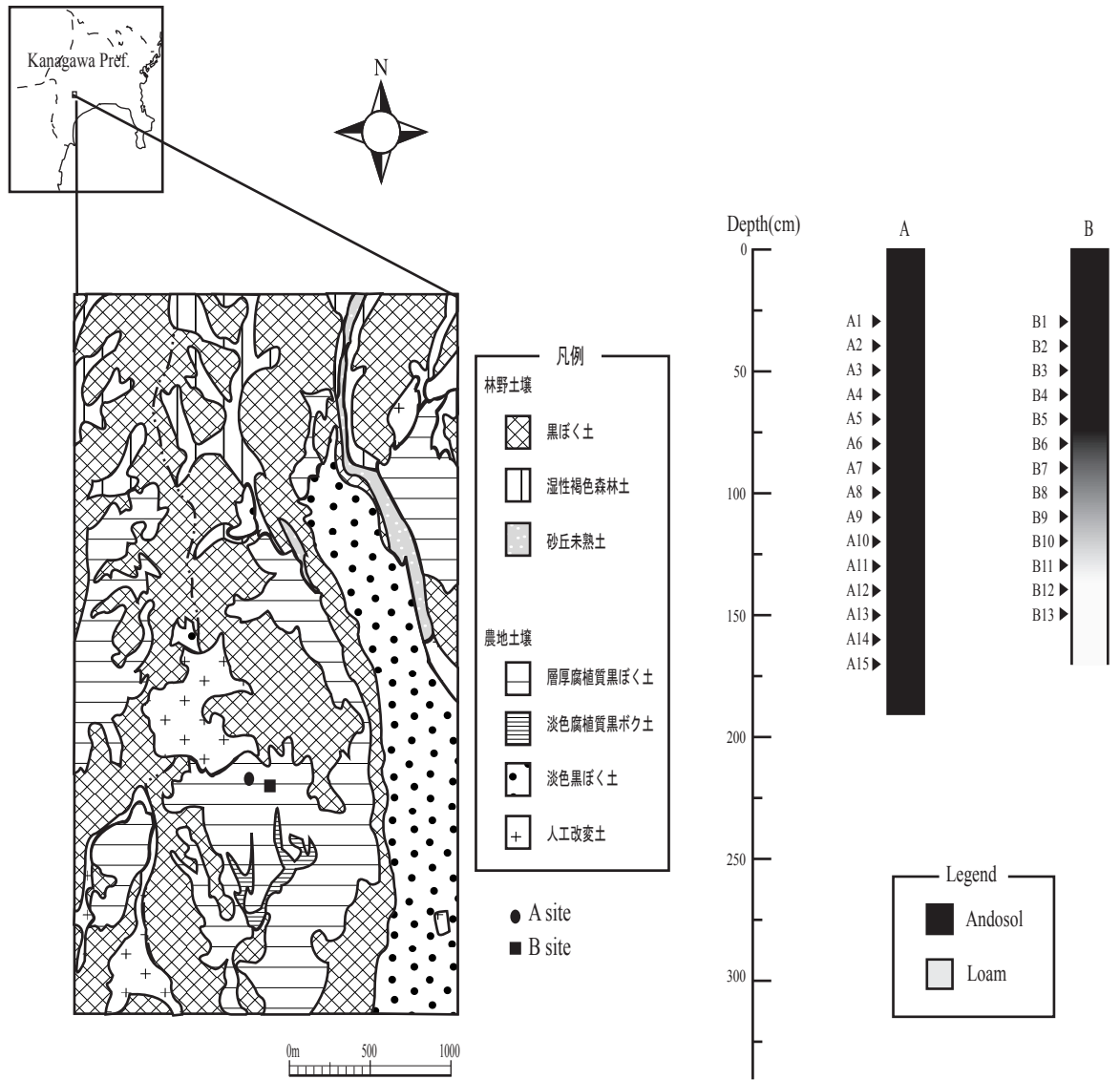


Fig.1 Location and soil map of study area and geologic columnar section (Hadano area).

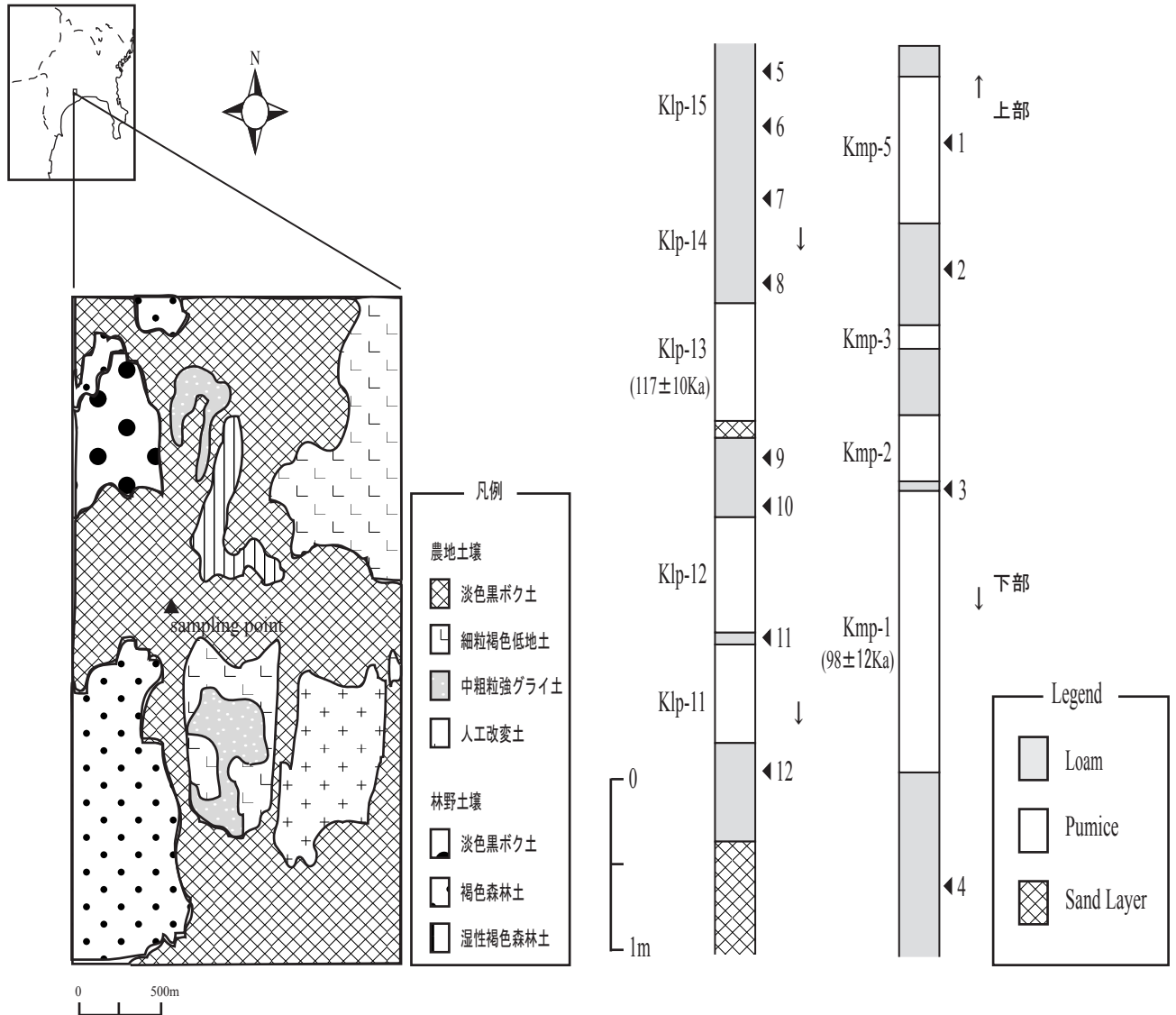


Fig.2 Location and soil map of study area and geologic columnar section (Hiratsuka area).

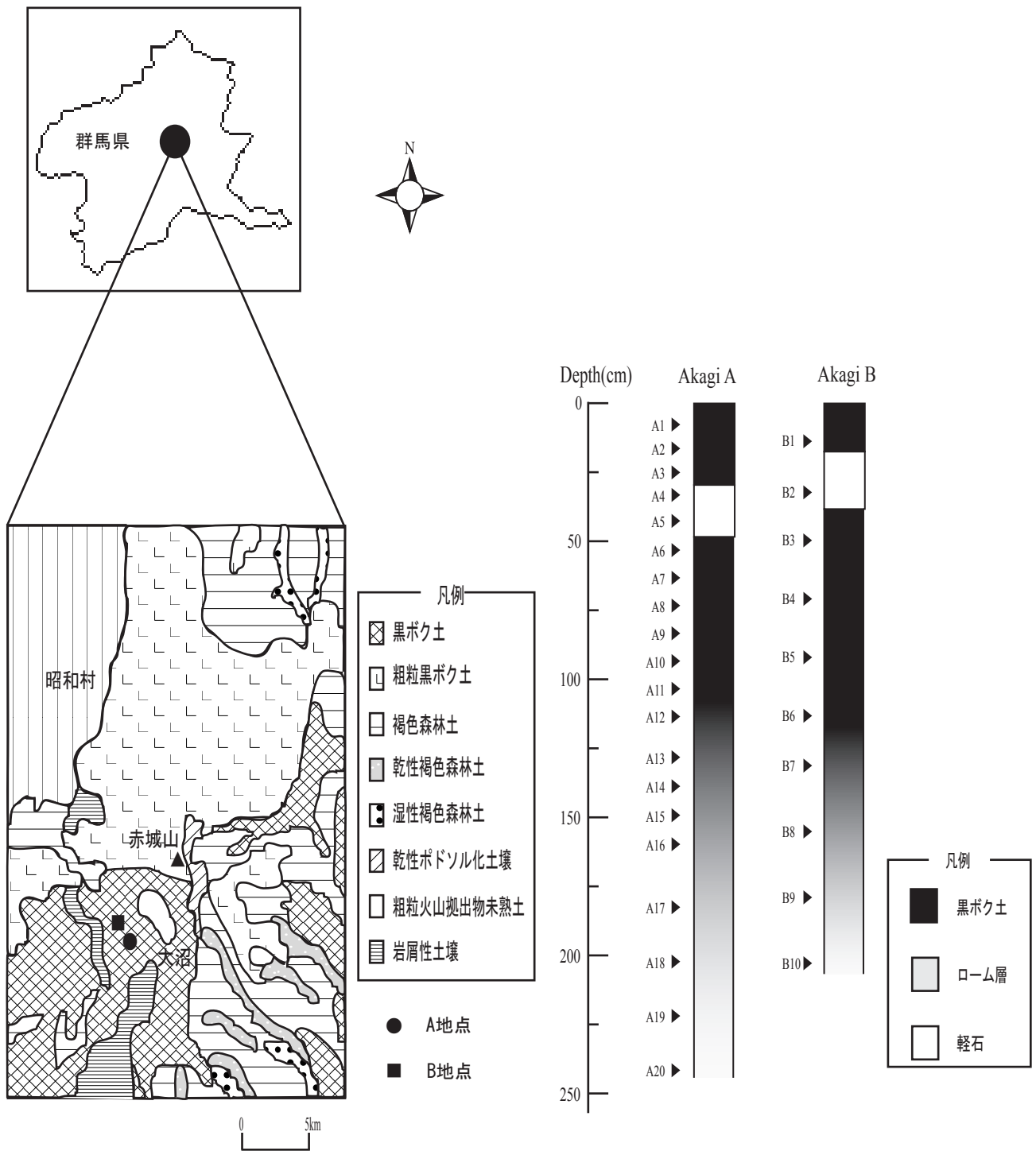
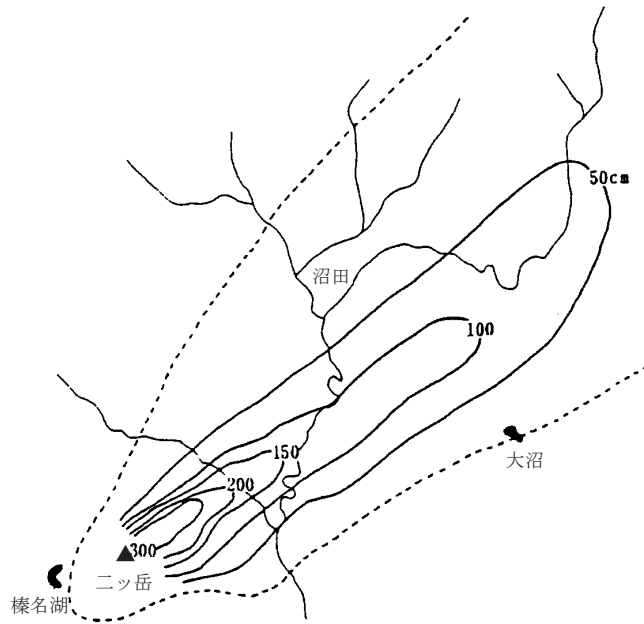


Fig.3 Location and soil map of study area and geologic columnar section (Akagi area).

(A)



(B)

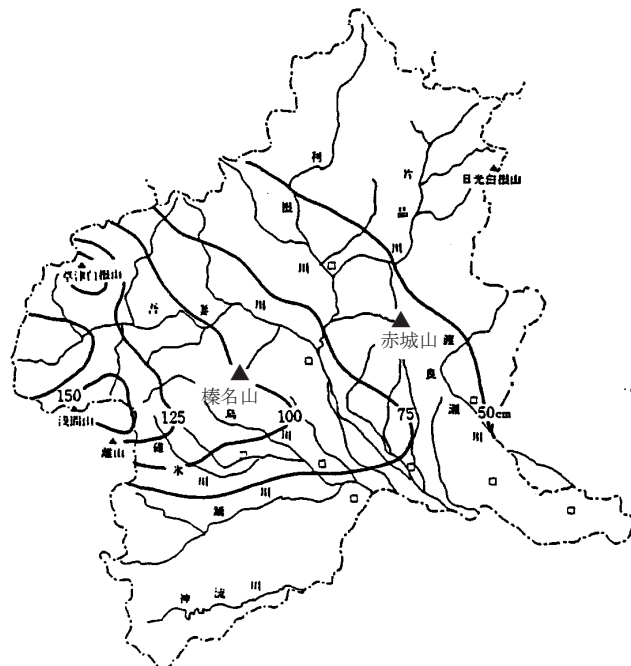


Fig.4 Isopachous map of pumice layer of Futatsudake (A) and andosol (B) (Volcanic ash of Gunma Pref.,1995 in Japanese) .

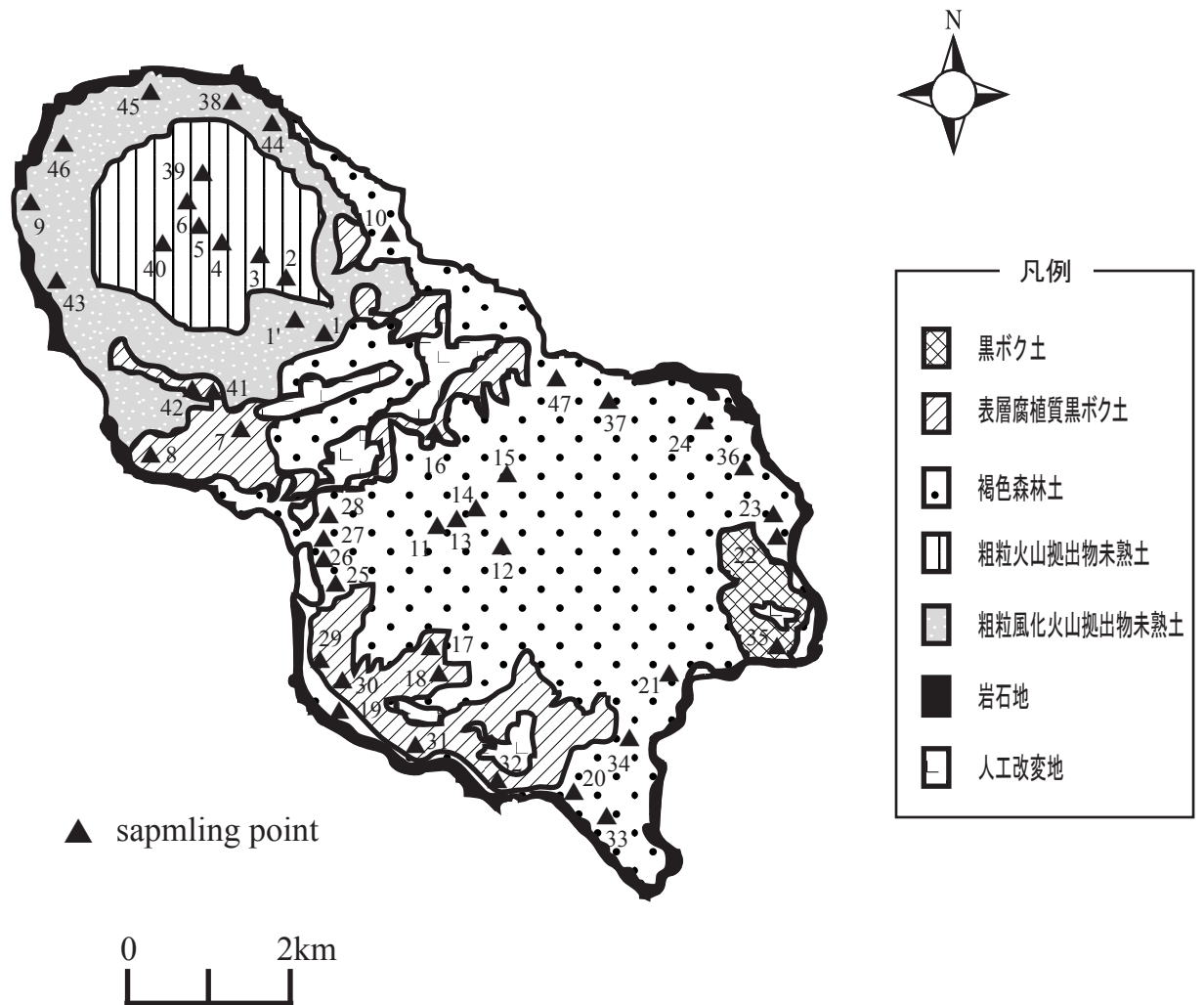


Fig.5 Location and soil map of study area (Hachijou Island area).

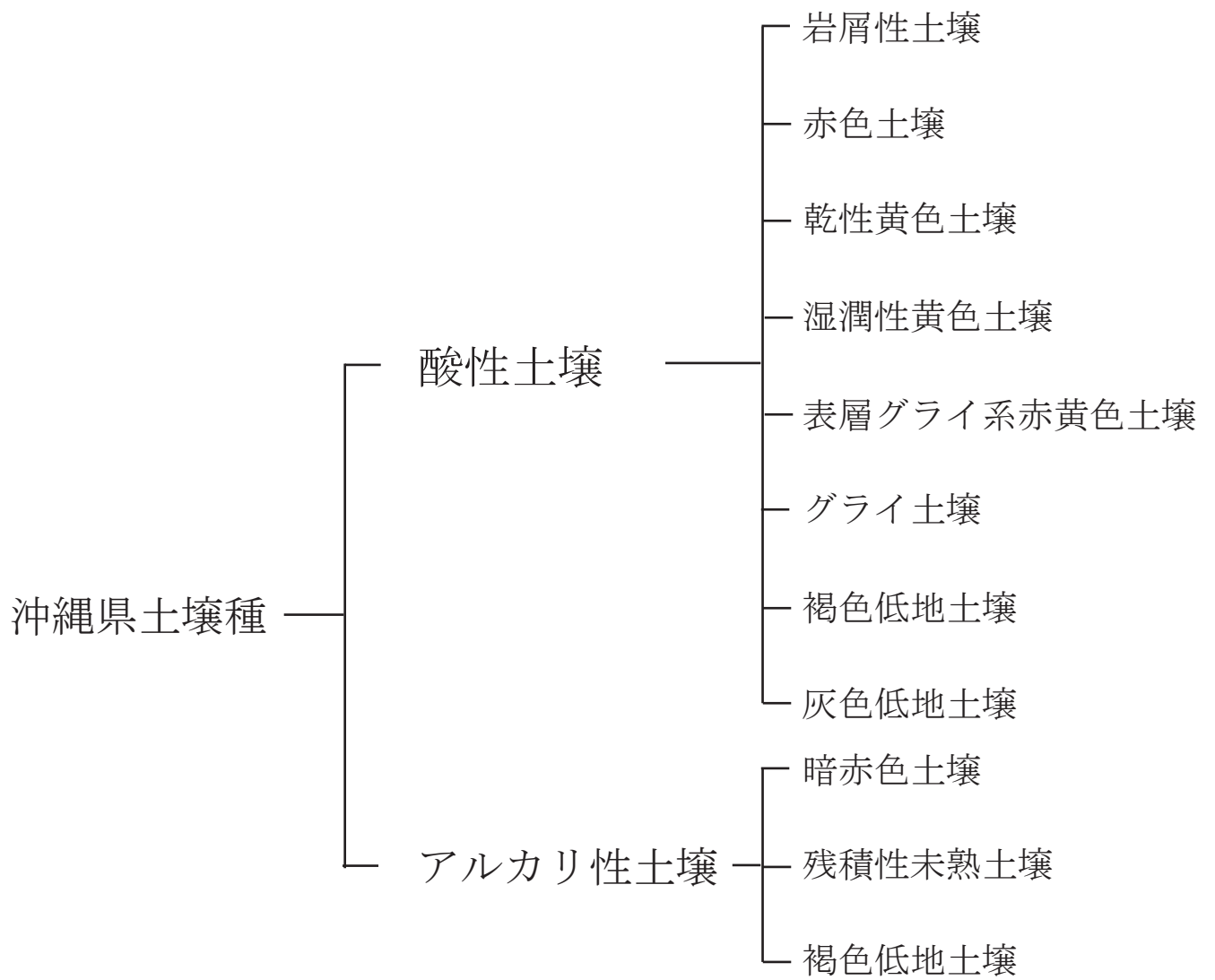


Fig.6 Soil types of Okinawa Pref..

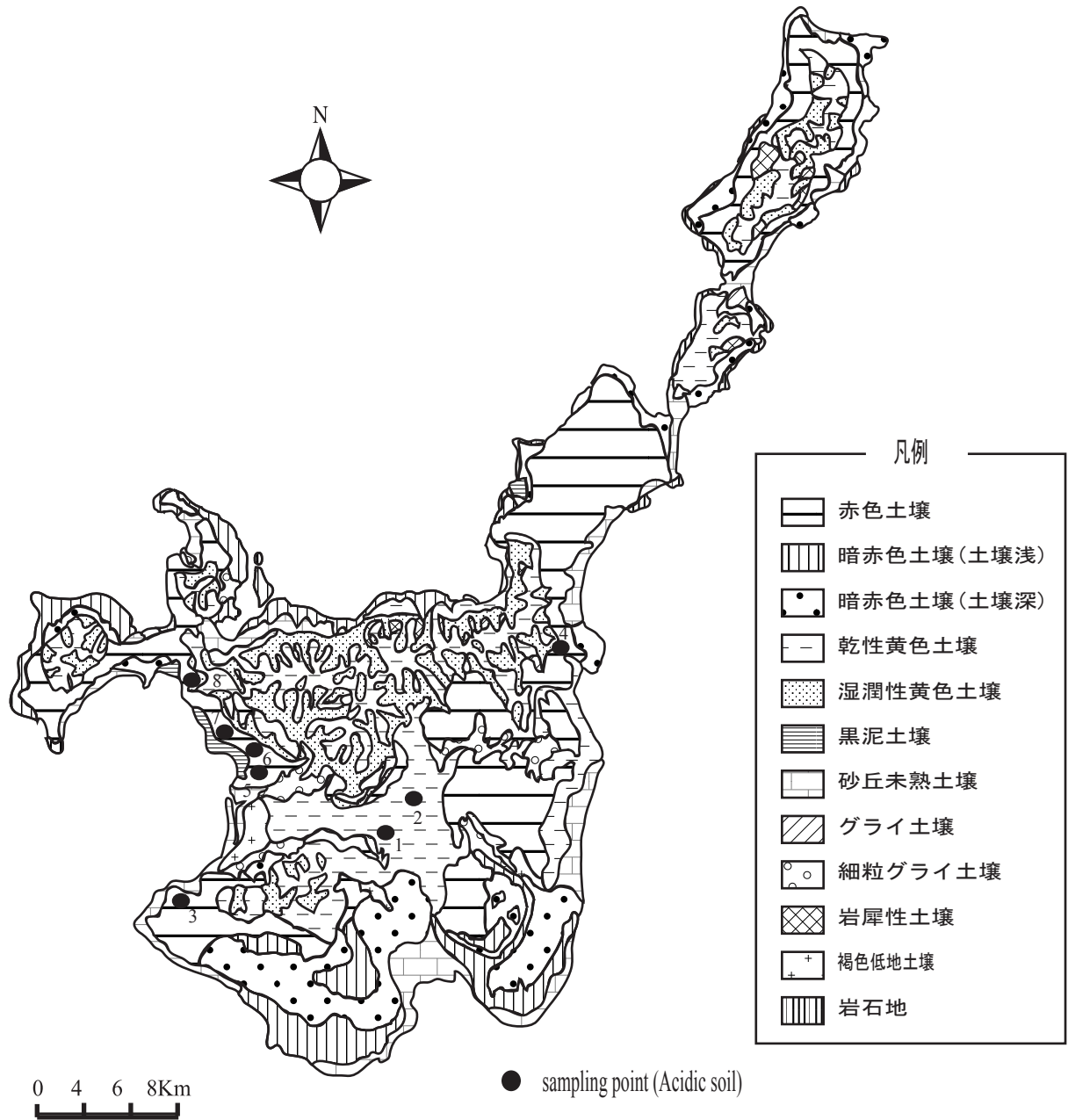


Fig.7 Location and soil map of study area (Ishigaki Island area).

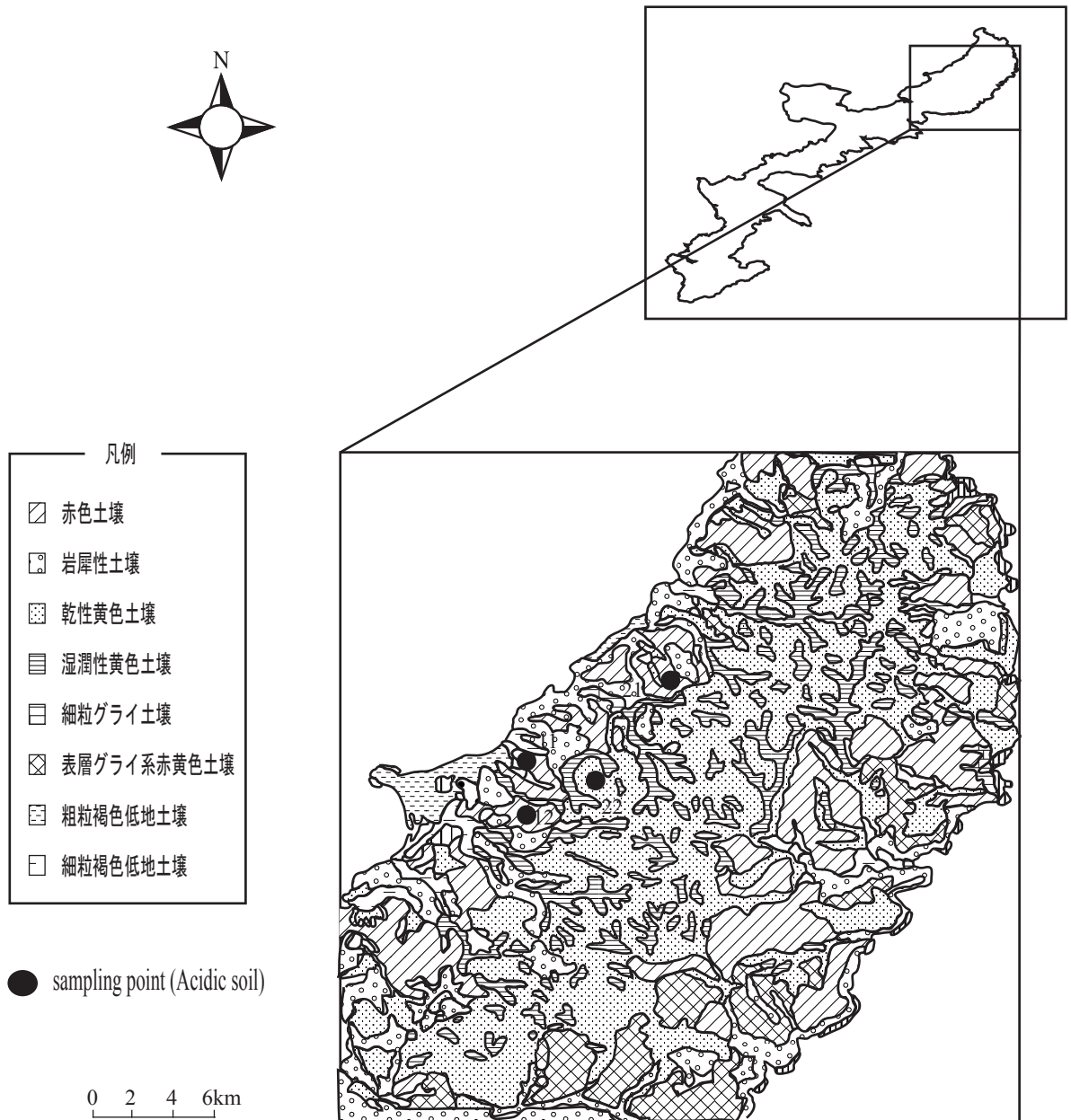


Fig.8 Location and soil map of study area
(The main island of Okinawa northern part area).

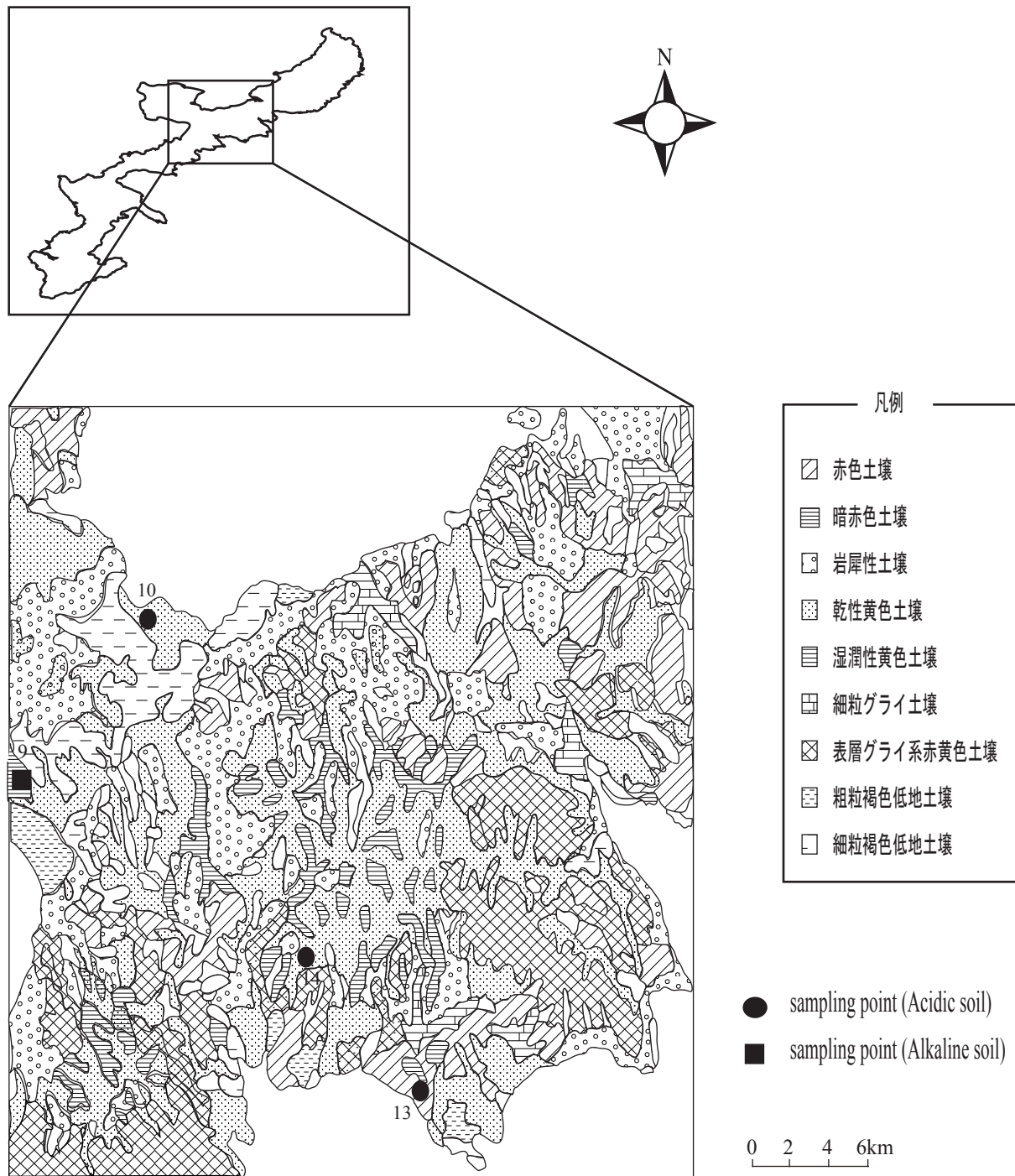


Fig.9 Location and soil map of study area
 (The main island of Okinawa central part area).

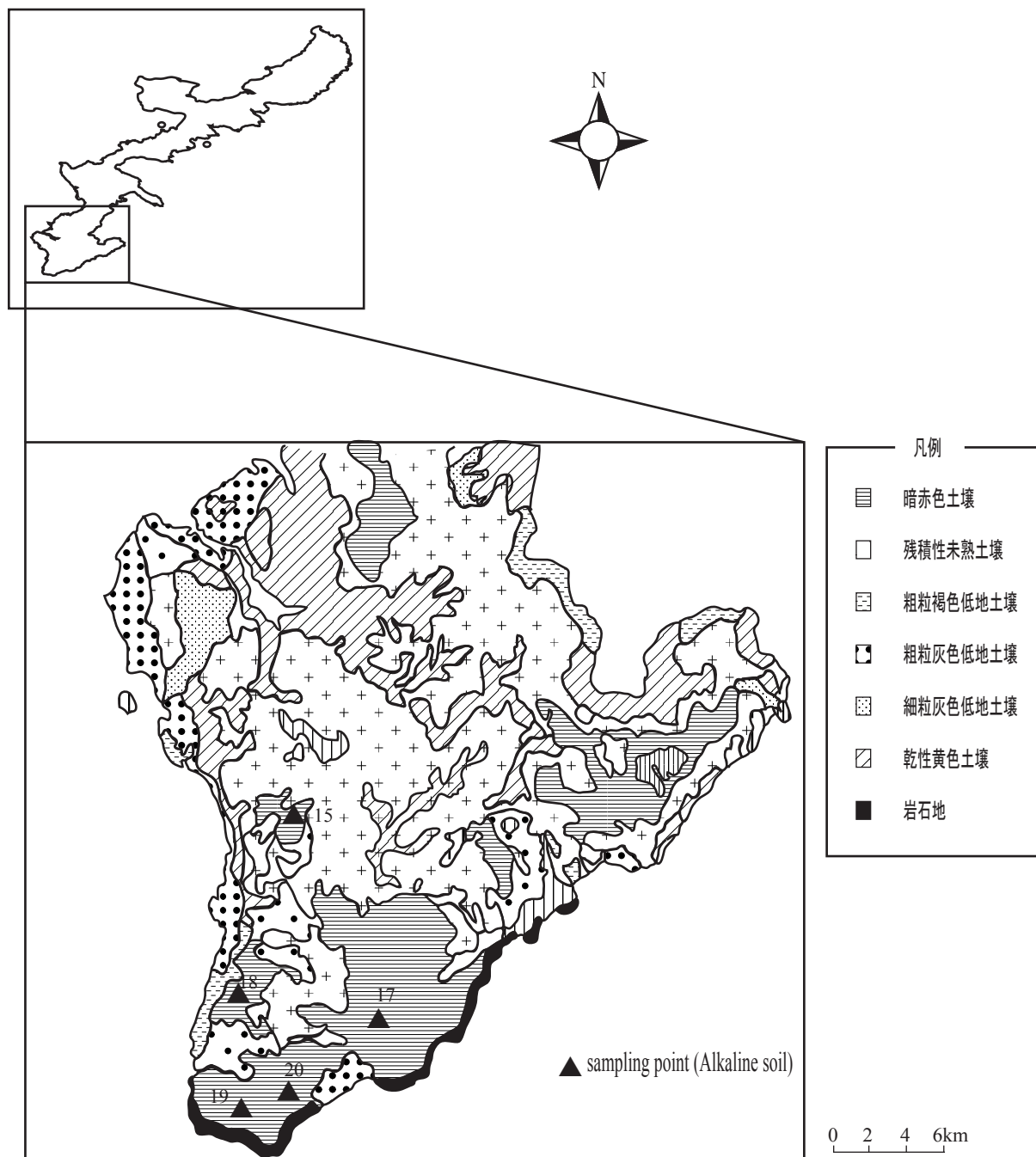


Fig.10 Location and soil map of study area
(The main island of Okinawa southern part area).

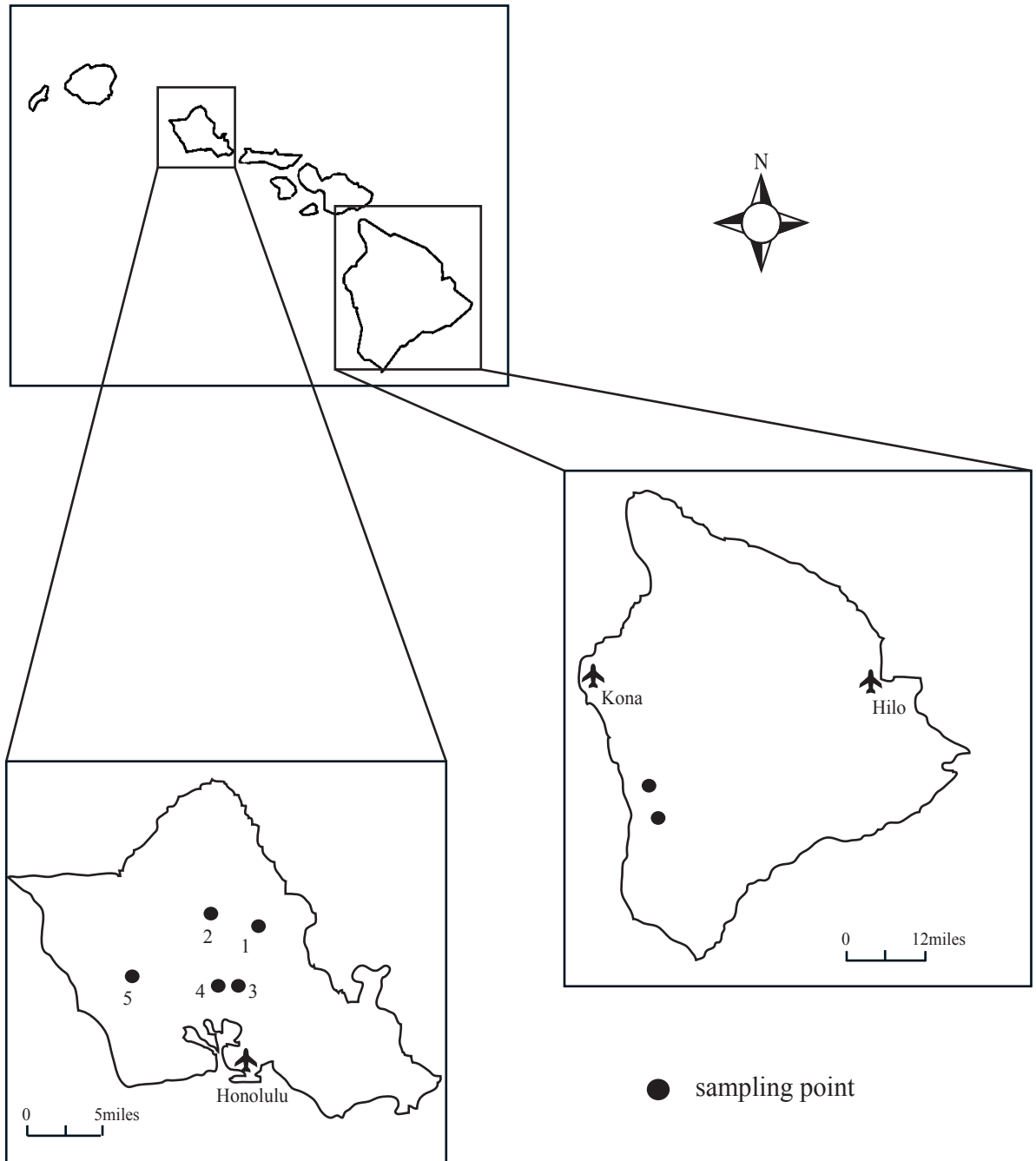


Fig.11 Location map of sampling point (Oahu , Hawaii area).

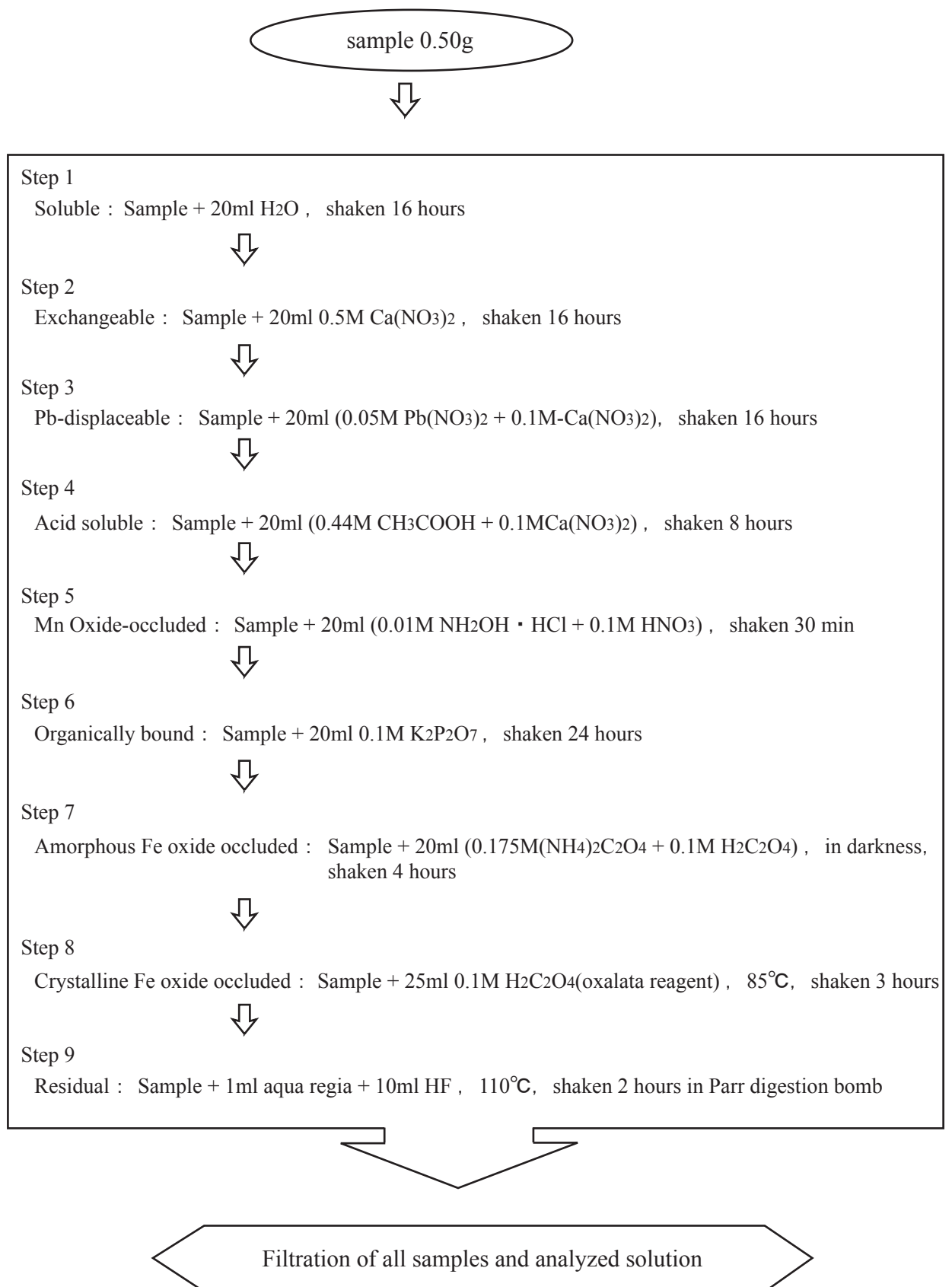


Fig.12 Method of extraction experiment (Miller, 1986).

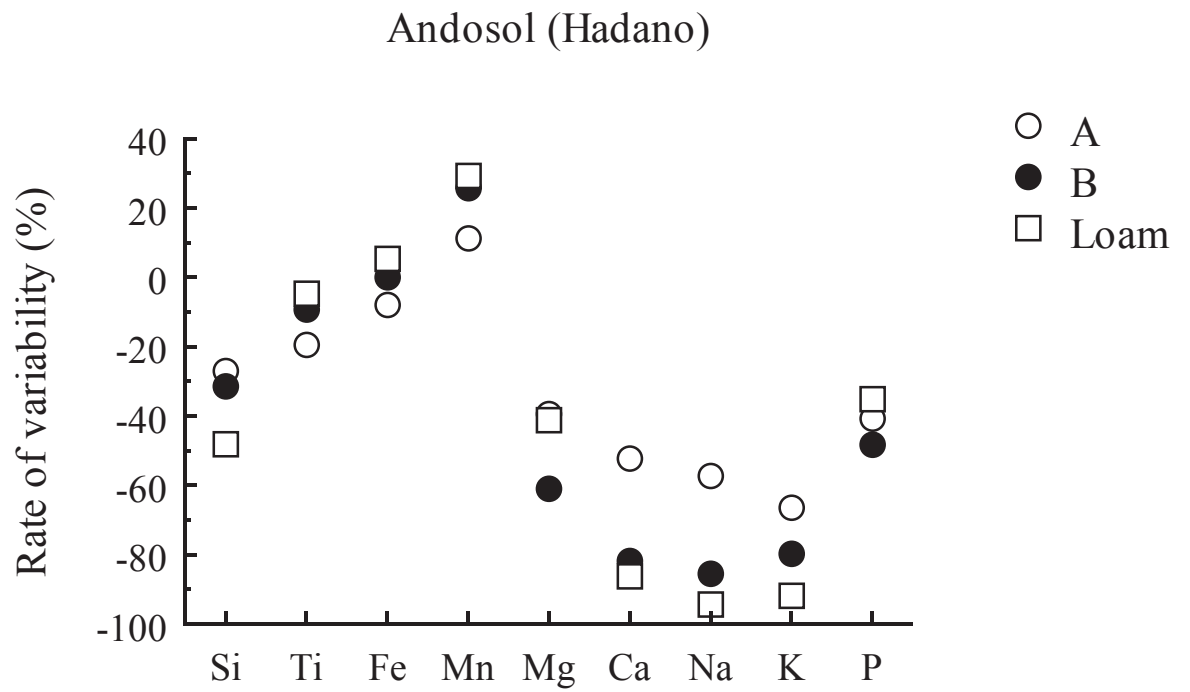


Fig.13 Rate of variability of major elements in andosol (Hadano area).

Andosol (Hiratsuka)

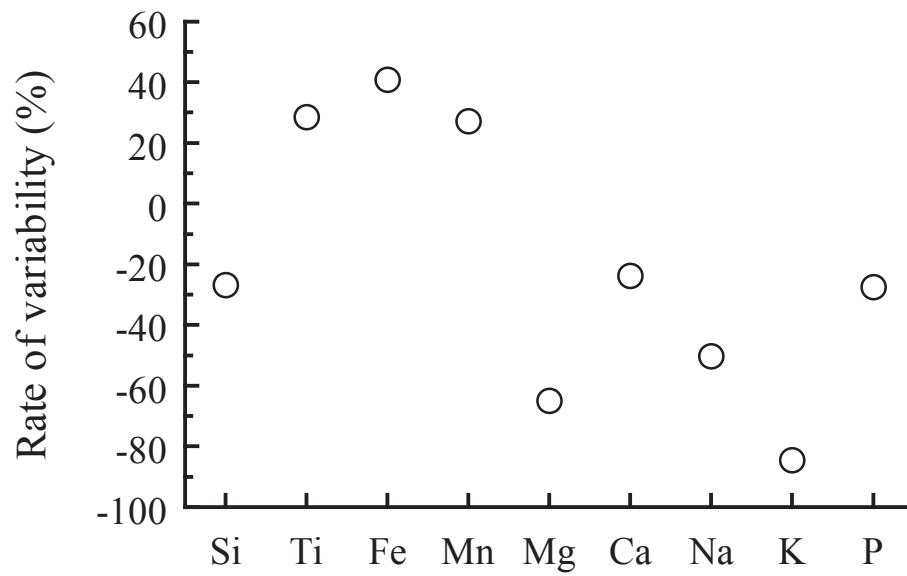


Fig.14 Rate of variability of major elements in loam (Hiratsuka area).

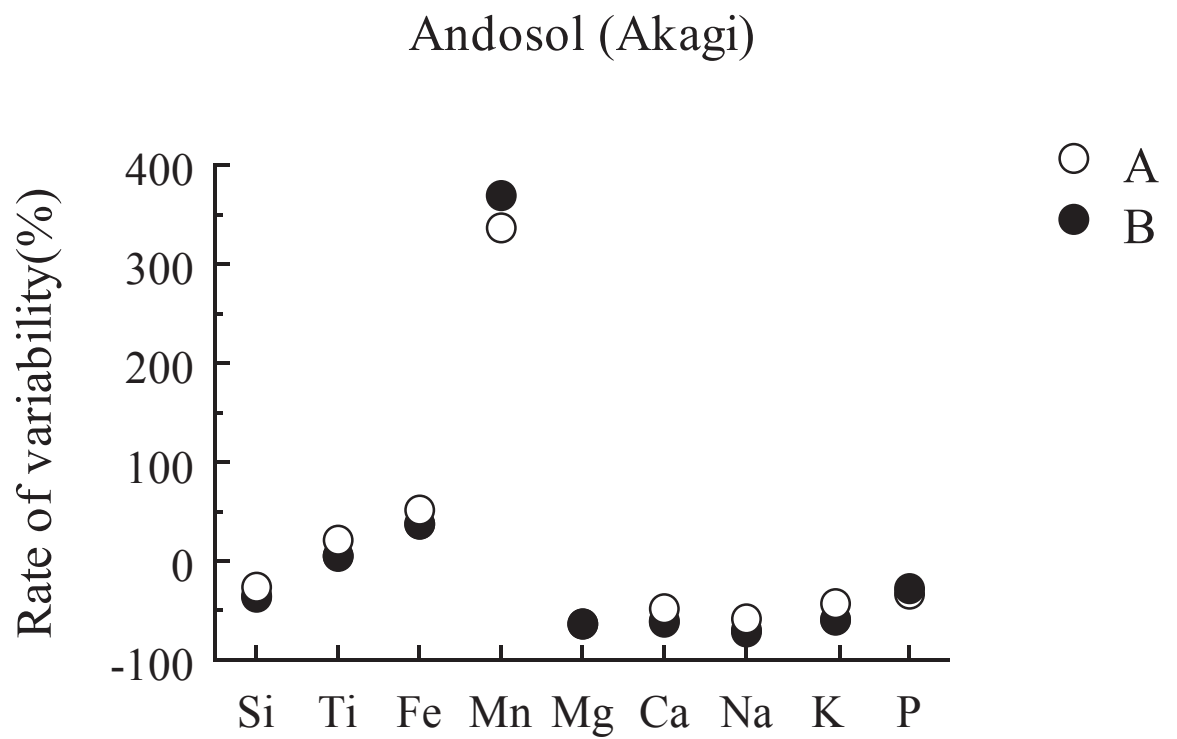


Fig.15 Rate of variability of major elements in andosol (Akagi area).

Brown forest soil (Hachijyo Island)

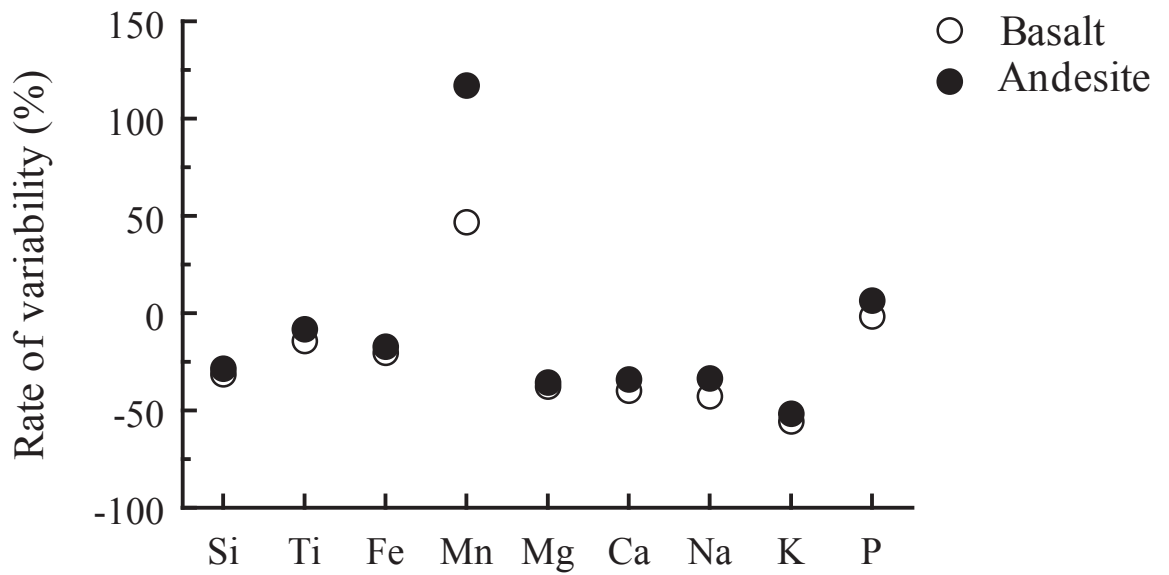


Fig.16 Rate of variability of major elements in brown forest soil(Hachijyo Island area).

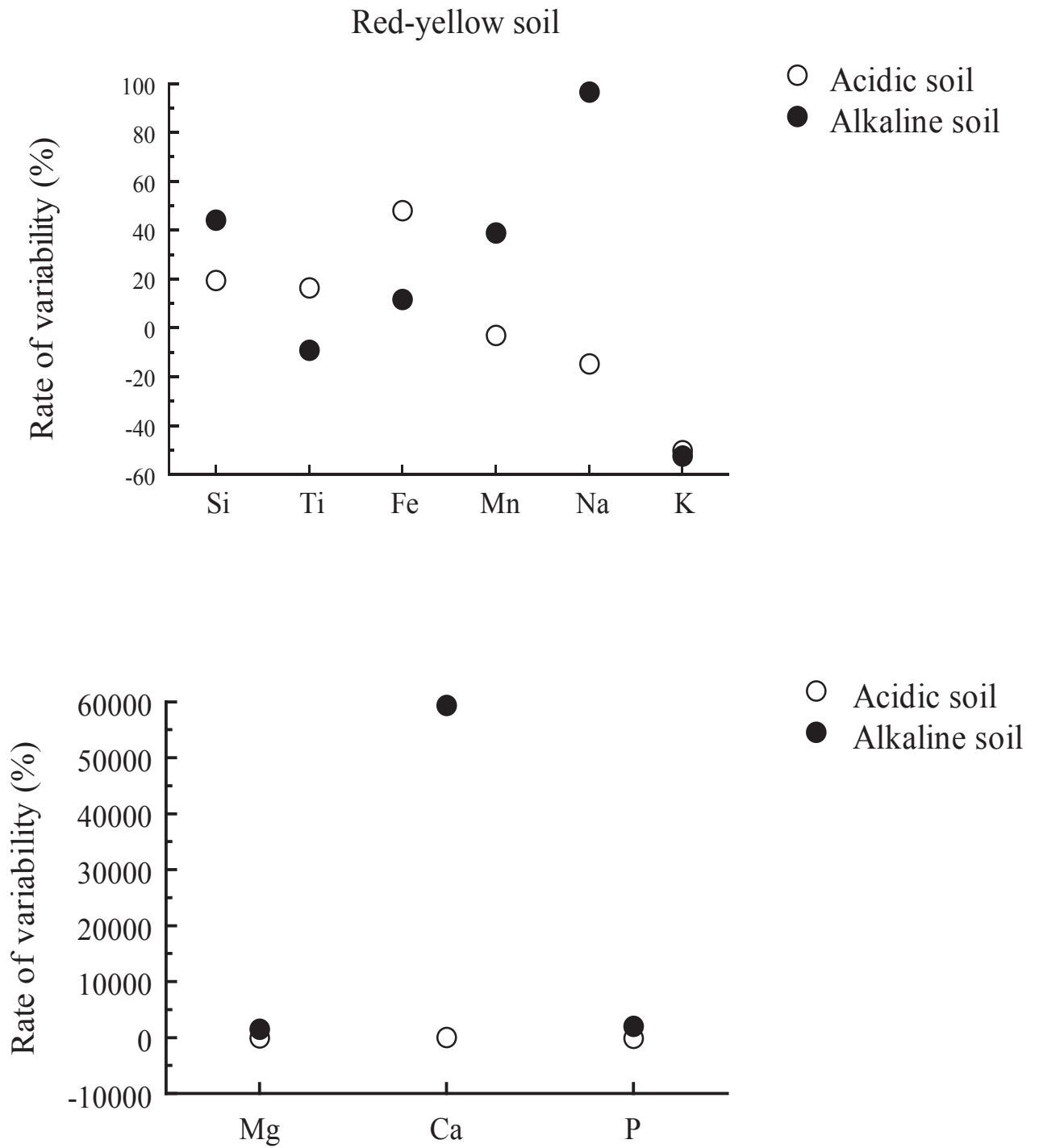


Fig.17 Rate of variability of major elements in red-yellow soil (The main island of Okinawa and Ishigaki Island area).

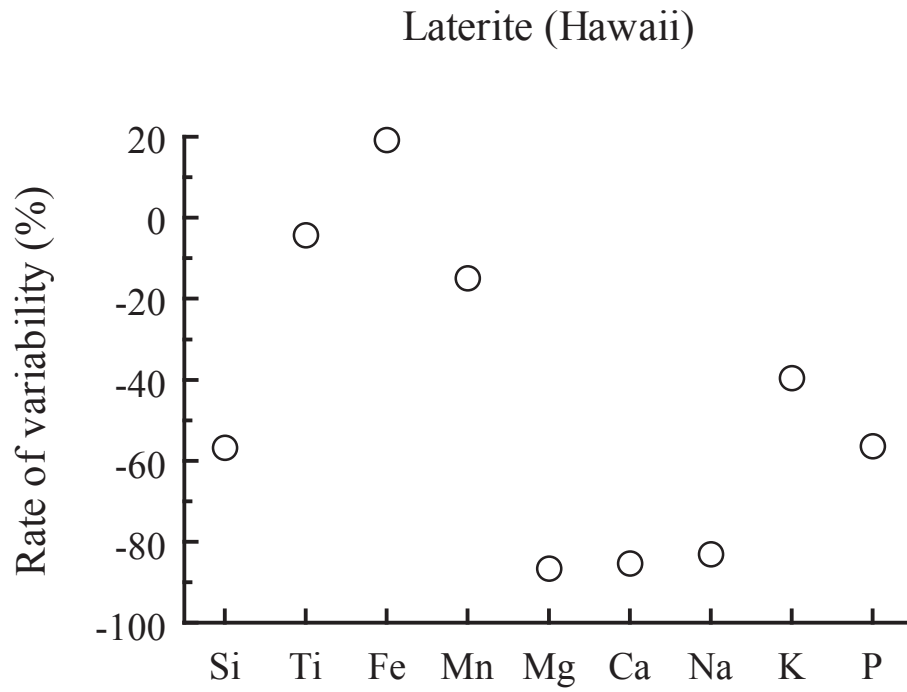


Fig.18 Rate of variability of major elements in laterite (Oahu and Hawaii Island area).

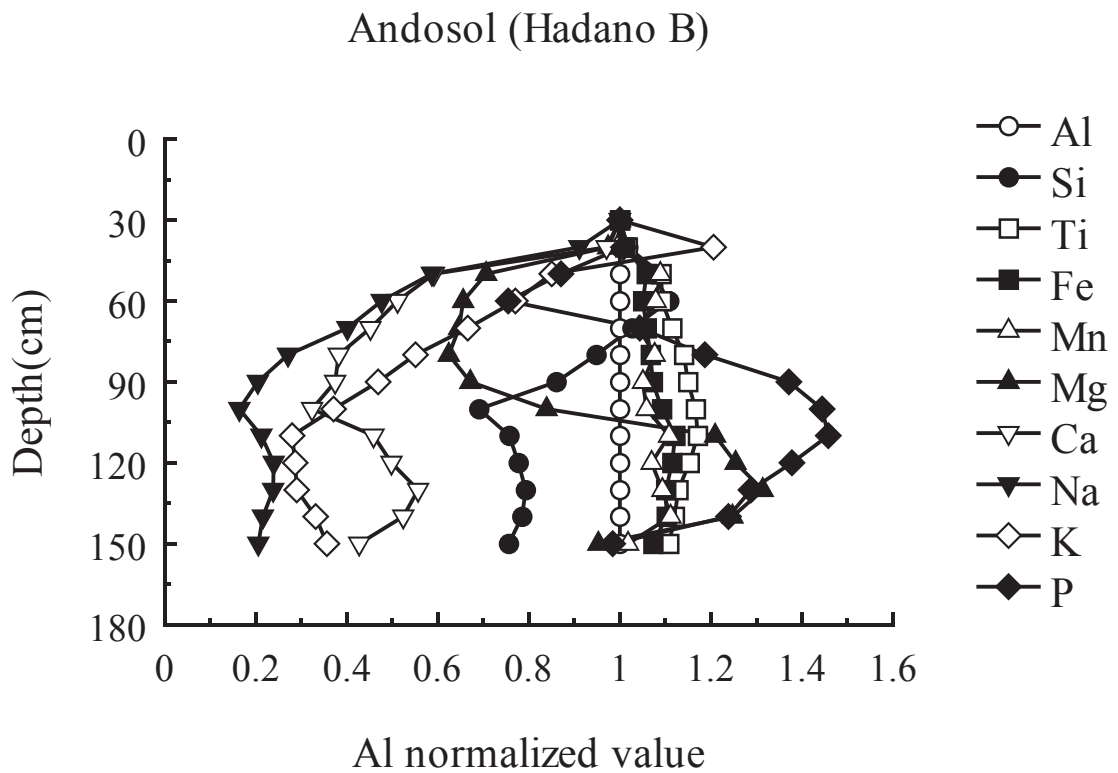
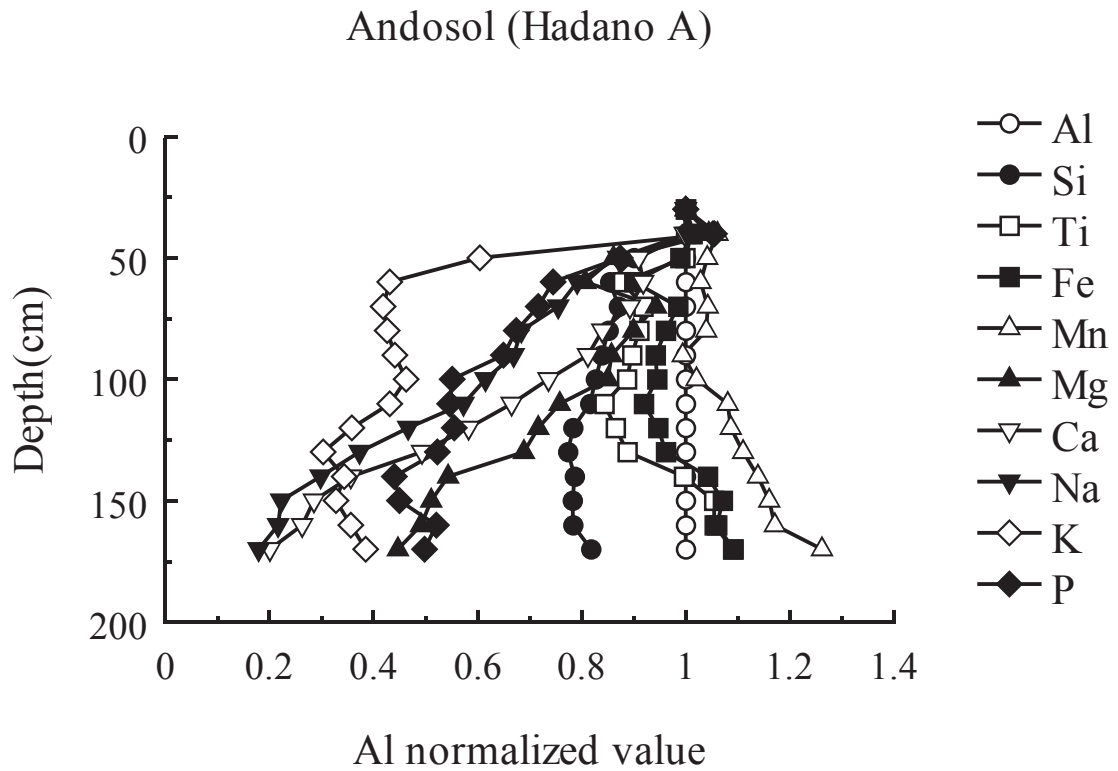


Fig.19 Relations between Al normalized value of major elements and depth in andosol (Hadano area).

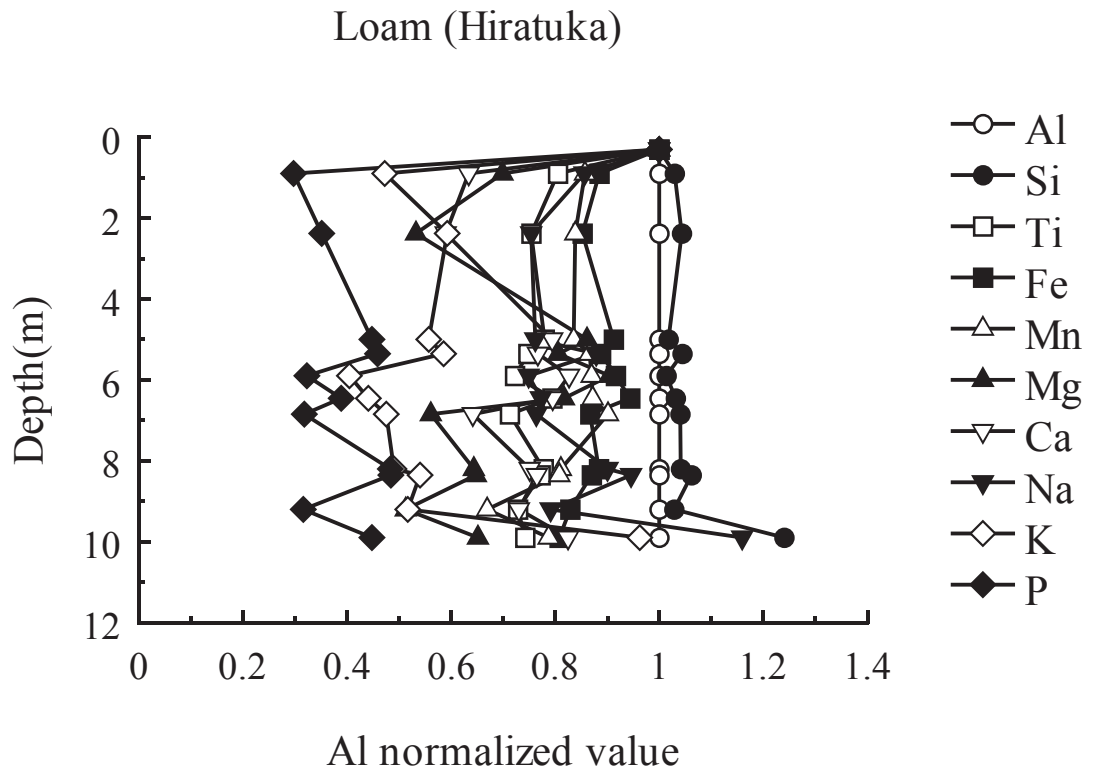


Fig.20 Relations between Al normalized value of major elements and depth in loam (Hiratsuka area).

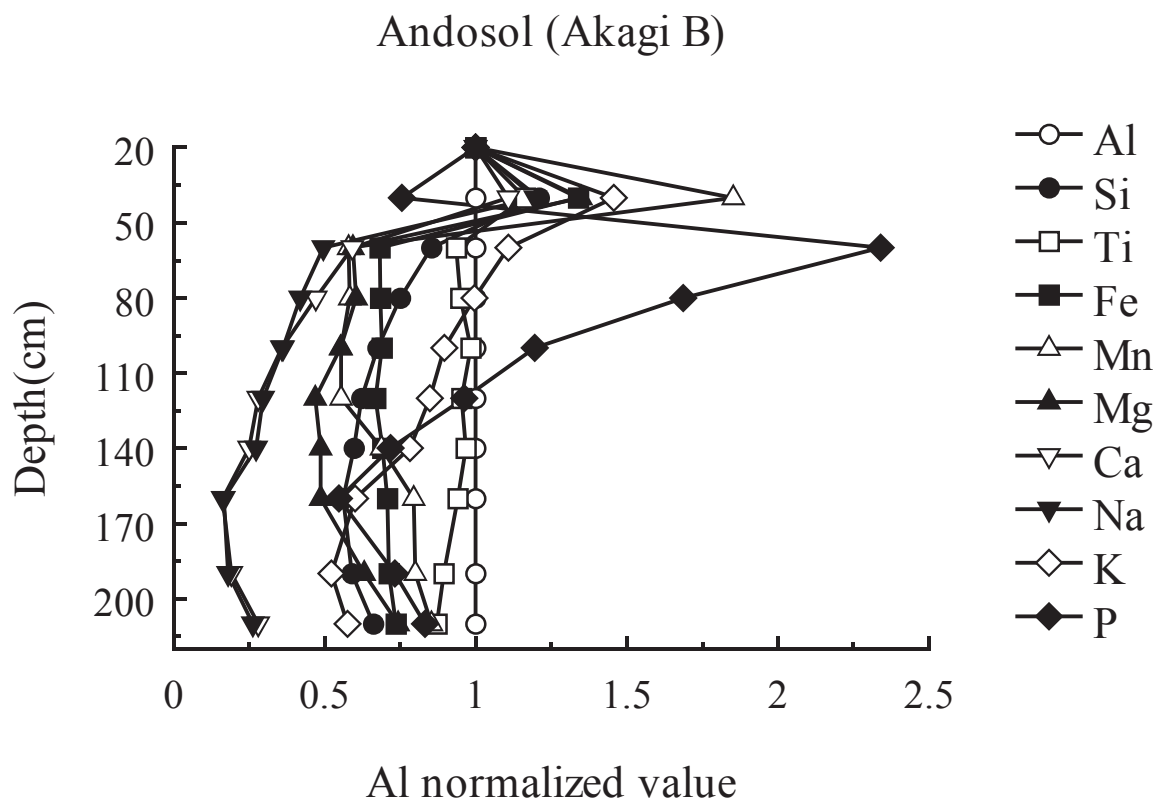
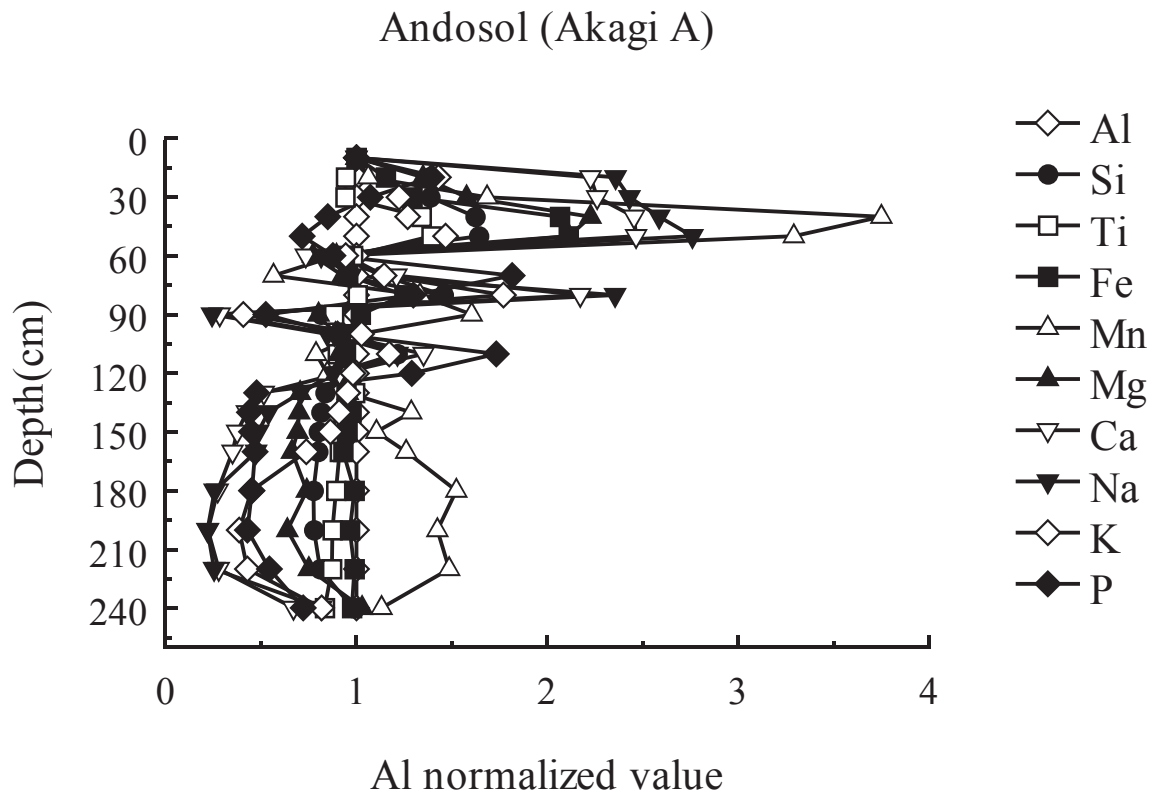
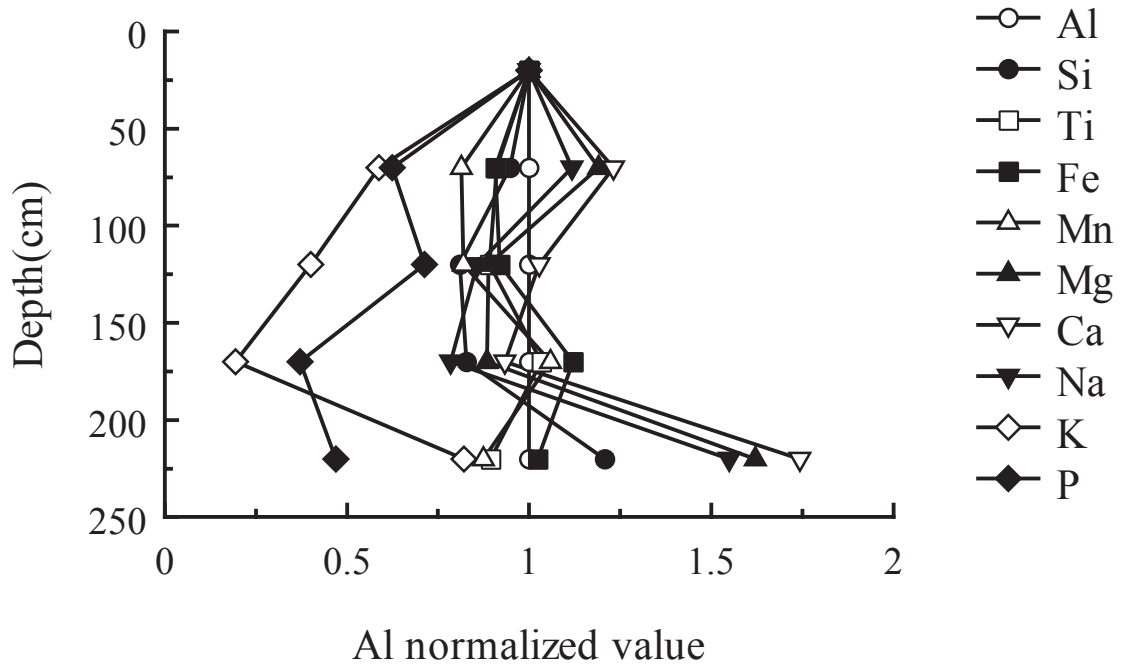


Fig.21 Relations between Al normalized value of major elements and depth in andosol (Akagi area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 7 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 10 : Basalt)

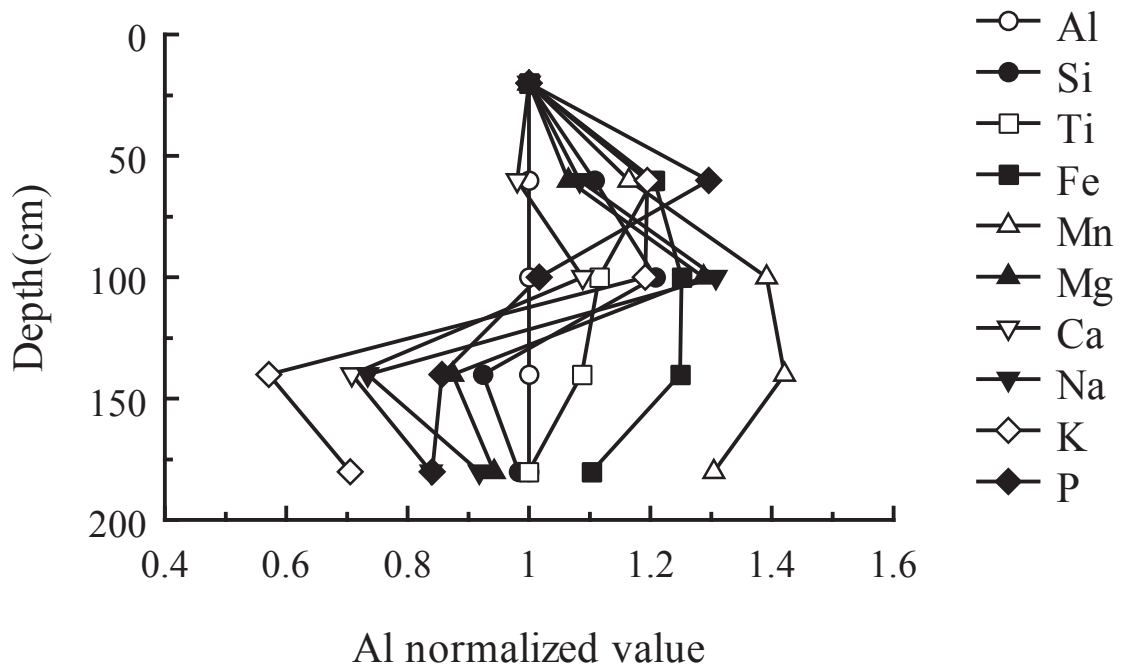
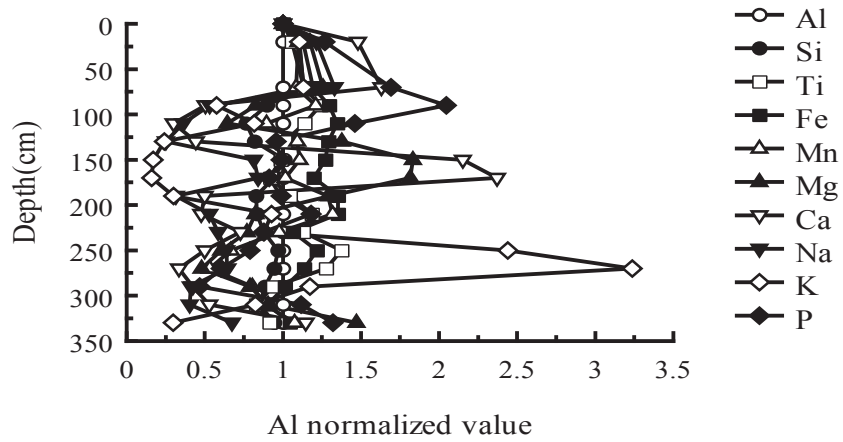
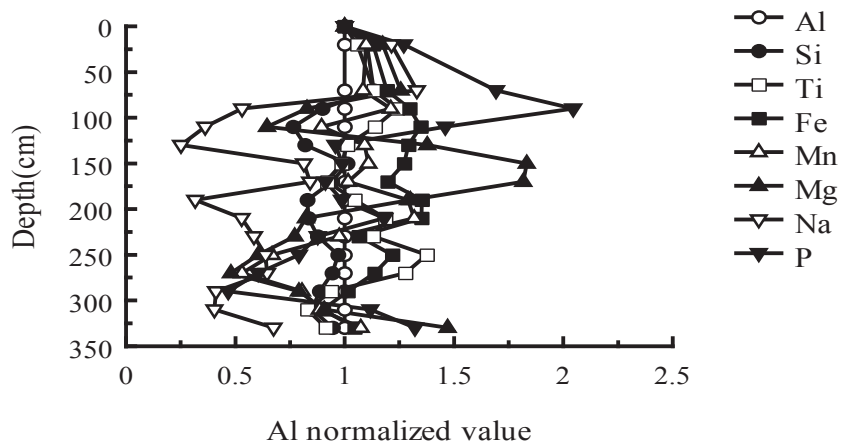


Fig.22 Relations between Al normalized value of major elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 20 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 20 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 20 : Basalt)

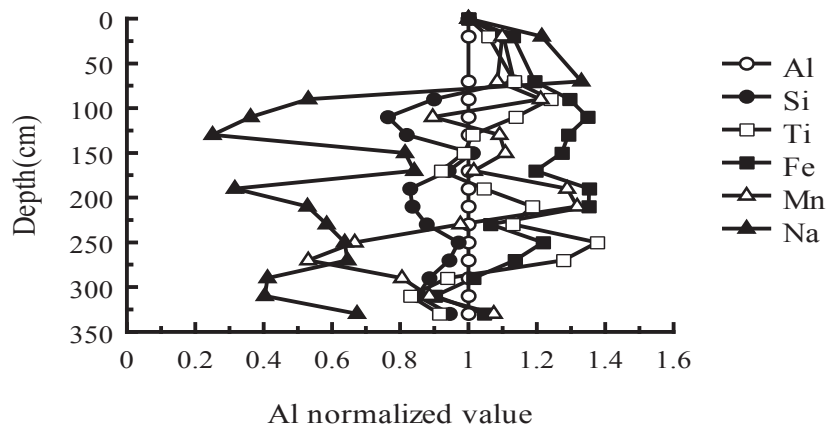
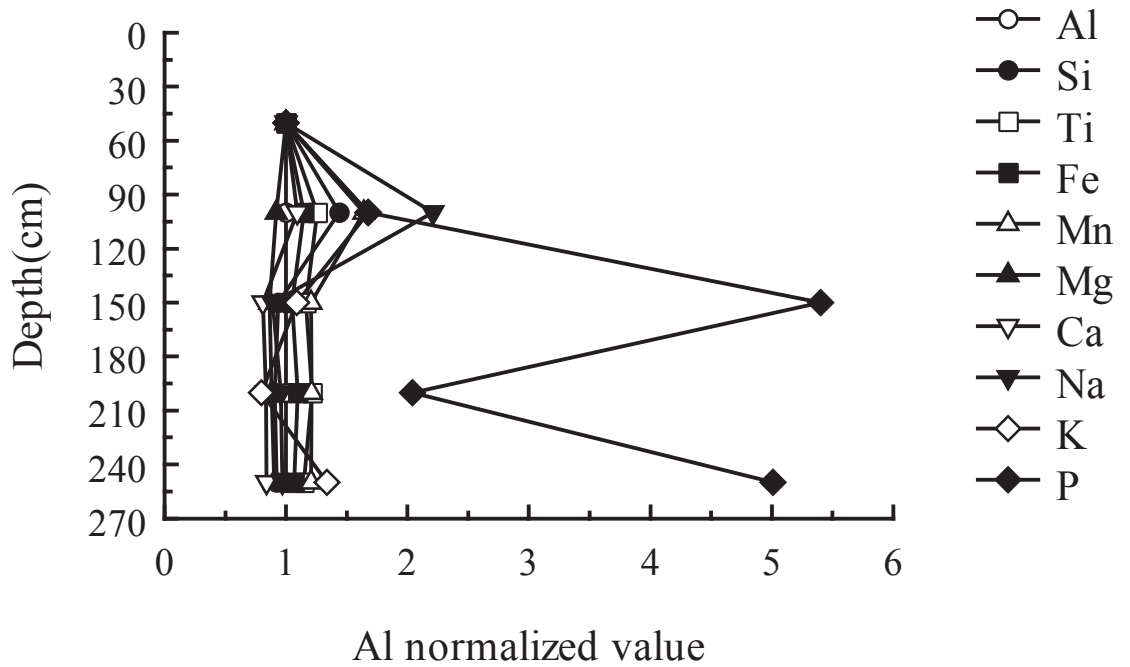


Fig.23 Relations between Al normalized value of major elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 27 : Andesite)



Brown forest soil (Hachijyo Island 27 : Andesite)

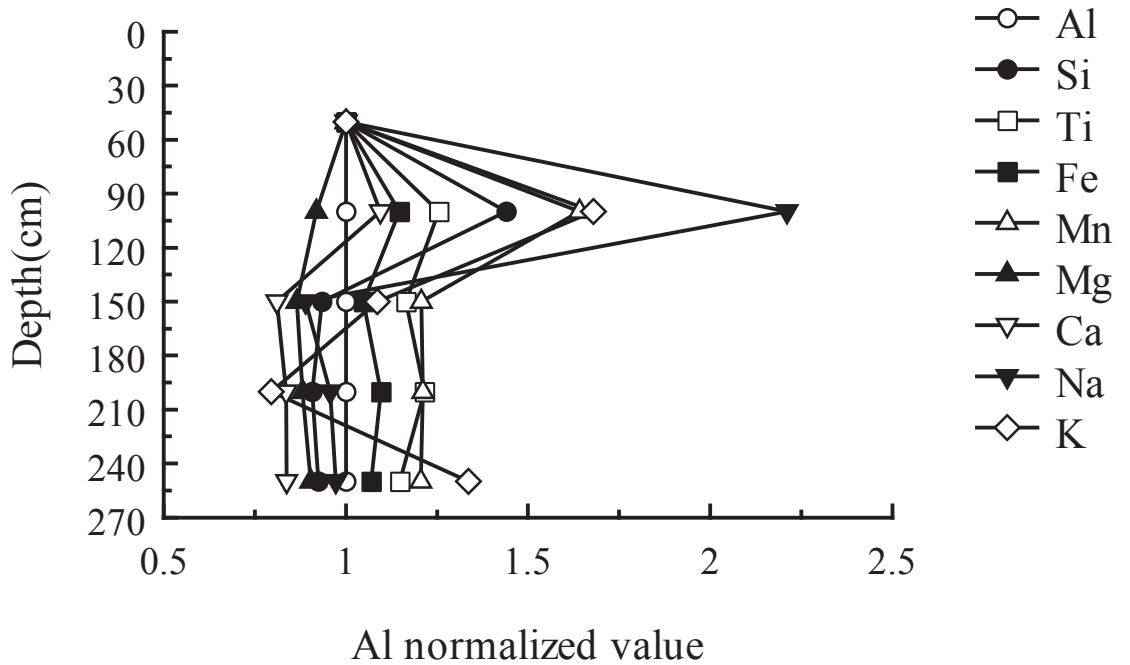
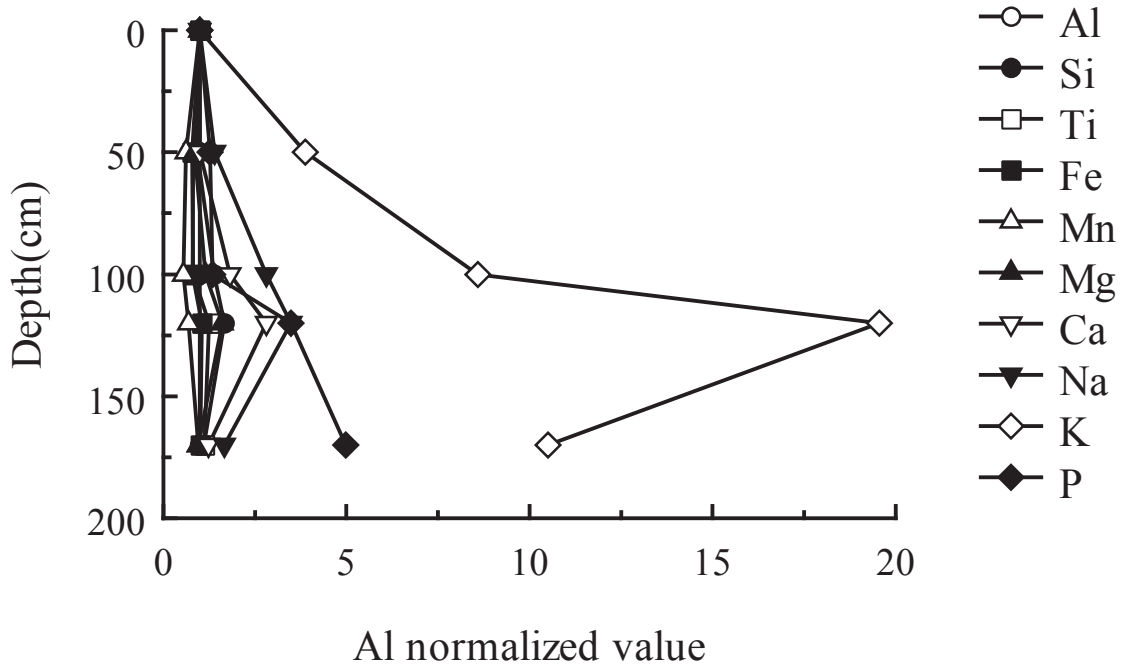


Fig.24 Relations between Al normalized value of major elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 32 : Andesite)



Brown forest soil (Hachijyo Island 32 : Andesite)

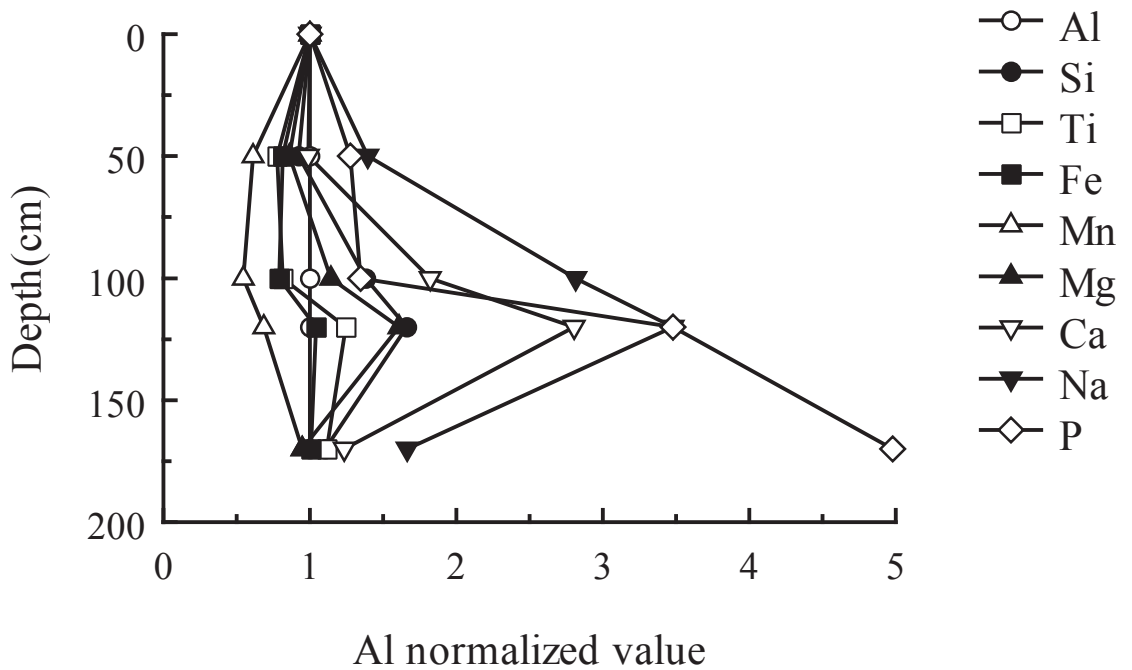
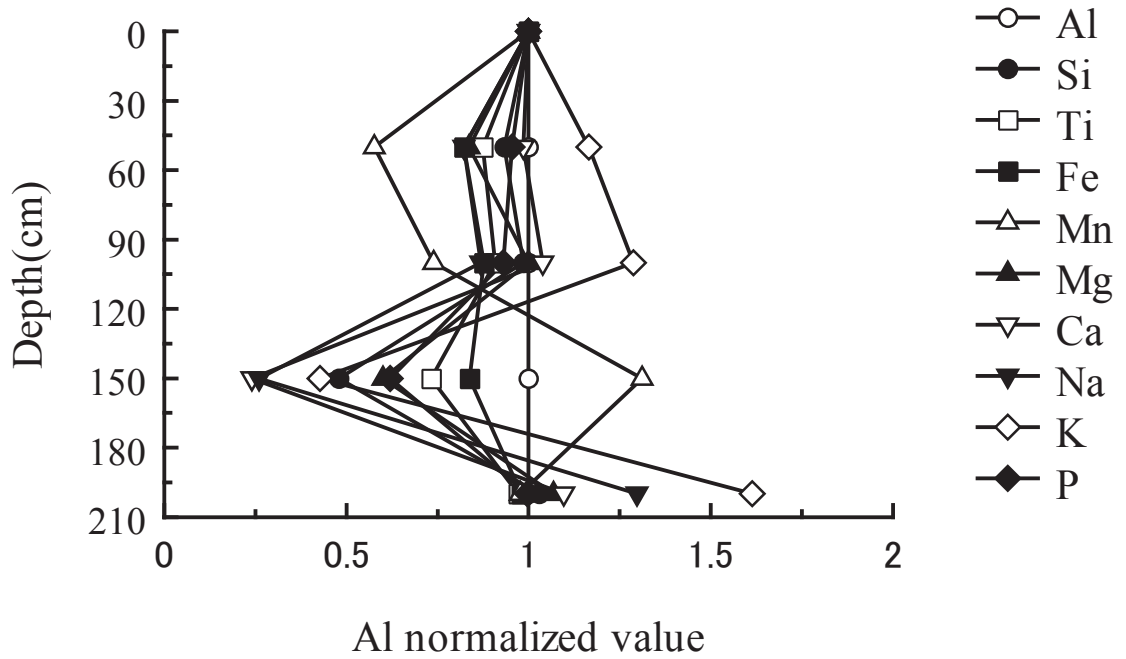


Fig.25 Relations between Al normalized value of major elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 41 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 42 : Basalt)

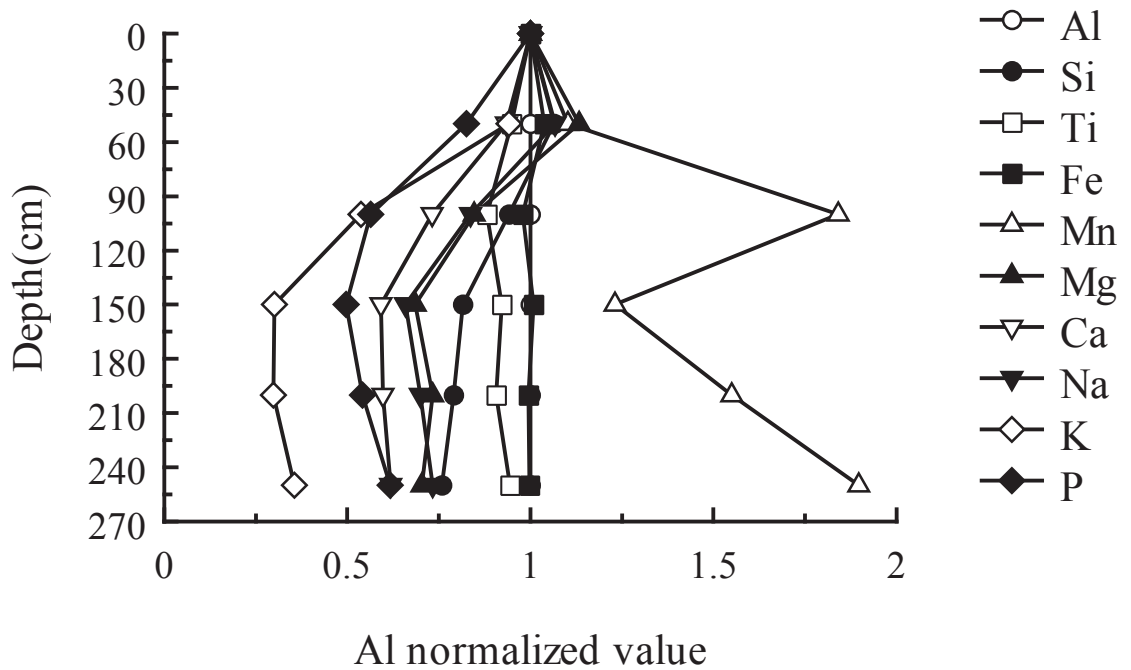


Fig.26 Relations between Al normalized value of major elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 45 : Basalt)

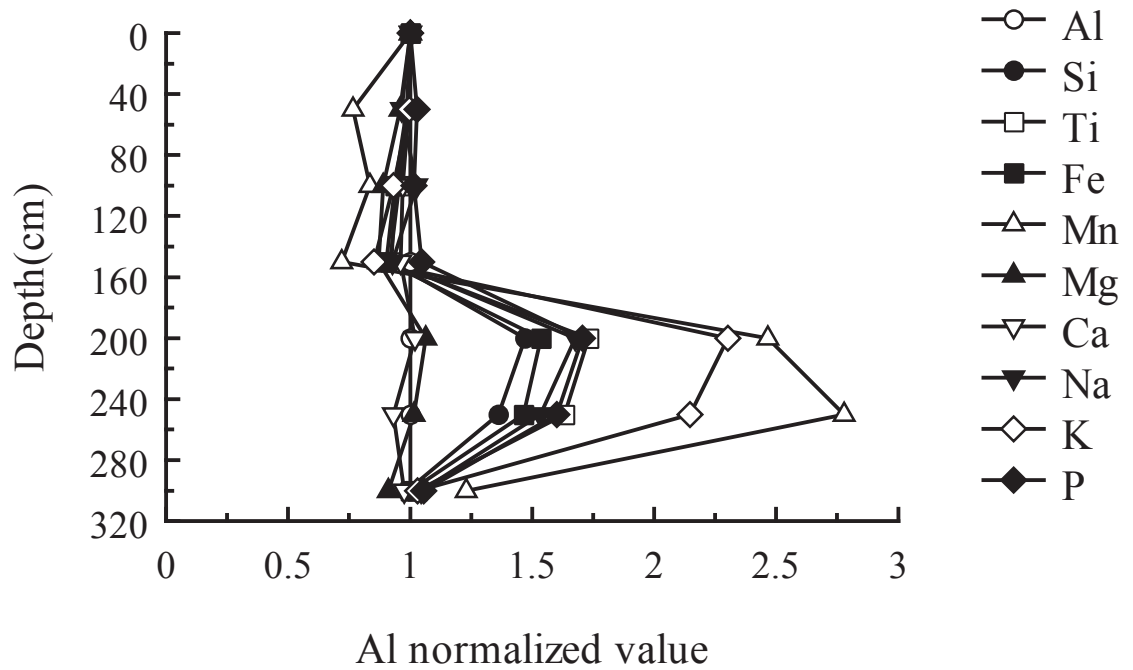
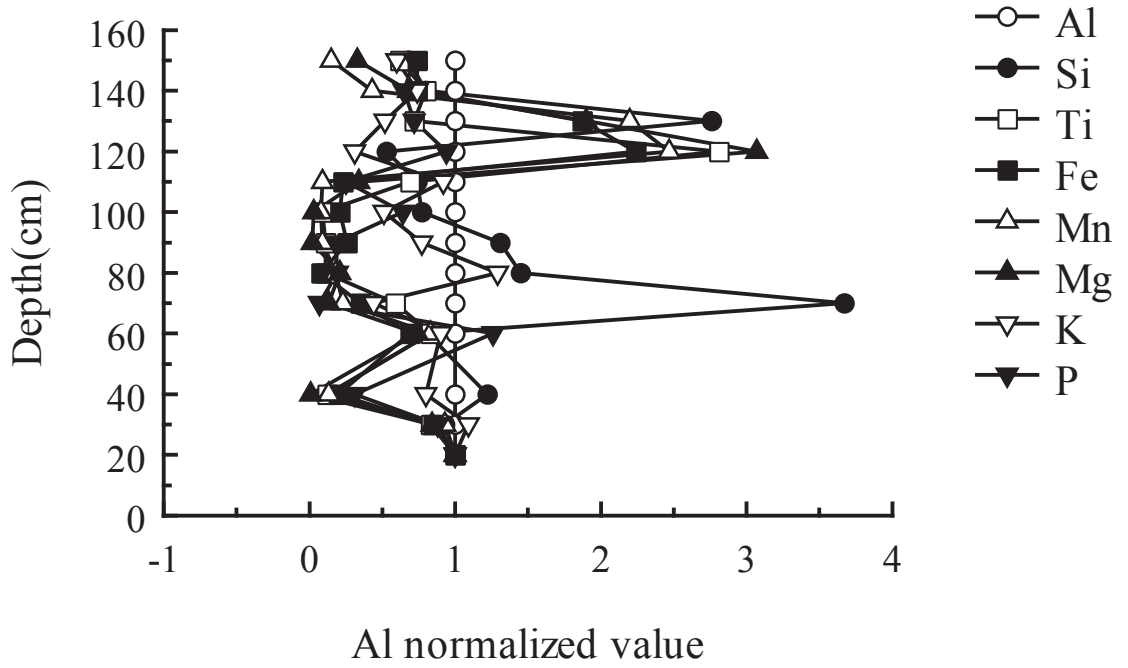


Fig.27 Relations between Al normalized value of major elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Red-yellow soil (Acidic 3)



Red-yellow soil (Acidic 3)

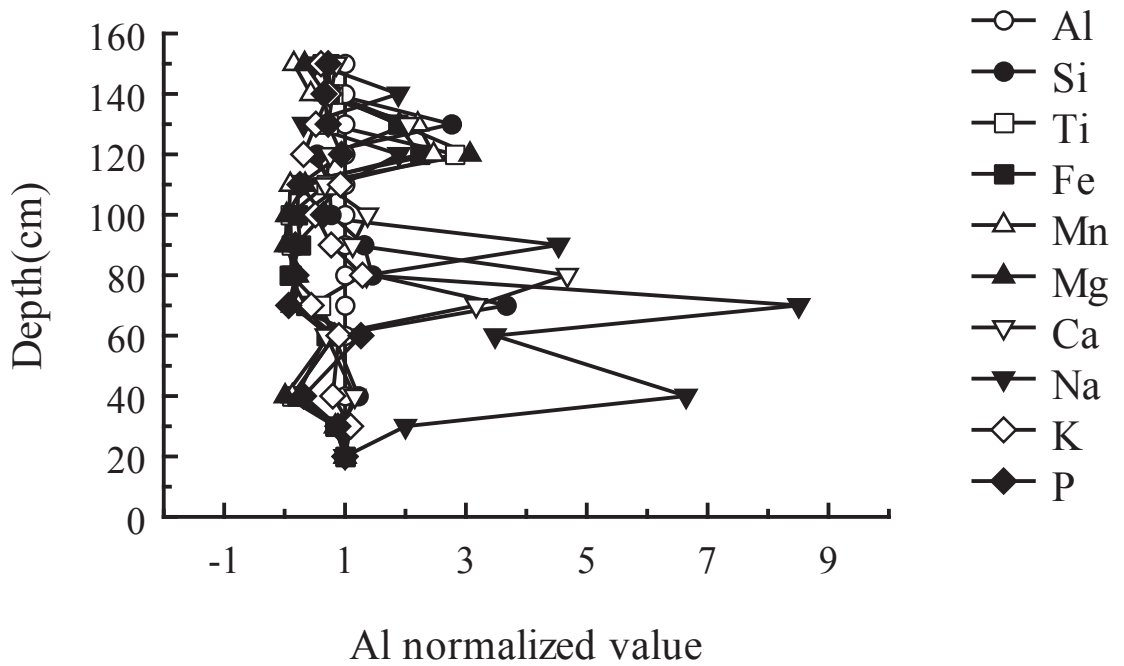
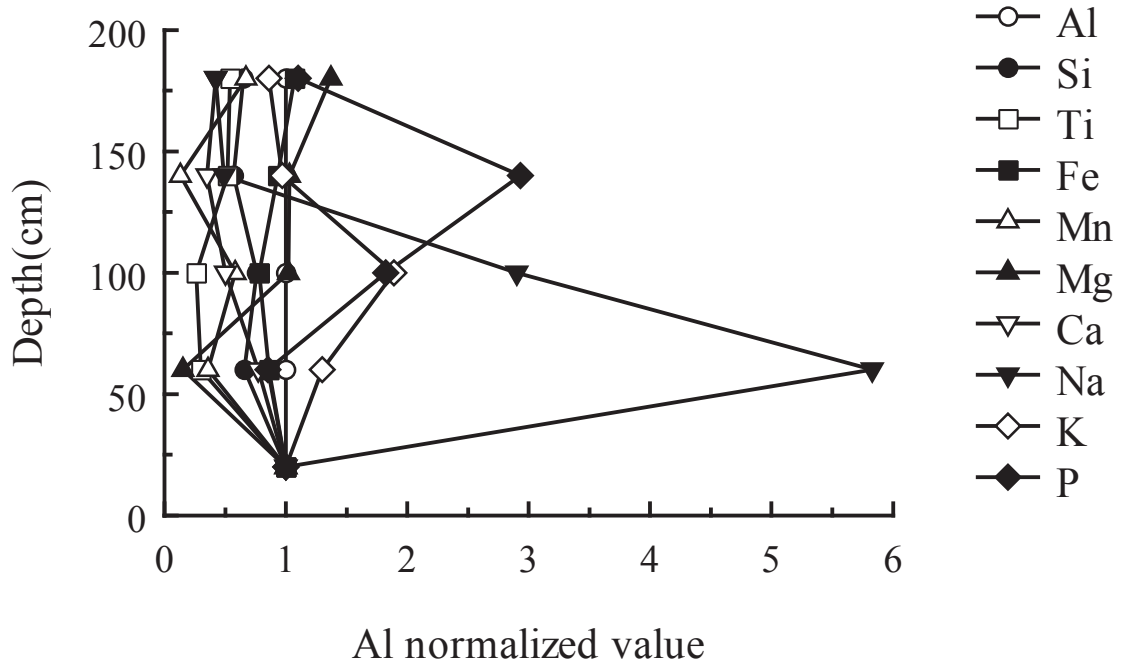


Fig.28 Relations between Al normalized value of major elements and depth in red-yellow soil (Ishigaki Island area).

Red-yellow soil (Acidic 8)



Red-yellow soil (Acidic 8)

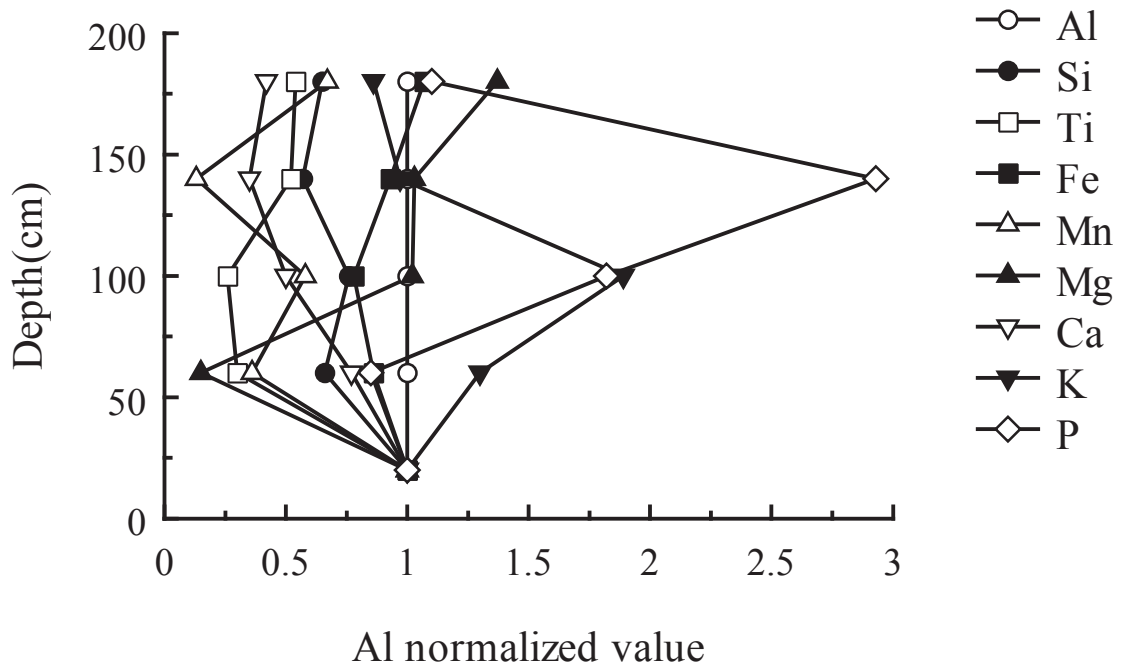


Fig.29 Relations between Al normalized value of major elements and depth in red-yellow soil (Ishigaki Island area).

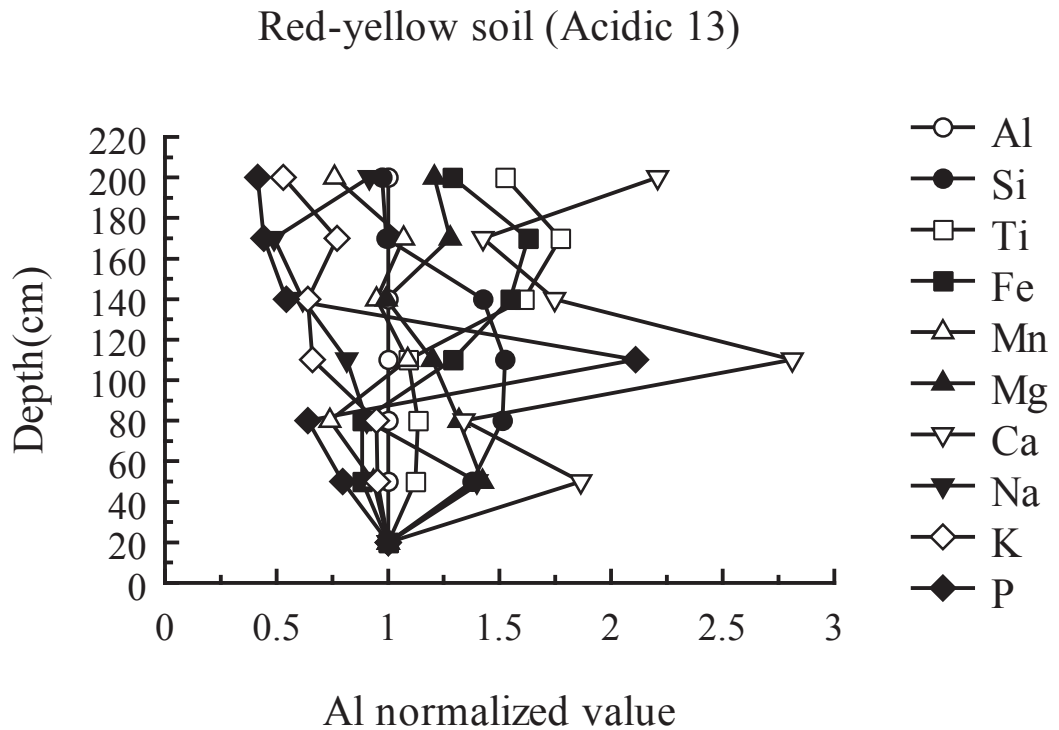
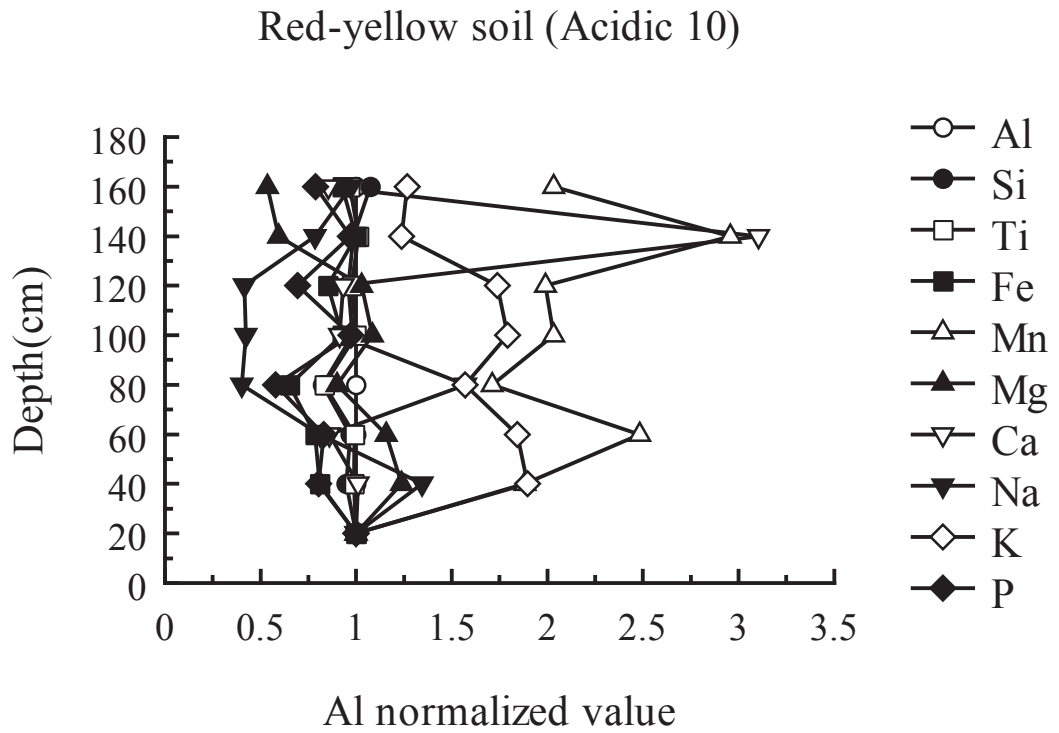


Fig.30 Relations between Al normalized value of major elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa central part area).

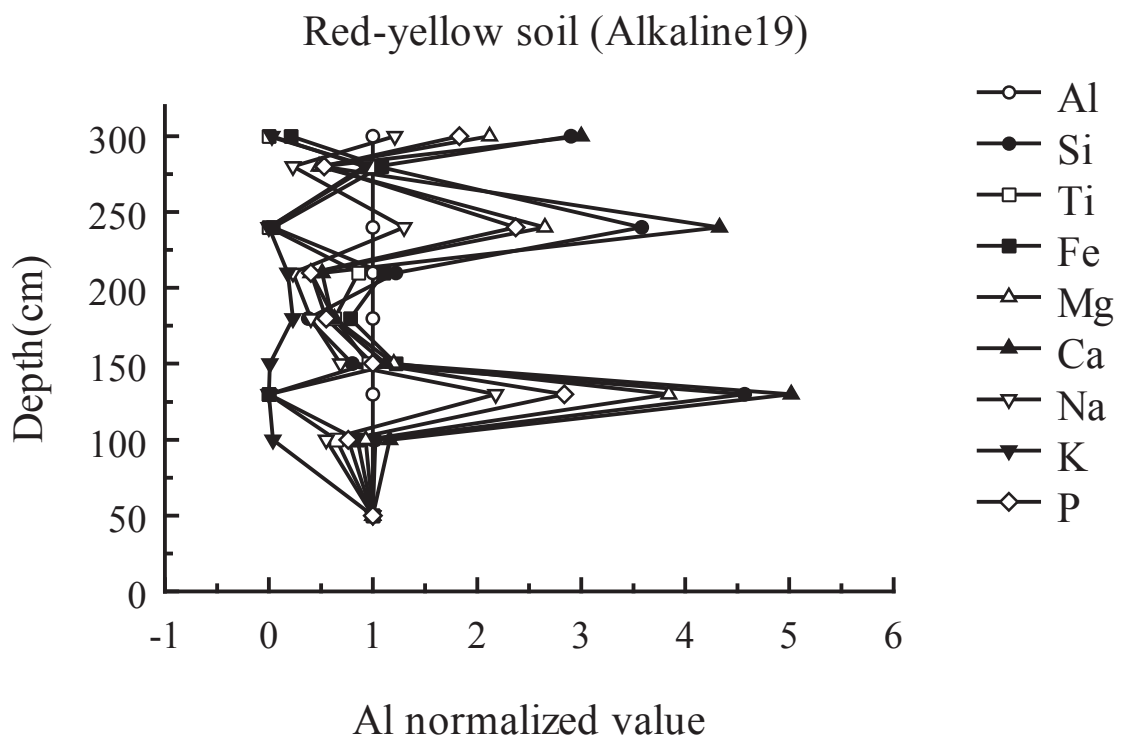
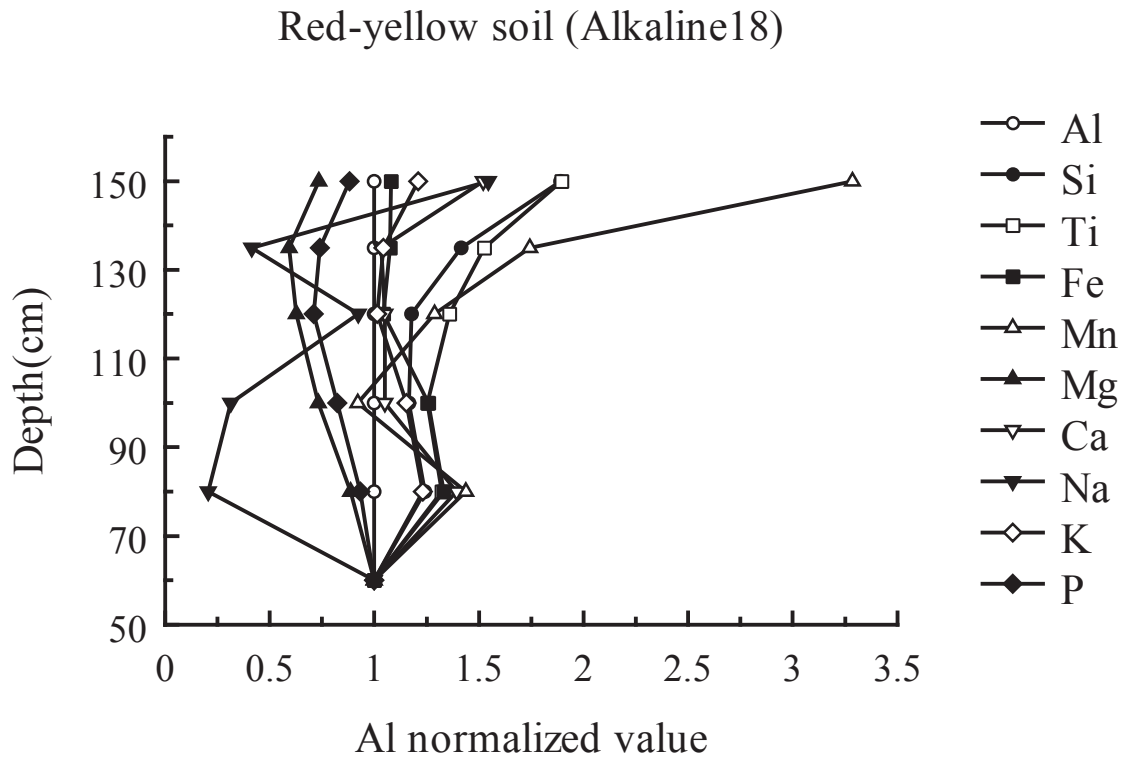


Fig.31 Relations between Al normalized value of major elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa southern part area).

Red-yellow soil (Acidic 21)

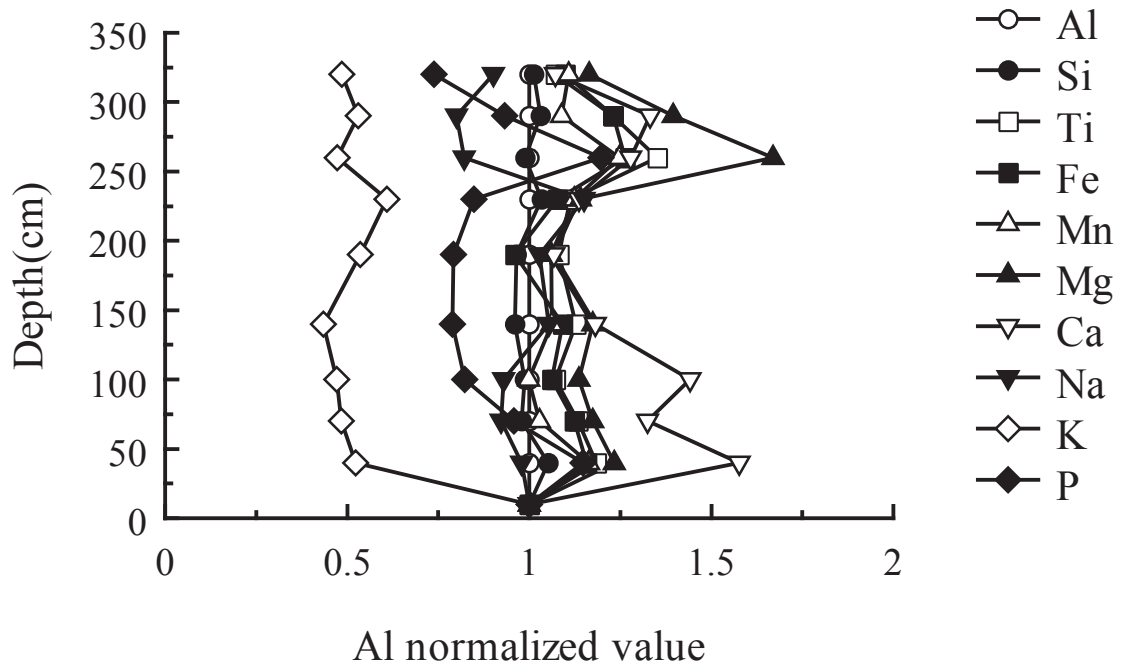


Fig.32 Relations between Al normalized value of major elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa northern part area).

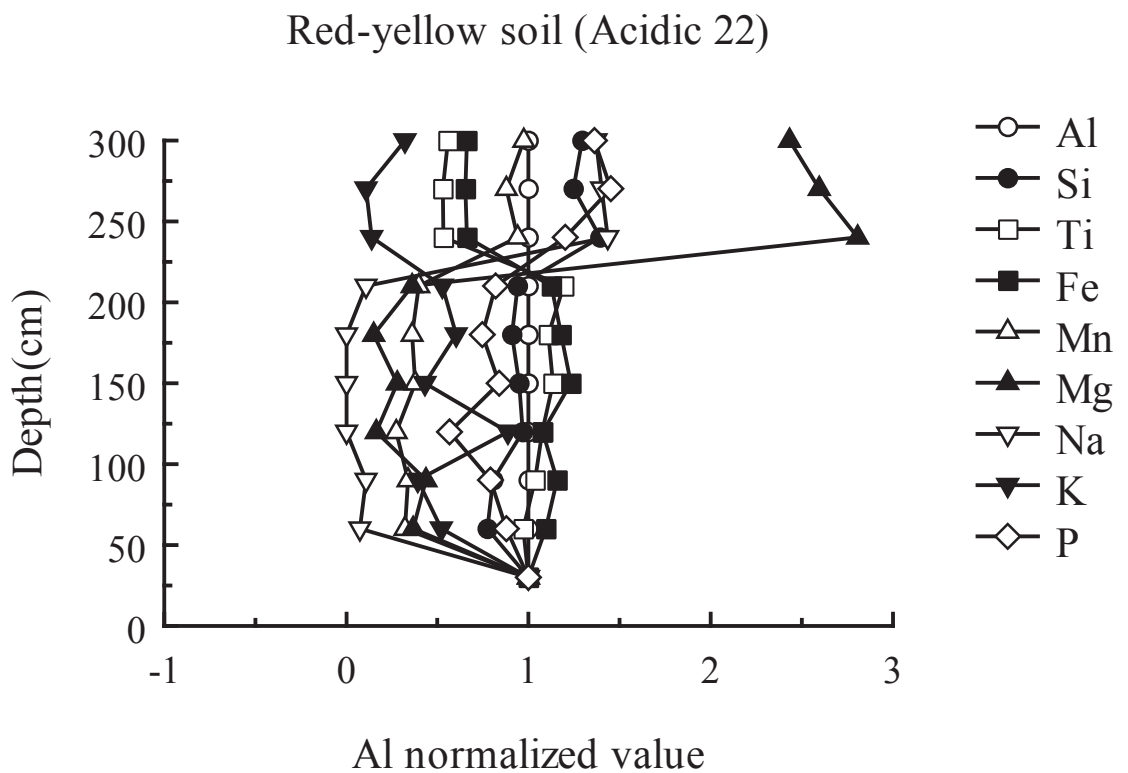
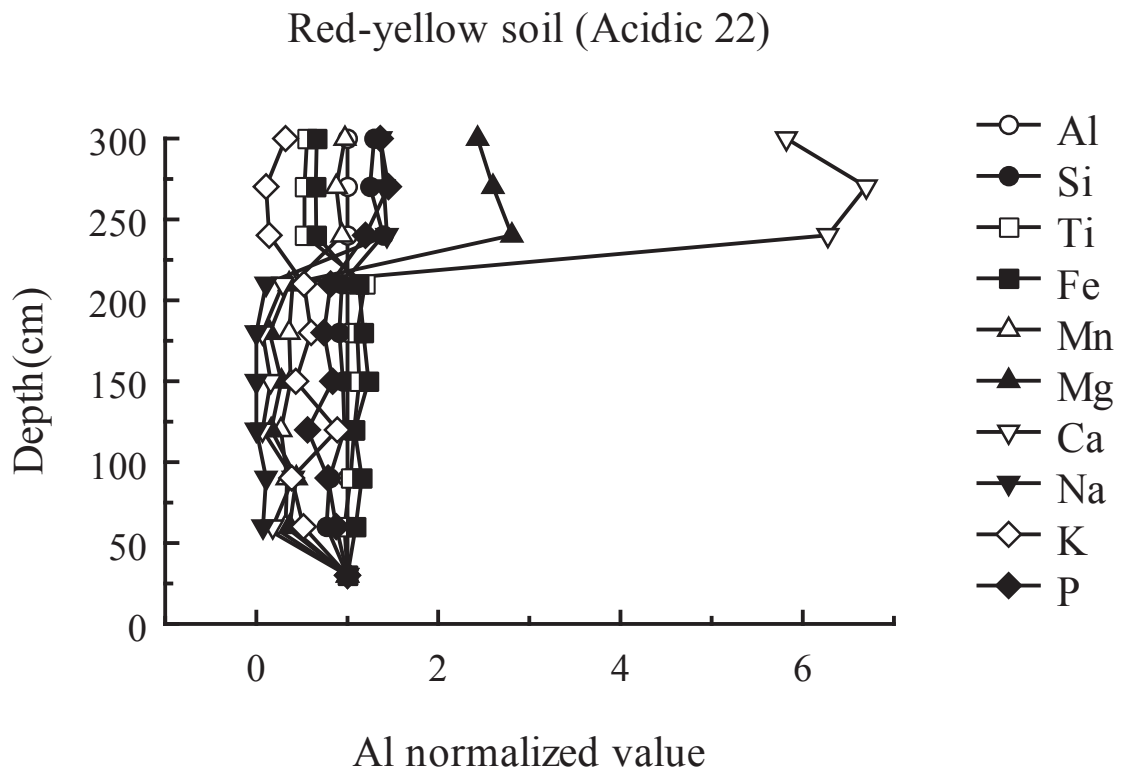


Fig.33 Relations between Al normalized value of major elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa northern part area).

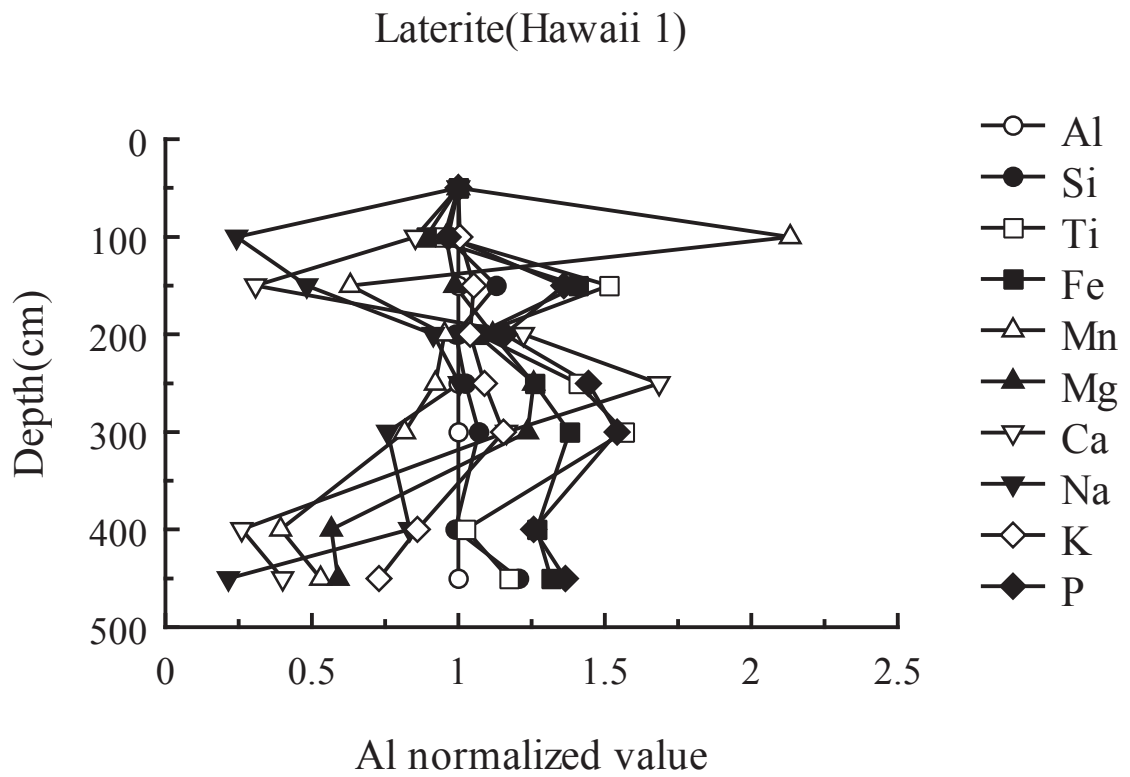


Fig.34 Relations between Al normalized value of major elements and depth in laterite (Oahu Island area).

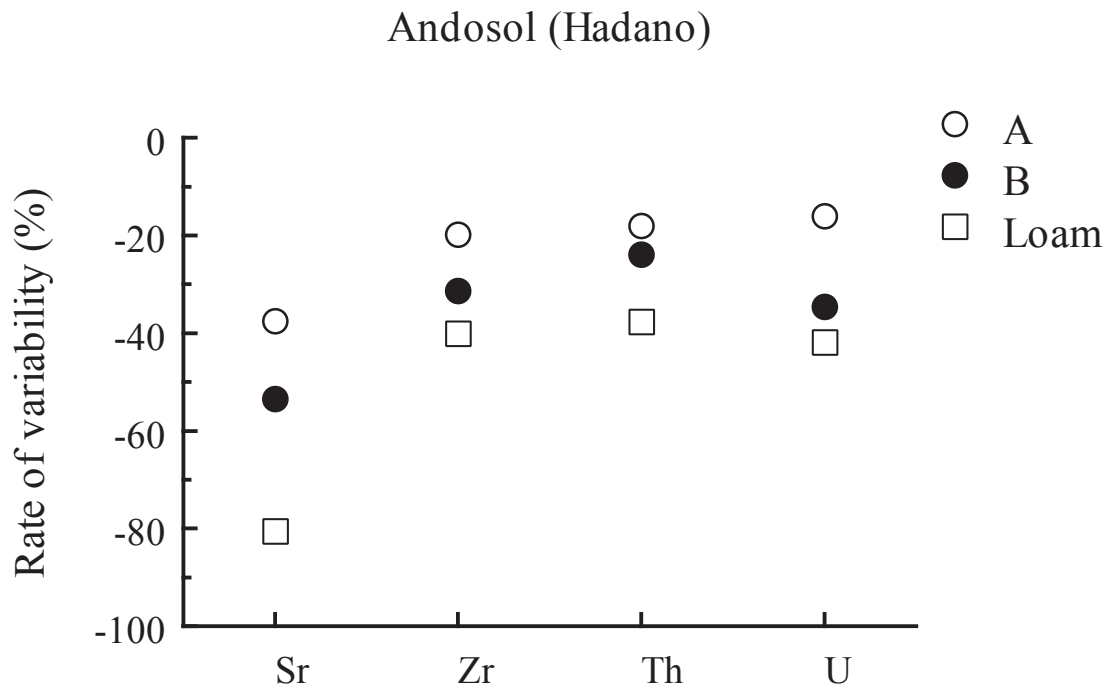


Fig.35 Rate of variability of minor elements in andosol (Hadano area).

Loam (Hiratsuka)

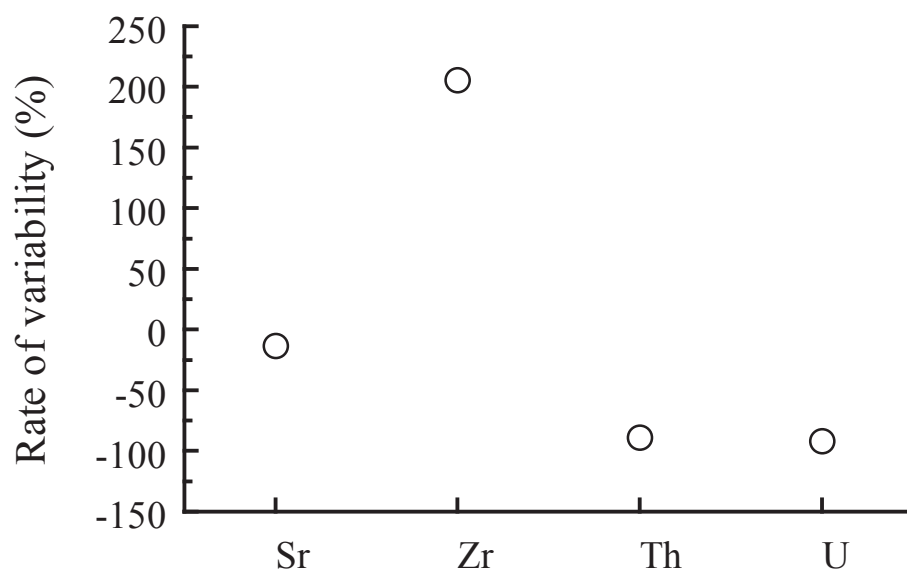


Fig.36 Rate of variability of minor elements in loam (Hiratsuka area).

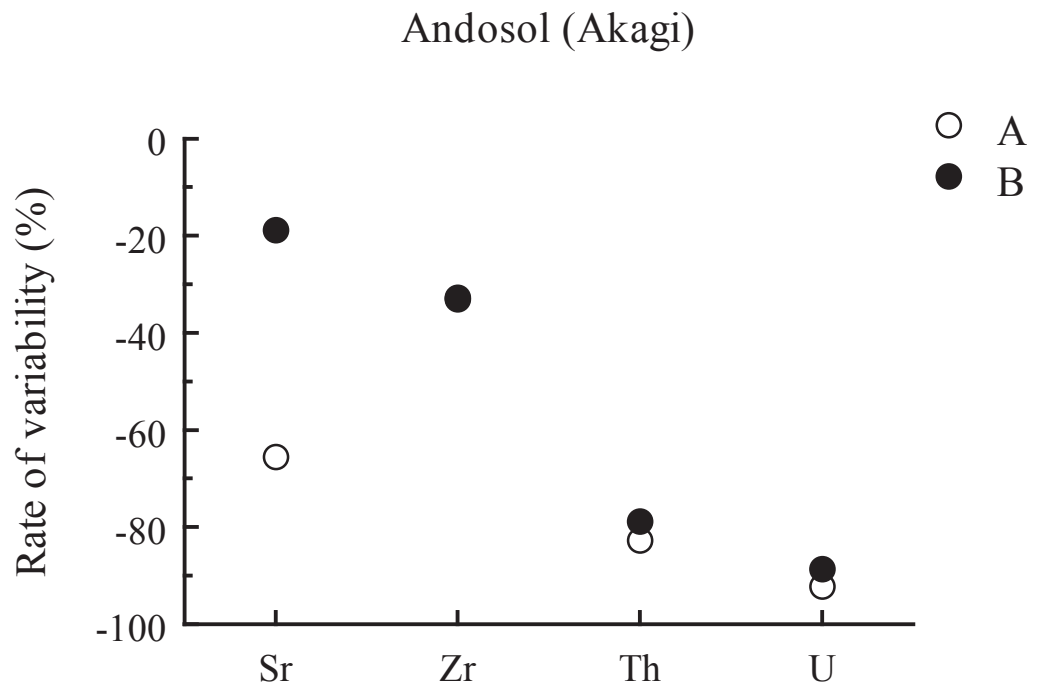


Fig.37 Rate of variability of minor elements in andosol (Akagi area).

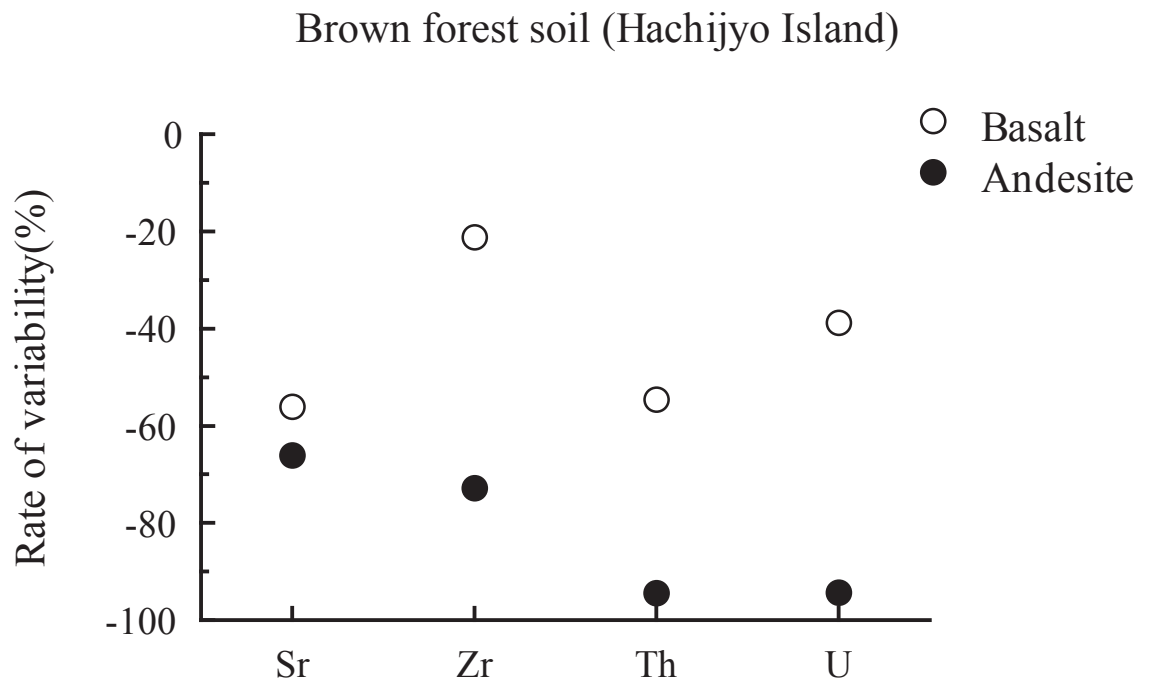


Fig.38 Rate of variability of minor elements in brown forest soil (Hachijyo Island area).

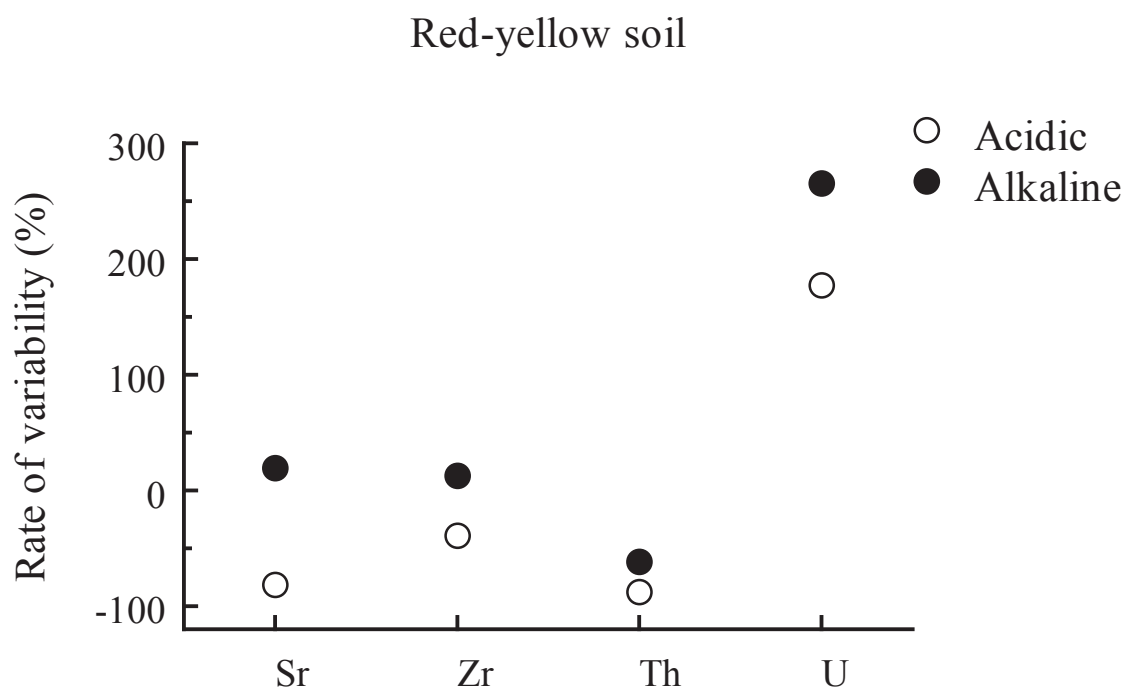


Fig.39 Rate of variability of minor elements in red-yellow soil (The main island of Okinawa and Ishigaki Island area).

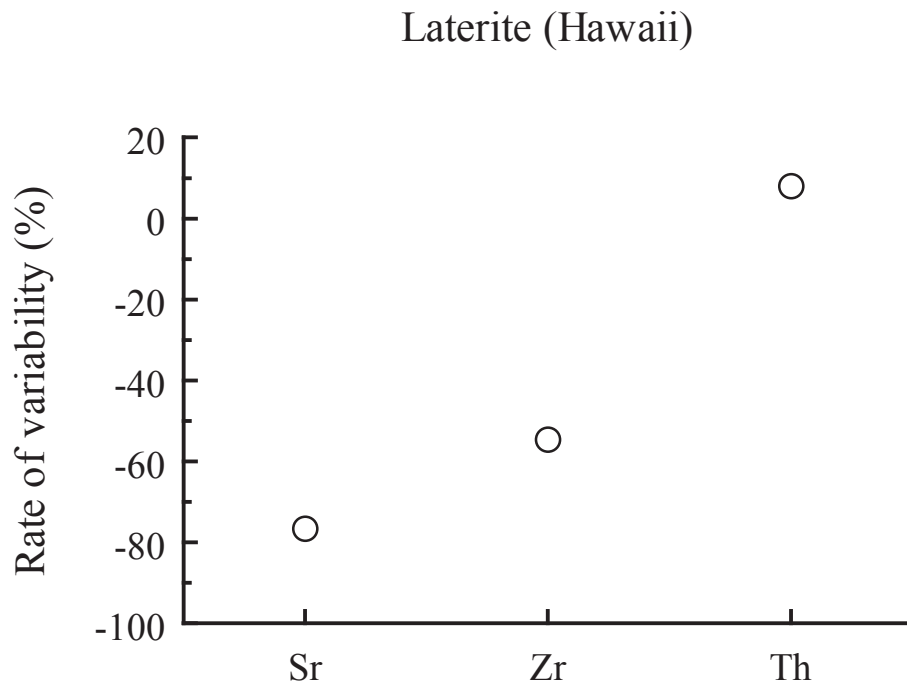


Fig.40 Rate of variability of minor elements in laterite (Oahu and Hawaii Island area).

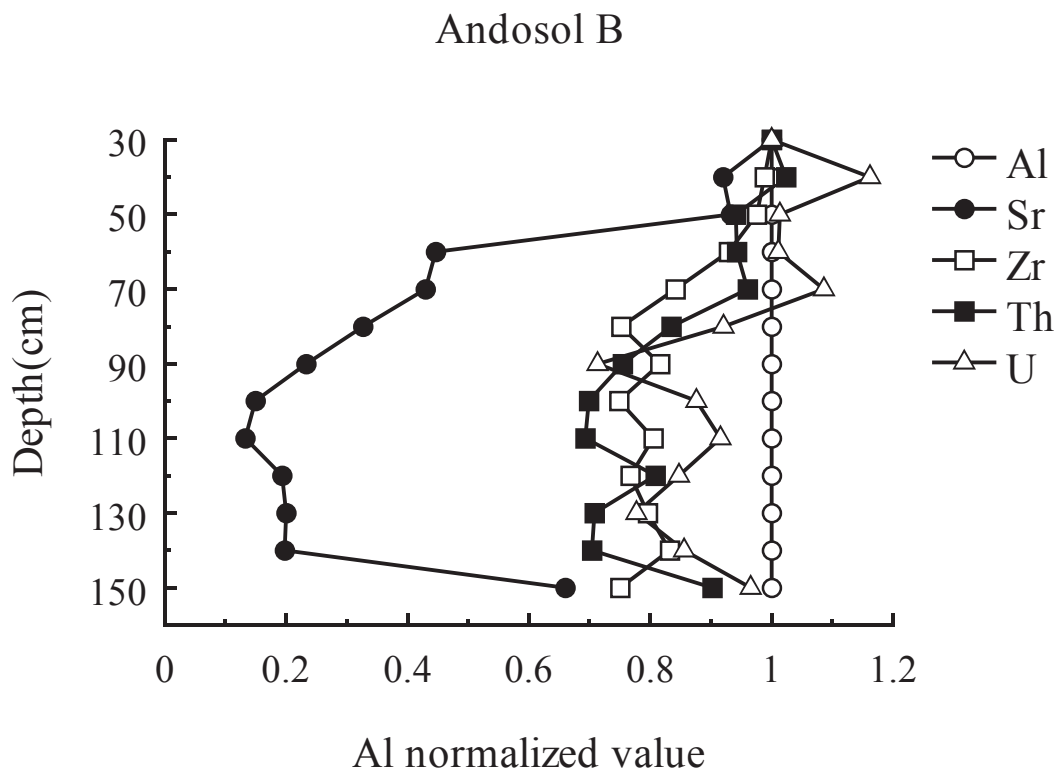
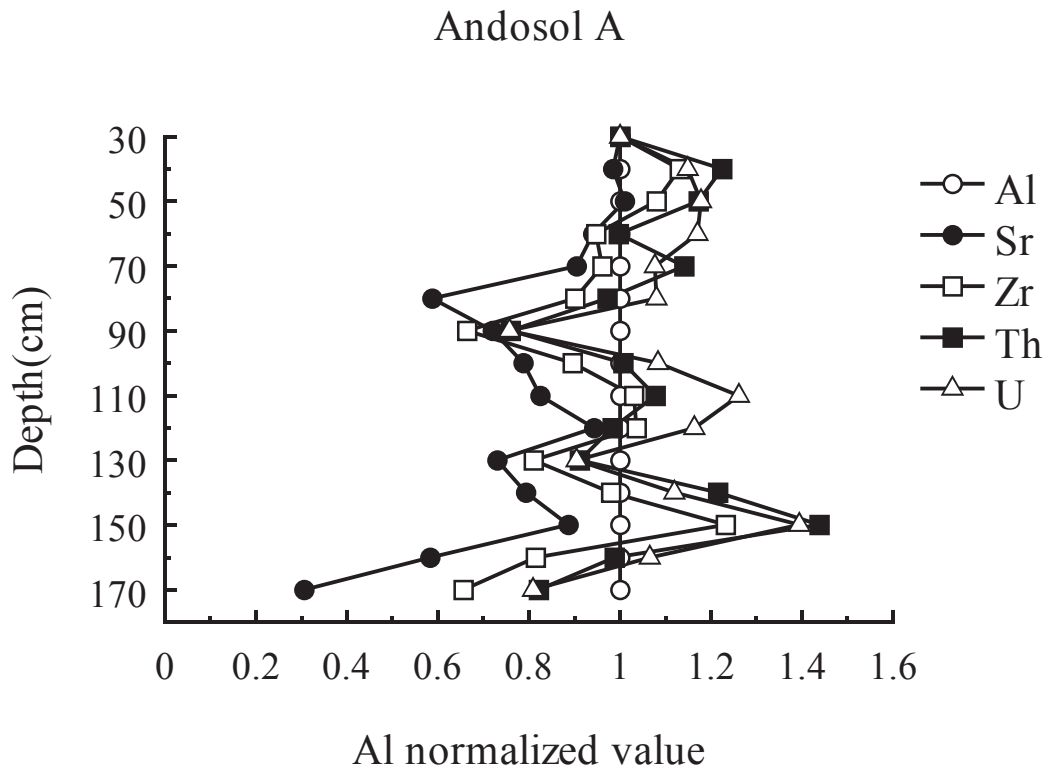


Fig.41 Relations between Al normalized value of minor elements and depth in andosol (Hadano area).

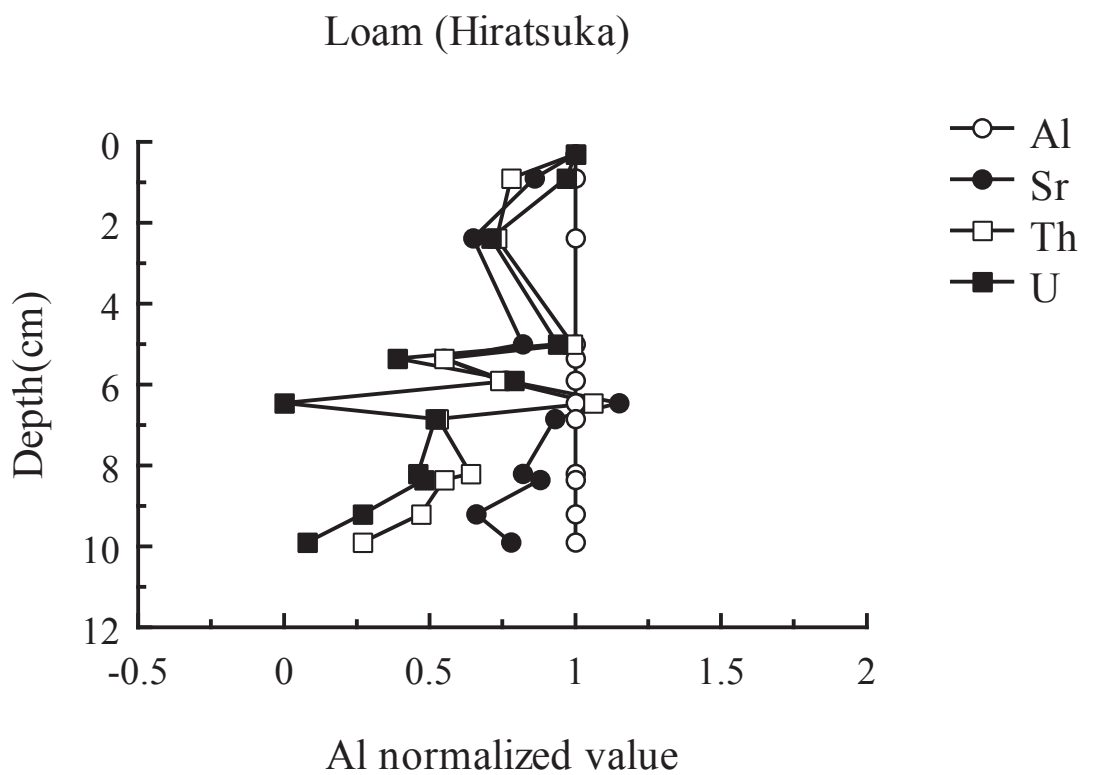
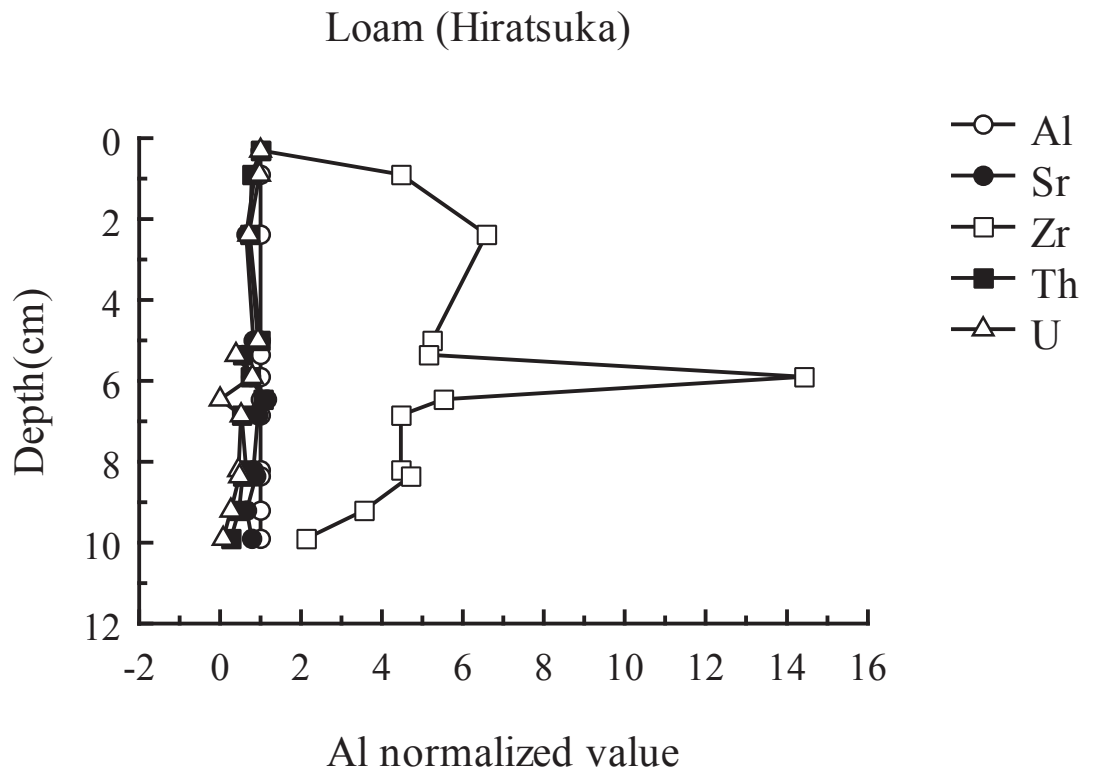


Fig.42 Relations between Al normalized value of minor elements and depth in loam(Hiratsuka area).

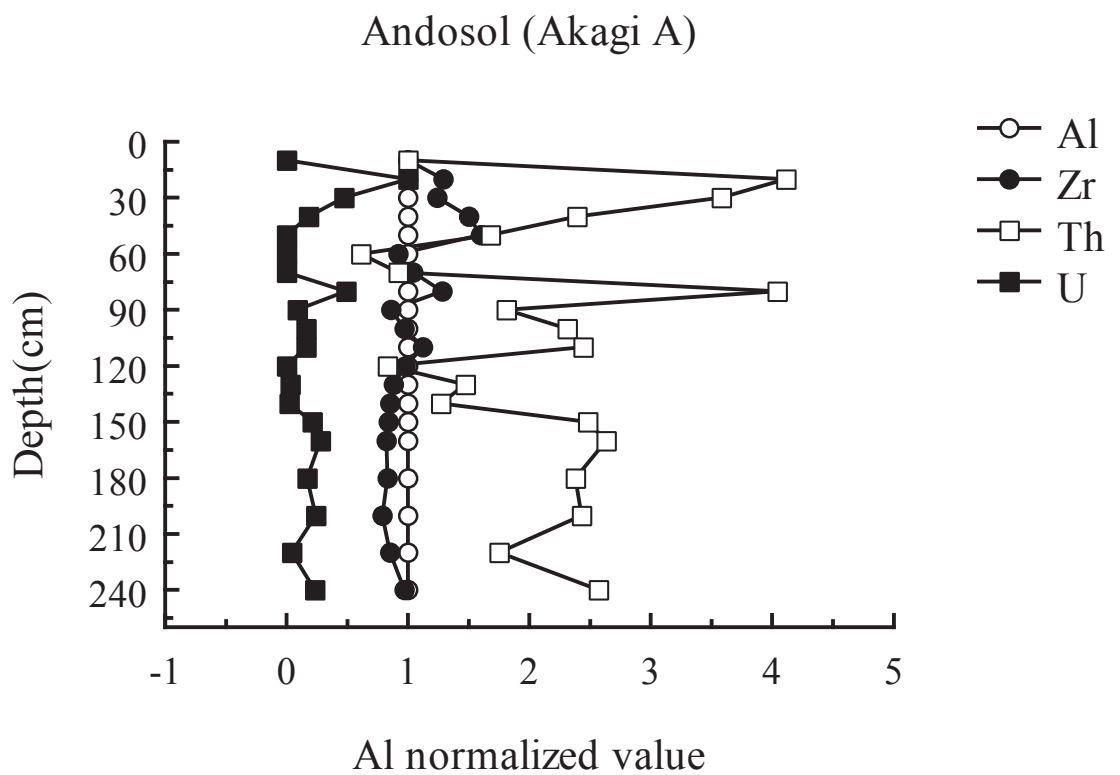
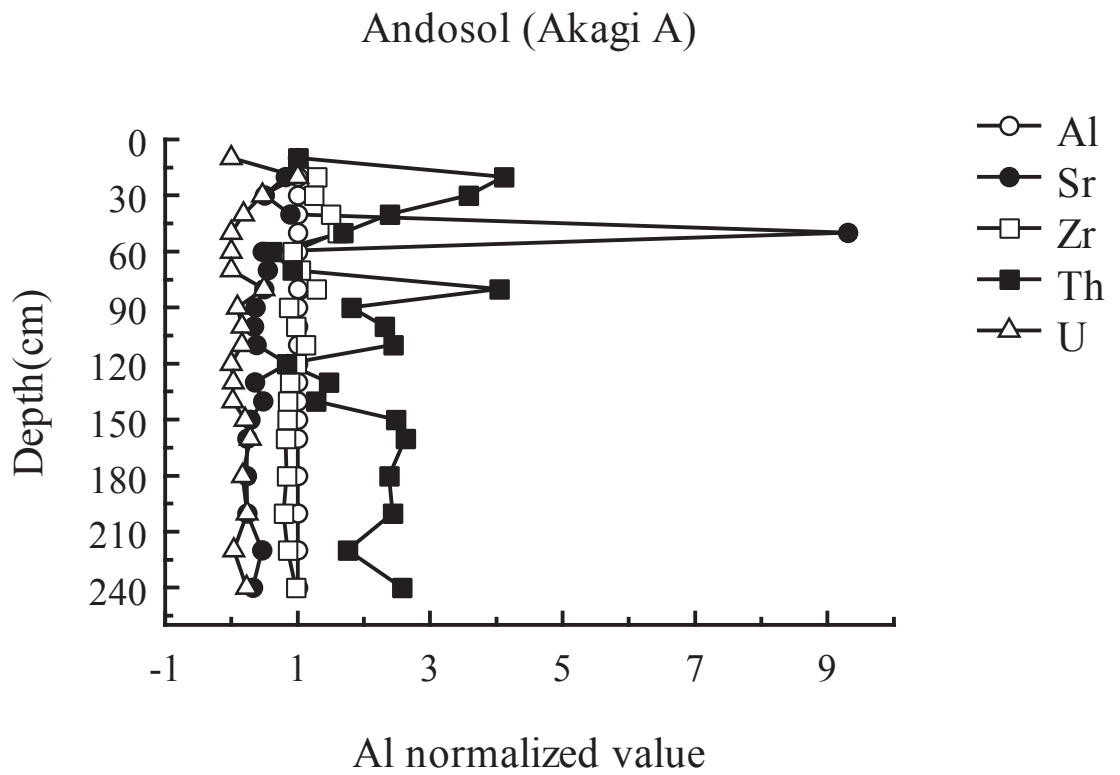


Fig.43 Relations between Al normalized value of minor elements and depth in andosol (Akagi area).

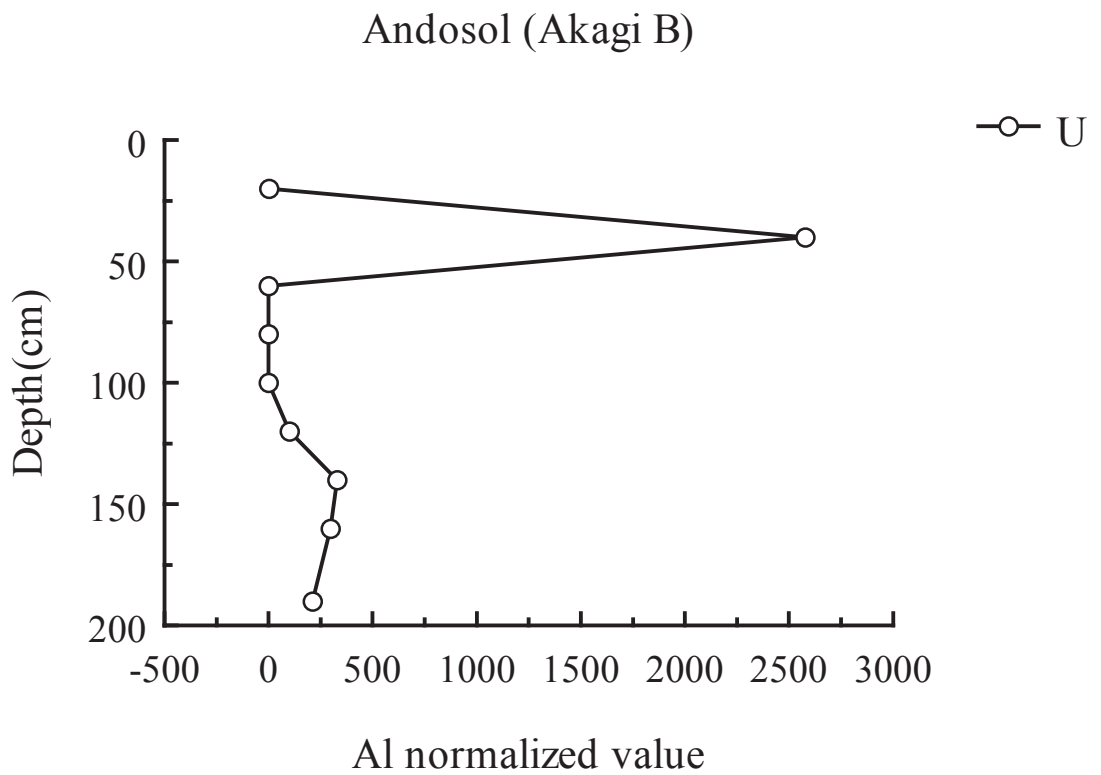
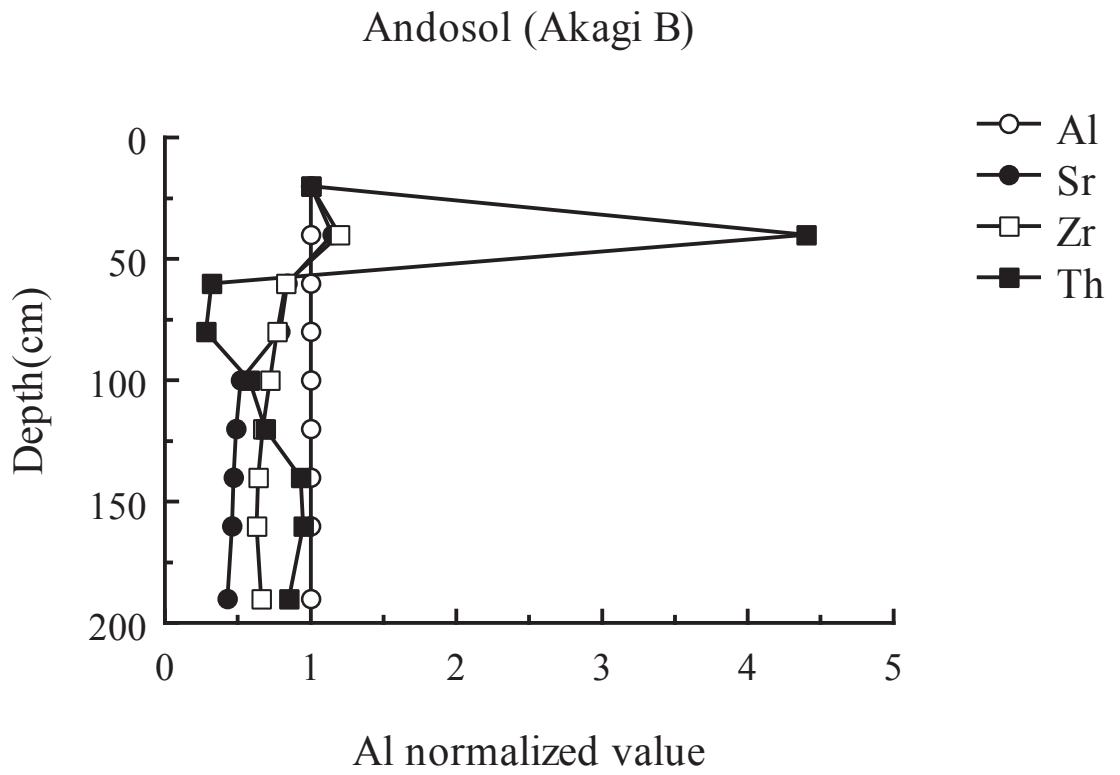
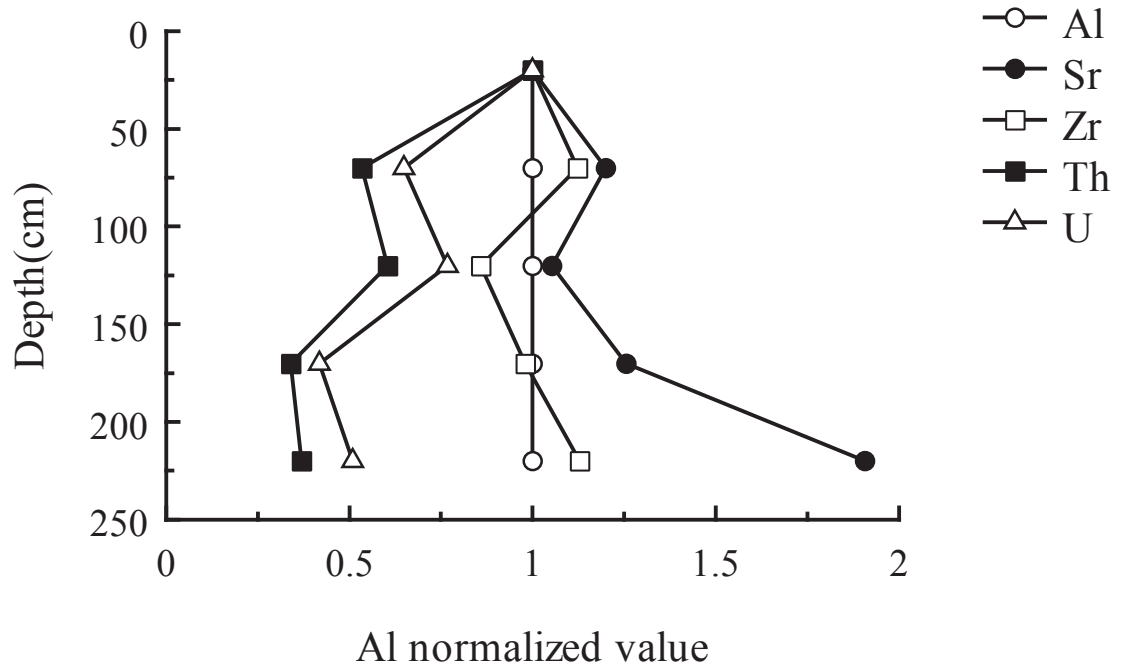


Fig.44 Relations between Al normalized value of minor elements and depth in andosol (Akagi area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 7 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 10 : Basalt)

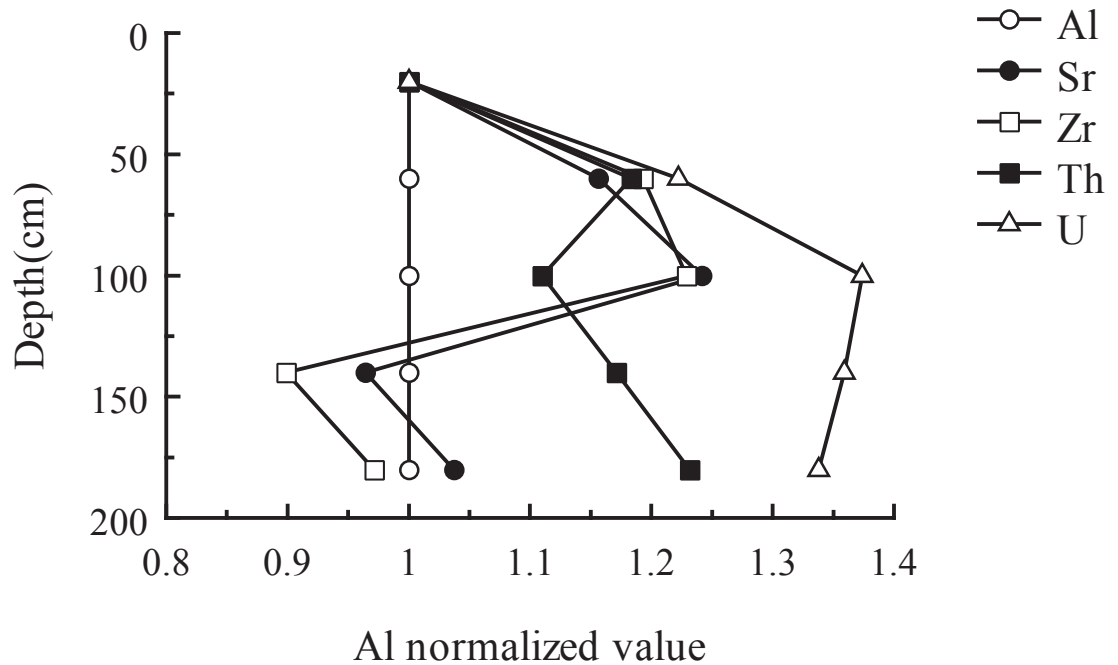
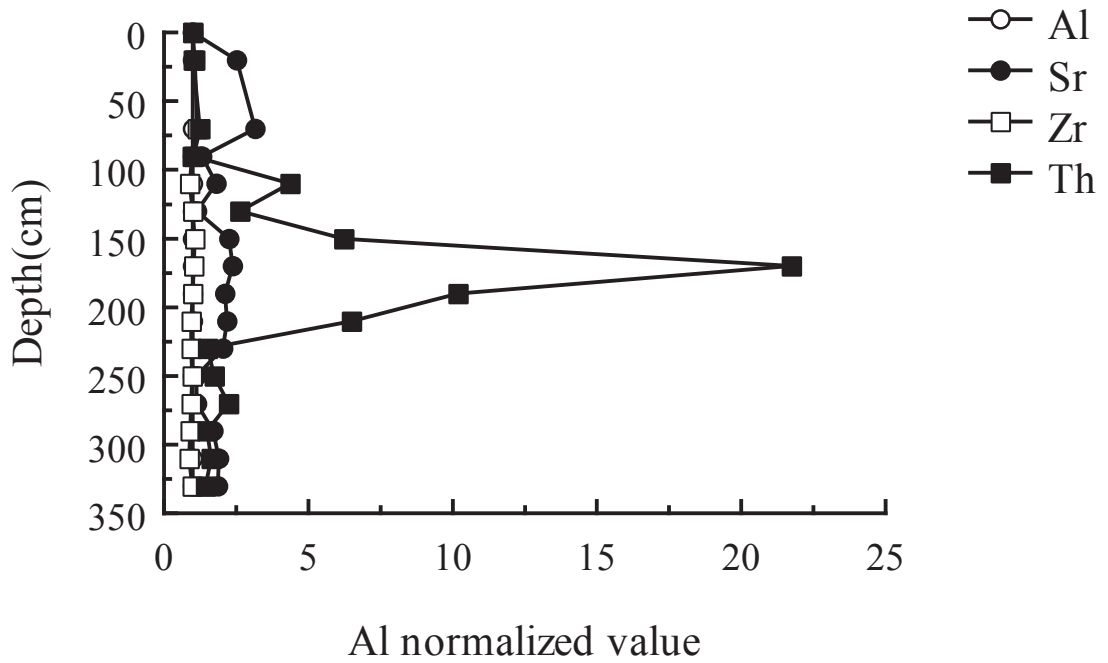


Fig.45 Relations between Al normalized value of minor elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 20 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 20 : Basalt)

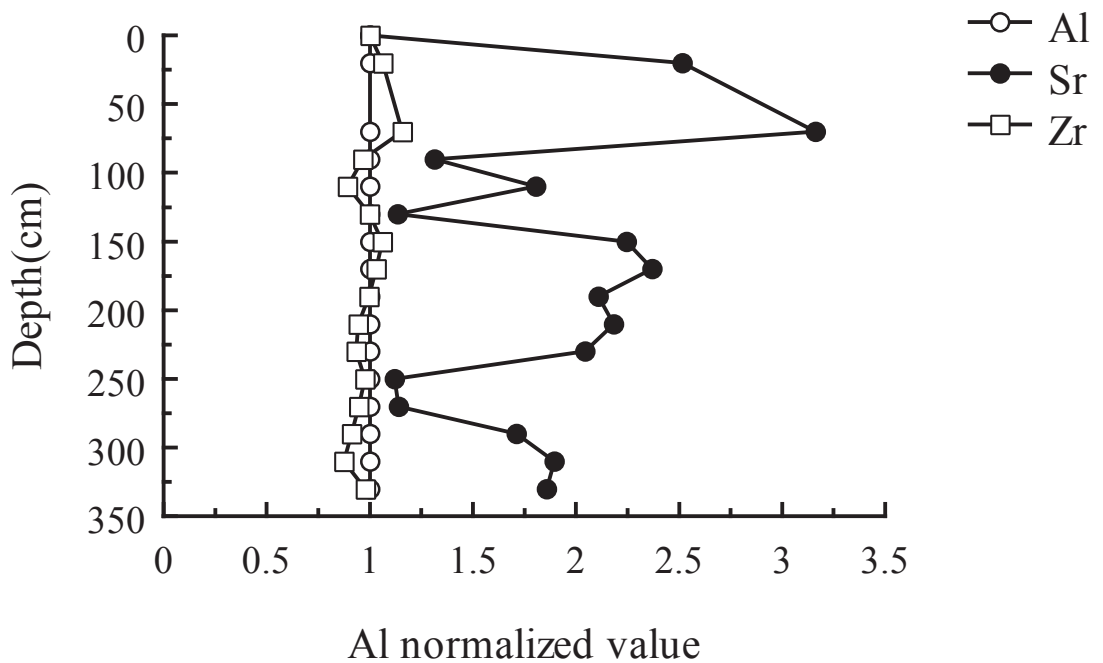
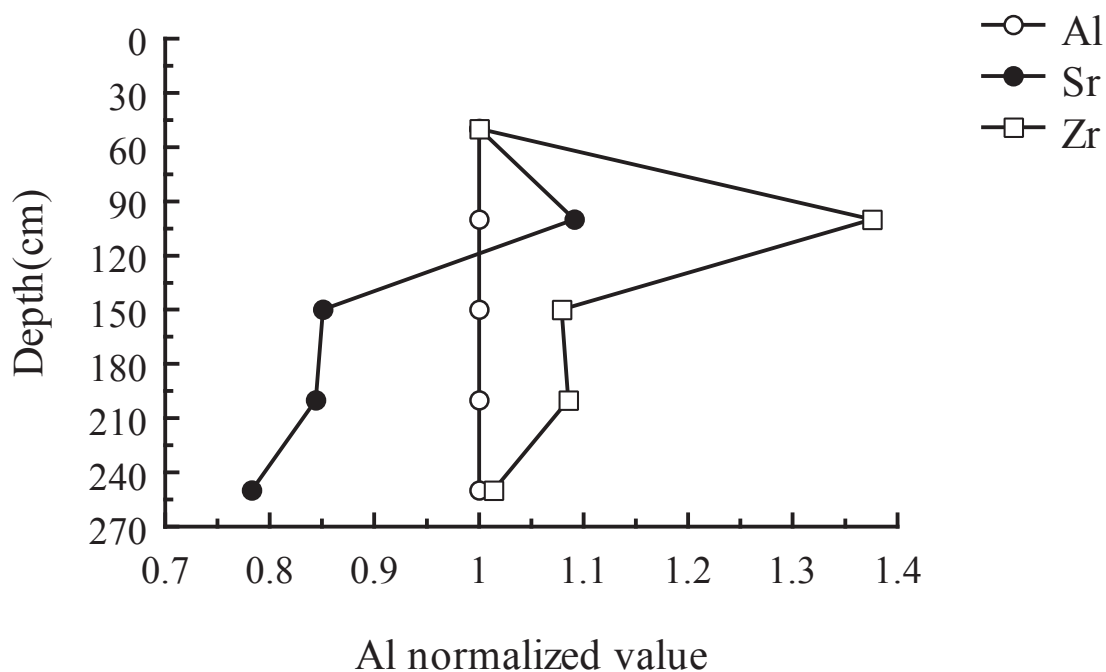


Fig.46 Relations between Al normalized value of minor elements and depth in brown forst soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 27 : Andesite)



Brown forest soil (Hachijyo Island 32 : Andesite)

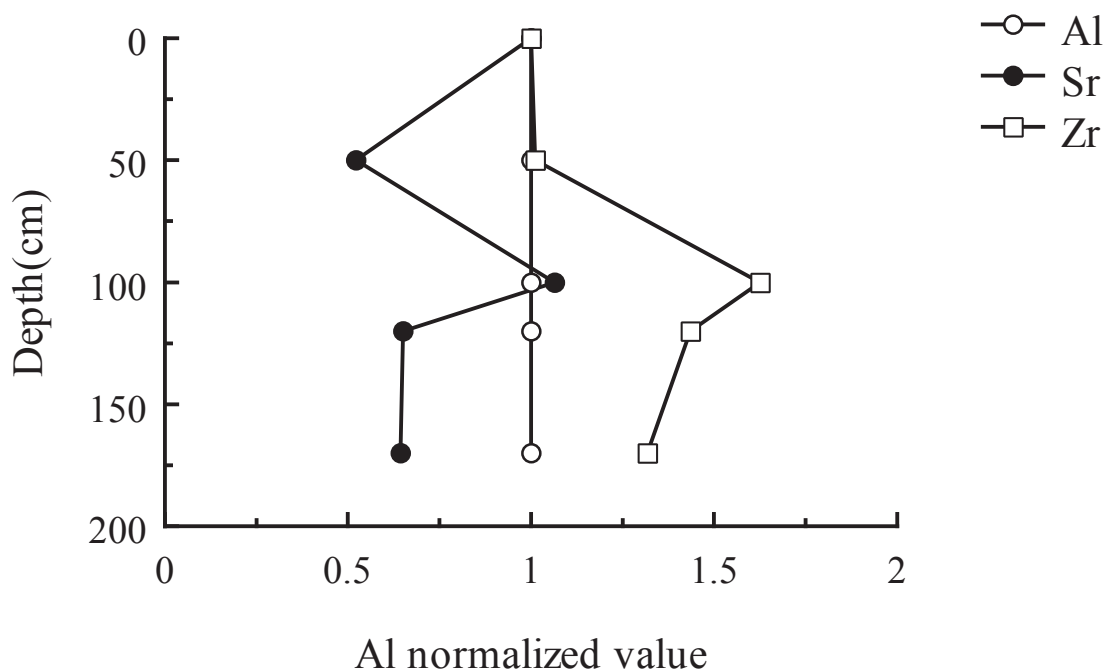
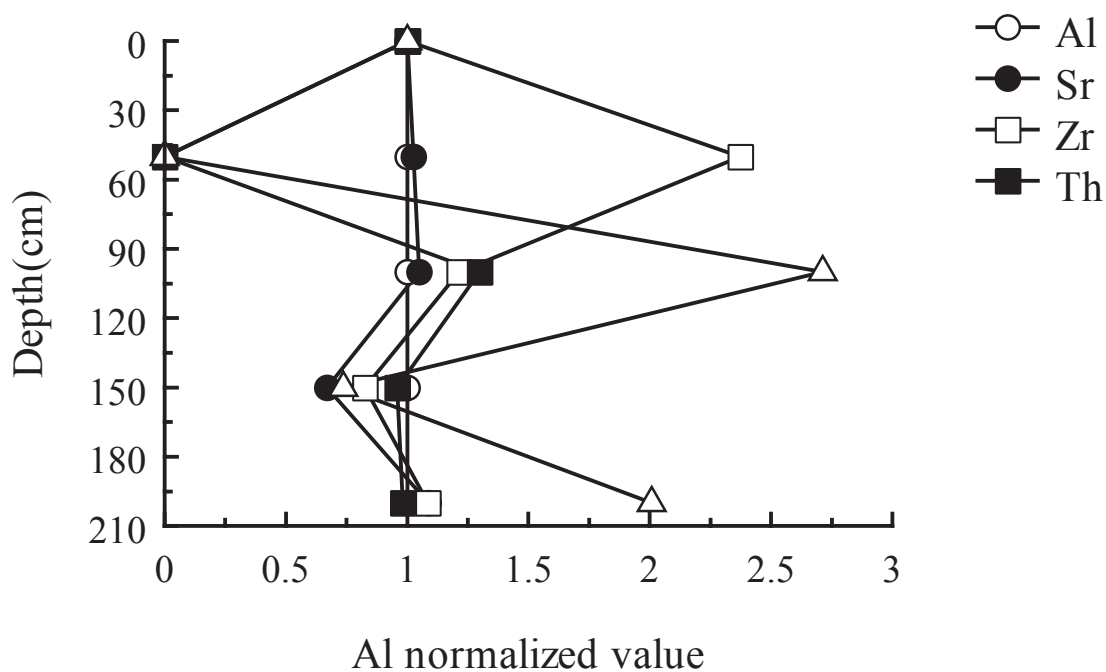


Fig.47 Relations between Al normalized value of minor elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 41 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 42 : Basalt)

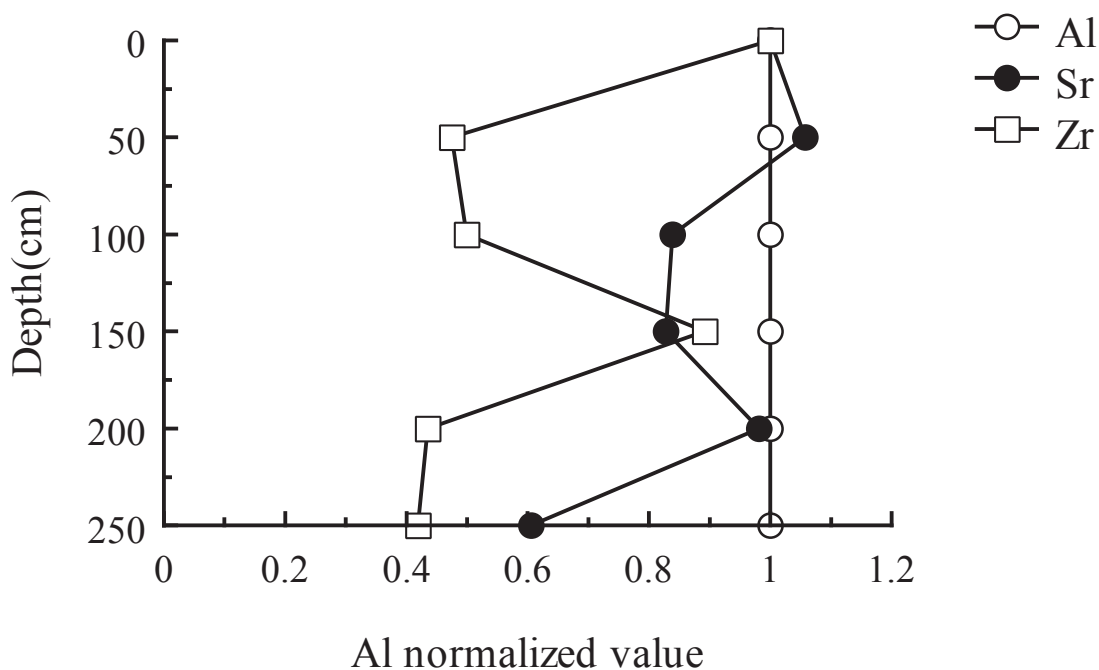


Fig.48 Relations between Al normalized value of minor elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 45 : Basalt)

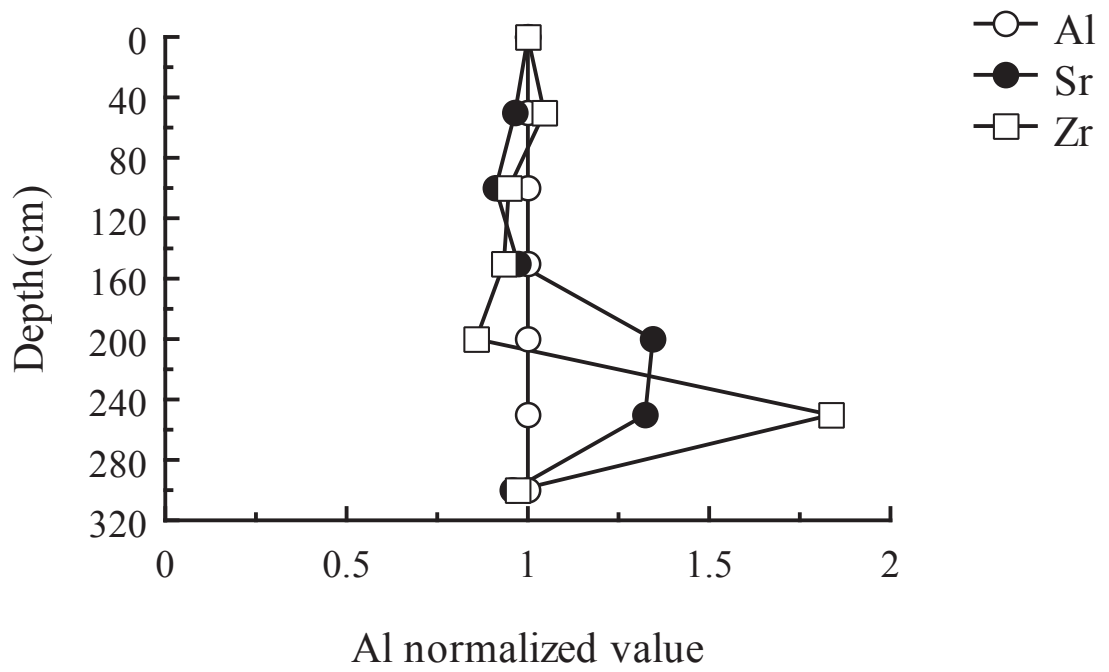
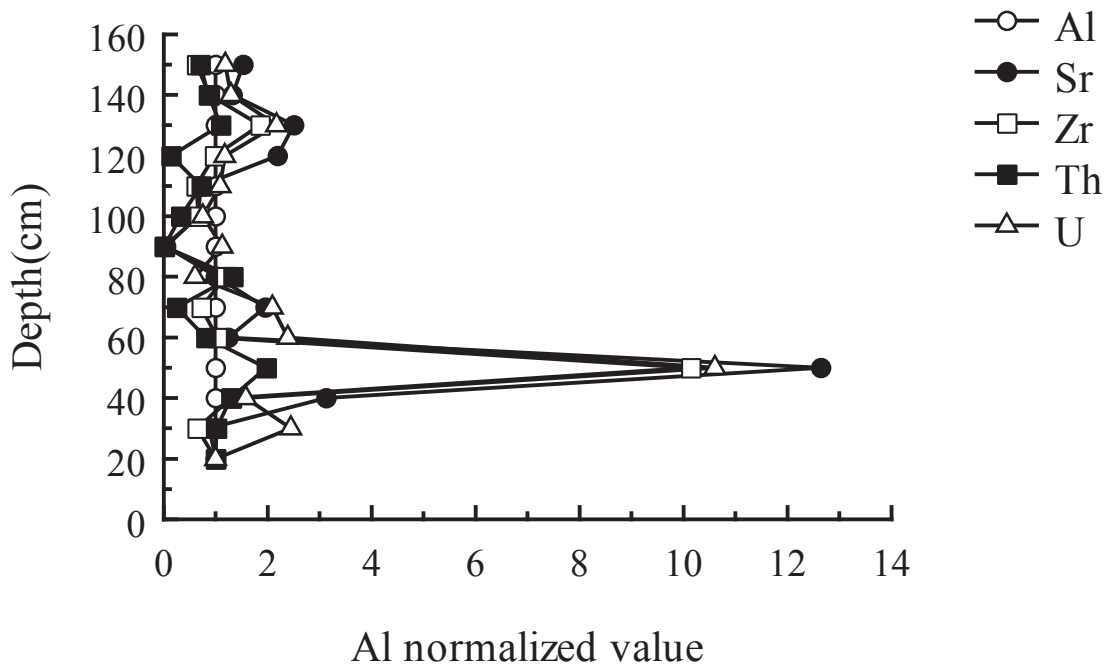


Fig.49 Relations between Al normalized value of minor elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Red-yellow soil (Acidic 3)



Red-yellow soil (Acidic 8)

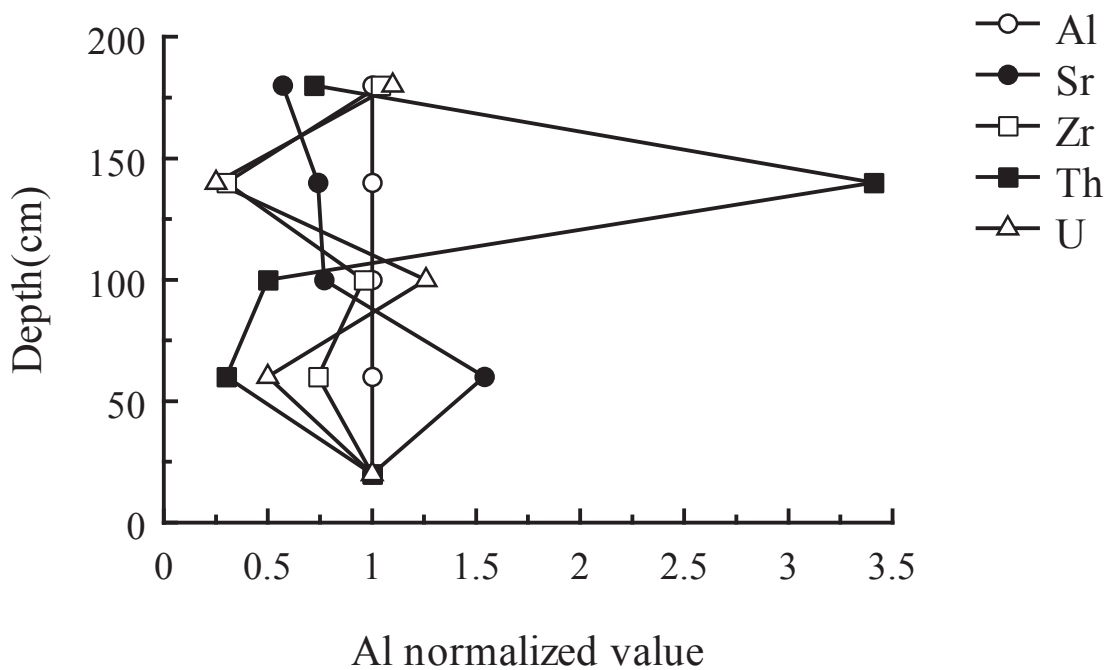
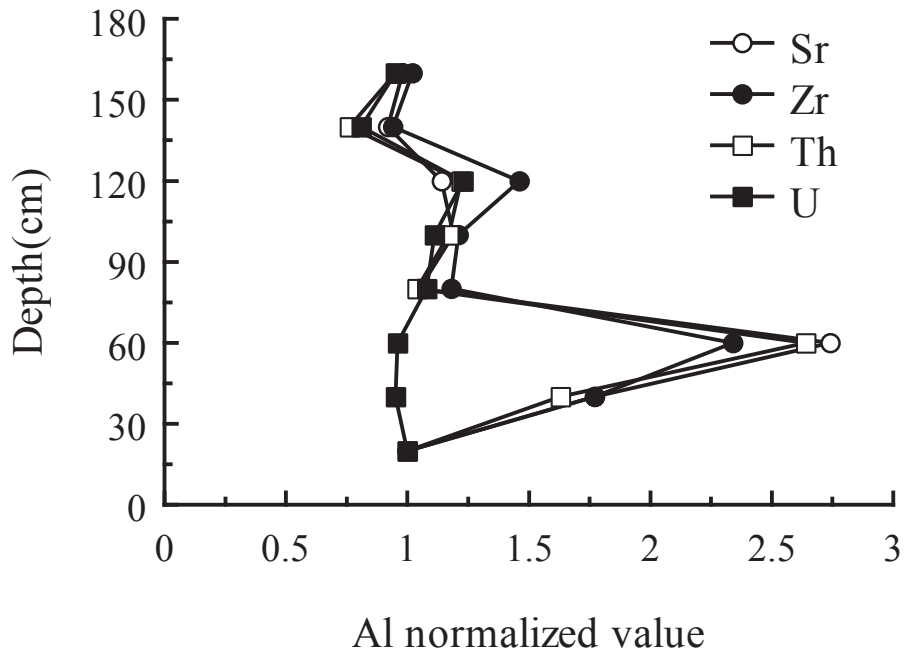


Fig.50 Relations between Al normalized value of minor elements and depth of in red-yellow soil (Ishigaki Island area).

Red-yellow soil (Acidic 10)



Red-yellow soil (Acidic 13)

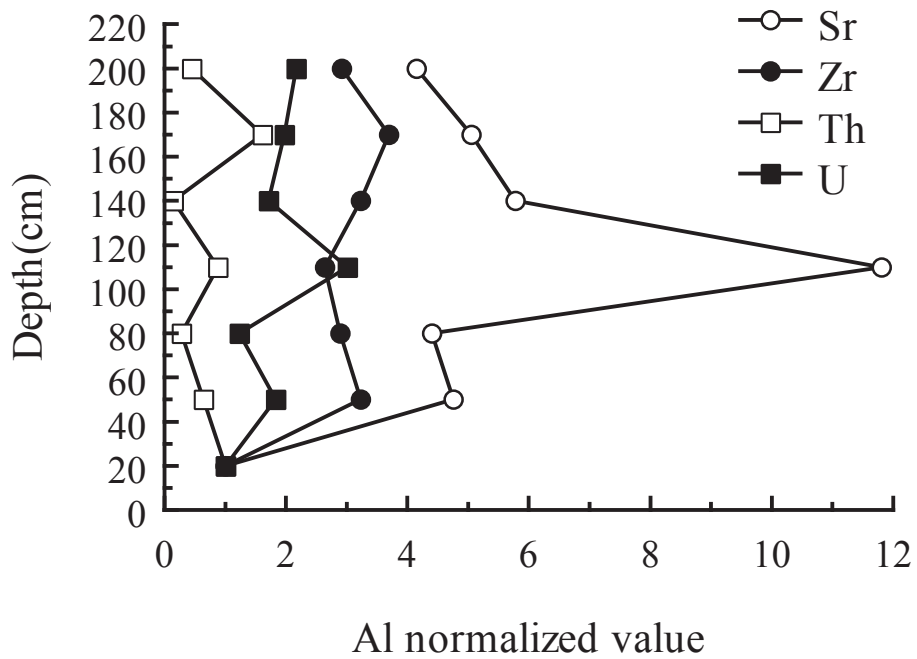
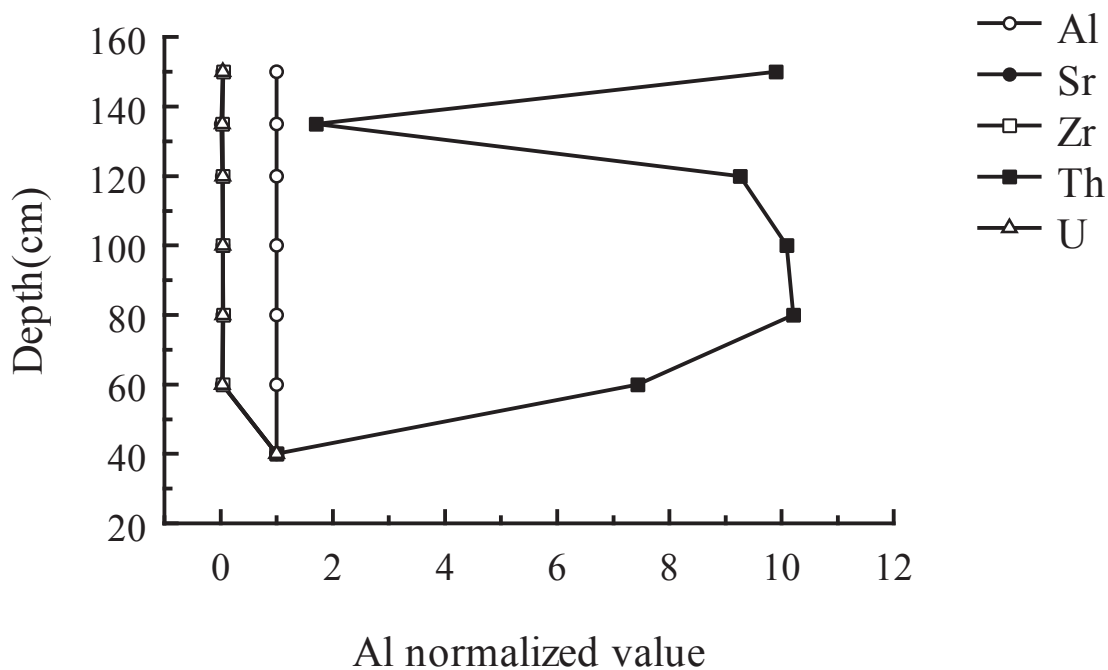


Fig.51 Relations between Al normalized value of minor elements and depth of in red-yellow soil (The main island of Okinawa central part area).

Red-yellow soil (Alkaline 18)



Red-yellow soil (Alkaline 19)

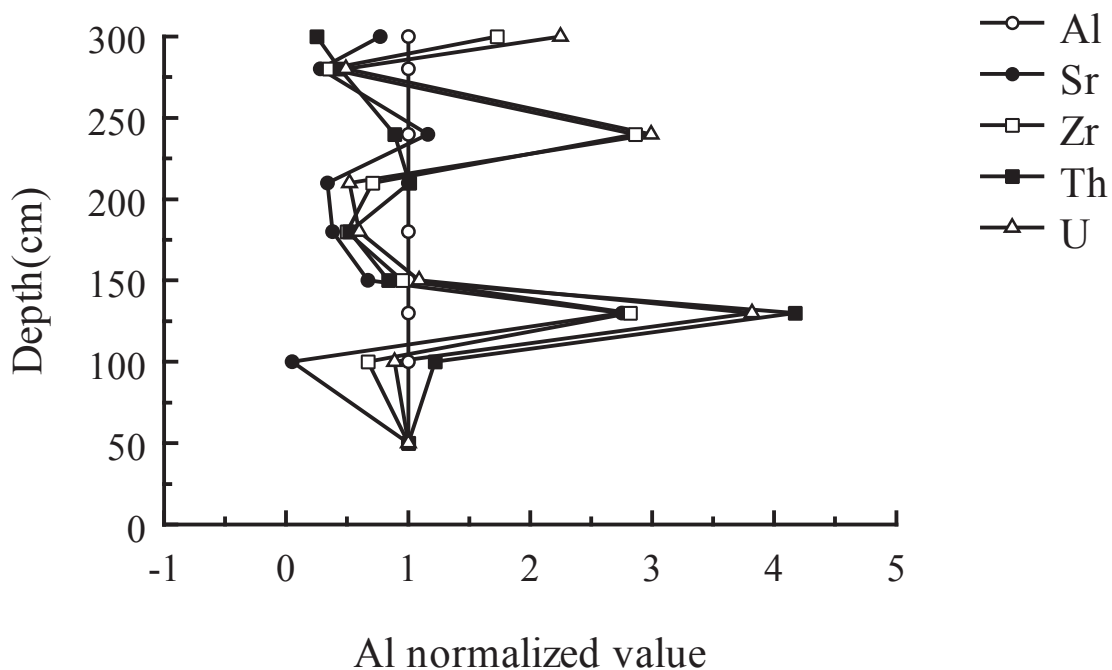
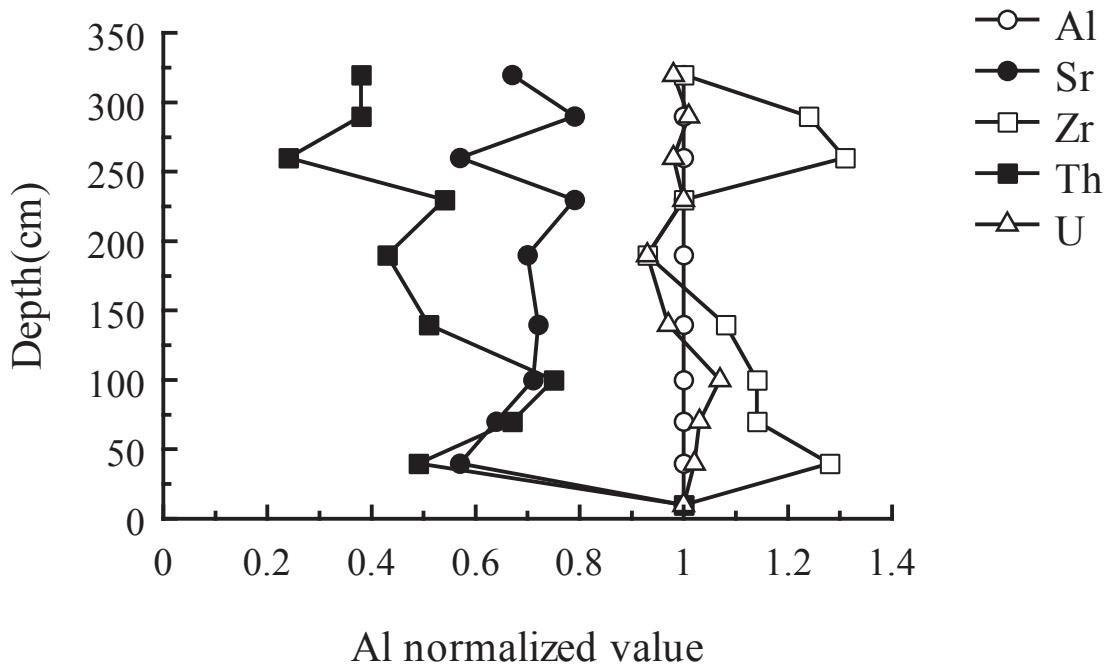


Fig.52 Relations between Al normalized value of minor elements and depth of in red-yellow soil (The main island of Okinawa southern part area).

Red-yellow soil (Acidic 21)



Red-yellow soil (Acidic 22)

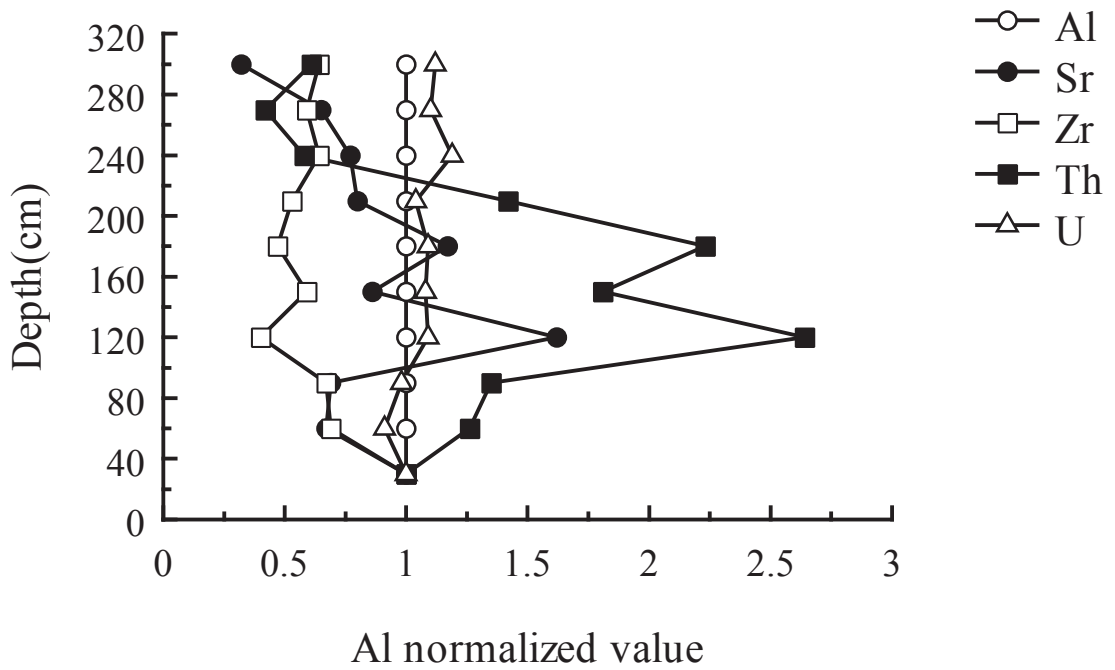


Fig.53 Relations between Al normalized value of minor elements and depth of in red-yellow soil (The main island of Okinawa northern part area).

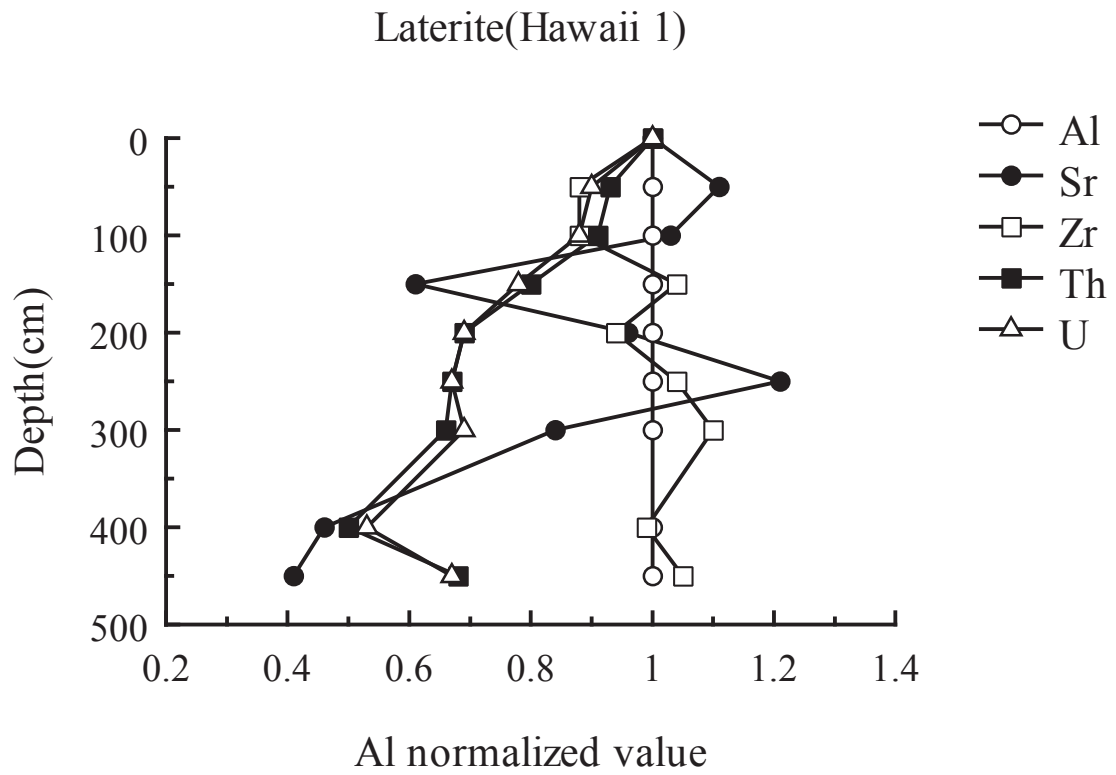


Fig.54 Relations between Al normalized value of minor elements and depth in laterite (Oahu Island area).

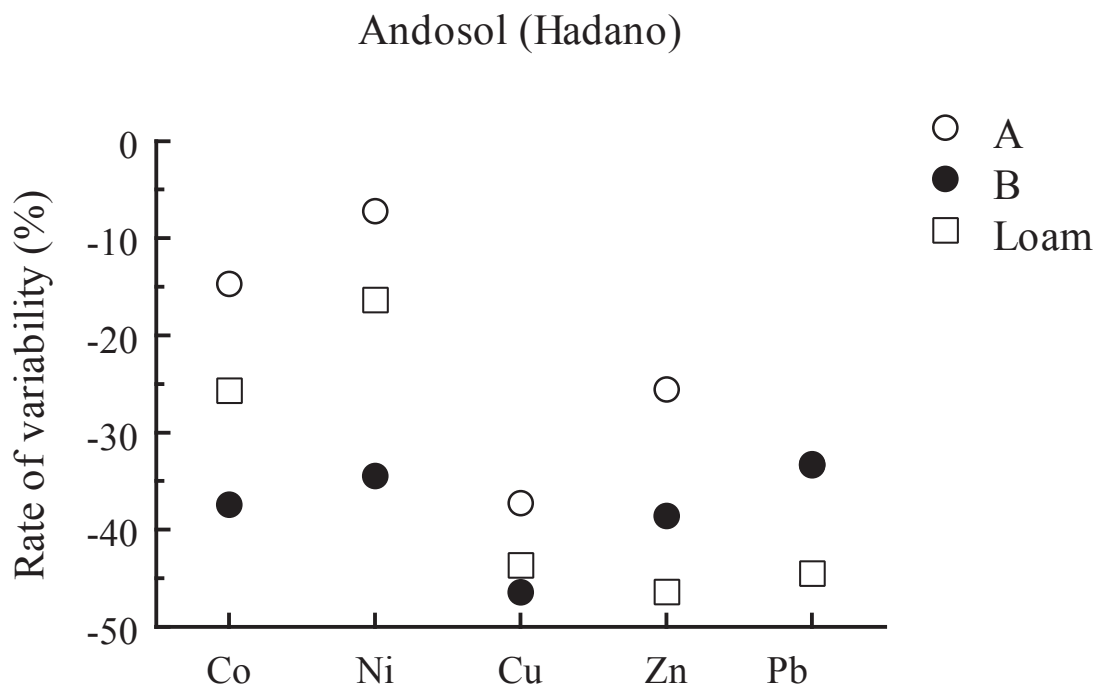
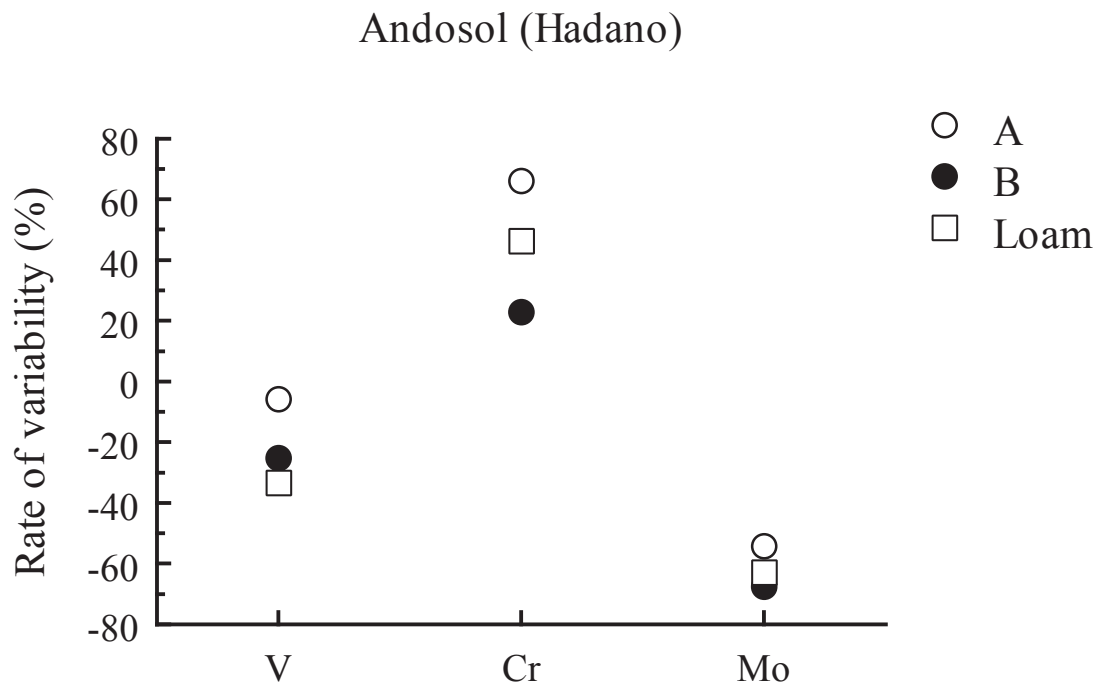
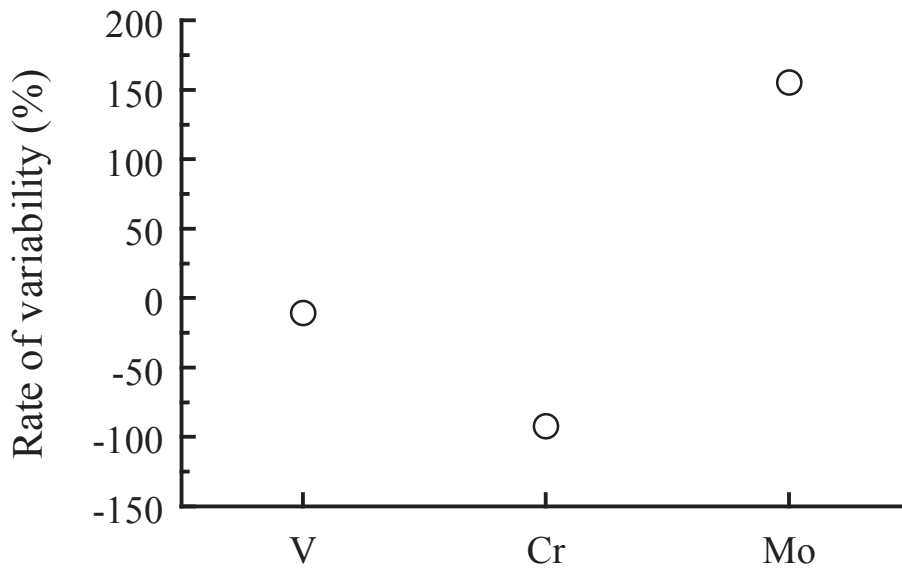


Fig.55 Rate of variability of base metal elements in andosol (Hadano area).

Loam (Hiratsuka)



Loam (Hiratsuka)

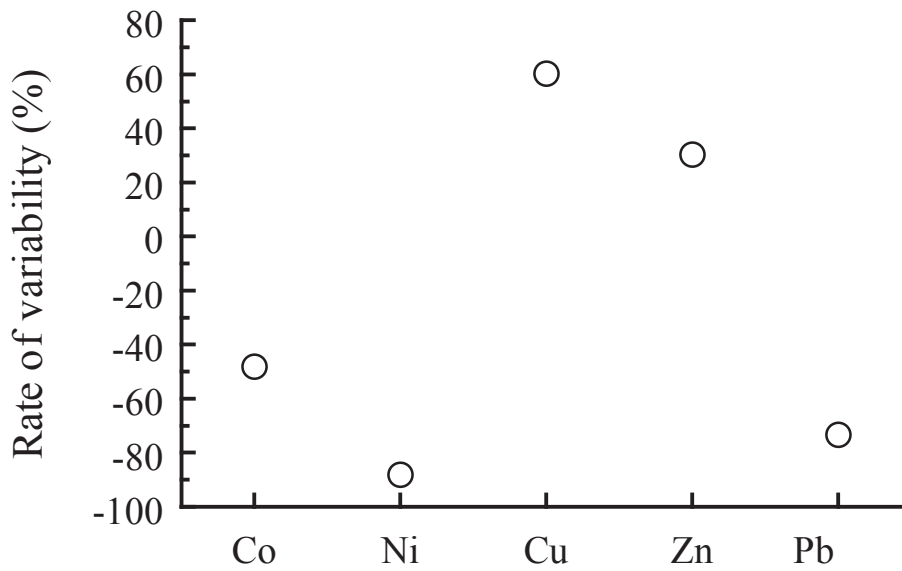


Fig.56 Rate of variability of base metal elements in loam (Hiratsuka area).

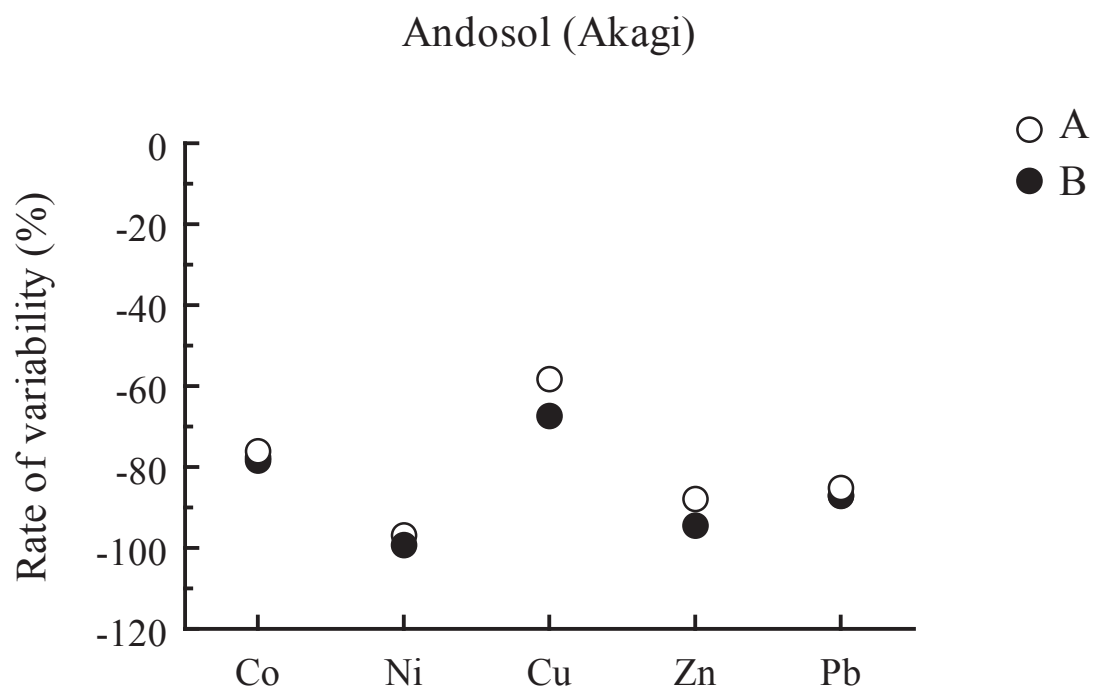
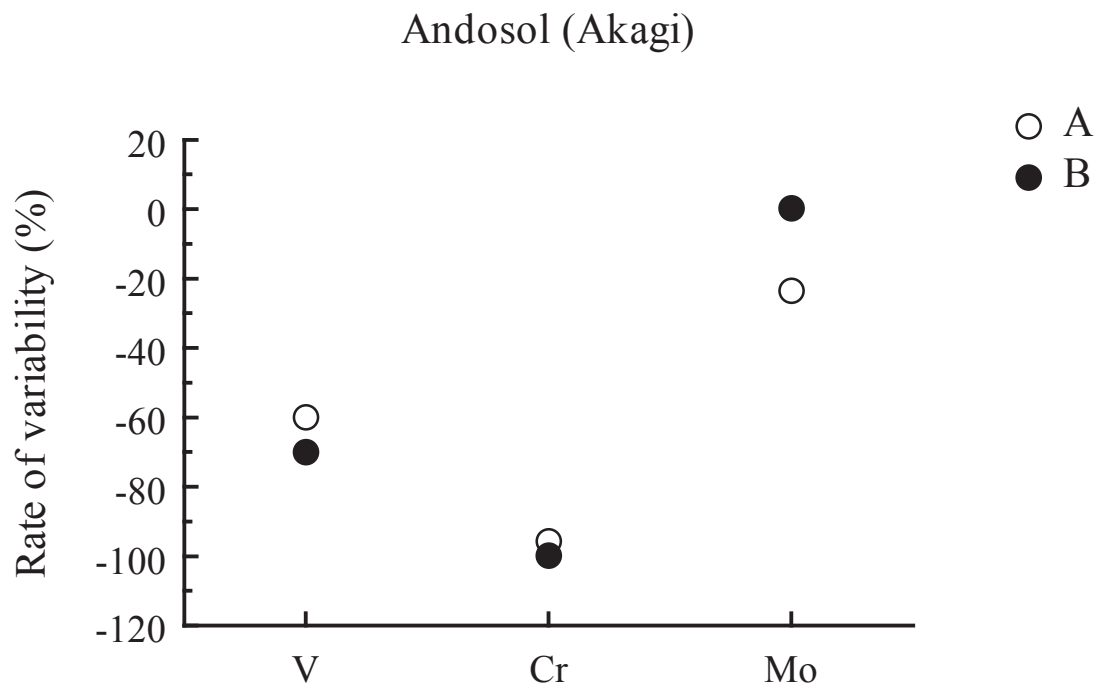


Fig.57 Rate of variability of base metal elements in andosol (Akagi area)

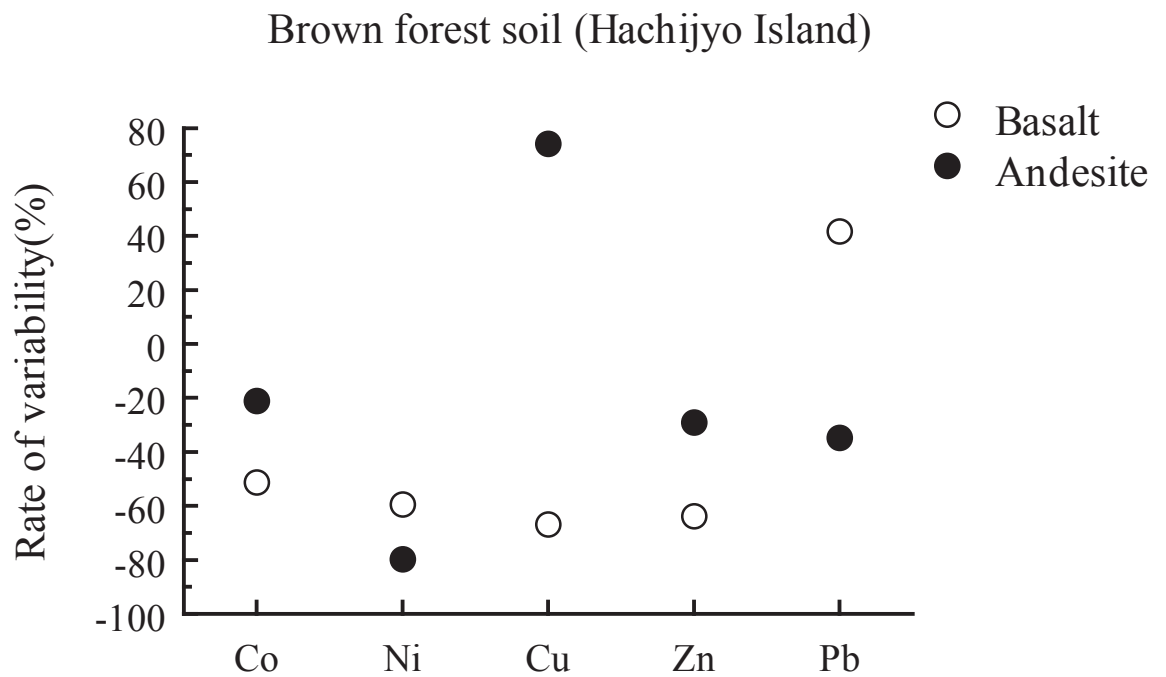
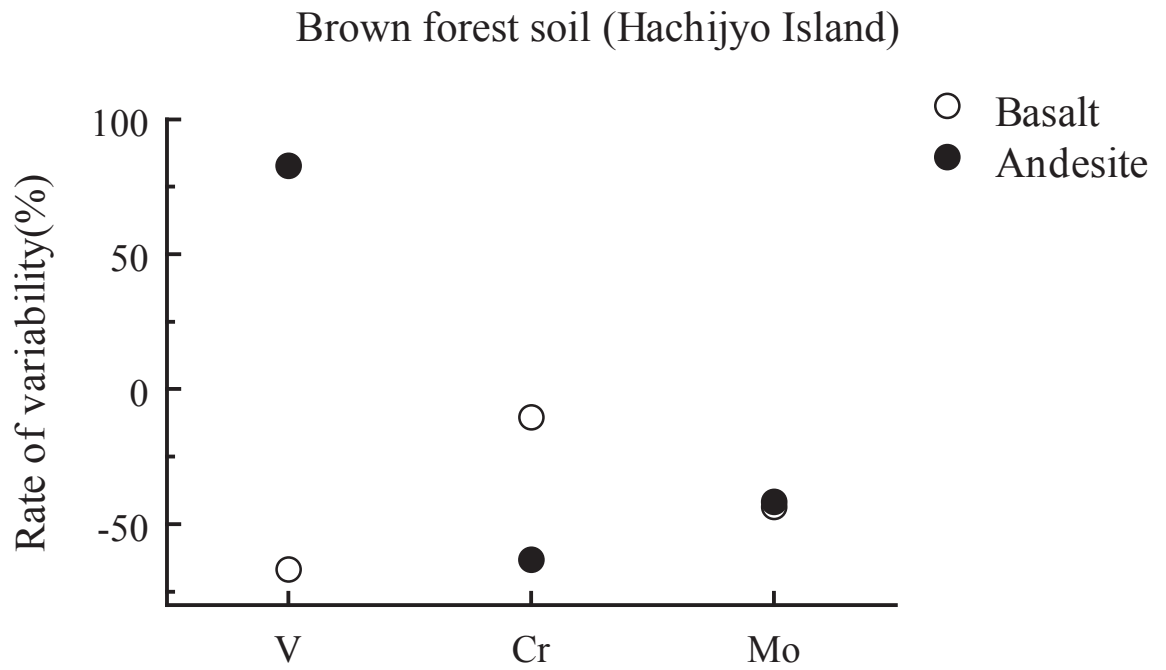


Fig.58 Rate of variability of base metal elements in brown forest soil (Hachijyo Island area).

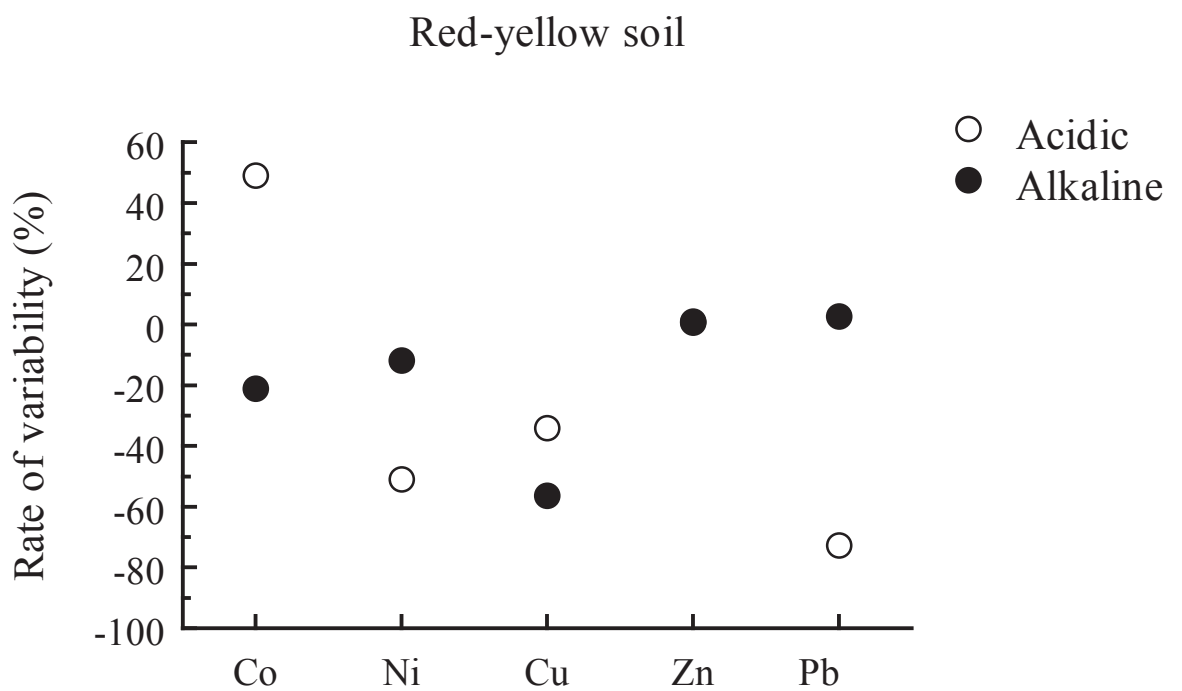
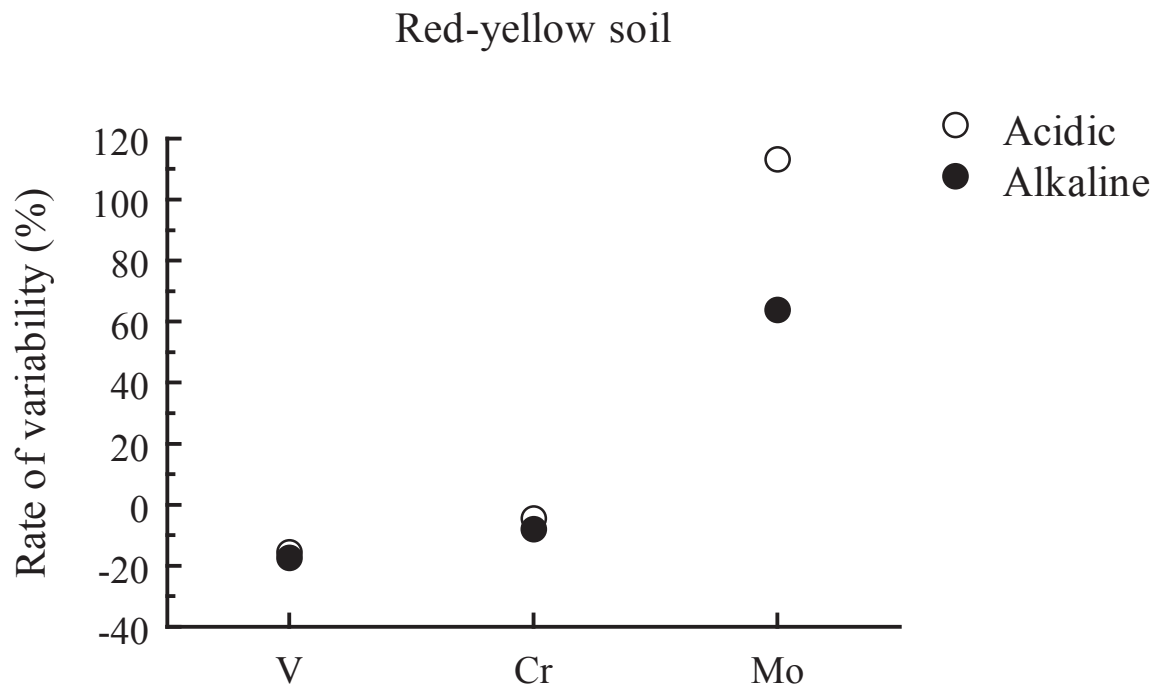
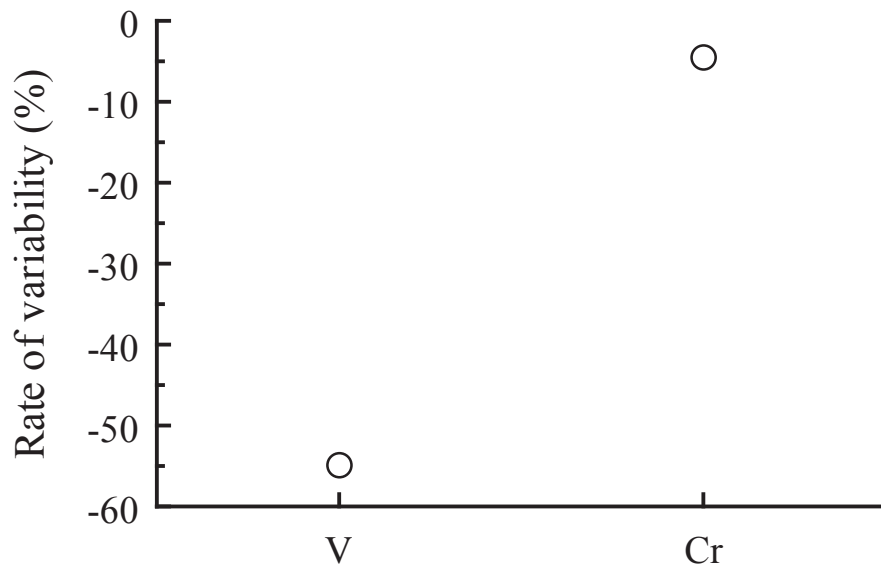


Fig.59 Rate of variability of base metal elements in red-yellow soil (The main island of Okinawa and Ishigaki Island area).

Laterite (Hawaii)



Laterite (Hawaii)

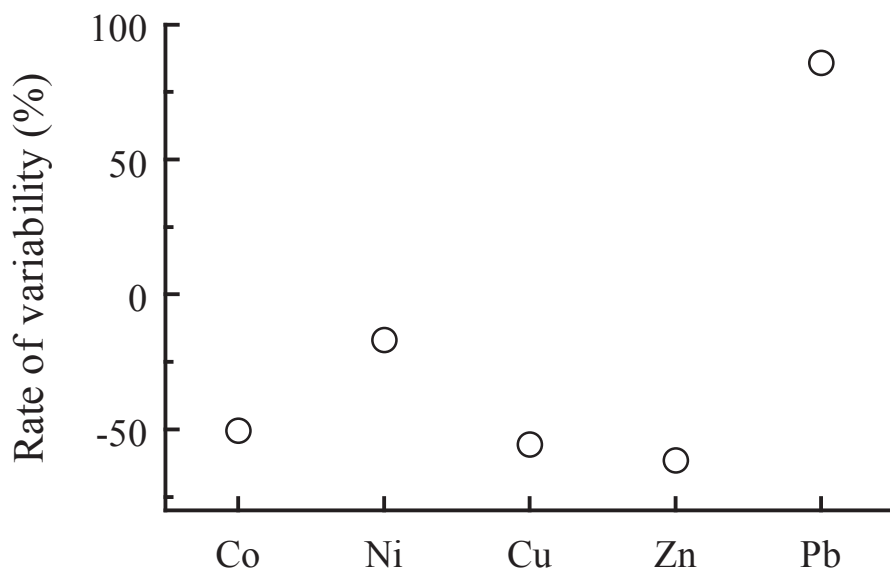


Fig.60 Rate of variability of base metal elements in laterite (Oafu and Hawaii Island area).

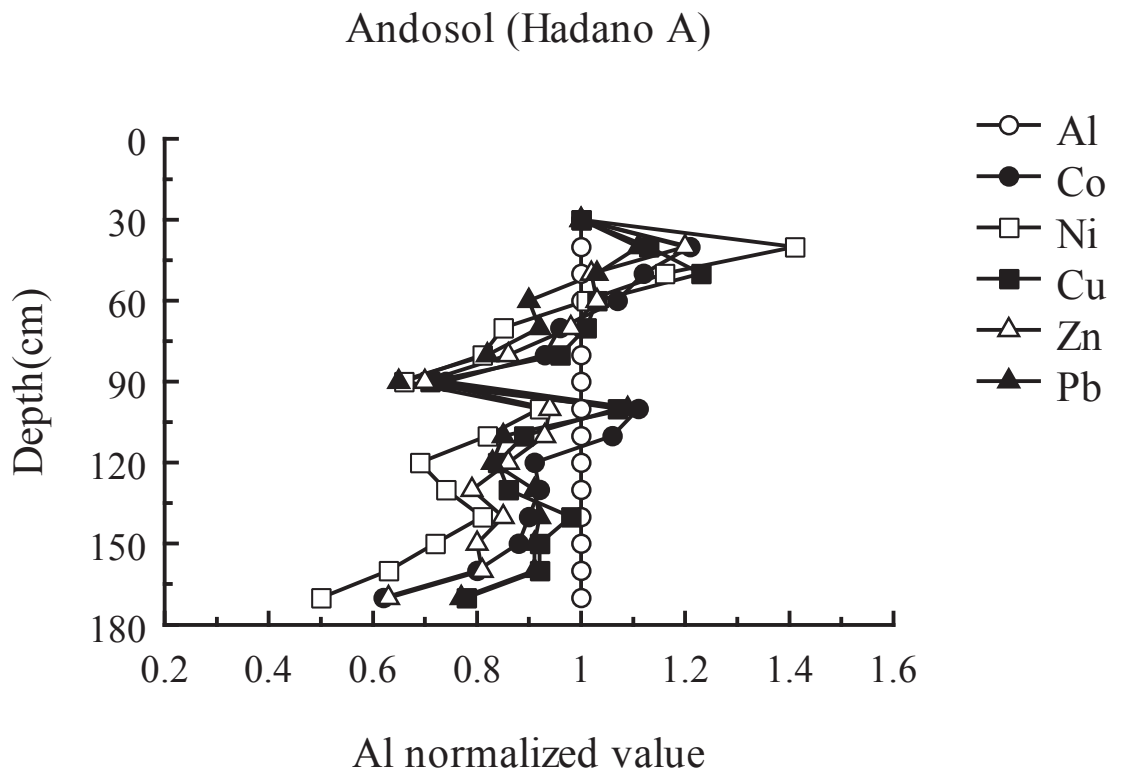
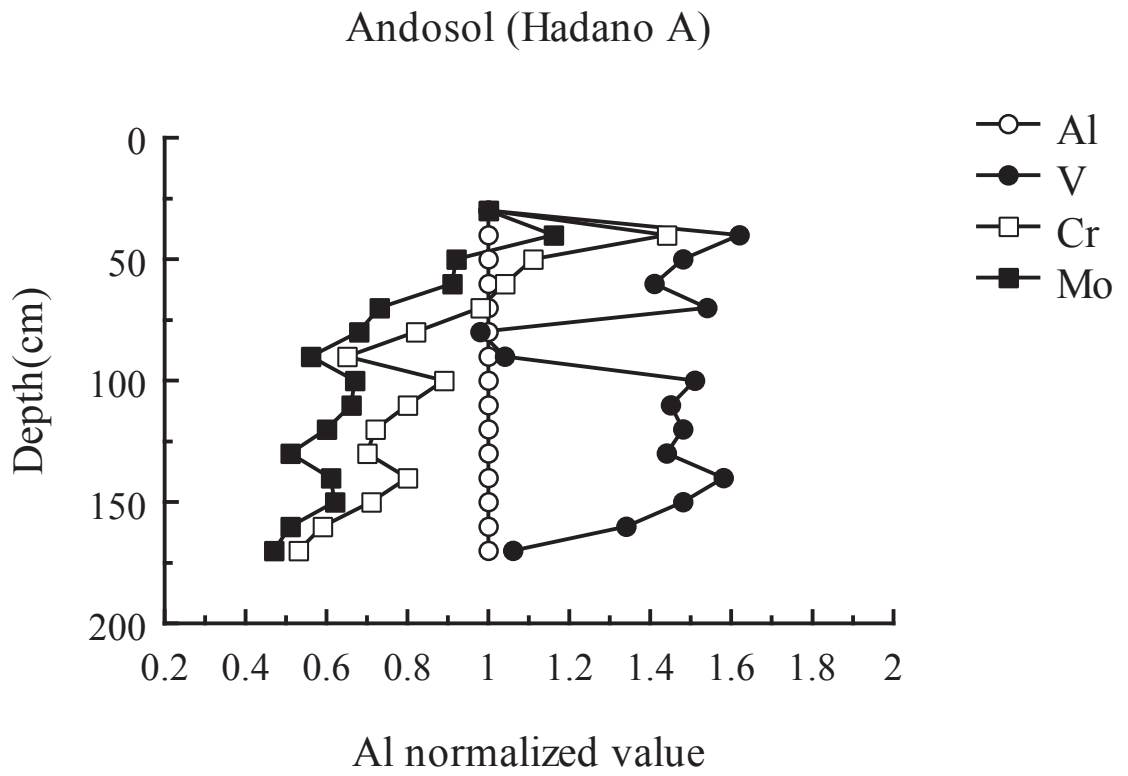
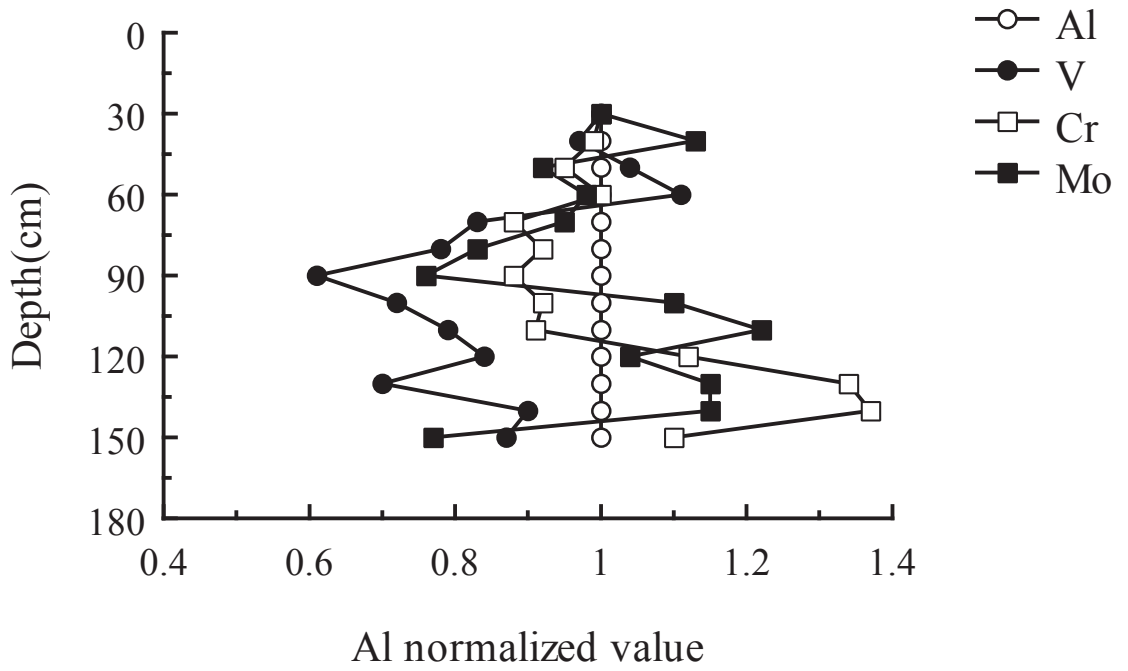


Fig.61 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in andosol (Hadano area).

Andosol (Hadano B)



Andosol (Hadano B)

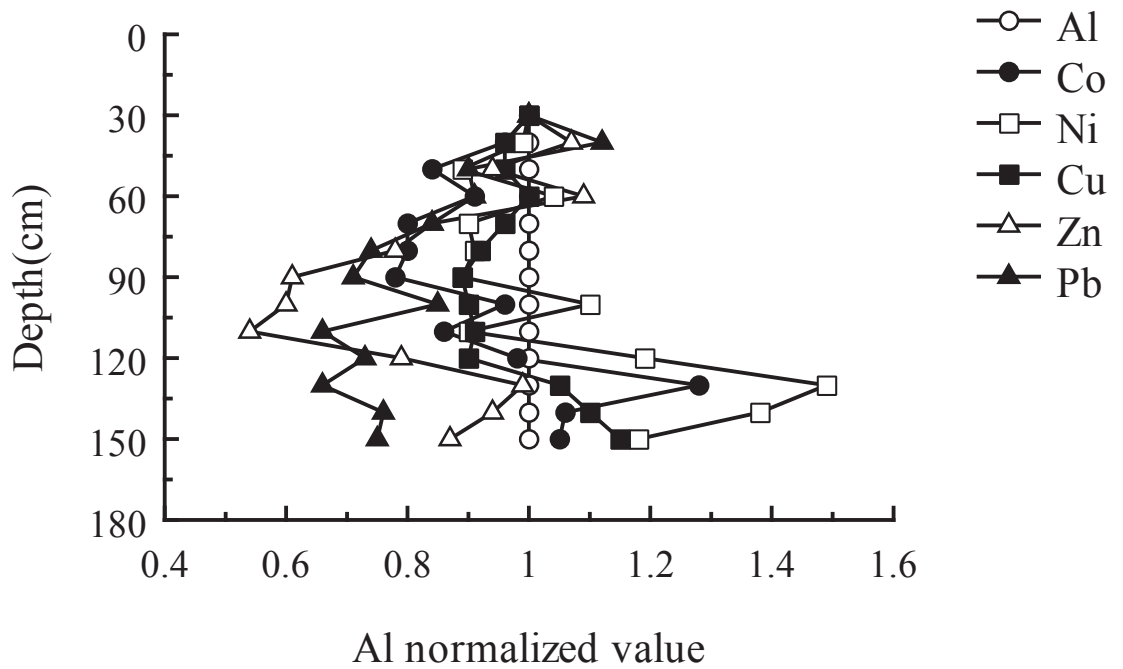


Fig.62 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in andosol (Hadano area).

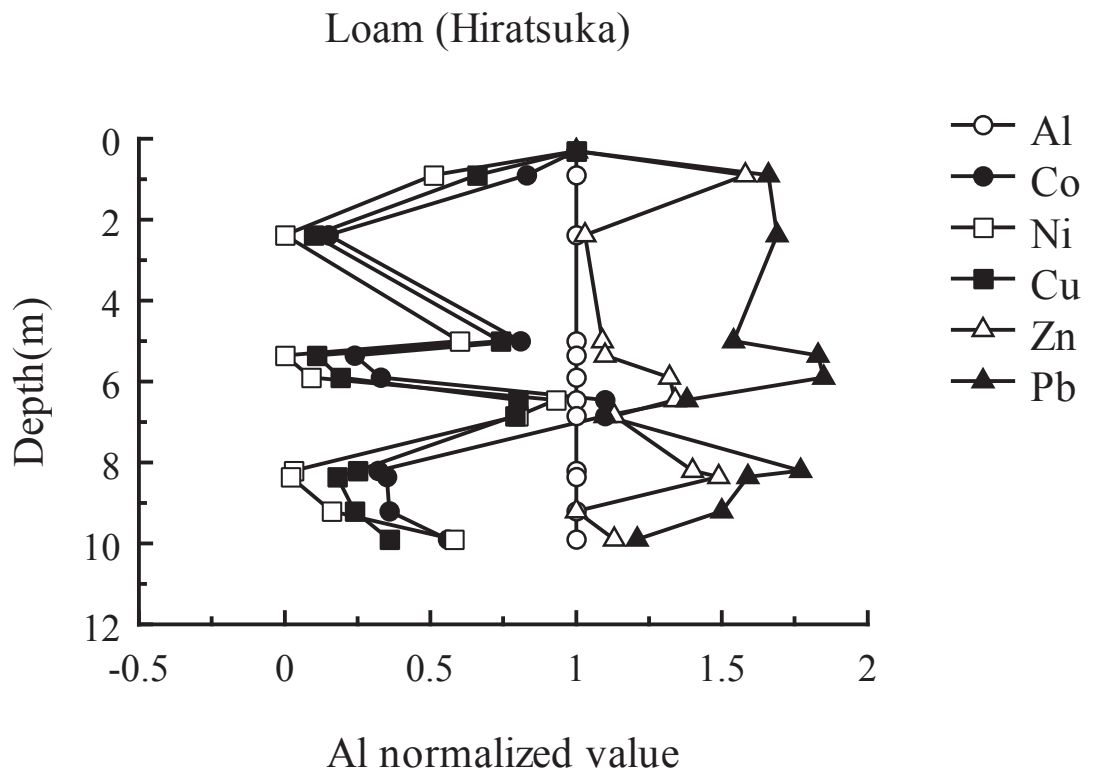
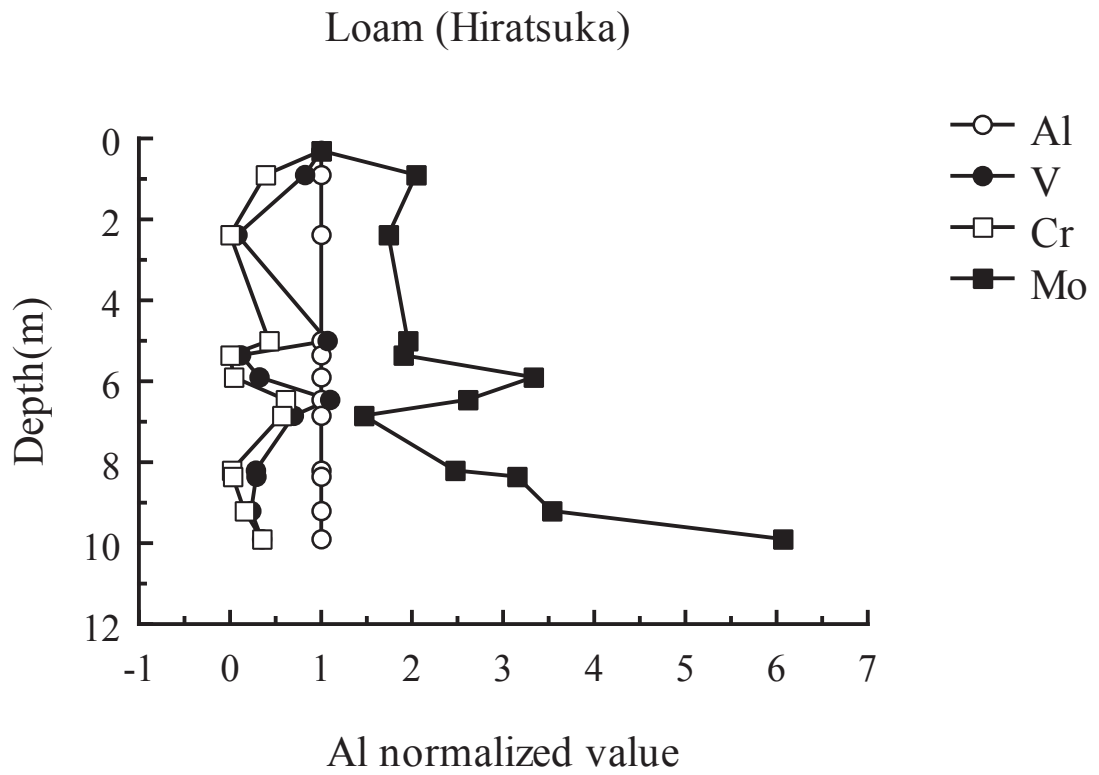


Fig.63 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in loam (Hiratsuka area).

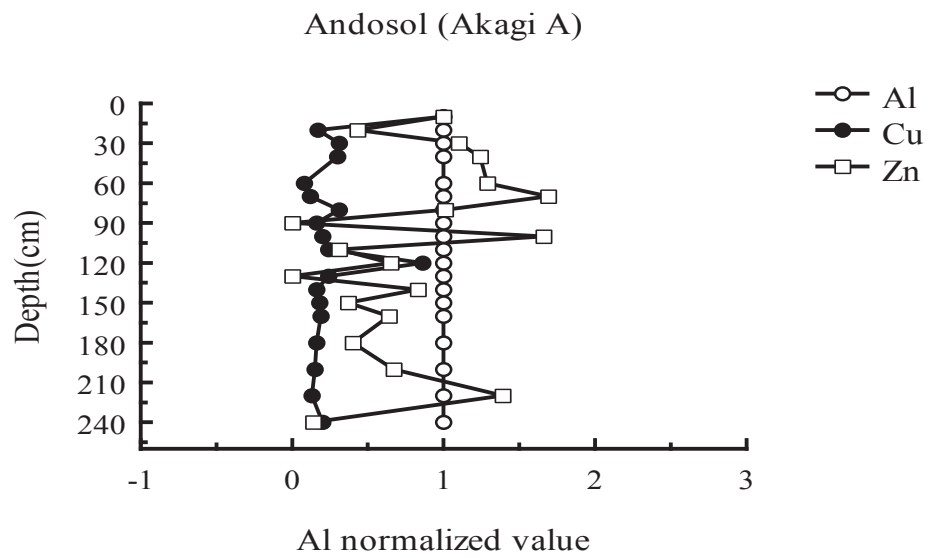
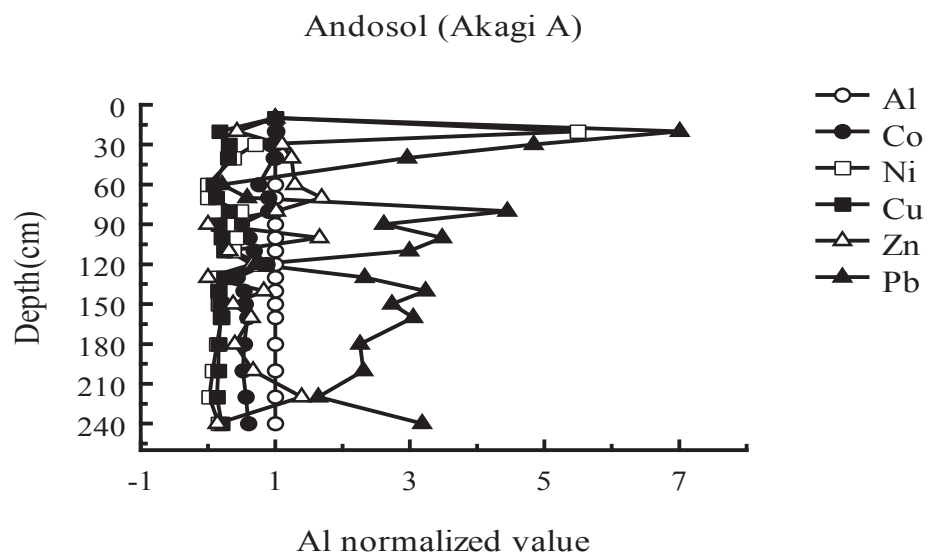
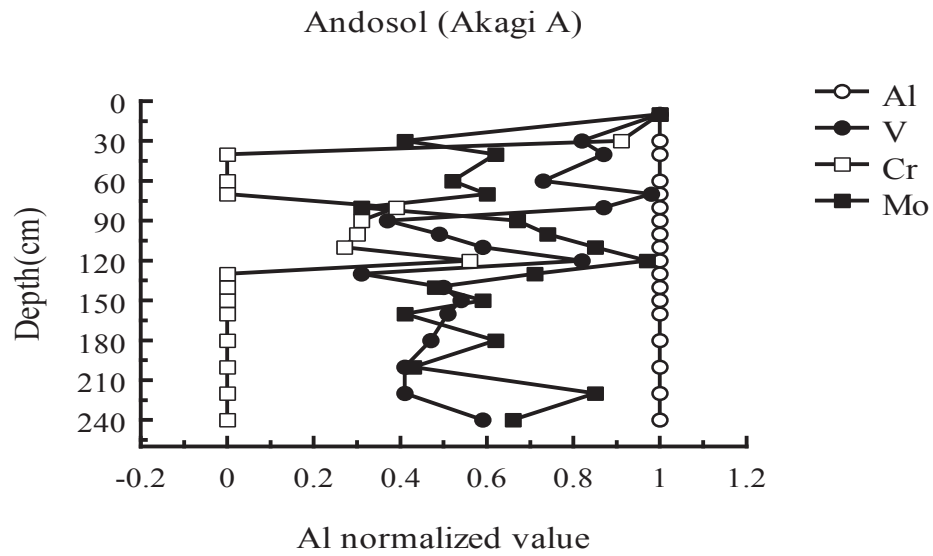


Fig.64 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in andosol (Akagi area).

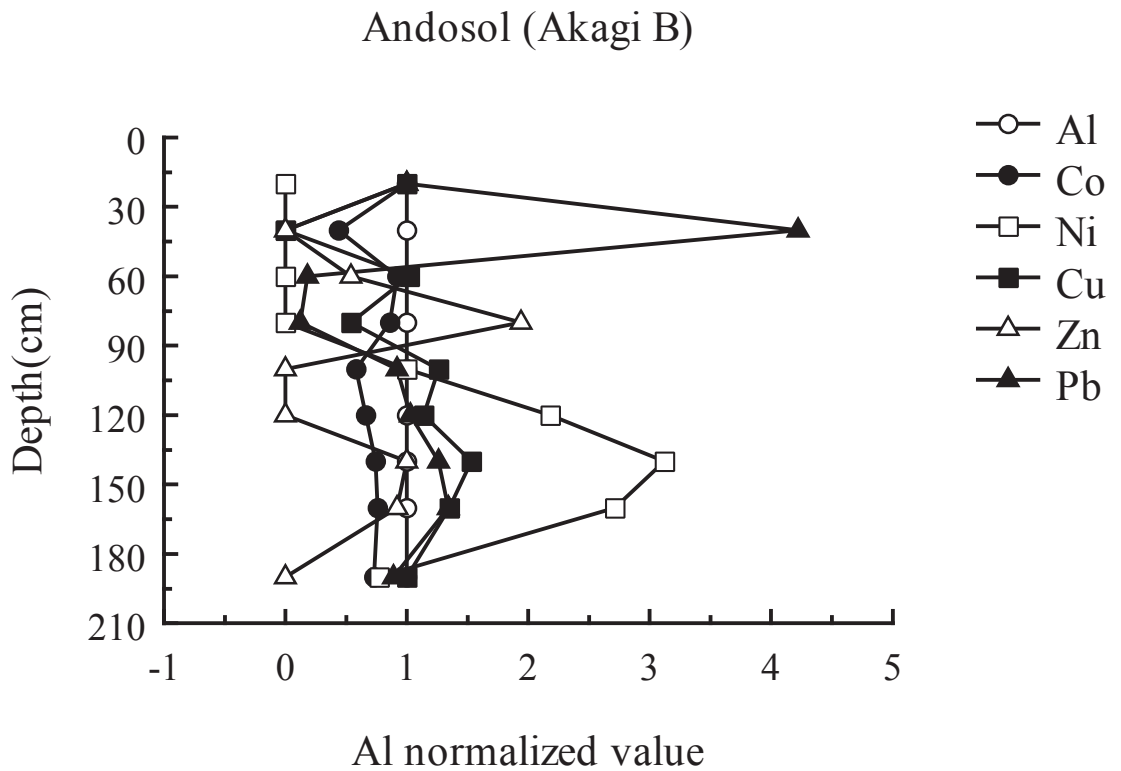
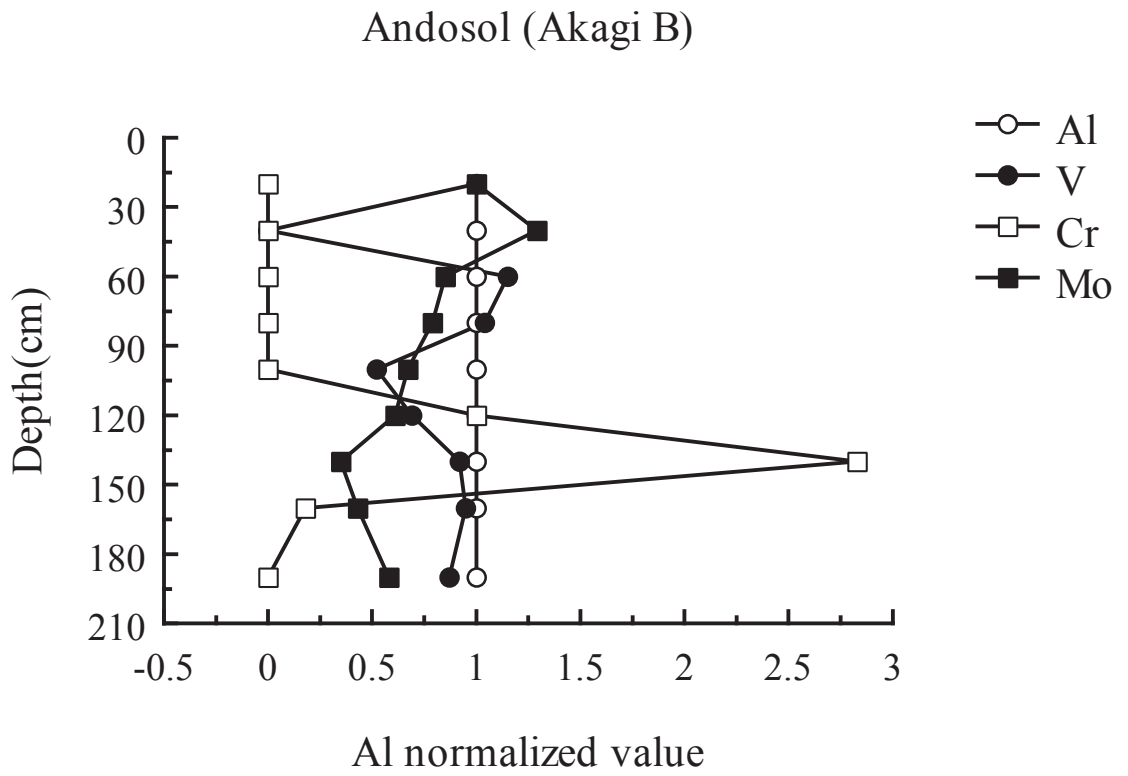


Fig.65 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in andosol (Akagi area).

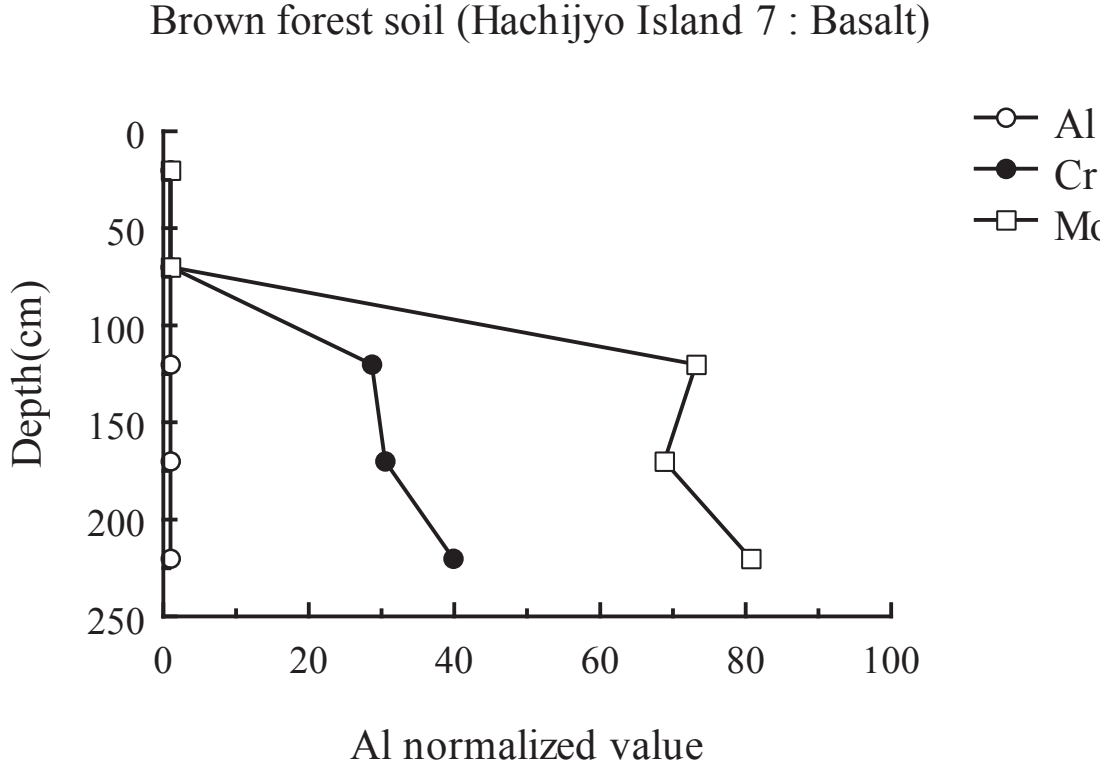
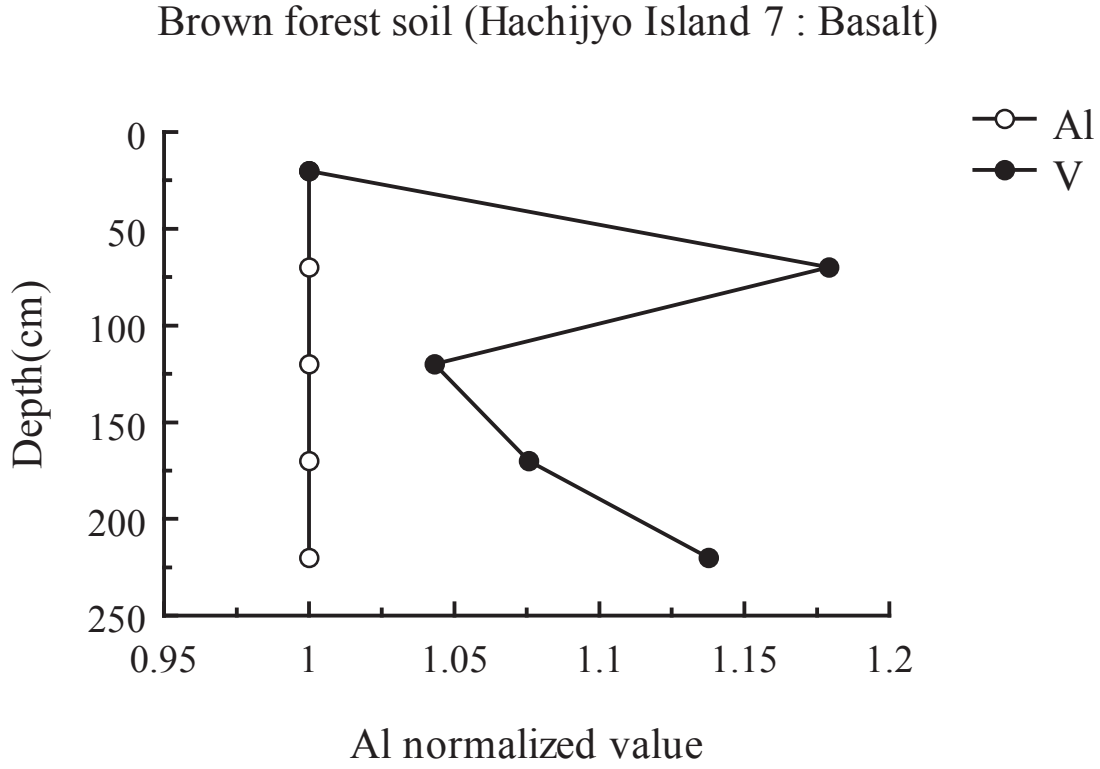
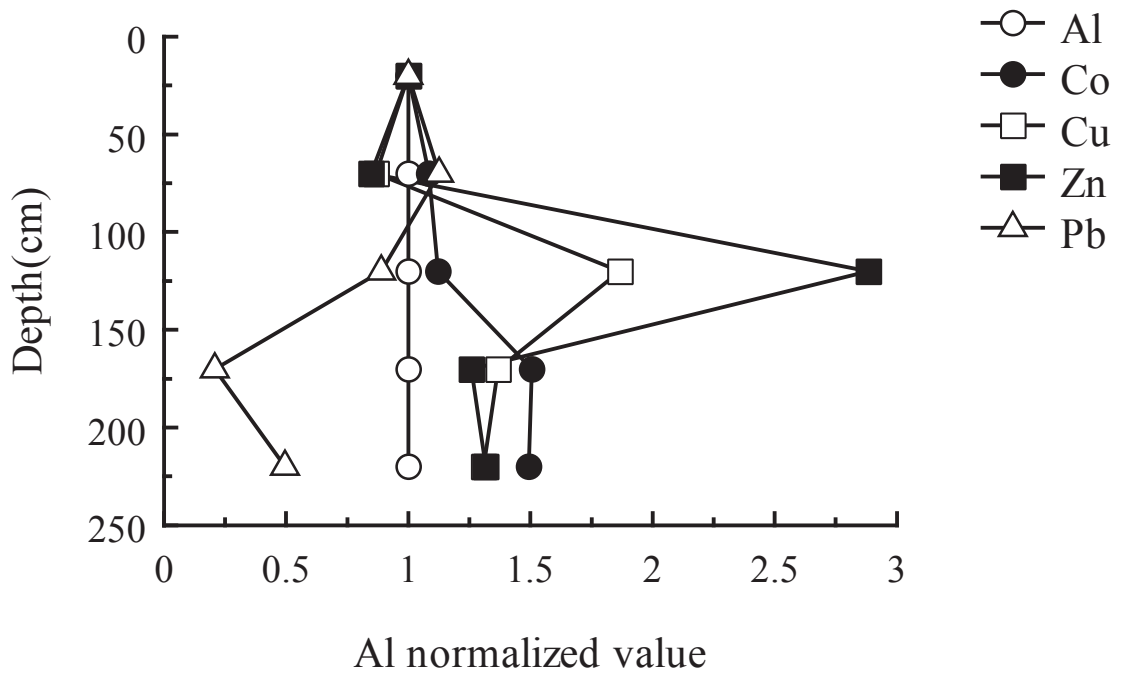


Fig.66 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 7 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 7 : Basalt)

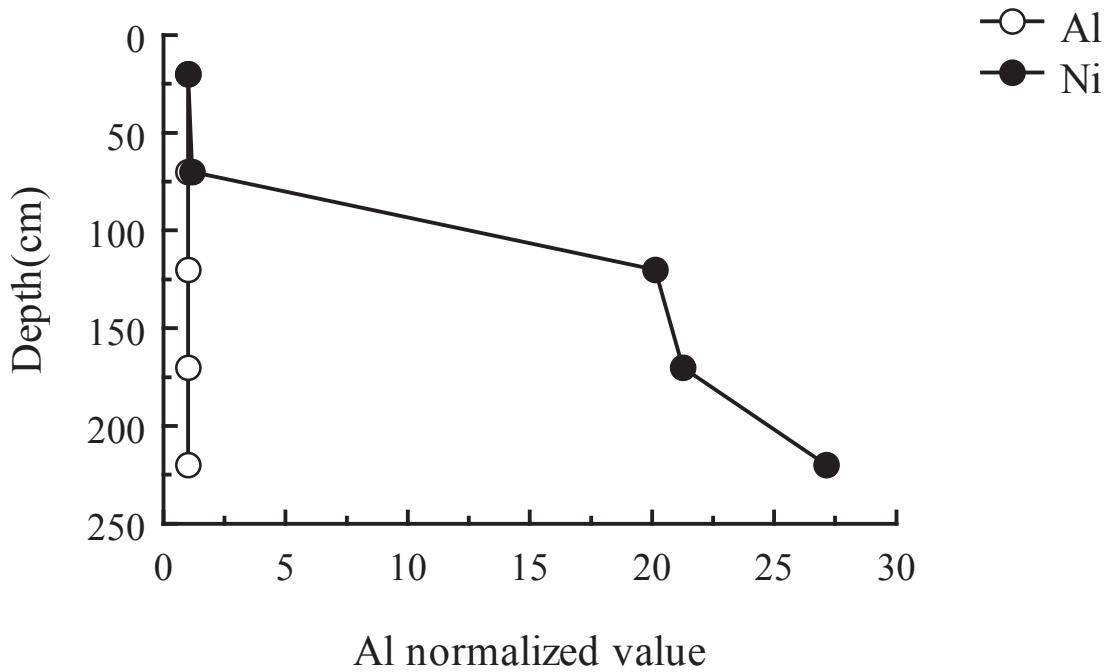
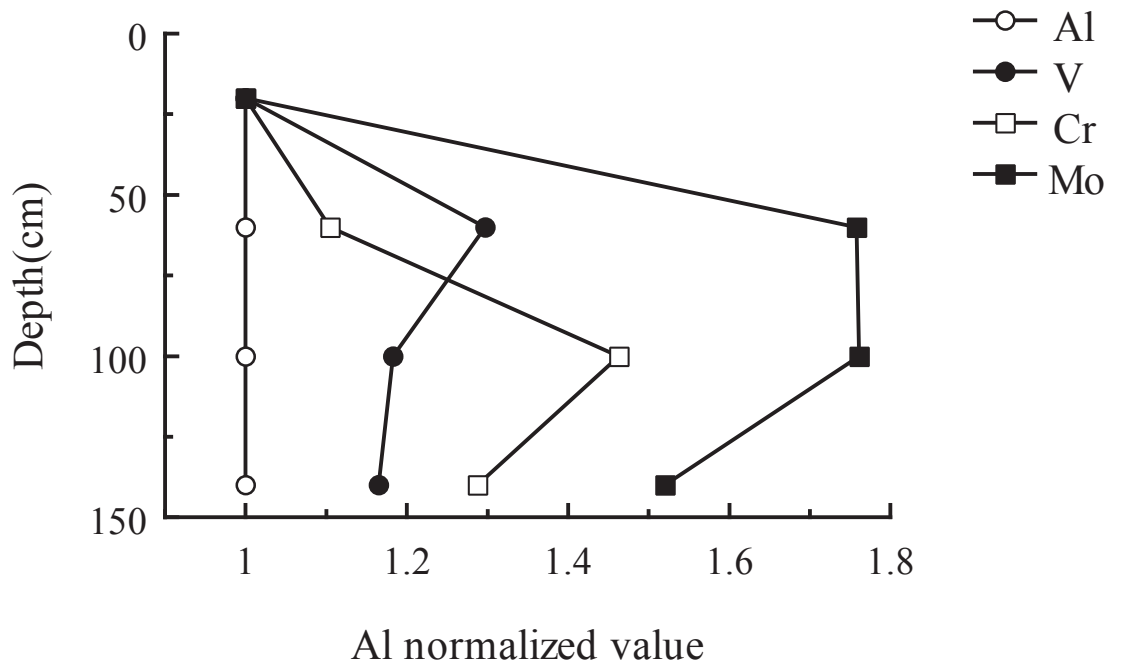


Fig.67 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 10 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 10 : Basalt)

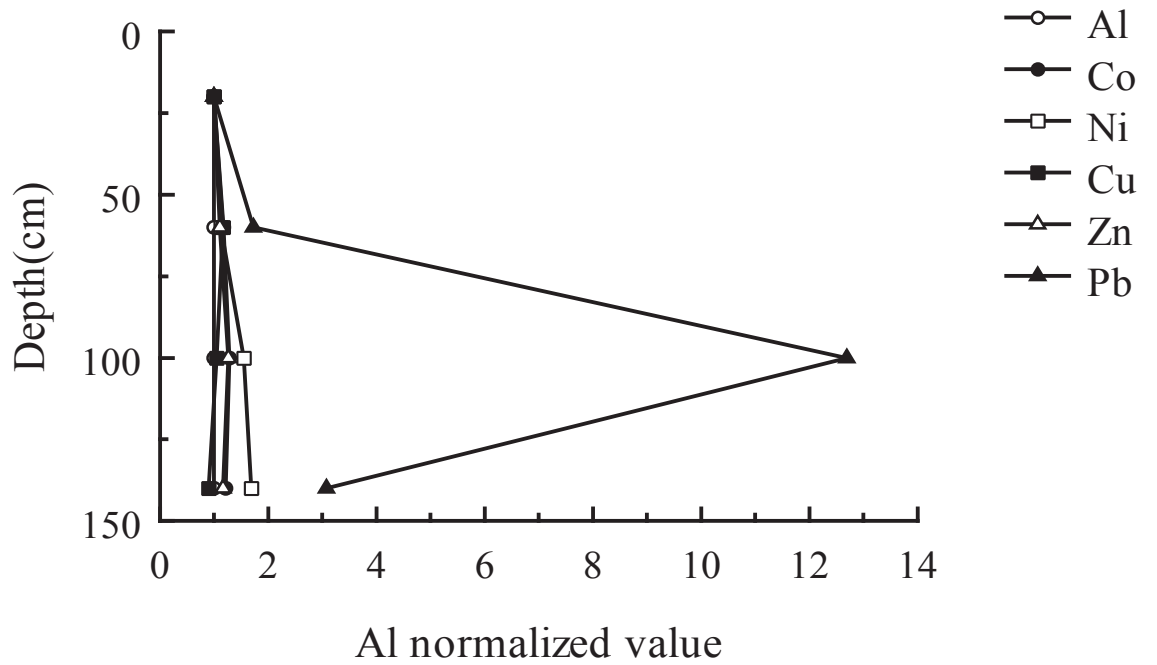
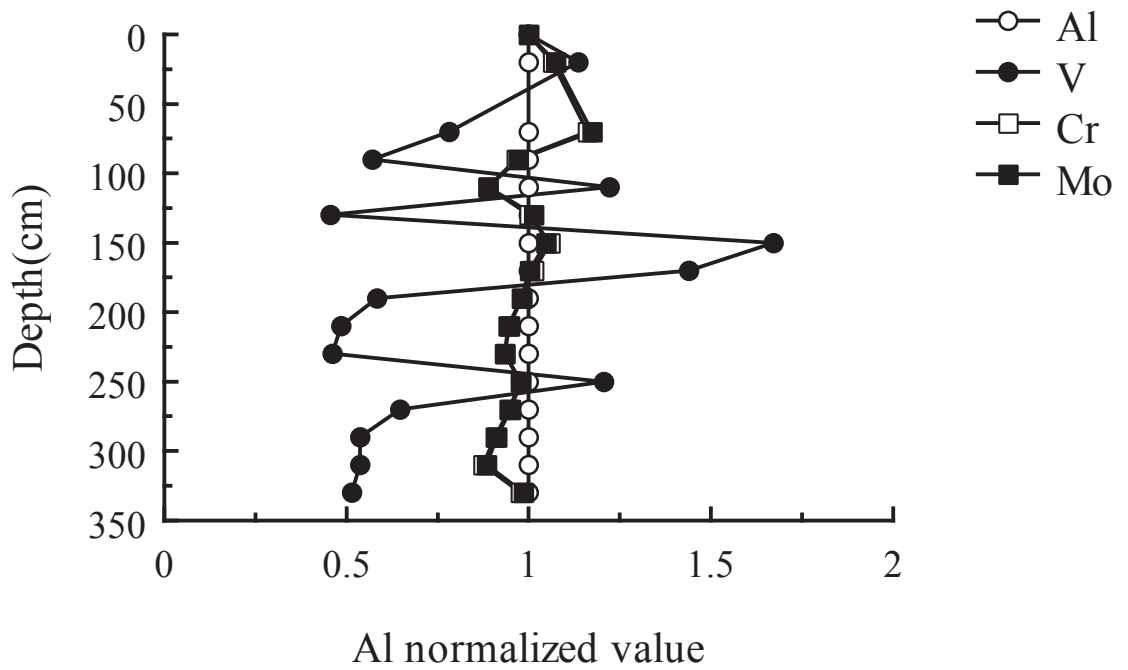


Fig.68 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 20 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 20 : Basalt)

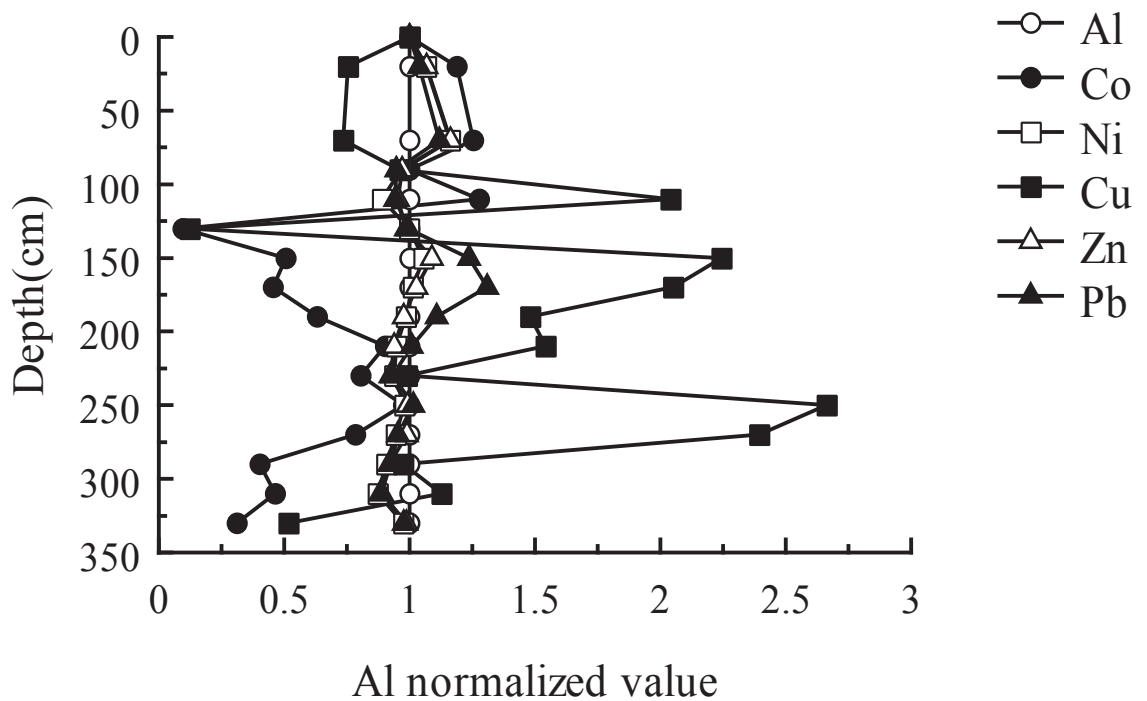
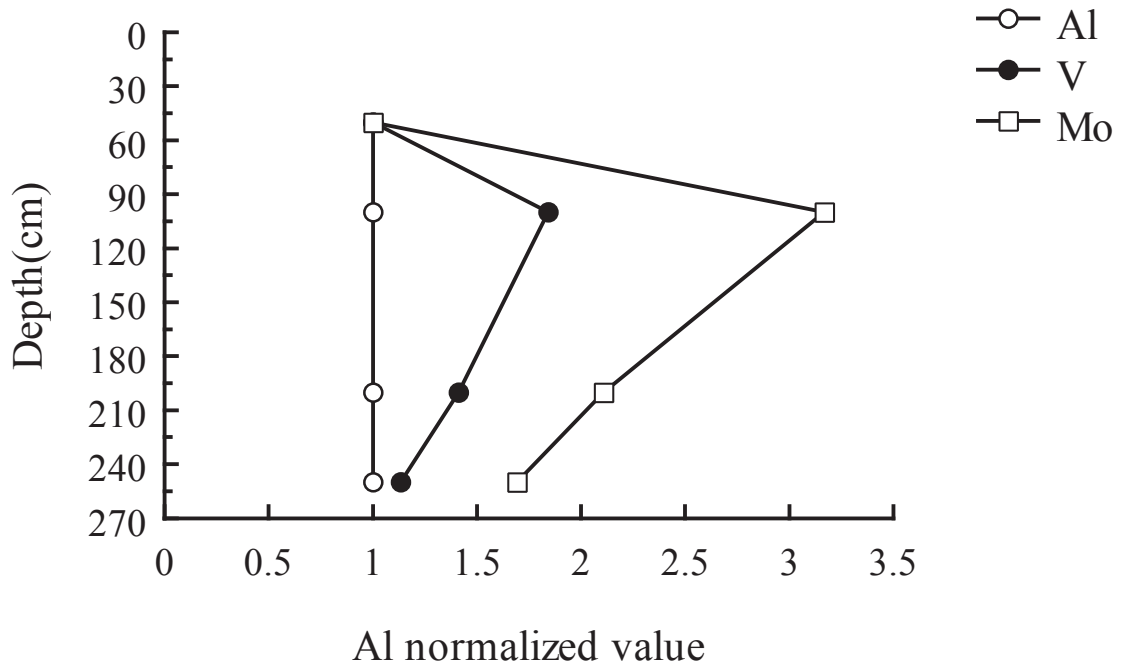


Fig.69 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 27 : Andesite)



Brown forest soil (Hachijyo Island 27 : Andesite)

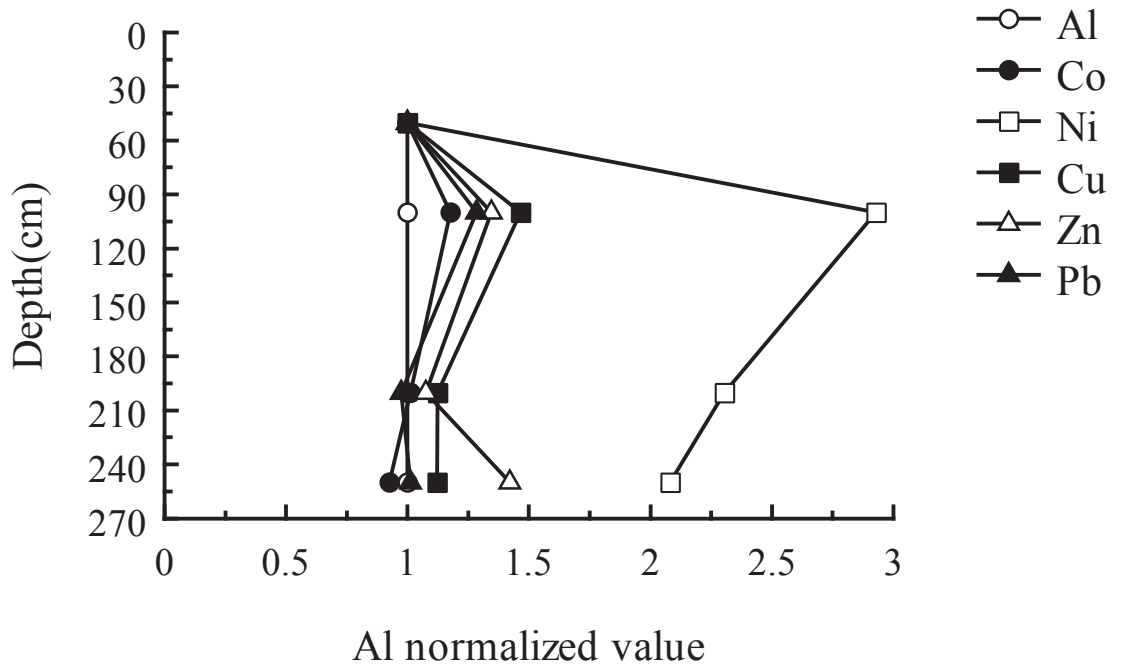
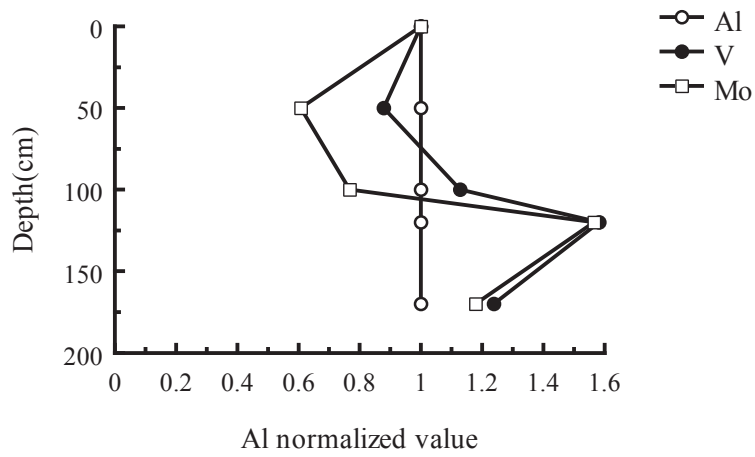
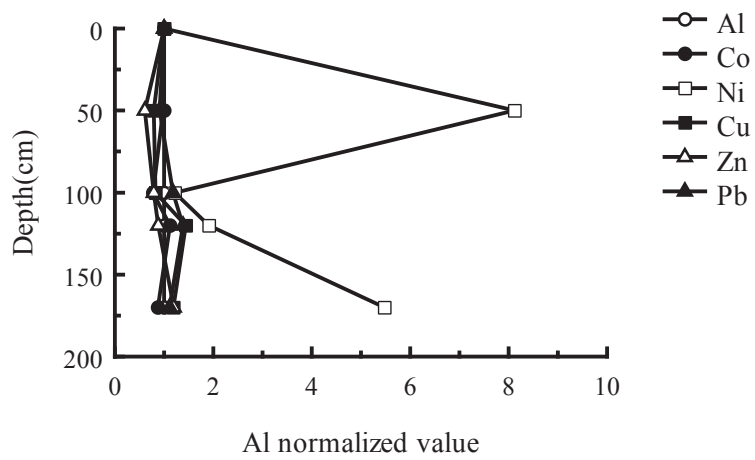


Fig.70 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 32 : Andesite)



Brown forest soil (Hachijyo Island 32 : Andesite)



Brown forest soil (Hachijyo Island 32 : Andesite)

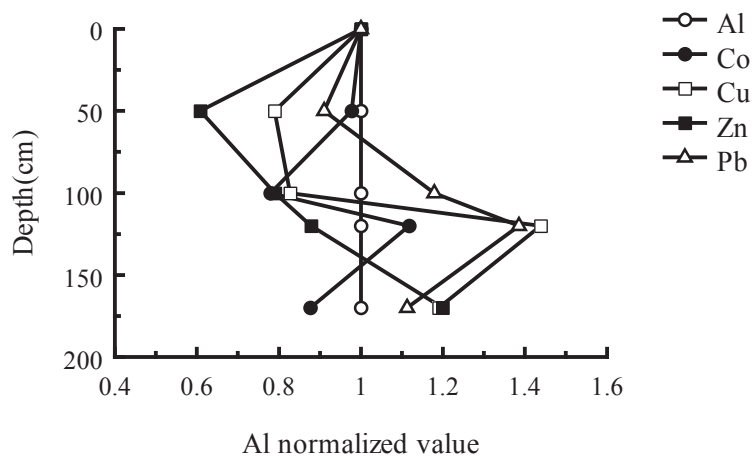
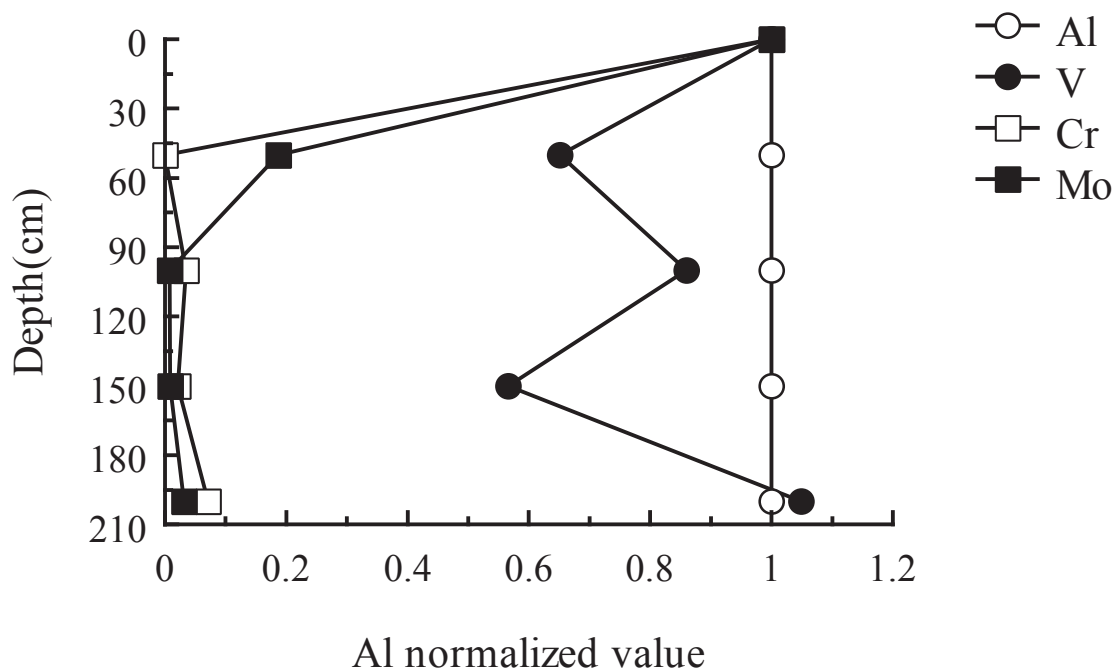


Fig.71 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 41 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 41 : Basalt)

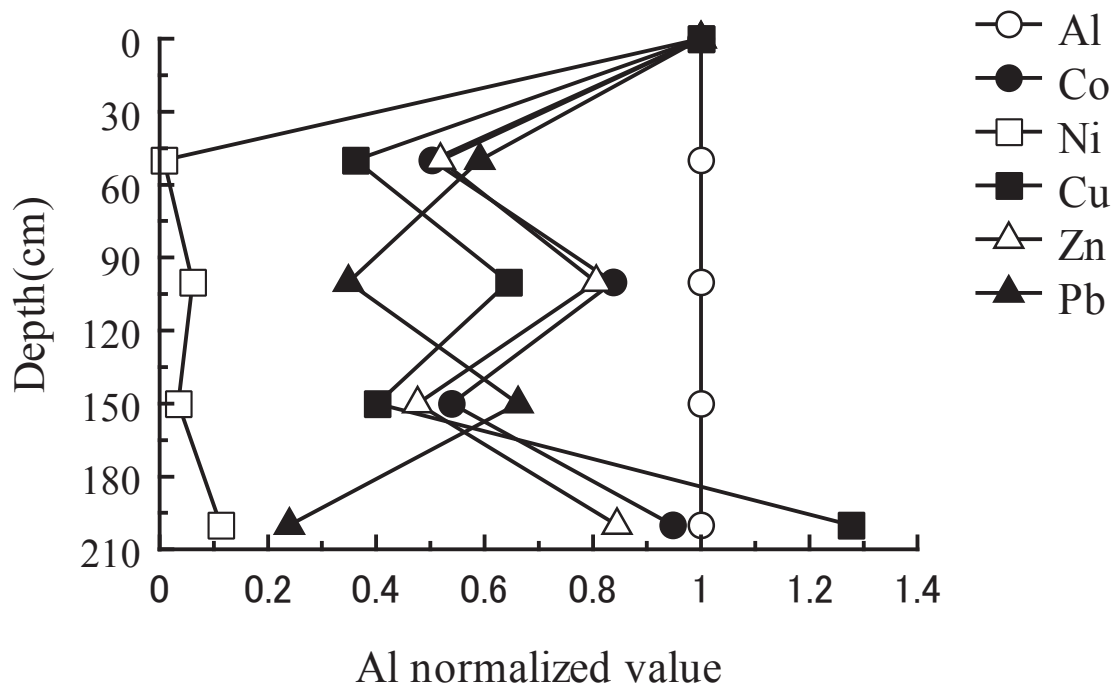
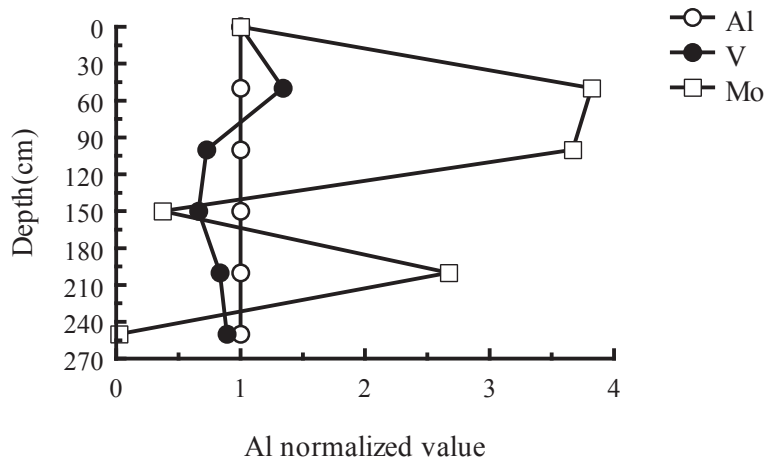
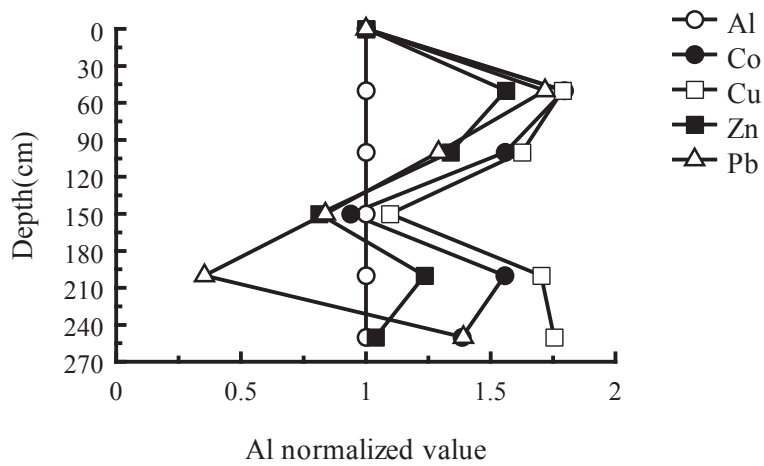


Fig.72 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 42 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 42 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 42 : Basalt)

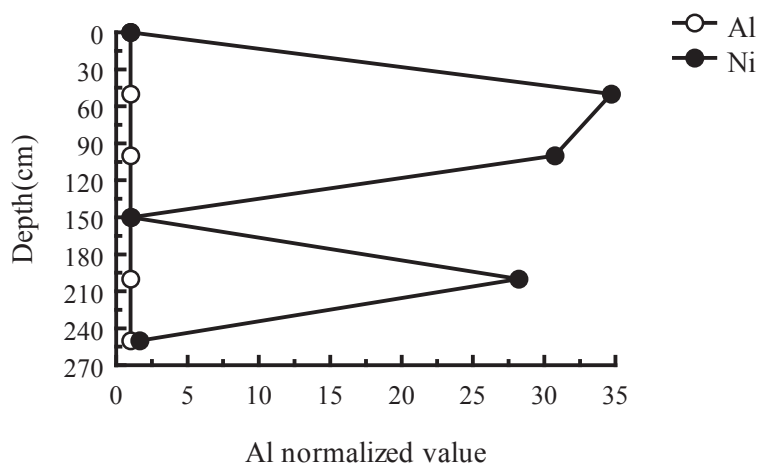
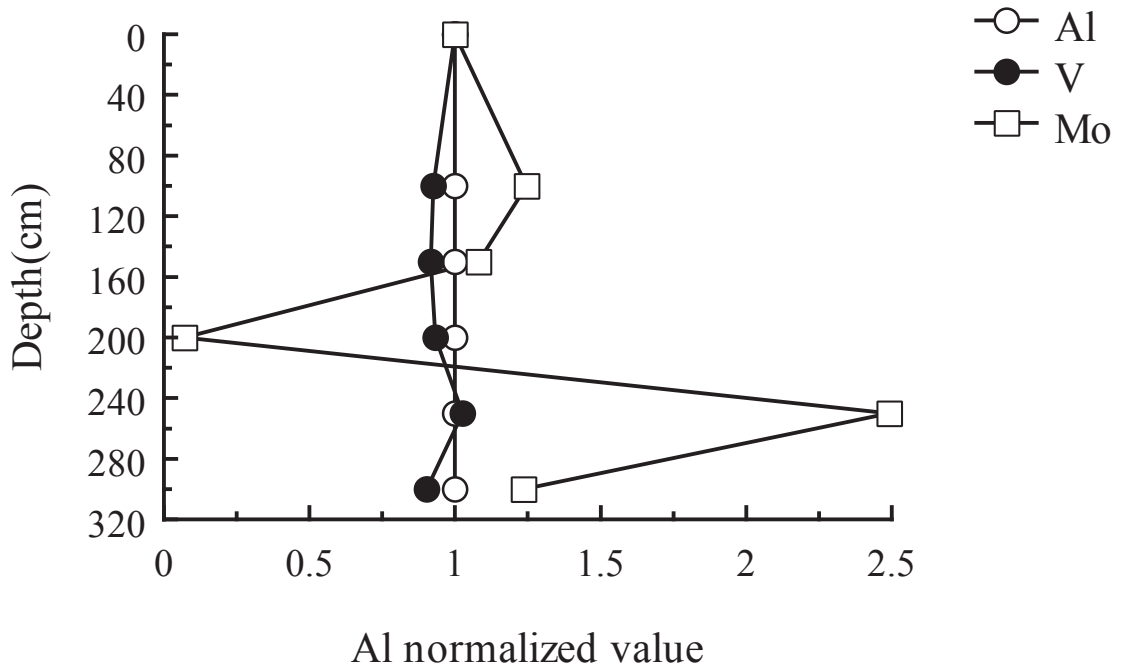


Fig.73 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 45 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 45 : Basalt)

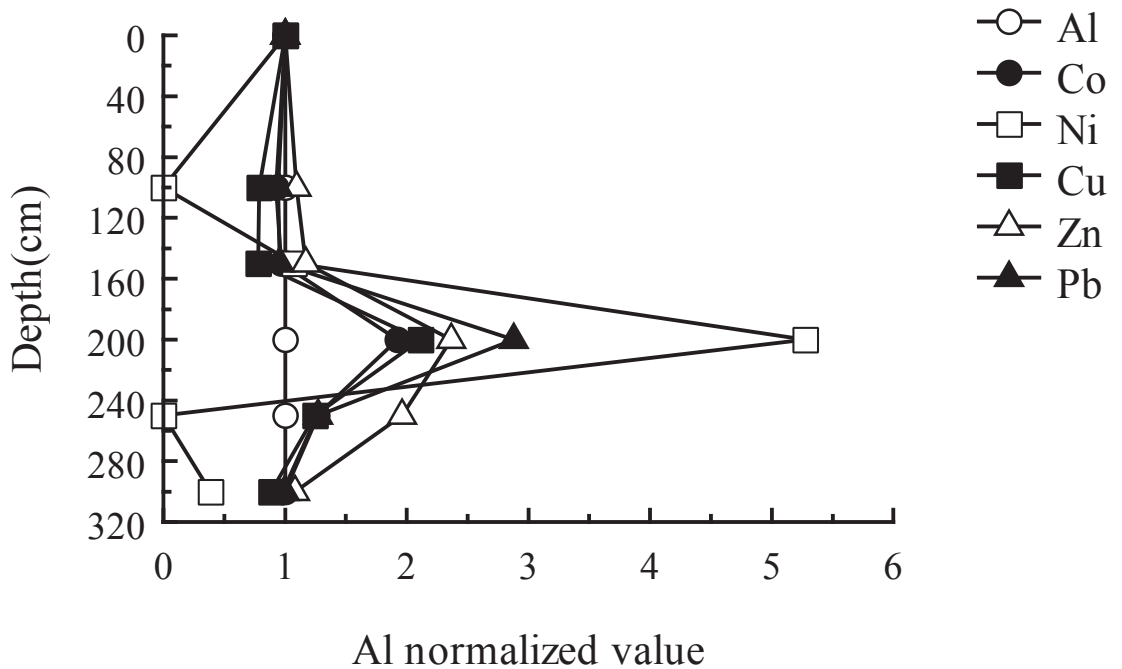


Fig.74 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

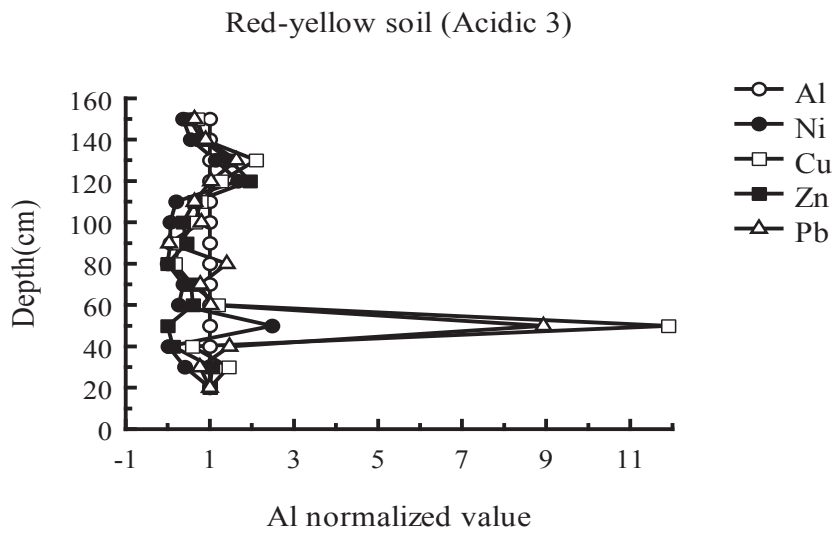
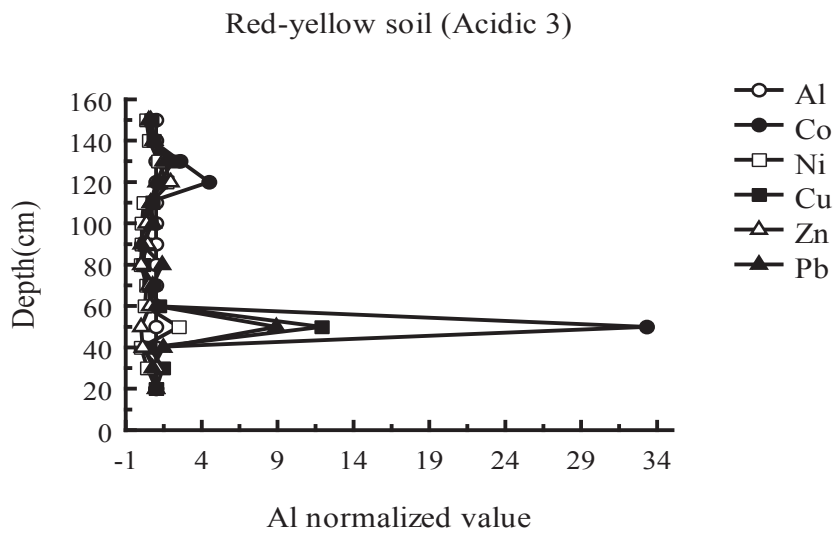
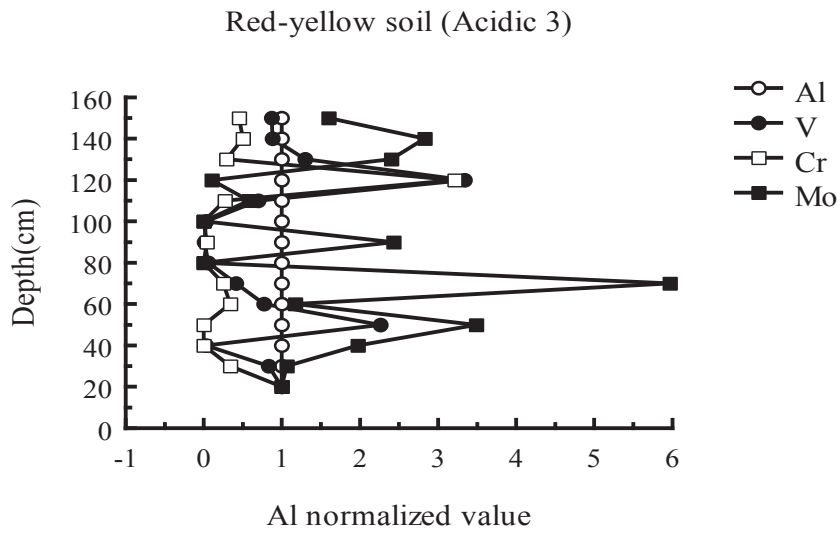


Fig.75 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in red-yellow soil (Ishigaki Island area).

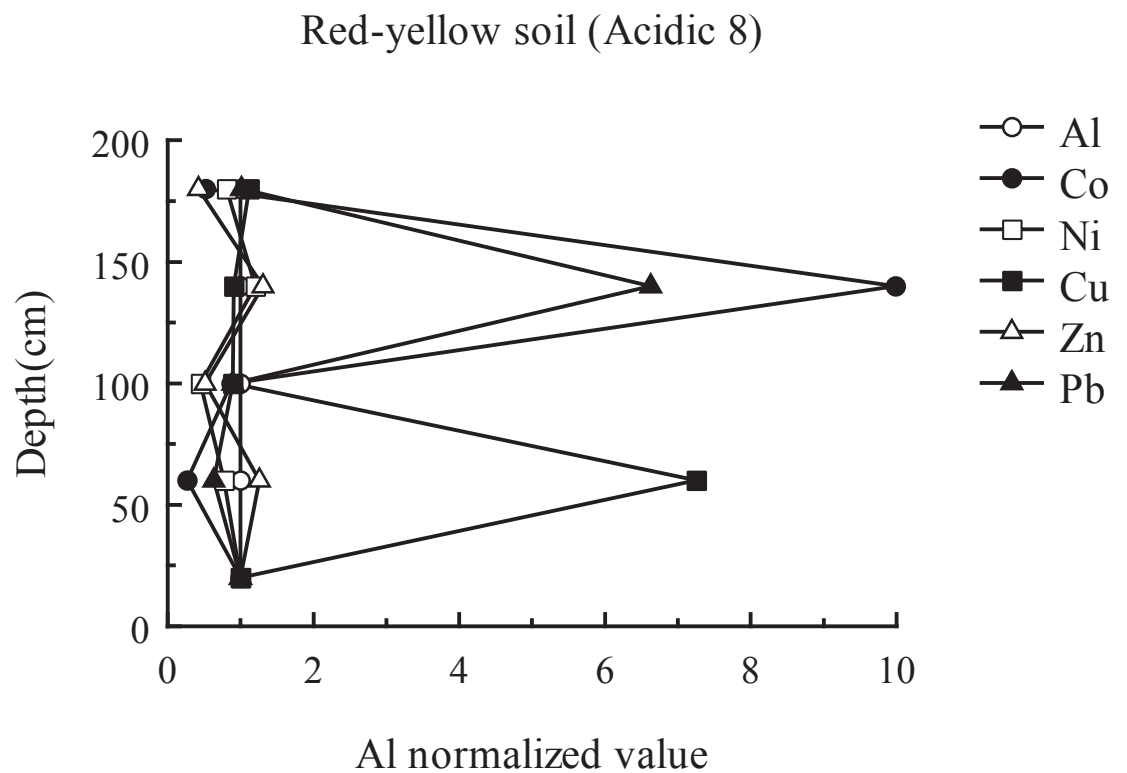
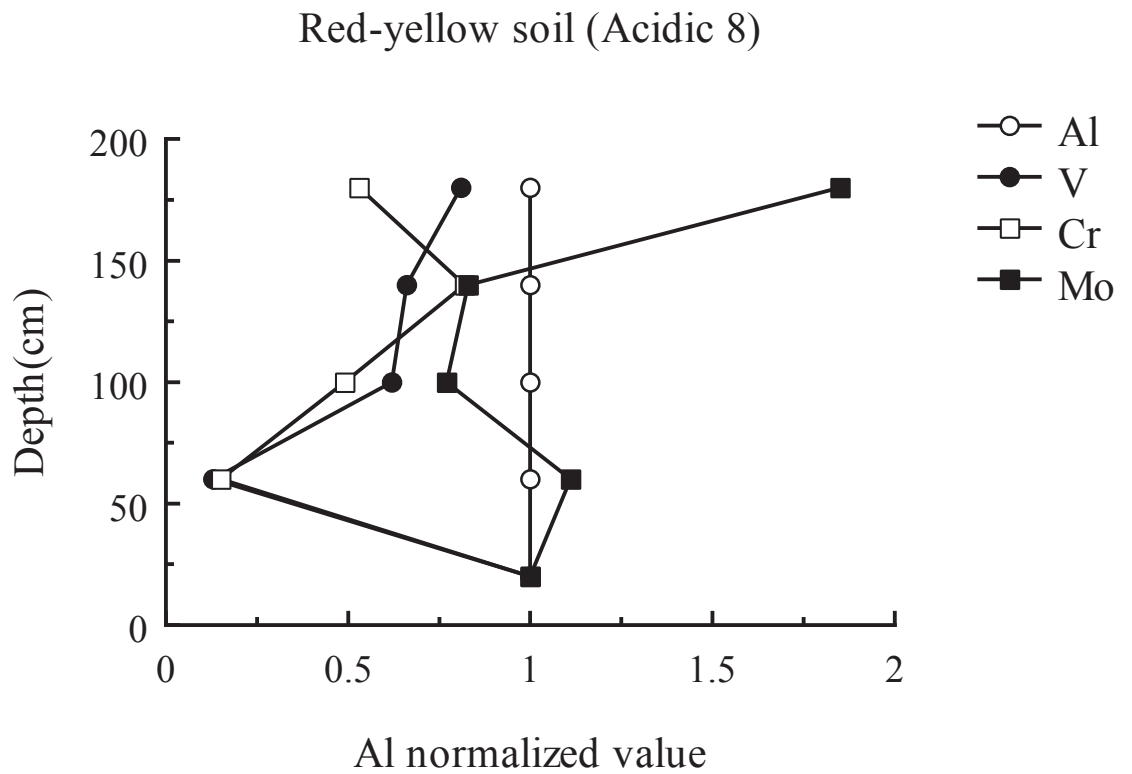
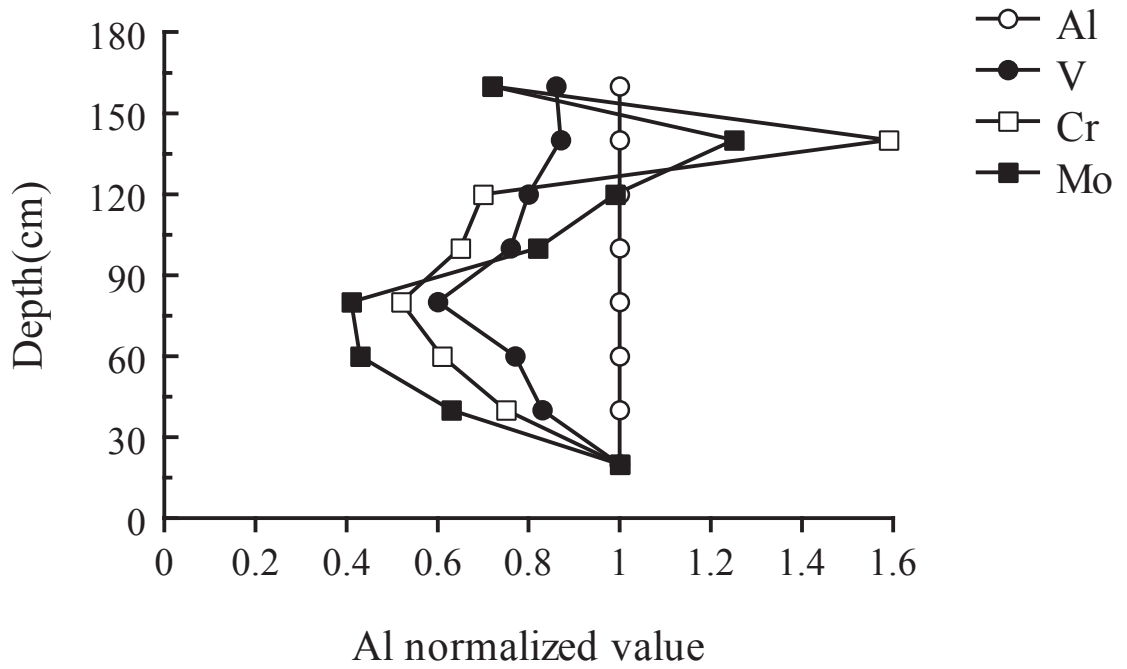


Fig.76 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in red-yellow soil (Ishigaki Island area).

Red-yellow soil (Acidic 10)



Red-yellow soil (Acidic 10)

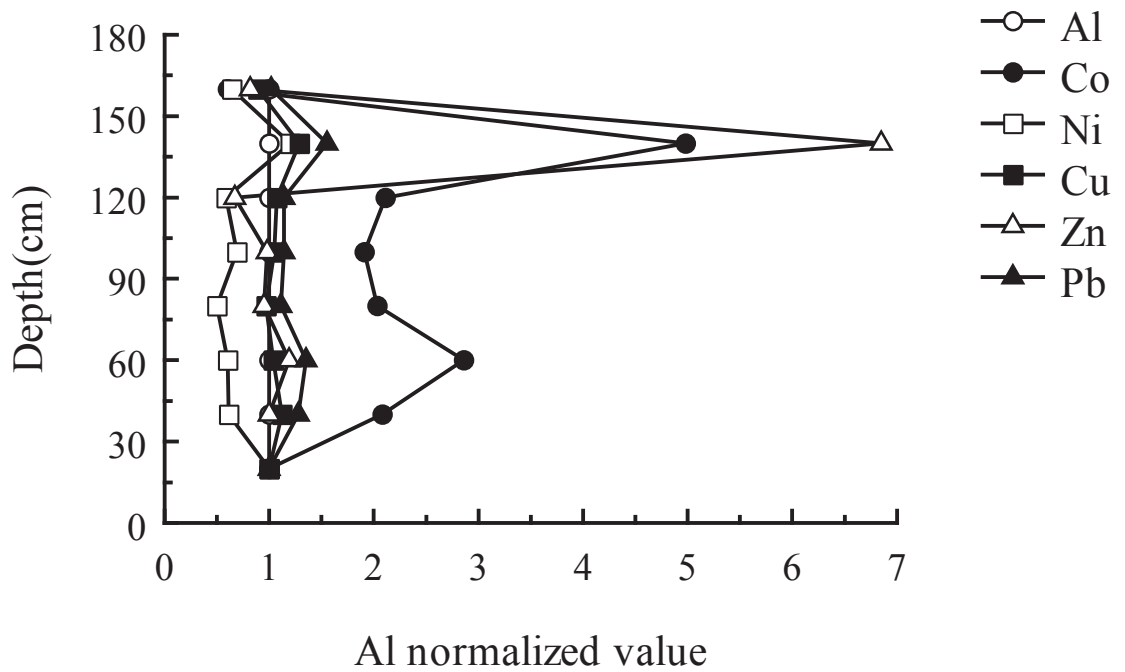
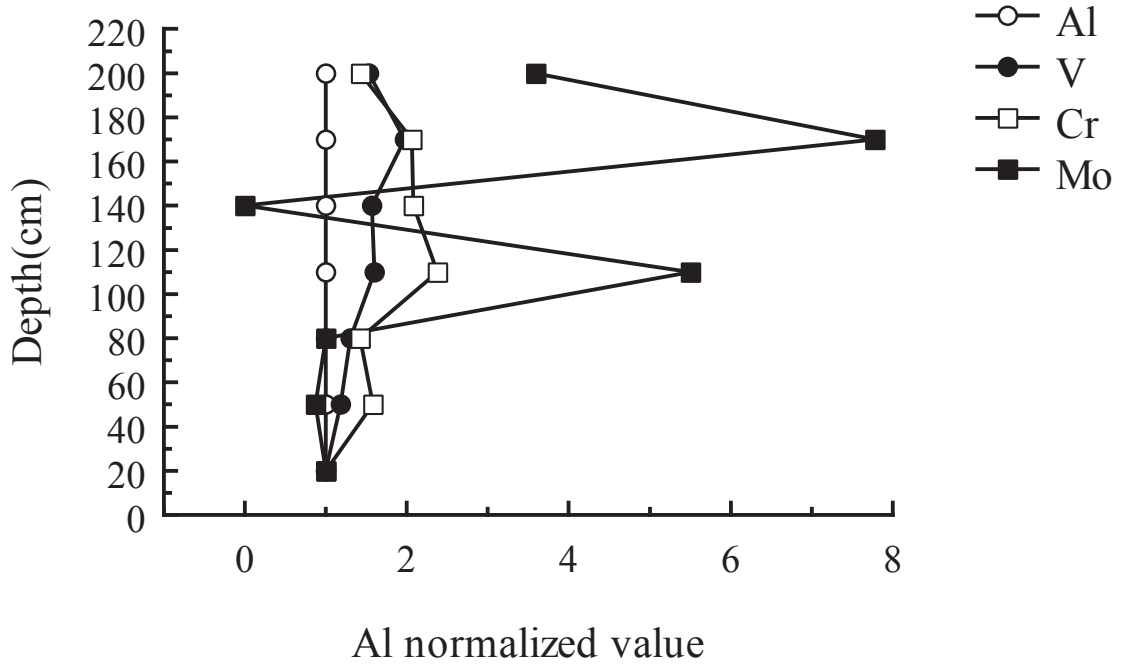


Fig.77 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa central part area).

Red-yellow soil (Acidic 13)



Red-yellow soil (Acidic 13)

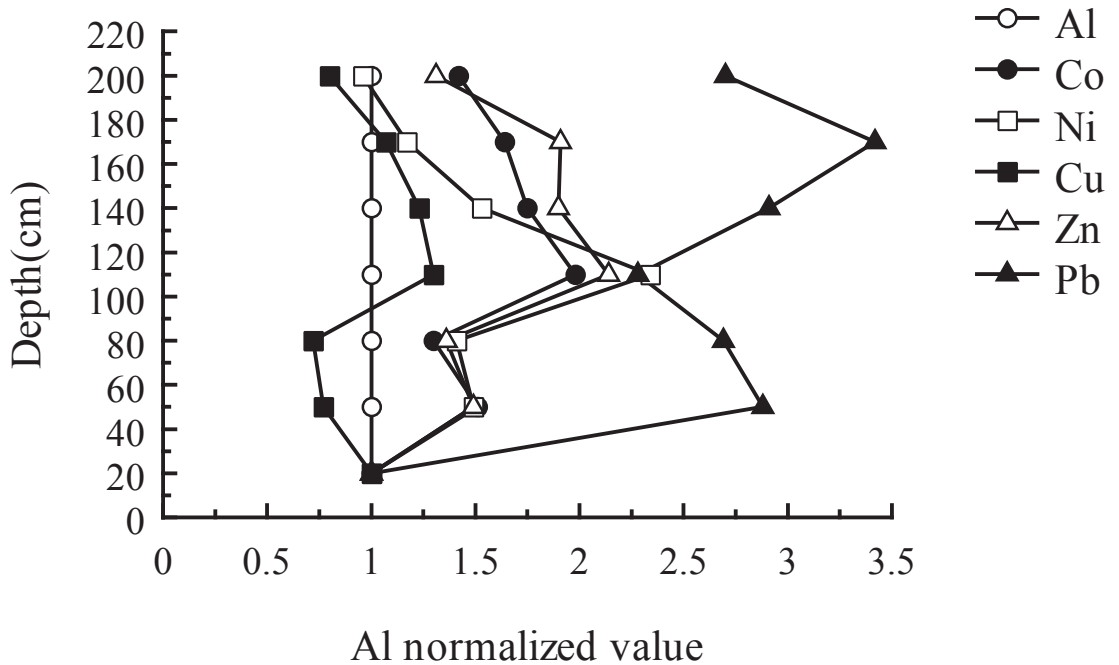


Fig.78 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa central part area).

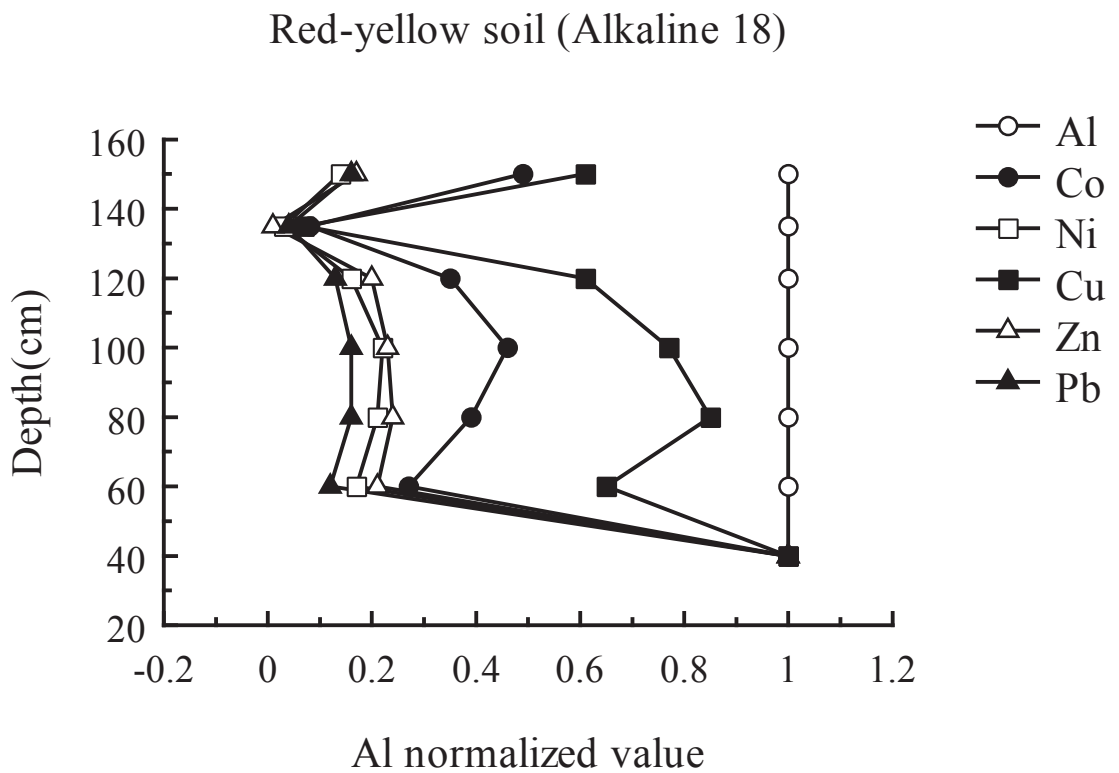
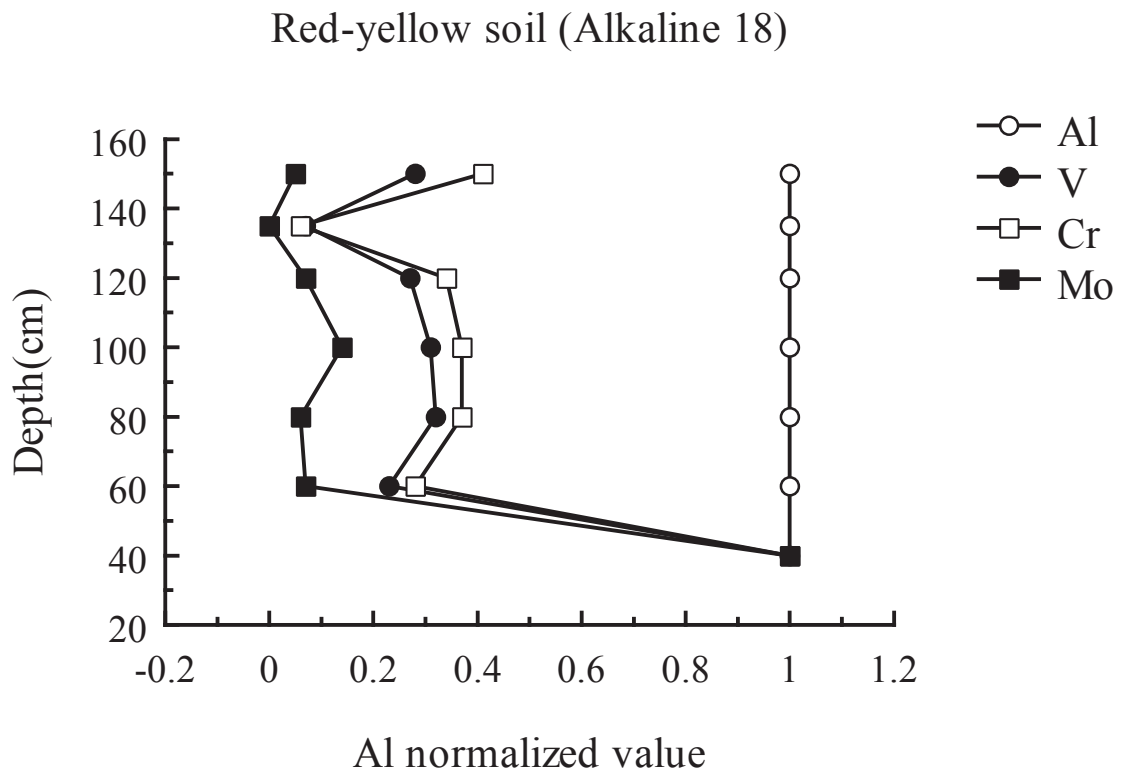


Fig.79 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa southern part area).

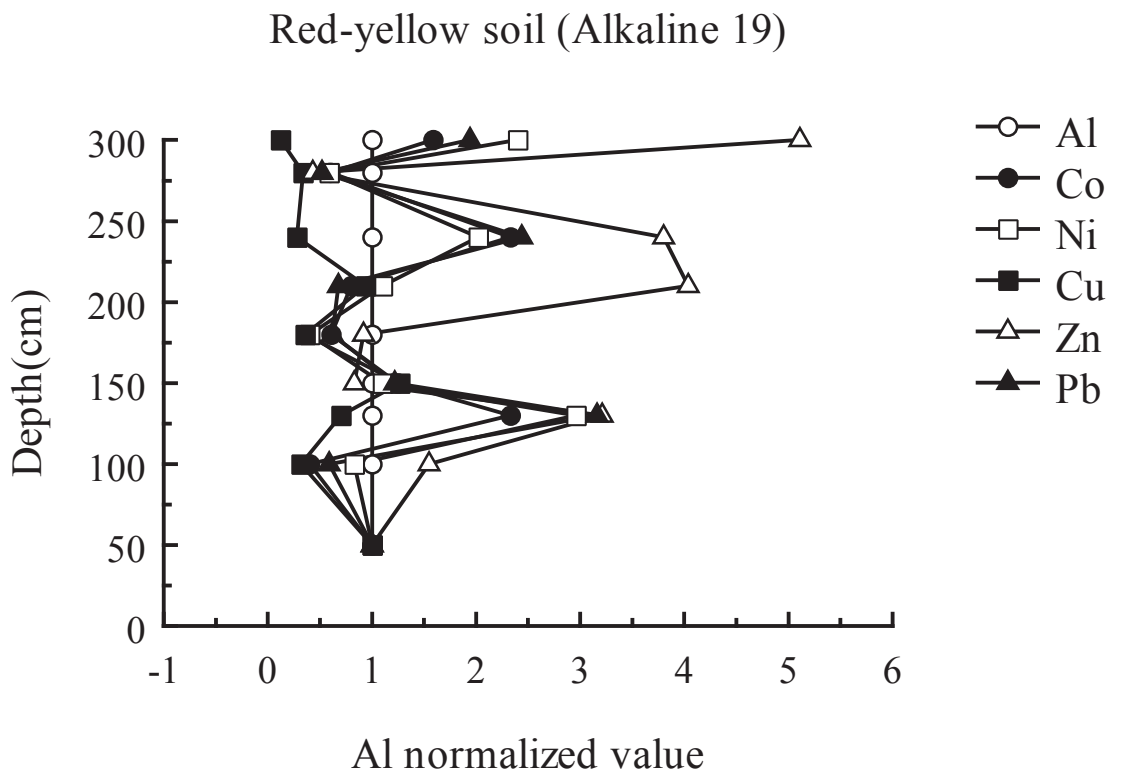
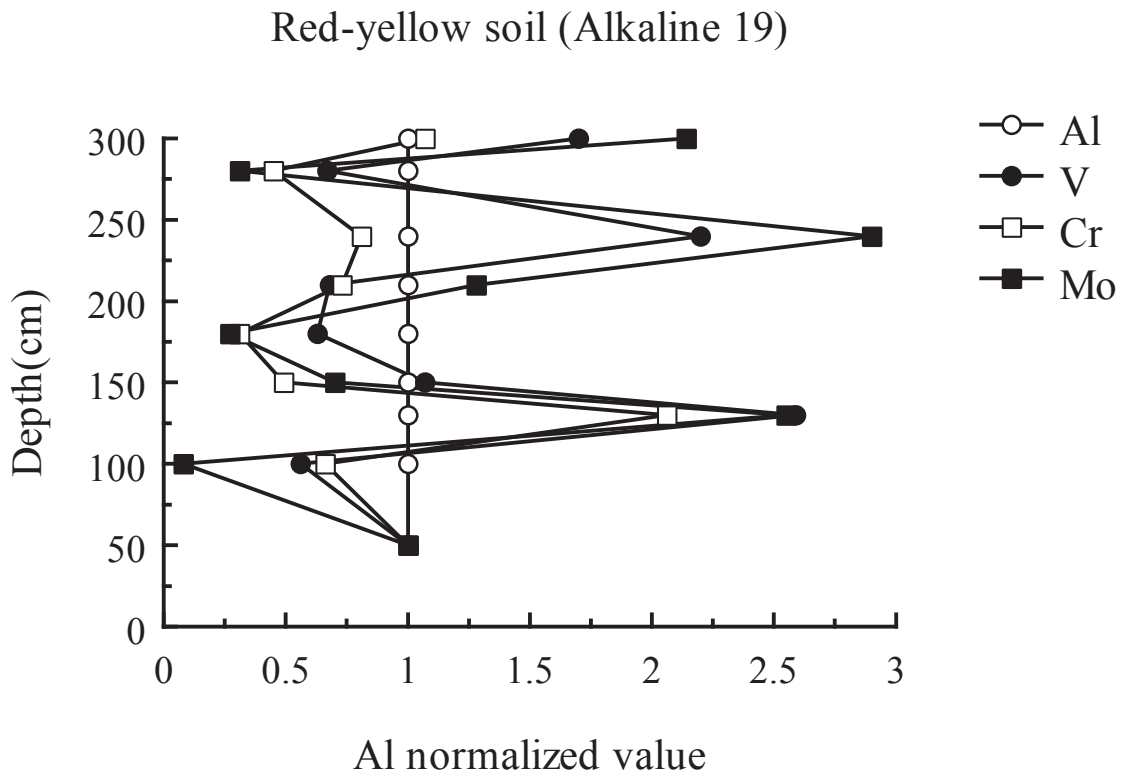
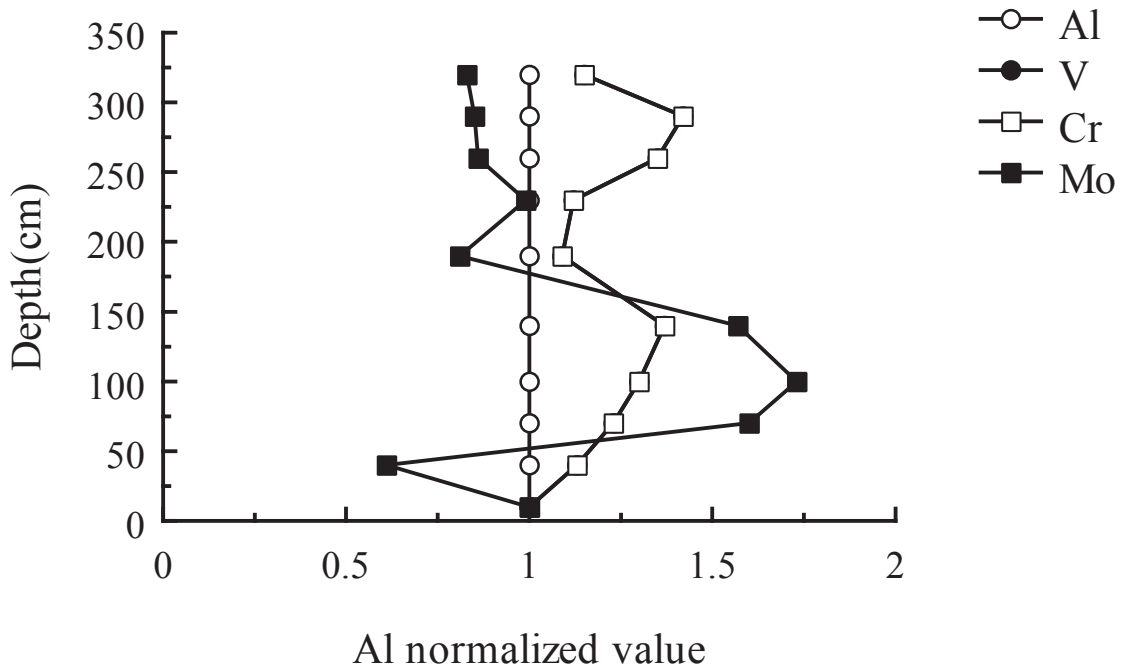


Fig.80 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa southern part area).

Red-yellow soil (Acidic 21)



Red-yellow soil (Acidic 21)

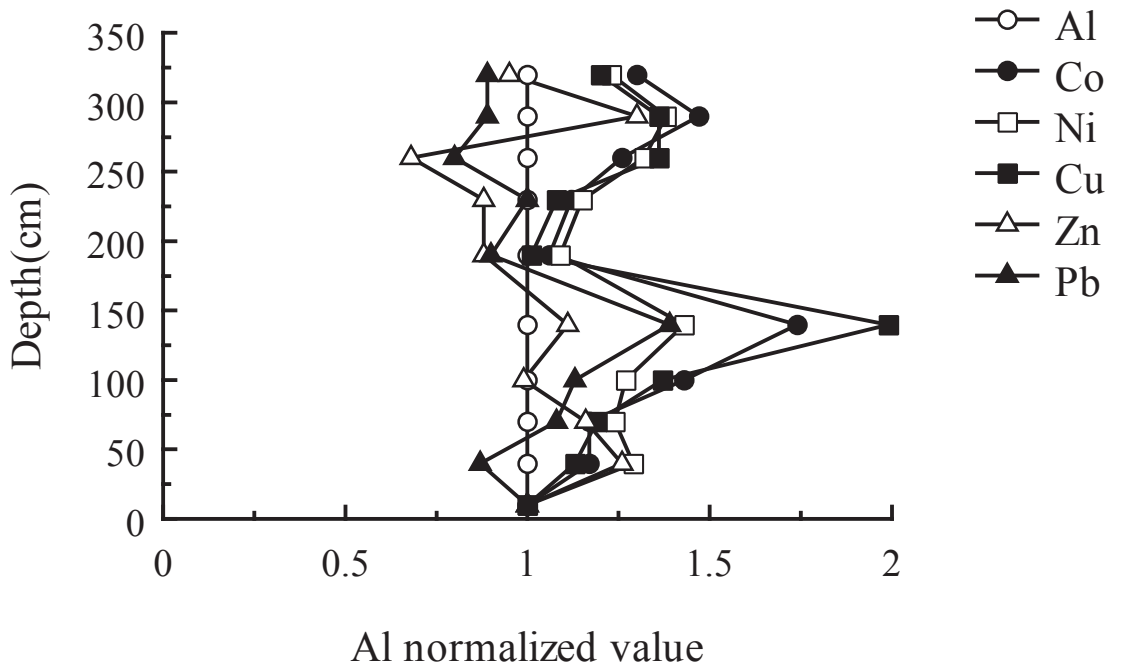
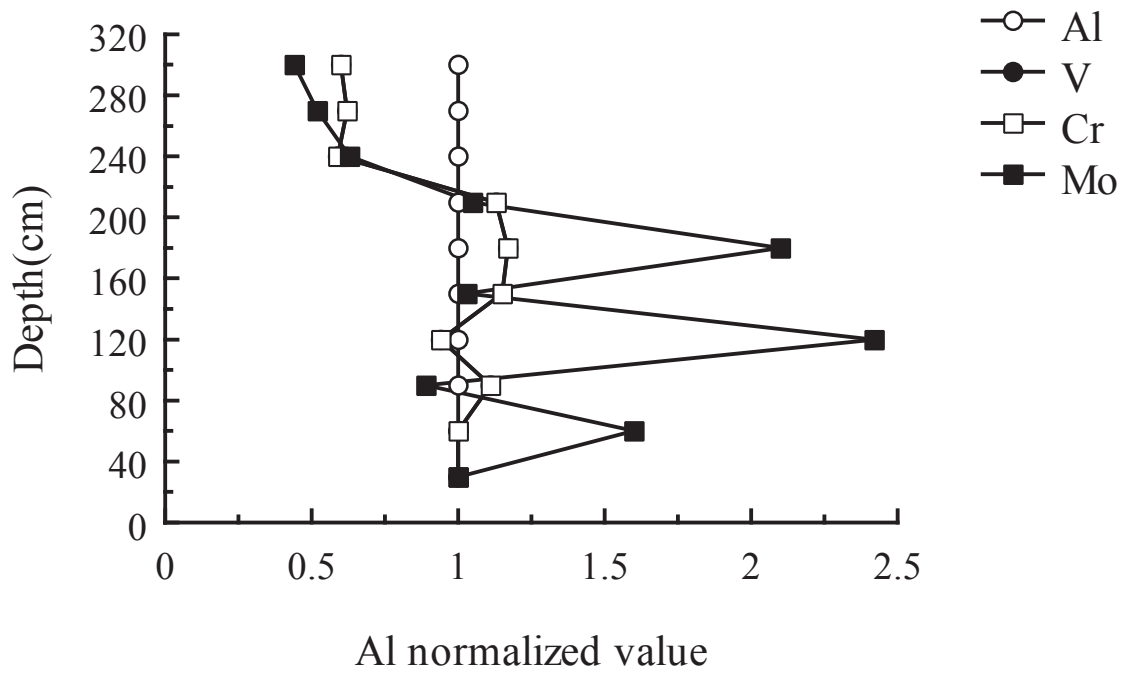


Fig.81 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa northern part area).

Red-yellow soil (Acidic 22)



Red-yellow soil (Acidic 22)

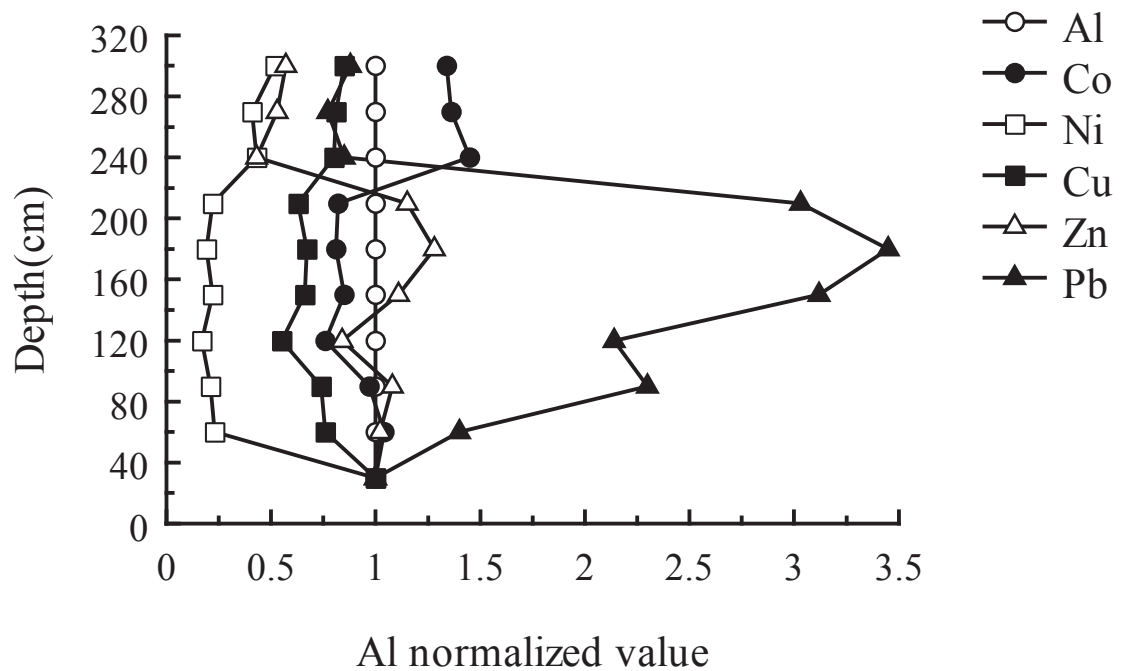


Fig.82 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa northern part area).

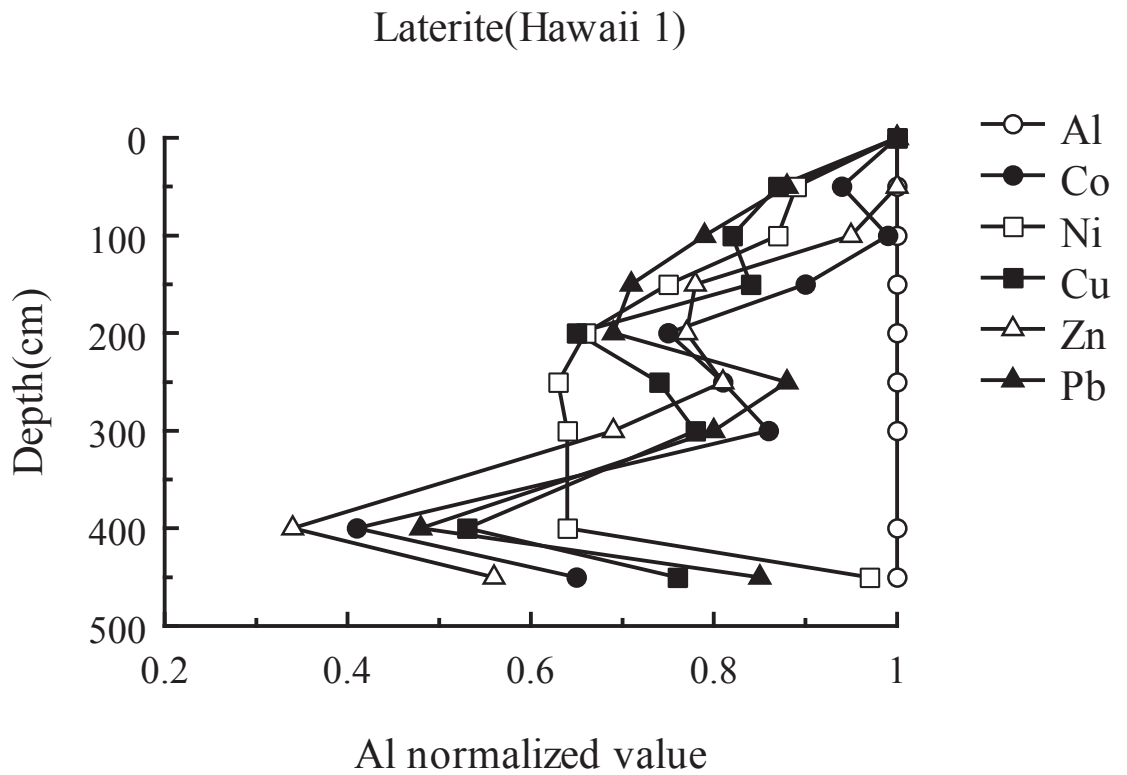
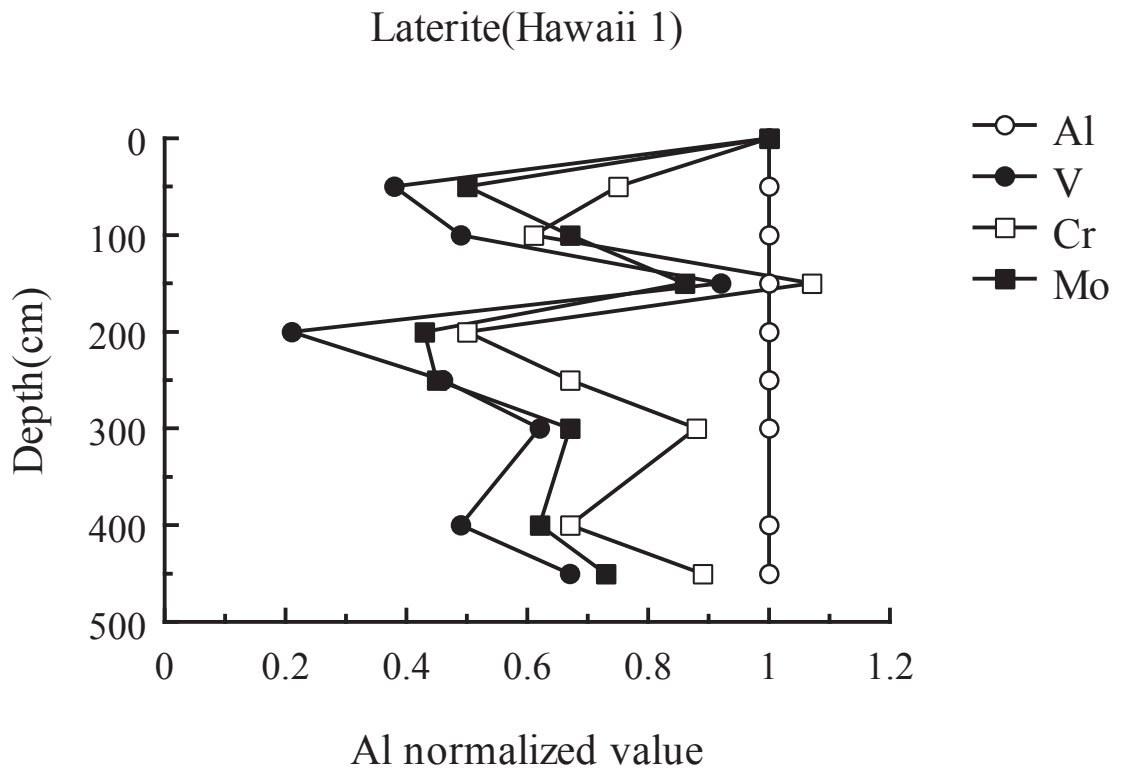


Fig.83 Relations between Al normalized value of base metal elements and depth in laterite (Oahu Island area).

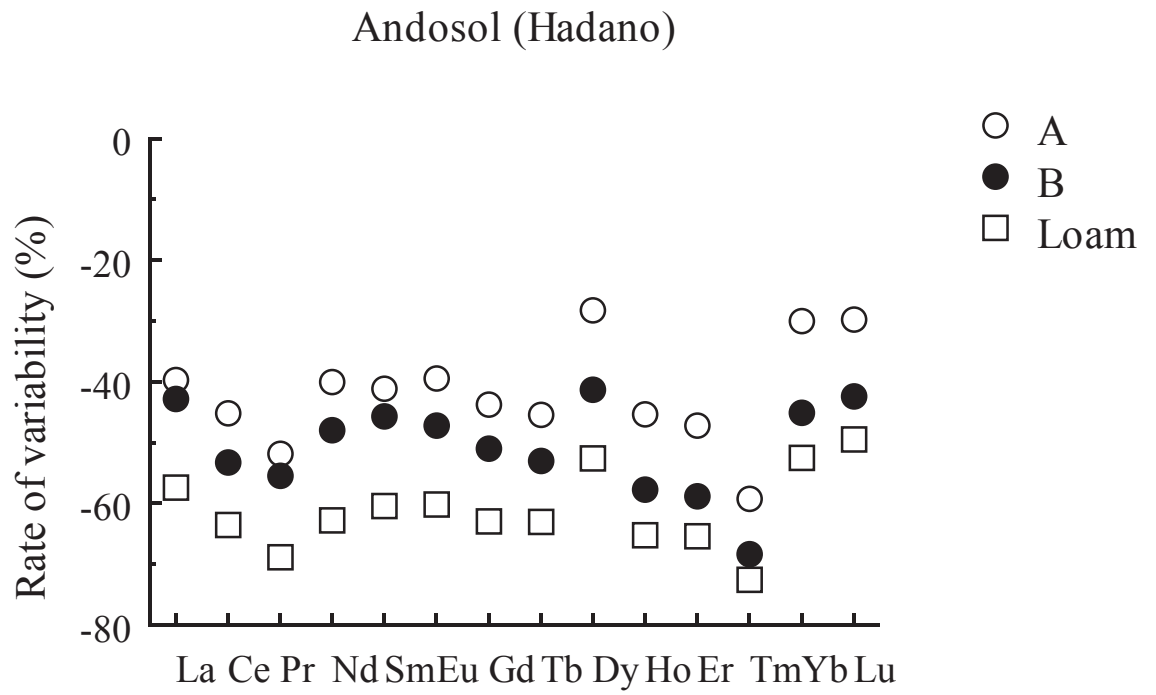


Fig.84 Rate of variability of rare earth elements in andosol (Hadano area).

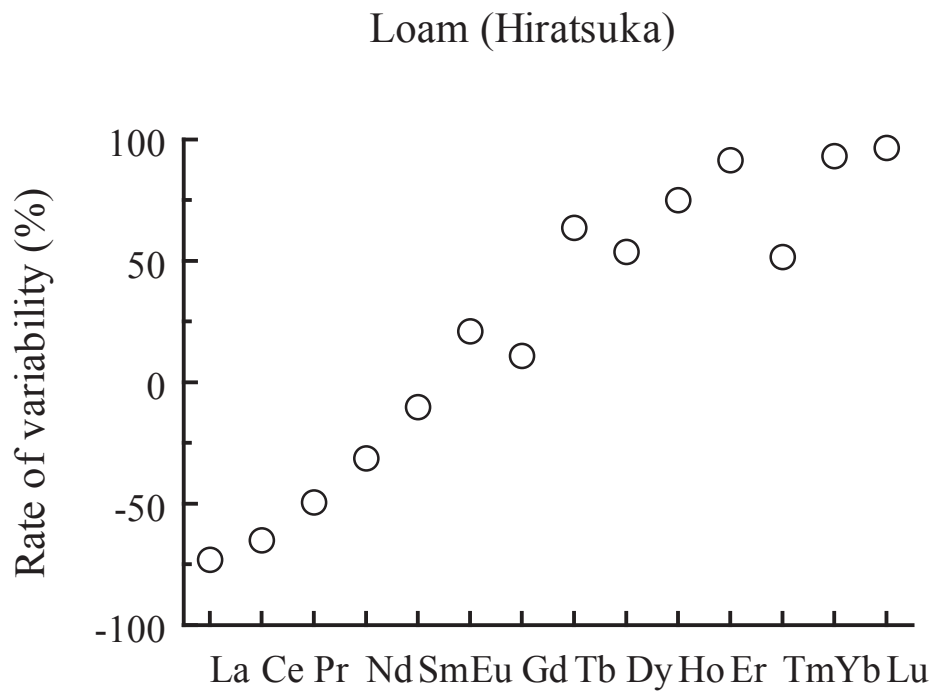


Fig.85 Rate of variability of rare earth elements in loam (Hiratsuka area).

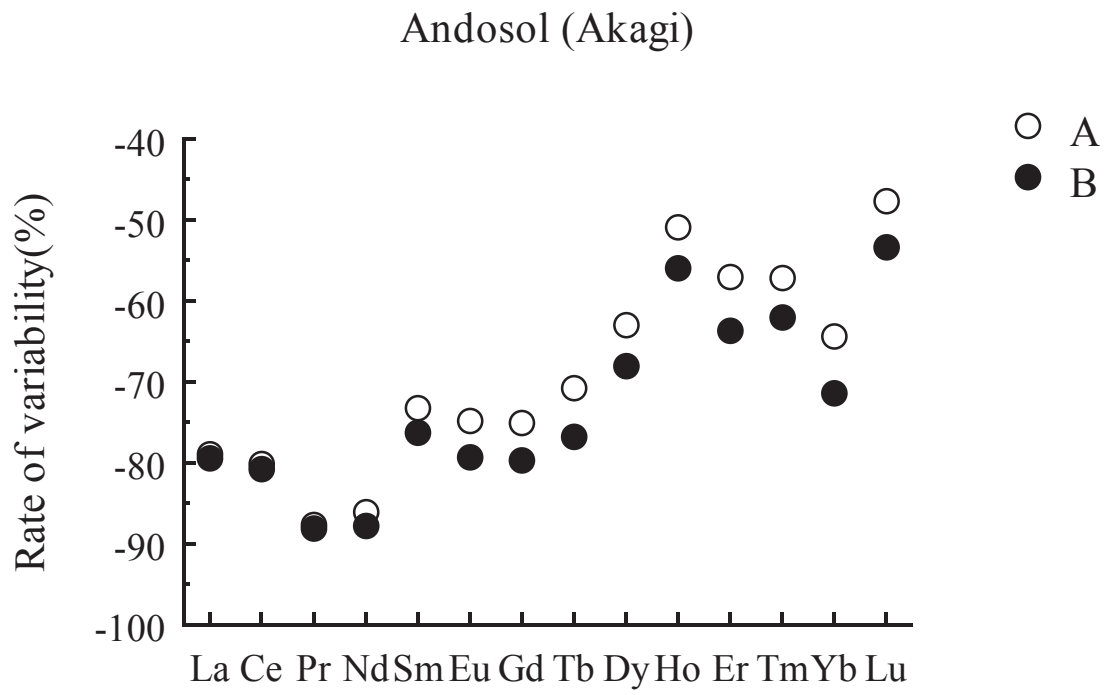


Fig.86 Rate of variability of rare earth elements in andosol (Akagi area).

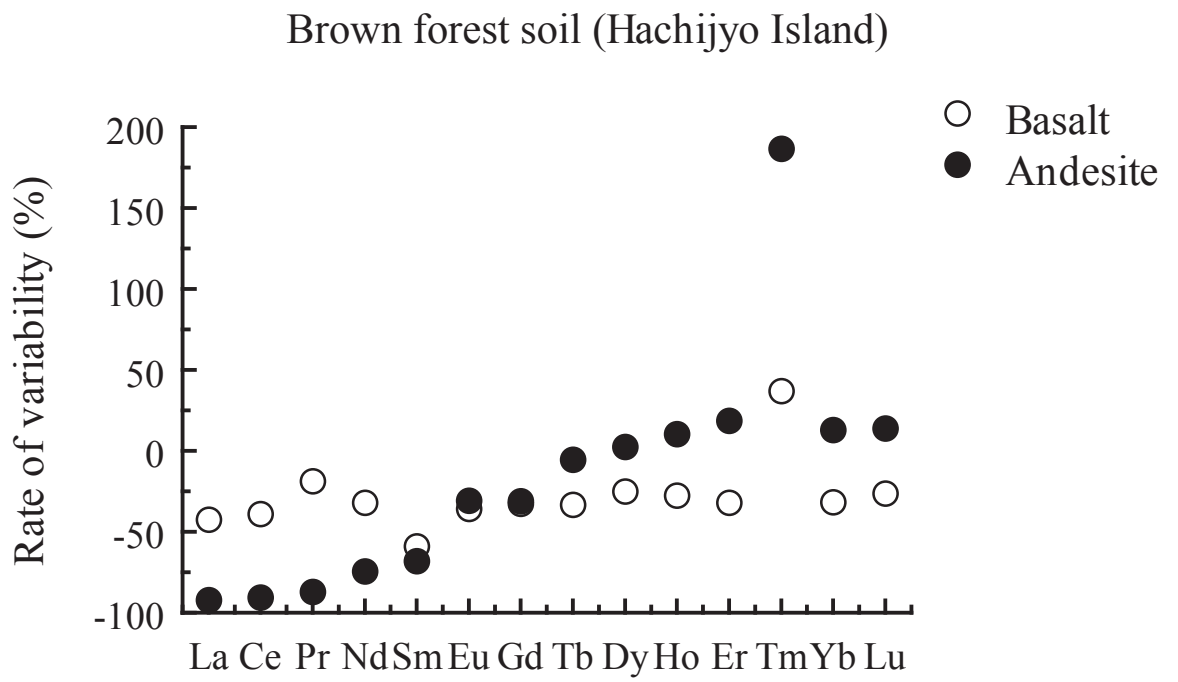


Fig.87 Rate of variability of rare earth elements in brown forest soil (Hachijyo Island area)

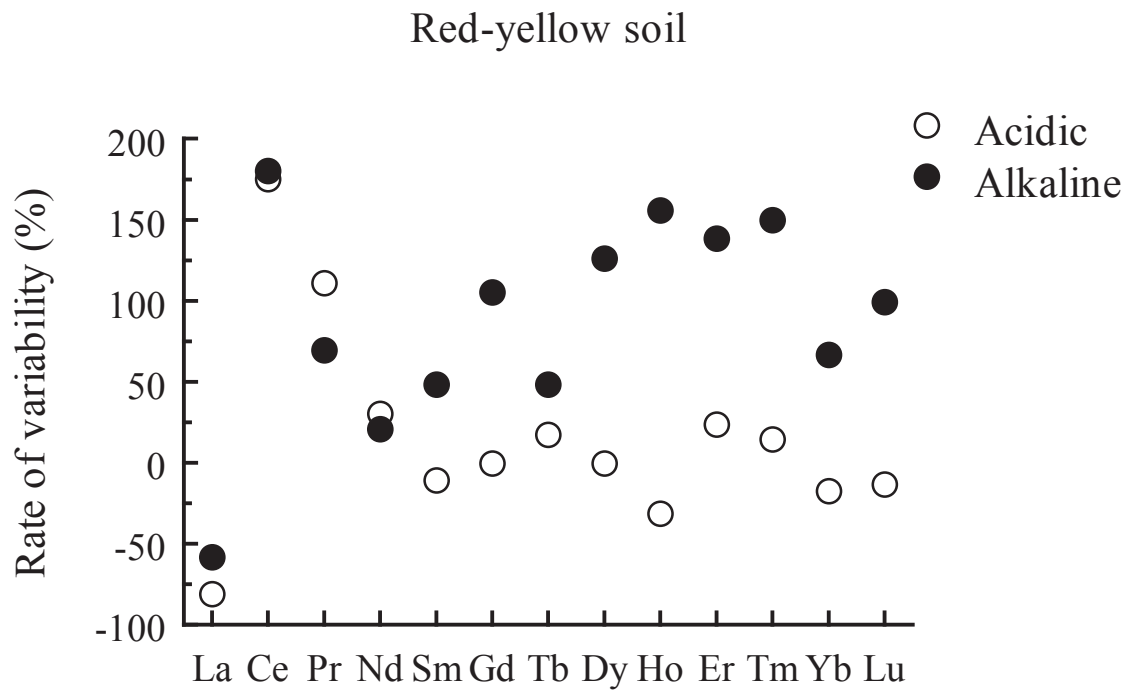


Fig.88 Rate of variability of rare earth elements in red-yellow soil (The main island of Okinawa and Ishigaki Island area).

Laterite (Hawaii)

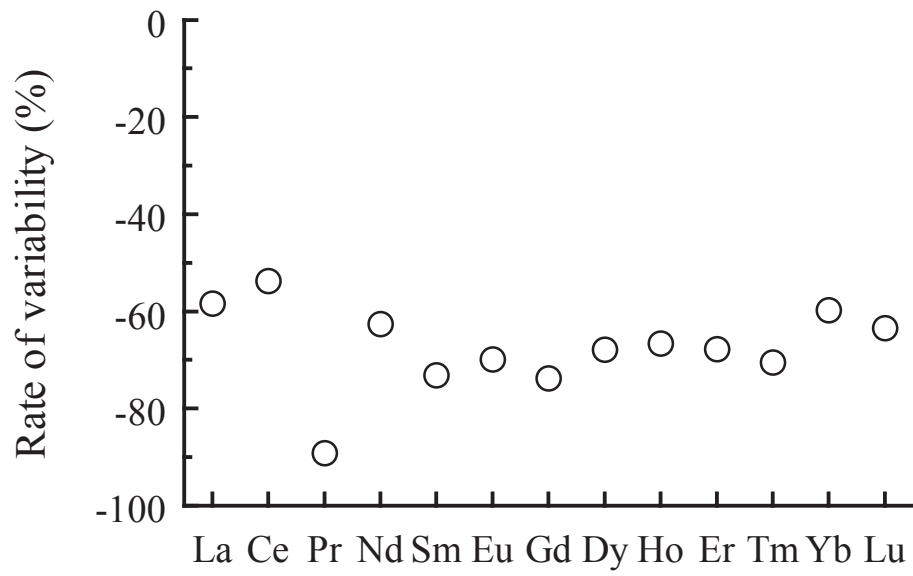


Fig.89 Rate of variability of rare earth elements in laterite (Oahu and Hawaii Island area).

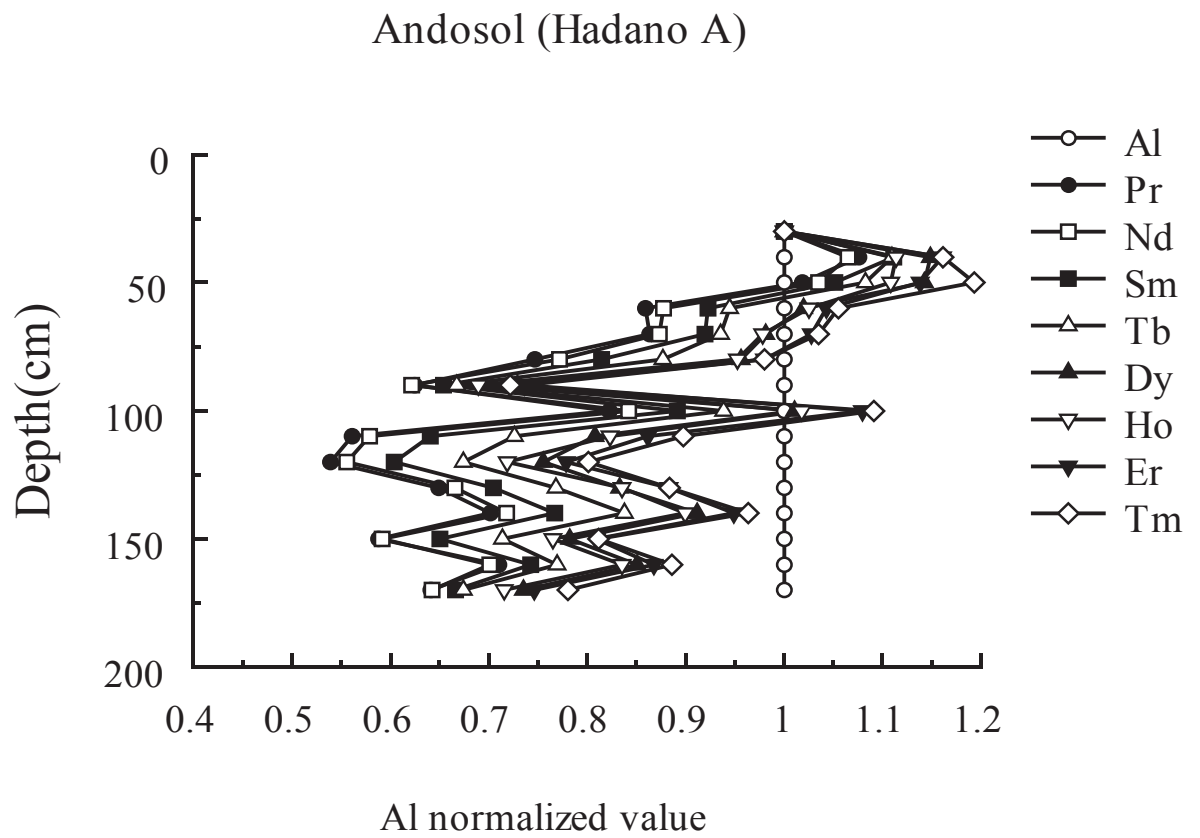
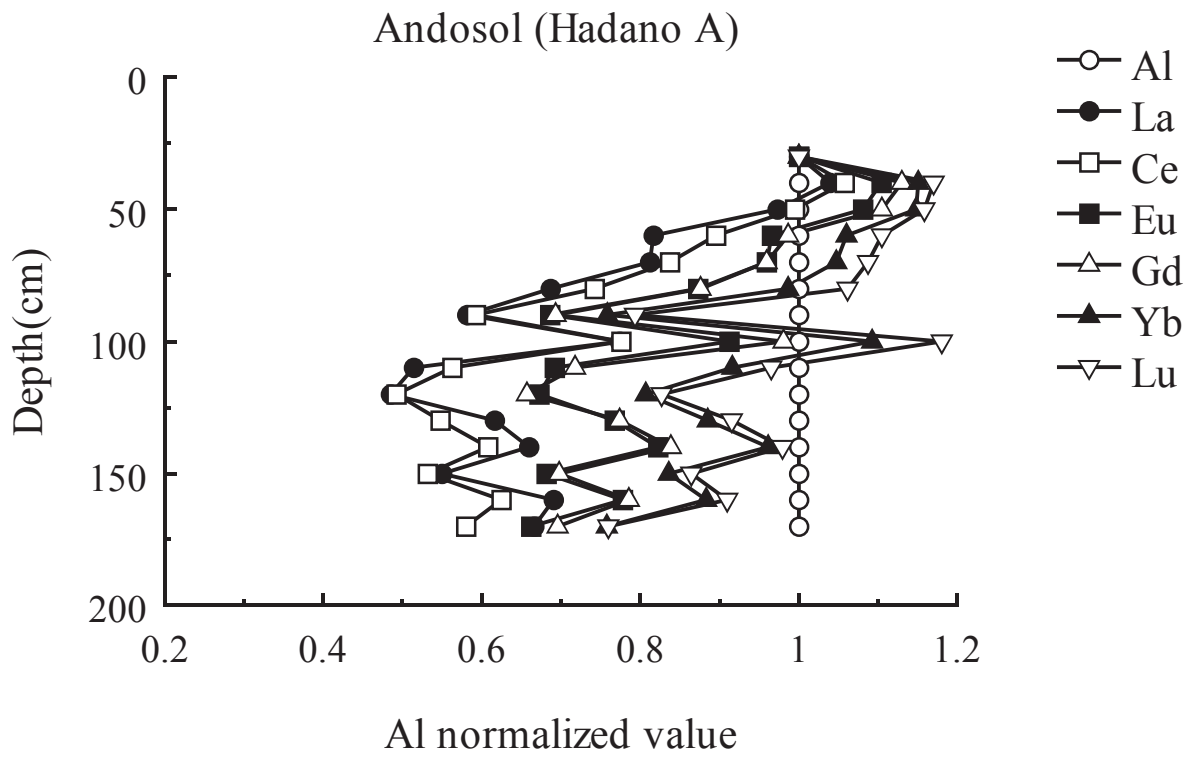


Fig.90 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in andosol (Hadano area).

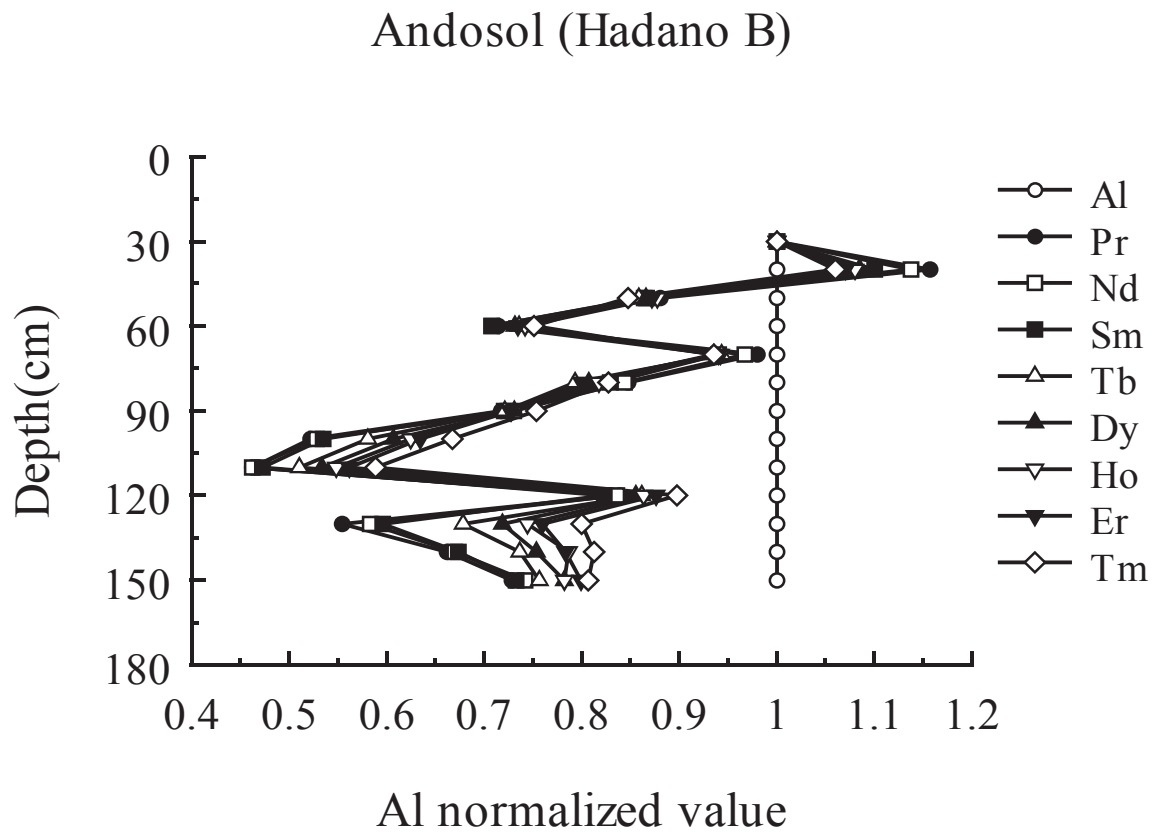
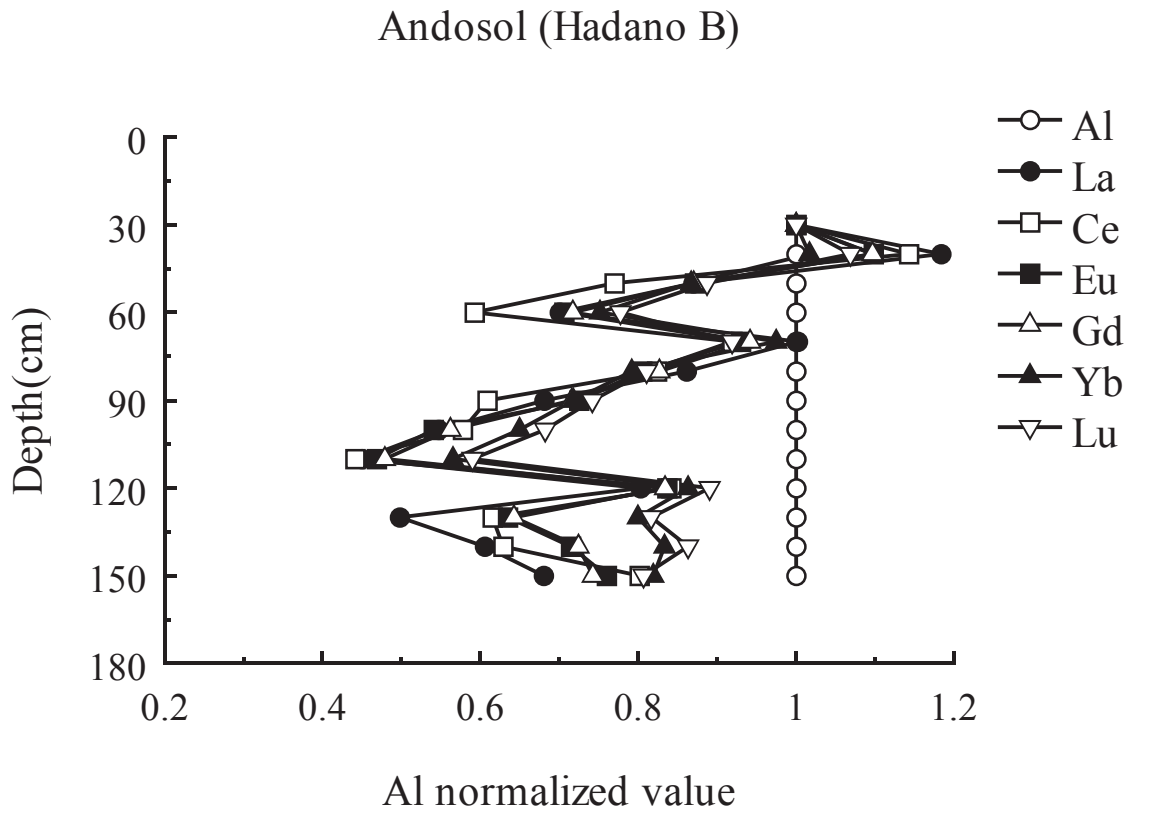


Fig.91 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in andosol (Hadano area).

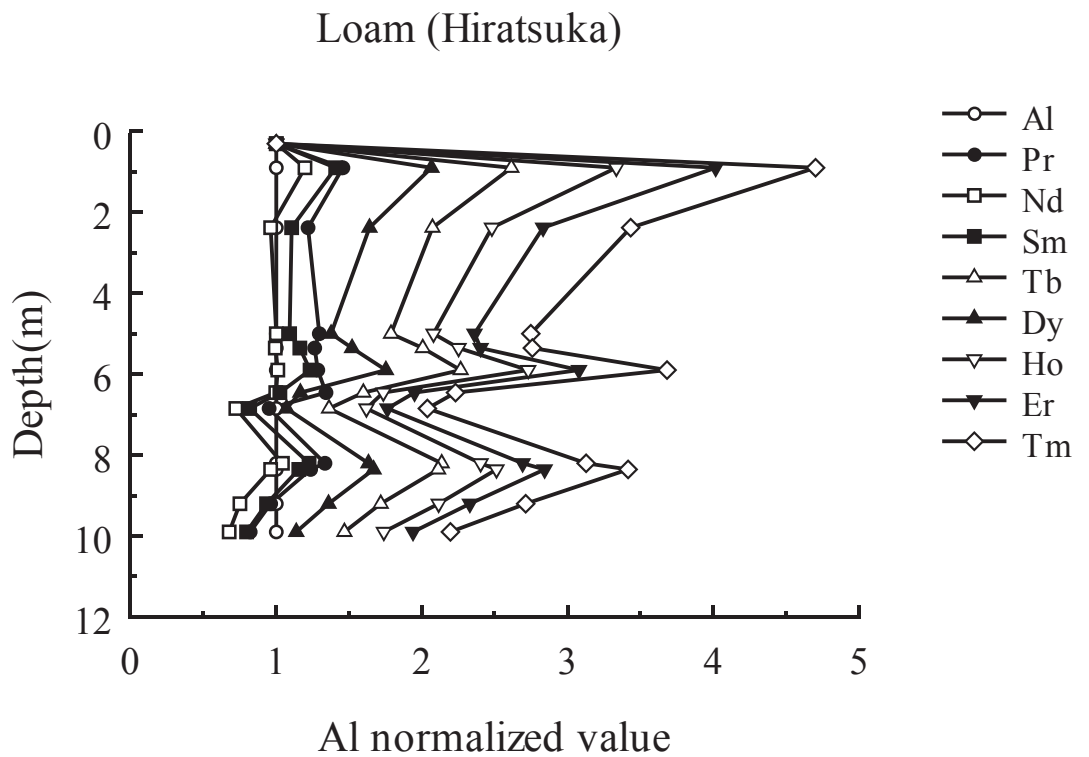
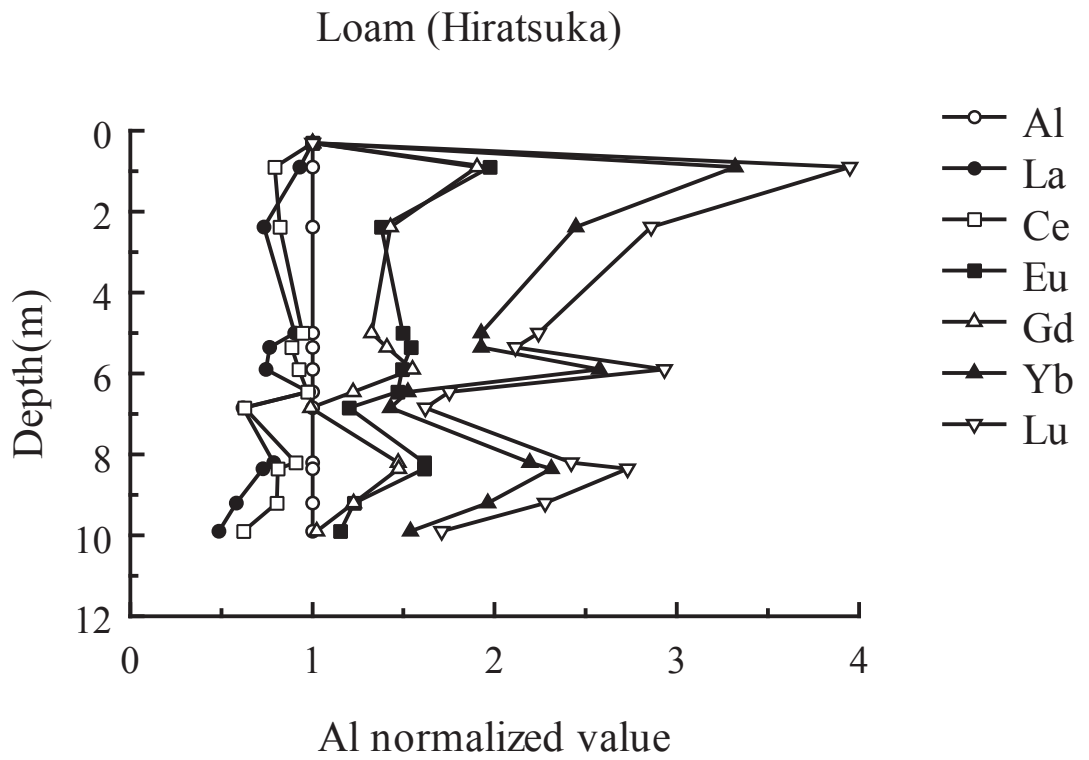


Fig.92 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in loam (Hiratsuka area).

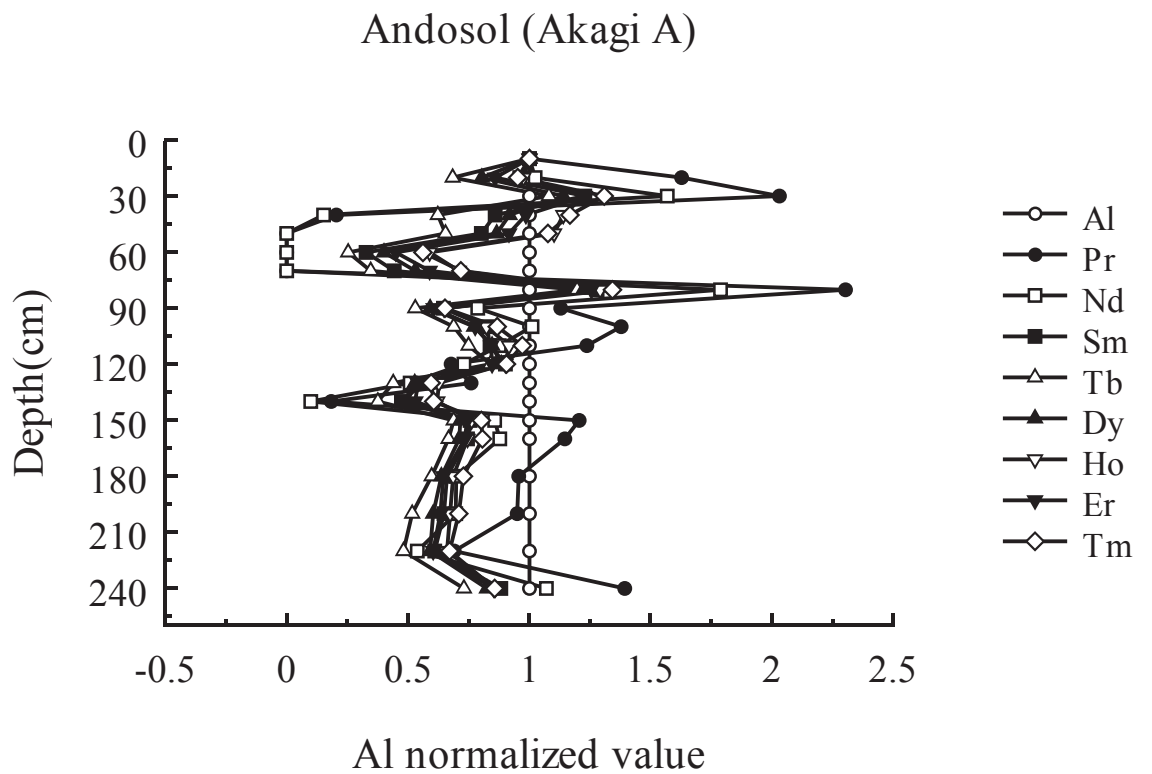
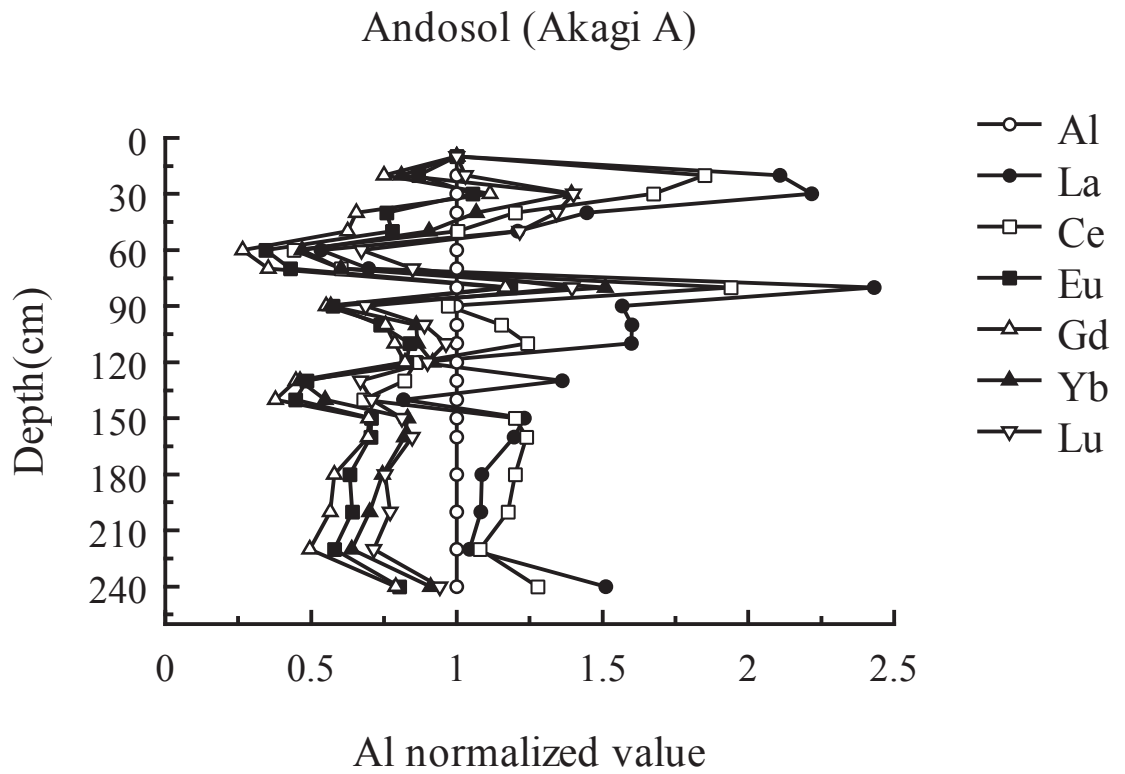


Fig.93 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in andosol (Akagi area).

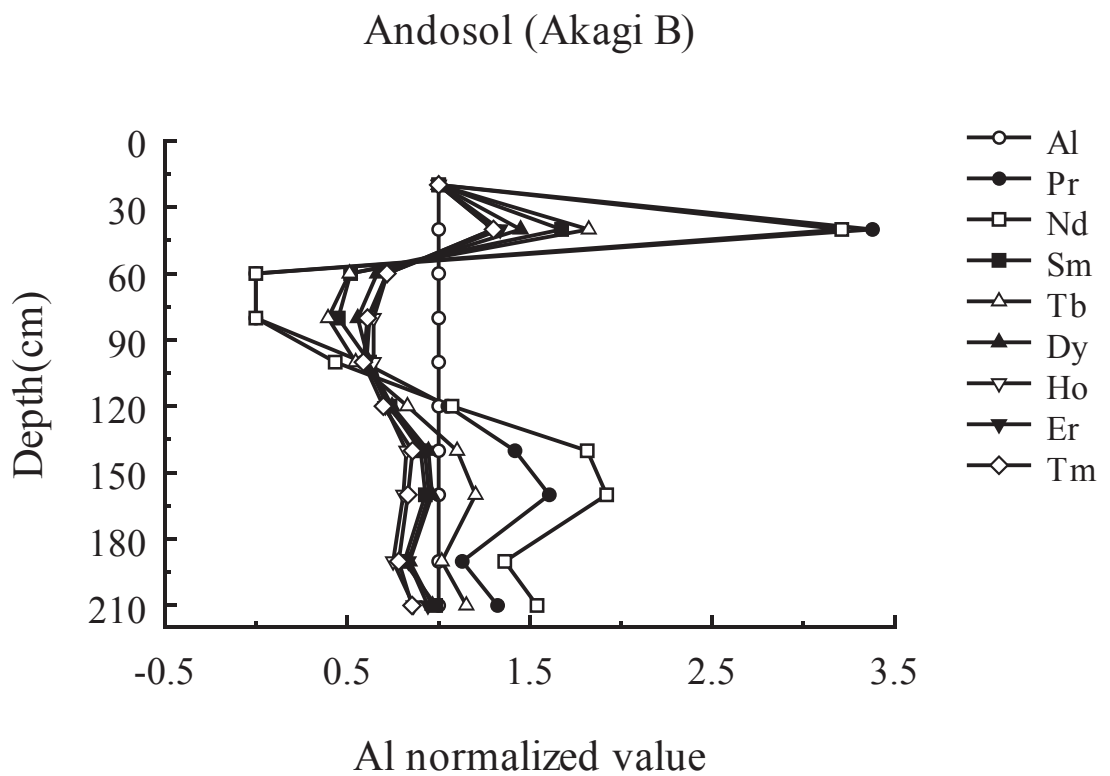
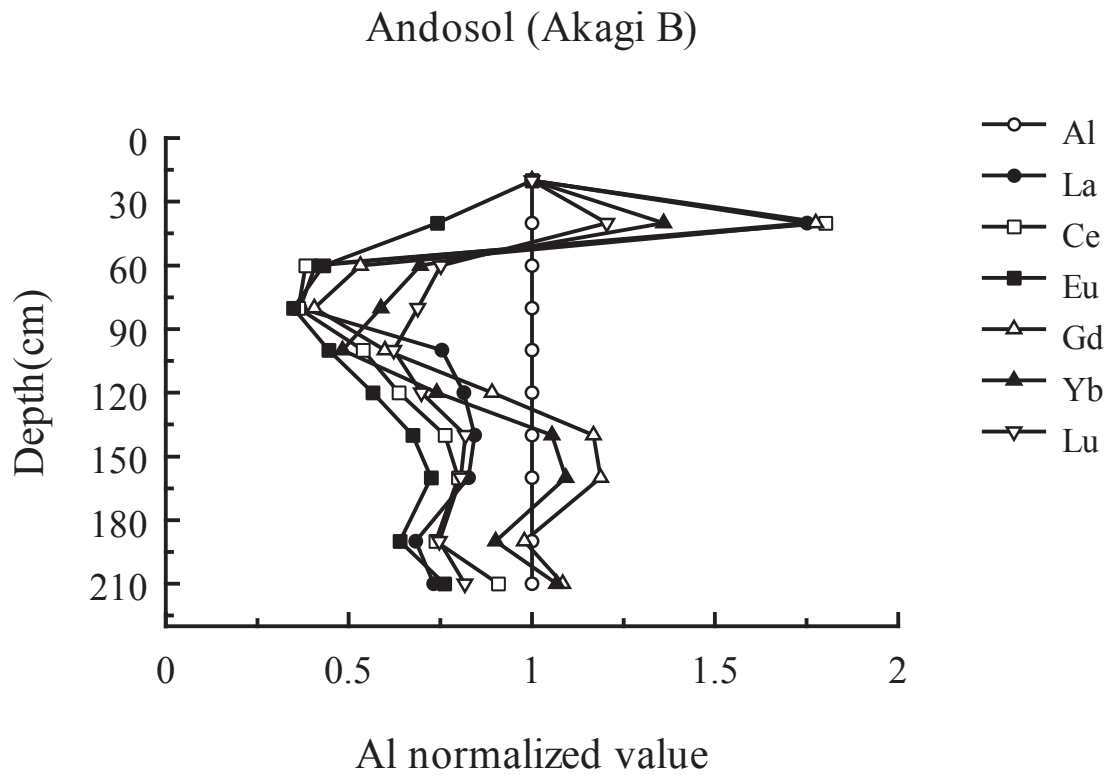
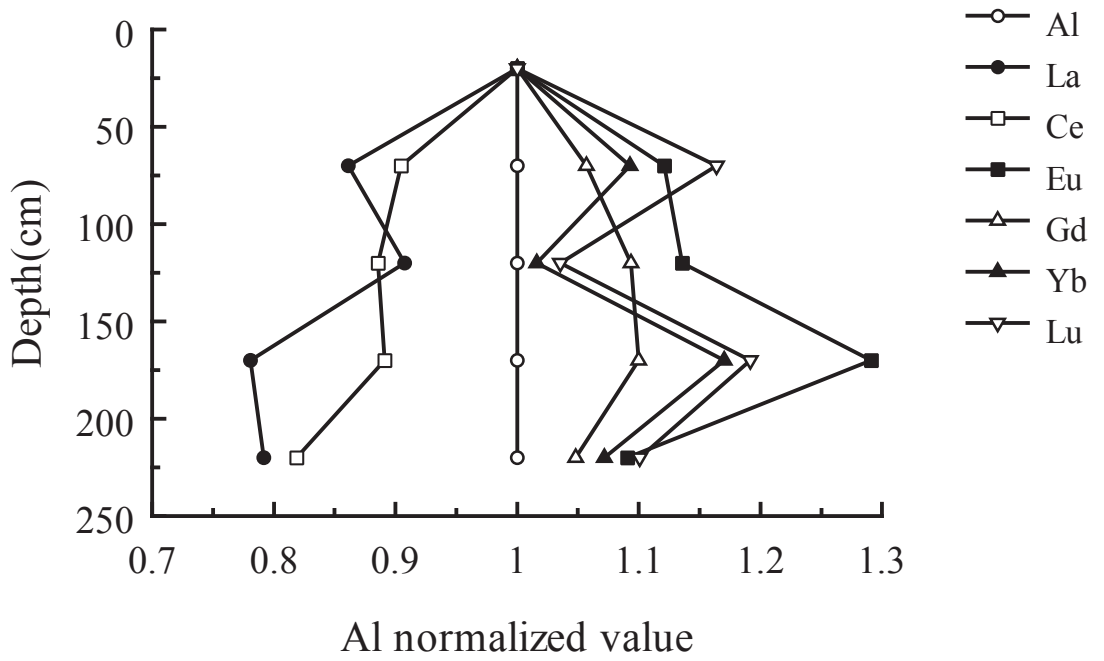


Fig.94 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in andosol (Akagi area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 7 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 7 : Basalt)

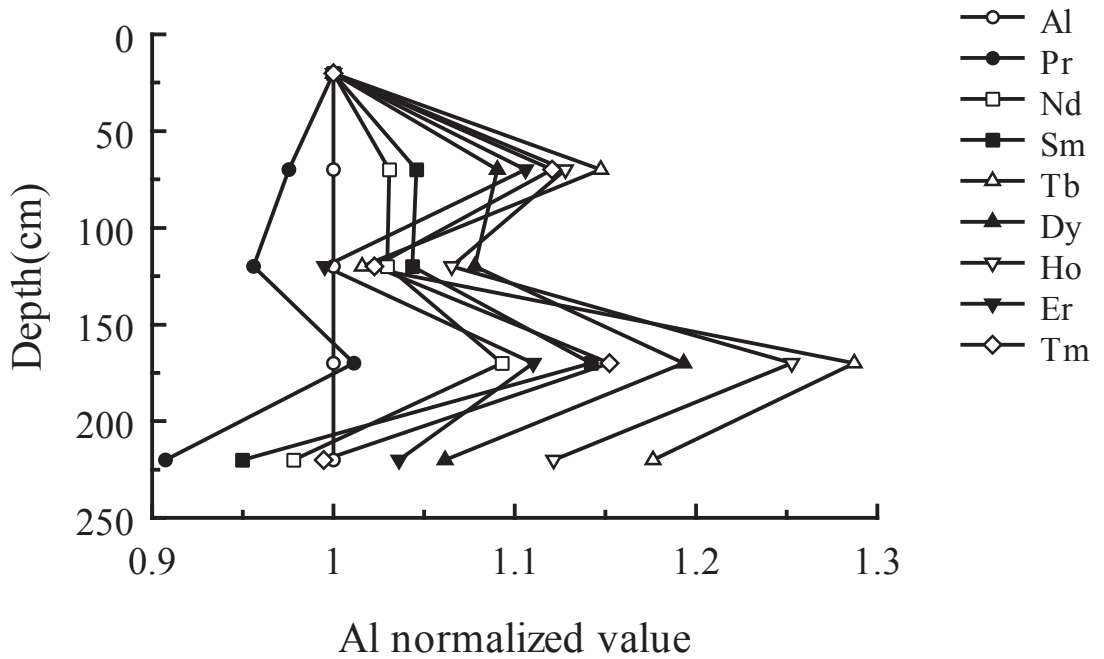
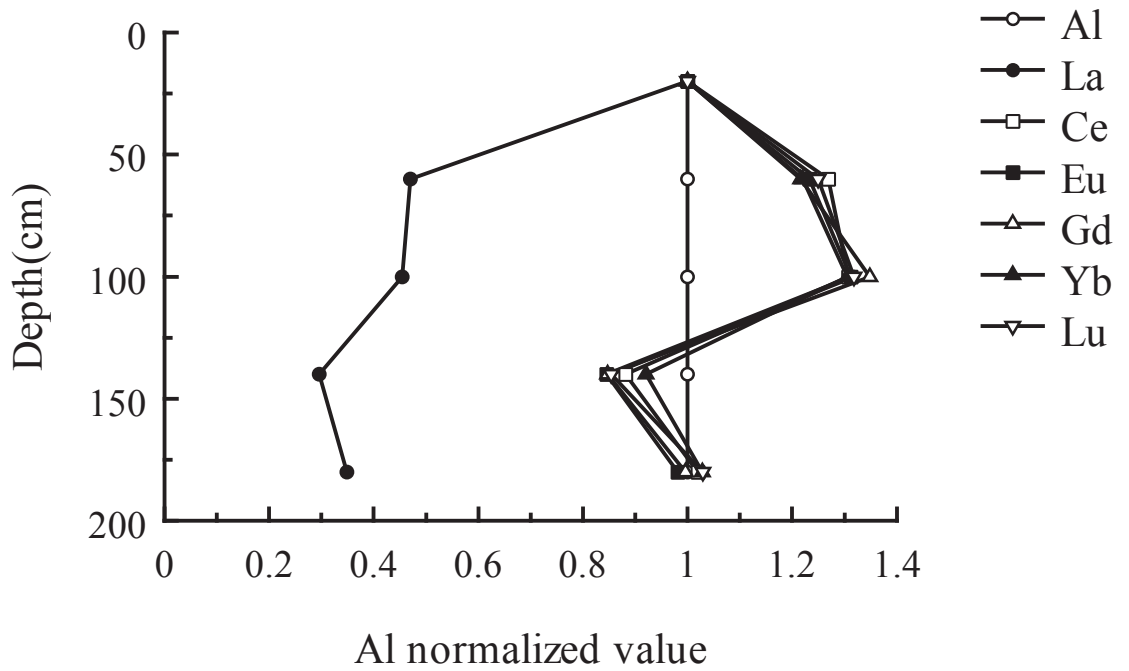


Fig.95 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 10 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 10 : Basalt)

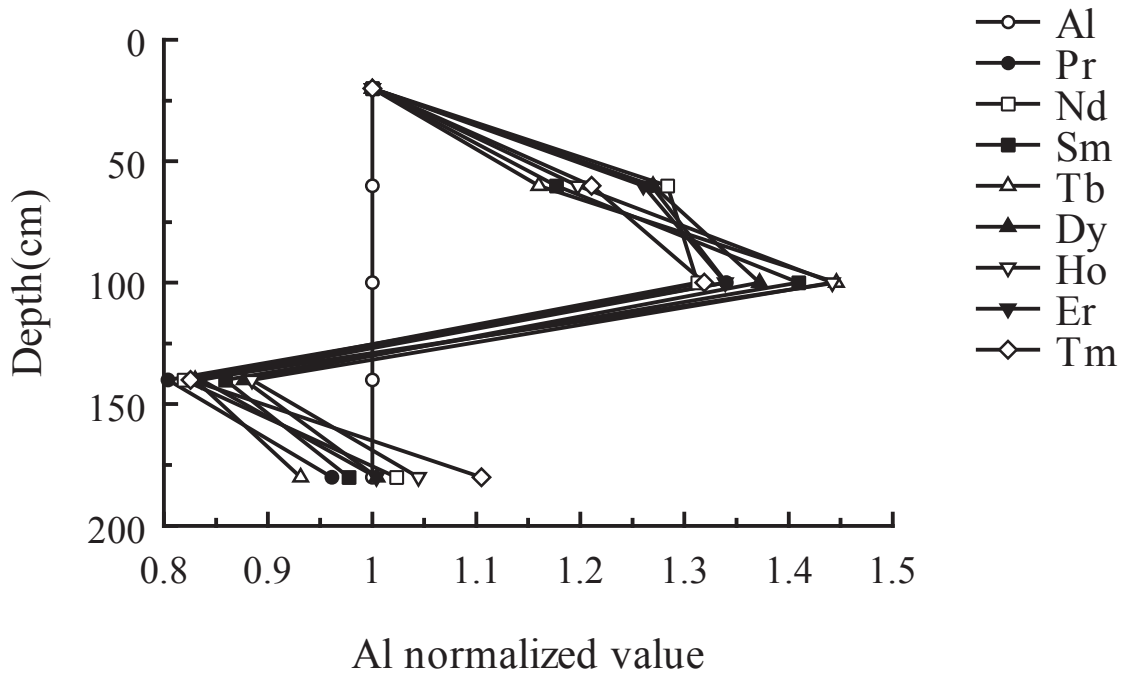
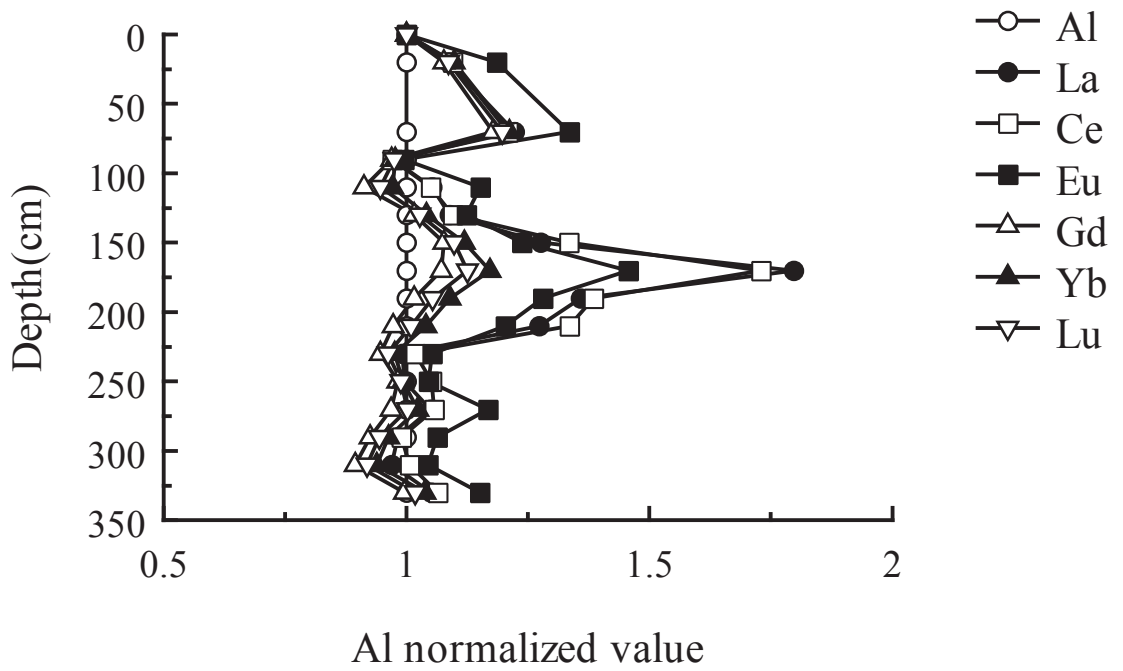


Fig.96 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 20 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 20 : Basalt)

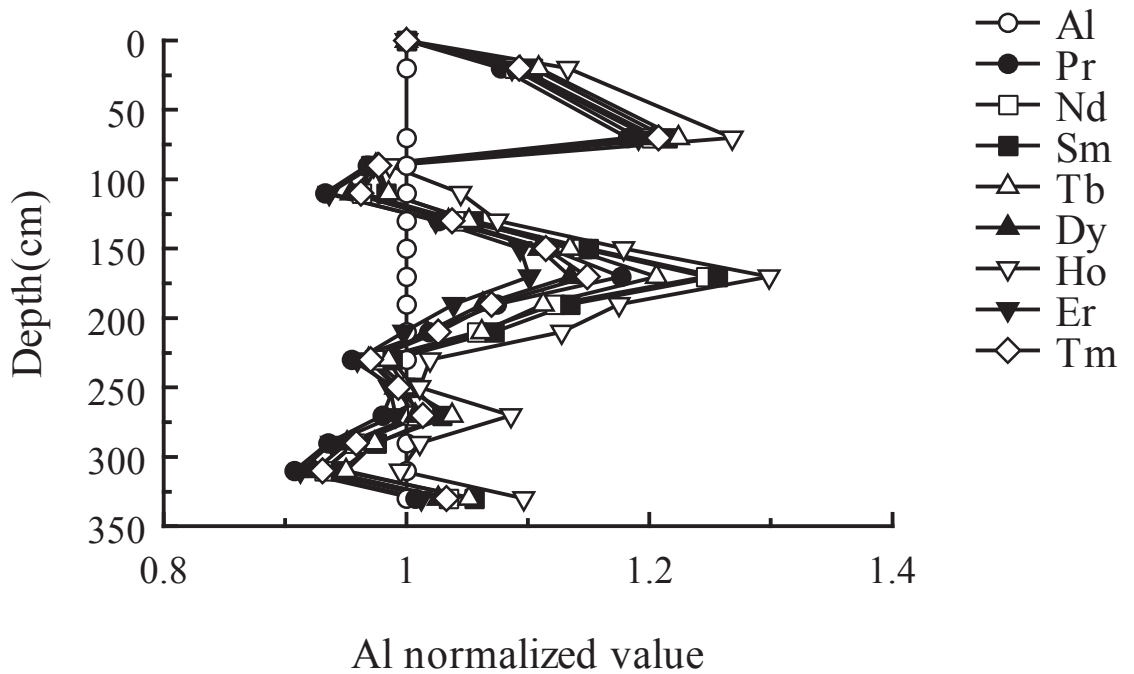
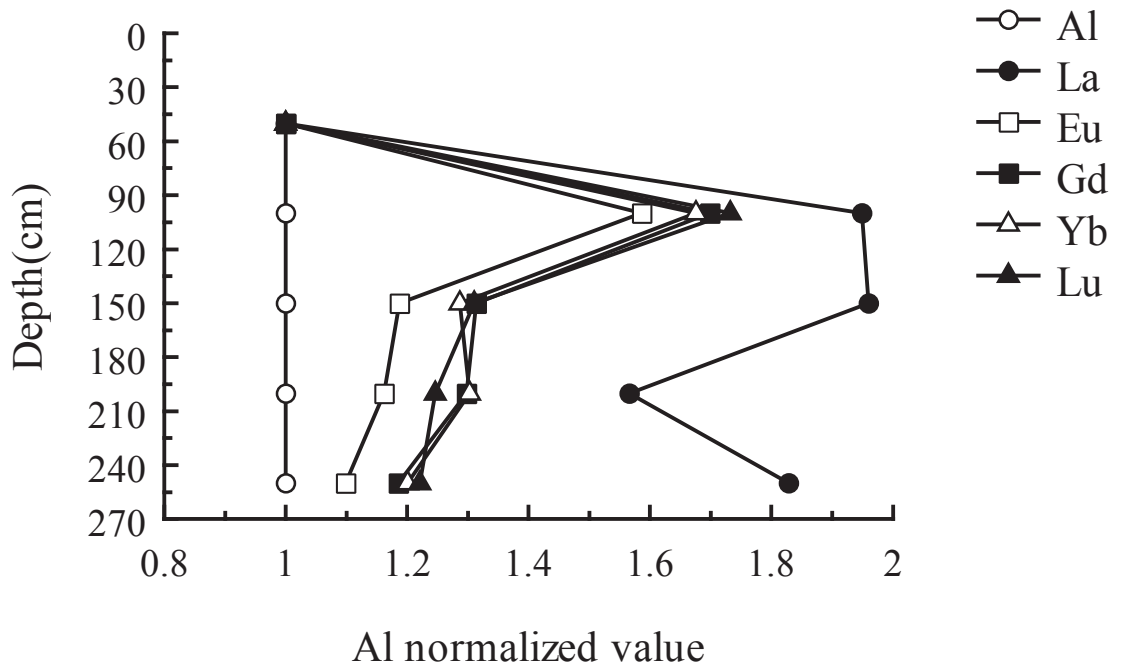


Fig.97 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 27 : Andesite)



Brown forest soil (Hachijyo Island 27 : Andesite)

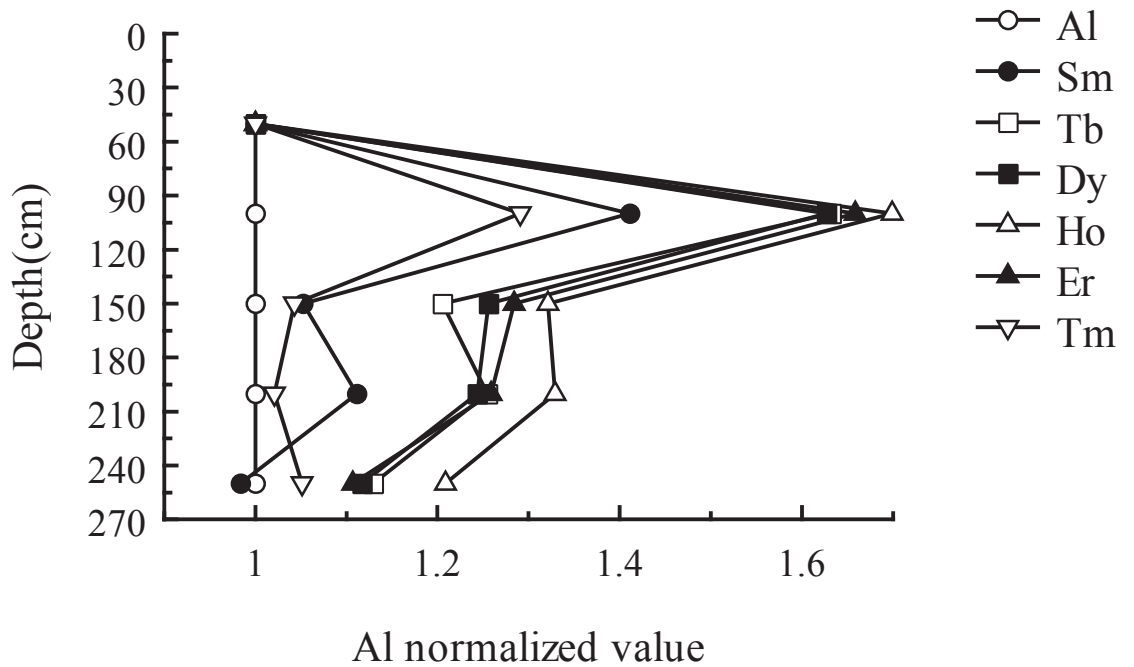
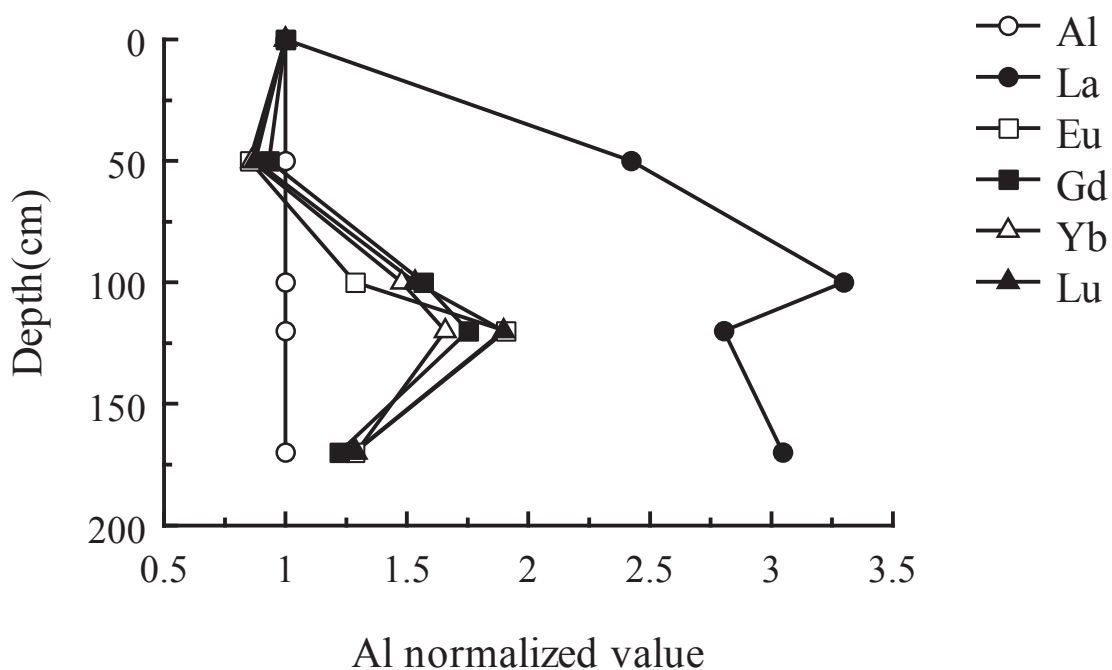


Fig.98 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 32 : Andesite)



Brown forest soil (Hachijyo Island 32 : Andesite)

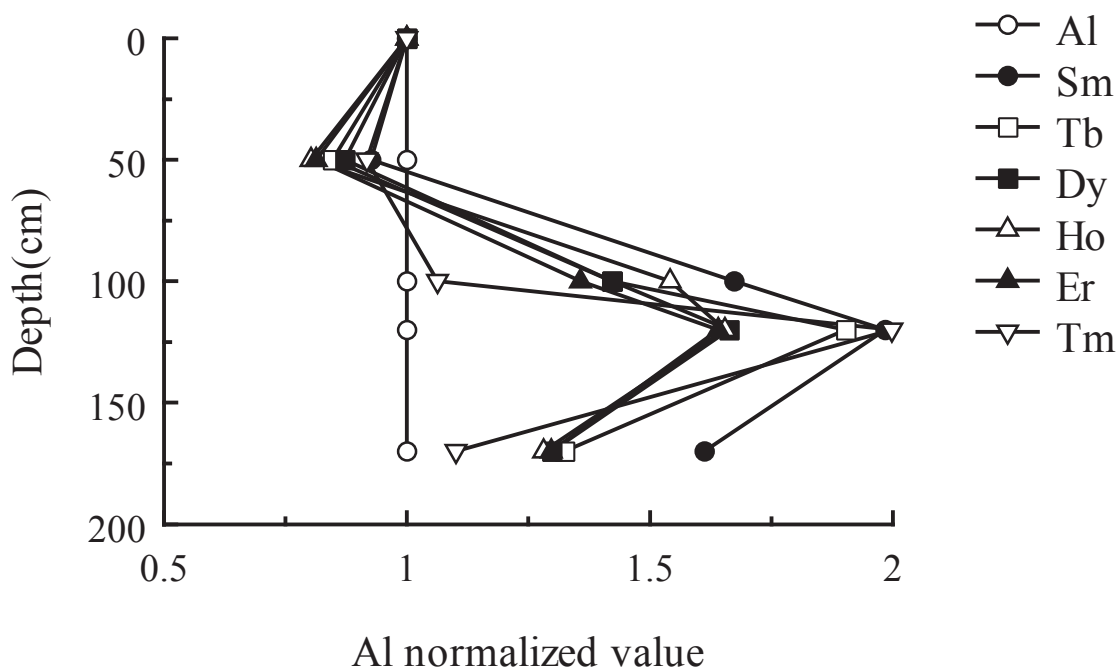
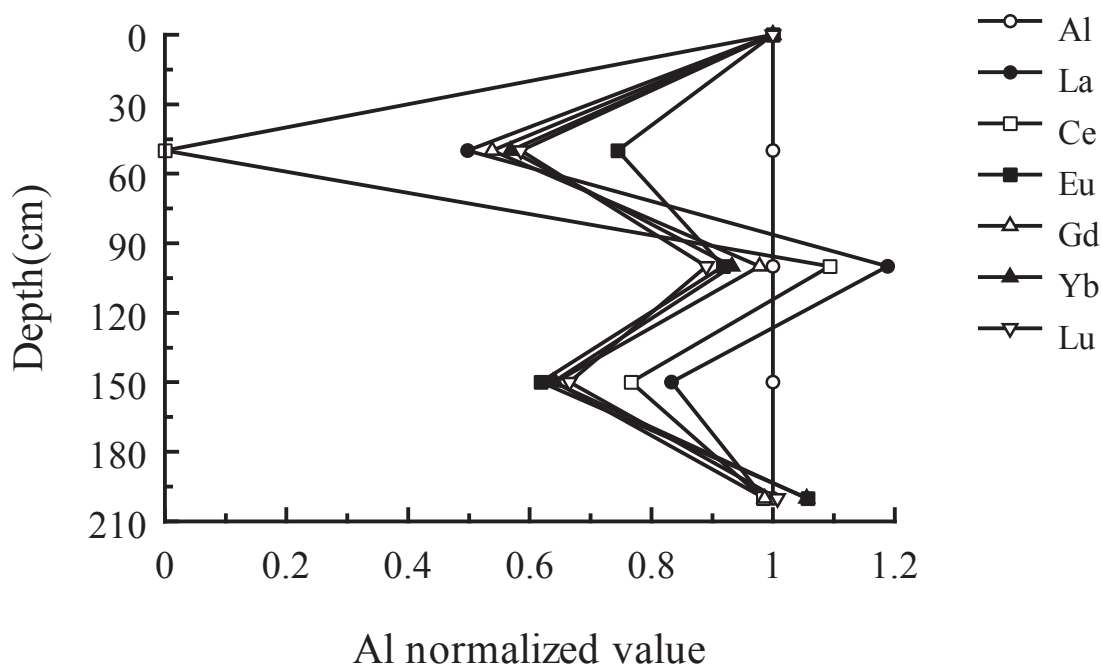


Fig.99 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 41 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 41 : Basalt)

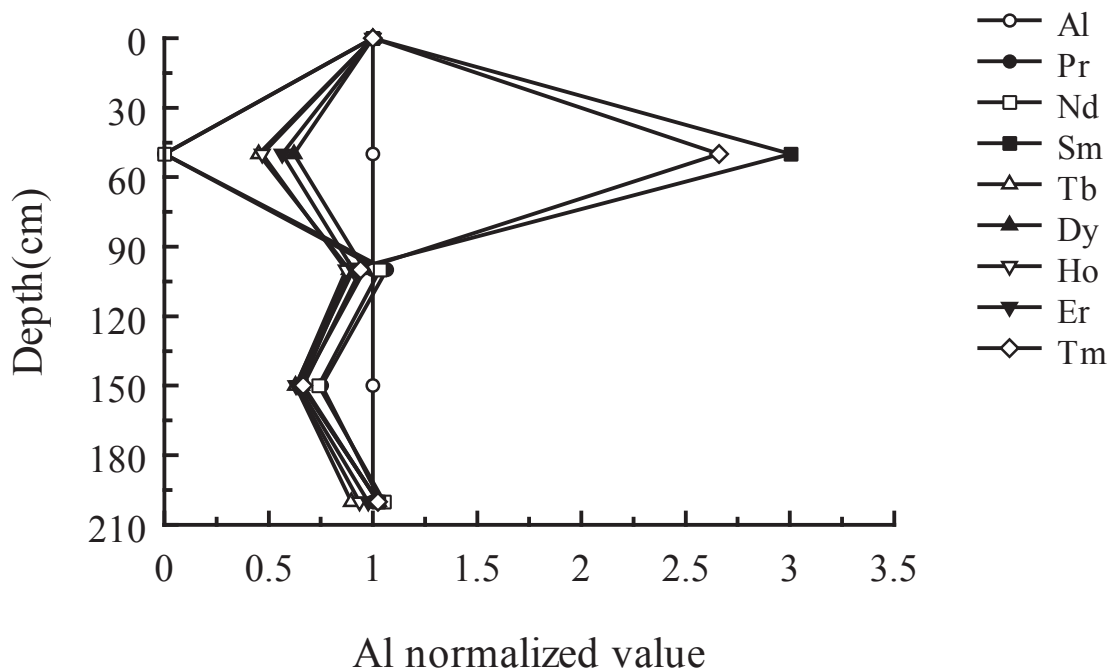
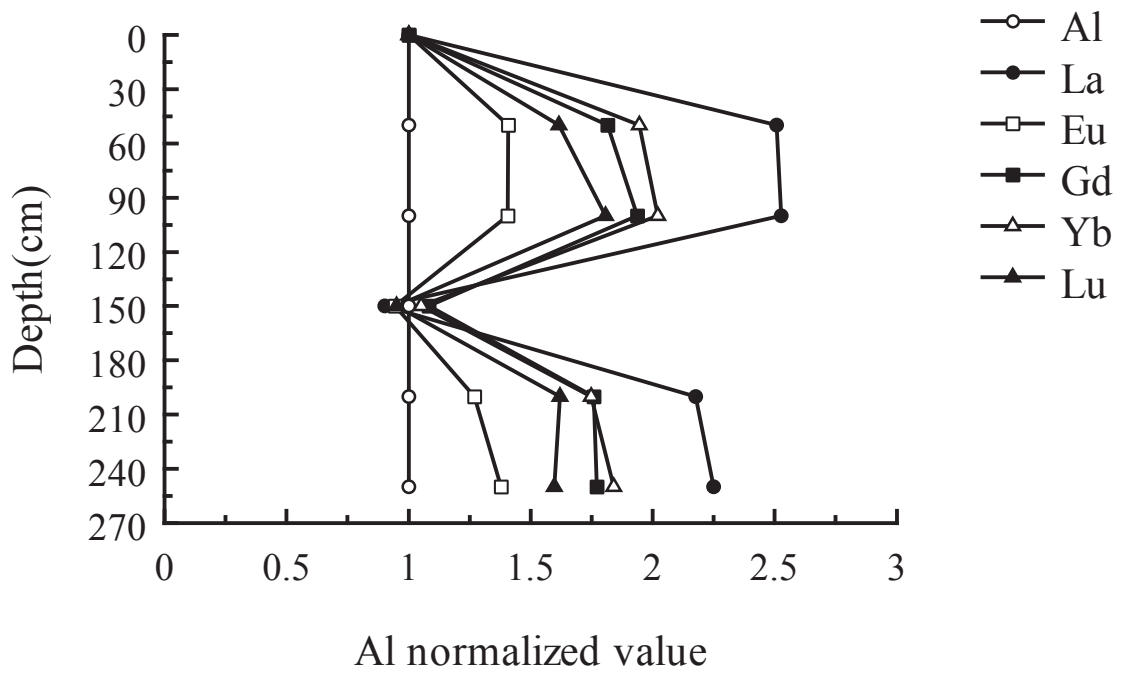


Fig.100 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 42 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 42 : Basalt)

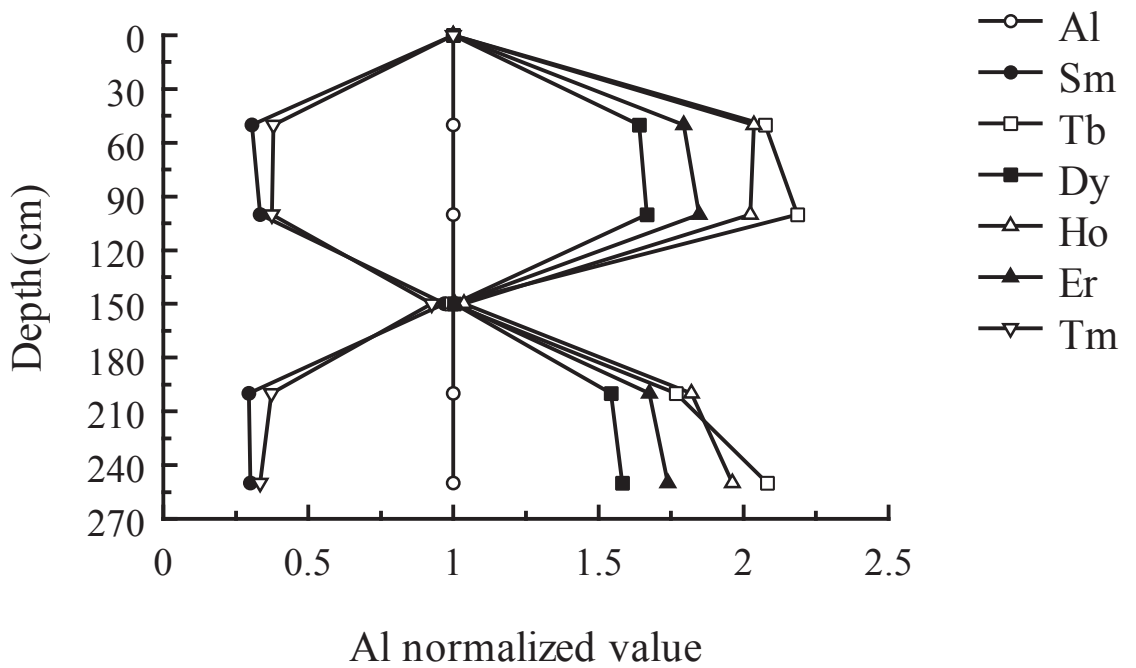
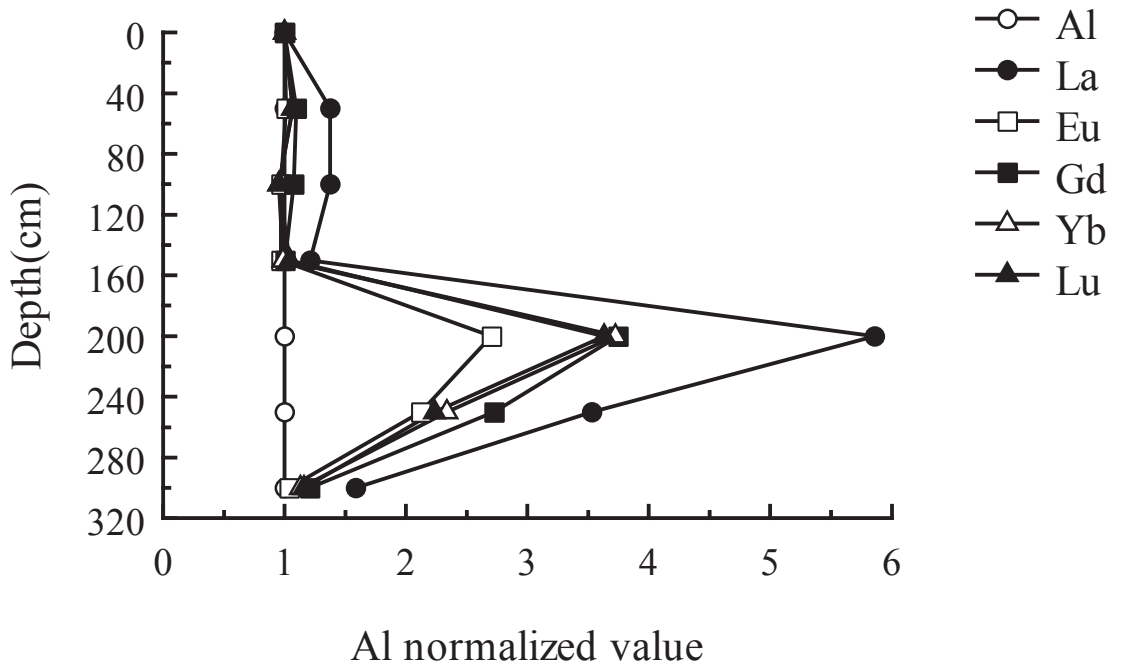


Fig.101 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 45 : Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 45 : Basalt)

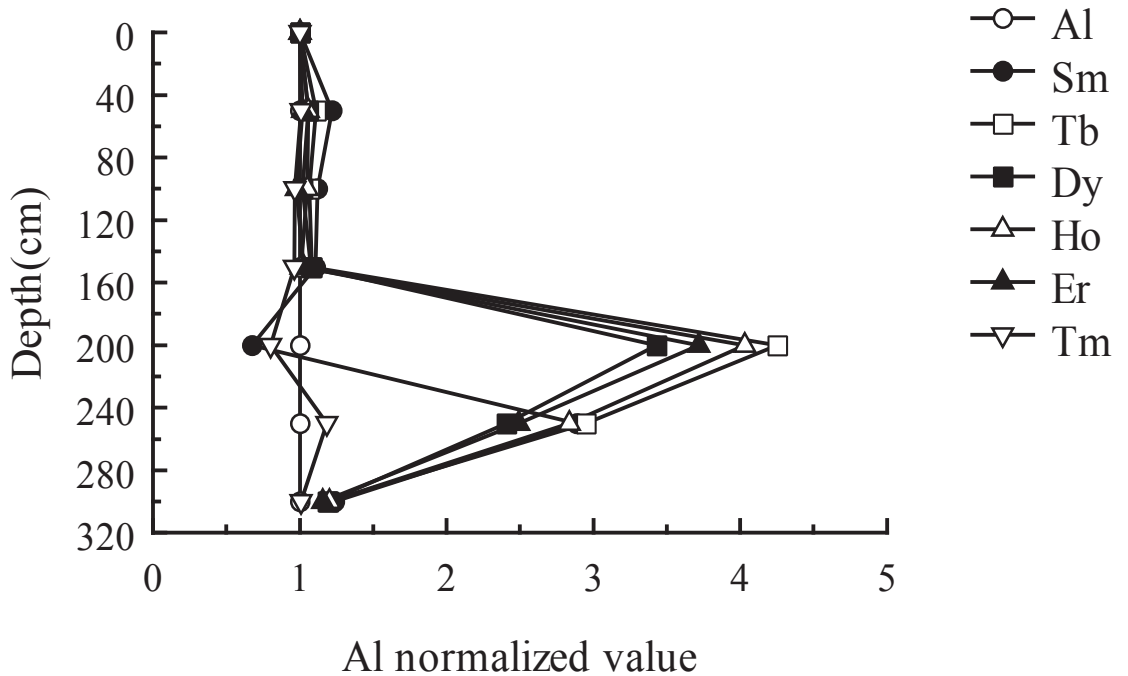


Fig.102 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

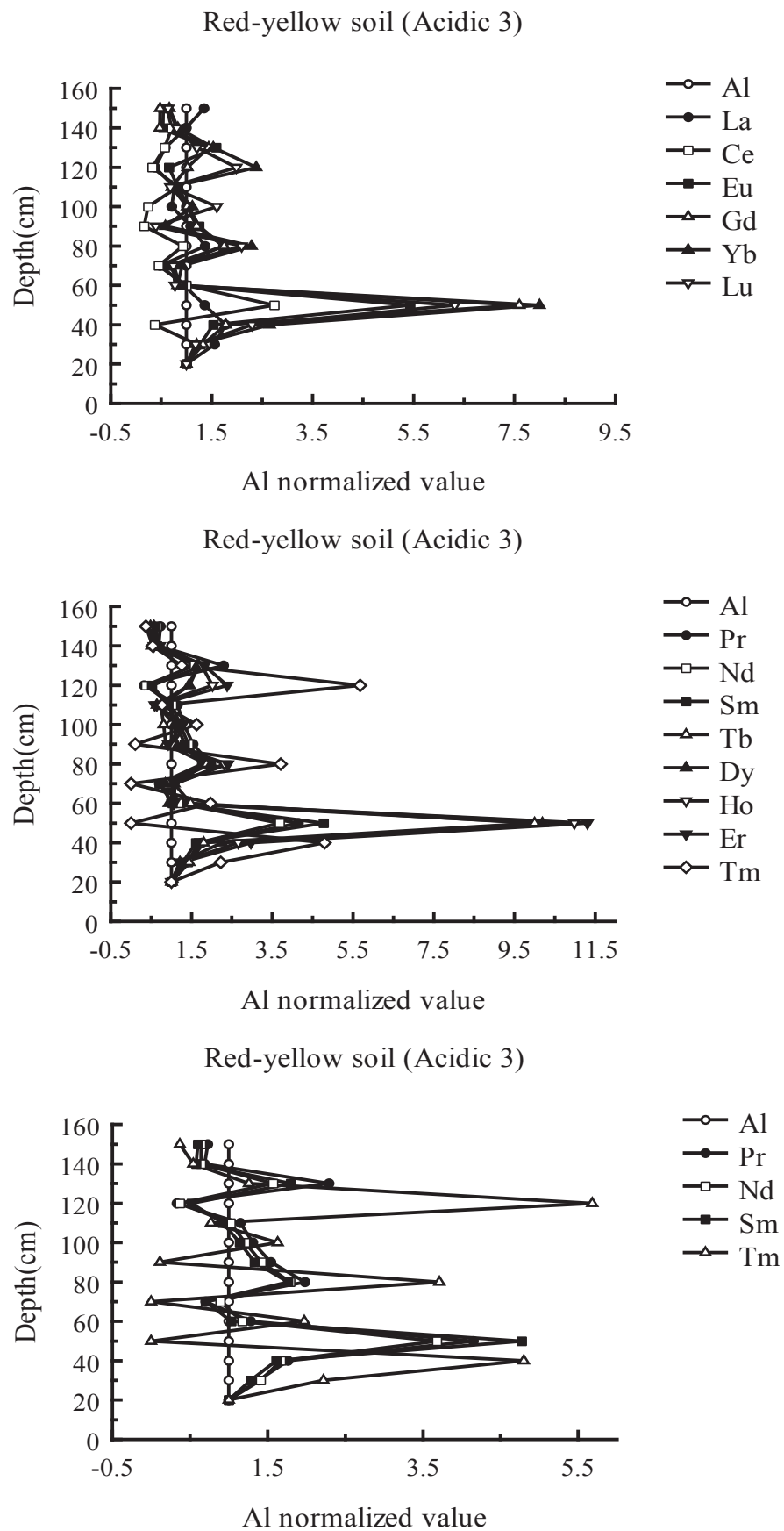


Fig.103 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in red-yellow soil (Ishigaki Island area).

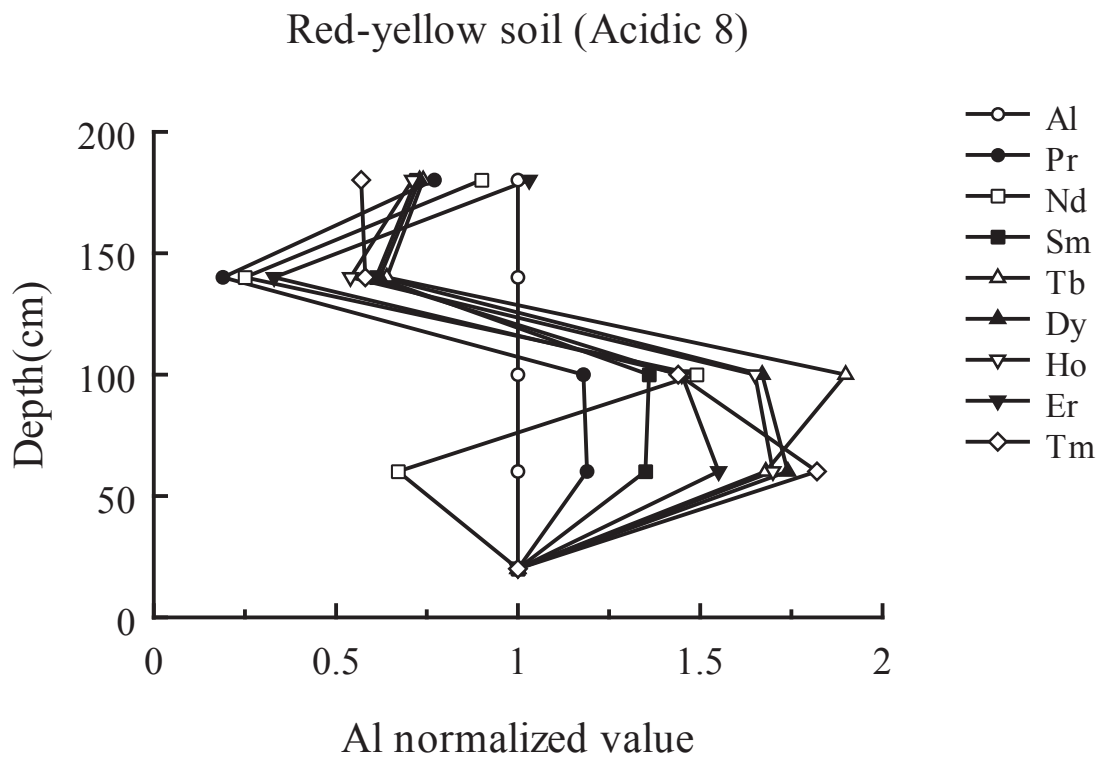
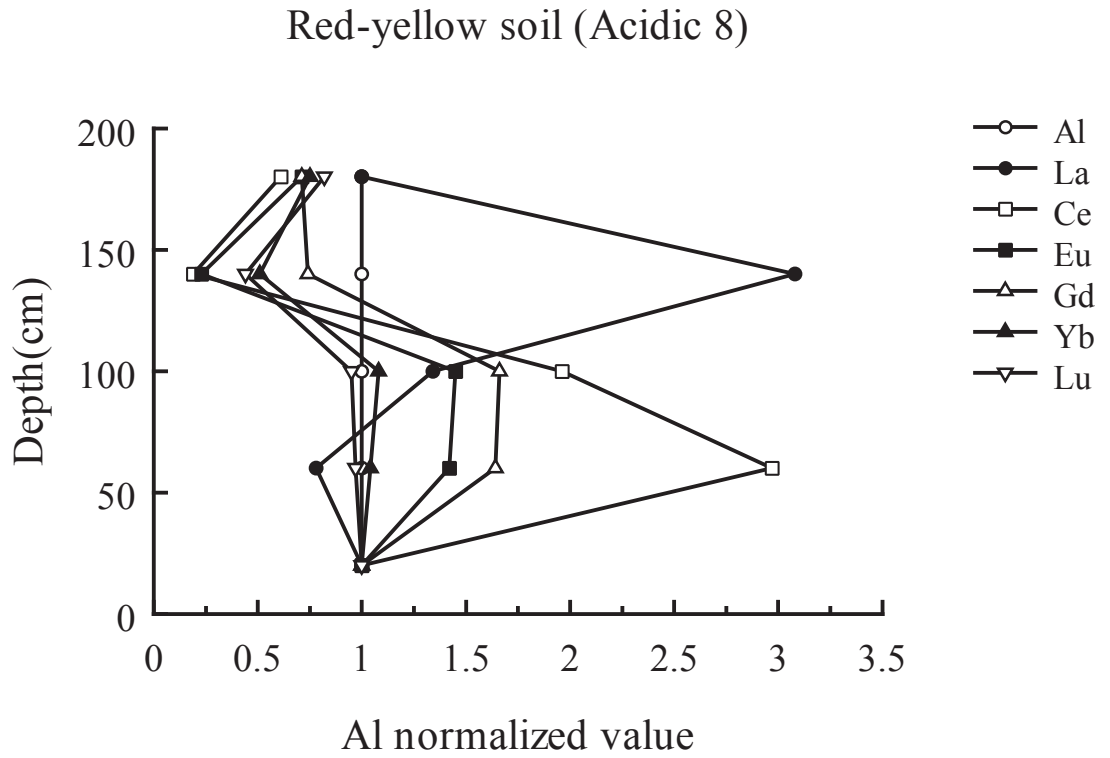


Fig.104 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in red-yellow soil (Ishigaki Island area).

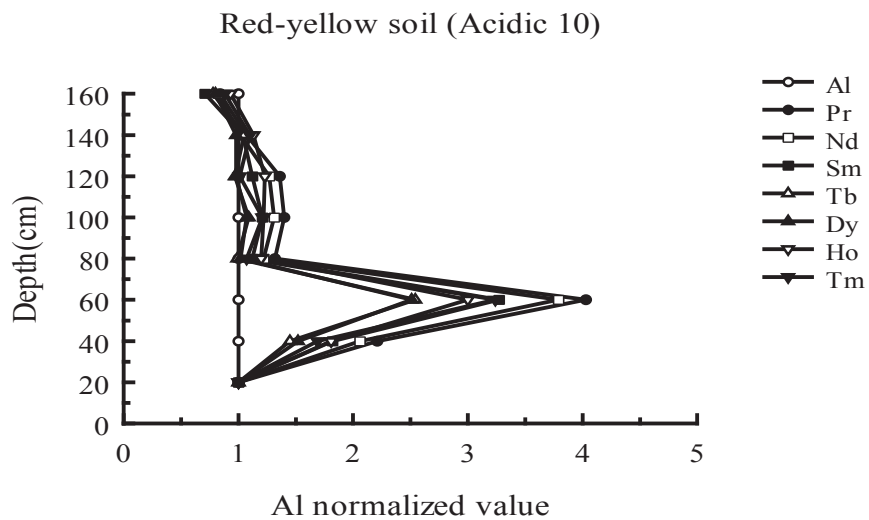
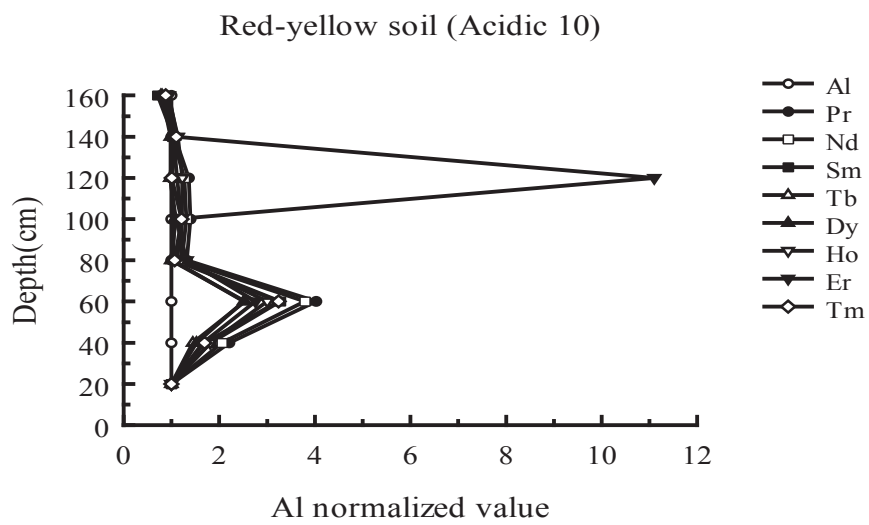
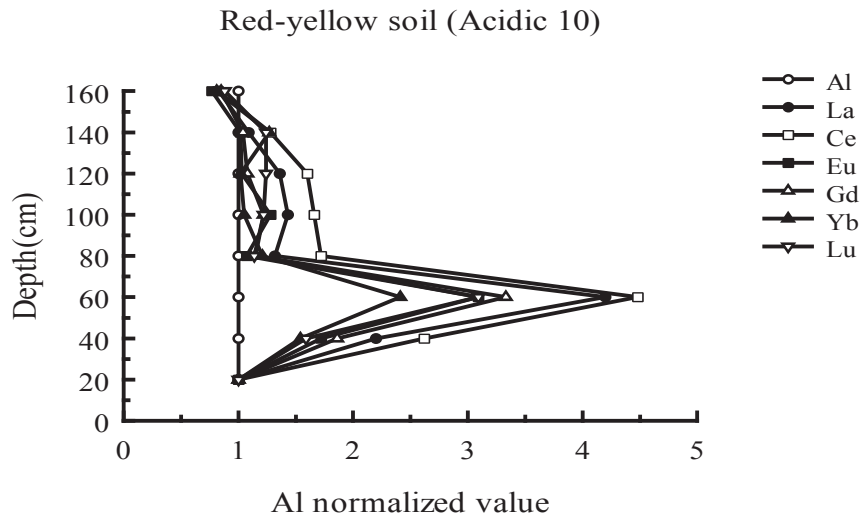


Fig.105 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa central part area).

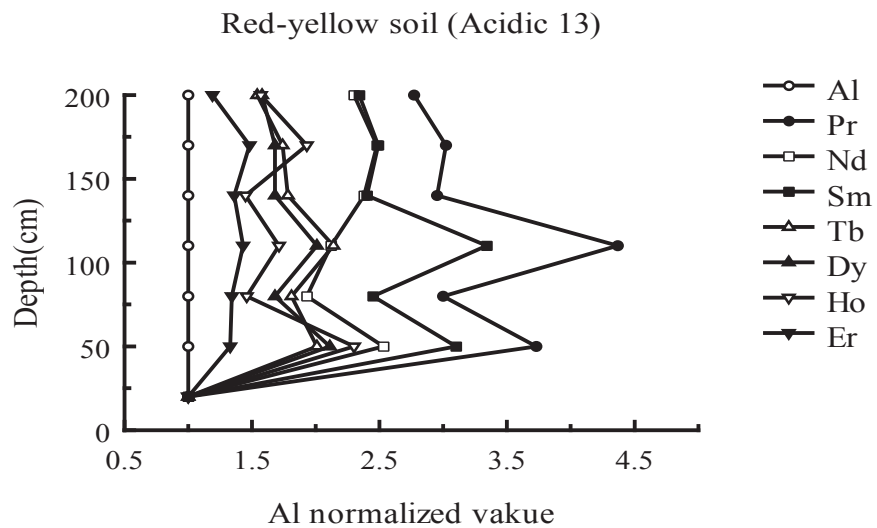
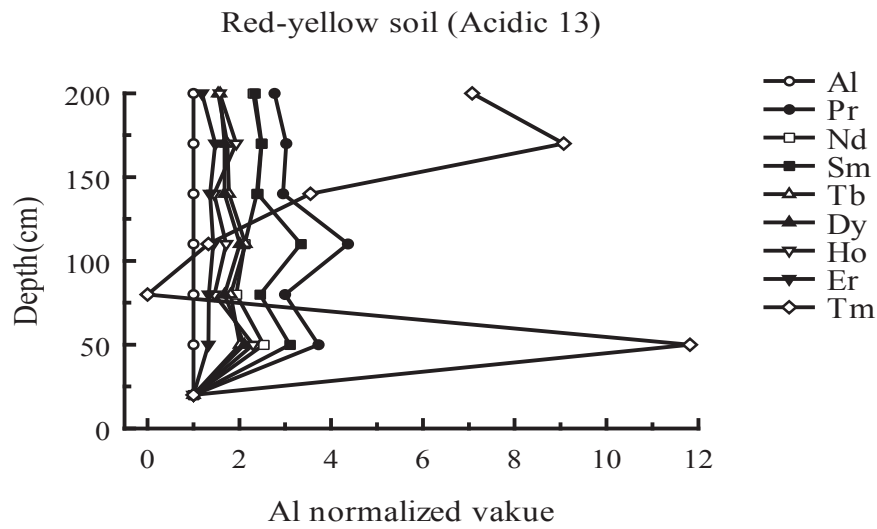
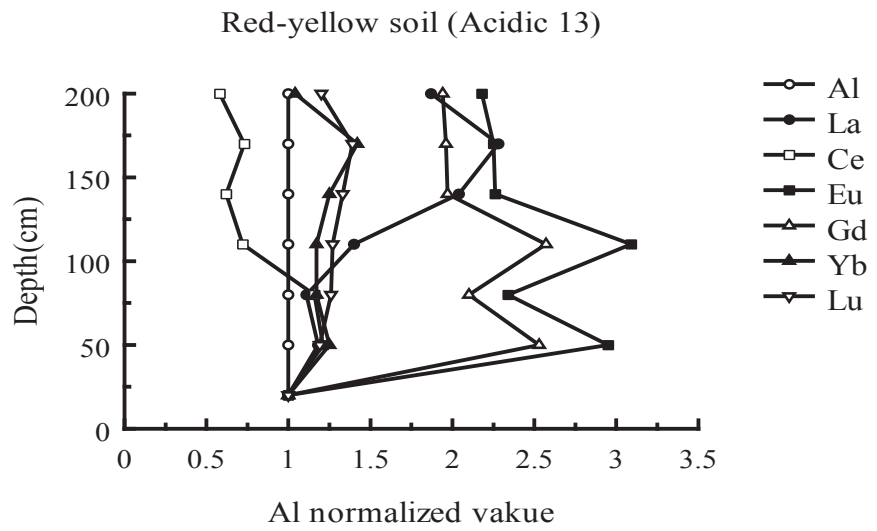
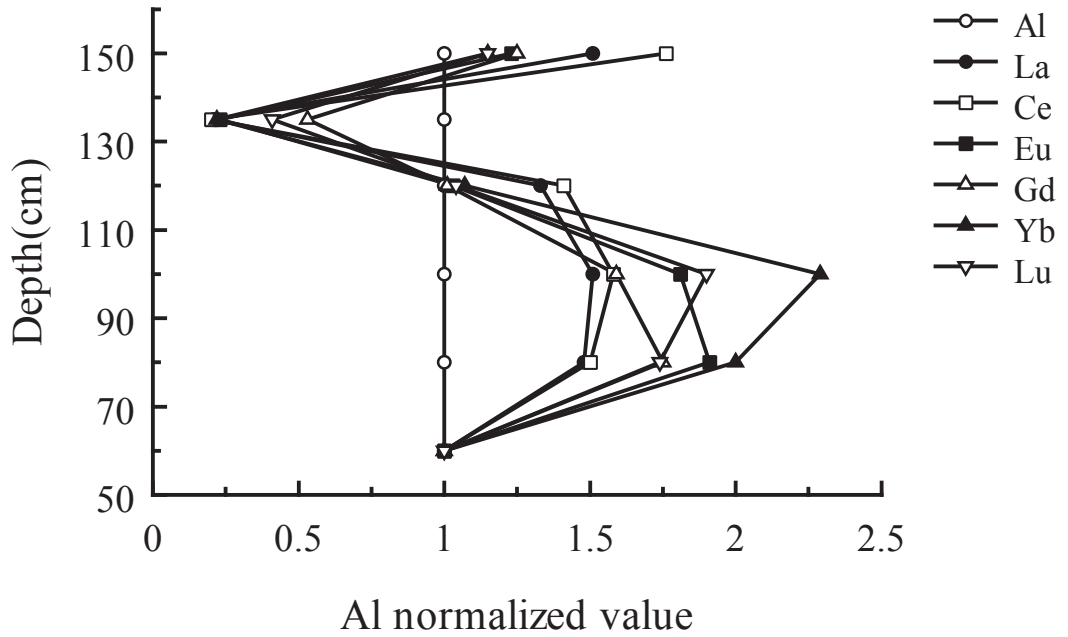


Fig.106 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa central part area).

Red-yellow soil (Alkaline 18)



Red-yellow soil (Alkaline 18)

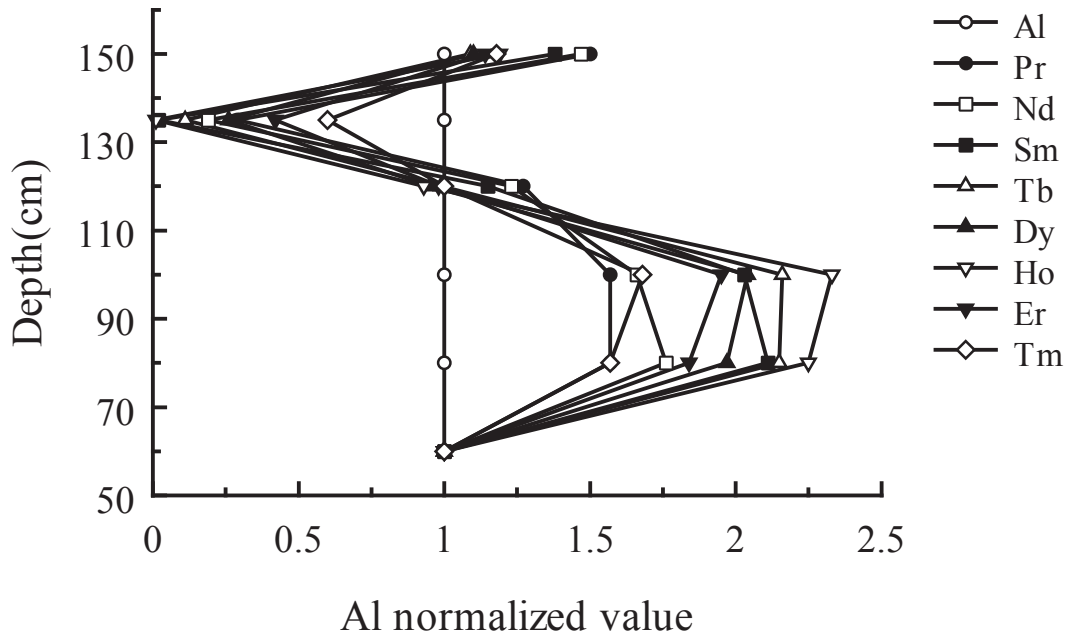


Fig.107 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa southern part area).

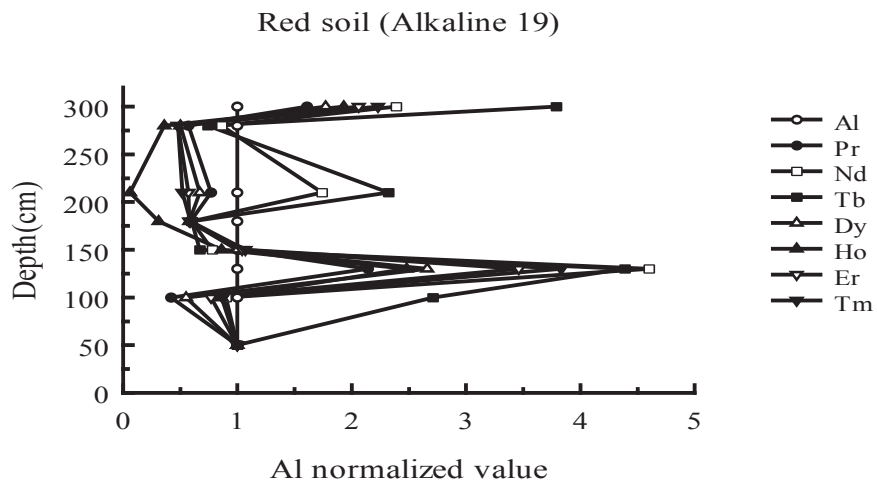
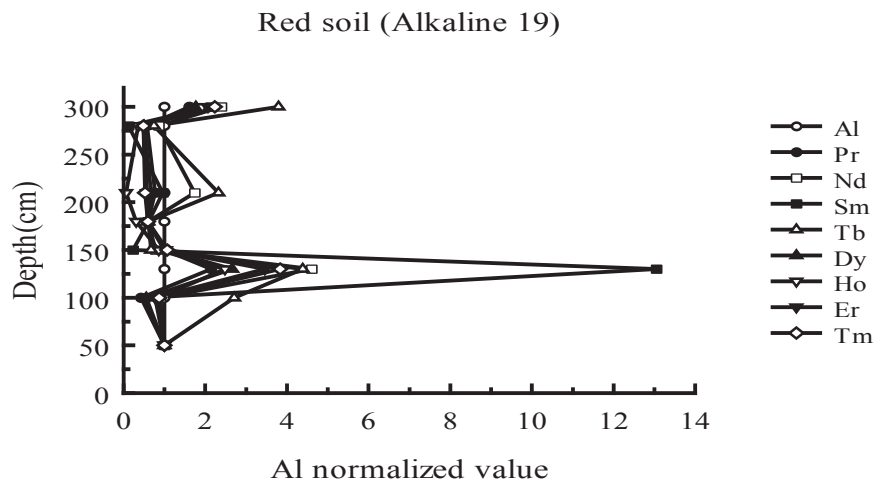
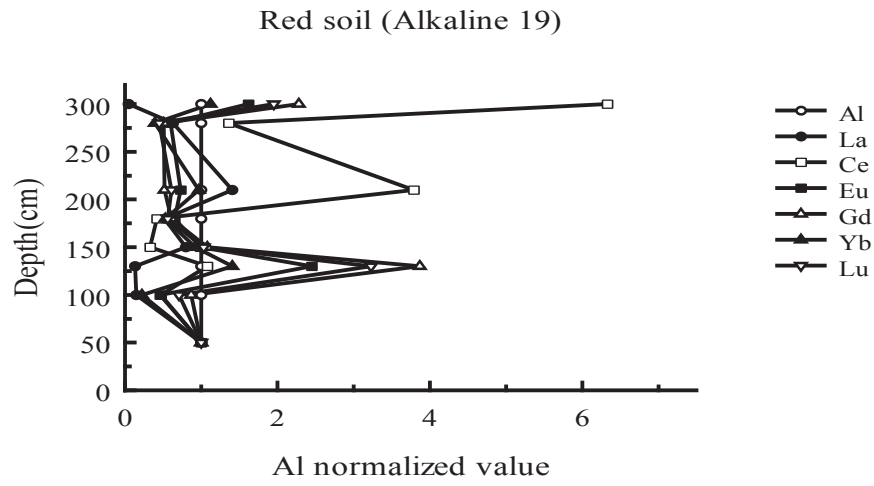


Fig.108 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa southern part area).

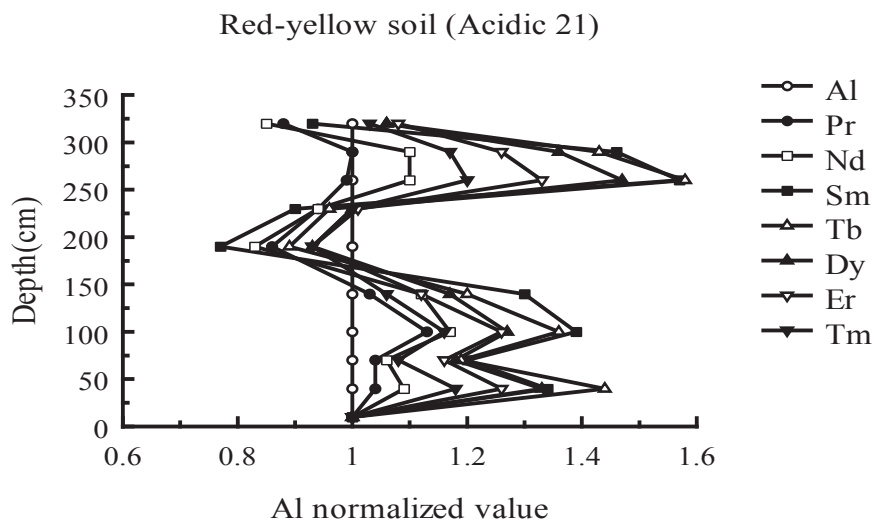
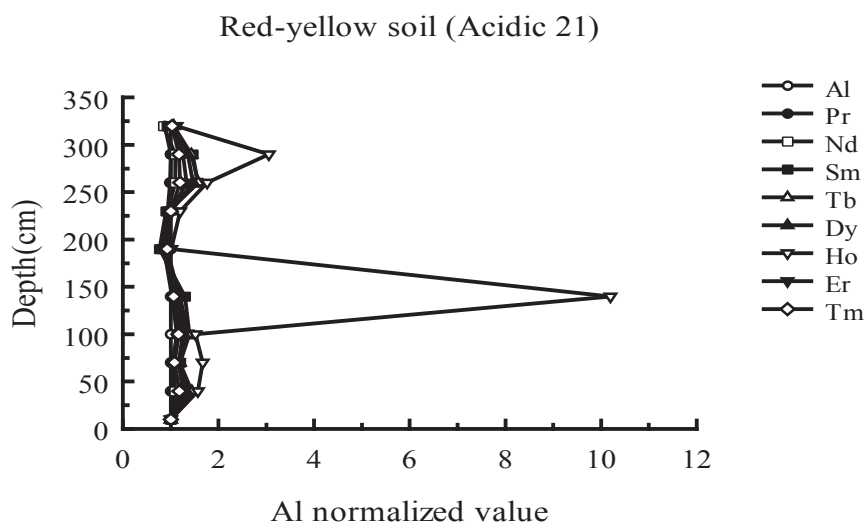
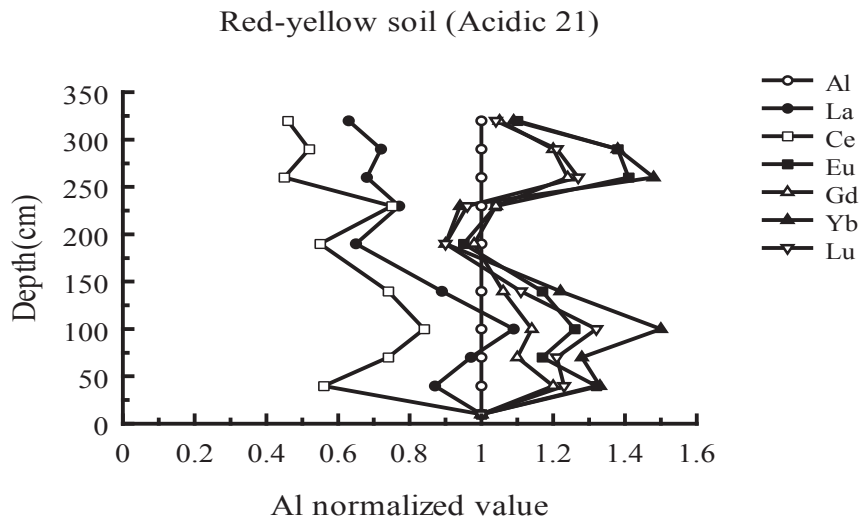


Fig.109 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa northern part area).

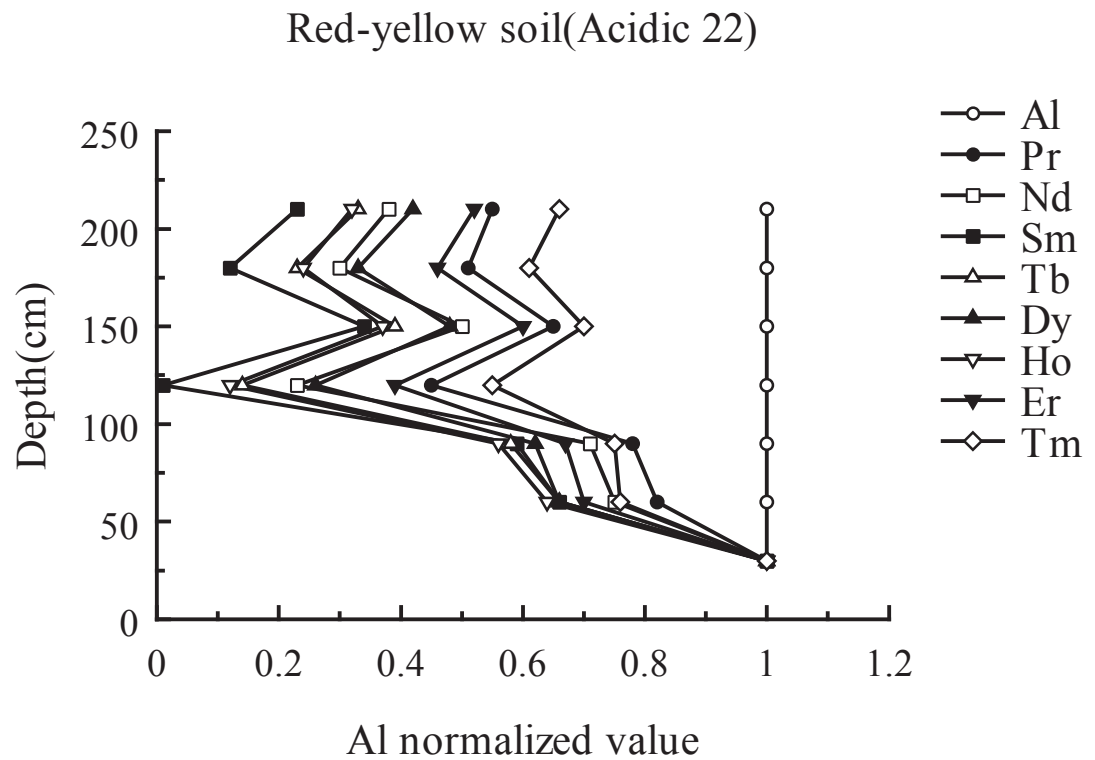
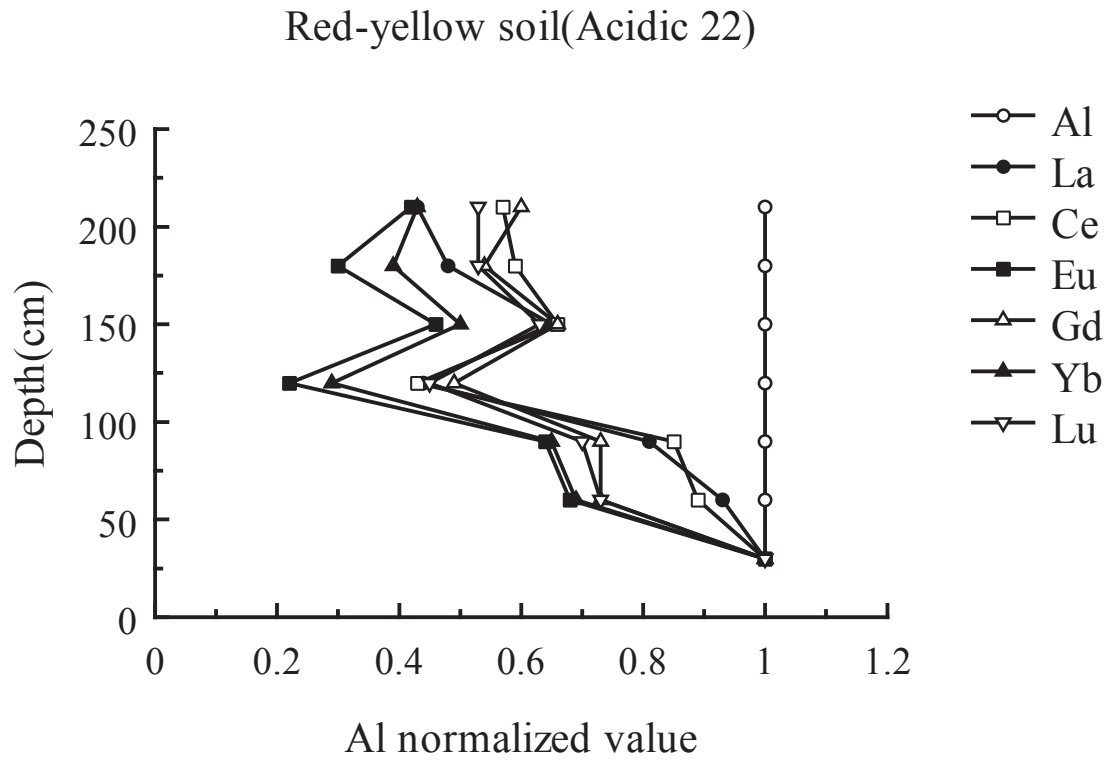


Fig.110 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa northern part area).

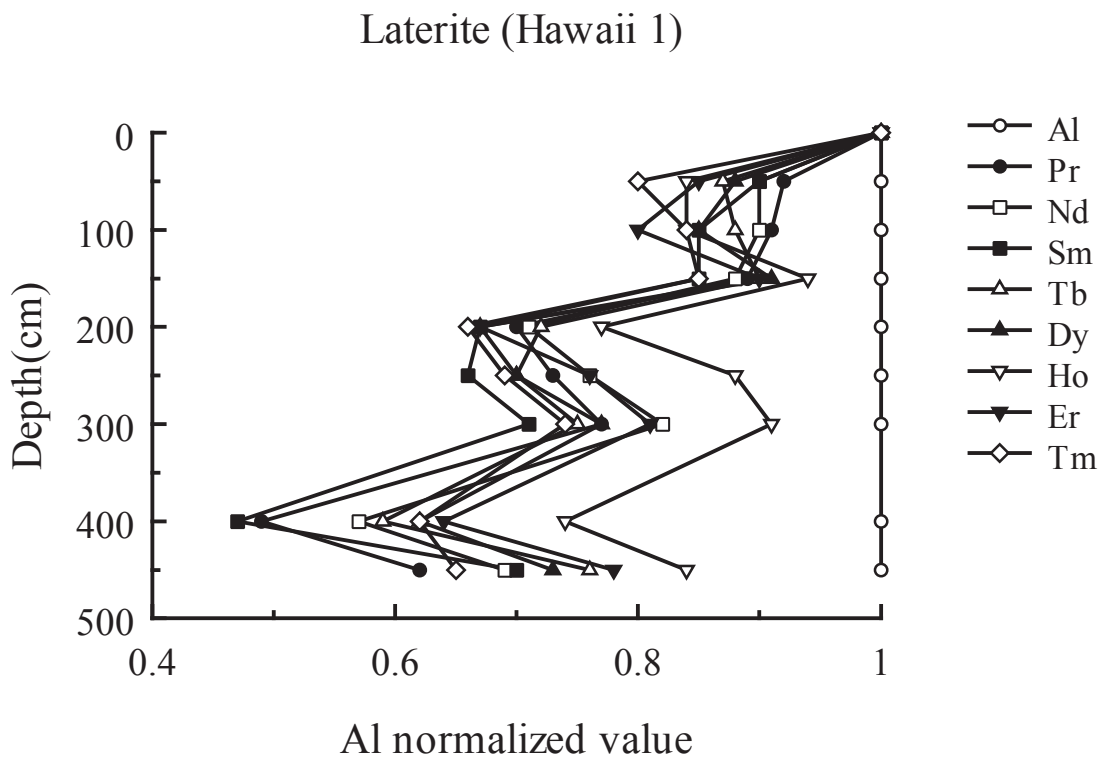
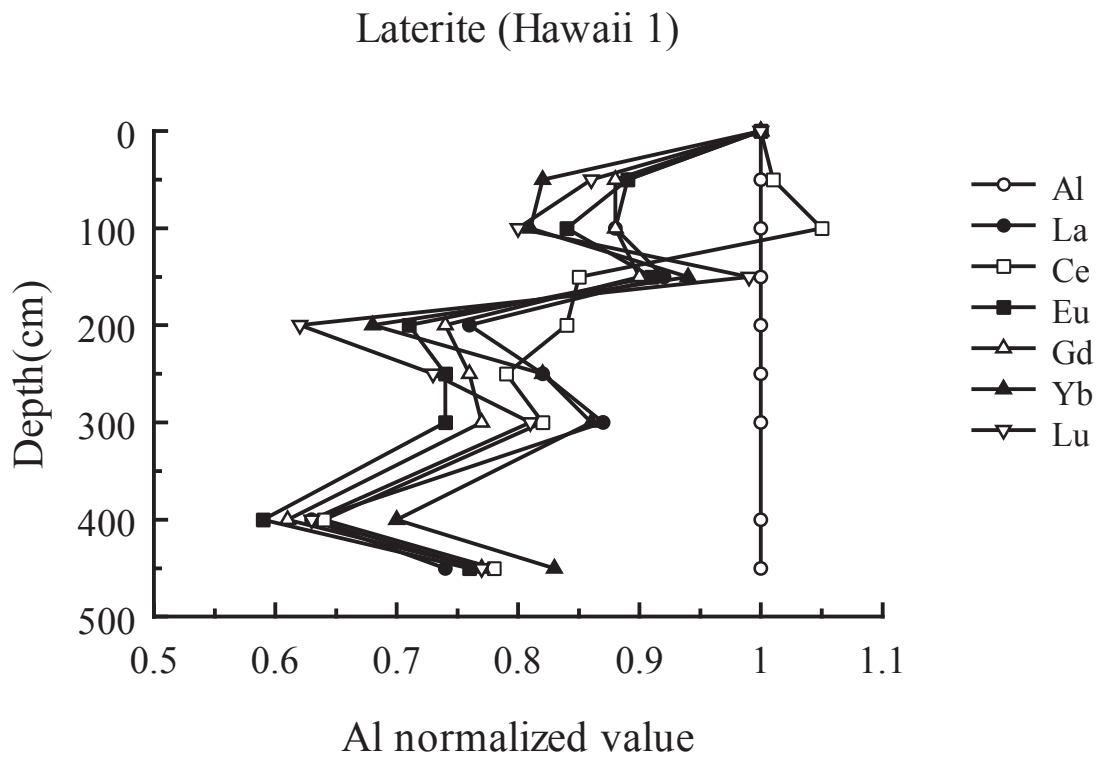


Fig.111 Relations between Al normalized value of rare earth elements and depth in laterite (Oahu Island area).

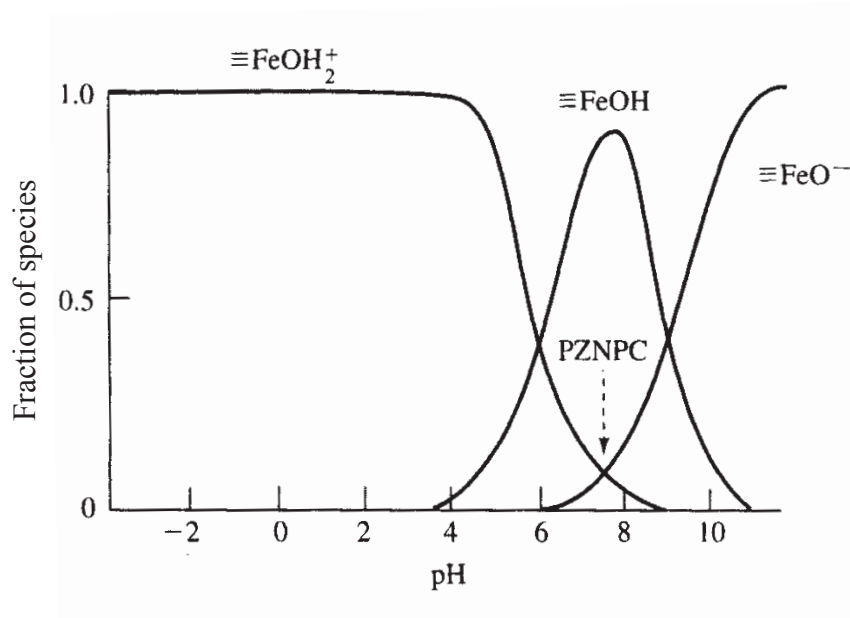


Fig.112 Schematic distribution of charged surface species (denoted by the triple dashes) on ferrihydrite as a function of pH, showing for the predominance of positive, neutral and negatively charged surface species with increasing pH. The pH of the PZNPC is found where the net surface charge is zero (i.e., $[\equiv\text{FeOH}_2^+] = [\equiv\text{FeO}^-]$). (Langmuir, 1997)

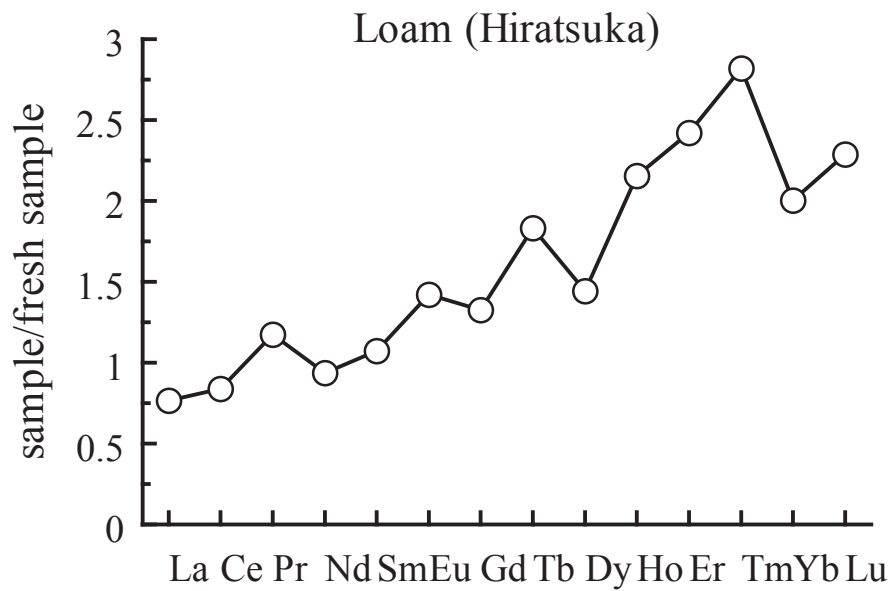
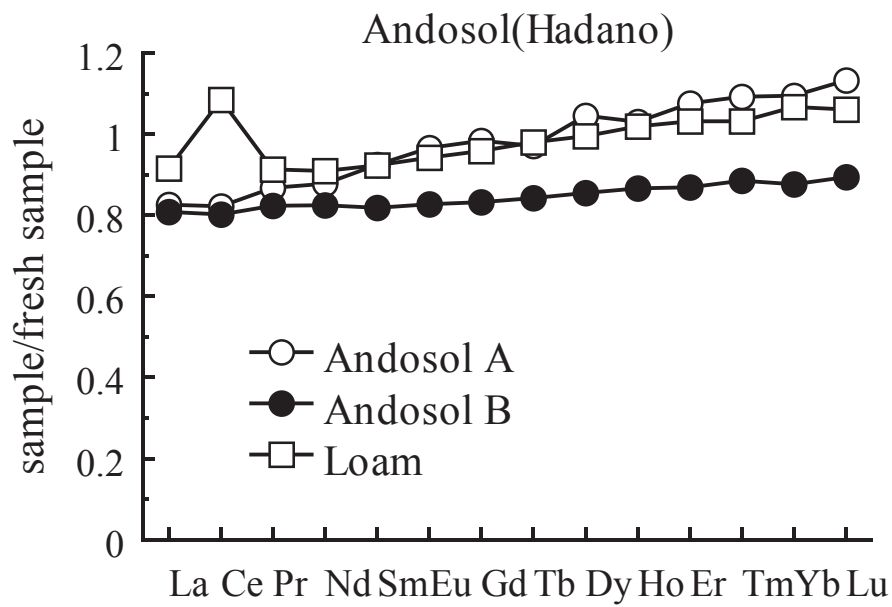


Fig.113 Average of fresh sample normalized REE patterns of samples in andosol and loam (hadano and Hiratsuka).

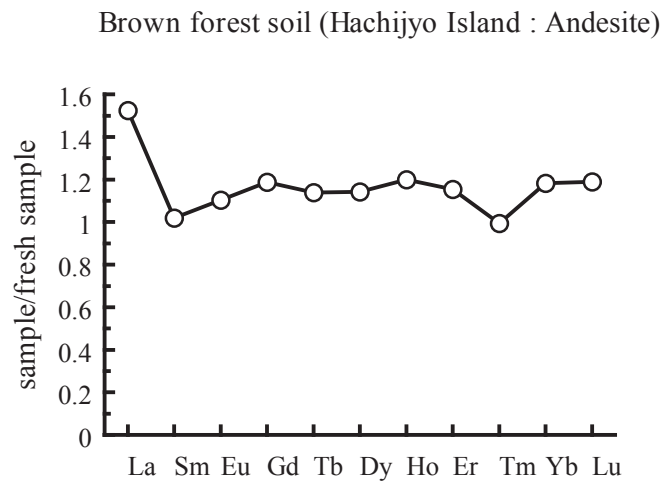
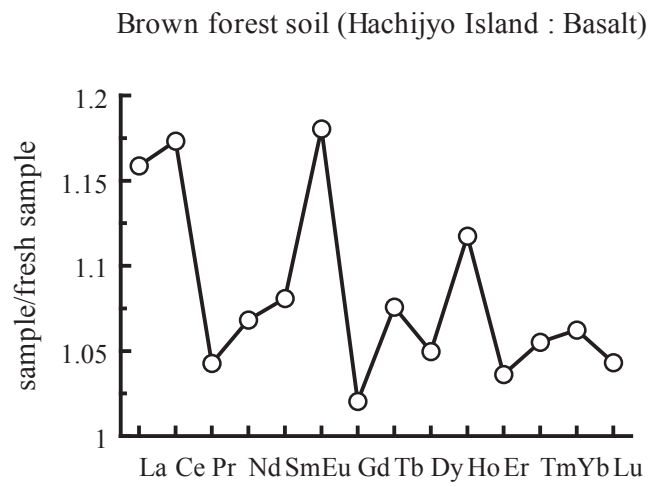
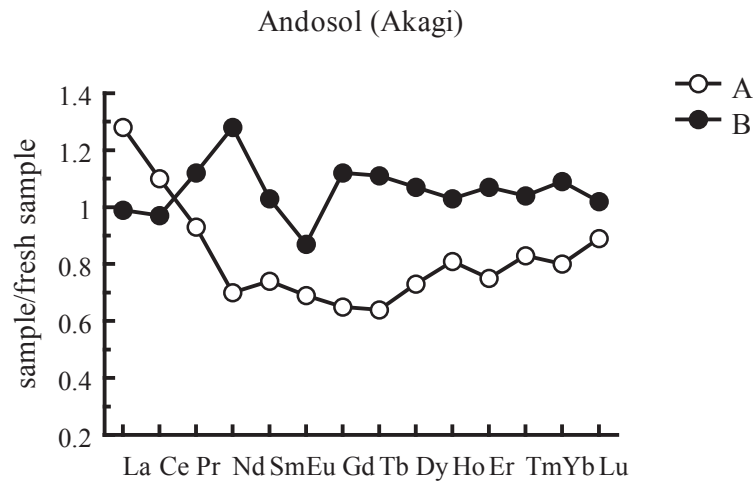


Fig.114 Average of fresh sample normalized REE patterns of samples in andosol and brown forest soil (Akagi and Hachijyo Island).

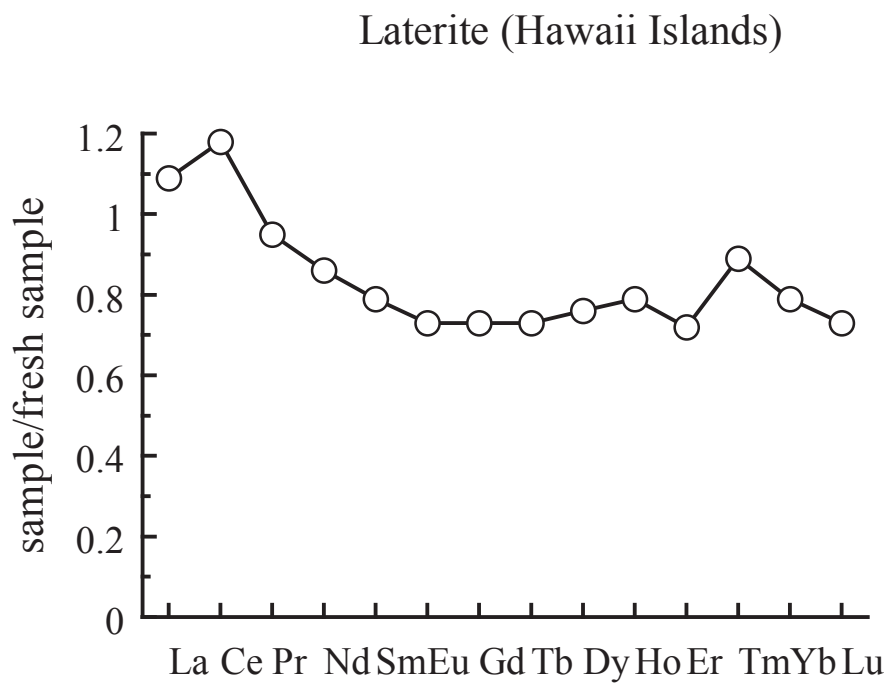
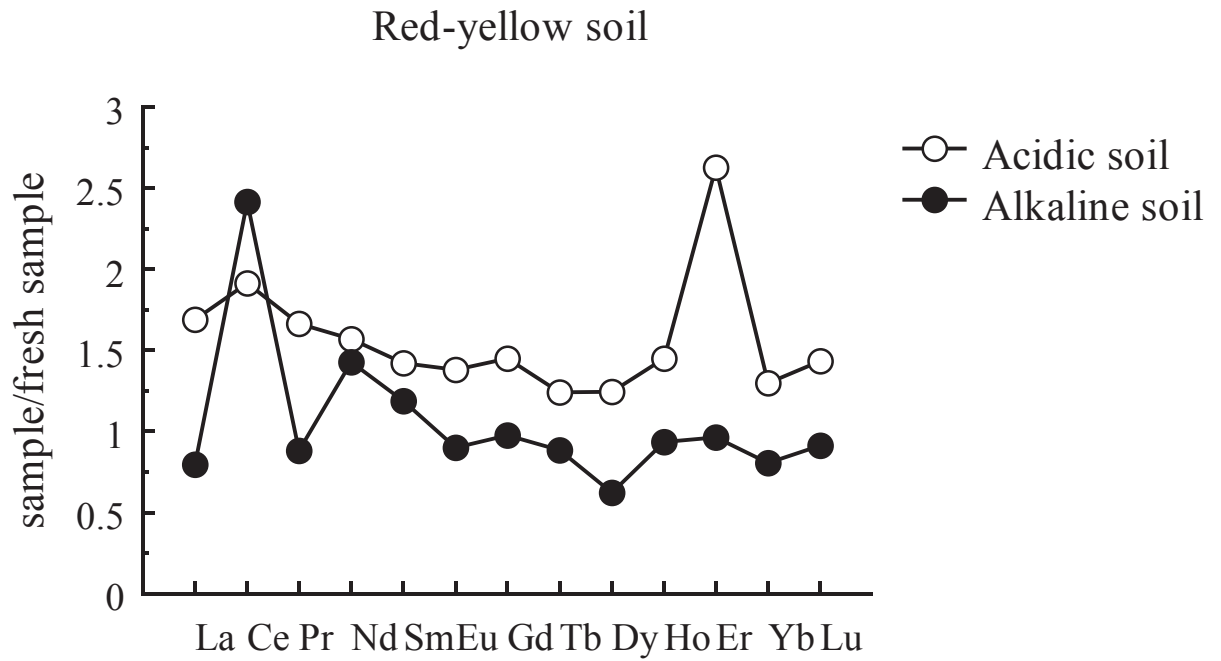


Fig.115 Average of fresh sample normalized REE patterns of samples in red-yellow soil and laterite (The main island of Okinawa, Ishigaki Island and Hawaii Islands).

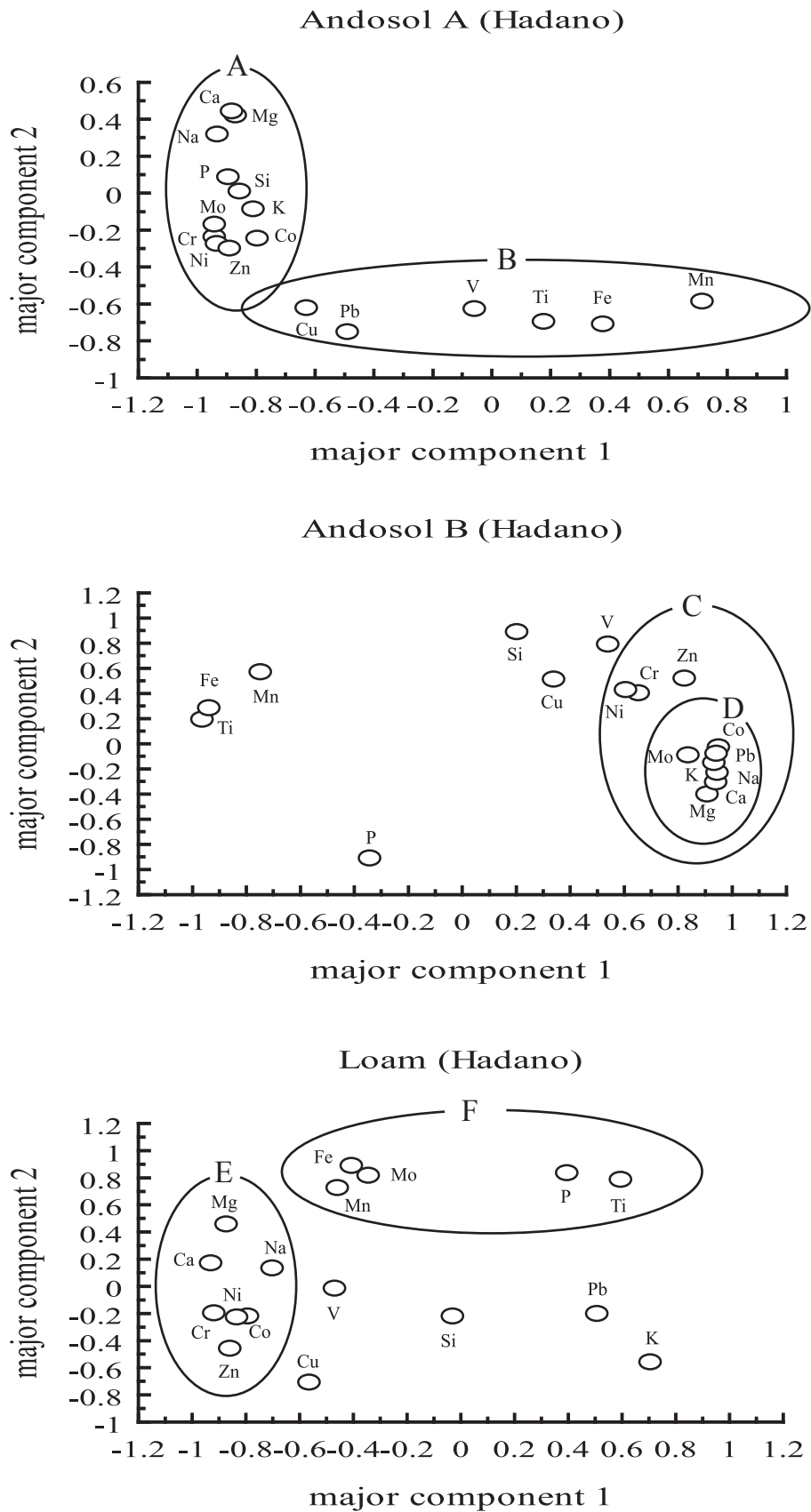


Fig.116 PCA plotted graph of base metal elements of Hadano samples (A:Andosol A, B:Andosol B, C:Loam).

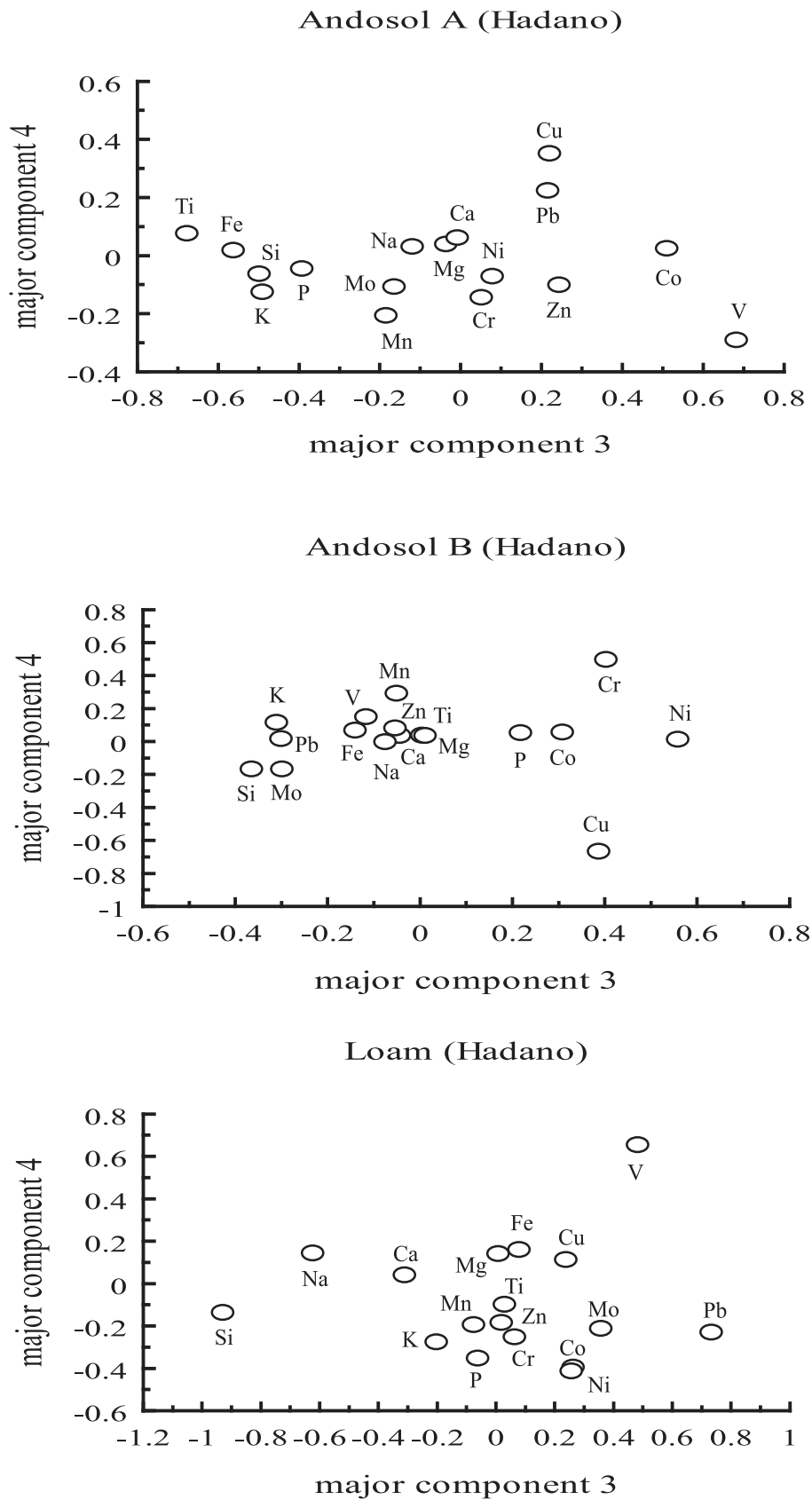


Fig.117 PCA plotted graph of base metal elements of Hadano samples (A:Andosol A, B:Andosol B, C:Loam).

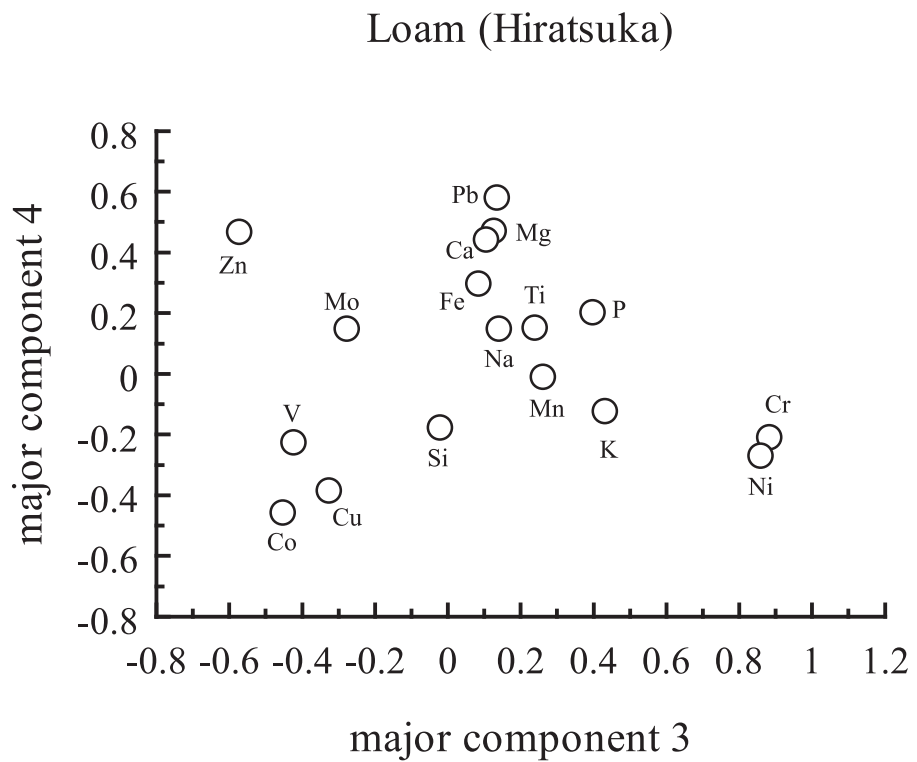
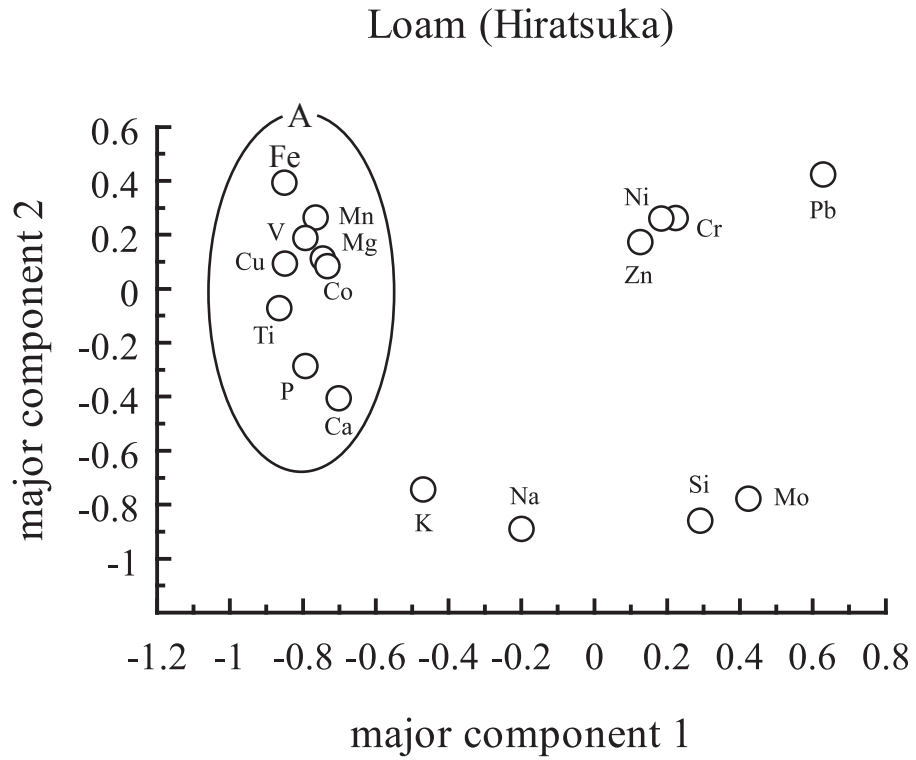
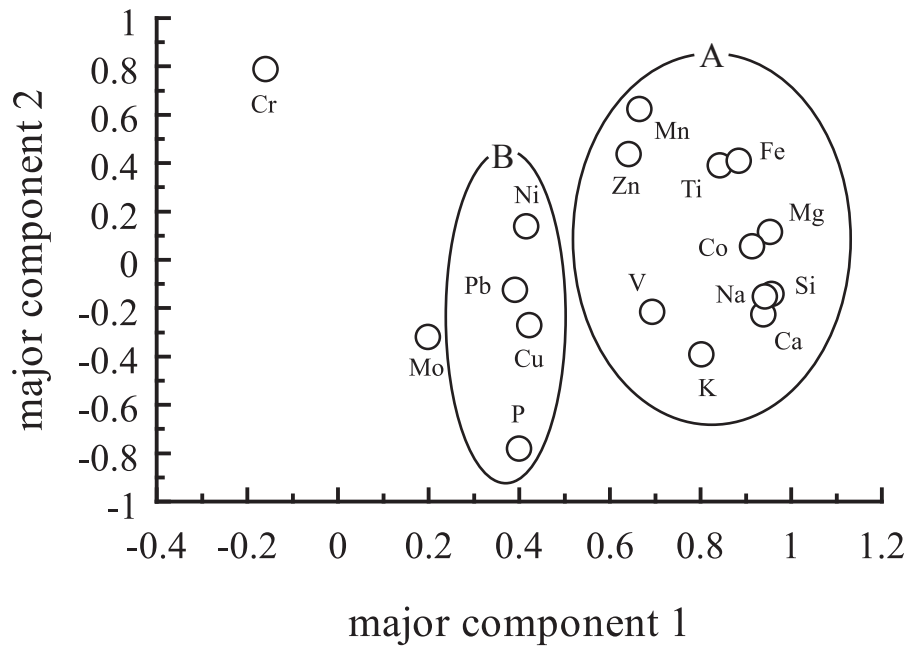


Fig.118 PCA plotted graph of base metal elements of Hiratsuka samples.

Andosol A (Akagi)



Andosol B (Akagi)

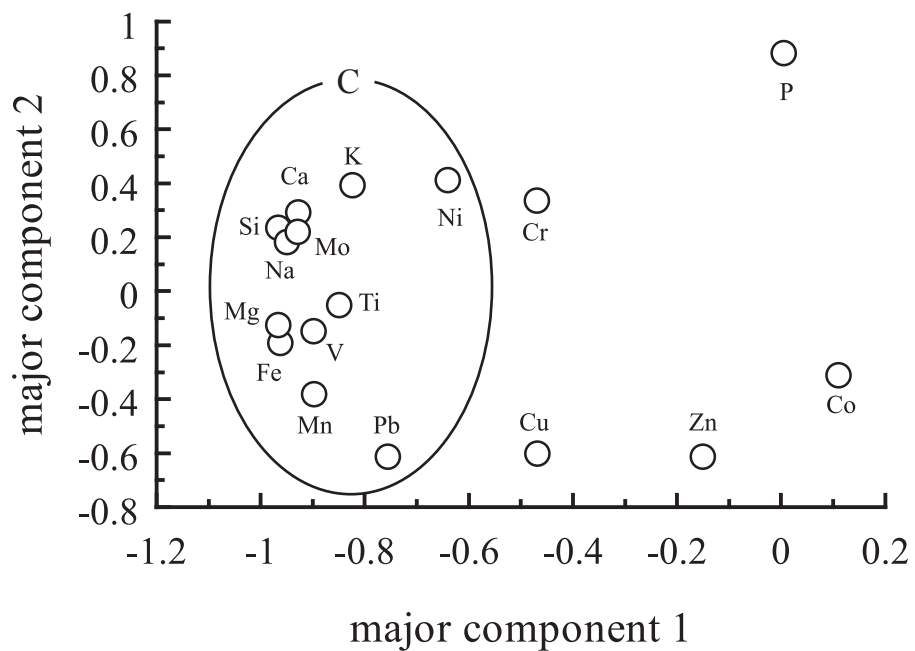
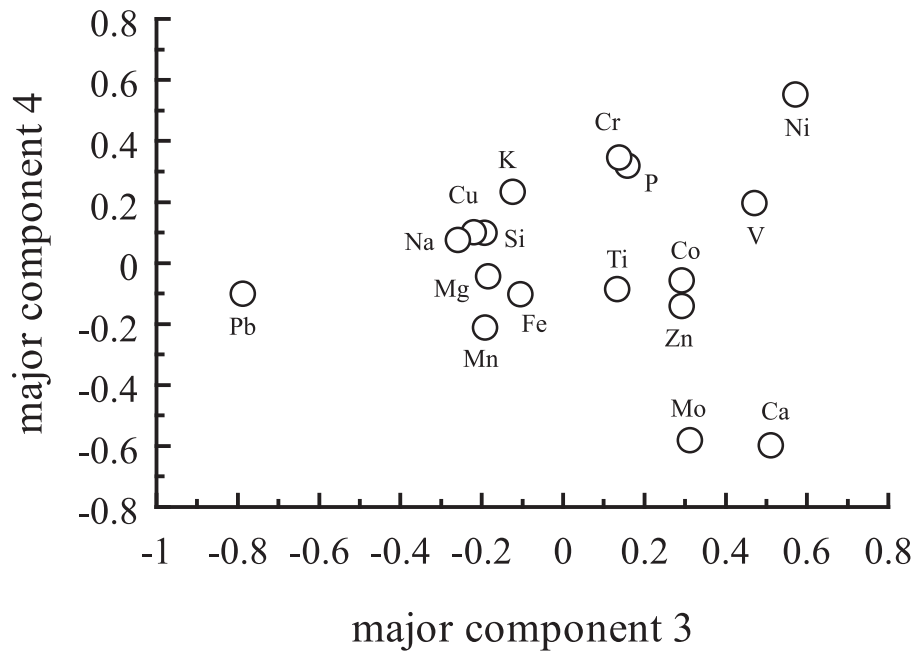


Fig.119 PCA plotted graph of base metal elements of Akagi samples.

Andosol A (Akagi)



Andosol B (Akagi)

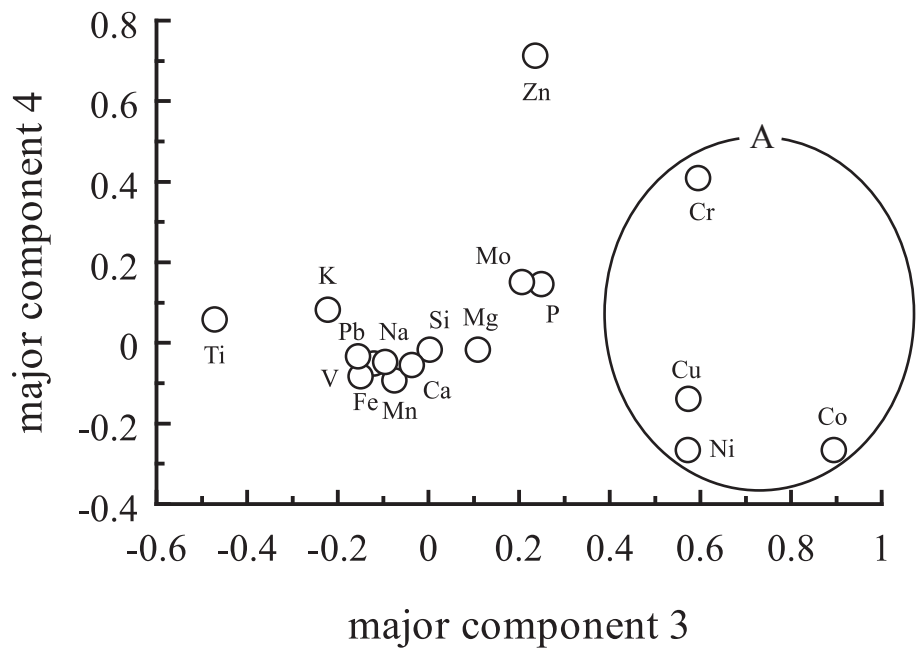
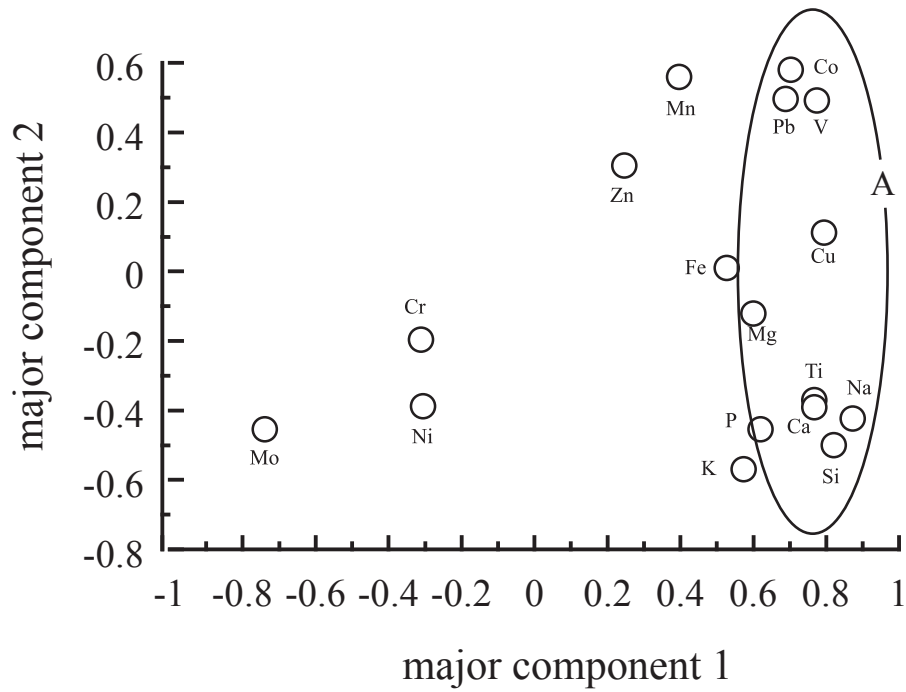


Fig.120 PCA plotted graph of base metal elements of Akagi samples.

Brown forest soil (Hachijyo Island, Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island, Andesite)

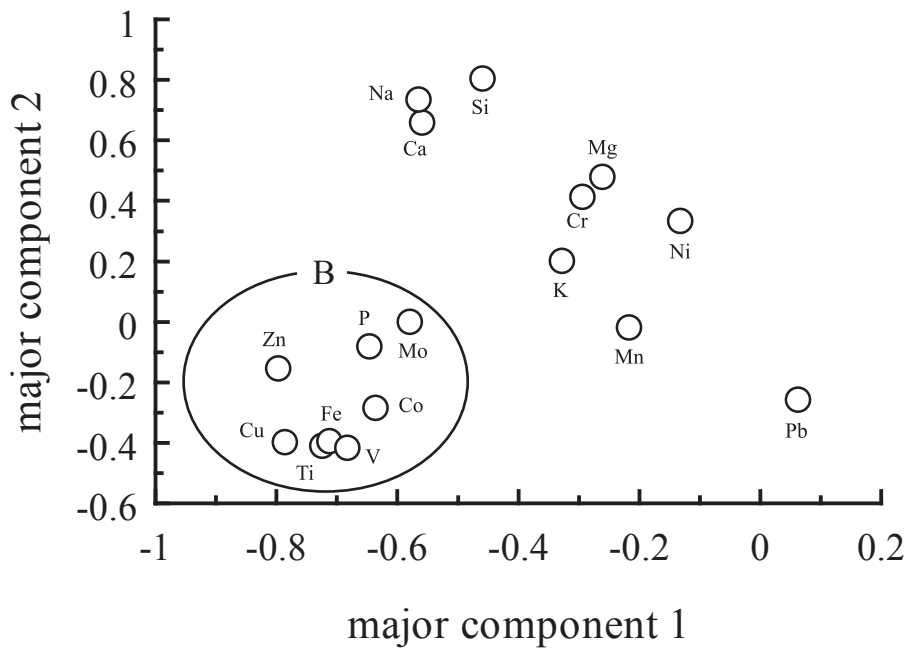
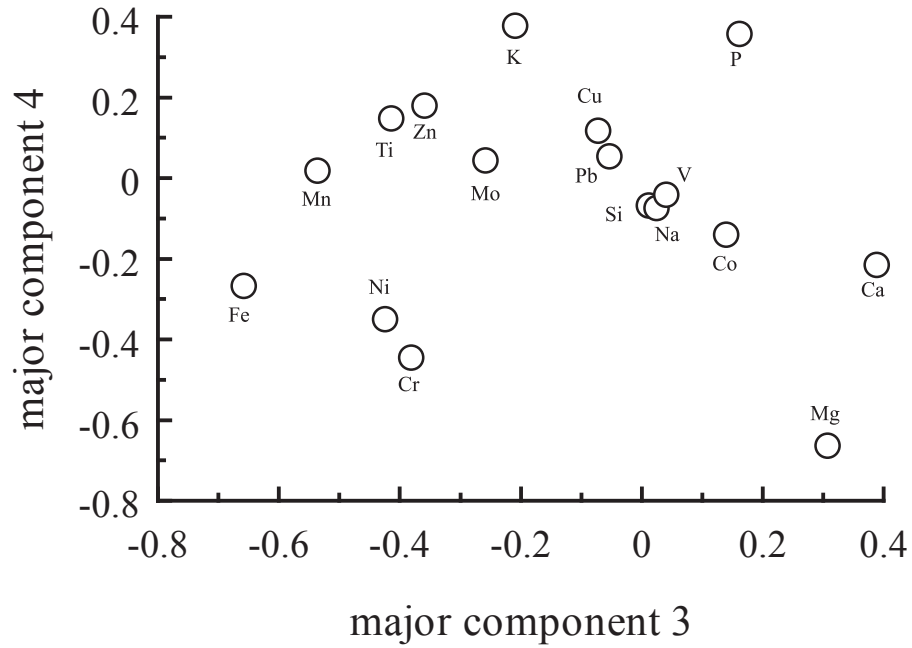


Fig.121 PCA plotted graph of base metal elements of Hachijyou Island samples.

Brown forest soil (Hachijyo Island, Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island, Andesite)

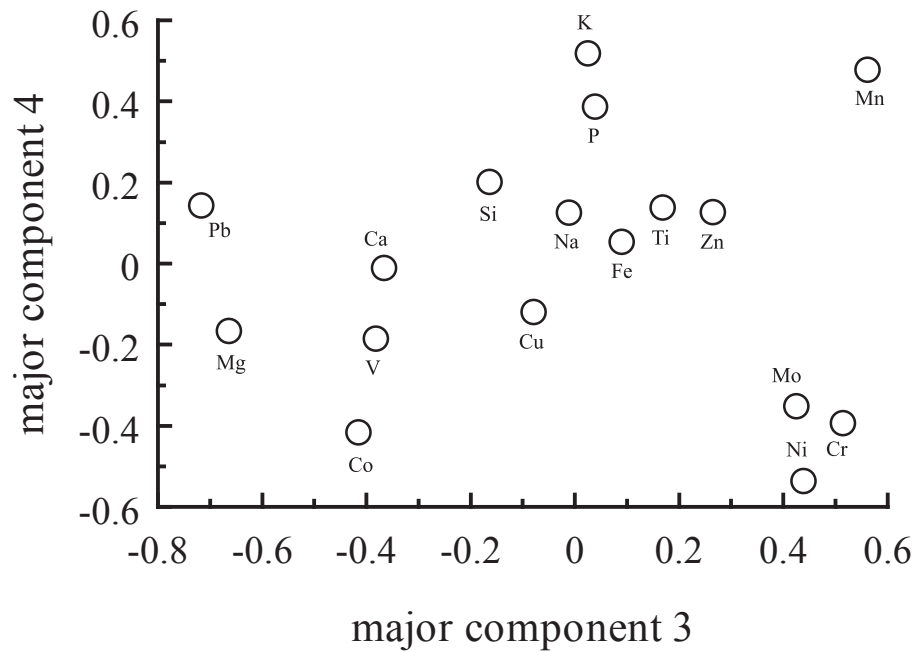
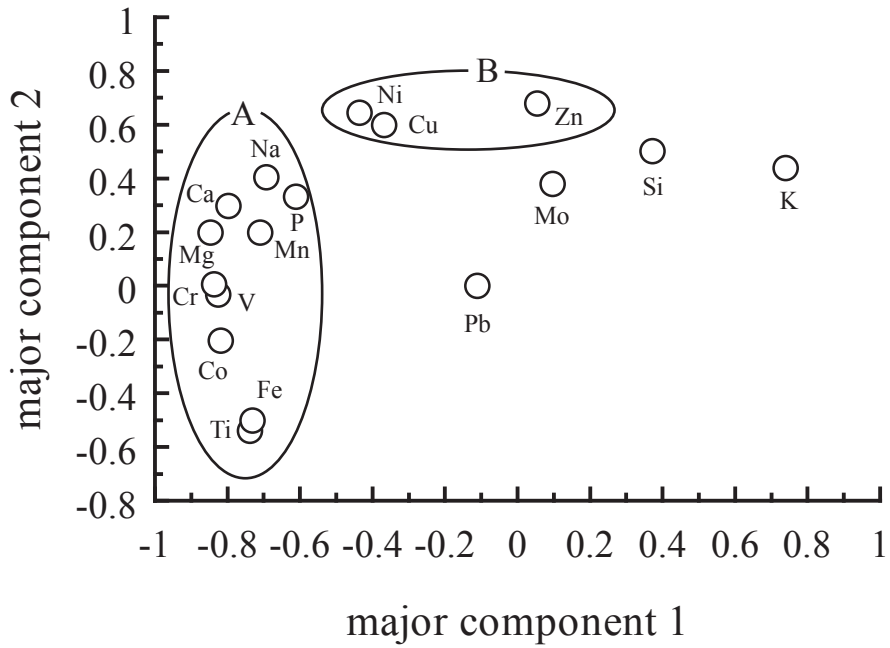


Fig.122 PCA plotted graph of base metal elements of Hachijyo Island samples.

Red-yellow soil (Acidic)



Red-yellow soil (Alkaline)

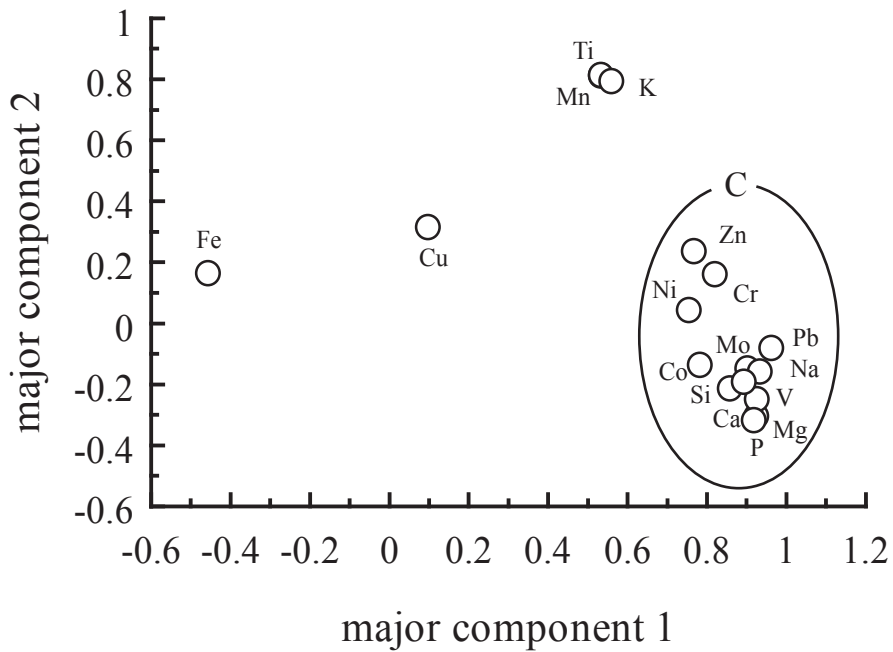


Fig.123 PCA plotted graph of base metal elements of the main island of Okinawa and Ishigaki Island samples.

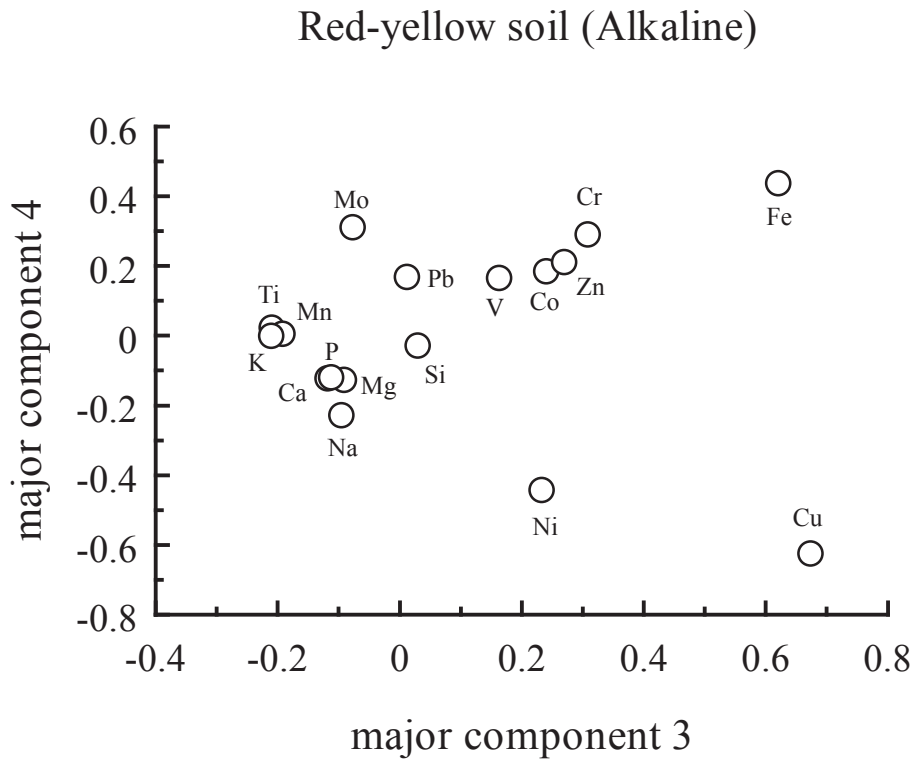
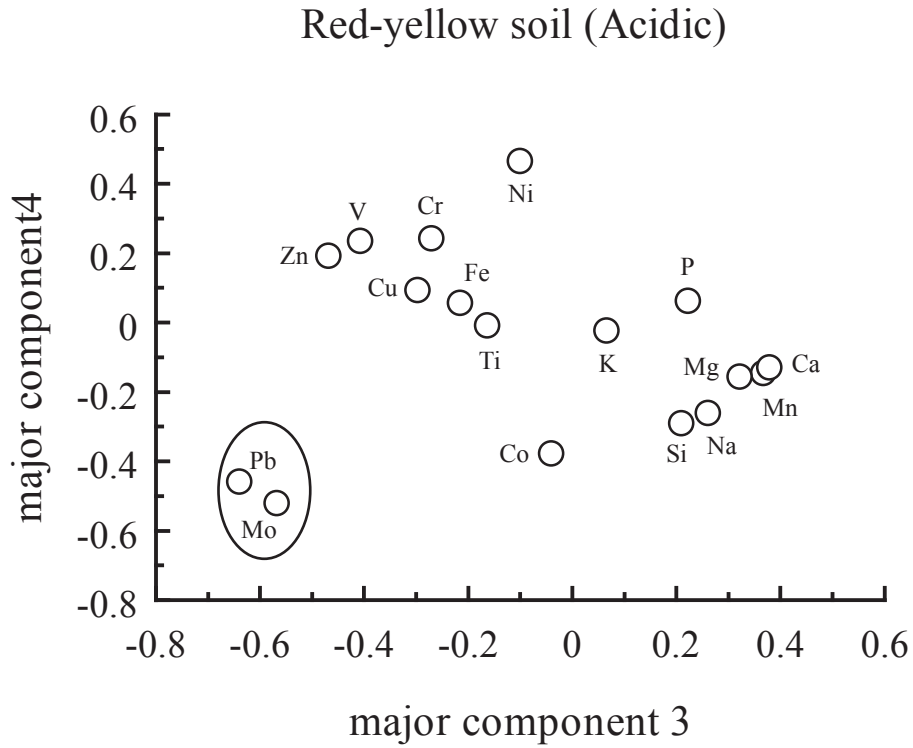
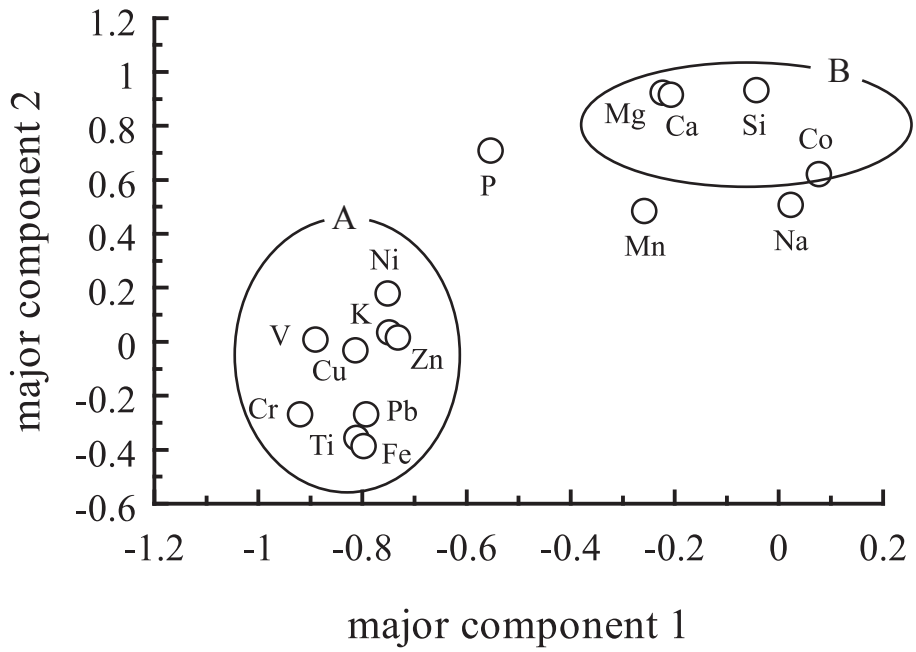


Fig.124 PCA plotted graph of base metal elements of the main island of Okinawa and Ishigaki Island samples.

Laterite (Oafu and Hawaii Island)



Laterite (Oafu and Hawaii Island)

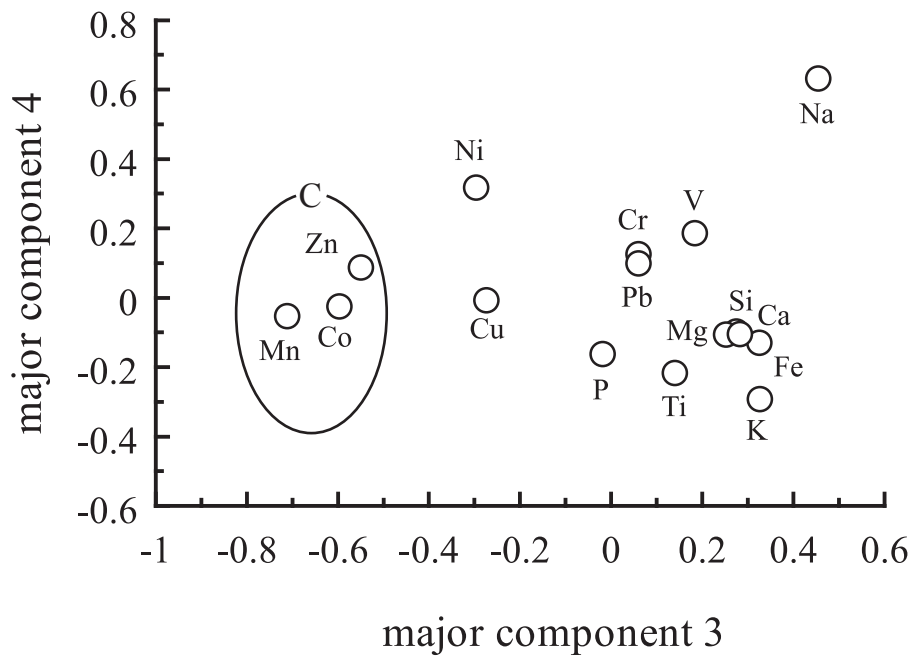


Fig.125 PCA plotted graph of base metal elements of Oahu and Hawaii Island samples.

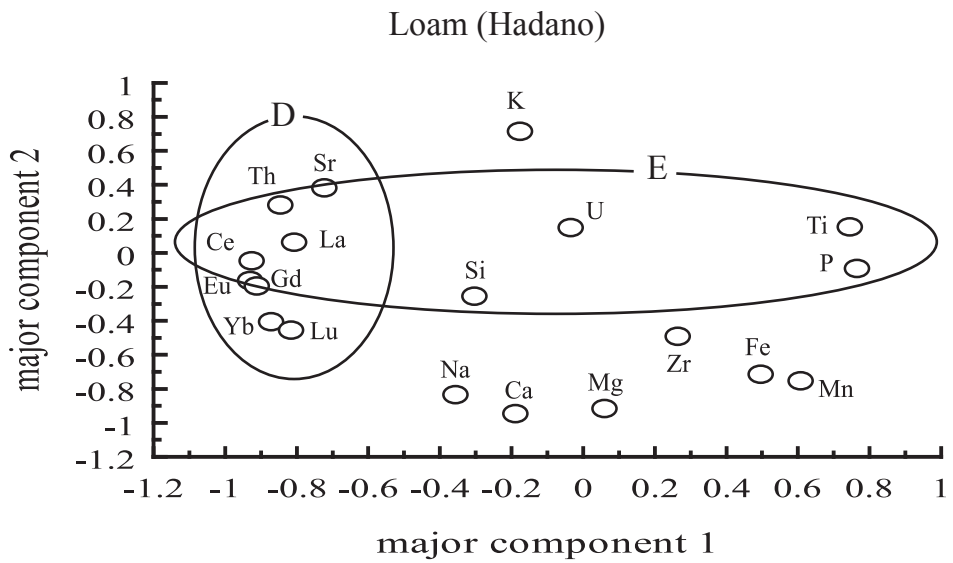
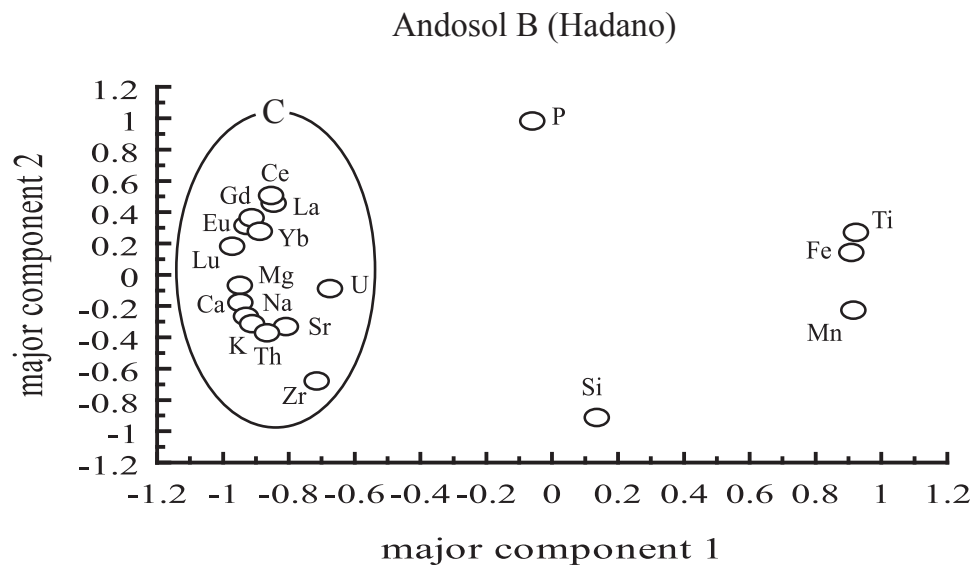
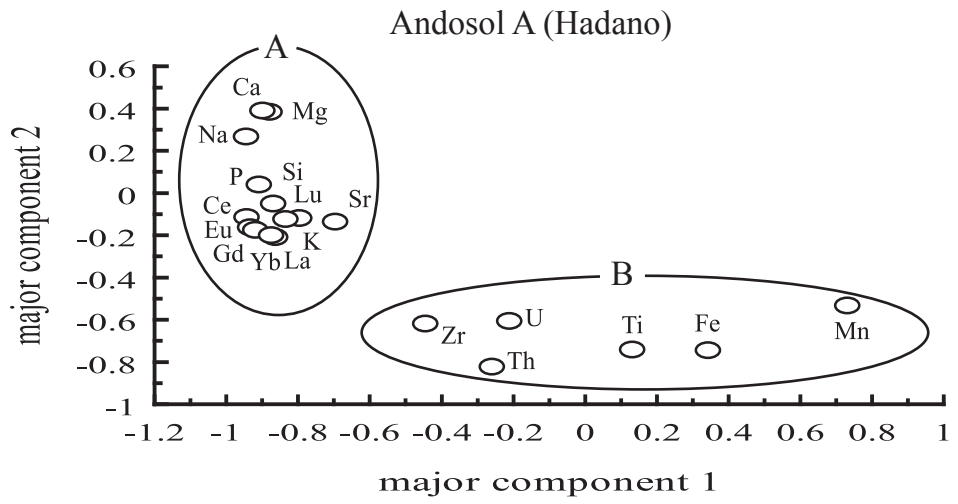


Fig.126 PCA plotted graph of minor and rare earth elements of Hadano samples

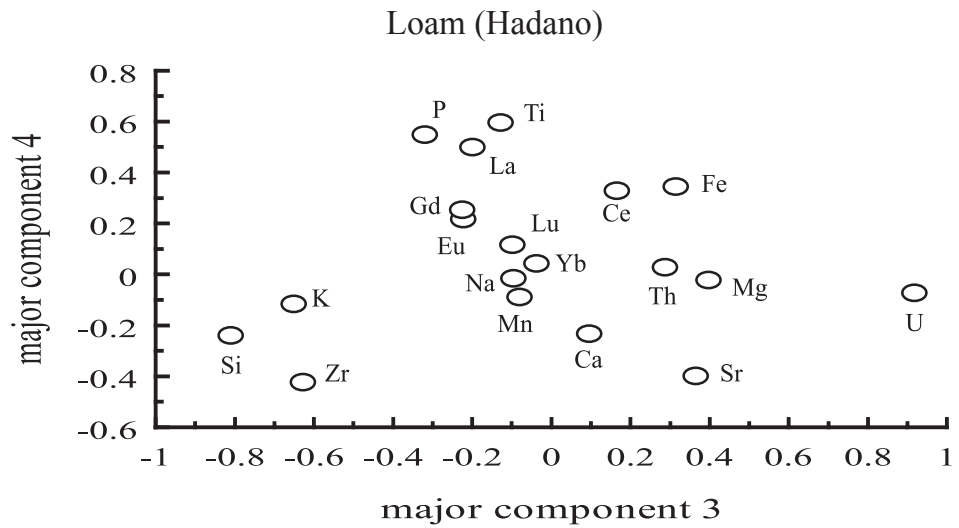
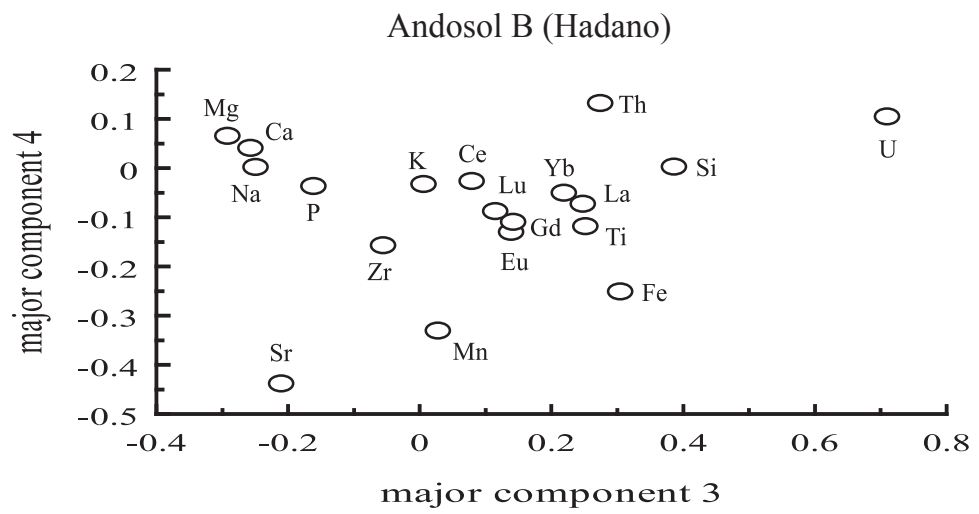
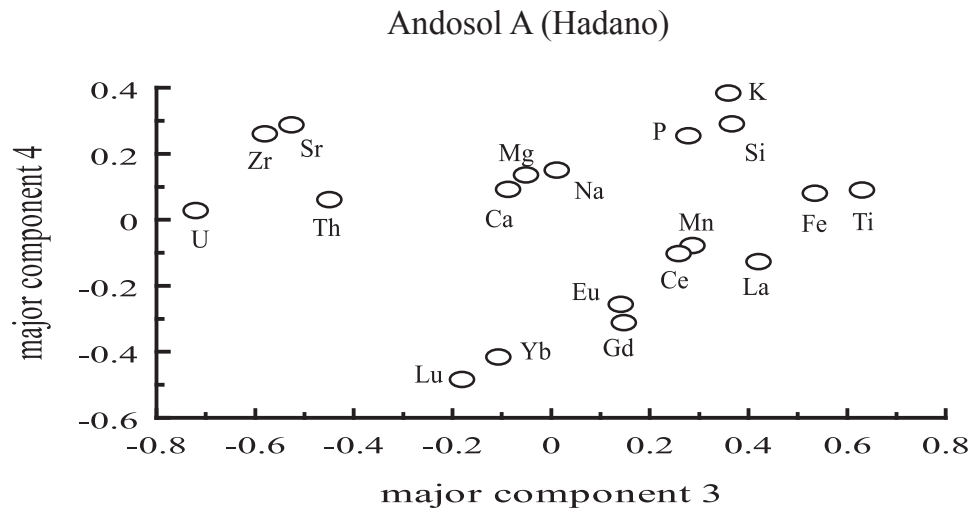


Fig.127 PCA plotted graph of minor and rare earth elements of Hadano samples.

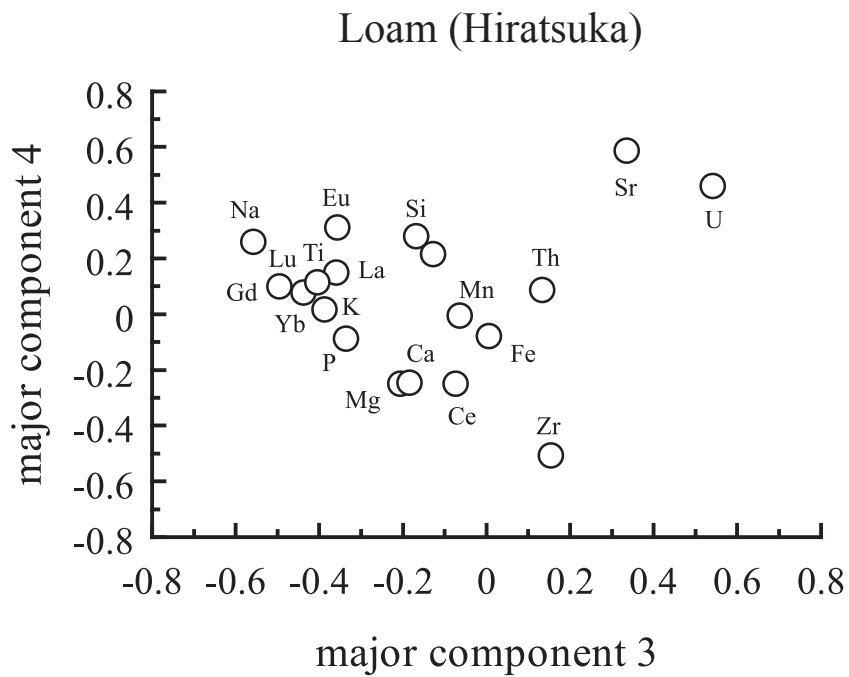
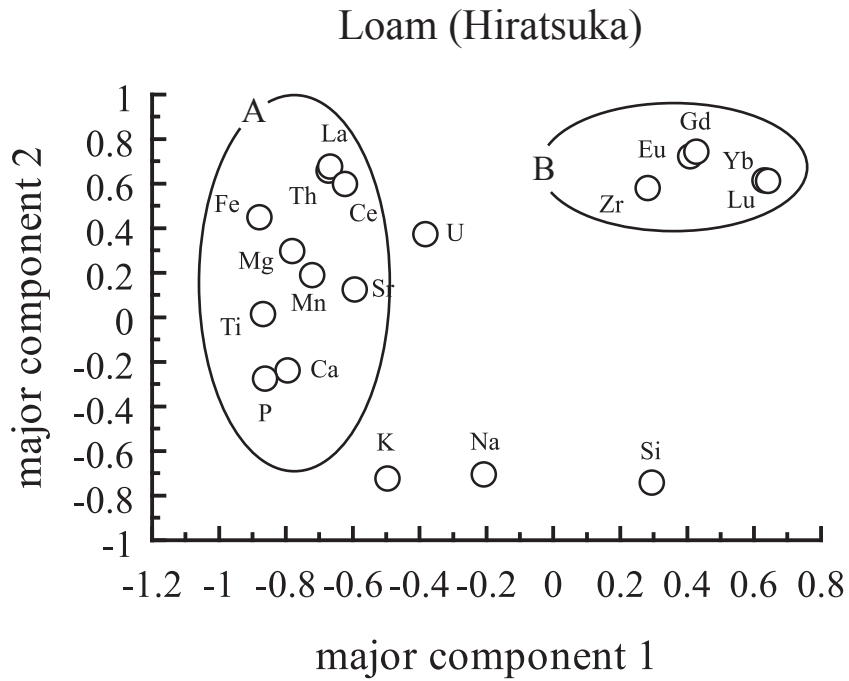
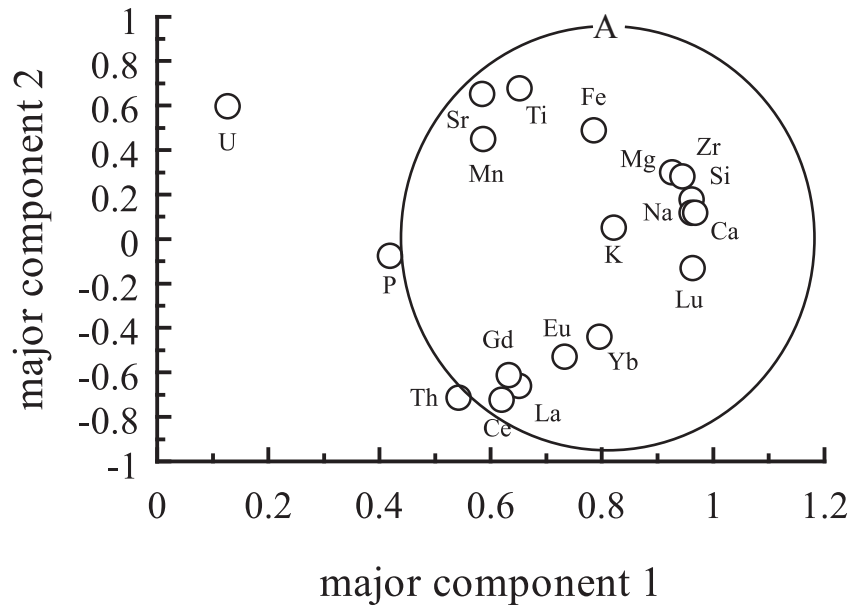


Fig.128 PCA plotted graph of minor and rare earth elements of Hiratsuka samples.

Andosol (Akagi A)



Andosol (Akagi B)

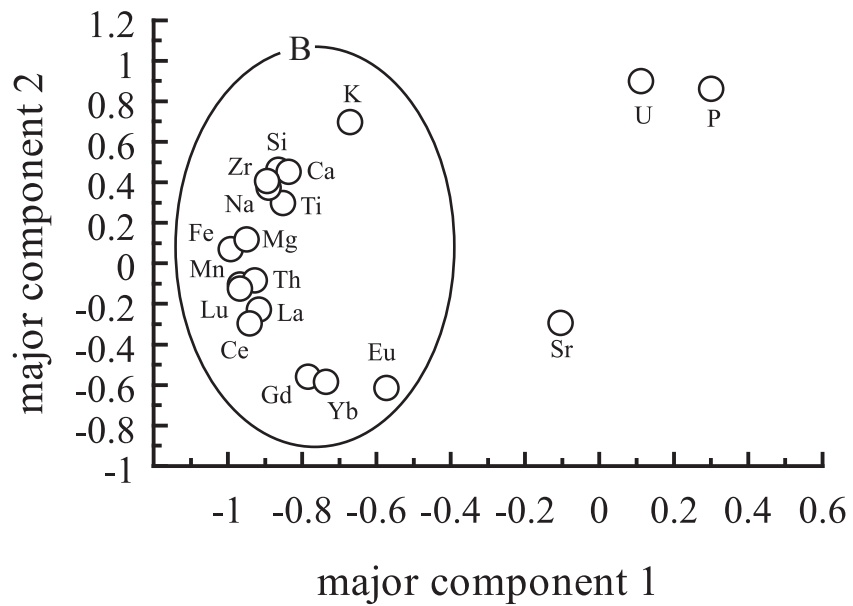
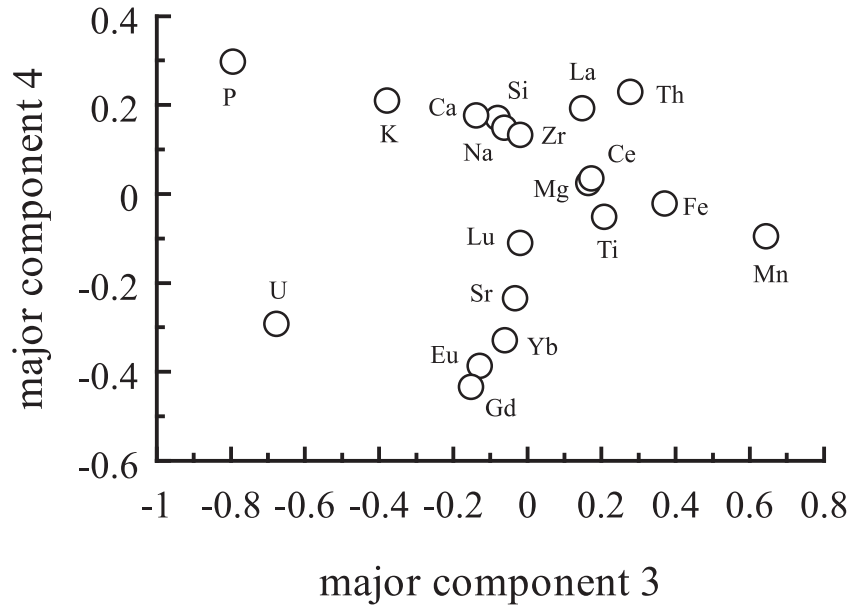


Fig.129 PCA plotted graph of minor and rare earth elements of Akagi samples.

Andosol (Akagi A)



Andosol (Akagi B)

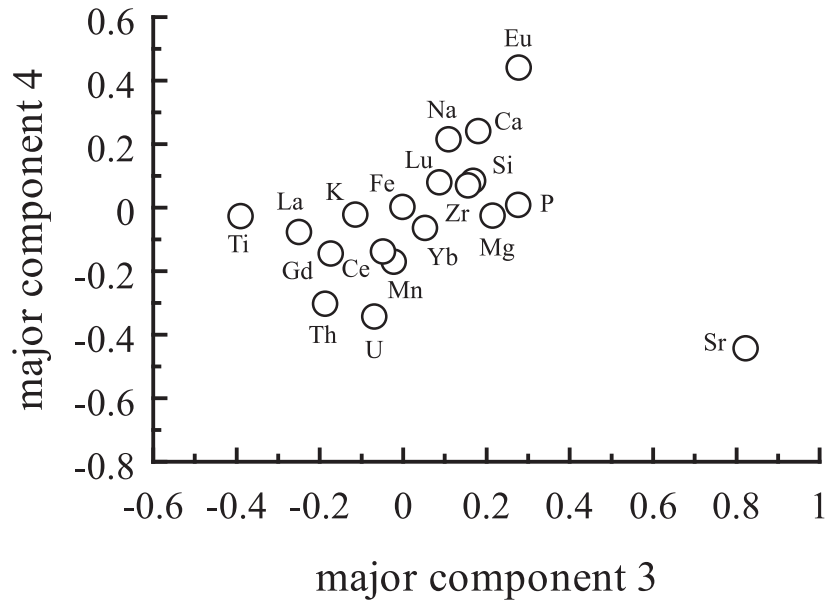
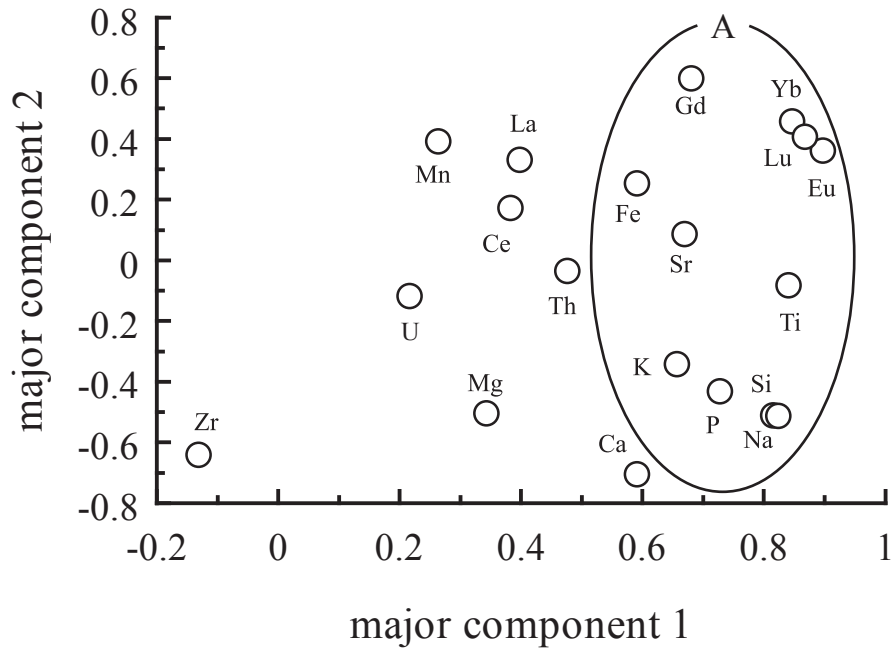


Fig.130 PCA plotted graph of minor and rare earth elements of Akagi samples.

Brown forest soil (Hachijyo Island , Basalt)



Brown forest soil(Hachijyo Island , Andesite)

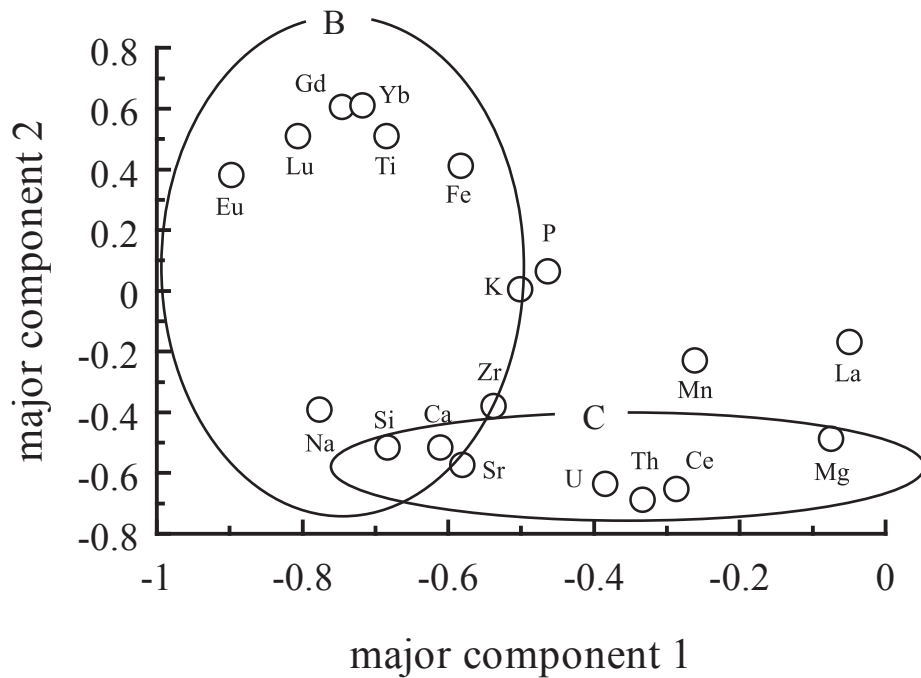
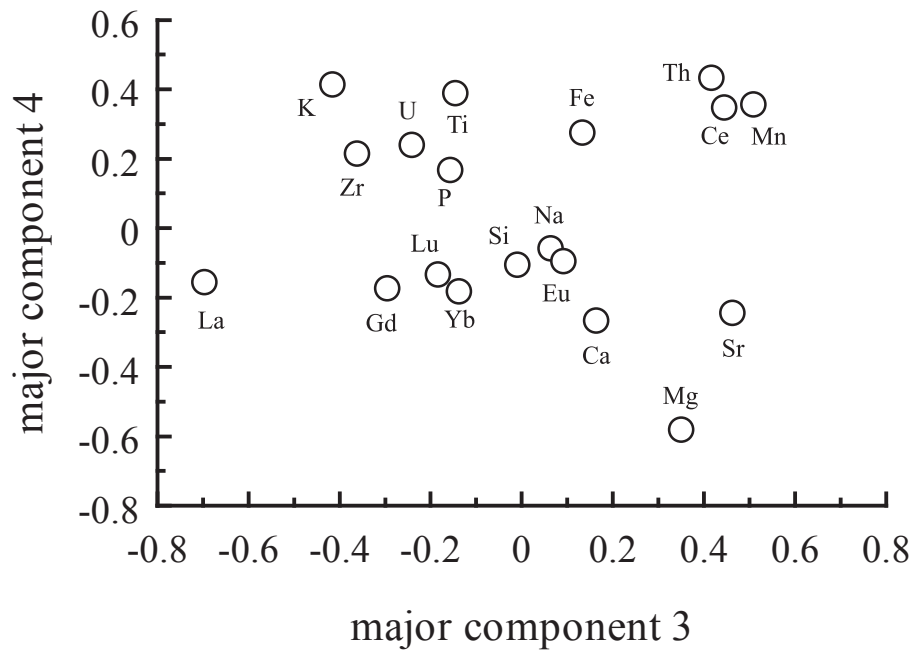


Fig.131 PCA plotted graph of minor and rare earth elements of Hachijyo Island samples.

Brown forest soil (Hachijyou Island , Basalt)



Brown forest soil (Hachijyou Island , Andesite)

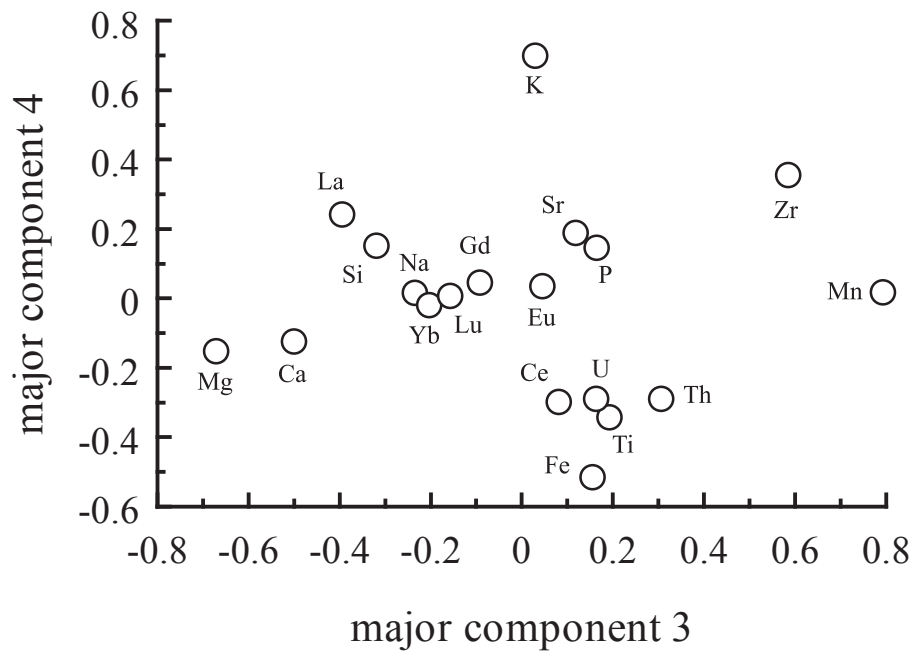
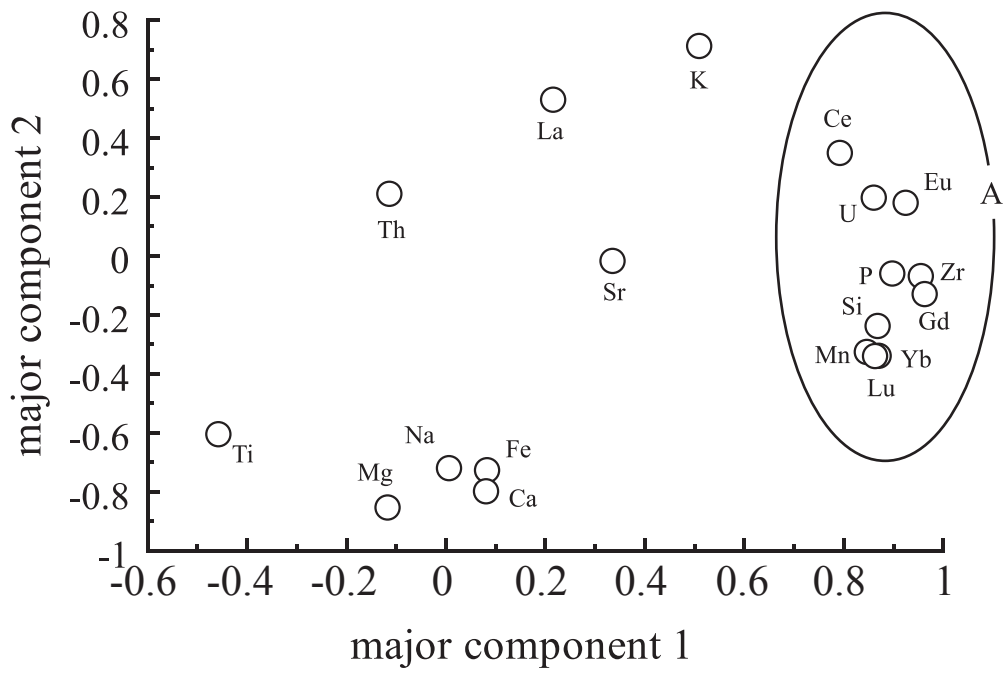


Fig.132 PCA plotted graph of minor and rare earth elements of Hachijyo Island samples.

Red-yellow soil (Acidic)



Red-yellow soil (Alkaline)

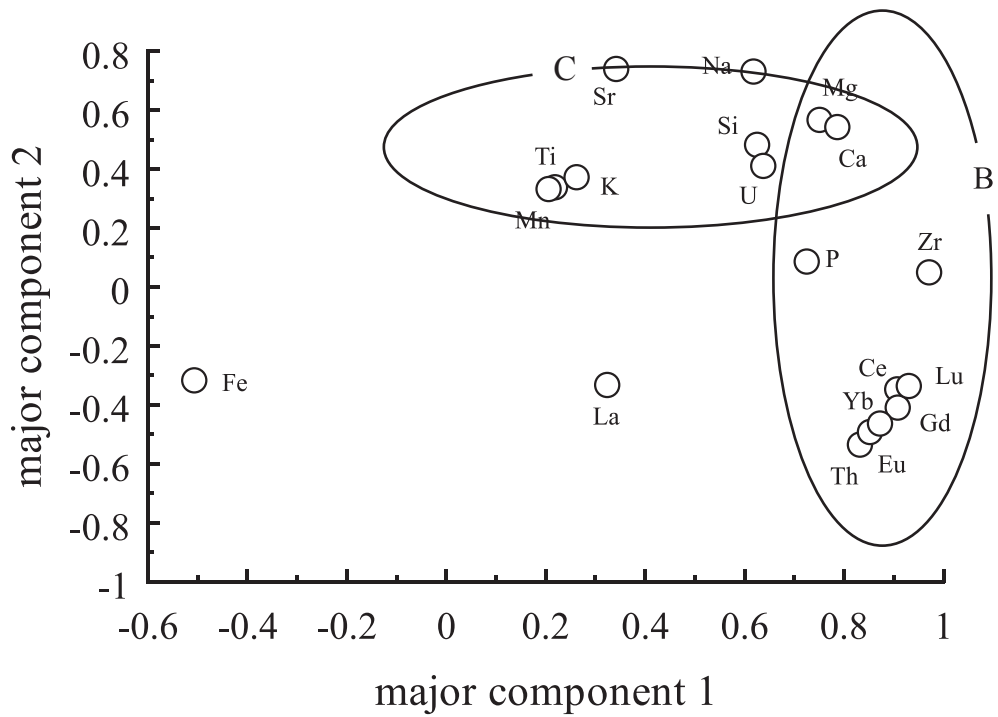


Fig.133 PCA plotted graph of minor and rare earth elements of the main island of Okinawa and Ishigaki Island samples.

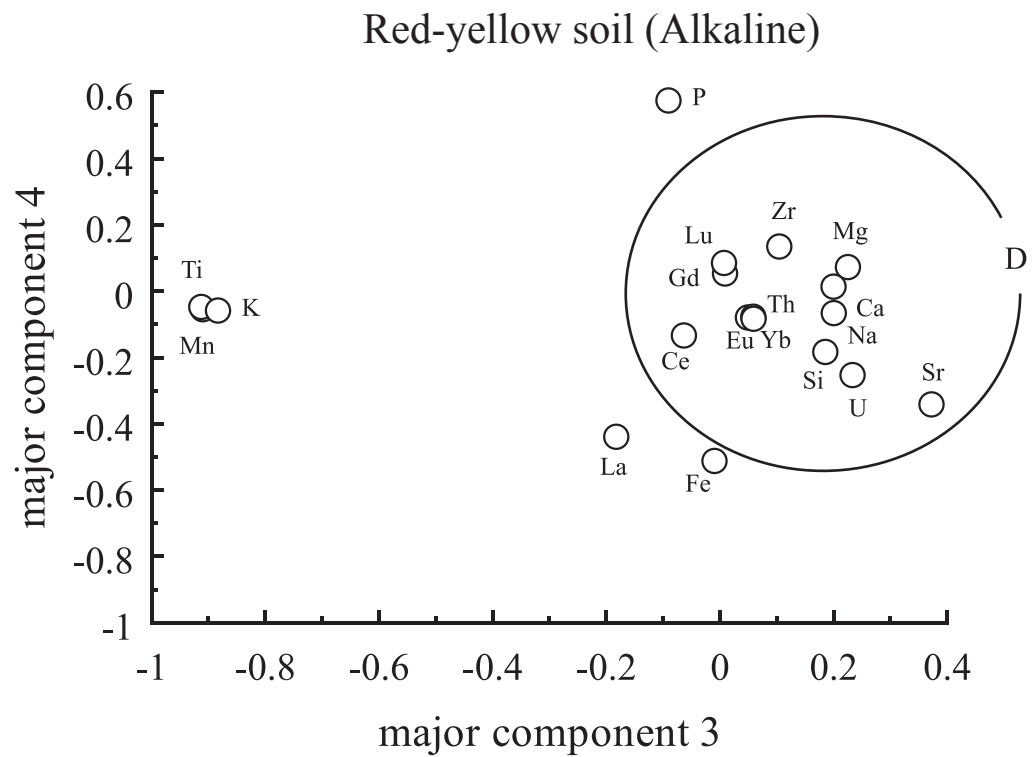
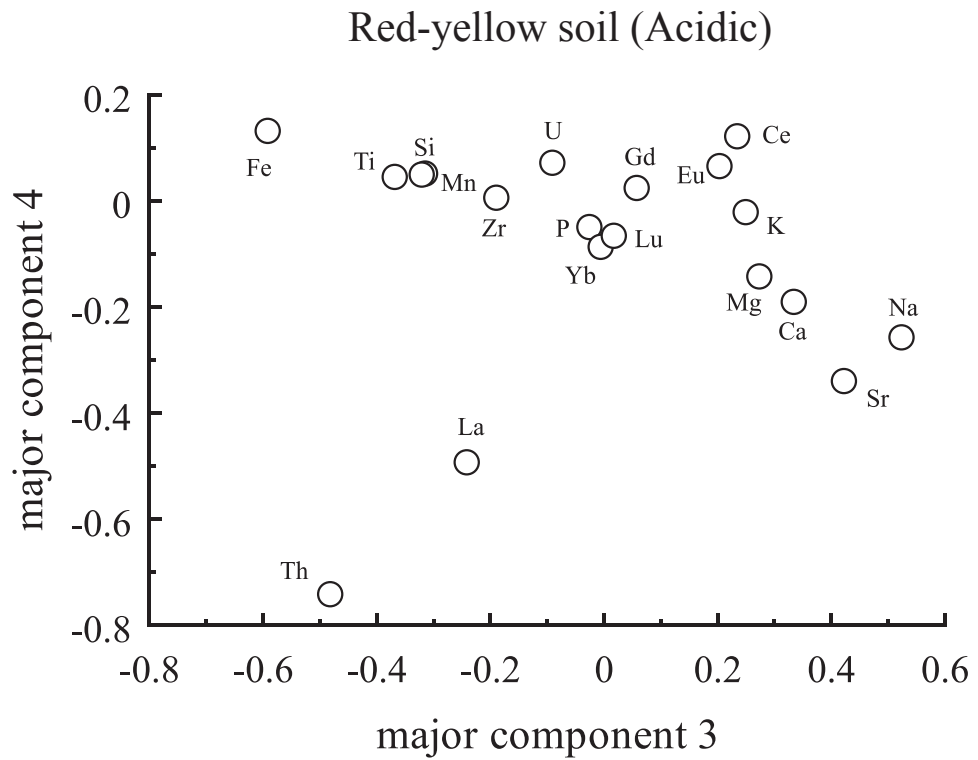


Fig.134 PCA plotted graph of minor and rare earth elements of the main island of Okinawa and Ishigaki Island samples.

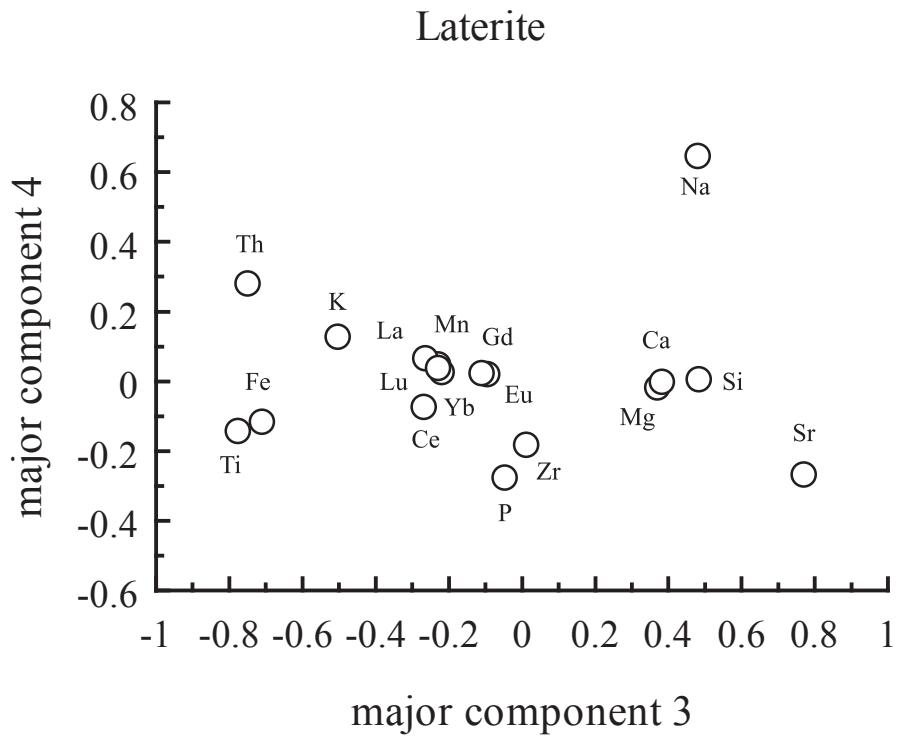
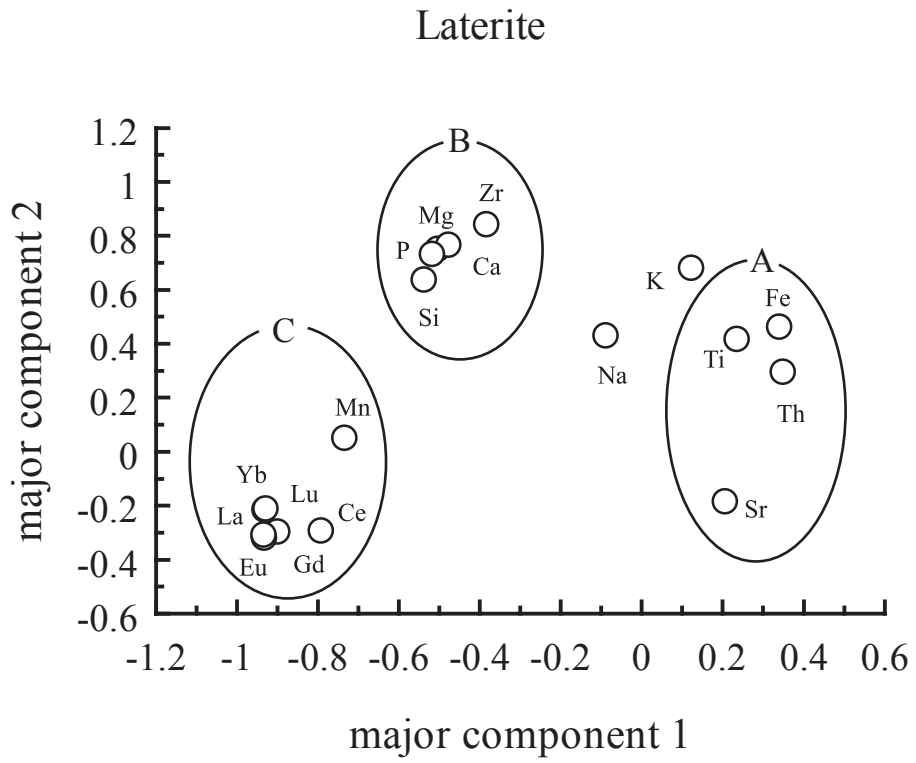


Fig.135 PCA plotted graph of minor and rare earth elements of Oahu and Hawaii Island samples.

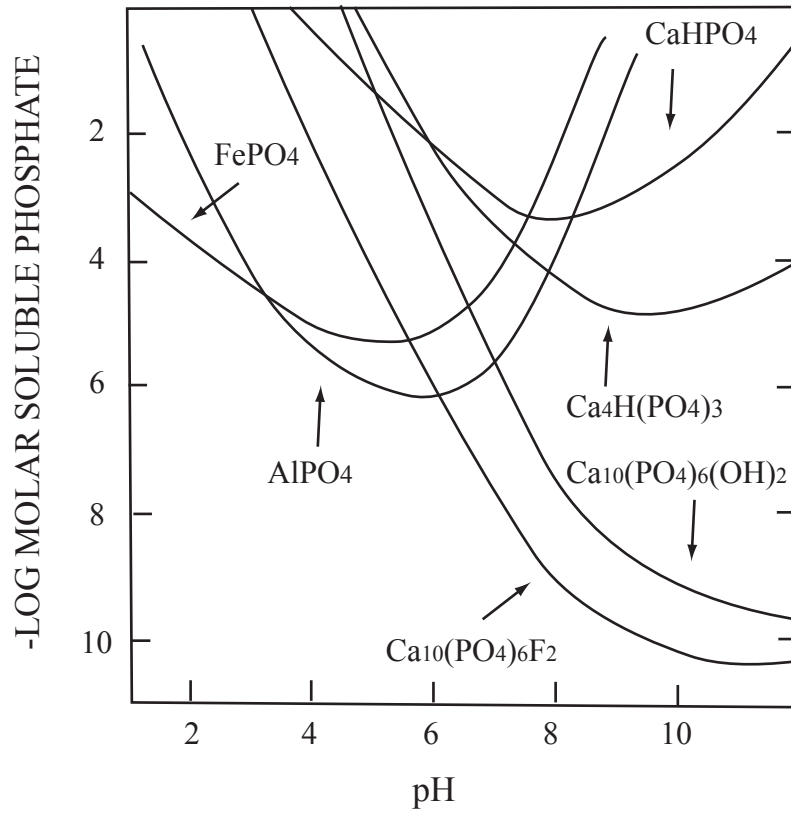


Fig.136 pH depended of solubility of the metal phosphates.
(Stumm and Morgan 1996)

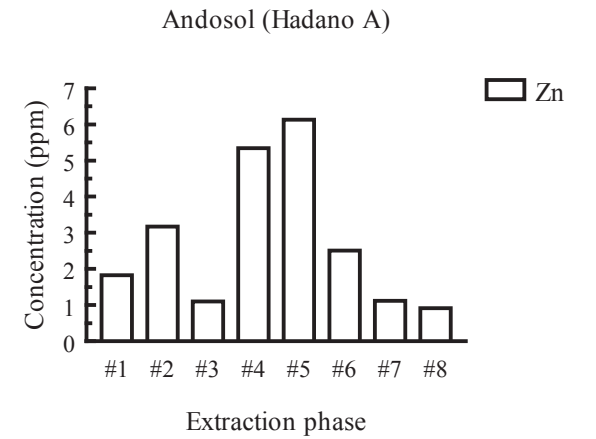
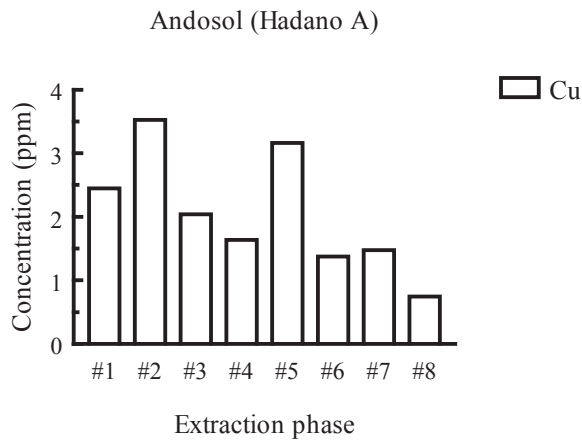
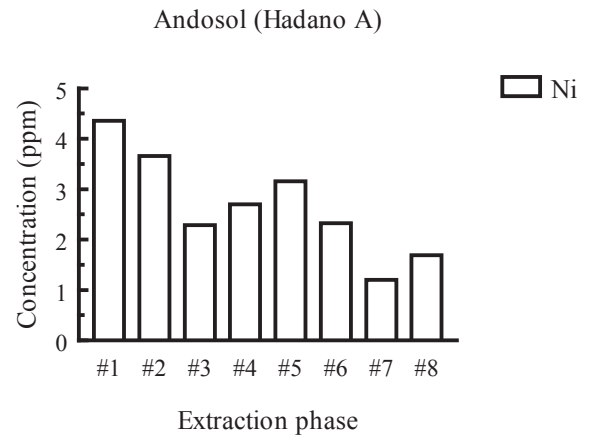
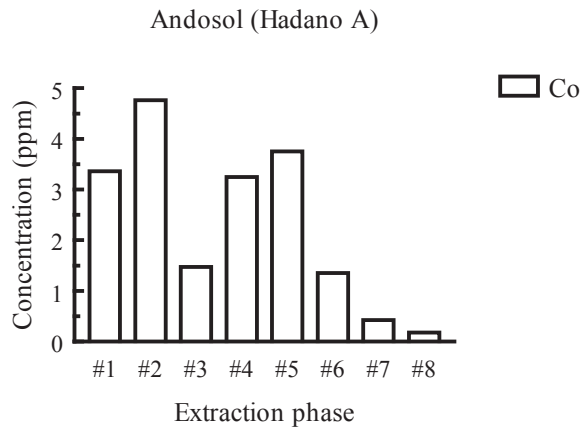


Fig.137 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (Co, Ni, Cu and Zn) in andosol (Hadano A).

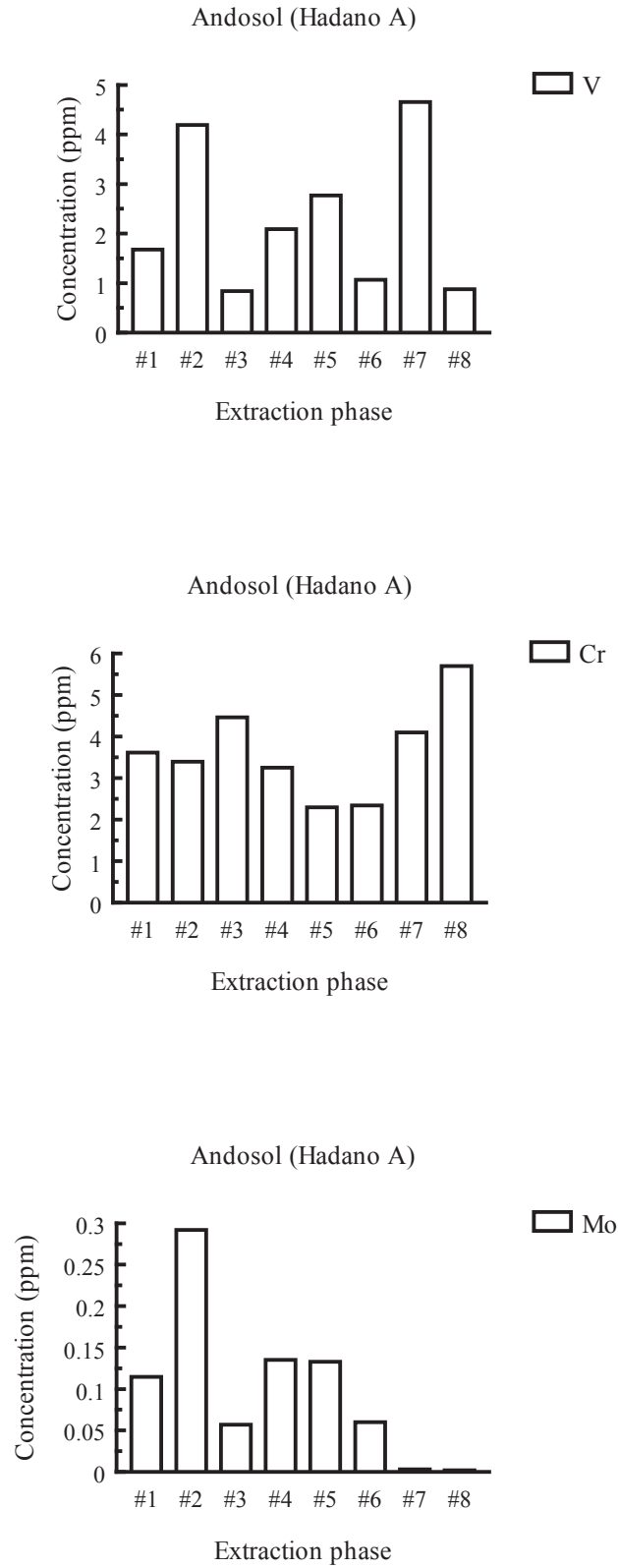


Fig.138 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (V, Cr and Mo) in andosol (Hadano A).

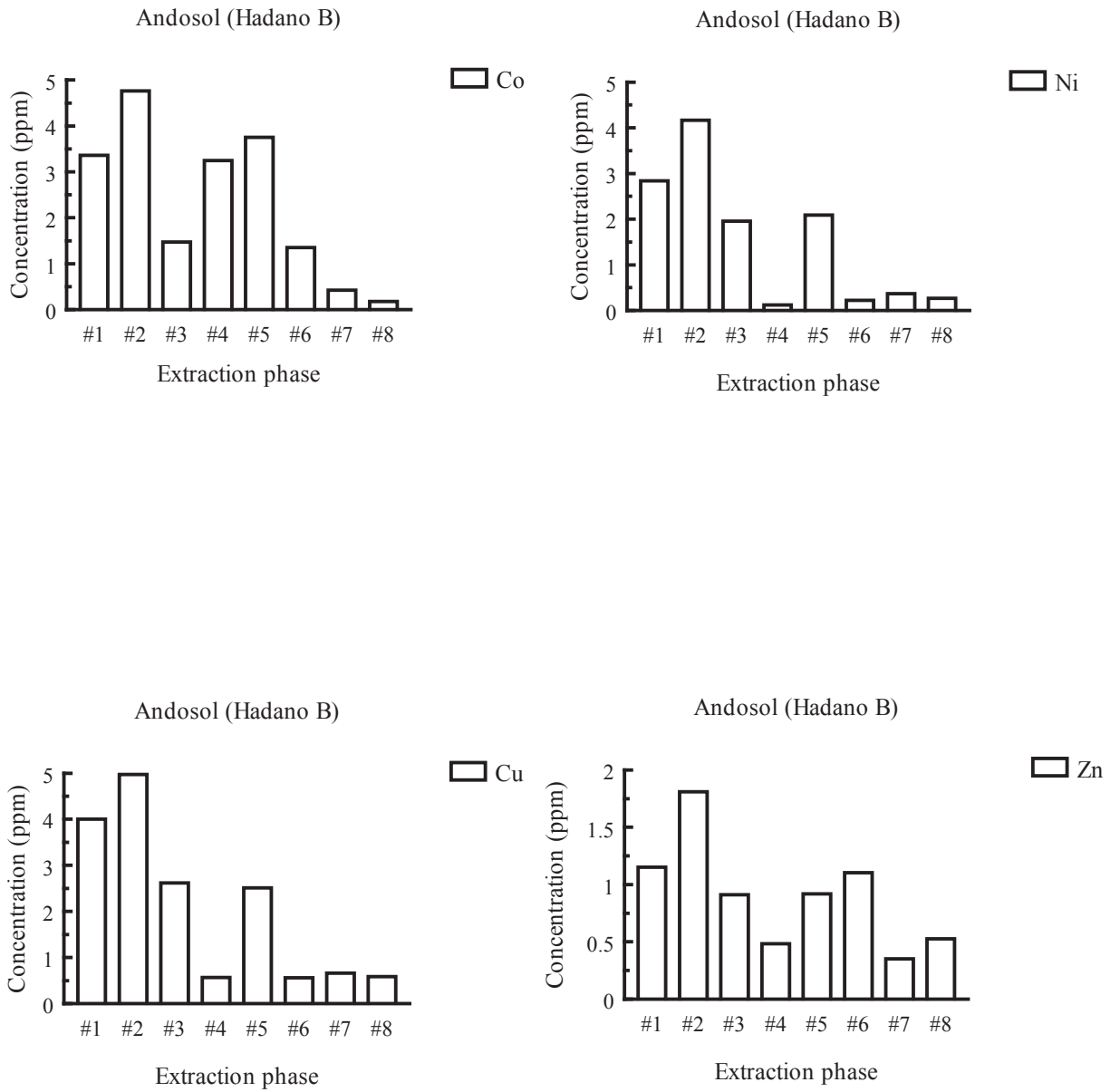


Fig.139 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (Co, Ni, Cu and Zn) in andosol (Hadano B).

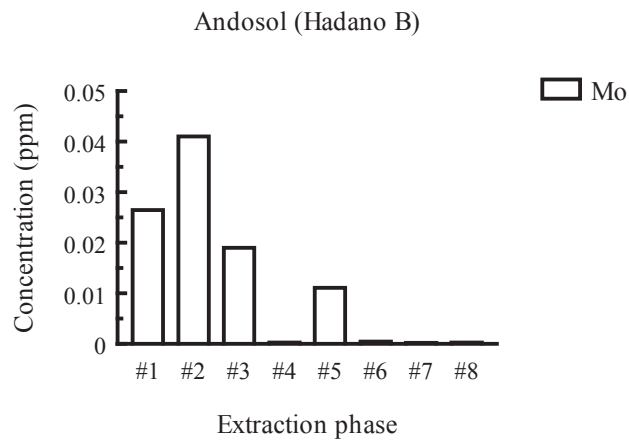
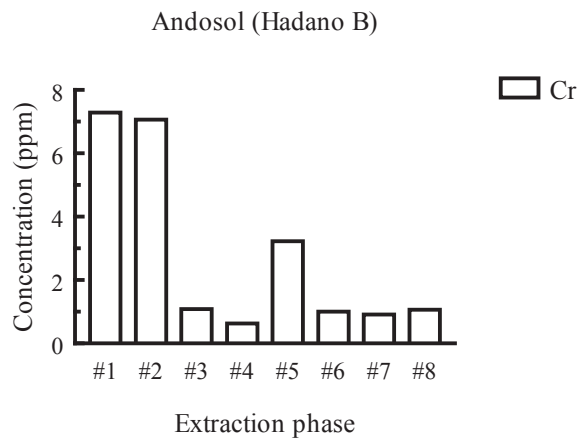
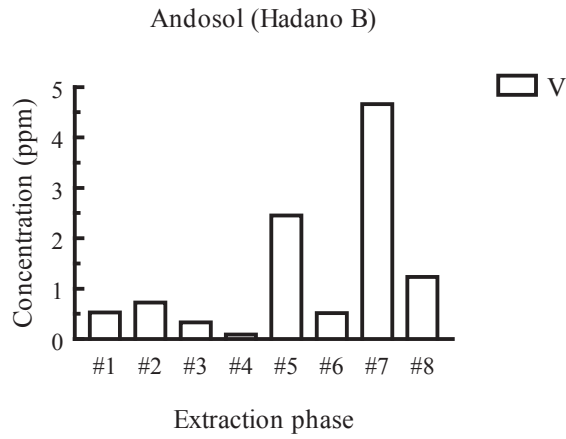


Fig.140 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (V, Cr and Mo) in andosol (Hadano B).

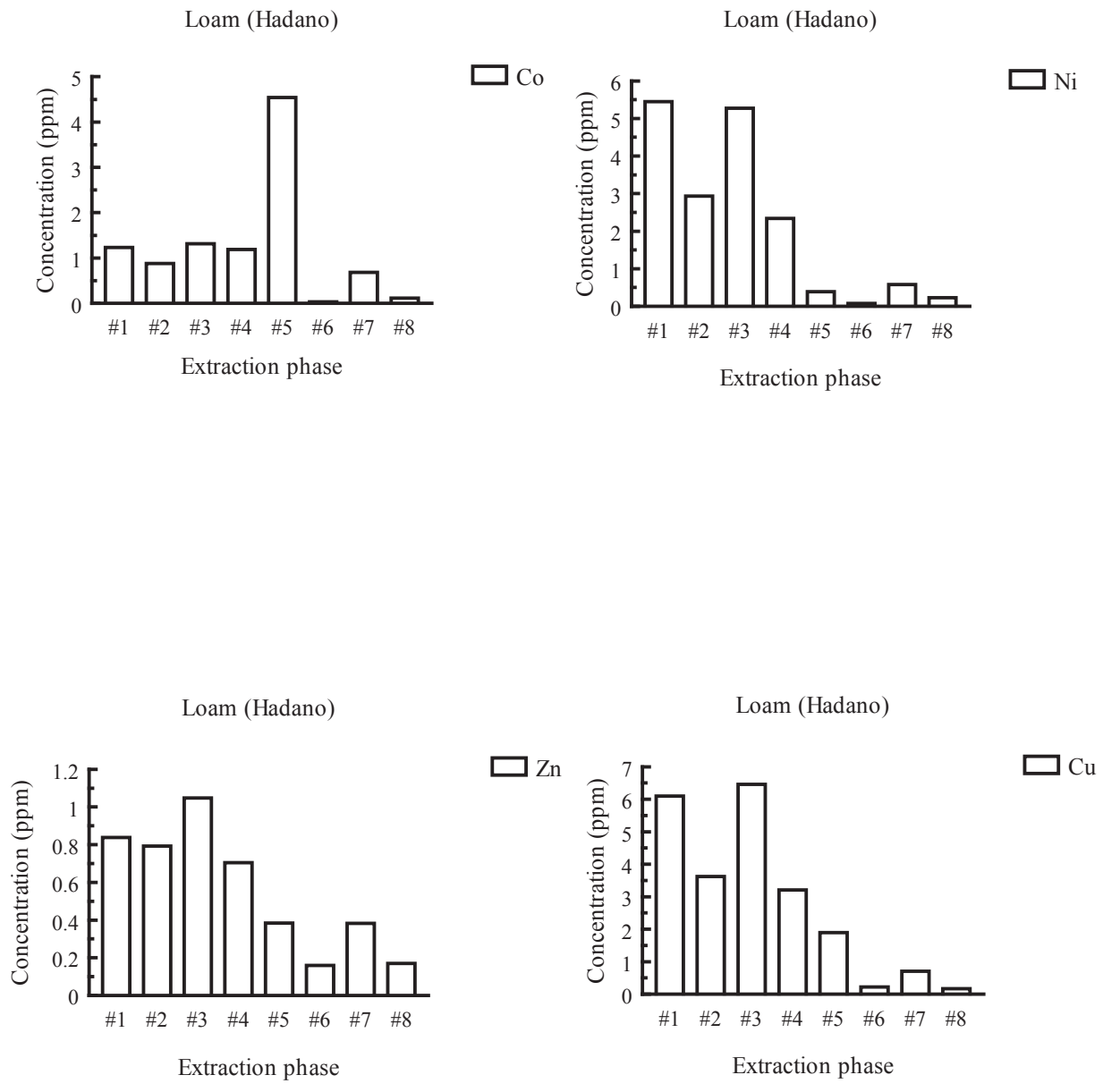


Fig.141 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (Co, Ni, Cu and Zn) in loam (Hadano).

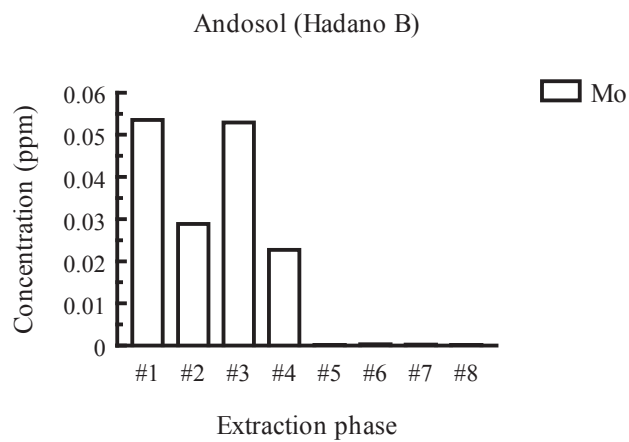
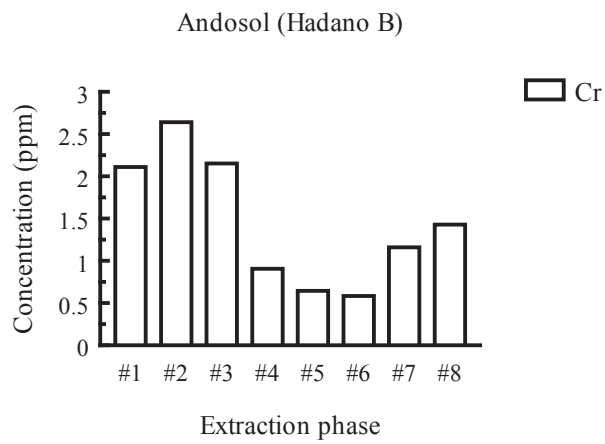
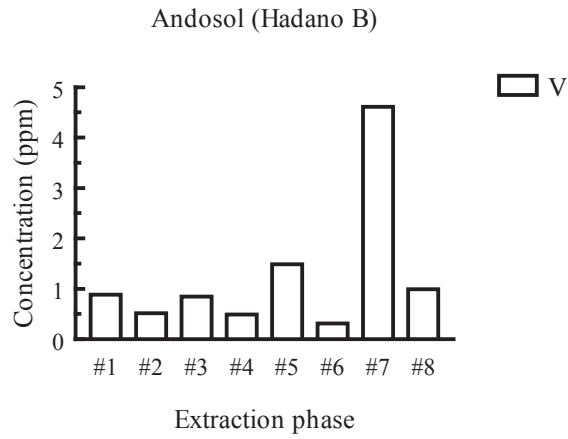


Fig.142 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (V, Cr and Mo) in loam (Hadano).

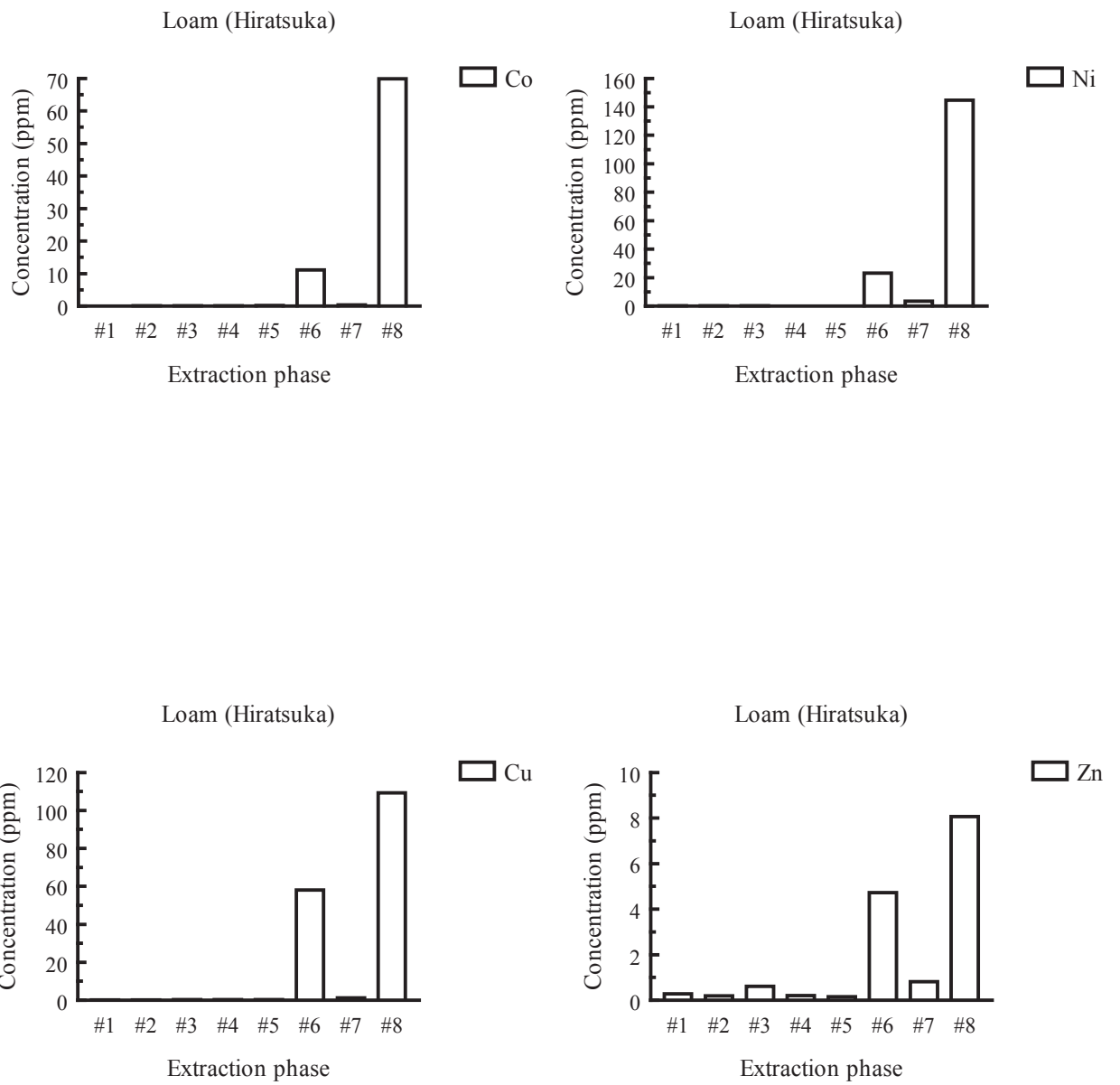


Fig.143 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (Co, Ni, Cu and Zn) in loam (Hiratsuka).

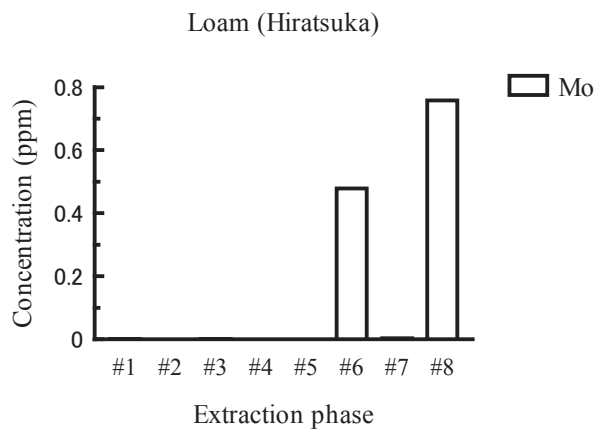
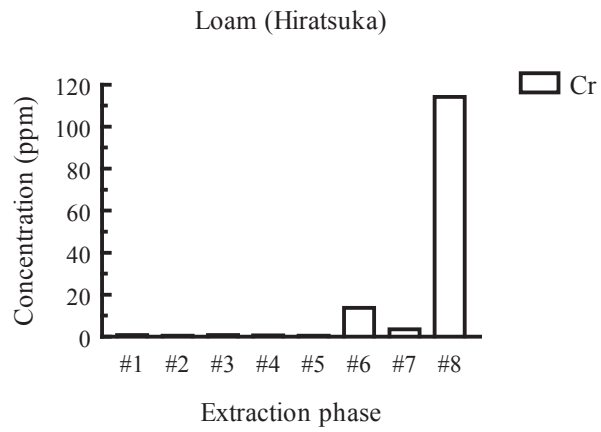
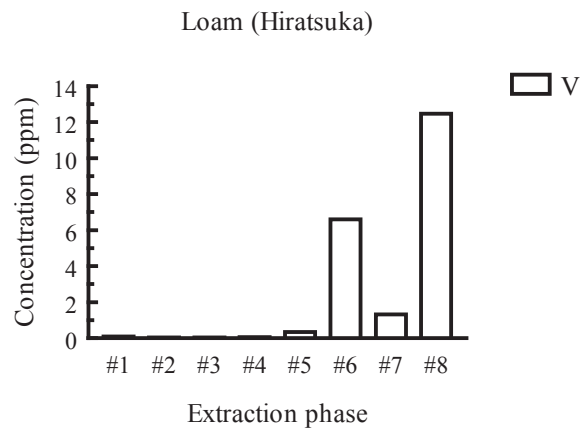


Fig.144 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (V, Cr and Mo) in loam (Hiratsuka).

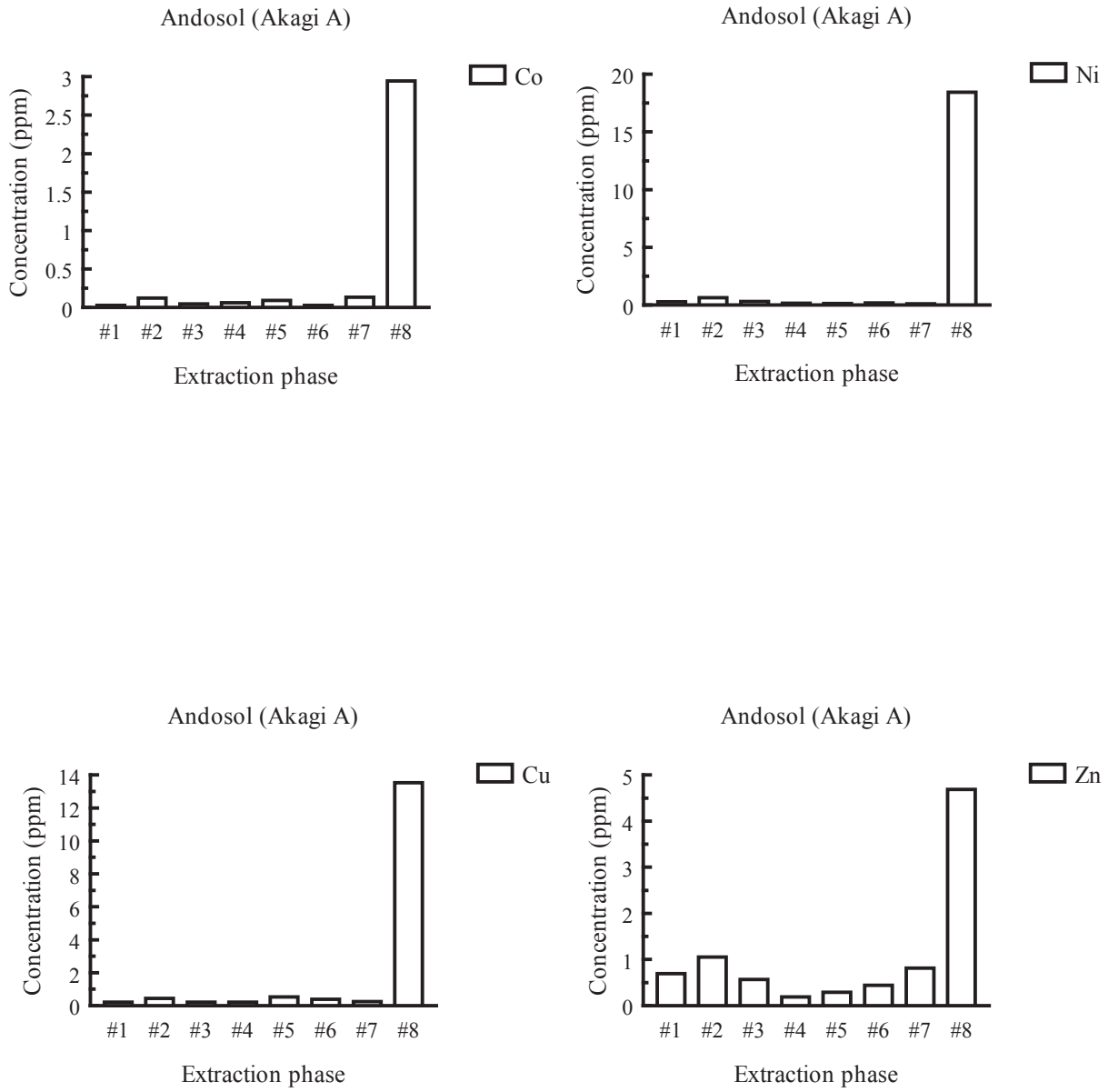


Fig.145 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (Co, Ni, Cu and Zn) in andosol (Akagi A).

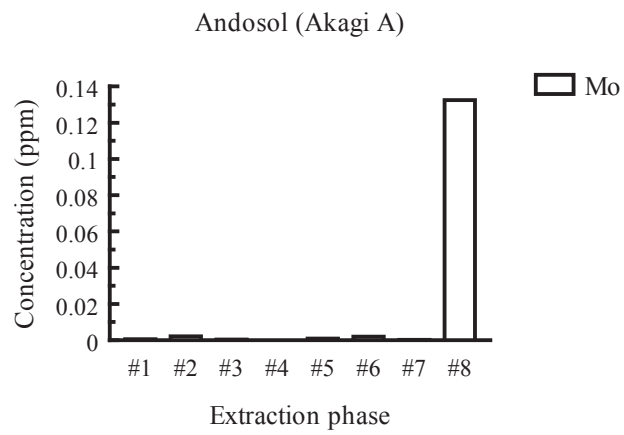
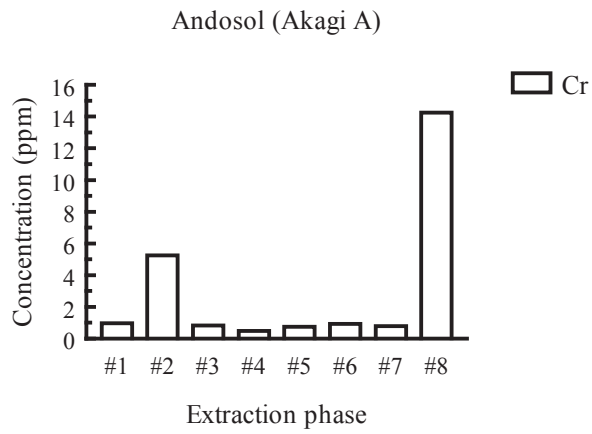
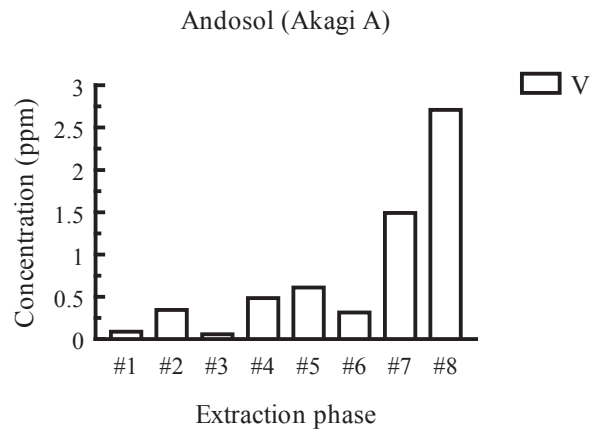


Fig.146 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (V, Cr and Mo) in andosol (Akagi A).

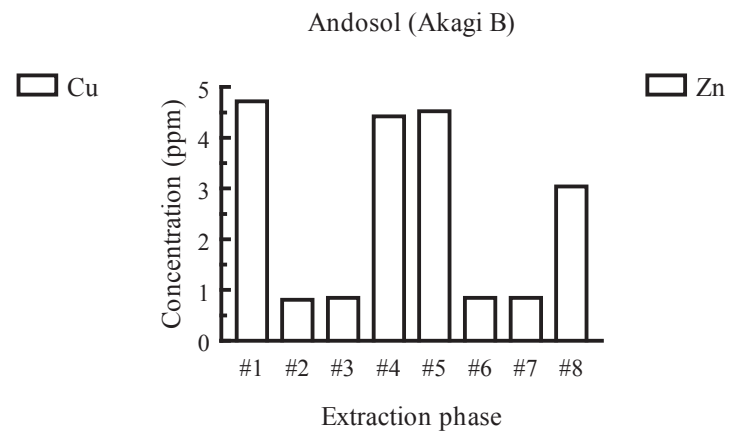
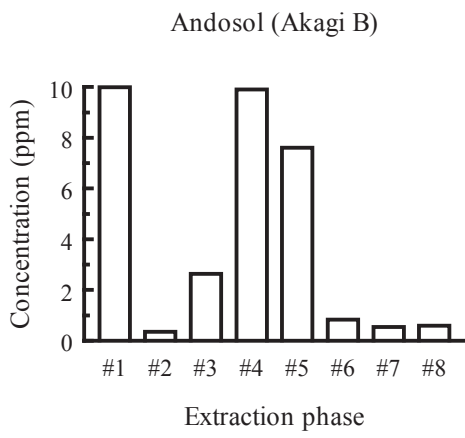
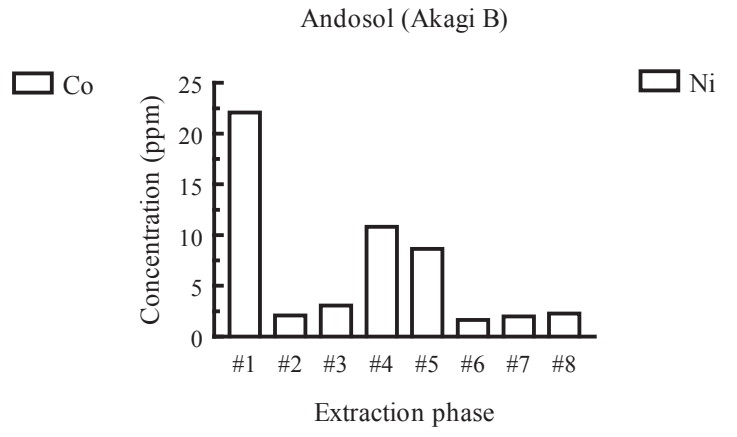
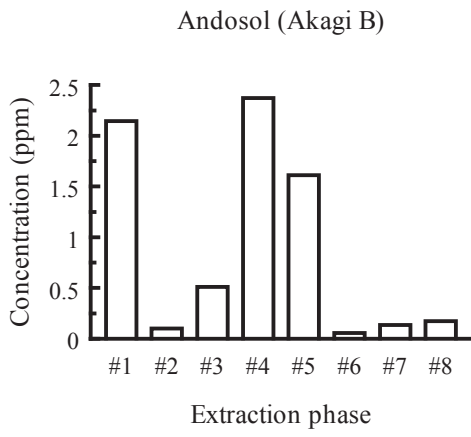


Fig.147 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (Co, Ni, Cu and Zn) in andosol (Akagi B).

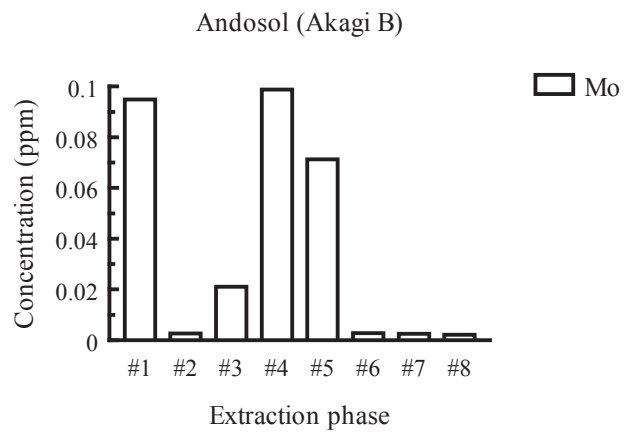
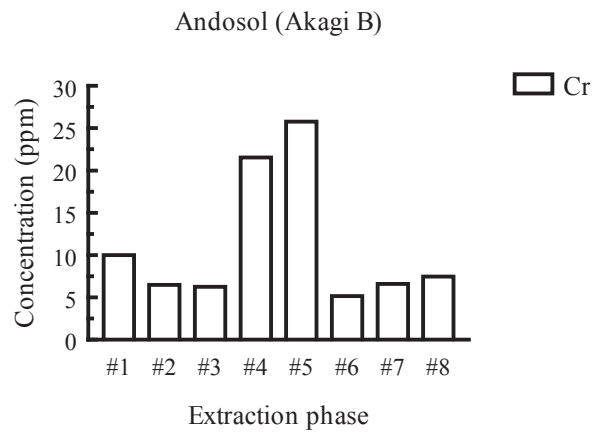
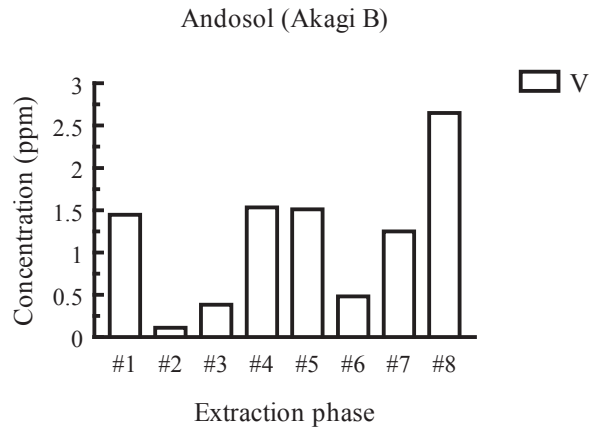


Fig.148 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (V, Cr and Mo) in andosol (Akagi B).

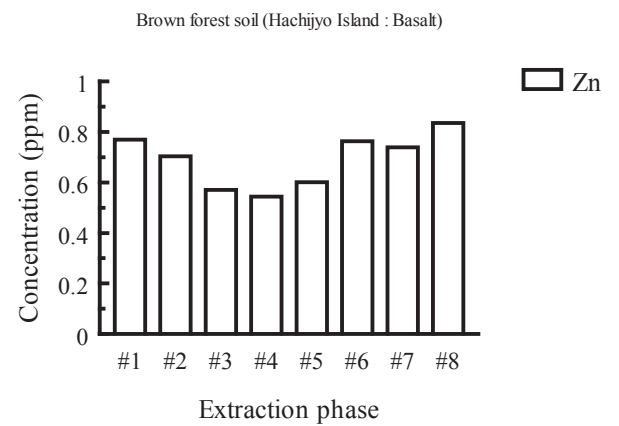
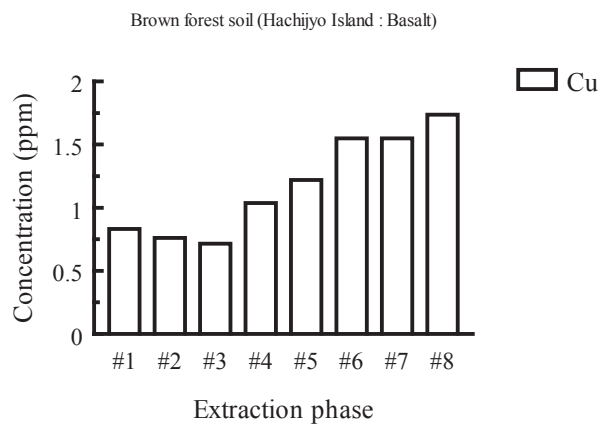
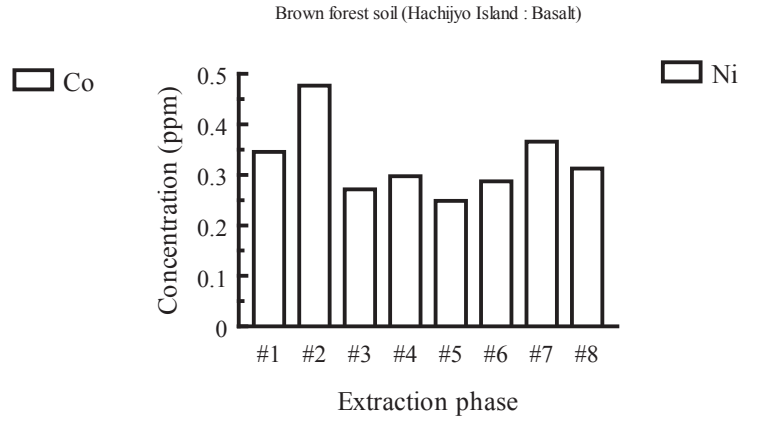
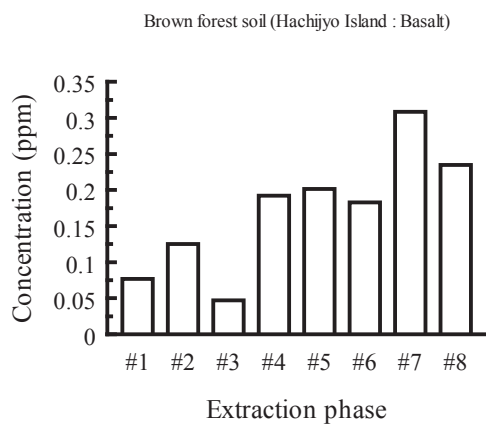


Fig.149 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (Co, Ni, Cu and Zn) in brown forest soil (Hachijyo Island : Basalt).

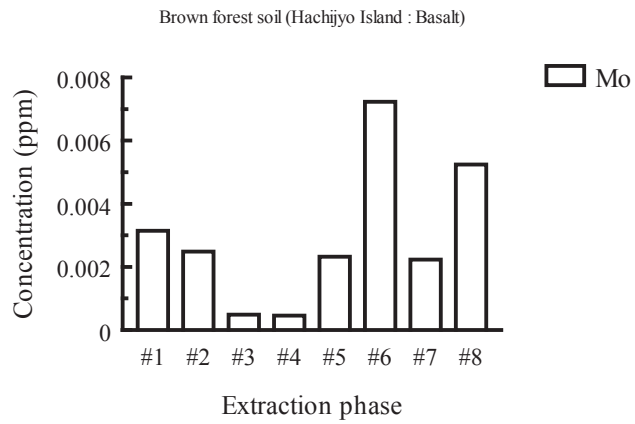
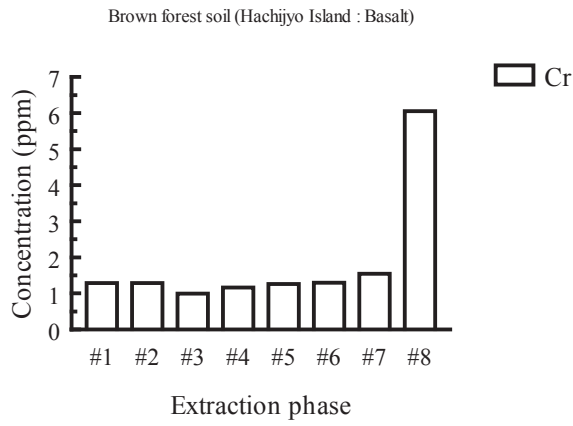
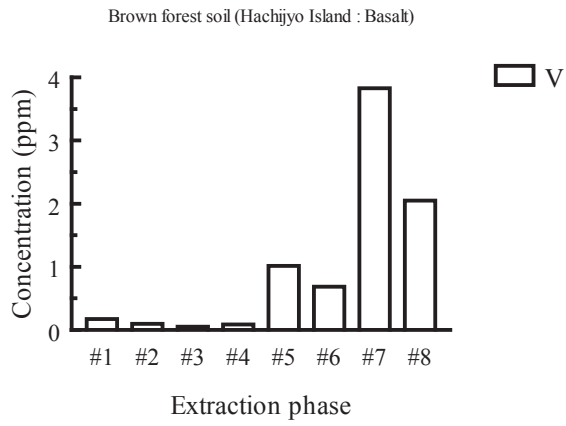


Fig.150 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (V, Cr and Mo) in brown forest soil (Hachijyo Island : Basalt).

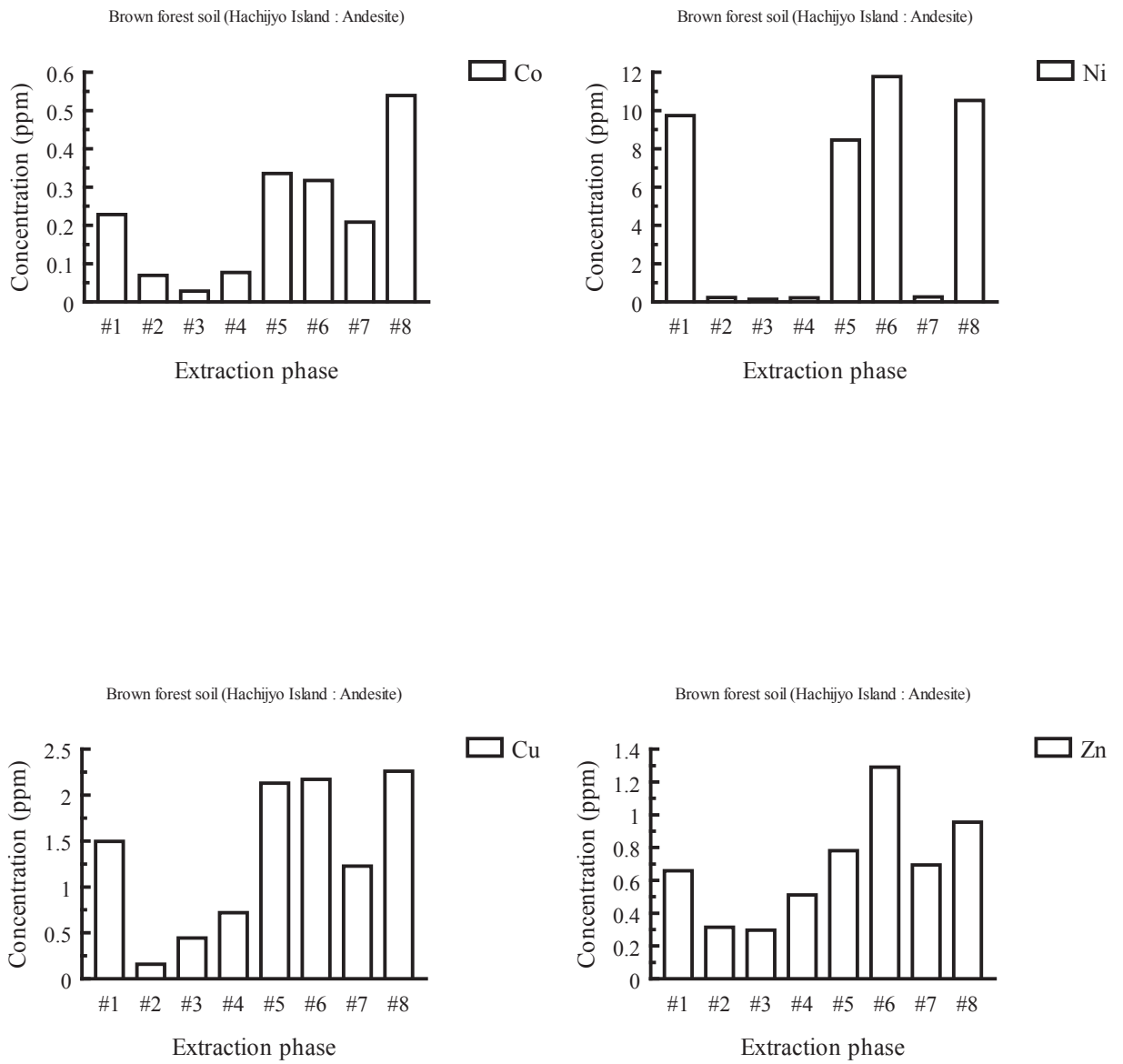


Fig.151 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (Co, Ni, Cu and Zn) in brown forest soil (Hachijyo Island : Andesite).

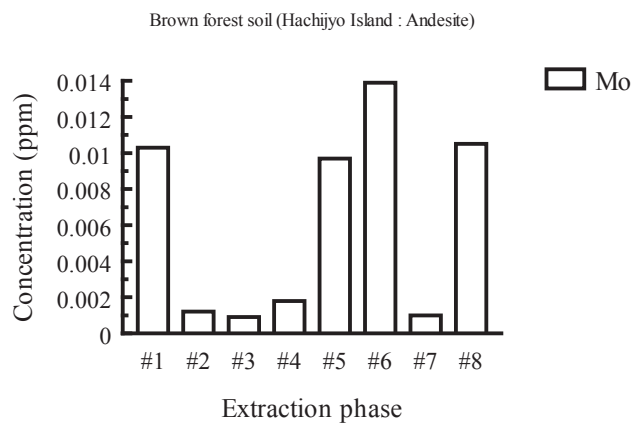
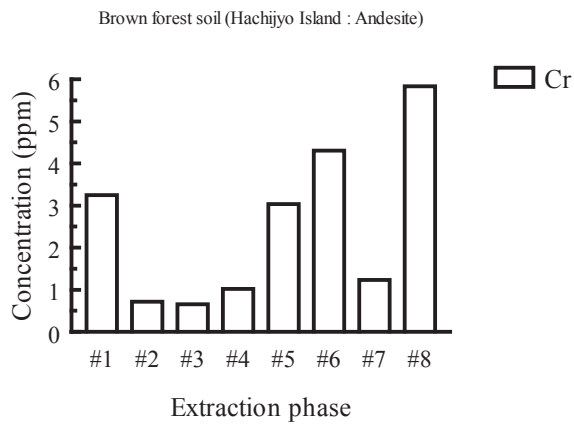
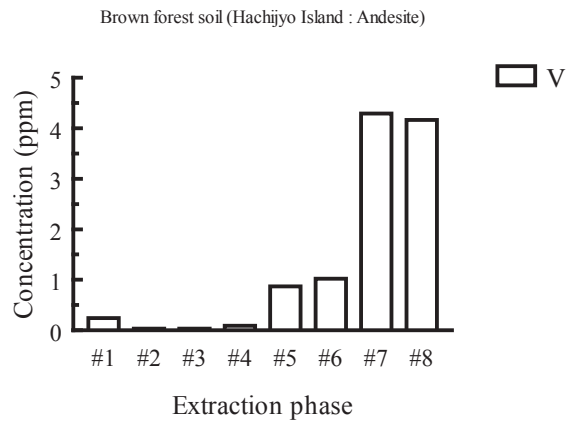


Fig.152 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (V, Cr and Mo) in brown forest soil (Hachijyo Island : Andesite).

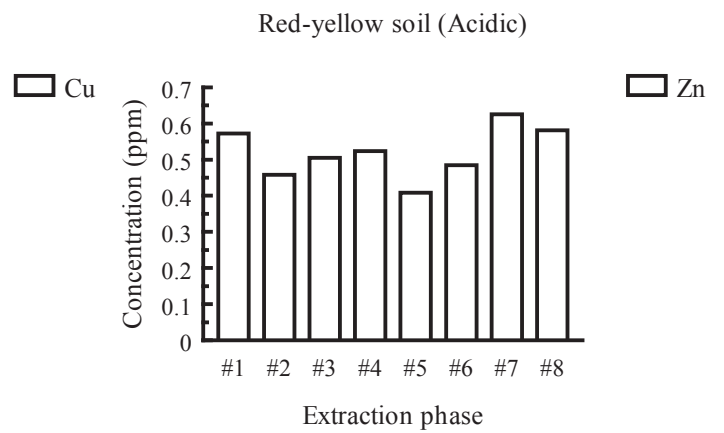
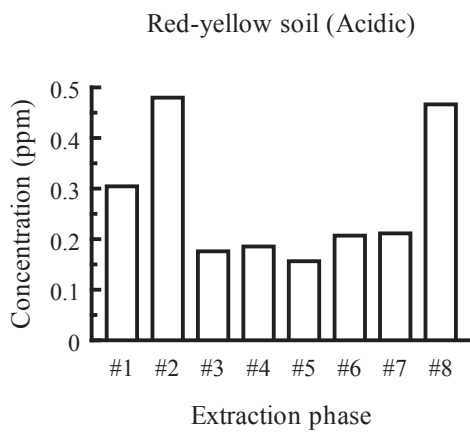
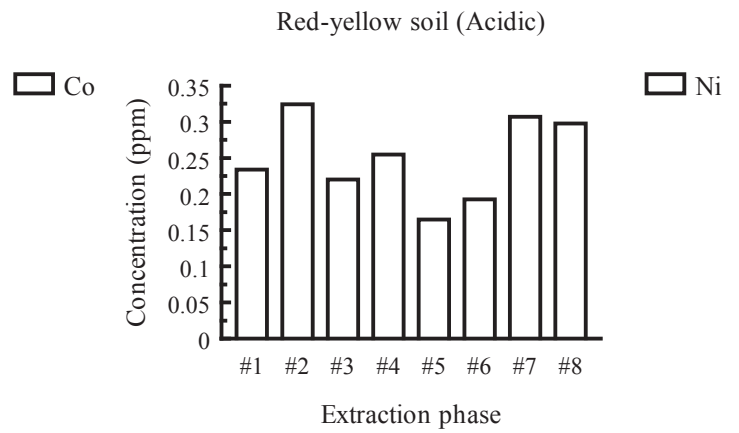
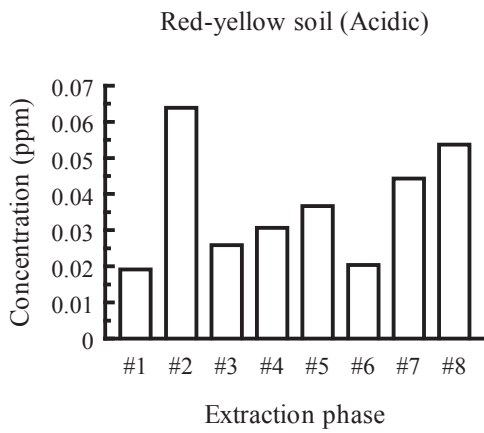


Fig.153 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (Co, Ni, Cu and Zn) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Acidic soil).

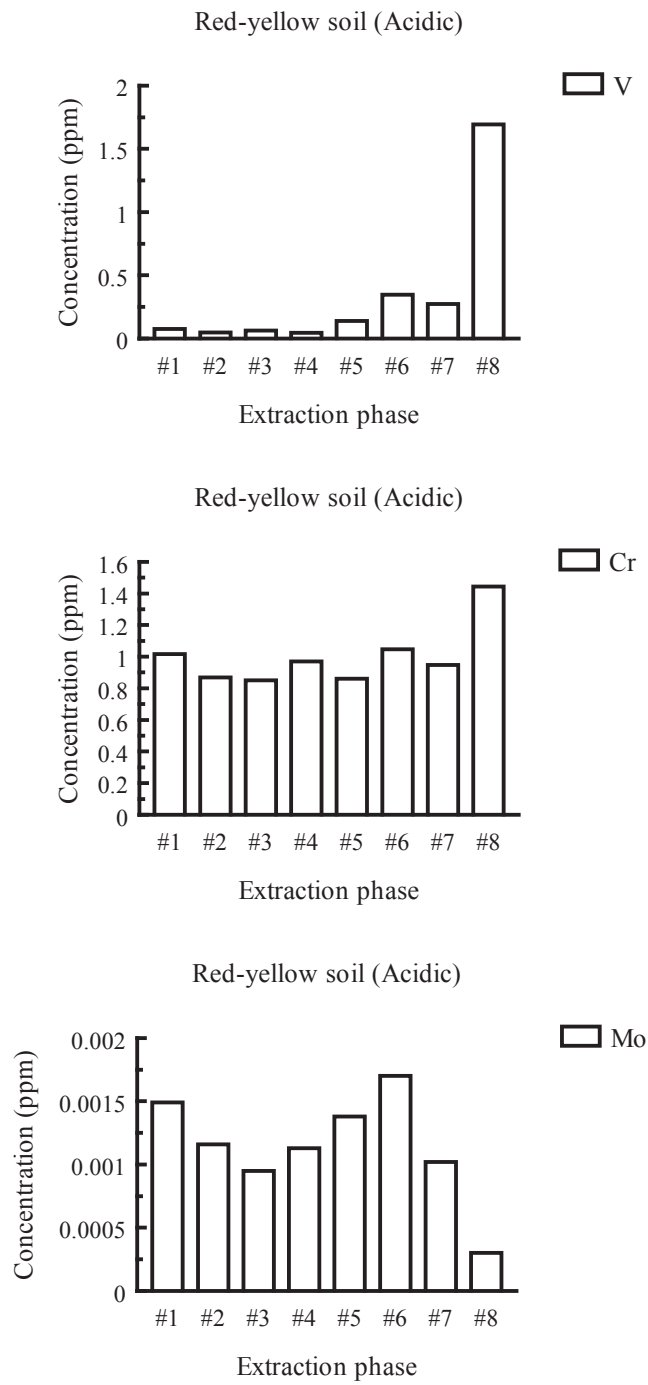


Fig.154 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (V, Cr and Mo) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Acidic soil).

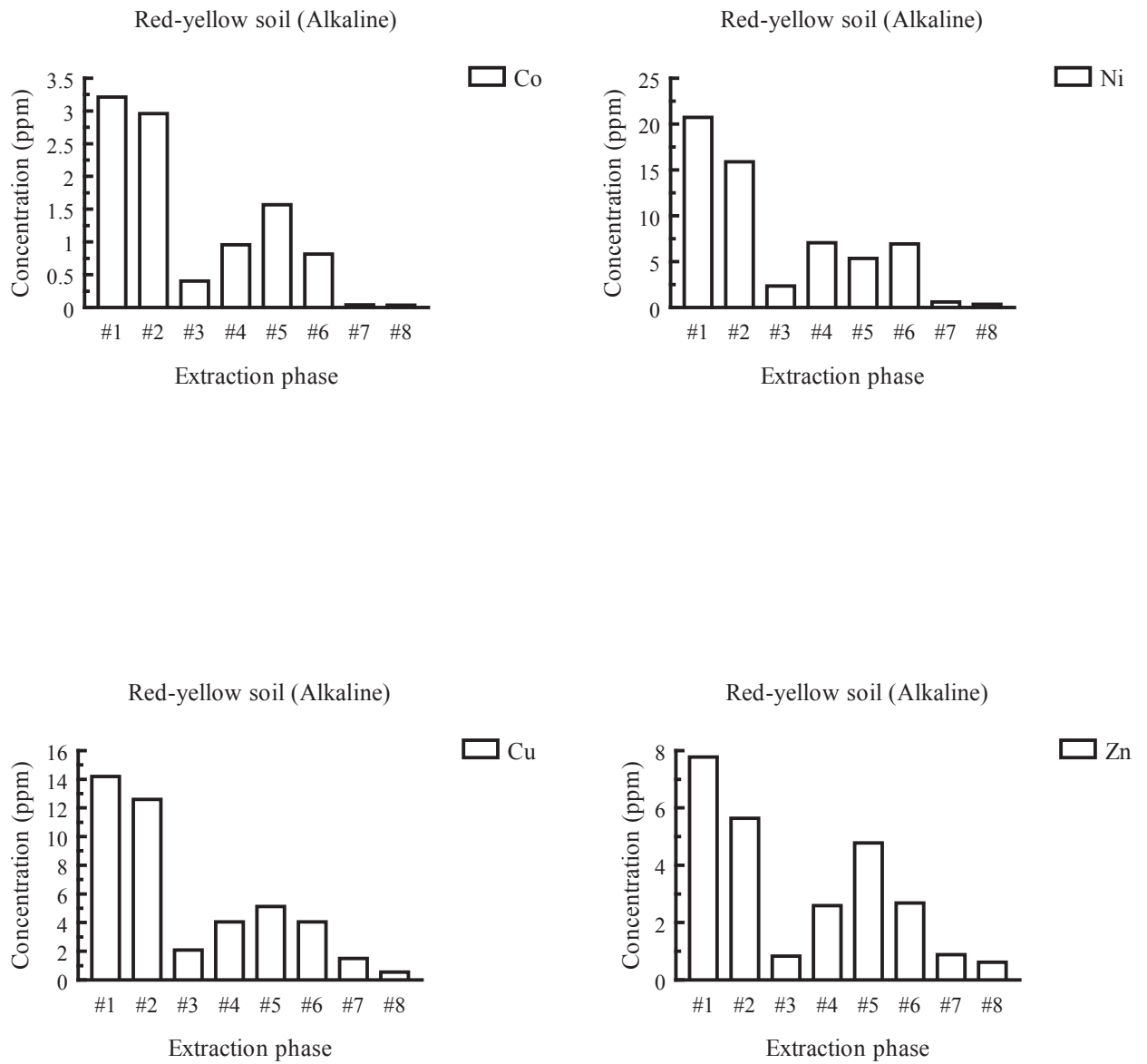


Fig.155 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (Co, Ni, Cu and Zn) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Alkaline soil).

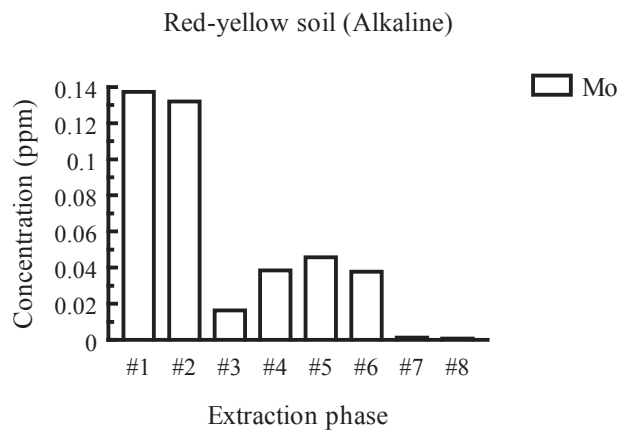
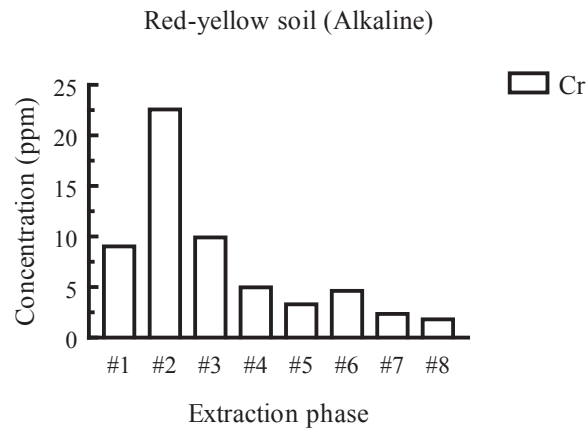
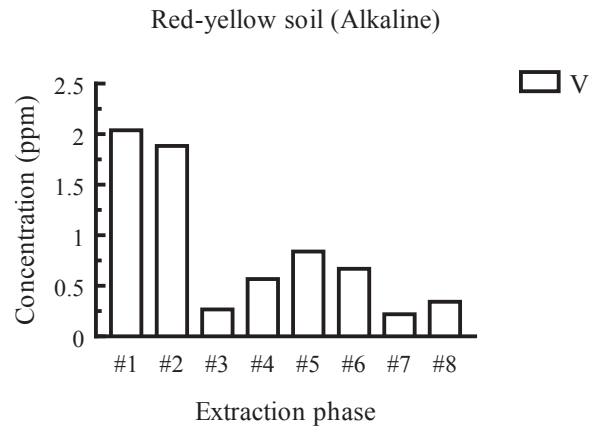


Fig.156 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (V, Cr and Mo) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Alkaline soil).

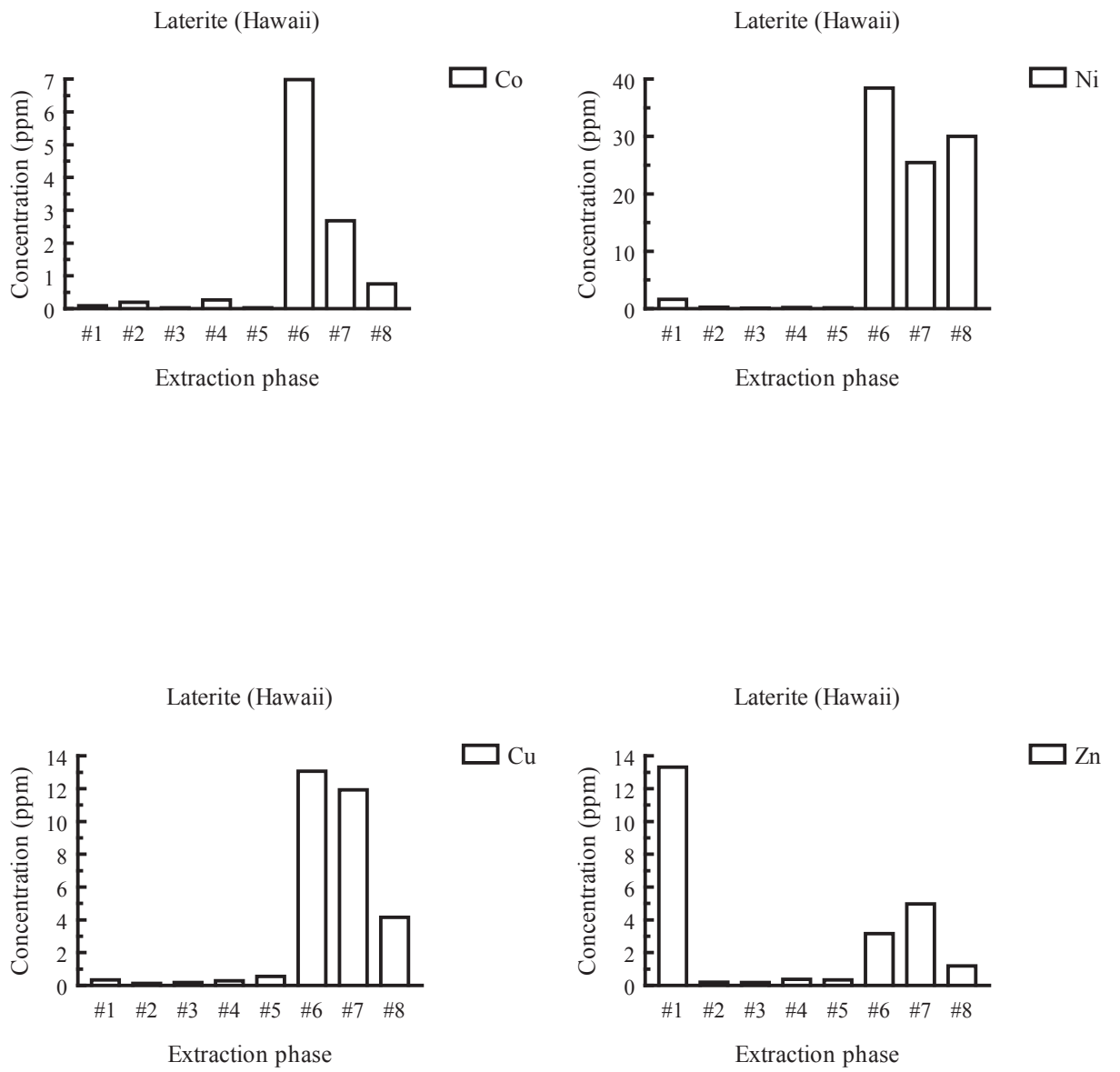


Fig.157 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (Co, Ni, Cu and Zn) in laterite (Hawaii Islands).

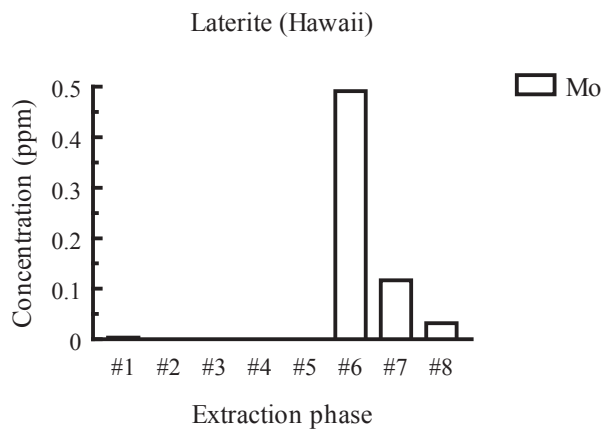
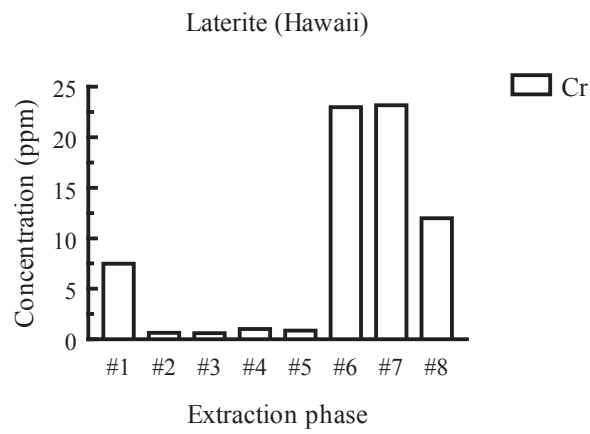
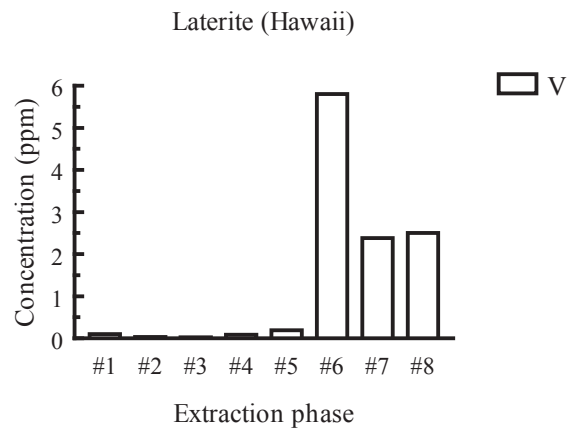


Fig.158 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (V, Cr and Mo) in laterite (Hawaii Islands).

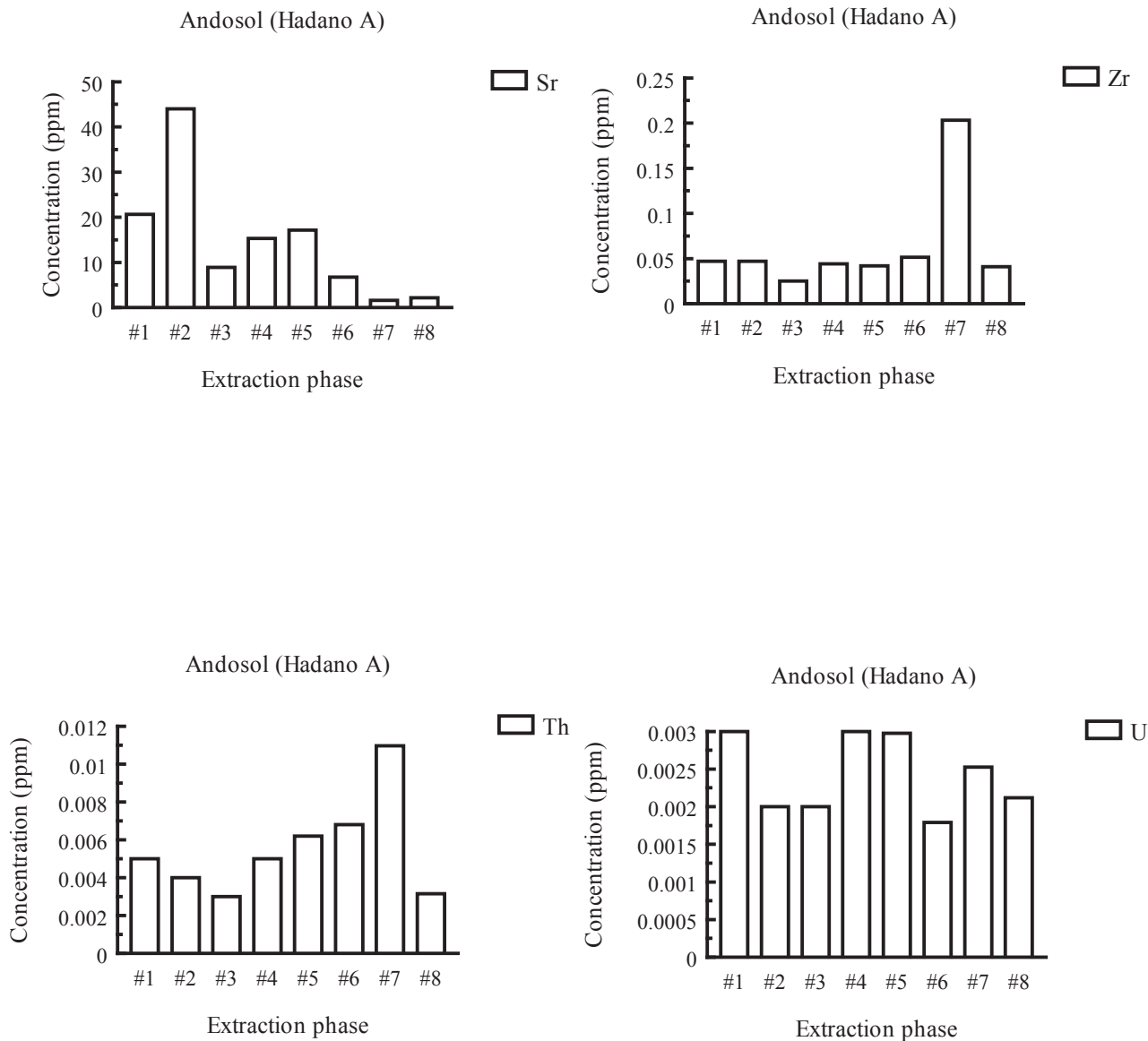


Fig.159 Result of extraction experiment. Concentration of minor elements (Sr, Zr, Th and U) in andosol (Hadano A).

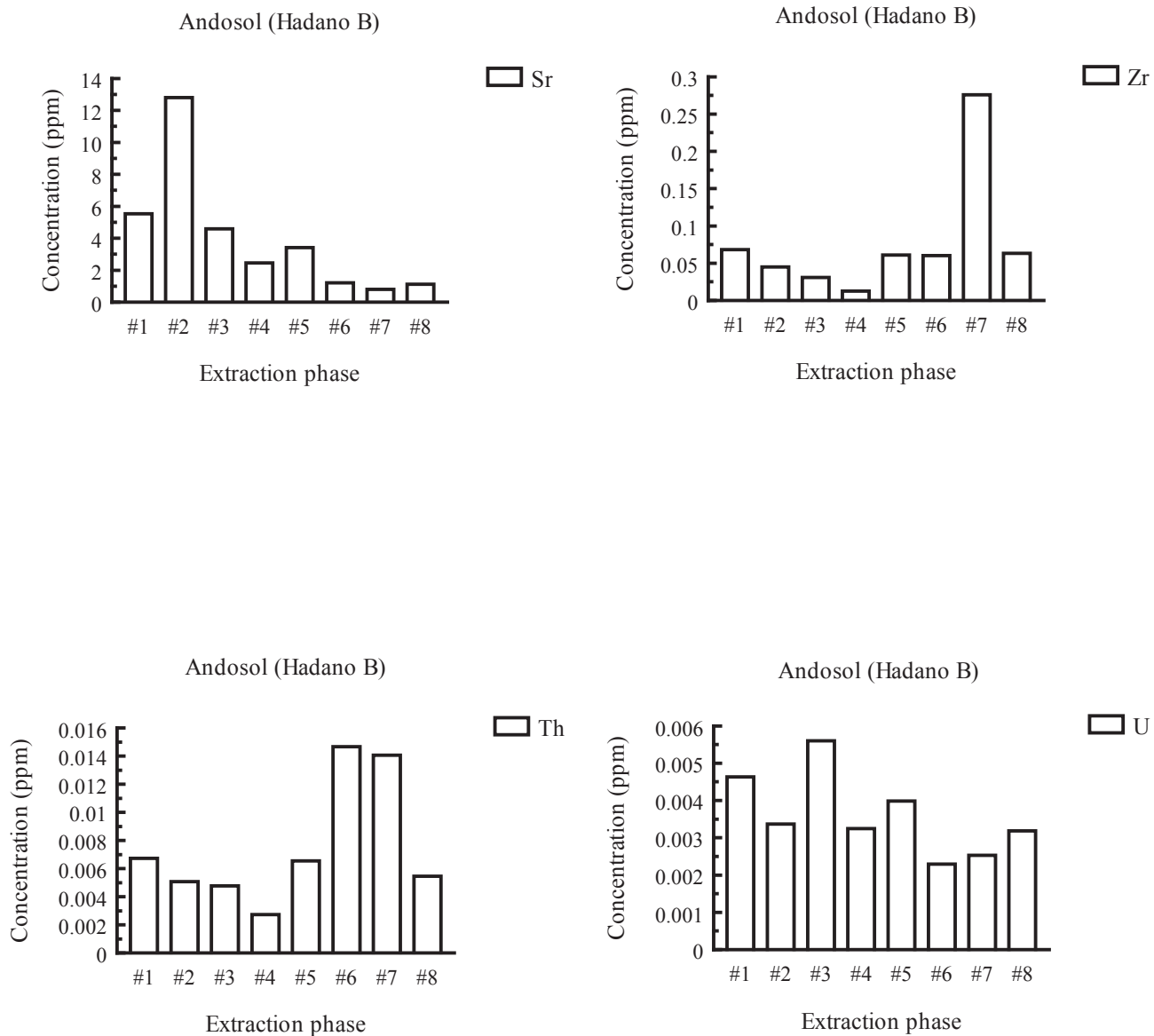


Fig.160 Result of extraction experiment. Concentration of minor elements (Sr, Zr, Th and U) in andosol (Hadano B).

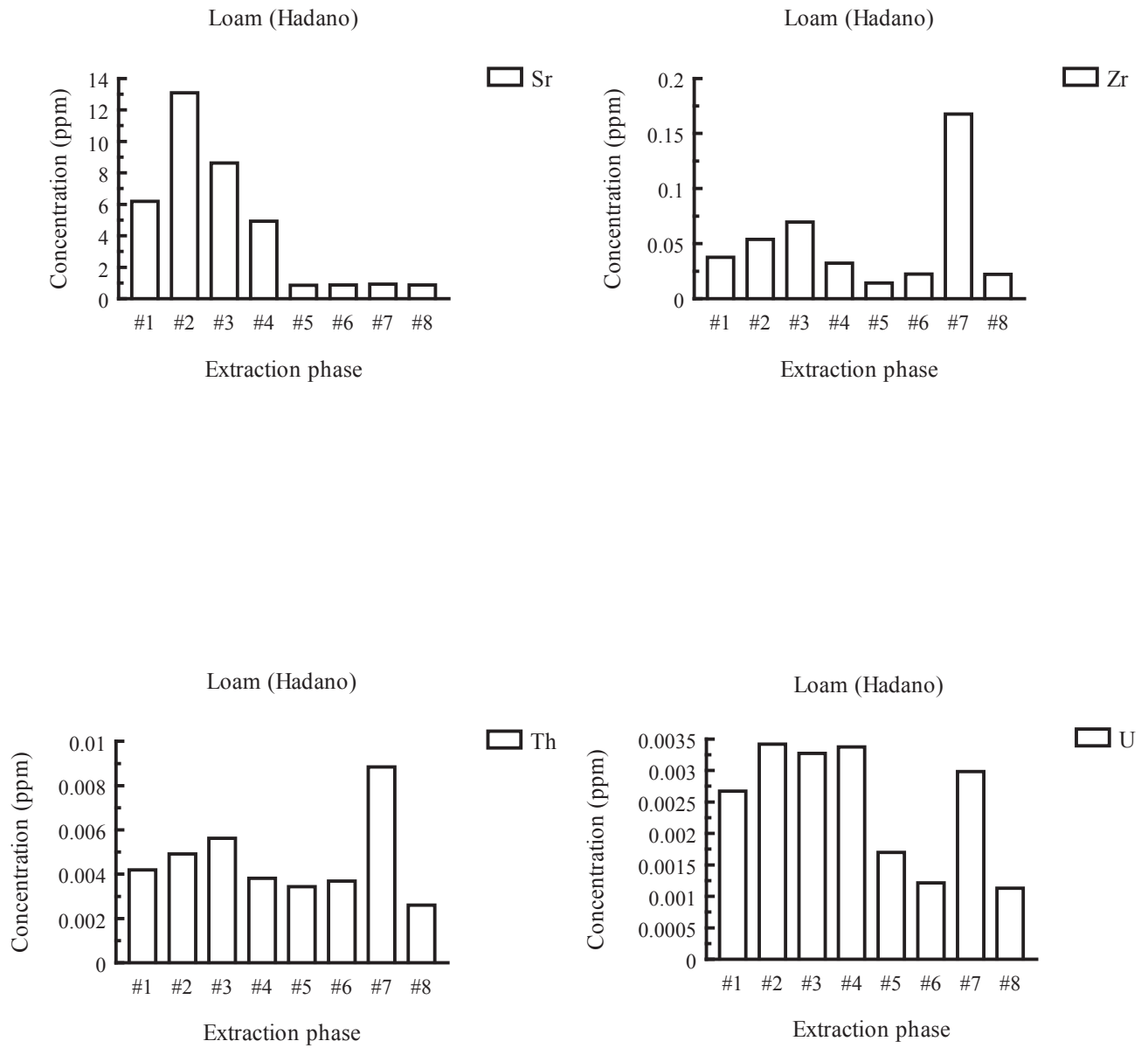


Fig.161 Result of extraction experiment. Concentration of minor elements (Sr, Zr, Th and U) in loam (Hadano).

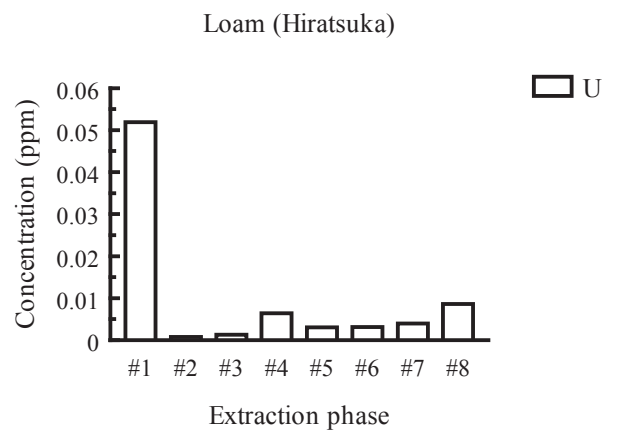
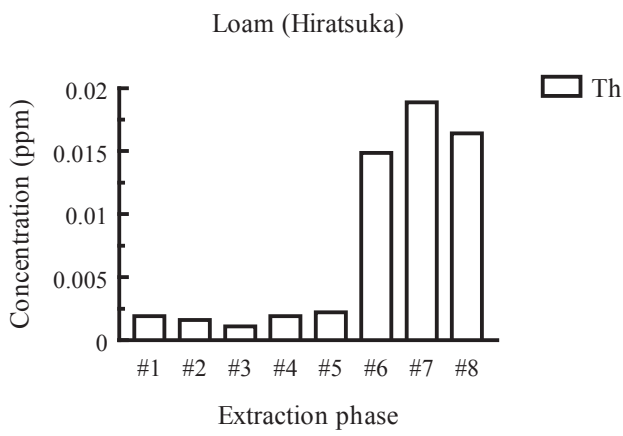
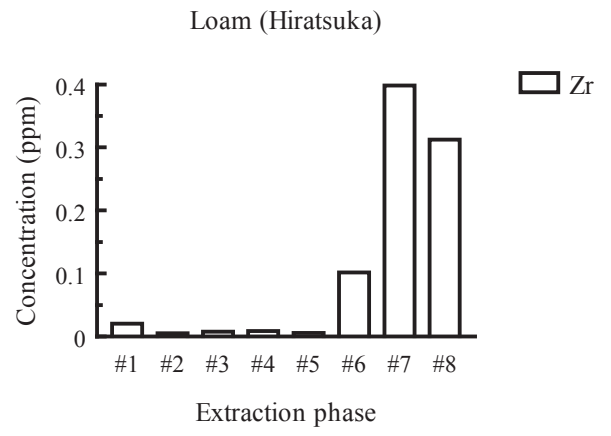
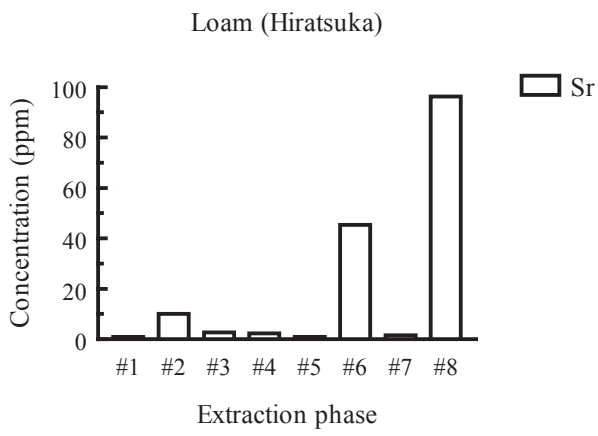


Fig.162 Result of extraction experiment. Concentration of base metal elements (Sr, Zr, Th and U) in loam (Hiratsuka).

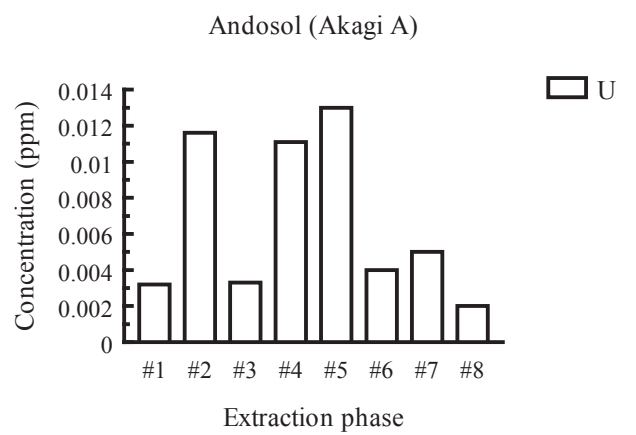
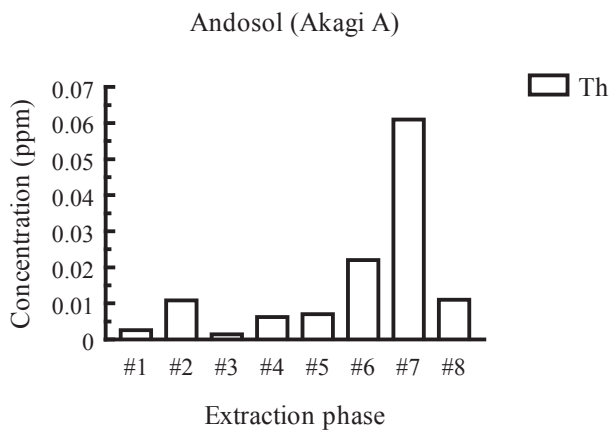
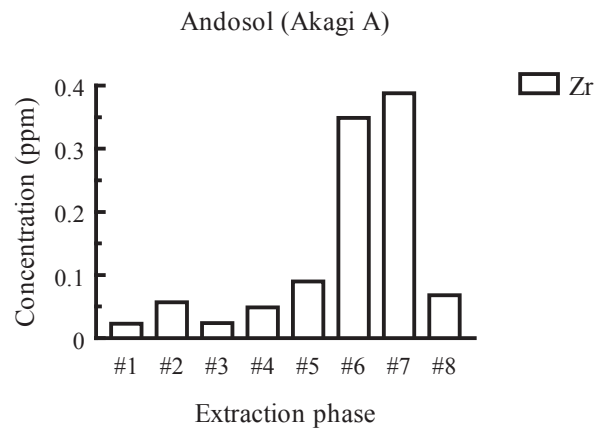
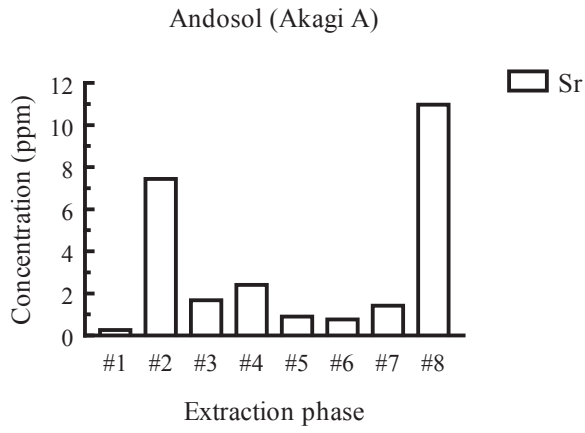


Fig.163 Result of extraction experiment. Concentration of minor elements (Sr, Zr, Th and U) in andosol (Akagi A).

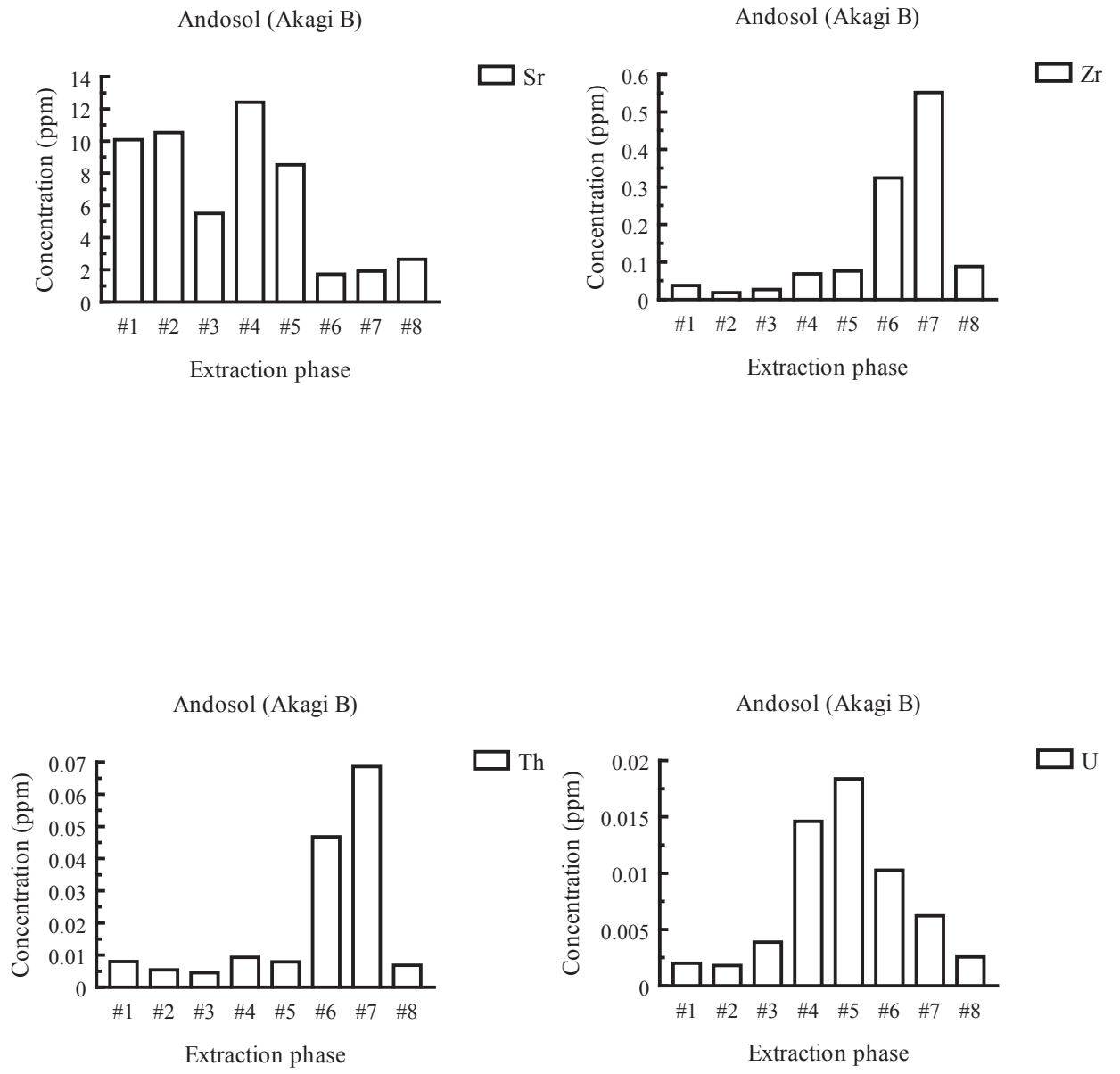


Fig.164 Result of extraction experiment. Concentration of minor elements (Sr, Zr, Th and U) in andosol (Akagi B).

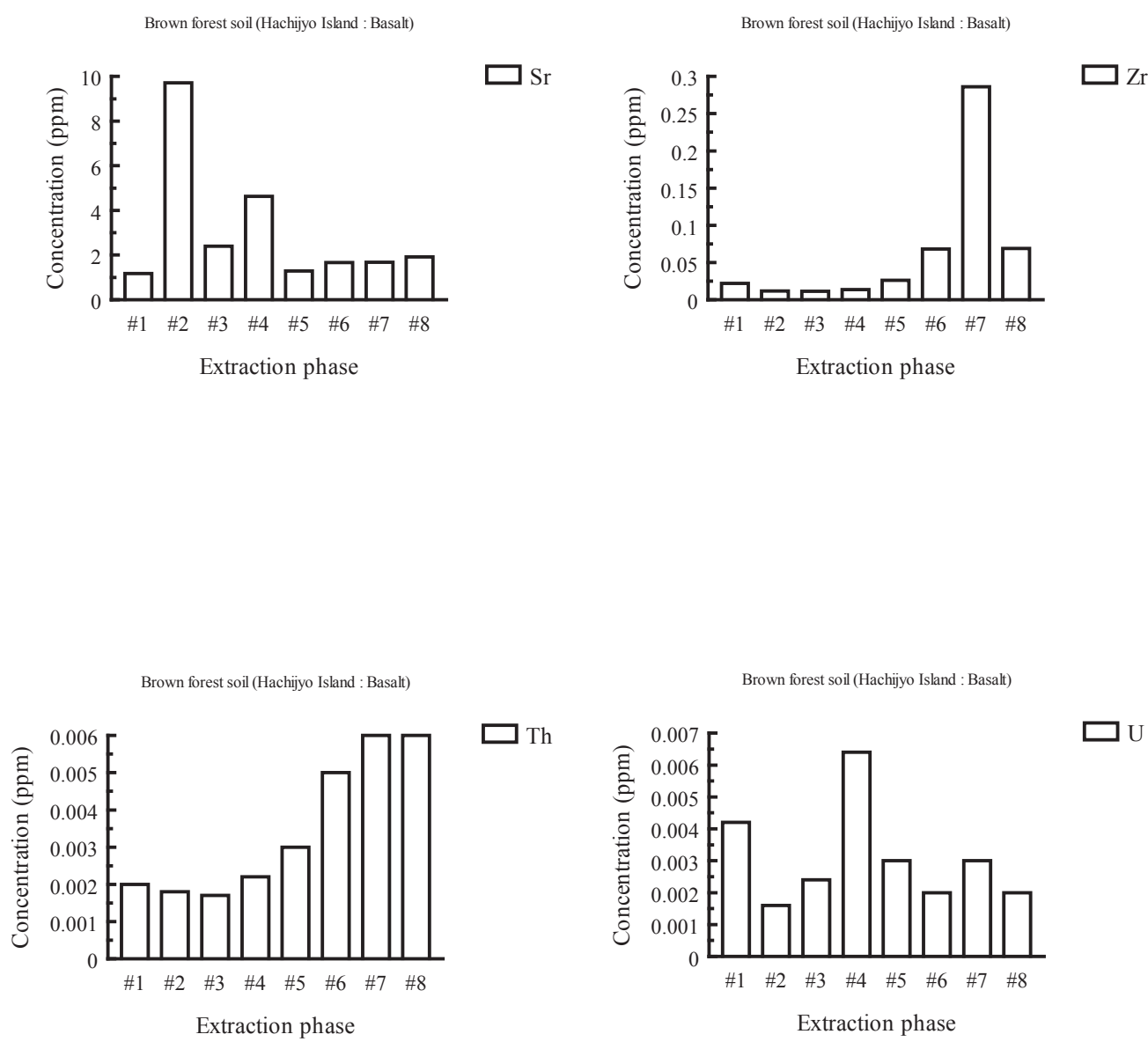


Fig.165 Result of extraction experiment. Concentration of minor elements (Sr, Zr, Th and U) in brown forest soil (Hachijyo Island : Basalt).

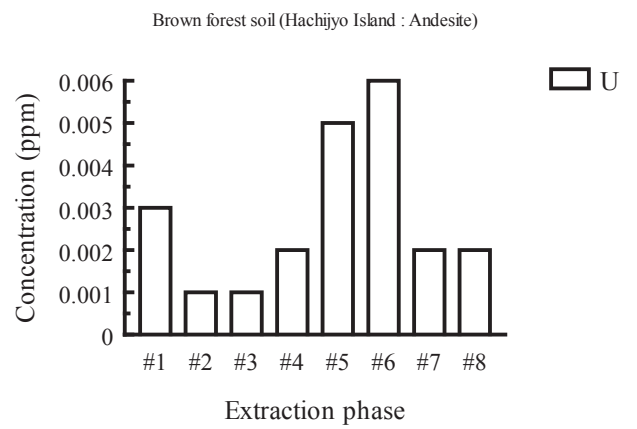
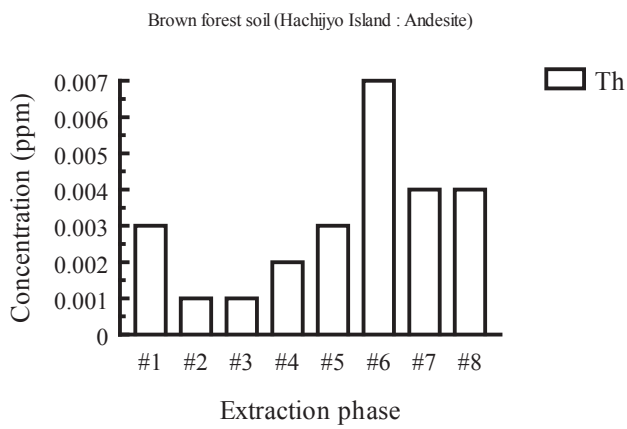
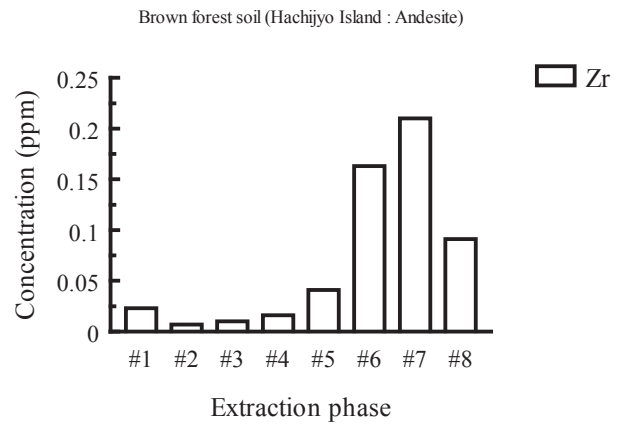
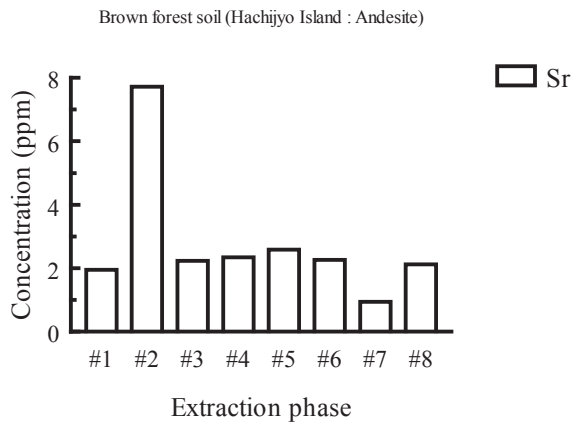


Fig.166 Result of extraction experiment. Concentration of minor elements (Sr, Zr, Th and U) in brown forest soil (Hachijyo Island : Andesite).

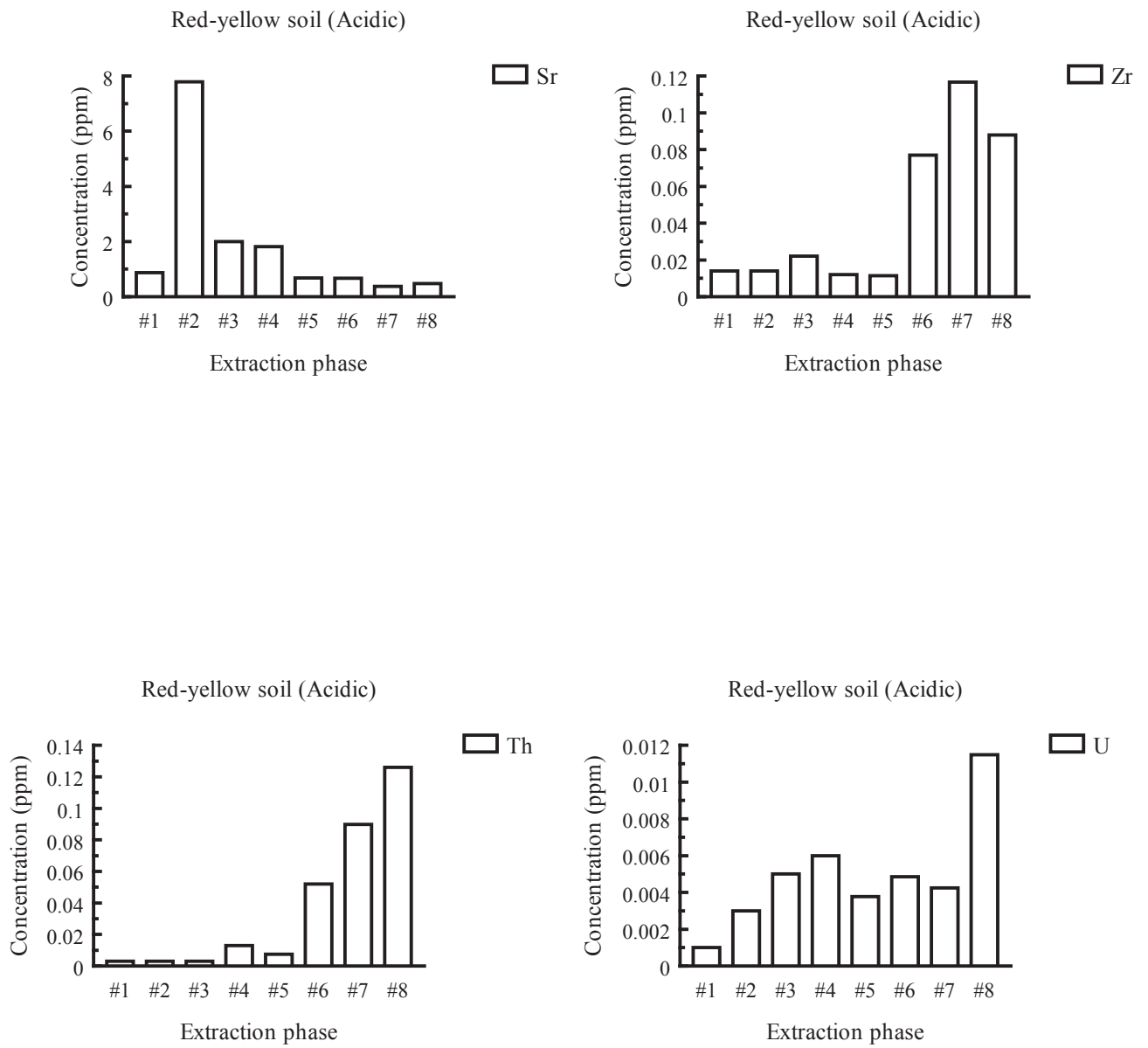


Fig.167 Result of extraction experiment. Concentration of minor elements (Sr, Zr, Th and U) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Acidic soil).

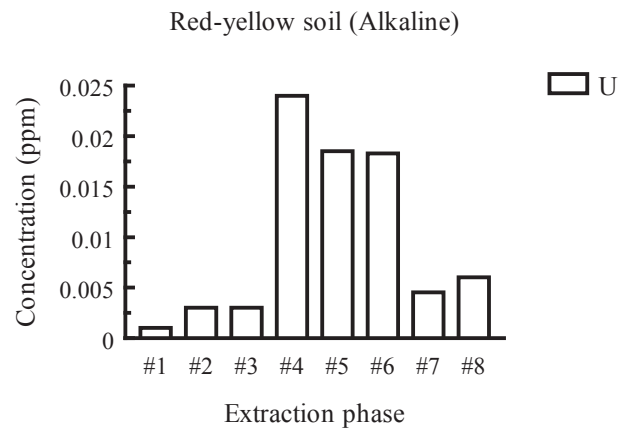
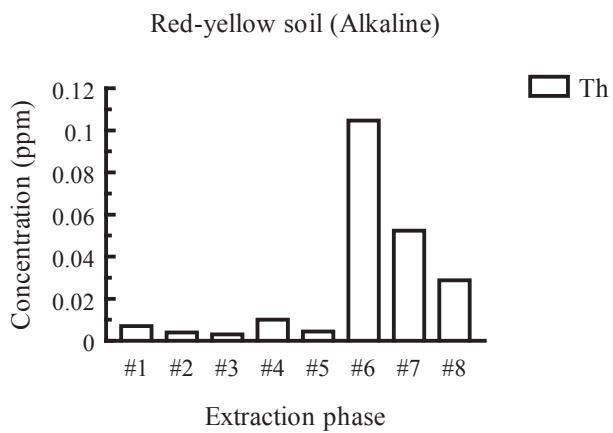
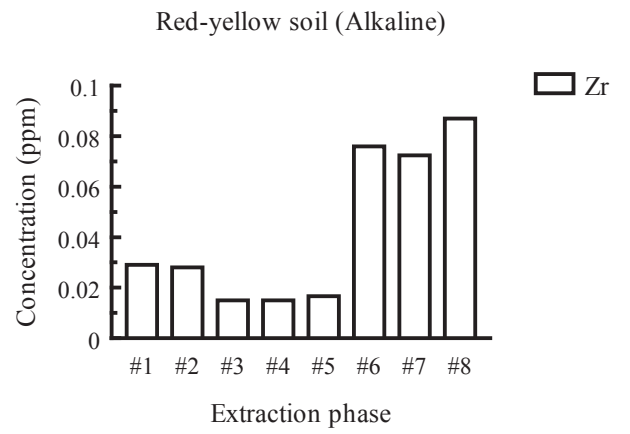
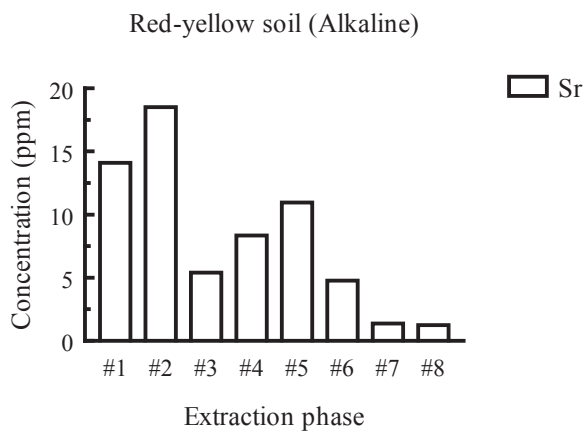


Fig.168 Result of extraction experiment. Concentration of minor elements (Sr, Zr, Th and U) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Alkaline soil).

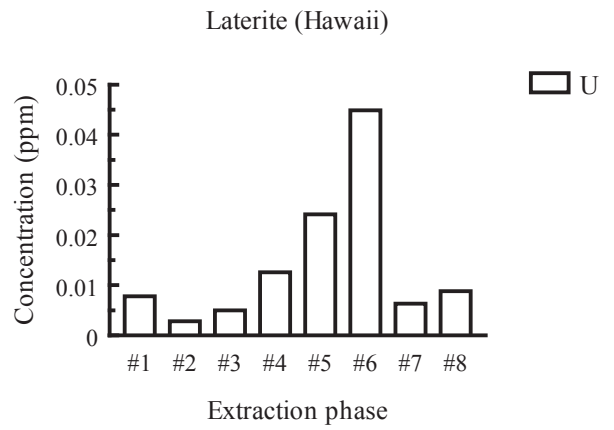
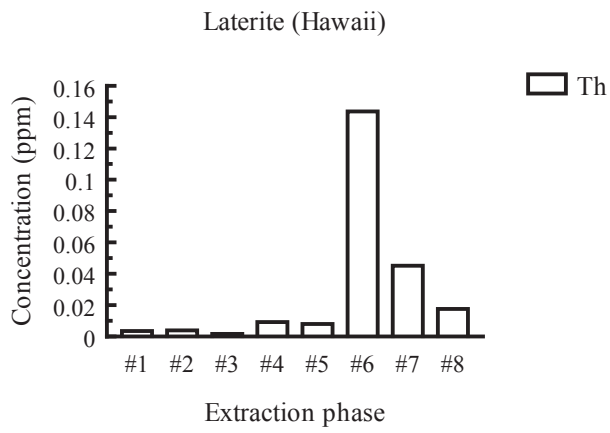
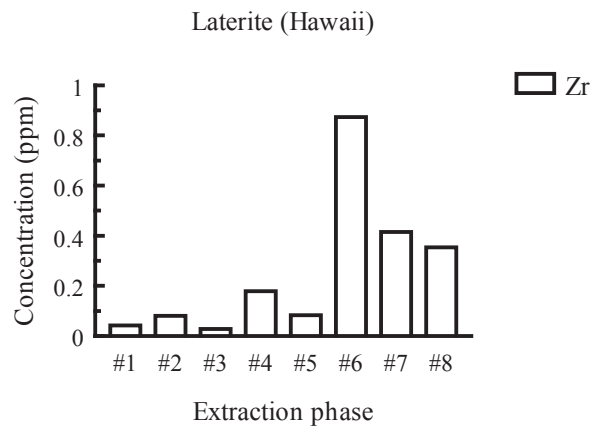
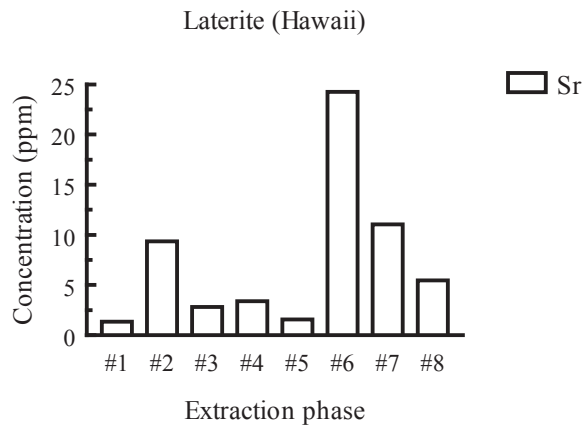


Fig.169 Result of extraction experiment. Concentration of minor elements (Sr, Zr, Th and U) in laterite (Oahu and Hawaii Islands).

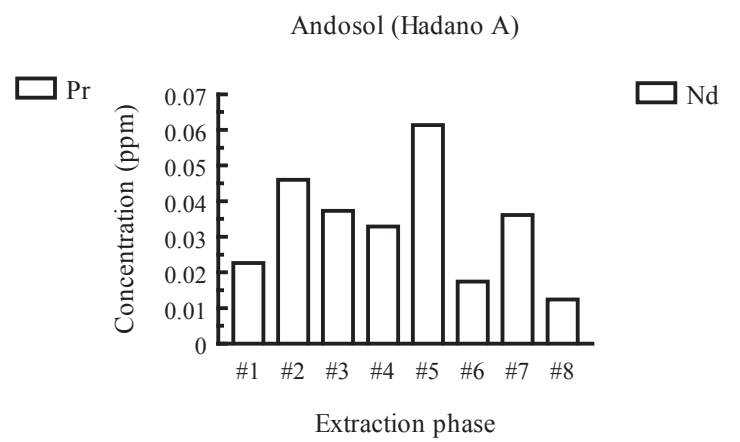
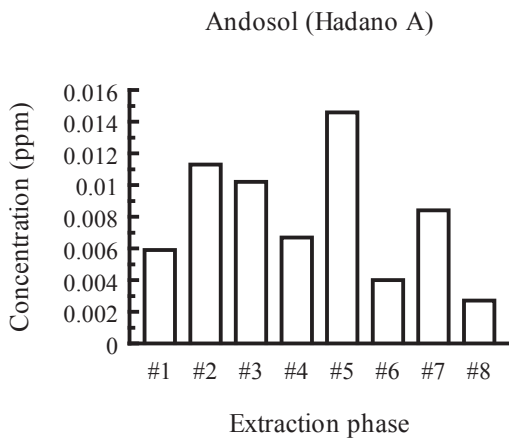
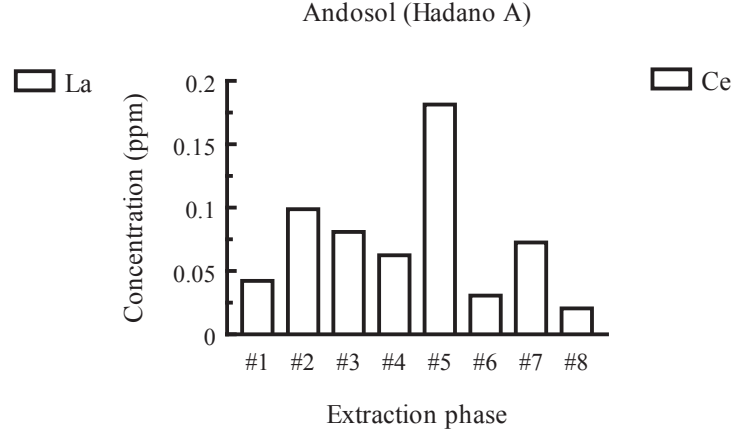
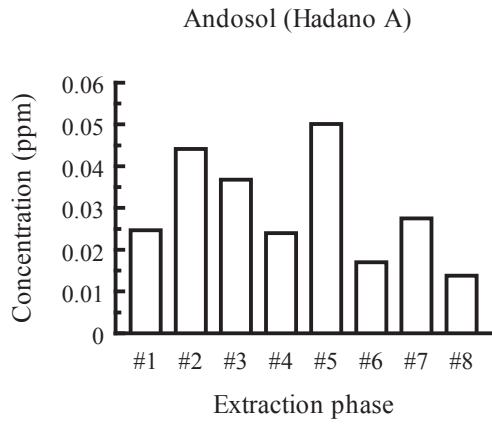


Fig.170 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (La, Ce, Pr and Nd) in andosol (Hadano A).

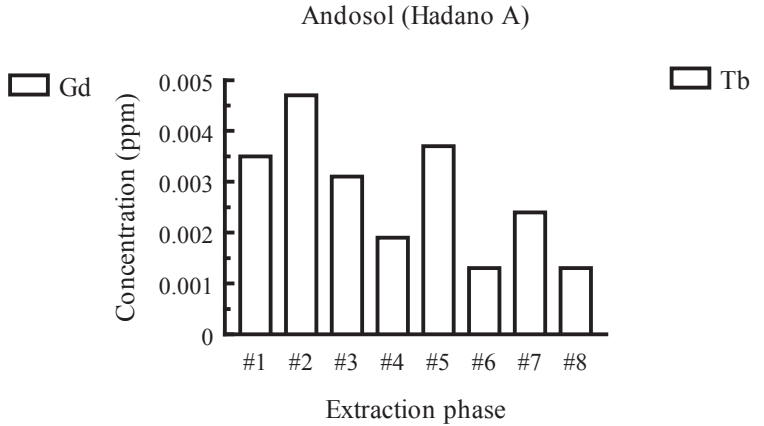
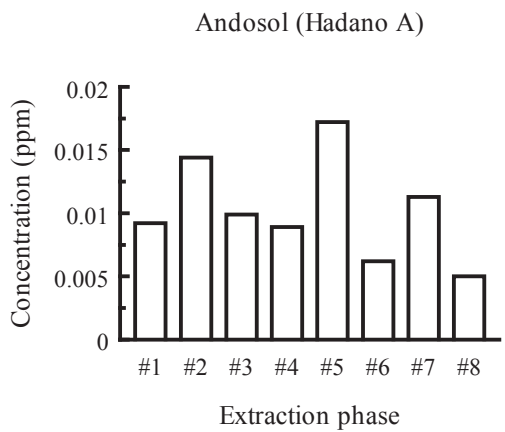
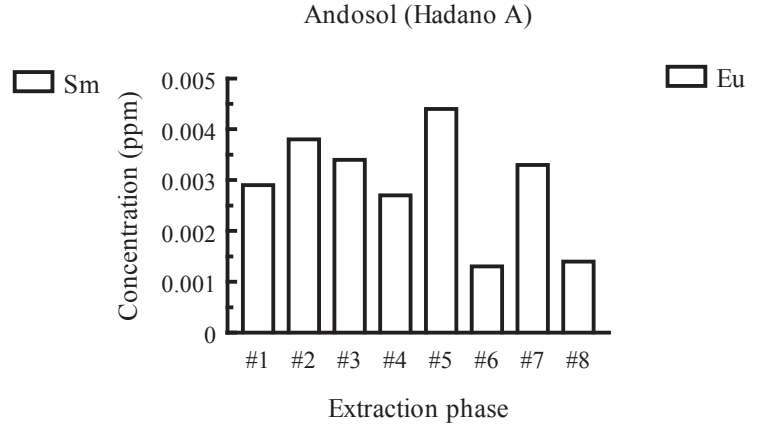
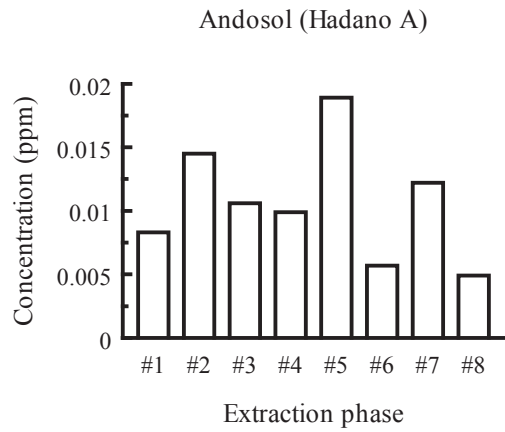


Fig.171 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Sm, Eu, Gd and Tb) in andosol (Hadano A).

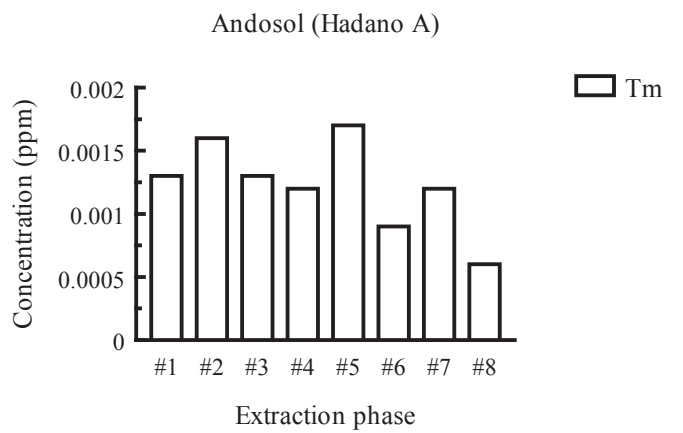
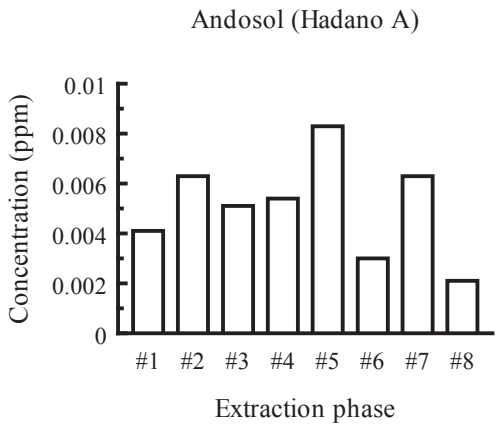
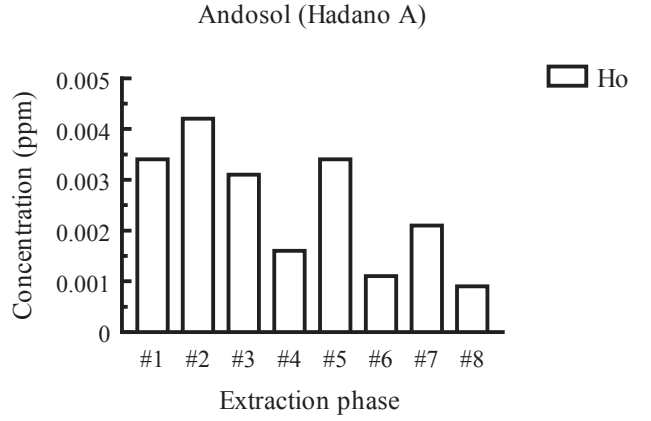
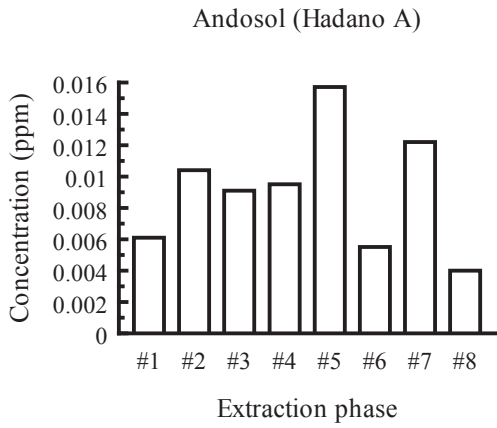


Fig.172 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Dy, Ho, Er and Tm) in andosol (Hadano A).

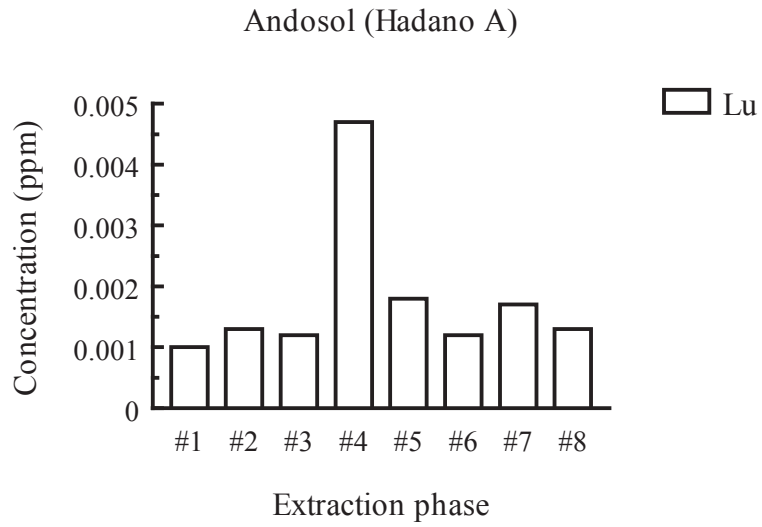
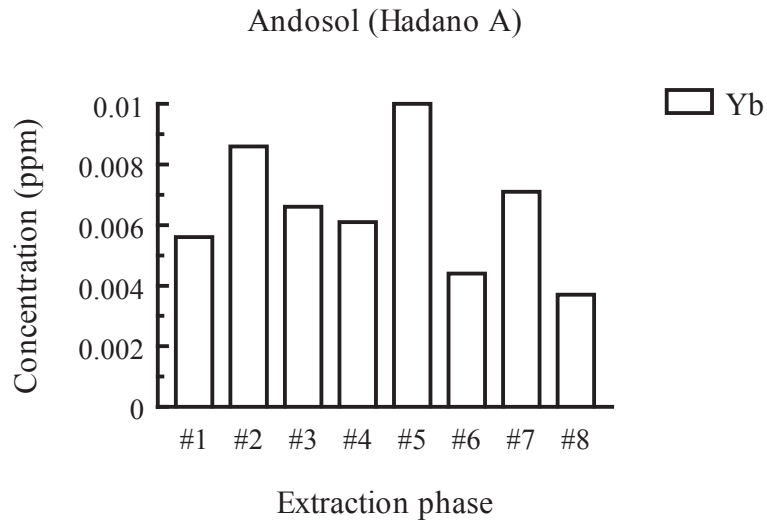


Fig.173 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Yb and Lu) in andosol (Hadano A).

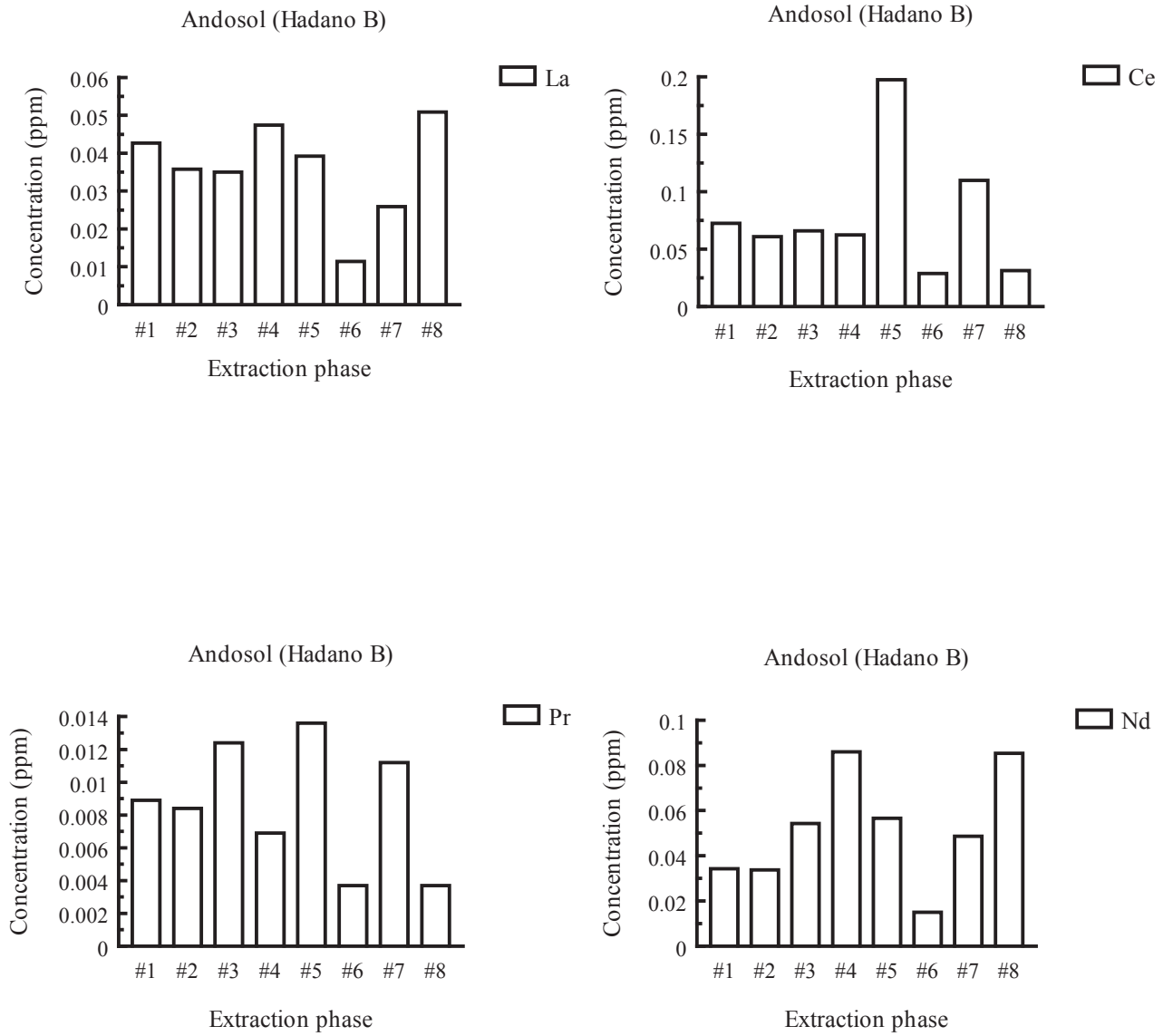


Fig.174 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (La, Ce, Pr and Nd) in andosol (Hadano B).

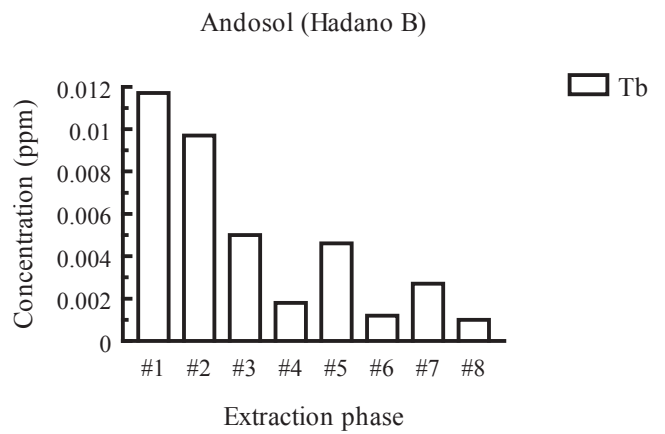
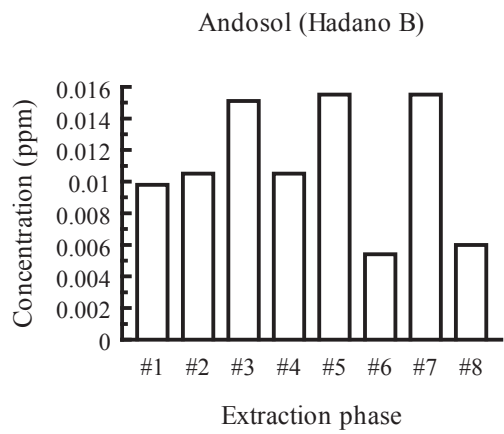
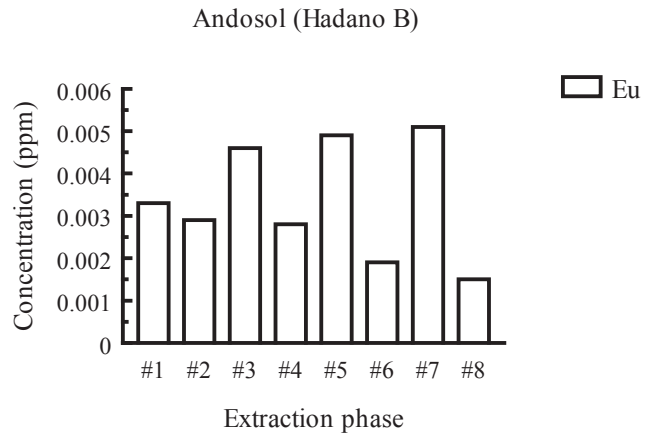
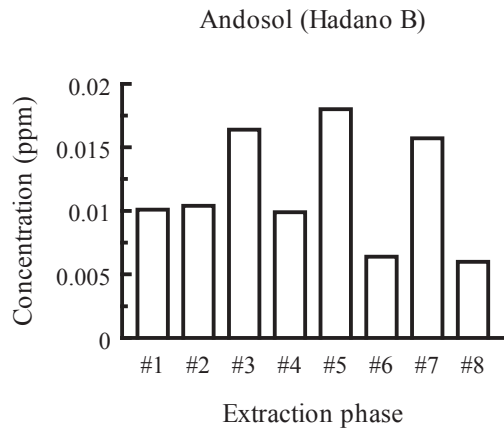


Fig.175 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Sm, Eu, Gd and Tb) in andosol (Hadano B).

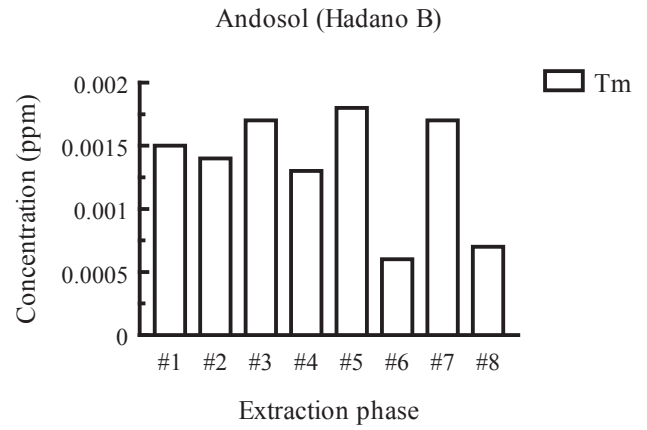
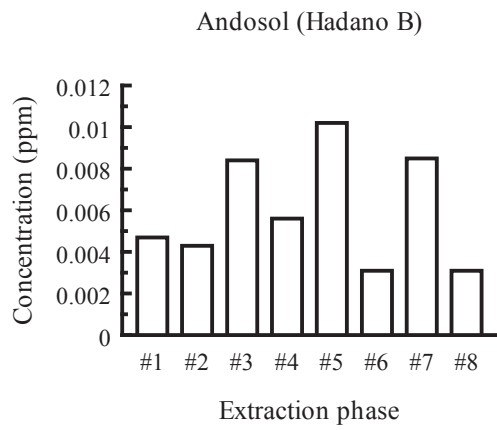
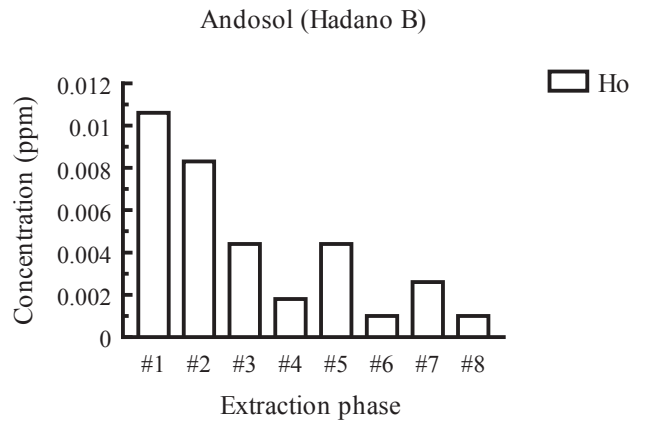
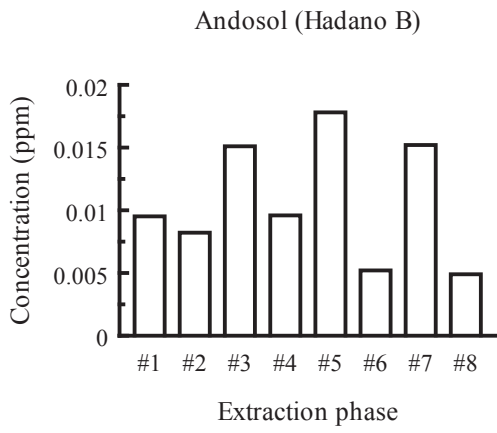


Fig.176 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Dy, Ho, Er and Tm) in andosol (Hadano B).

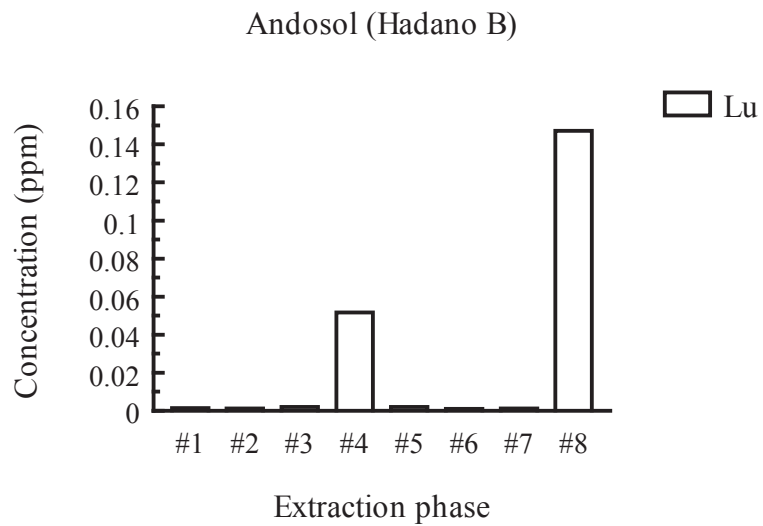
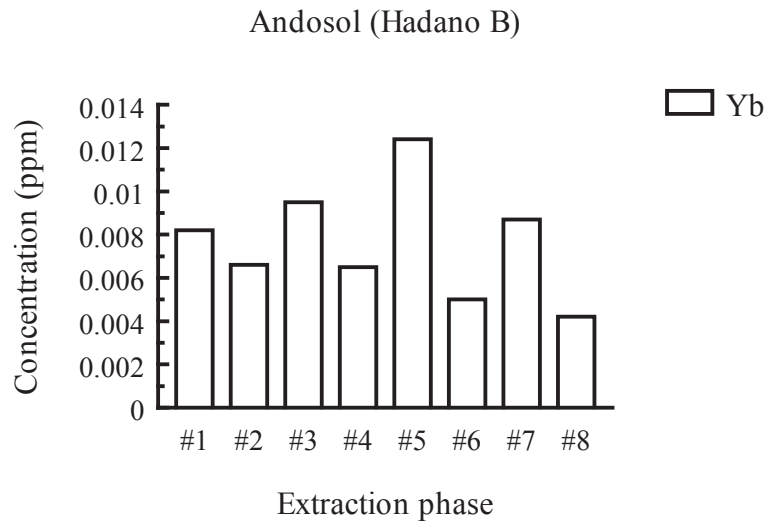


Fig.177 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Yb and Lu) in andosol (Hadano B).

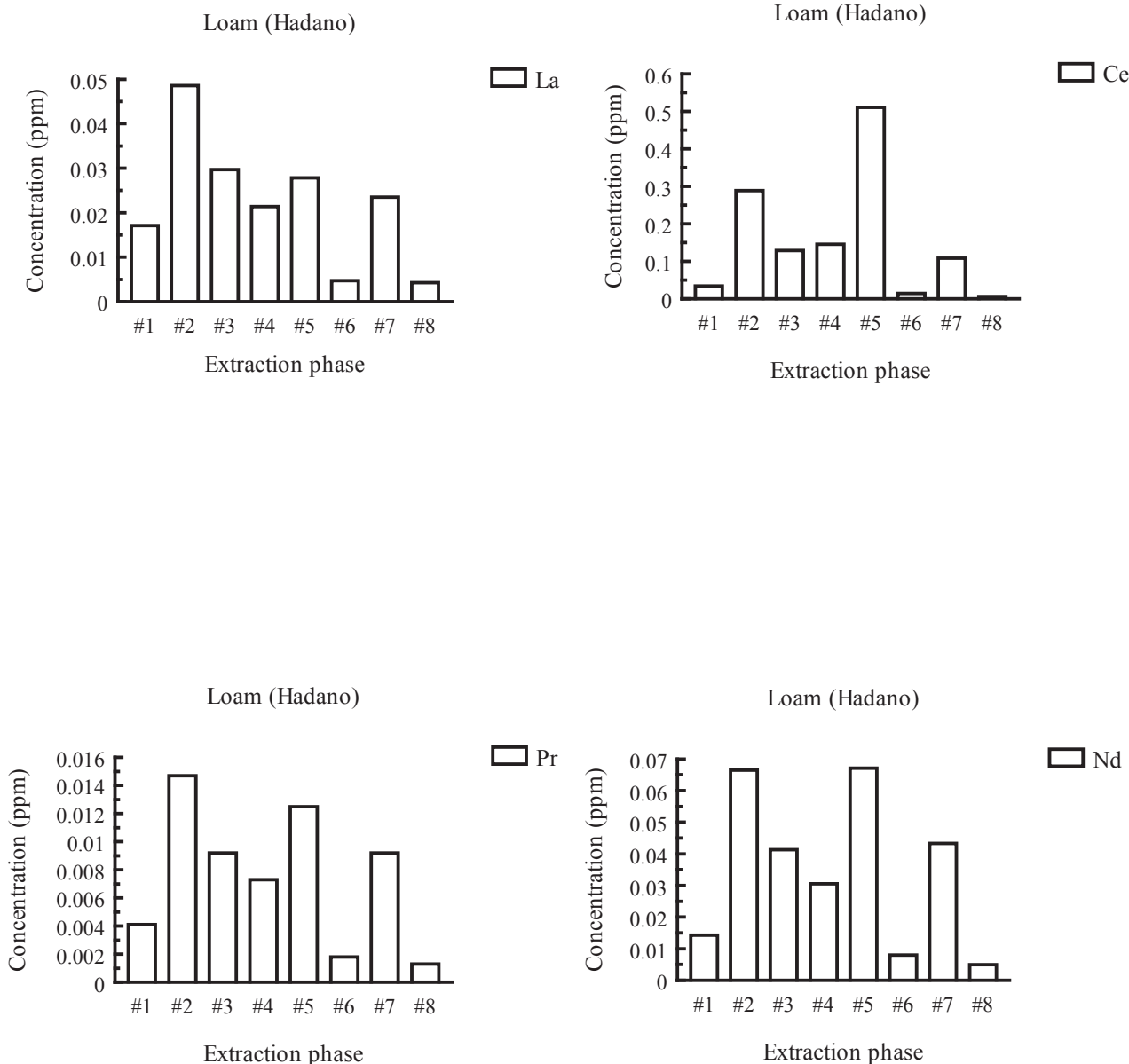


Fig.178 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (La, Ce, Pr and Nd) in loam (Hadano).

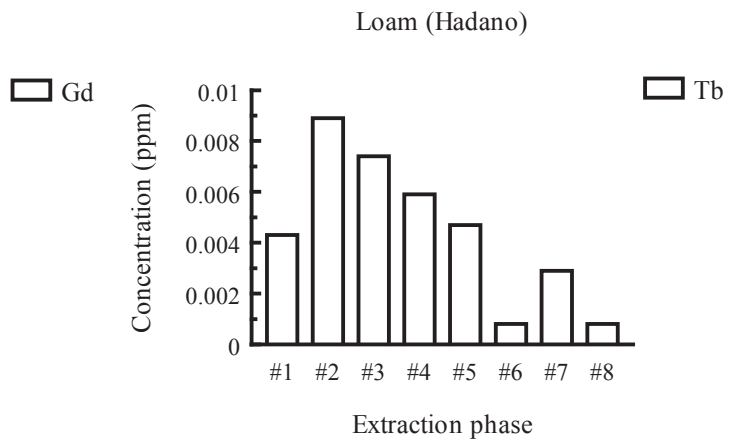
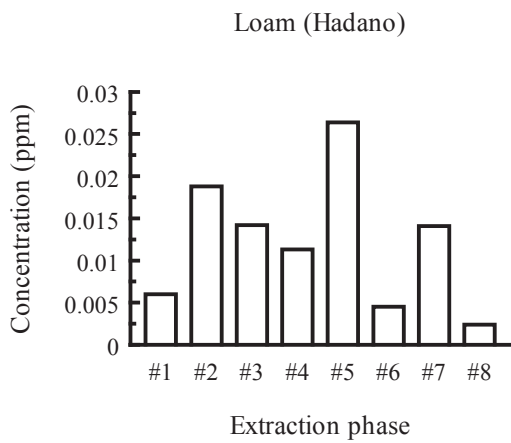
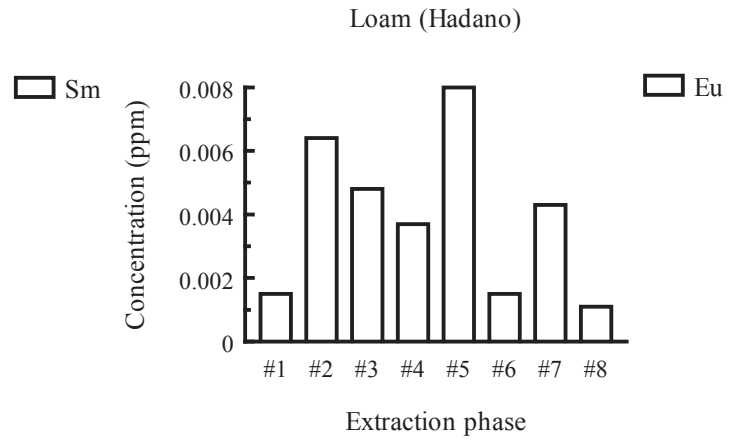
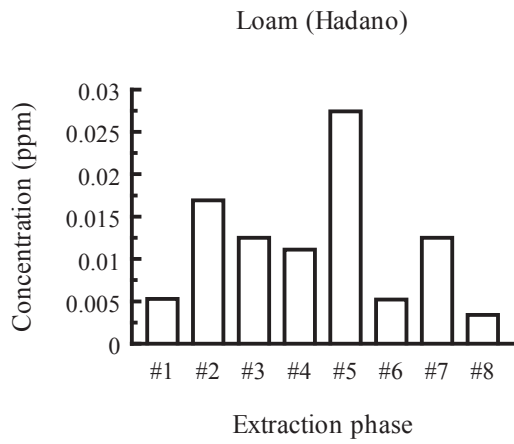


Fig.179 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Sm, Eu, Gd and Tb) in loam (Hadano).

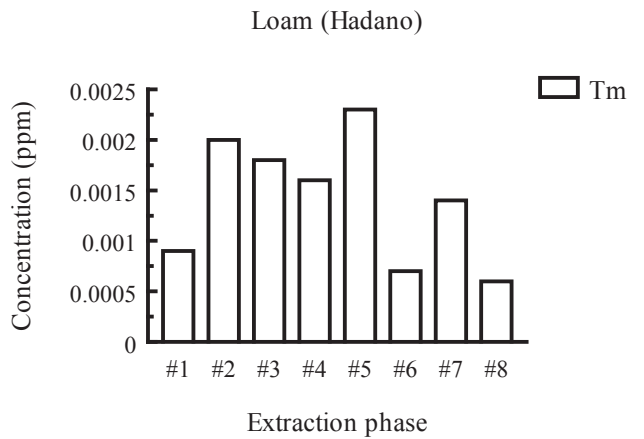
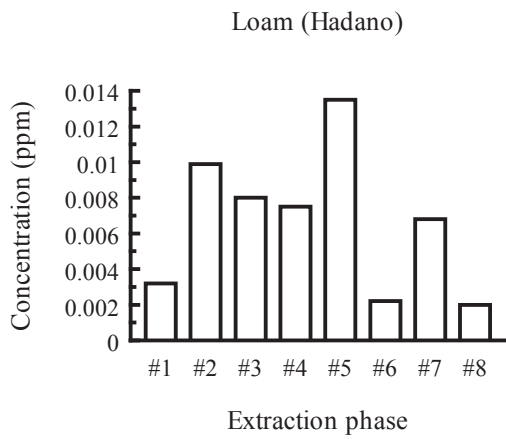
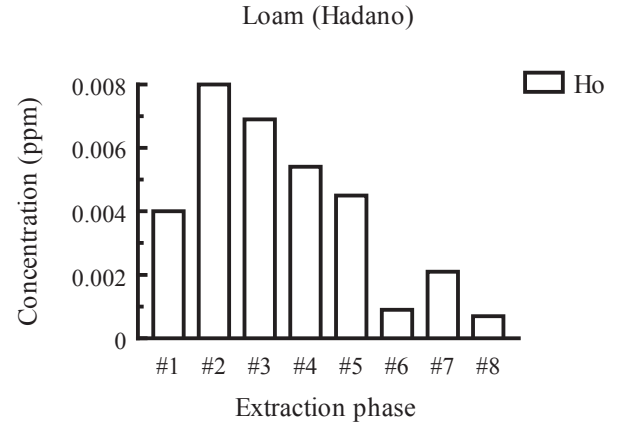
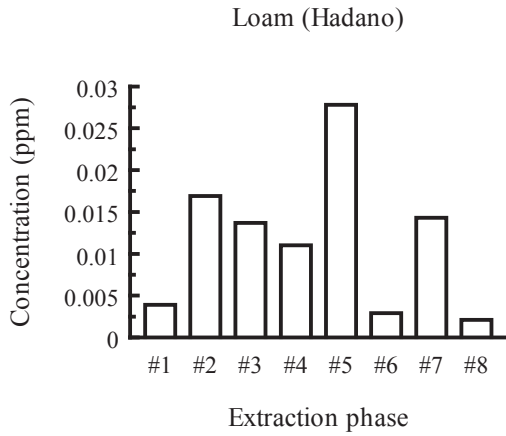


Fig.180 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Dy, Ho, Er and Tm) in loam (Hadano).

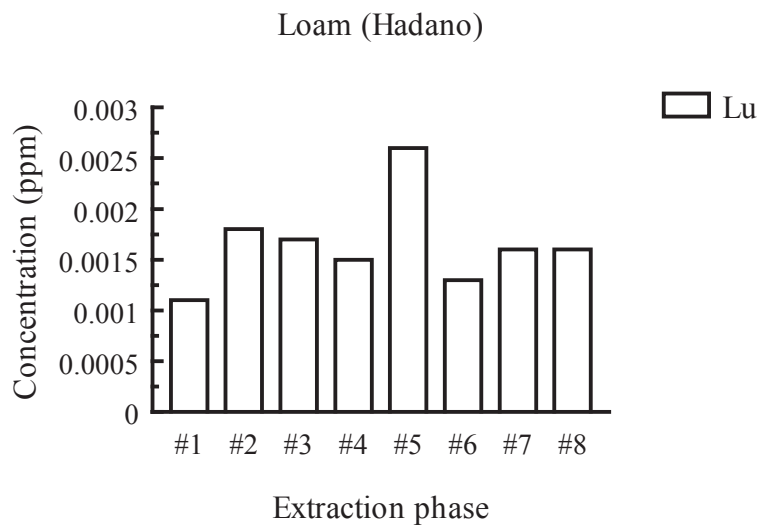
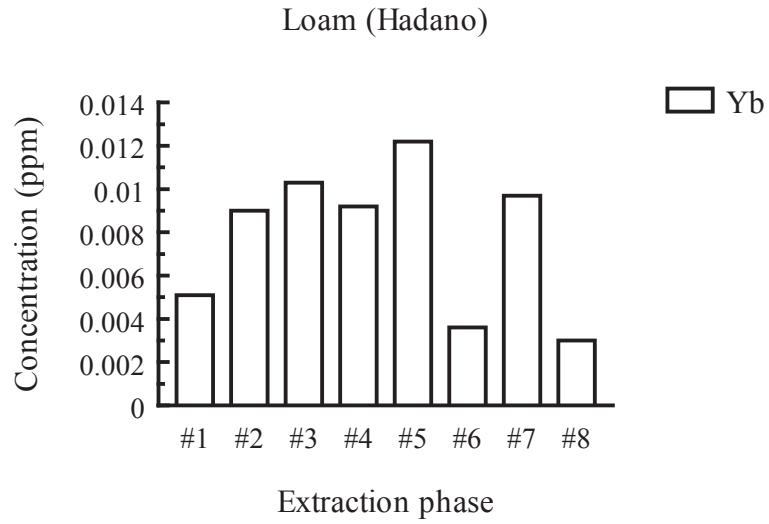


Fig.181 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Yb and Lu) in loam (Hadano).

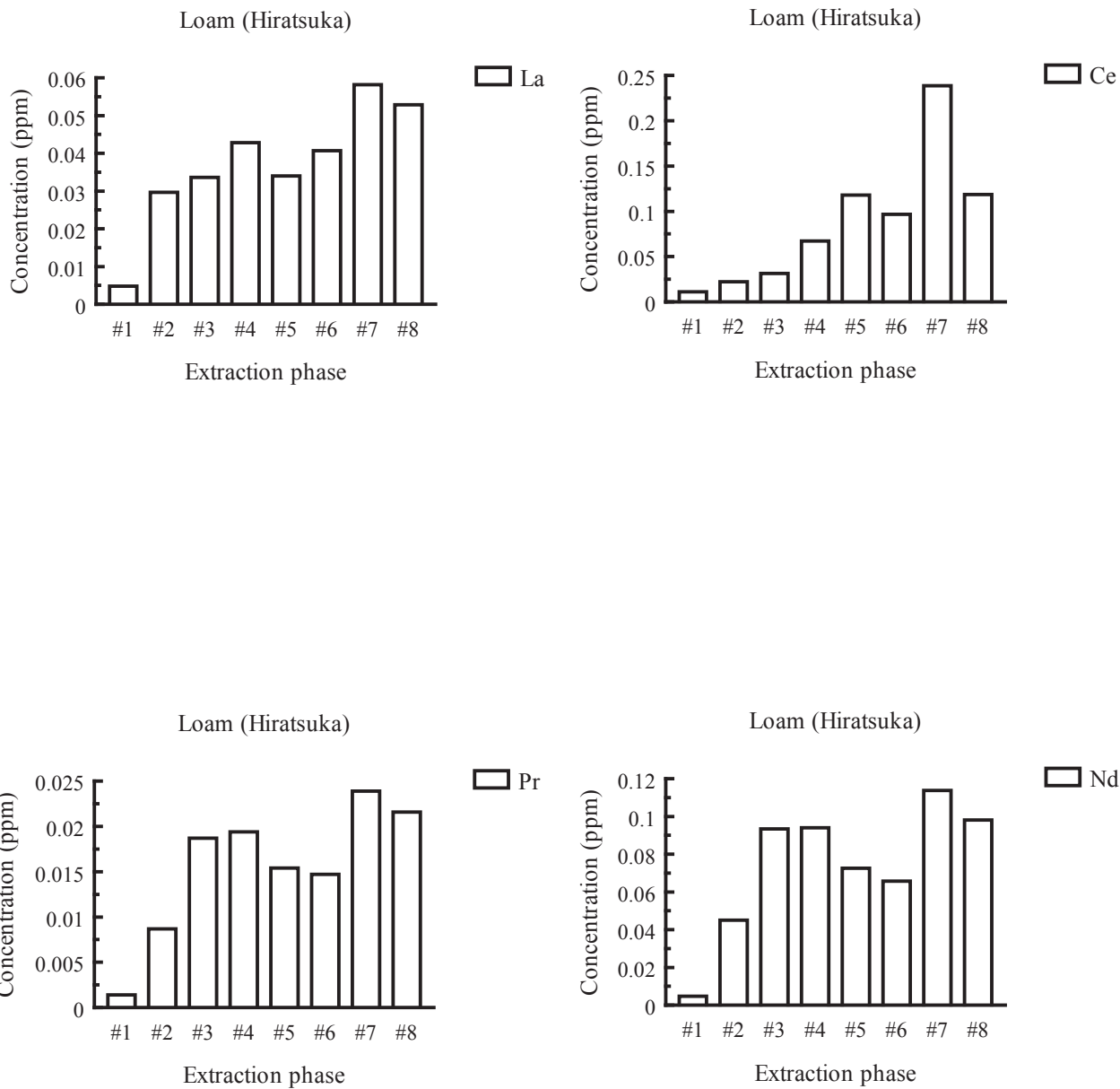


Fig.182 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (La, Ce, Pr and Nd) in loam (Hiratsuka).

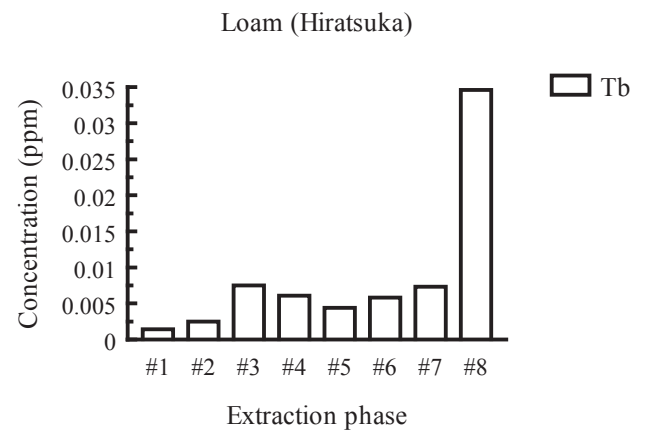
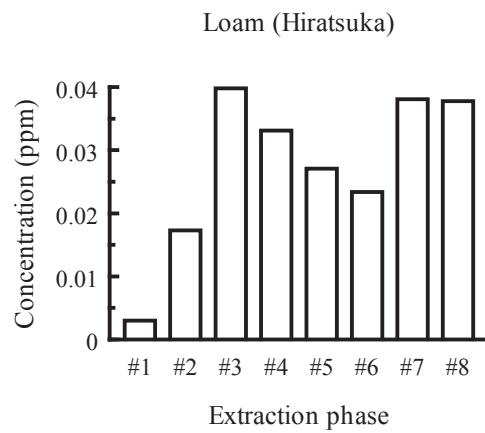
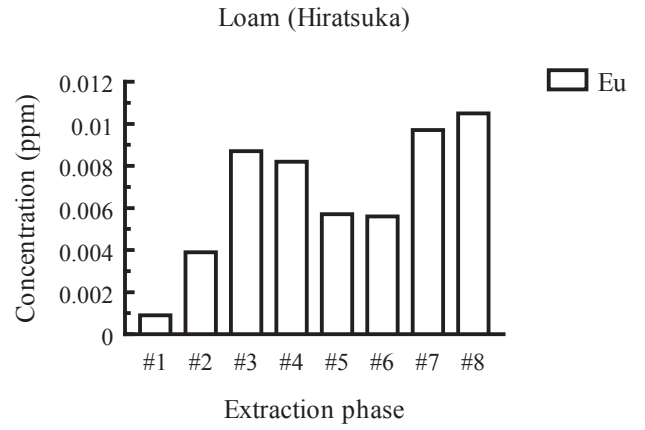
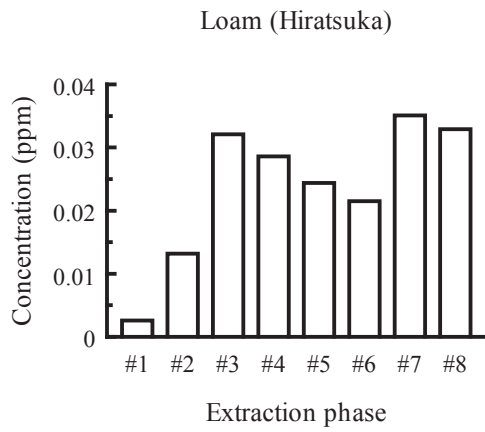


Fig.183 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Sm, Eu, Gd and Tb) in loam (Hiratsuka).

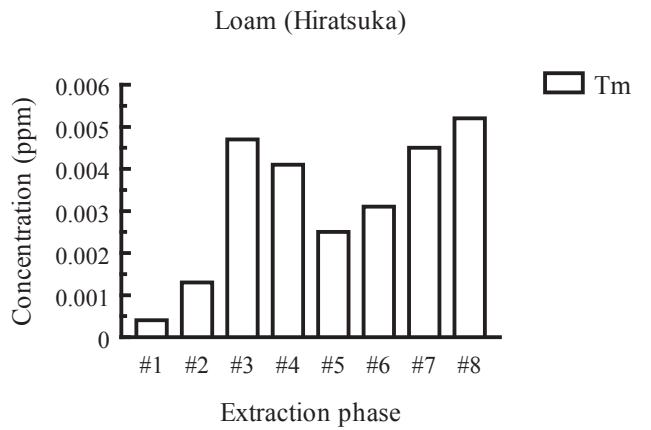
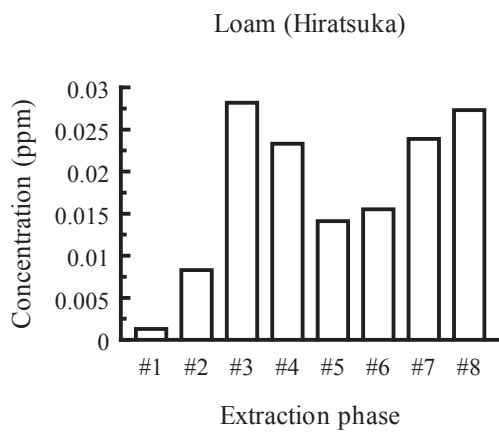
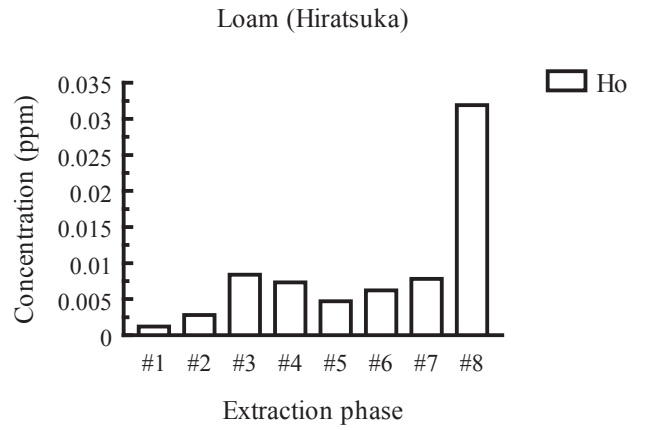
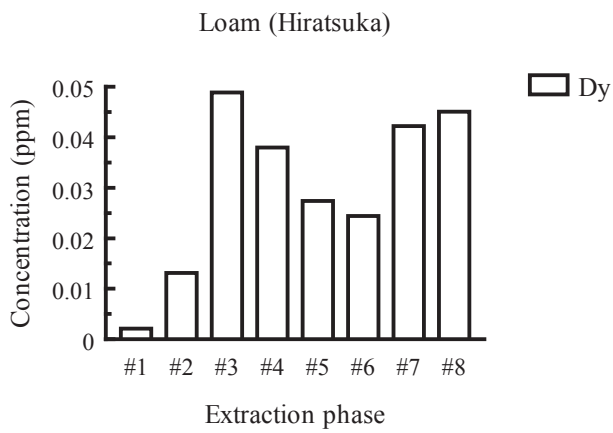


Fig.184 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Dy, Ho, Er and Tm) in loam (Hiratsuka).

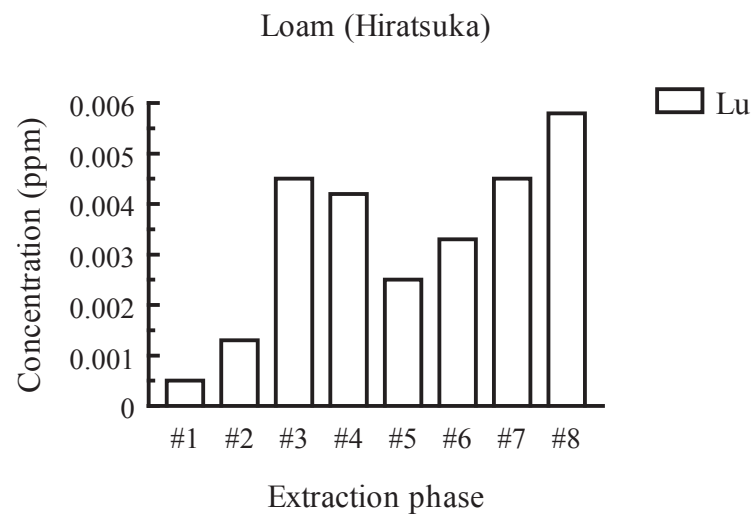
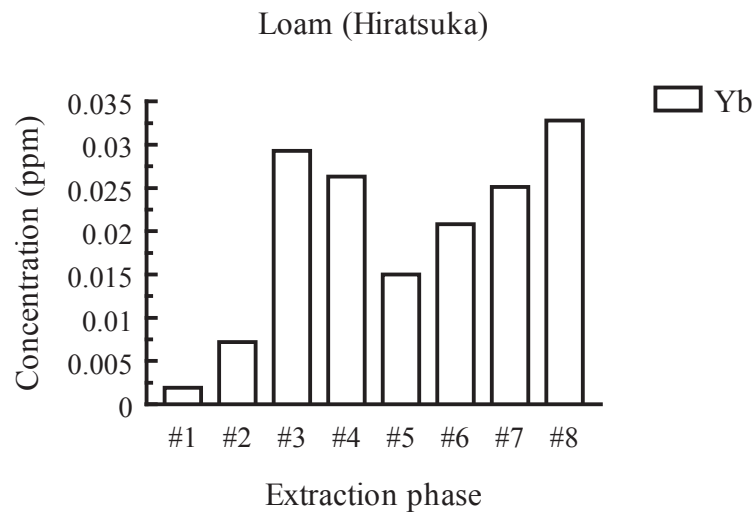


Fig.185 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Yb and Lu) in loam (Hiratsuka).

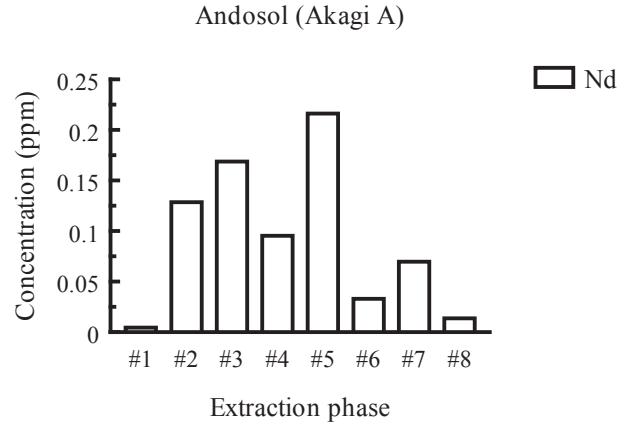
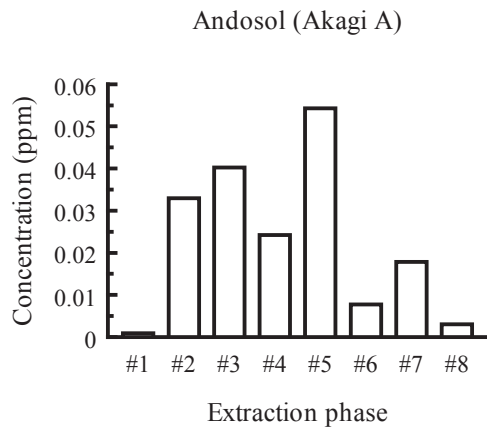
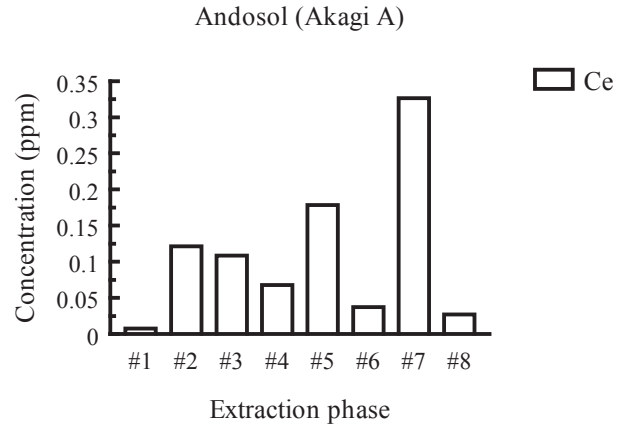
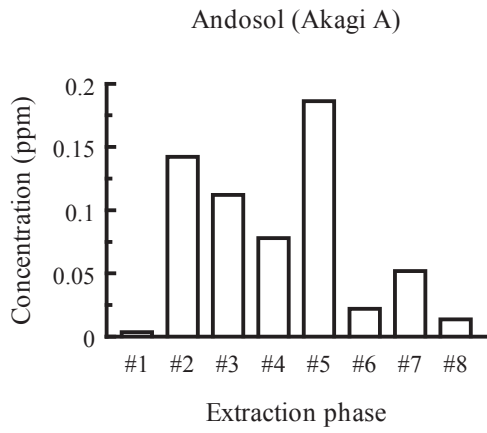


Fig.186 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (La, Ce, Pr and Nd) in andosol (Akagi A).

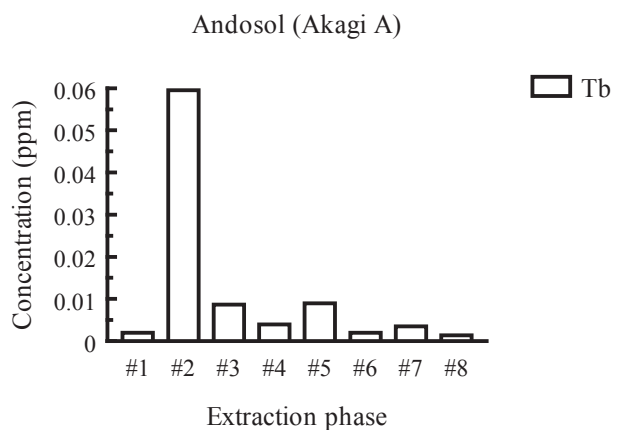
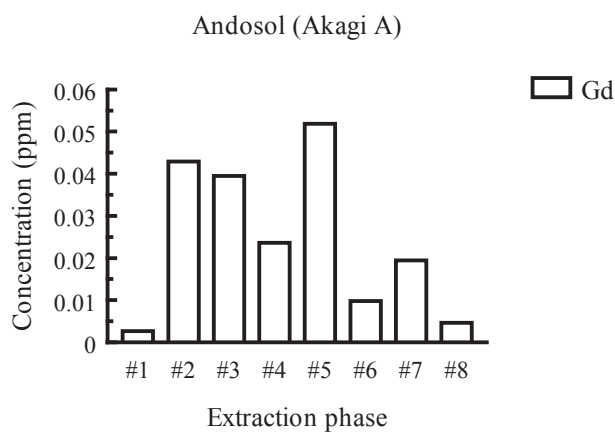
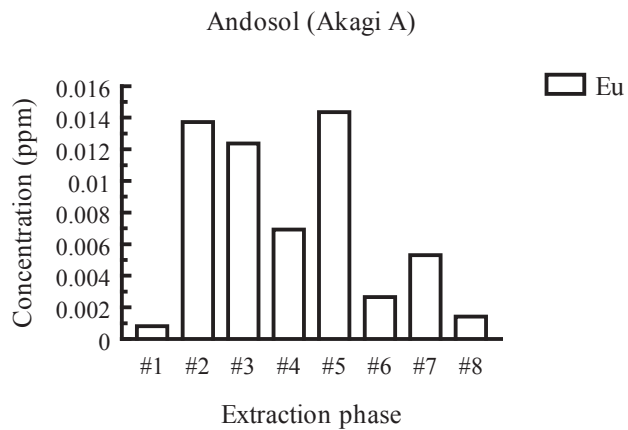
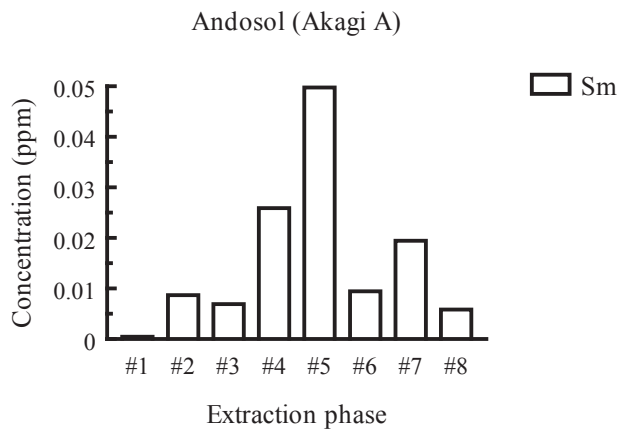


Fig.187 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Sm, Eu, Gd and Tb) in andosol (Akagi A).

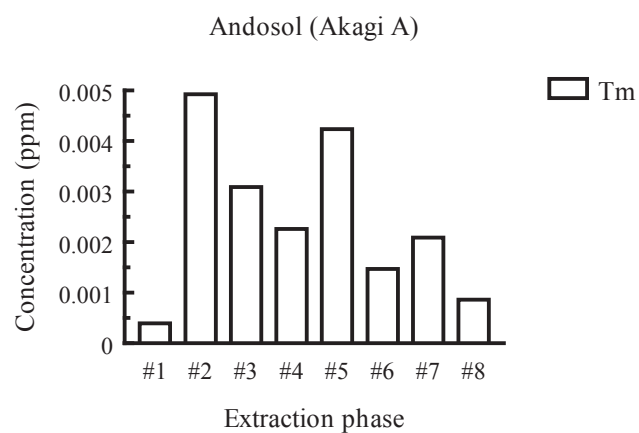
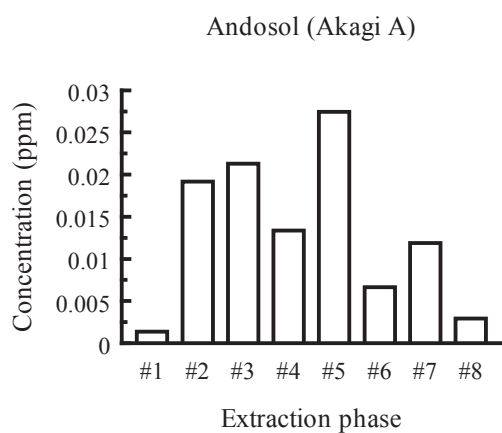
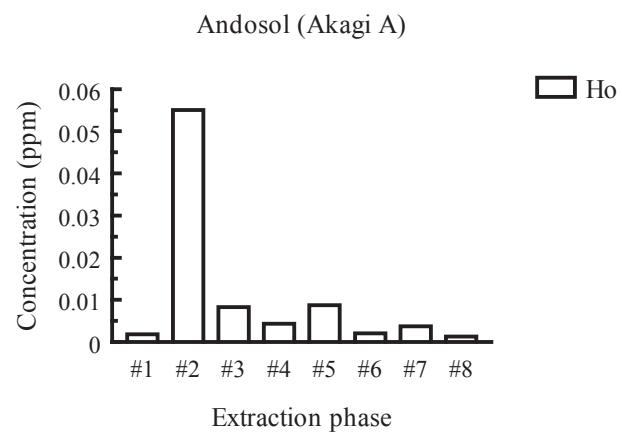
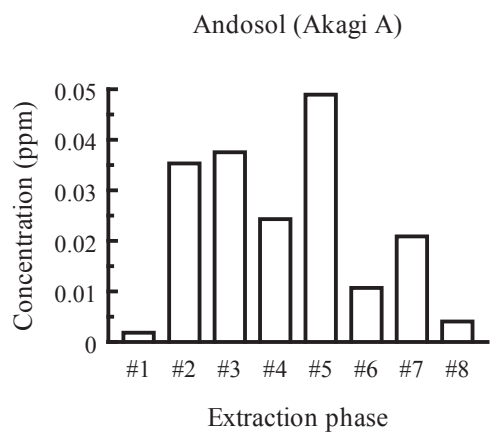


Fig.188 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Dy, Ho, Er and Tm) in andosol (Akagi A).

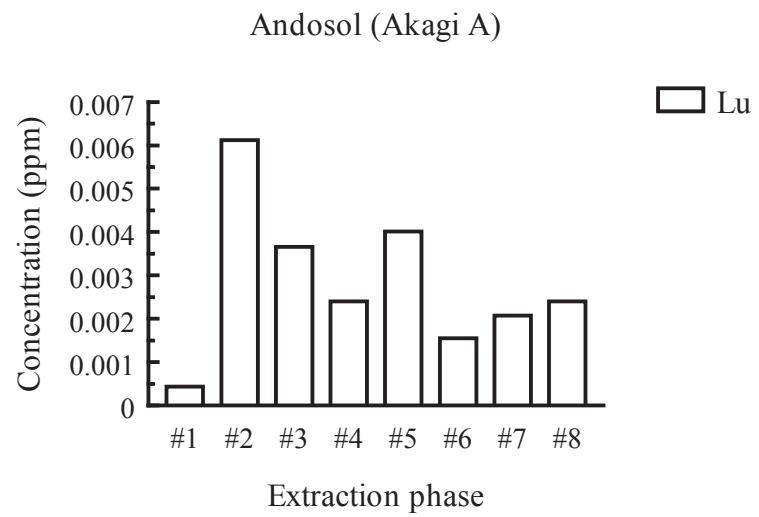
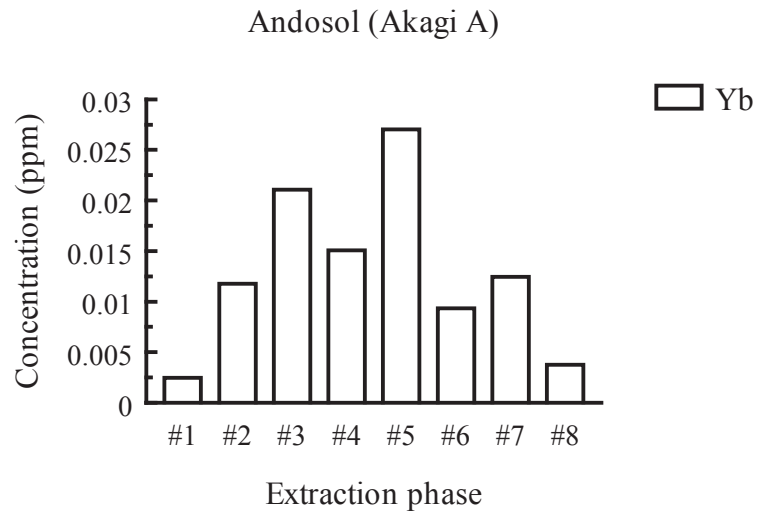


Fig.189 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Yb and Lu) in andosol (Akagi A).

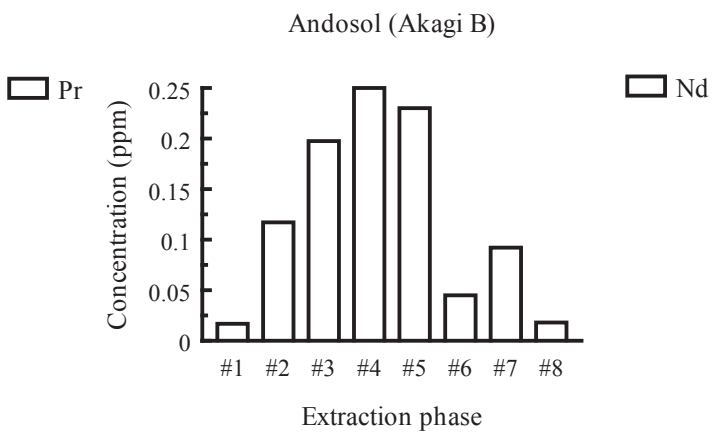
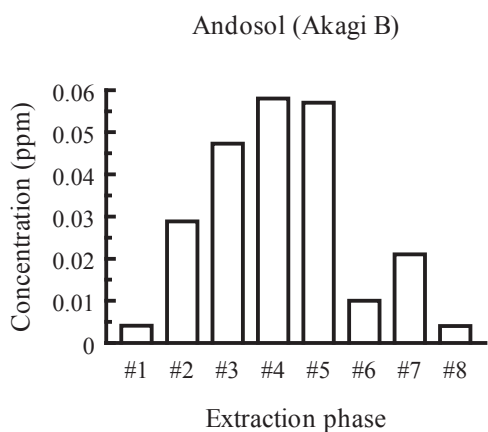
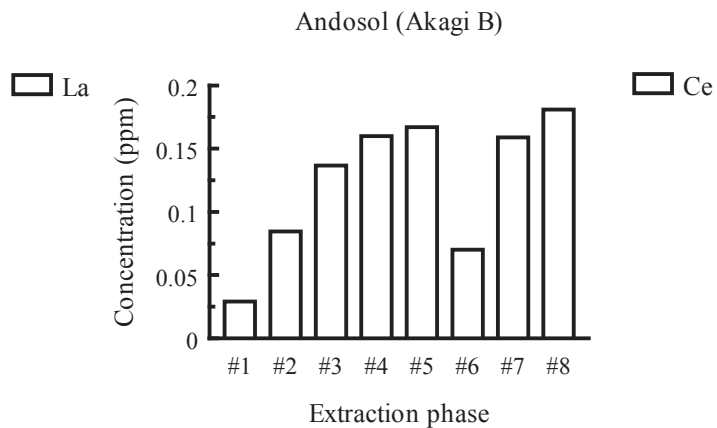
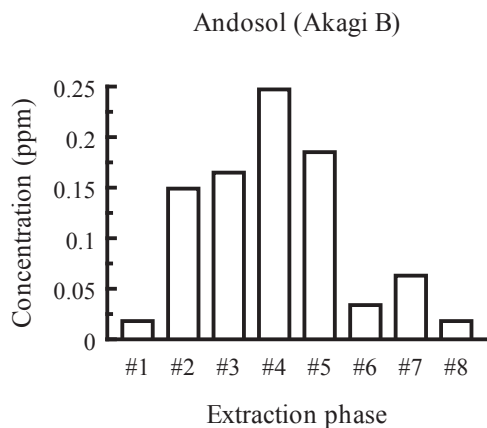


Fig.190 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (La, Ce, Pr and Nd) in andosol (Akagi B).

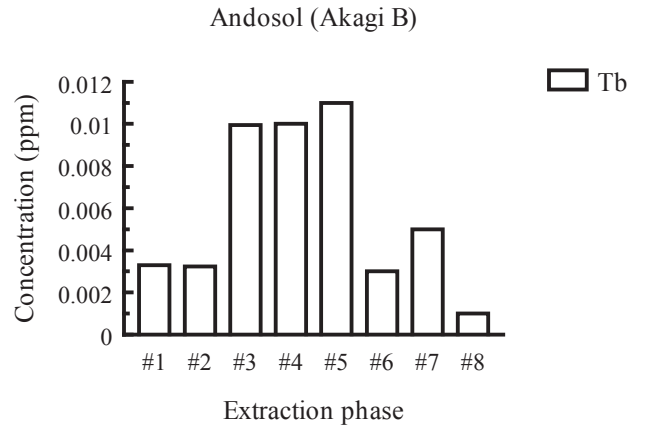
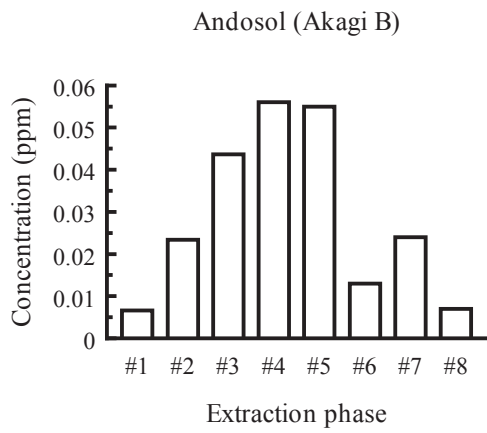
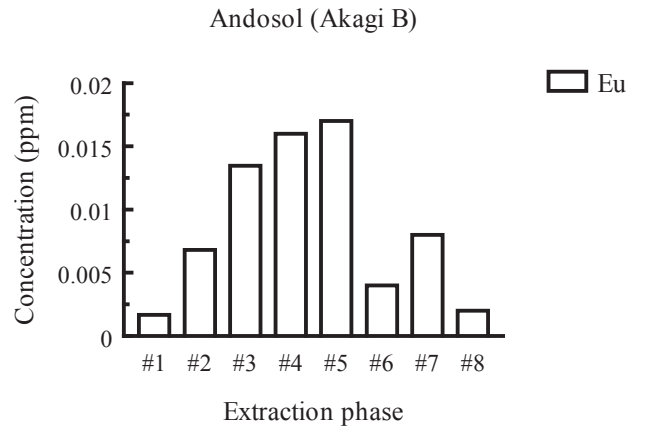
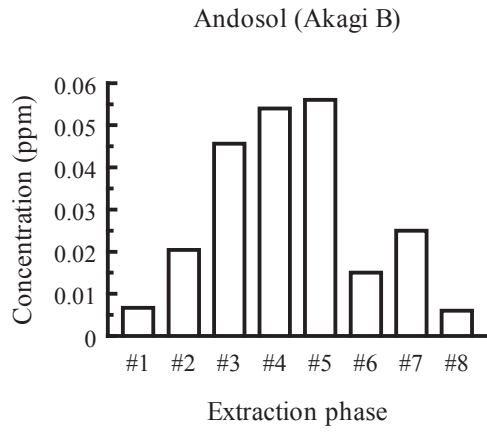


Fig.191 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Sm, Eu, Gd and Tb) in andosol (Akagi B).

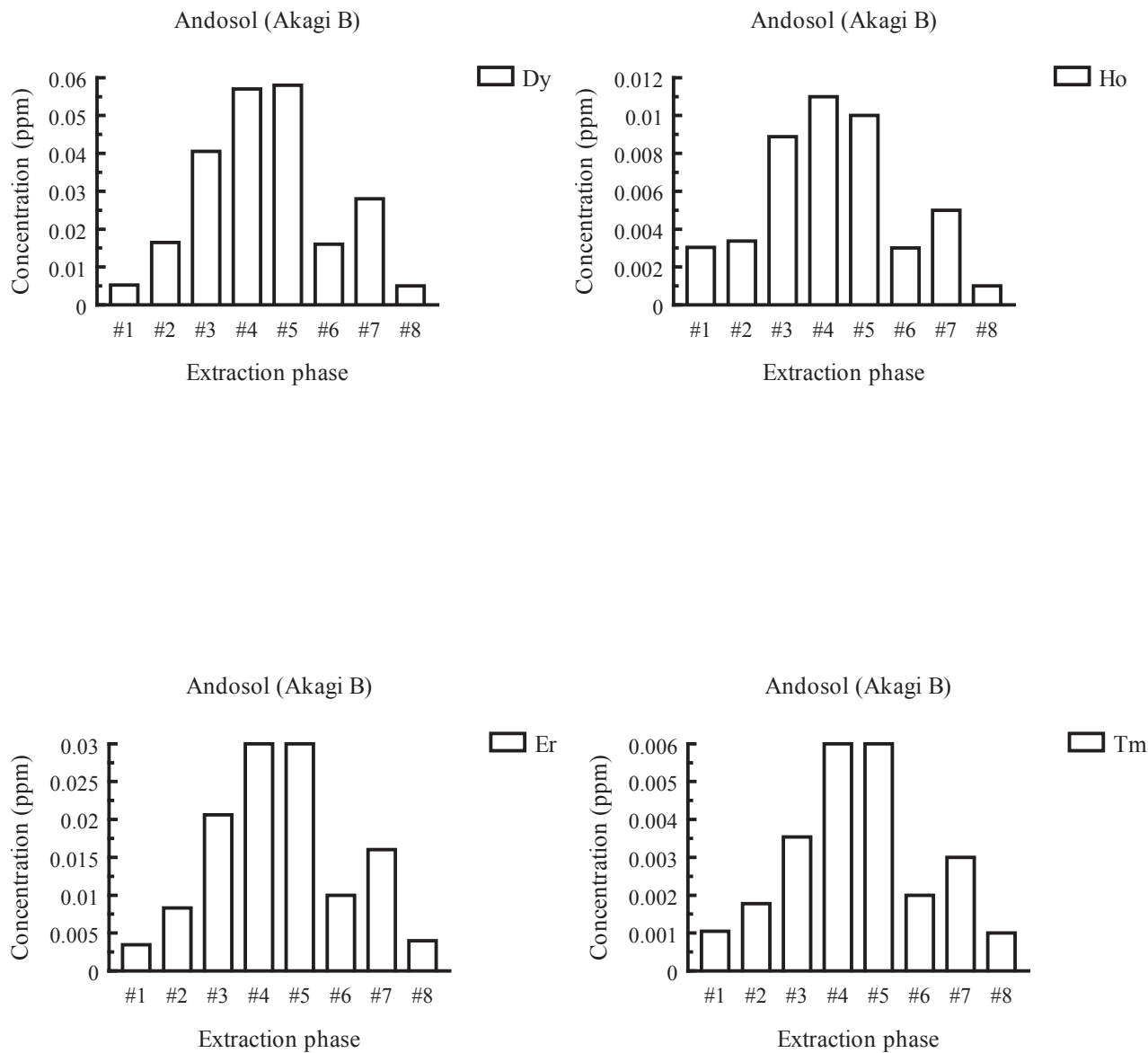


Fig.192 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Dy, Ho, Er and Tm) in andosol (Akagi B).

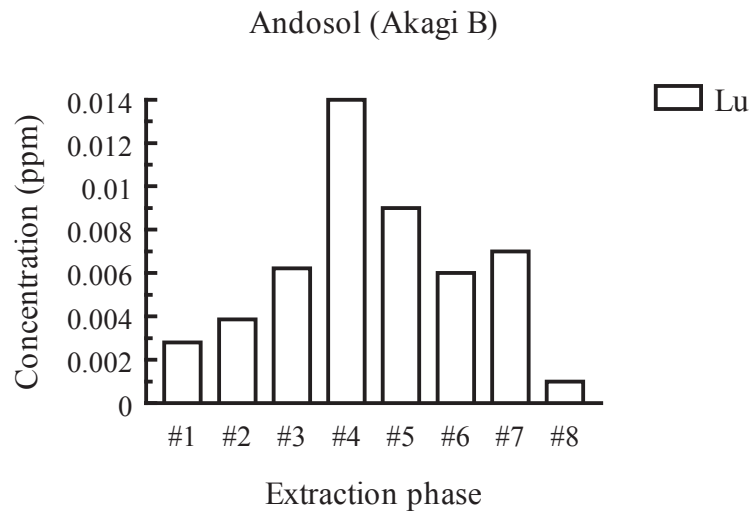
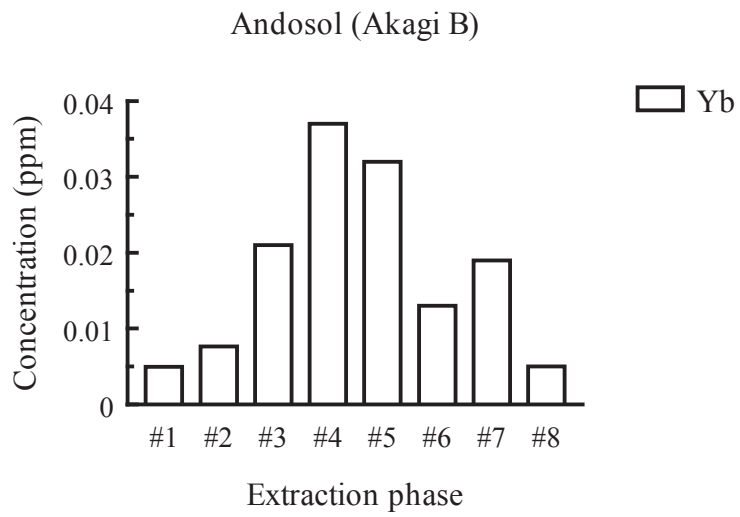


Fig.193 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Yb and Lu) in andosol (Akagi B).

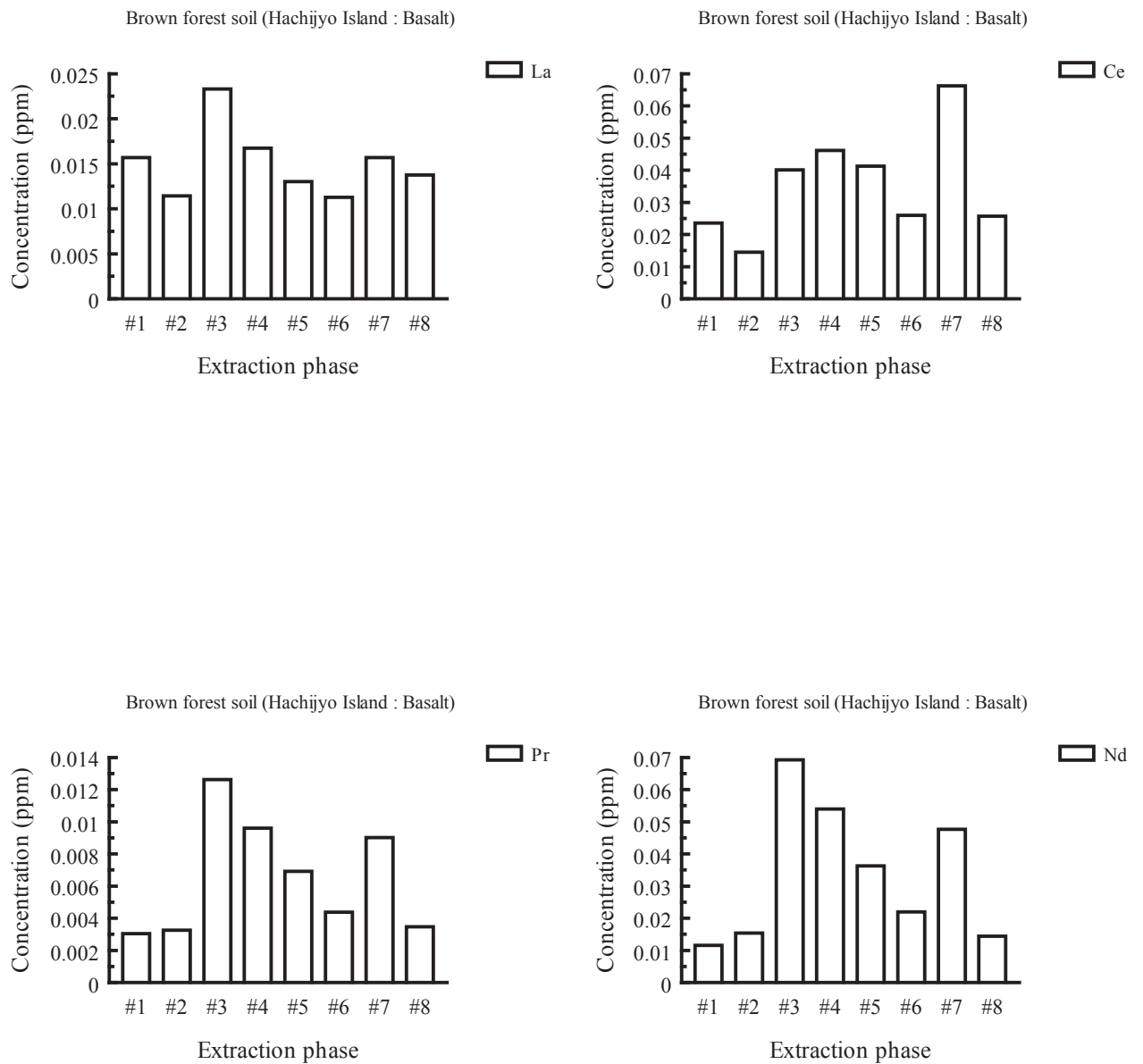


Fig.194 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (La, Ce, Pr and Nd) in brown forest soil (Hachijyo Island : Basalt).

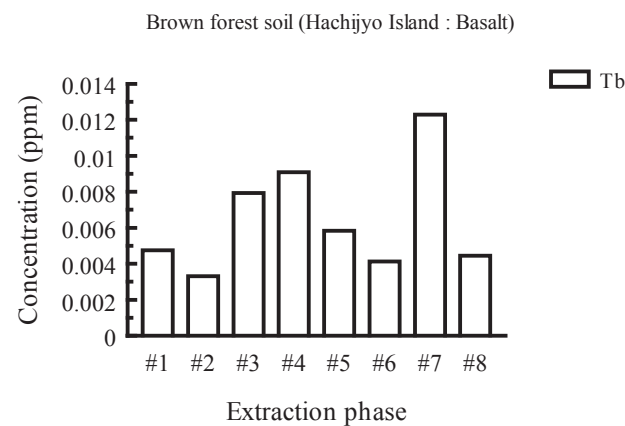
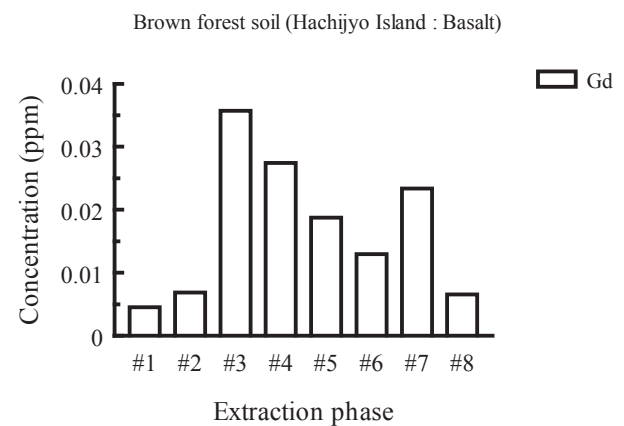
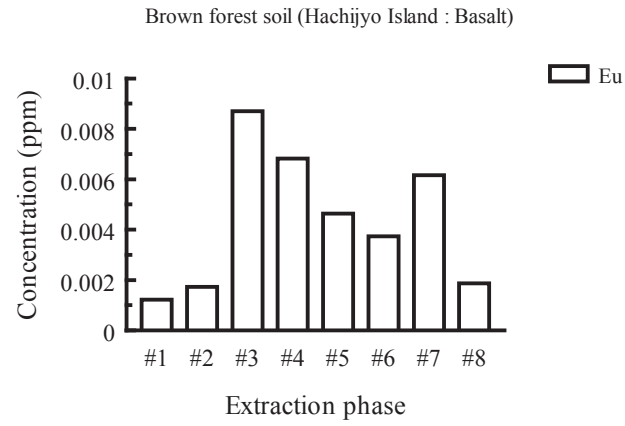
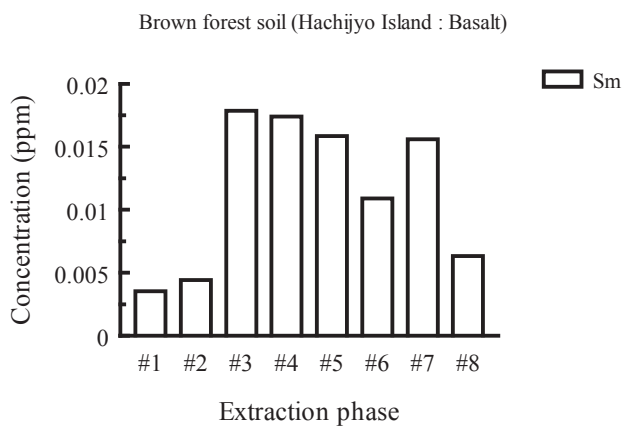
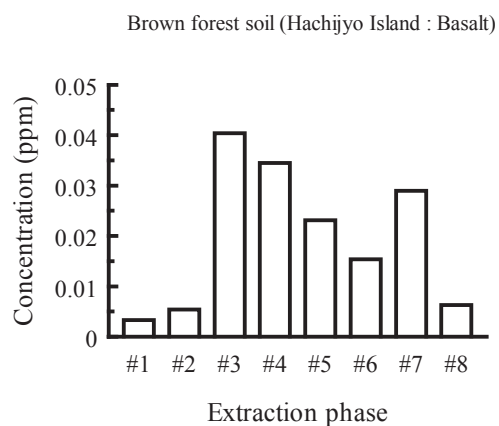
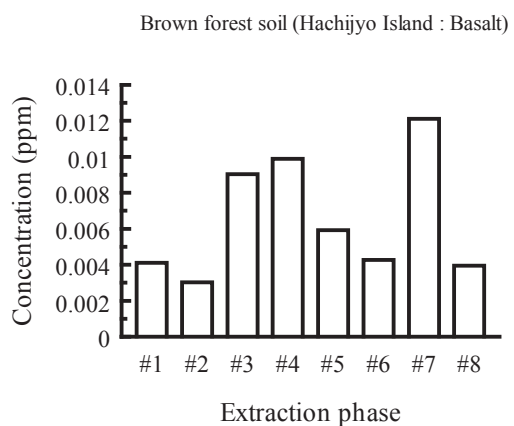


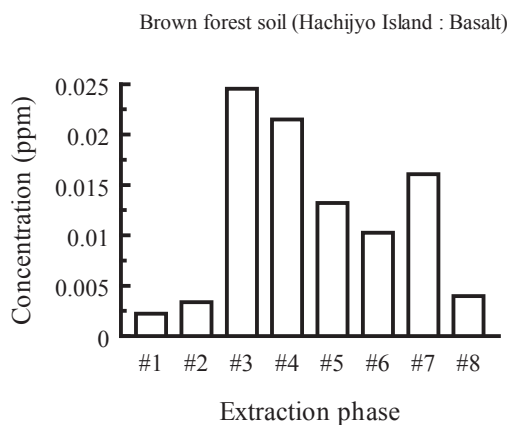
Fig.195 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Sm, Eu, Gd and Tb) in brown forest soil (Hachijyo Island : Basalt).



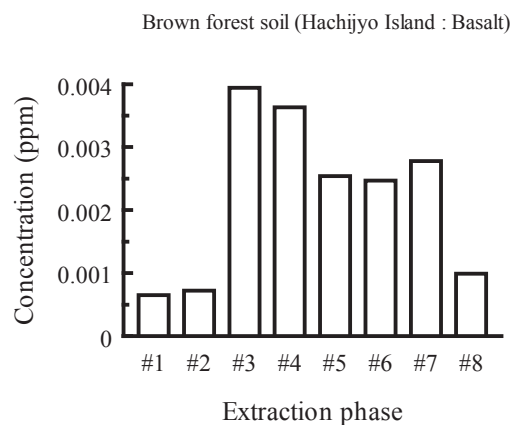
Dy



Ho



Er



Tm

Fig.196 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Dy, Ho, Er and Tm) in brown forest soil (Hachijyo Island : Basalt).

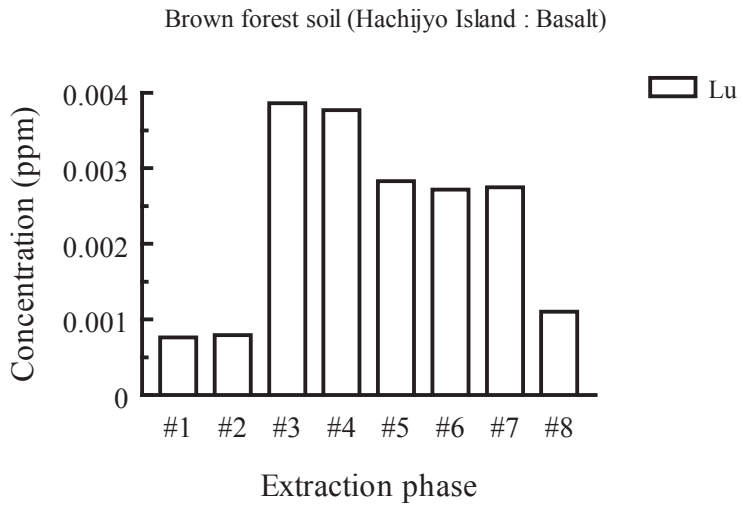
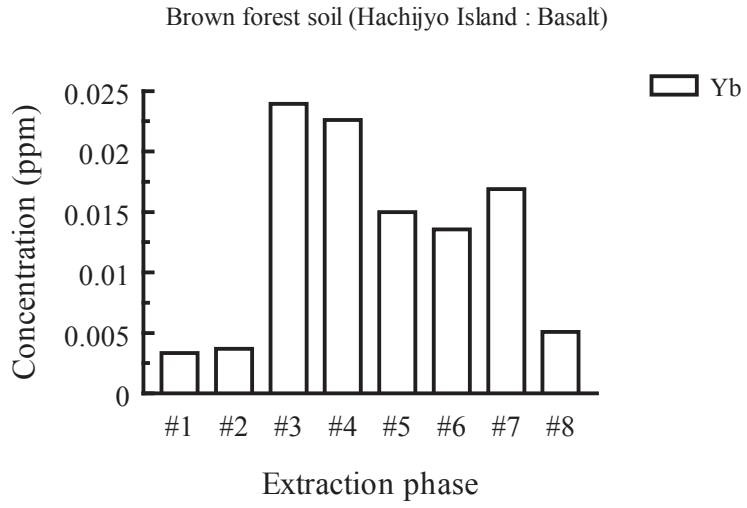


Fig.197 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Yb and Lu) in brown forest soil (Hachijyo Island : Basalt).

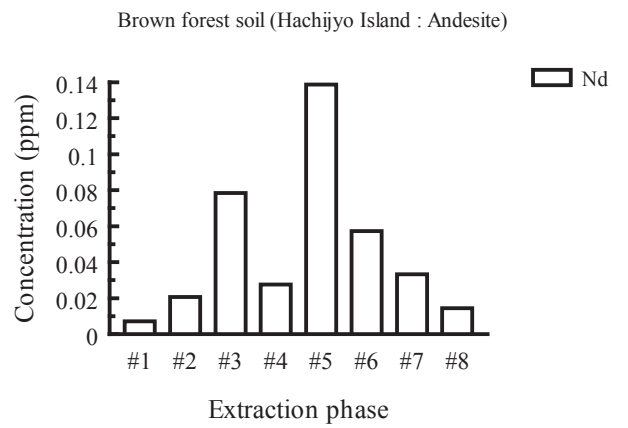
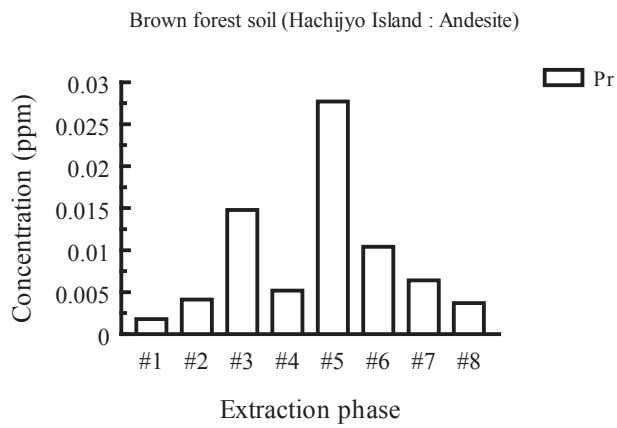
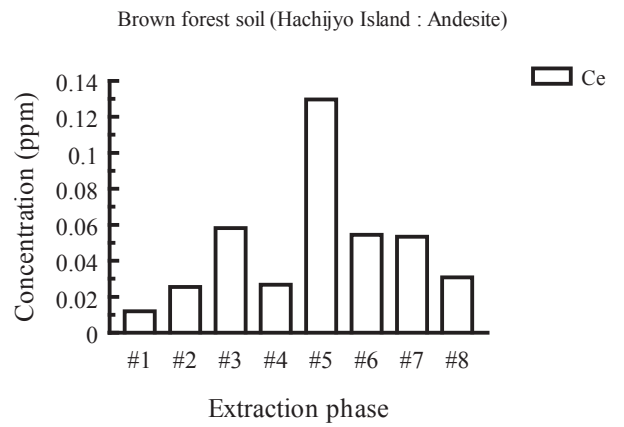
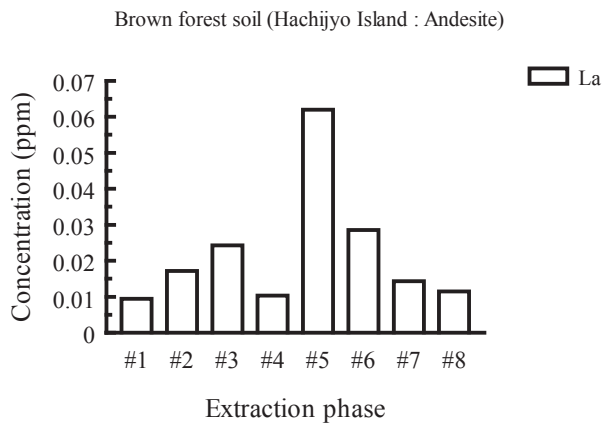


Fig.198 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (La, Ce, Pr and Nd) in brown forest soil (Hachijyo Island : Andesite).

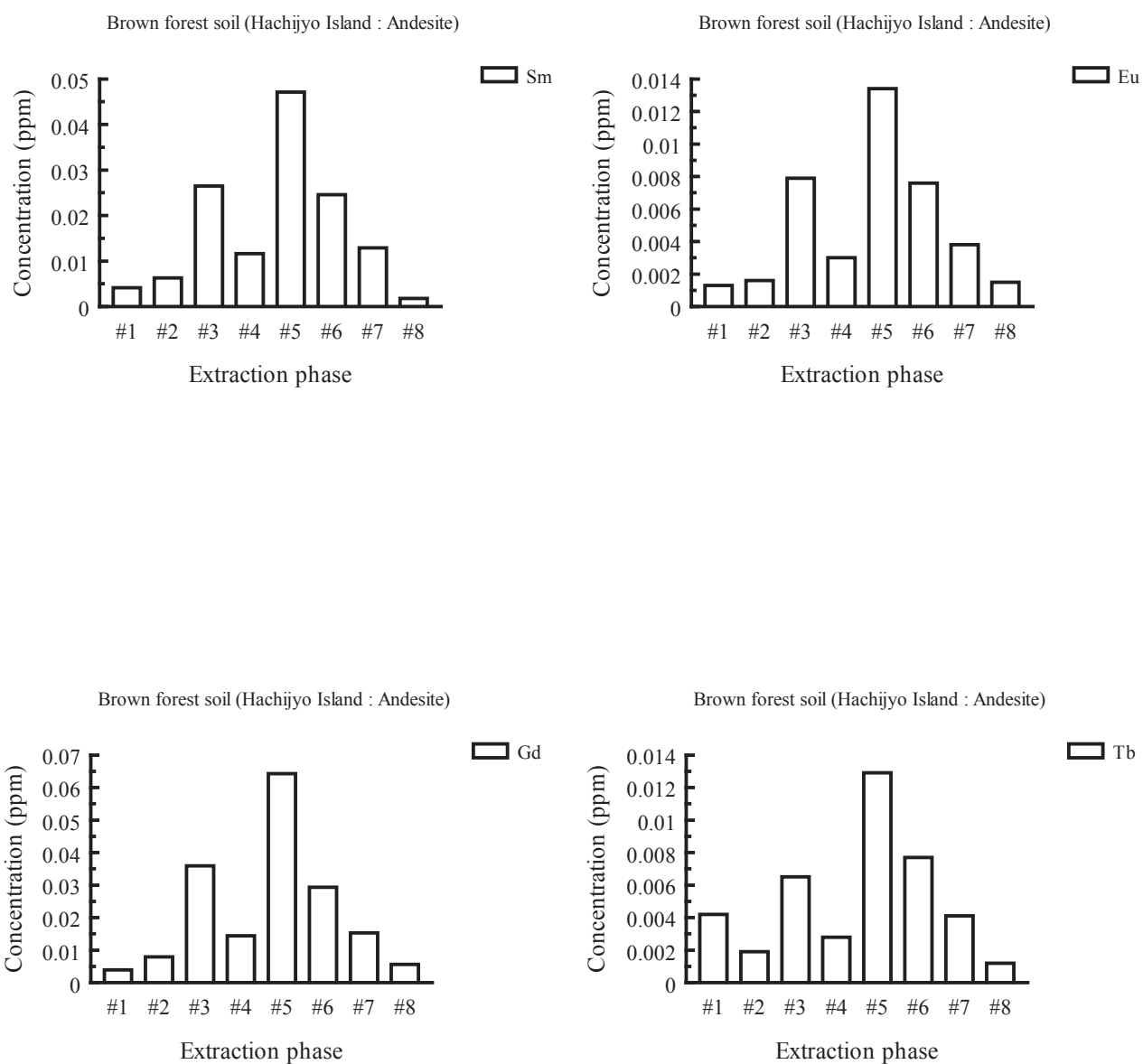


Fig.199 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Sm, Eu, Gd and Tb) in brown forest soil (Hachijyo Island : Andesite).

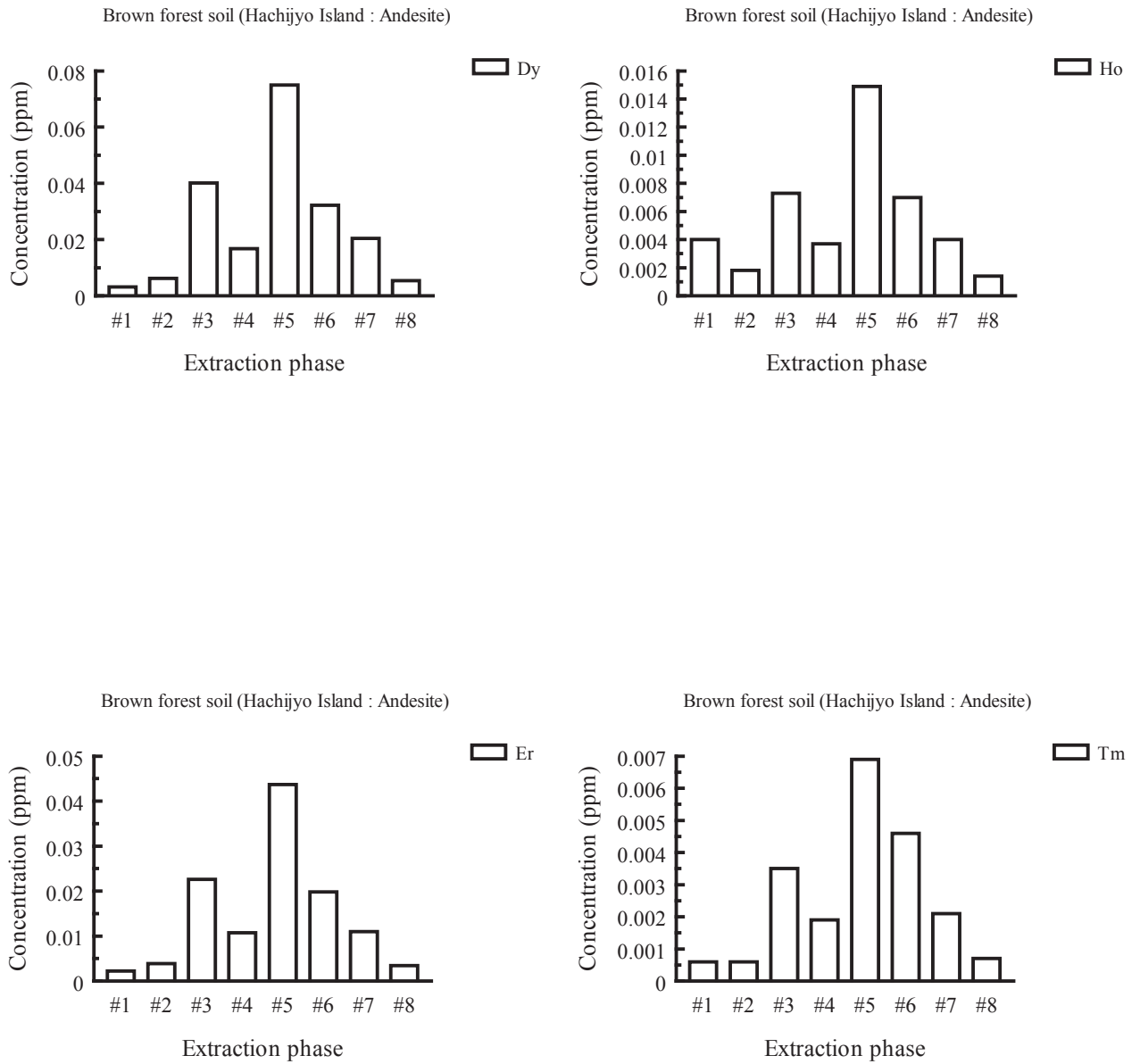


Fig.200 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Dy, Ho, Er and Tm) in brown forest soil (Hachijyo Island : Andesite).

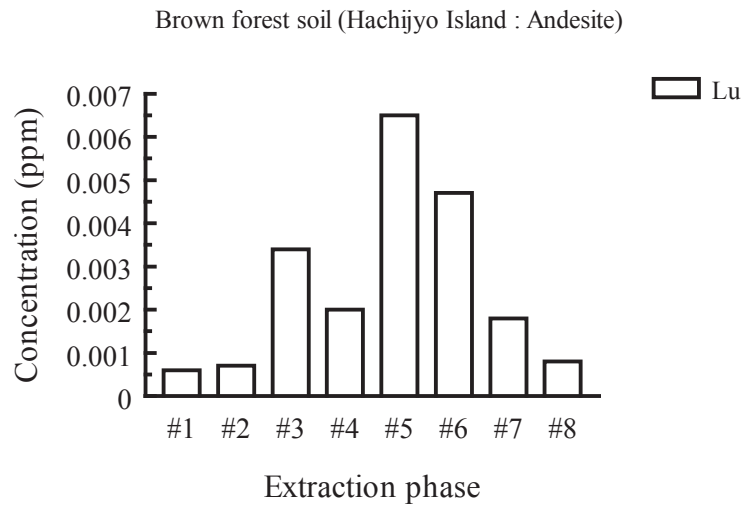
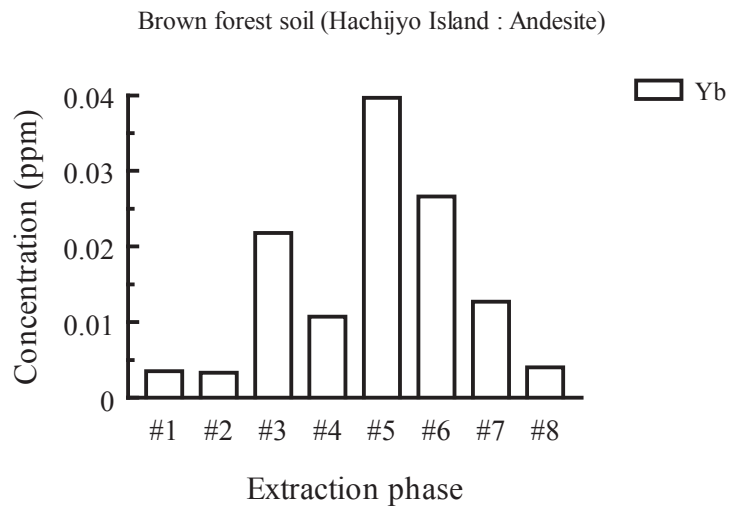


Fig.201 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Yb and Lu) in brown forest soil (Hachijyo Island : Andesite).

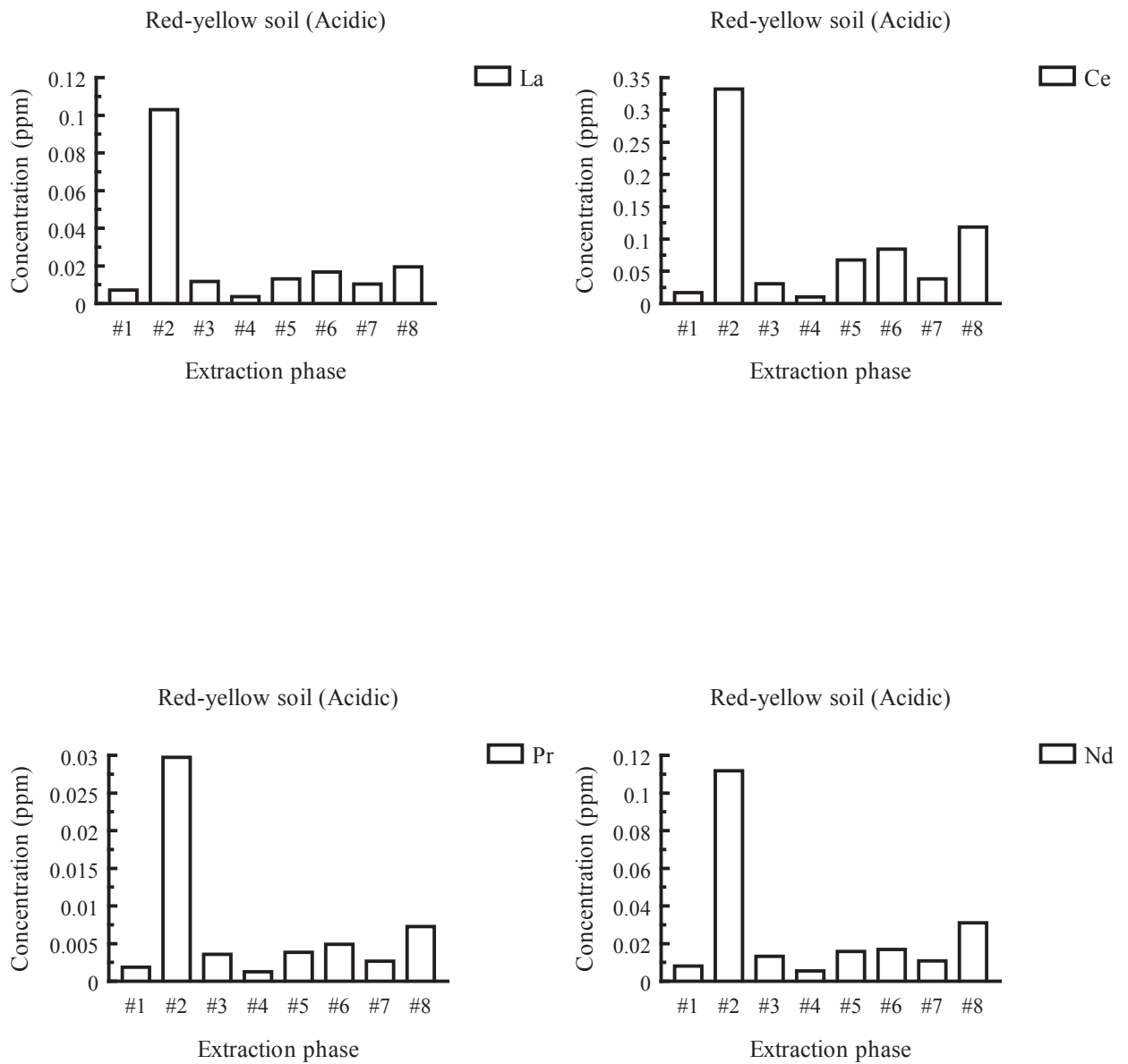


Fig.202 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (La, Ce, Pr and Nd) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Acidic soil).

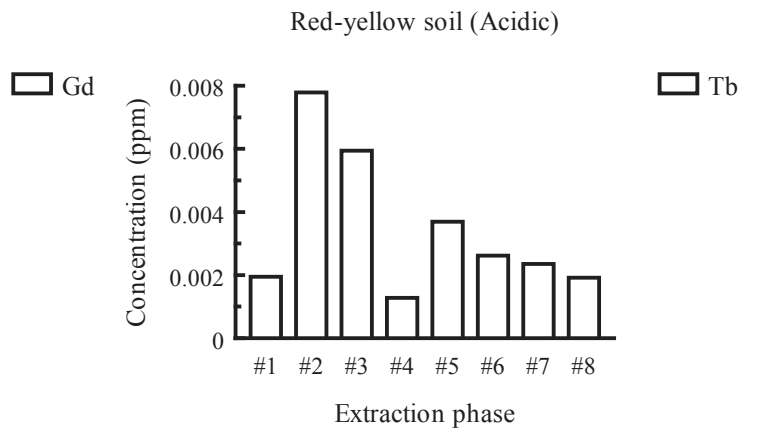
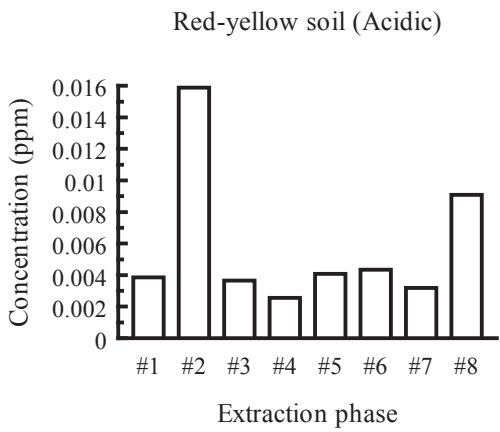
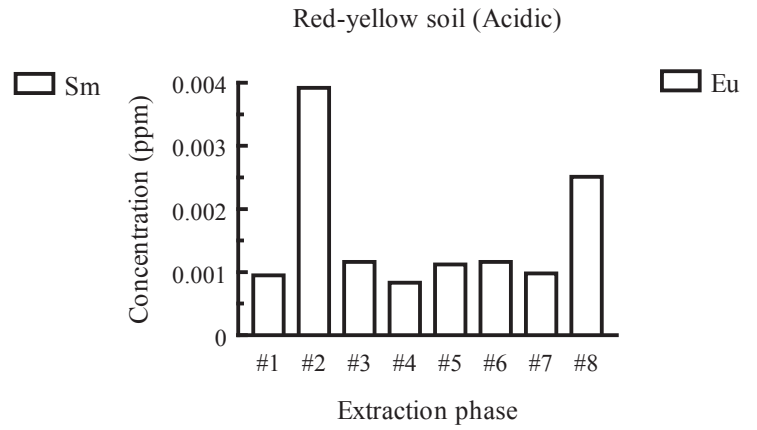
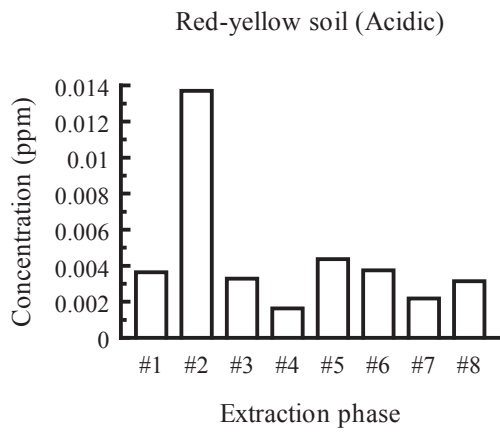


Fig.203 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Sm, Eu, Gd and Tb) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Acidic soil).

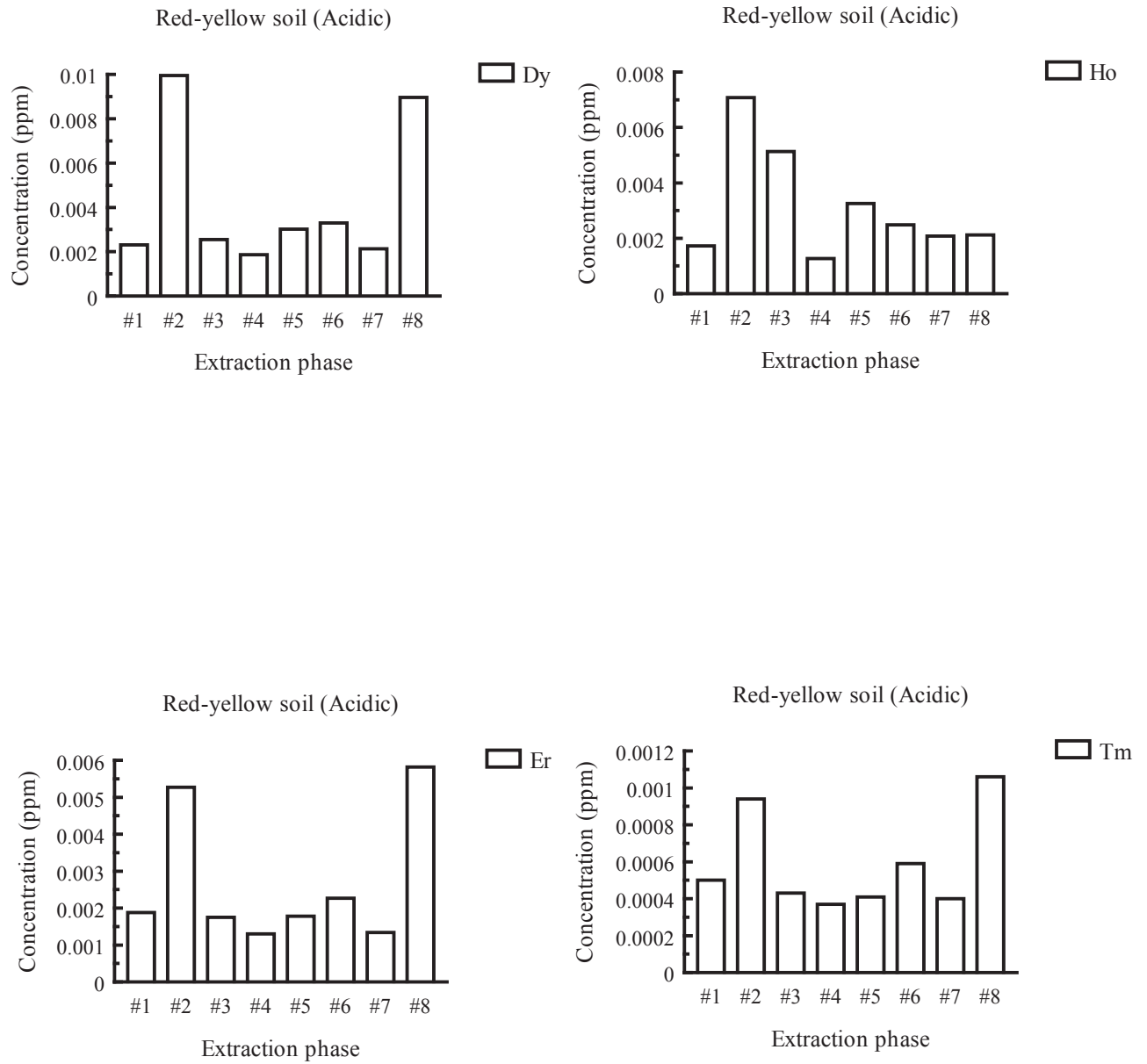


Fig.204 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Dy, Ho, Er and Tm) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Acidic soil).

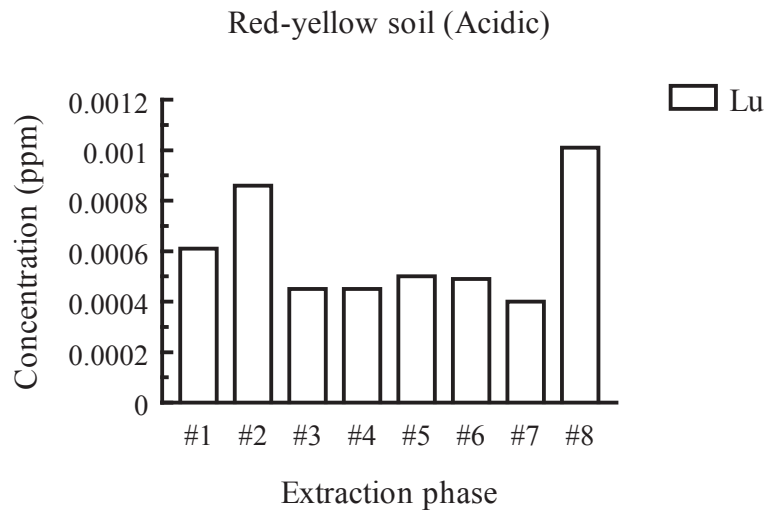
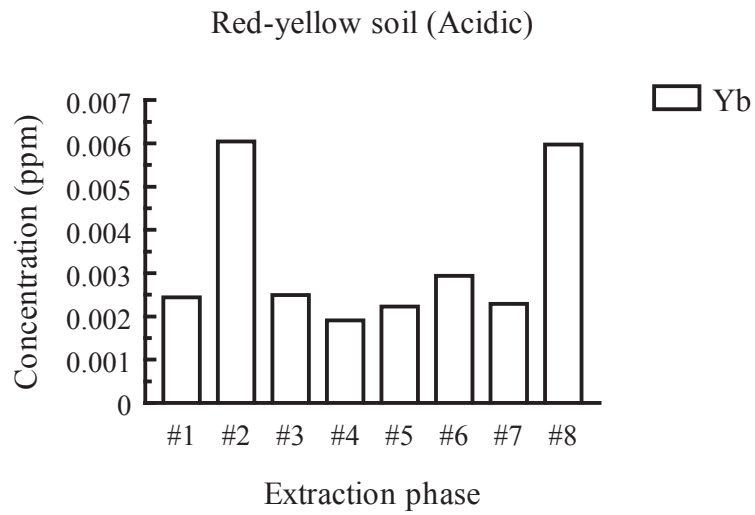


Fig.205 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Yb and Lu) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Acidic soil).

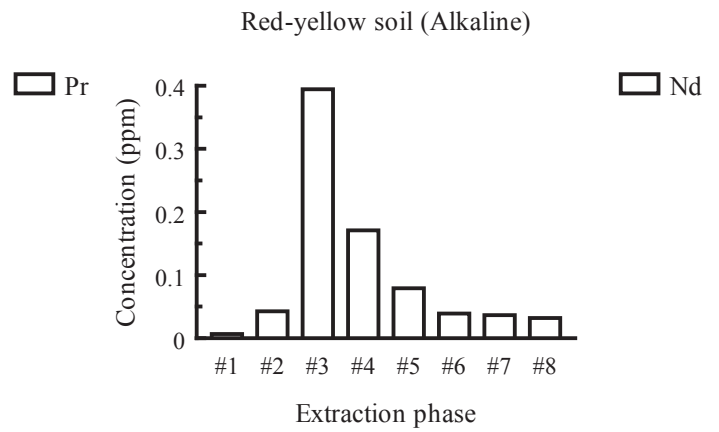
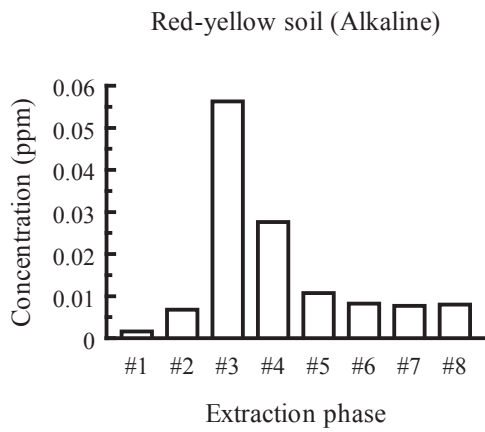
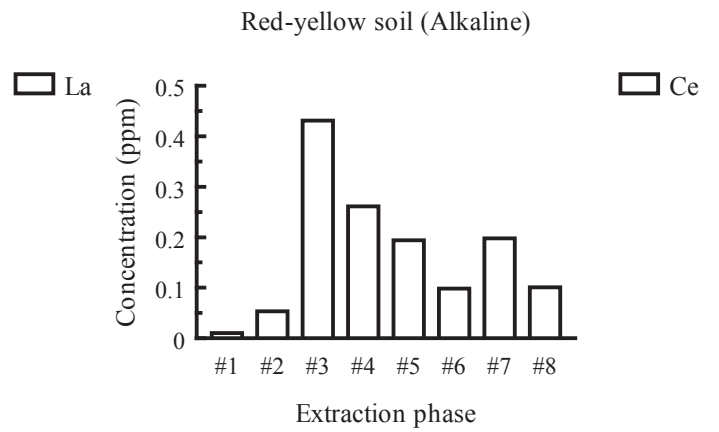
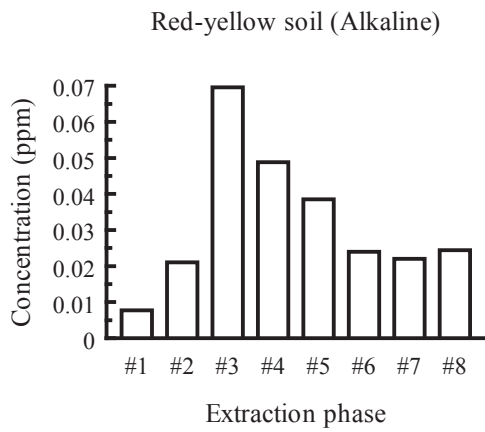


Fig.206 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (La, Ce, Pr and Nd) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Alkaline soil).

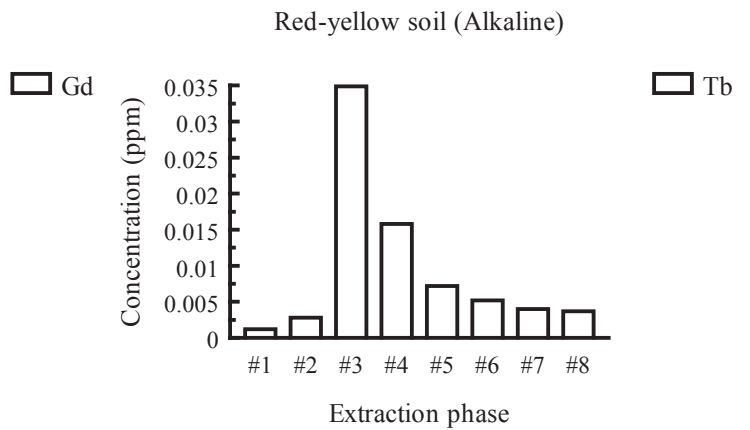
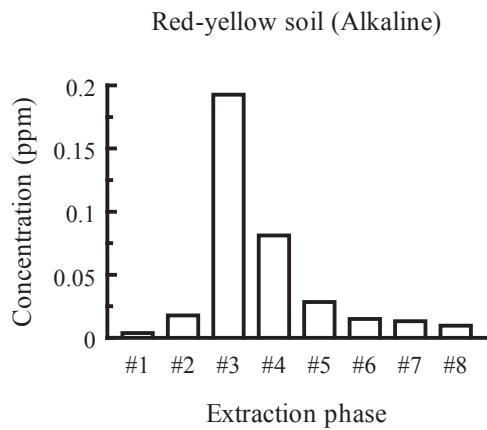
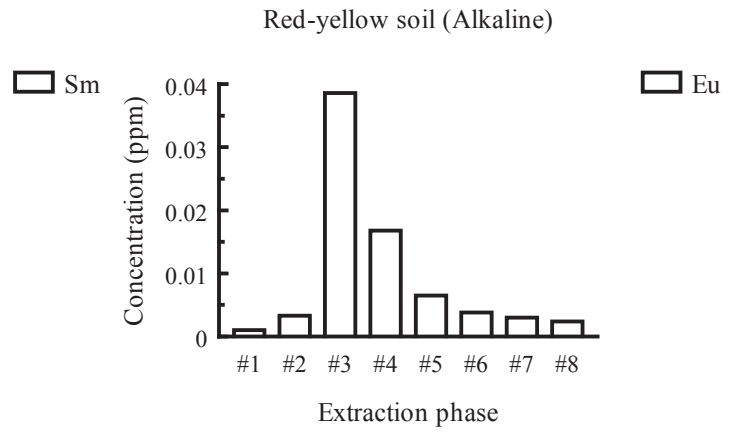
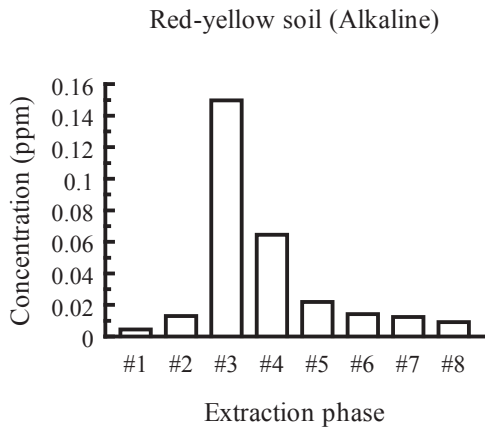


Fig.207 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Sm, Eu, Gd and Tb) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Alkaline soil).

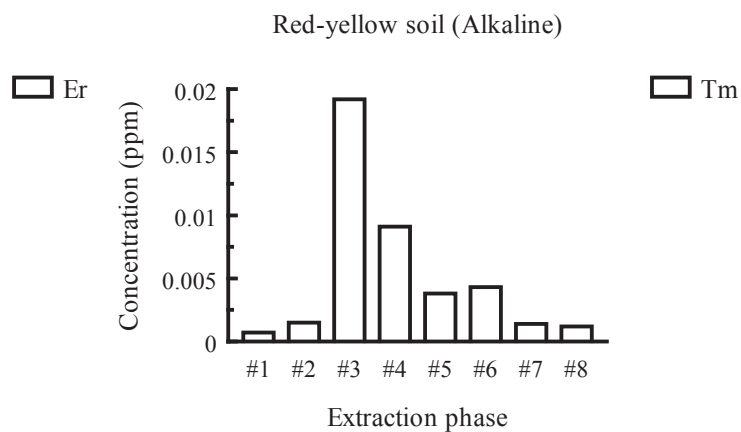
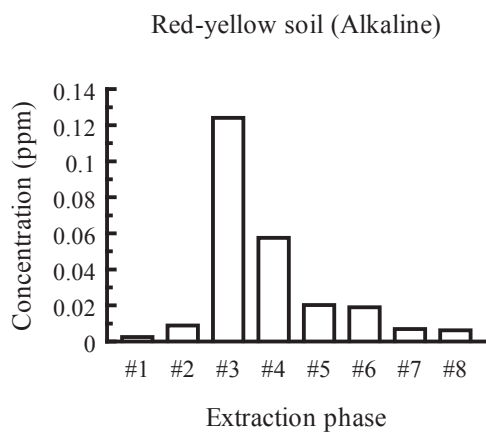
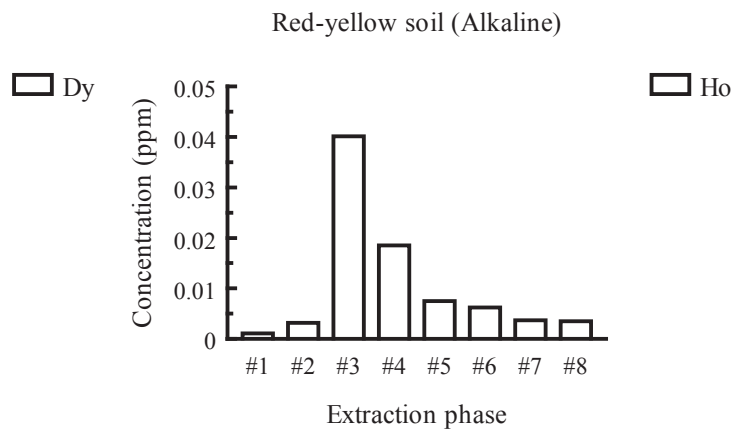
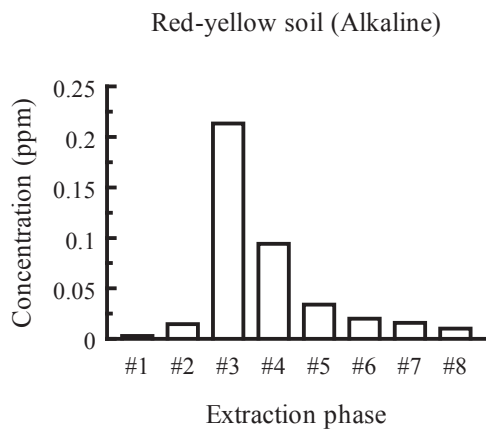


Fig.208 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Dy, Ho, Er and Tm) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Alkaline soil).

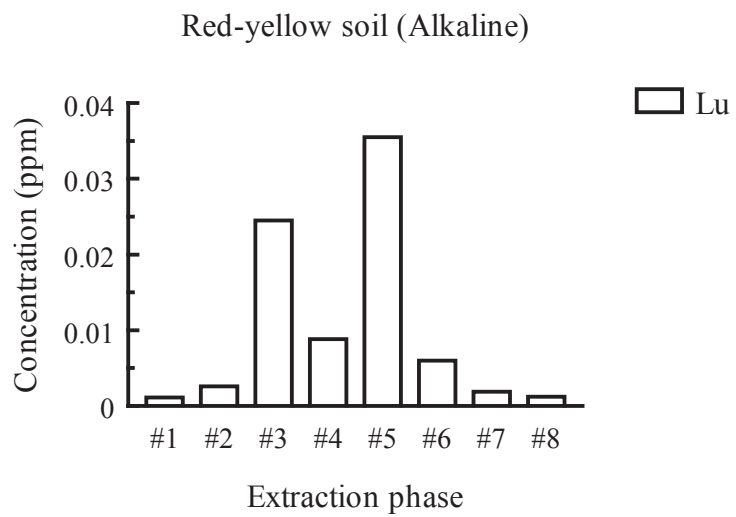
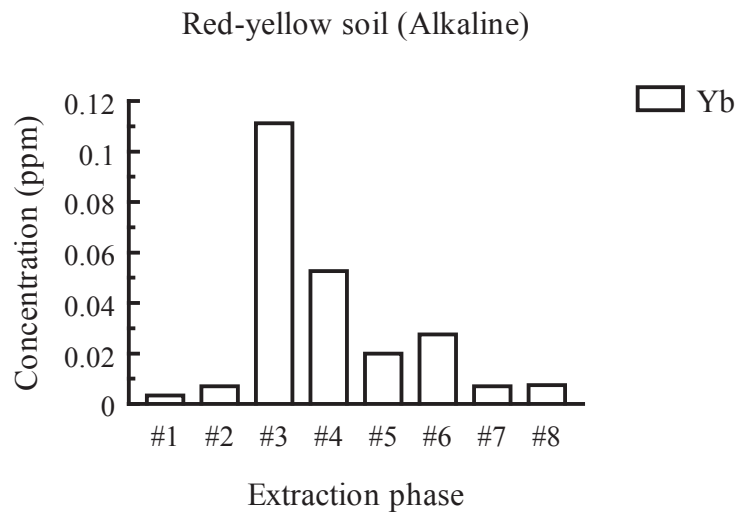


Fig.209 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Yb and Lu) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Alkaline soil).

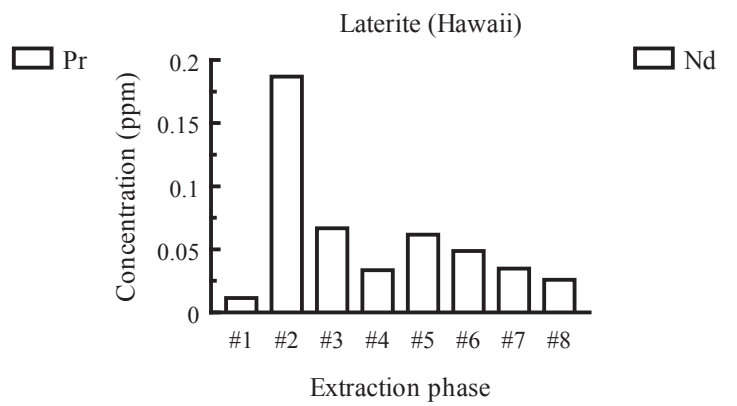
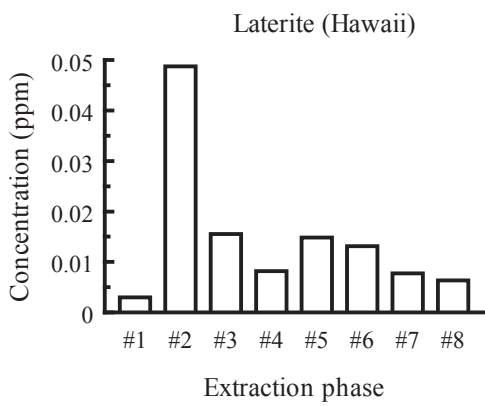
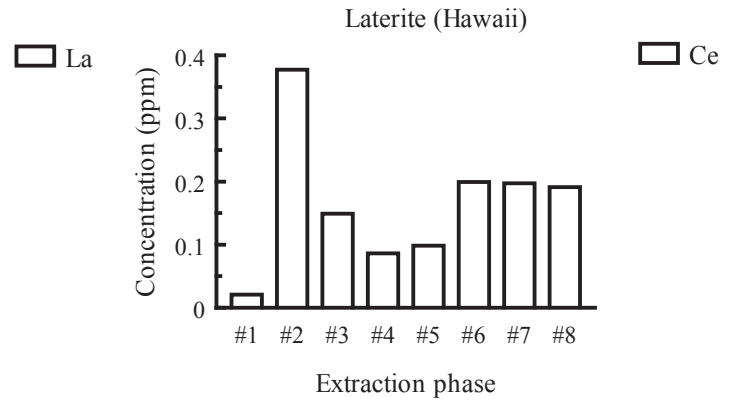
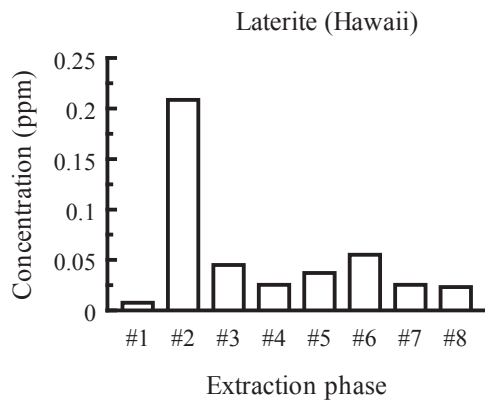
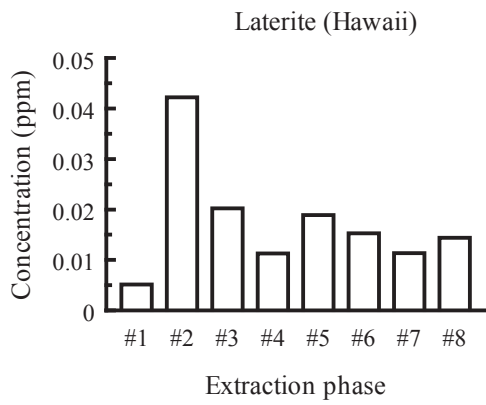
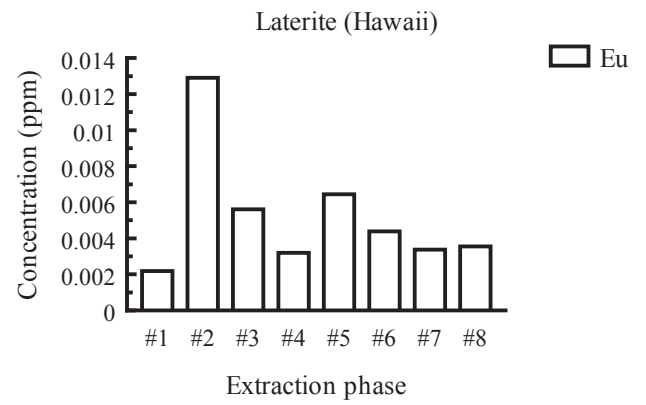


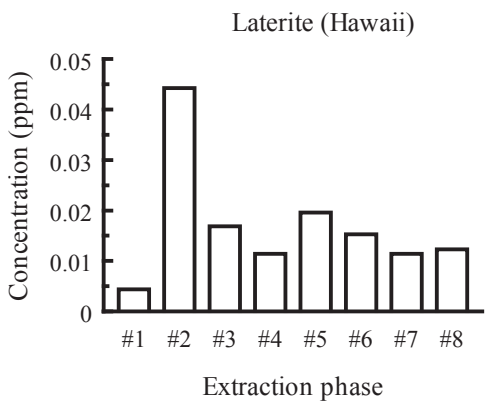
Fig.210 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (La, Ce, Pr and Nd) in laterite (Hawaii Islands).



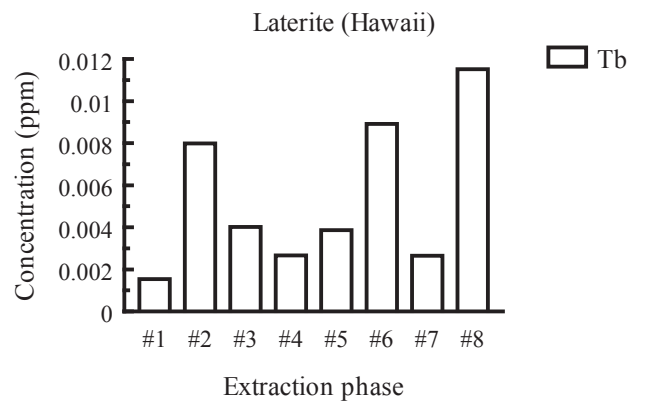
Sm



Eu



Gd



Tb

Fig.211 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Sm, Eu, Gd and Tb) in laterite (Hawaii Islands).

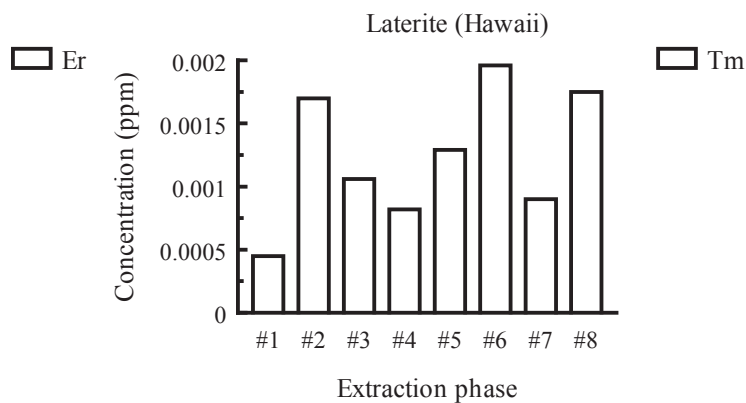
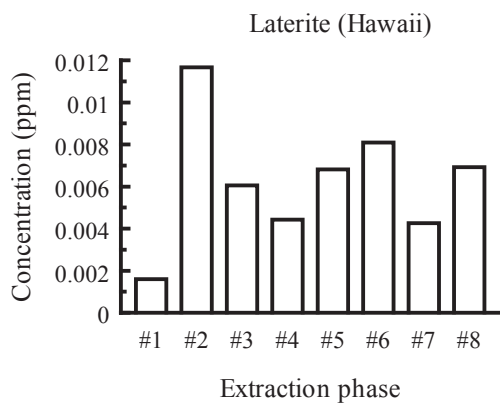
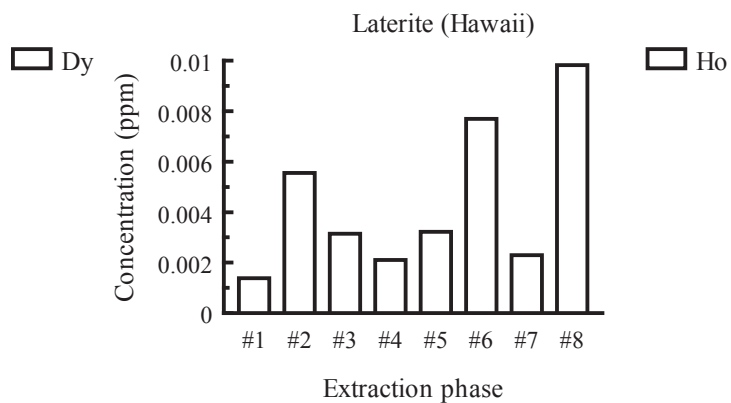
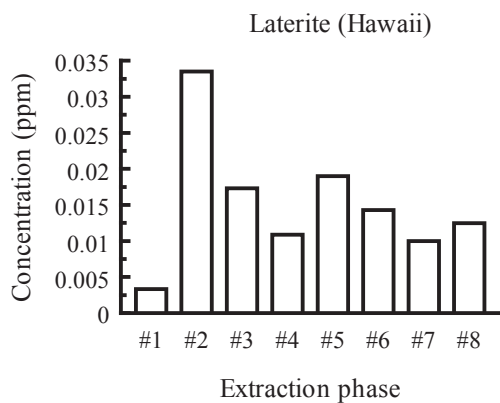


Fig.212 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Dy, Ho, Er and Tm) in laterite (Hawaii Islands).

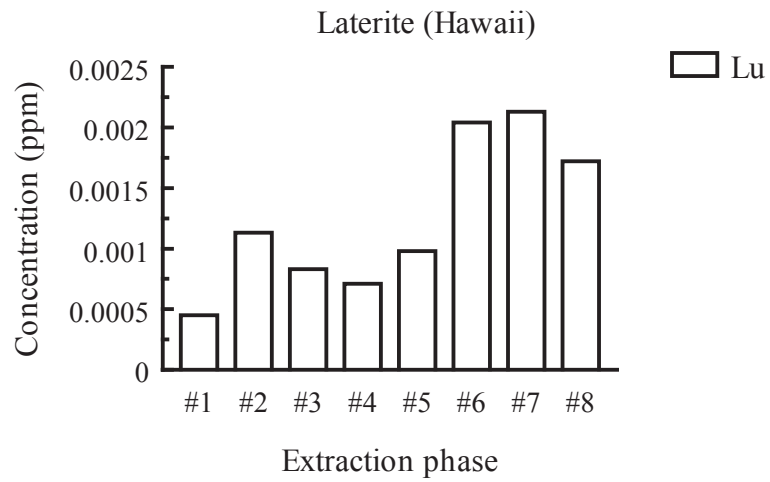
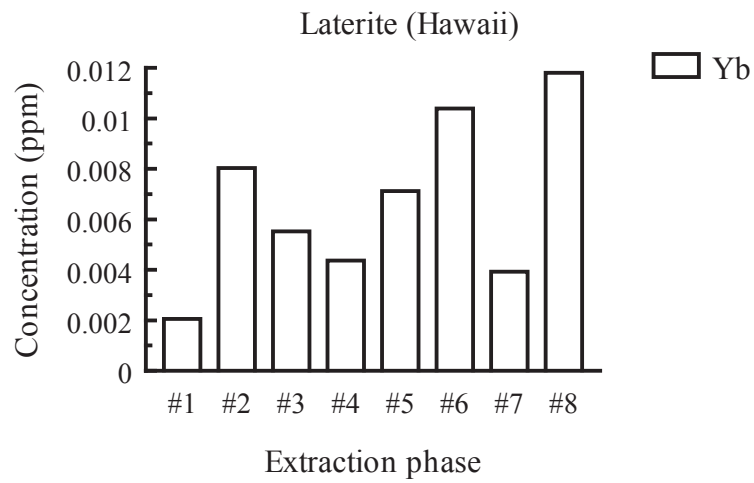


Fig.213 Result of extraction experiment. Concentration of rare earth elements (Yb and Lu) in laterite (Hawaii Islands).

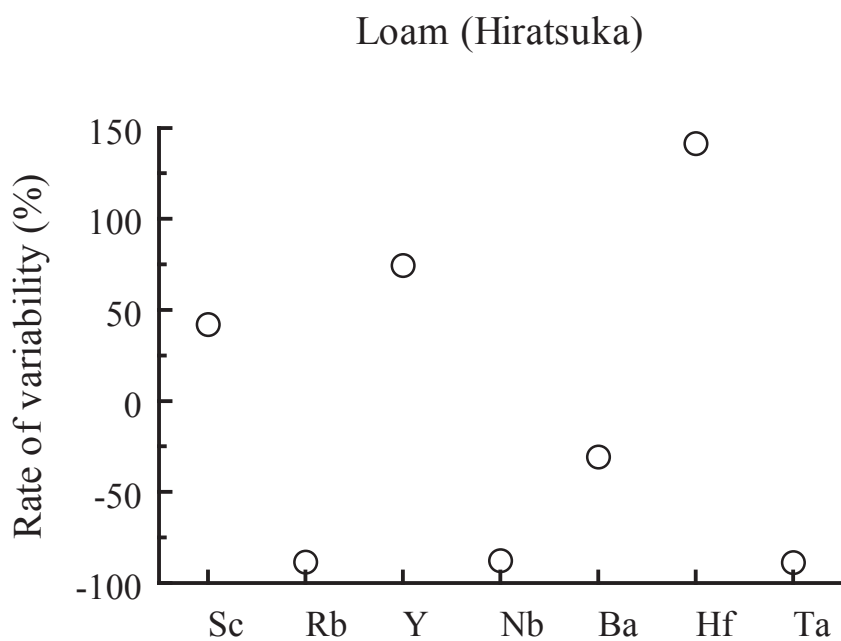
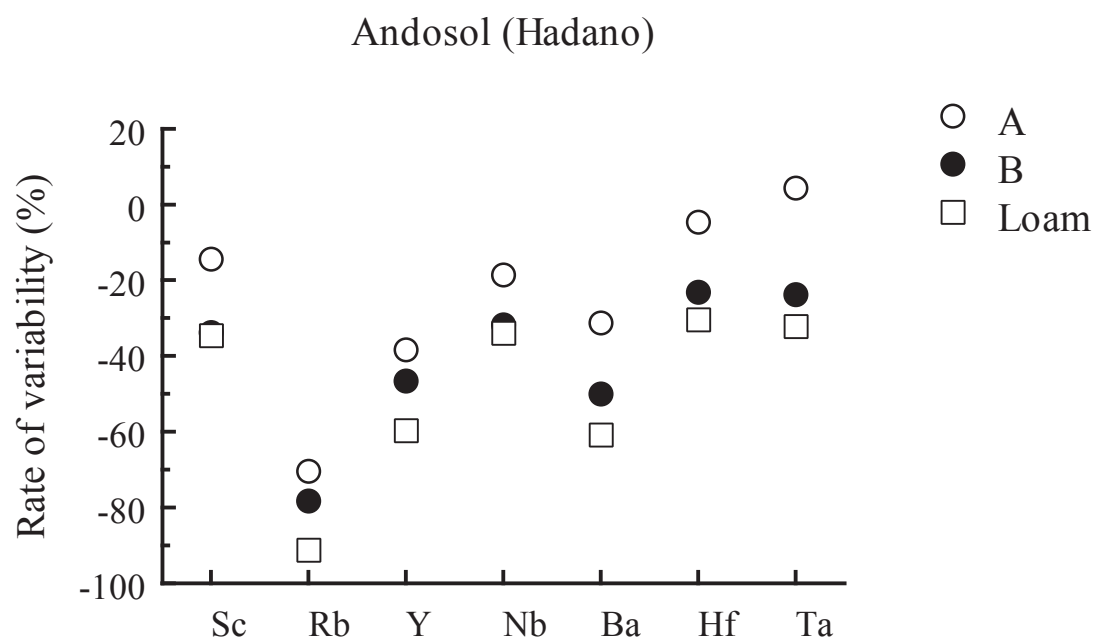


Fig.214 Rate of variability of minor elements in andosol and loam (Hadano and Hiratsuka area).

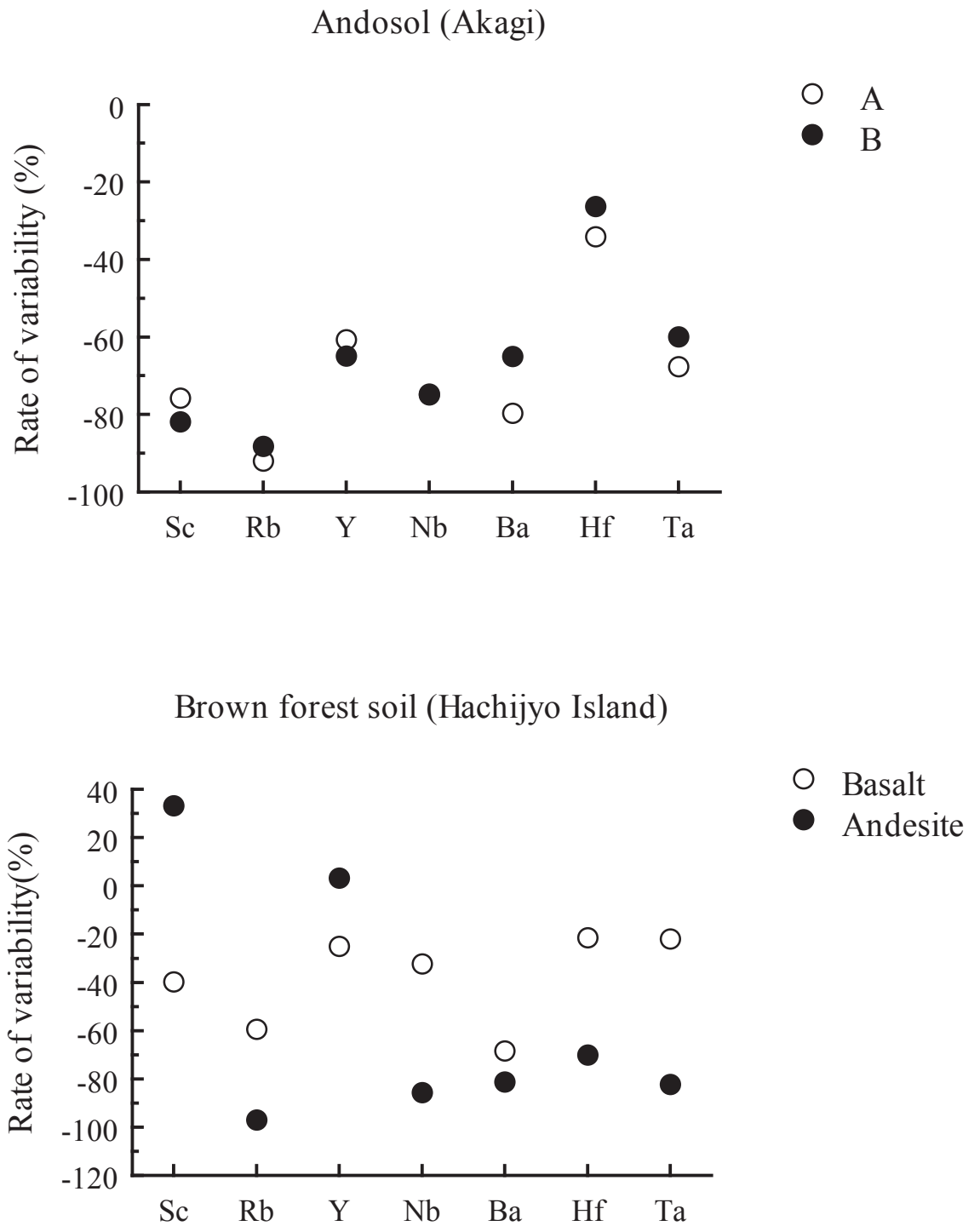


Fig.215 Rate of variability of minor elements in andosol and brown forest soil (Akagi and Hachijyo Island area).

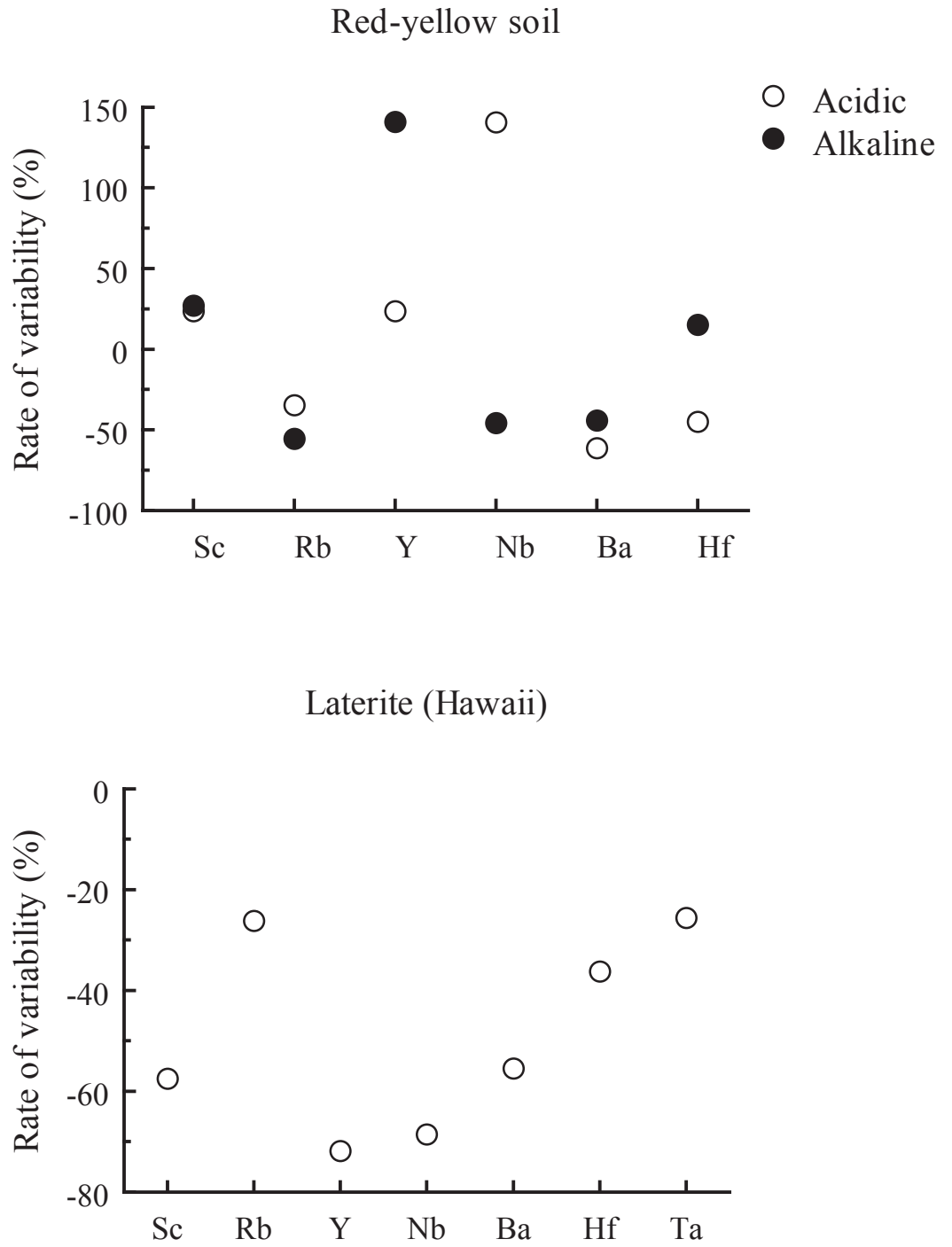


Fig.216 Rate of variability of minor elements in red-yellow soil and laterite (The main island of Okinawa , Ishigaki Island and Hawaii Islands area).

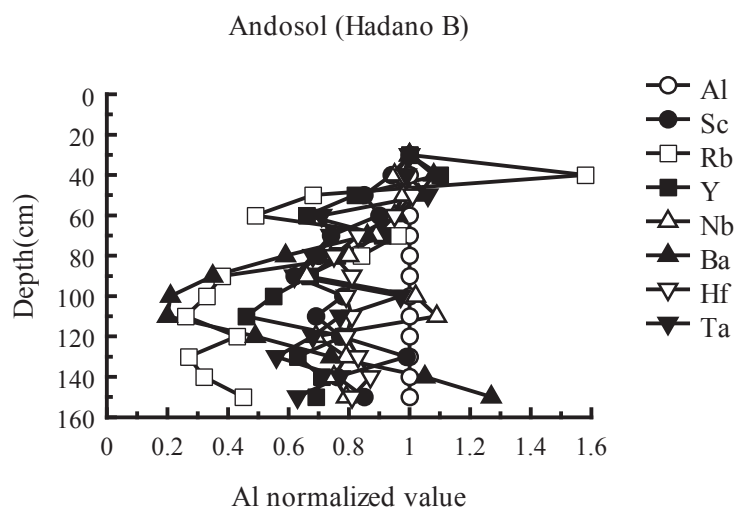
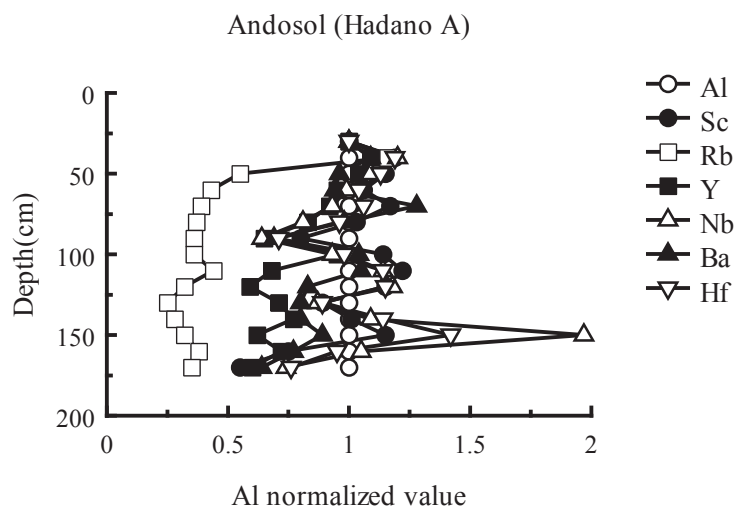
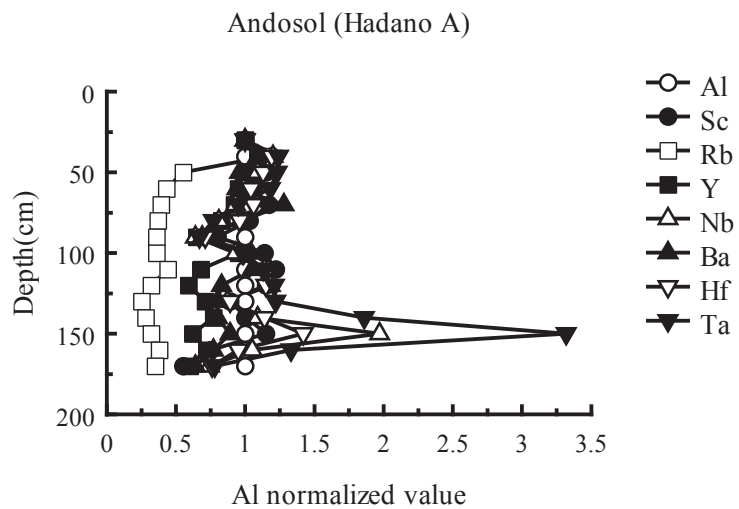


Fig.217 Relations between Al normalized value of other elements and depth in andosol (Hadano area).

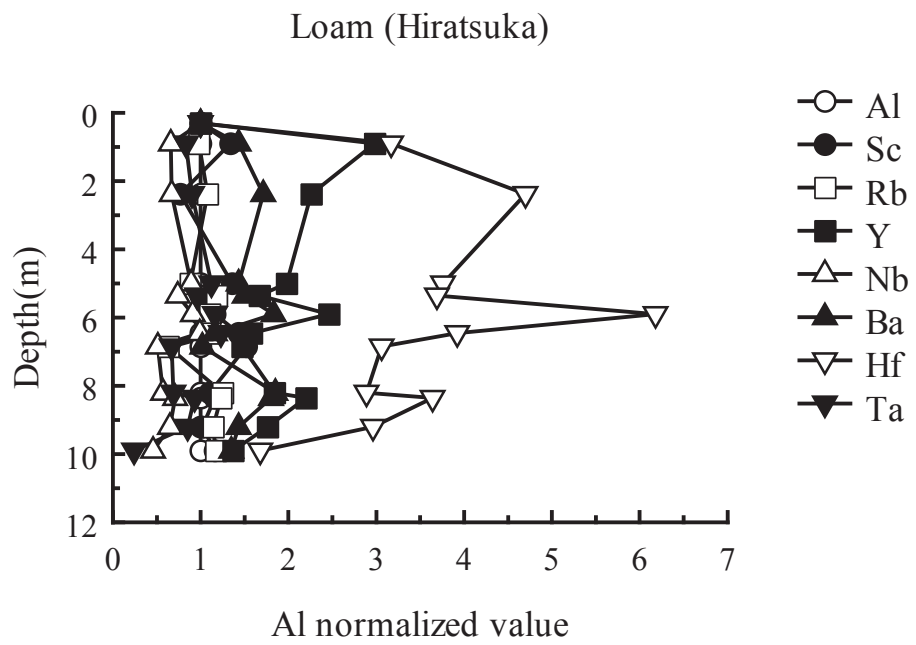


Fig.218 Relations between Al normalized value of other elements and depth in loam (Hiratsuka area).

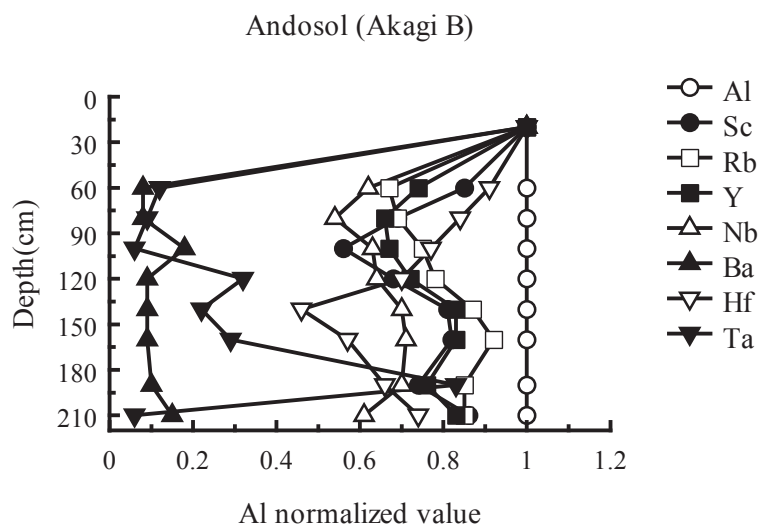
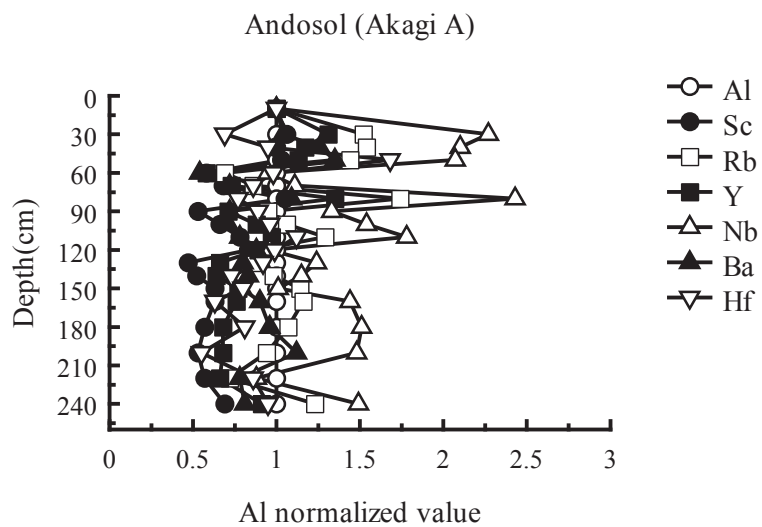
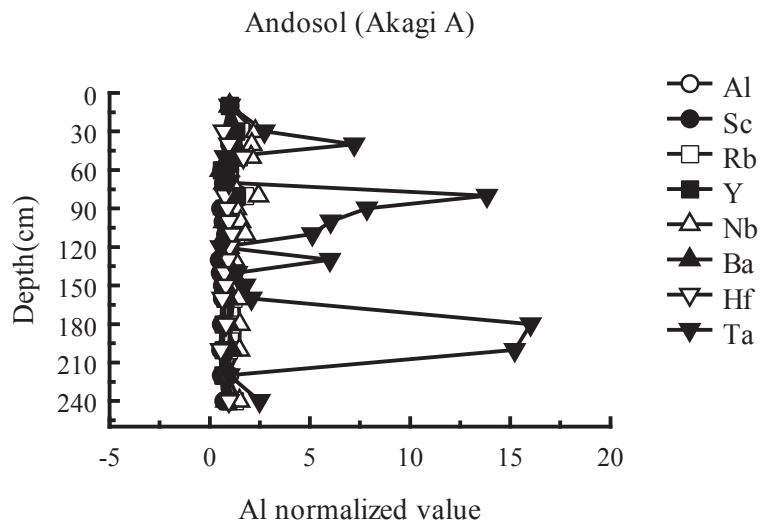
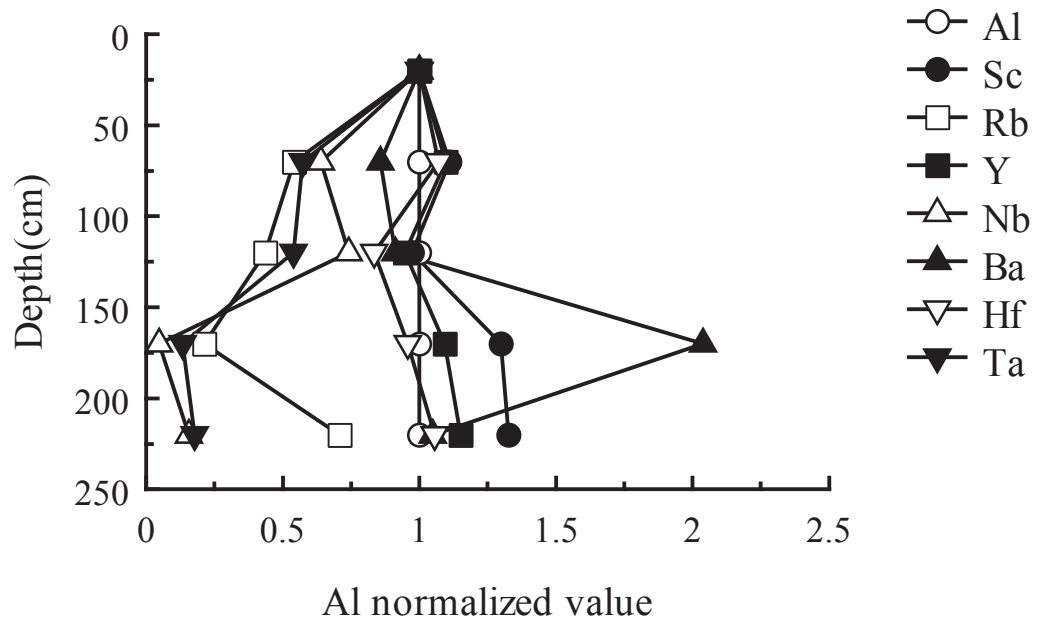


Fig.219 Relations between Al normalized value of other elements and depth in andosol (Akagi area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 7:Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 10:Basalt)

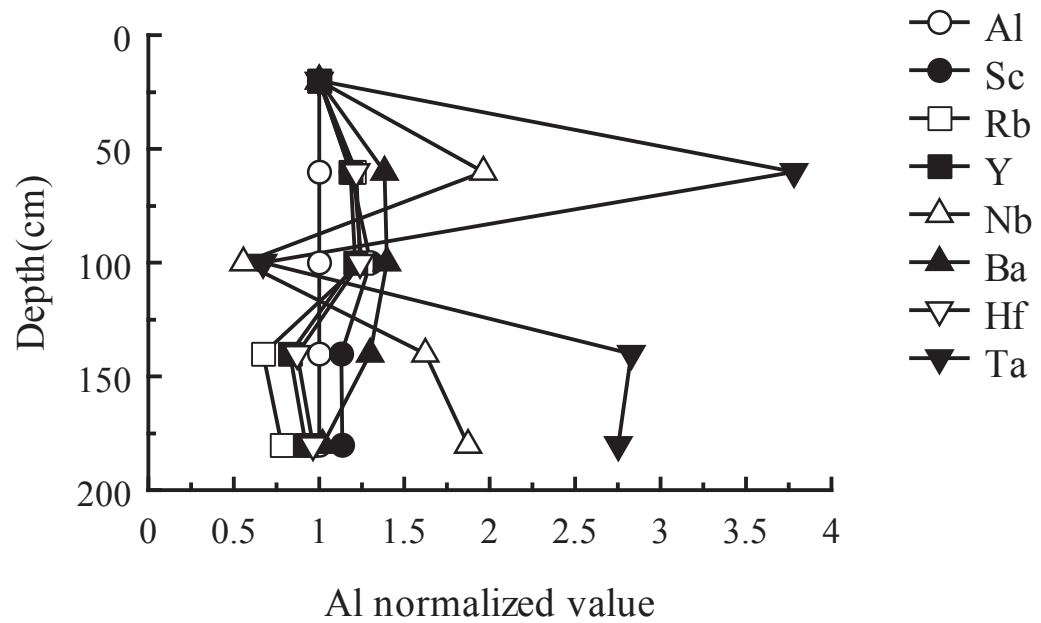
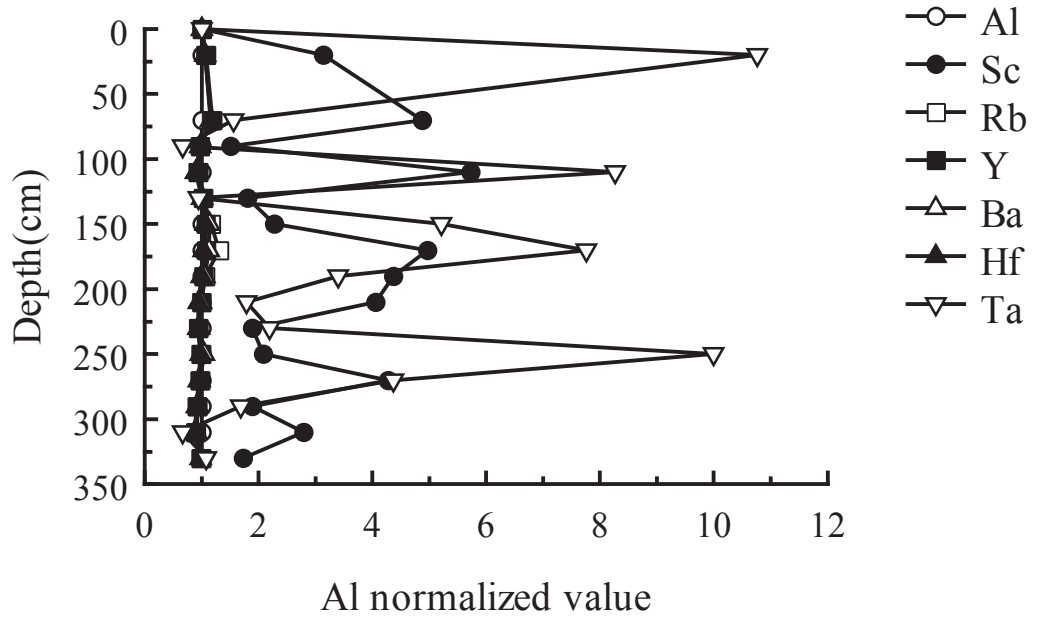


Fig.220 Relations between Al normalized value of other elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 20:Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 20:Basalt)

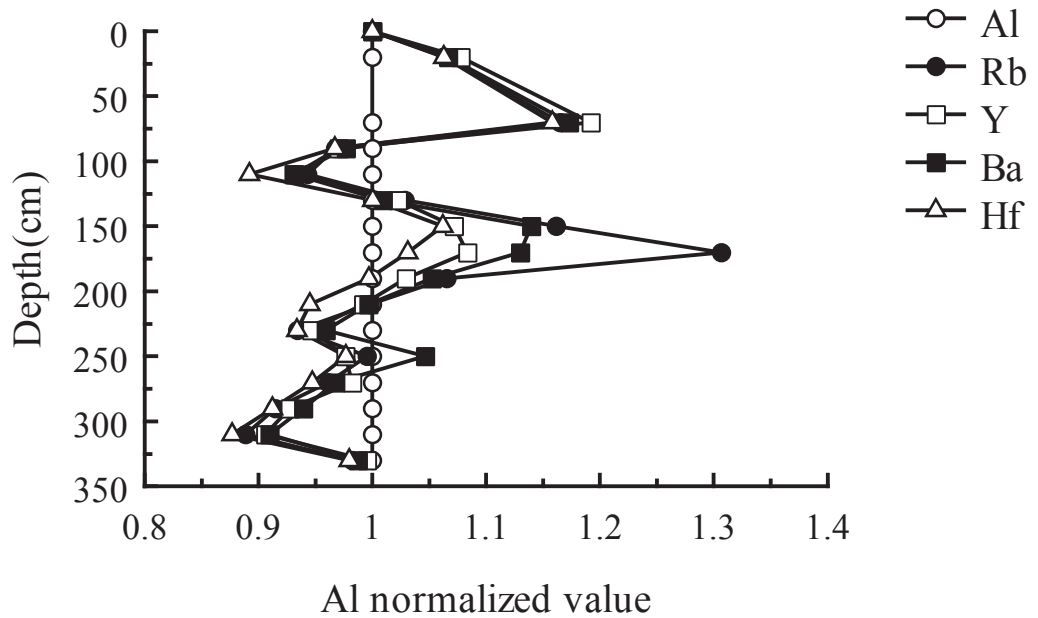
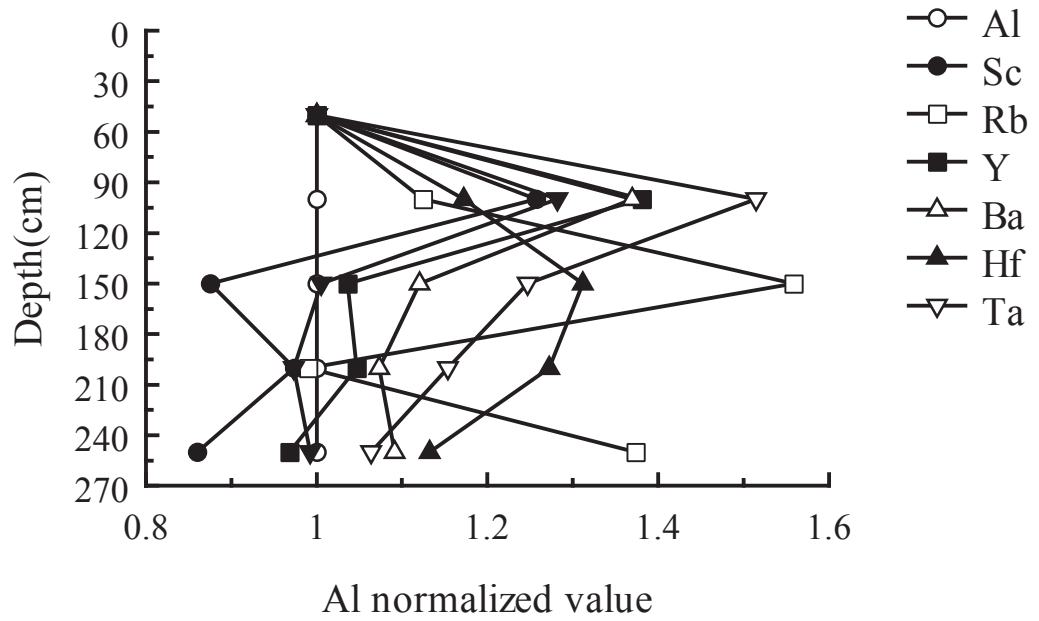


Fig.221 Relations between Al normalized value of other elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 27:Andesite)



Brown forest soil (Hachijyo Island 32:Andesite)

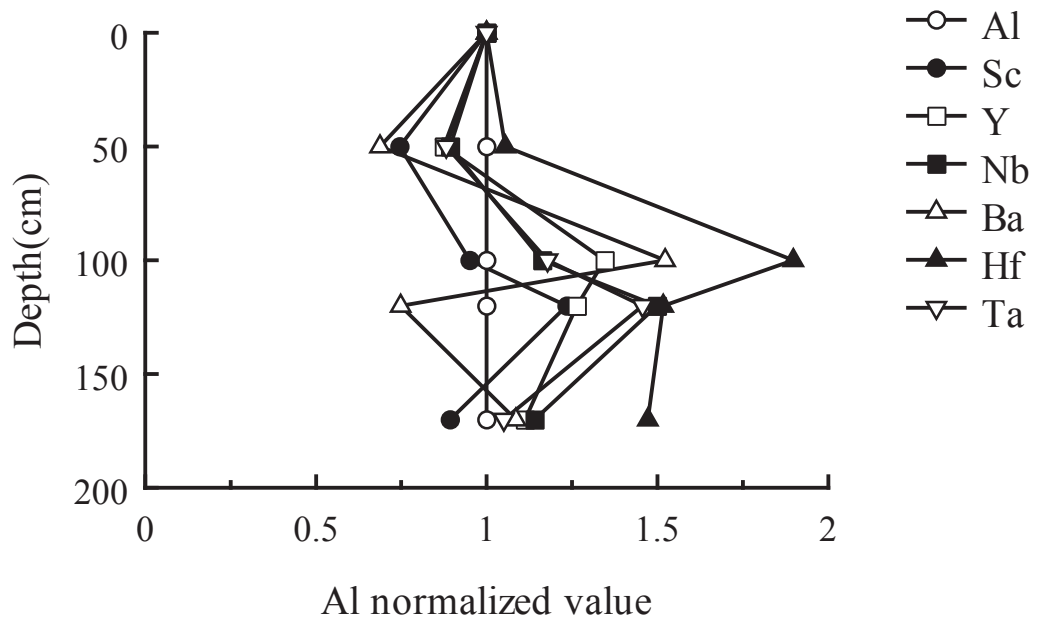


Fig.222 Relations between Al normalized value of other elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

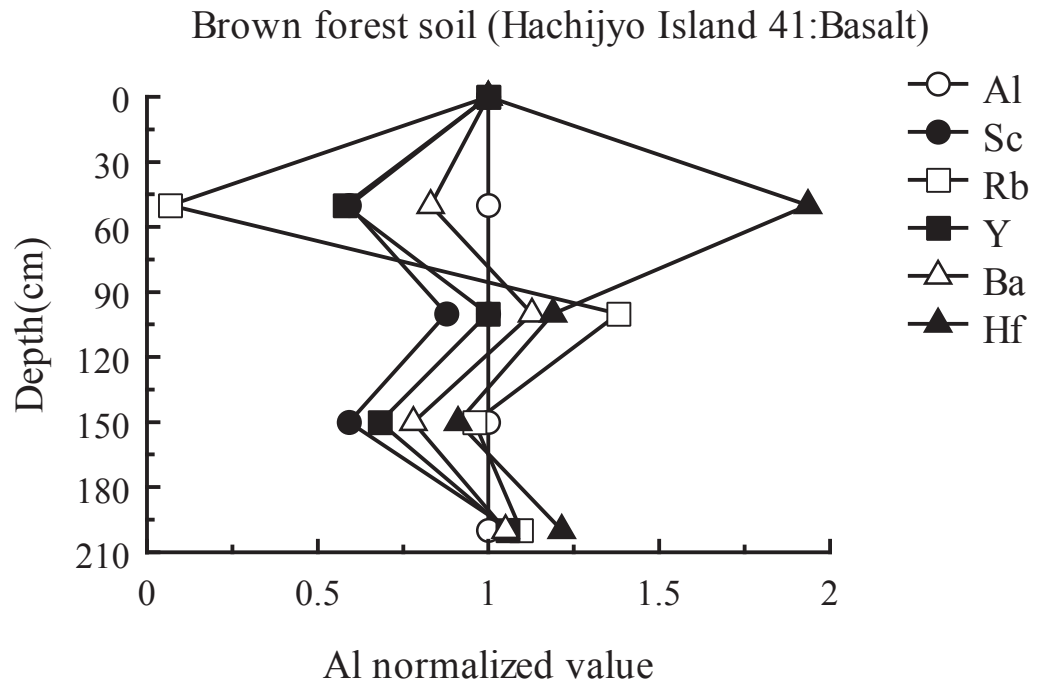
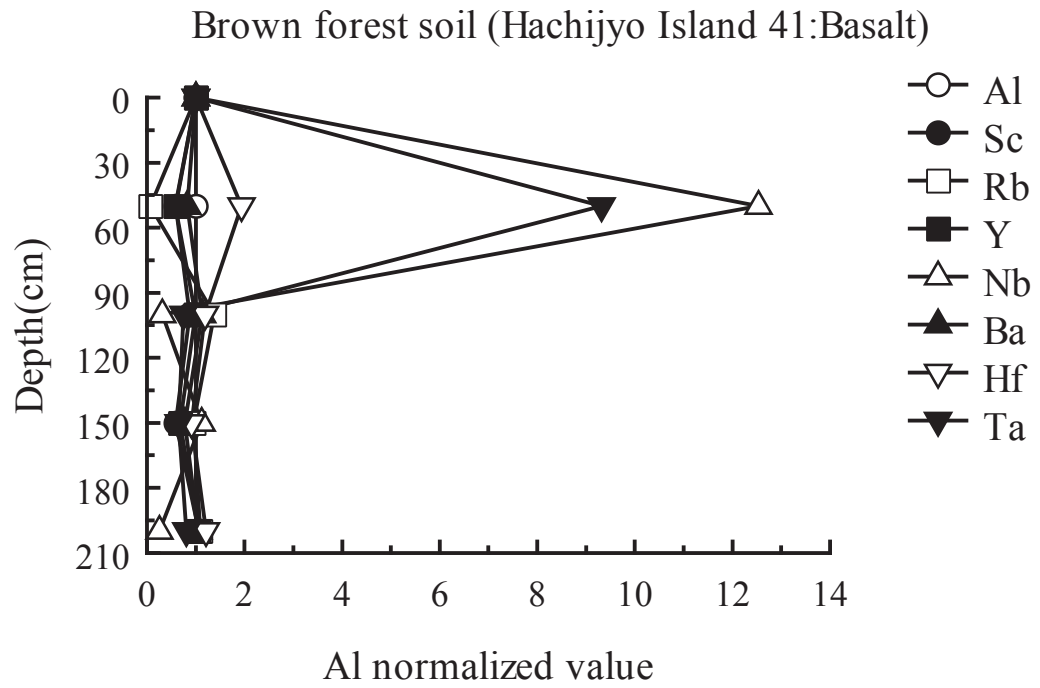
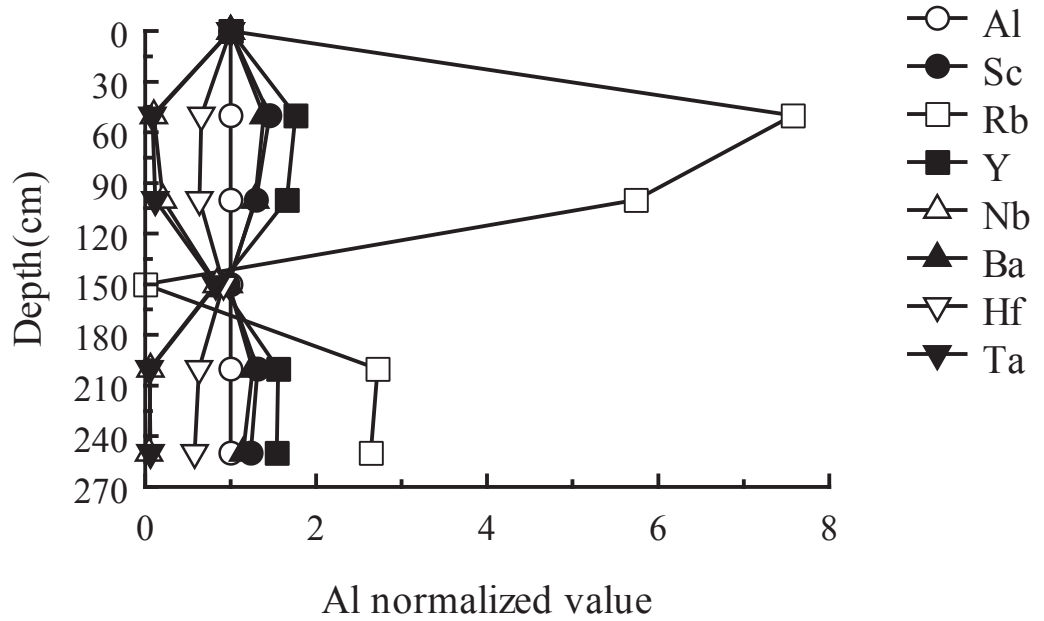


Fig.223 Relations between Al normalized value of other elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 42:Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 42:Basalt)

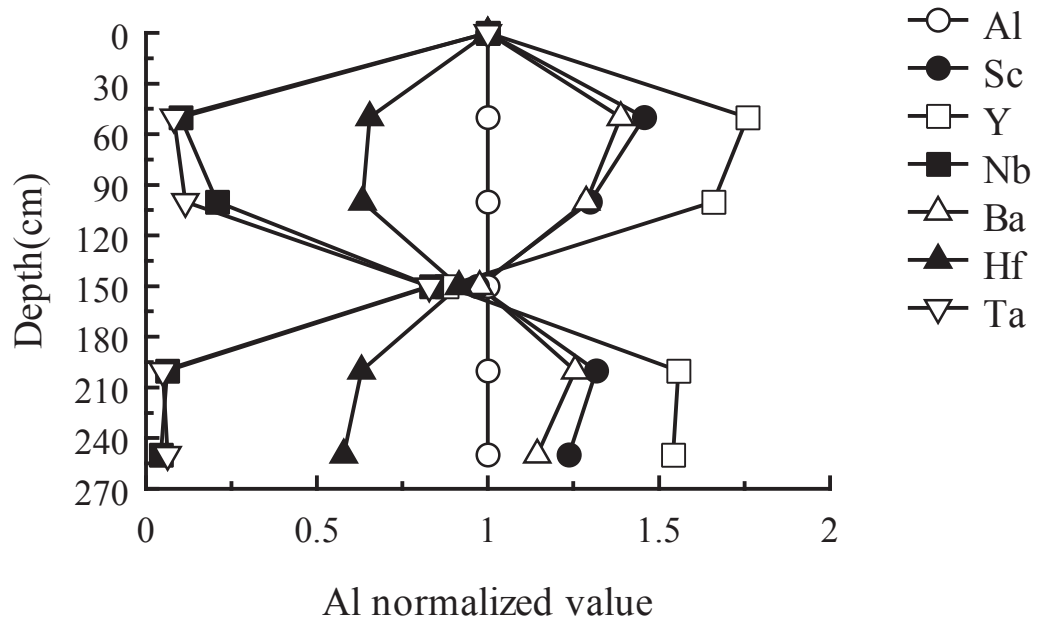
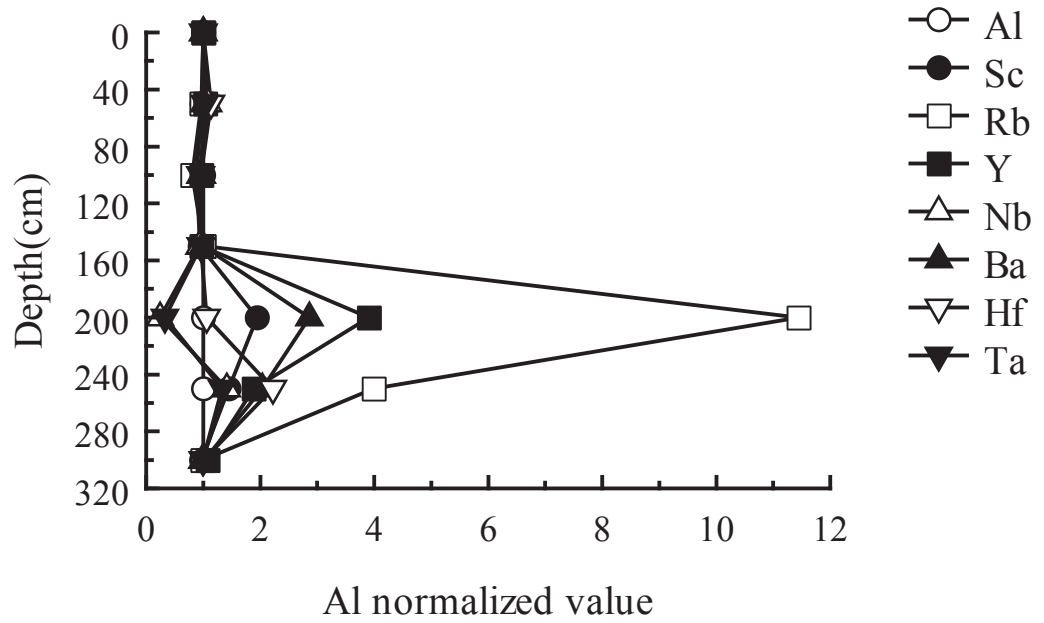


Fig.224 Relations between Al normalized value of other elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

Brown forest soil (Hachijyo Island 45:Basalt)



Brown forest soil (Hachijyo Island 45:Basalt)

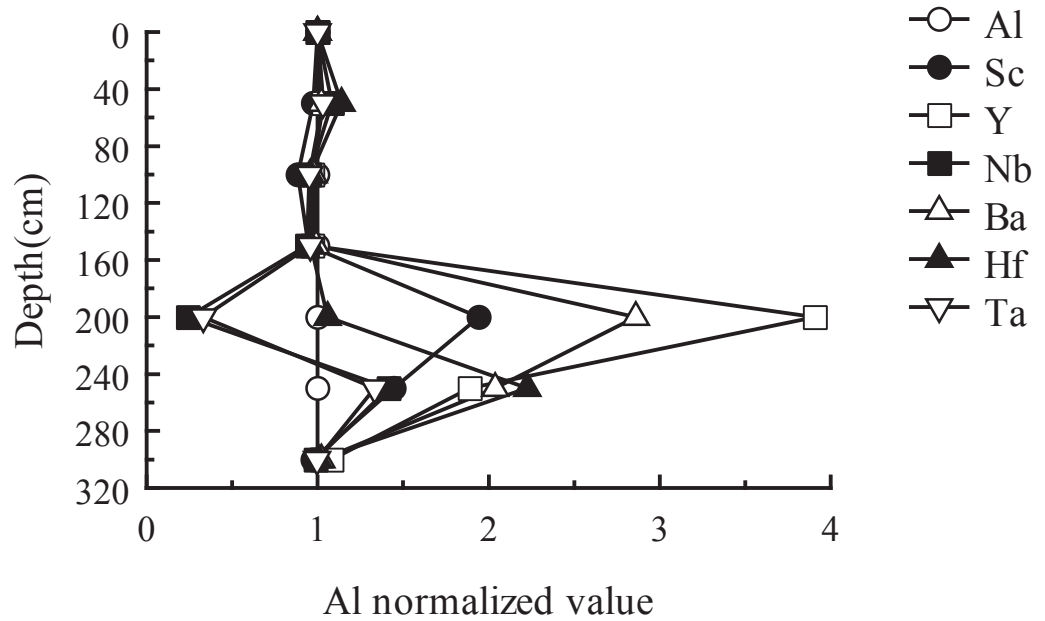


Fig.225 Relations between Al normalized value of other elements and depth in brown forest soil (Hachijyo Island area).

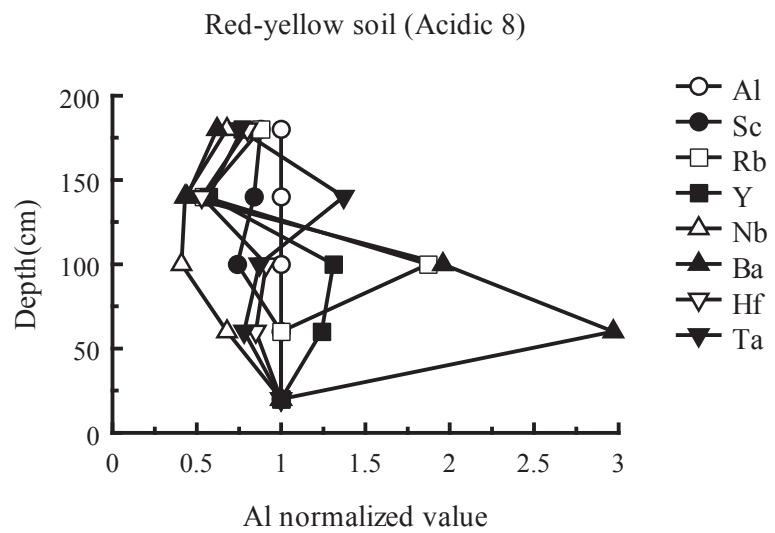
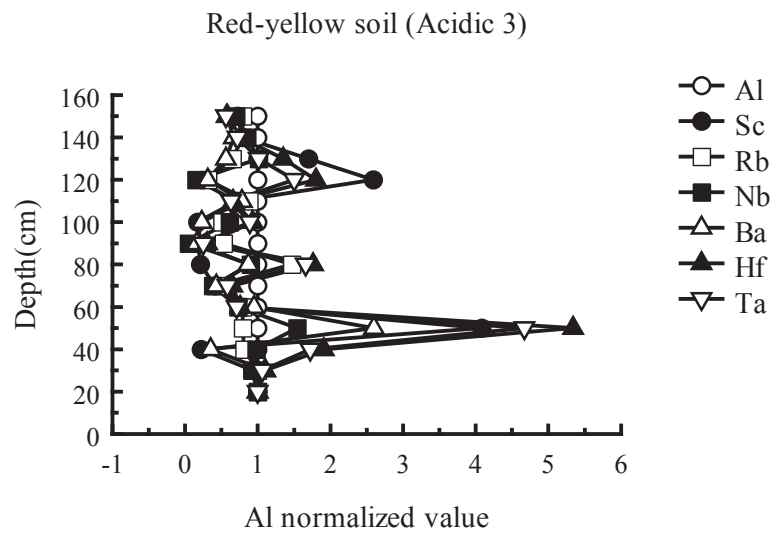
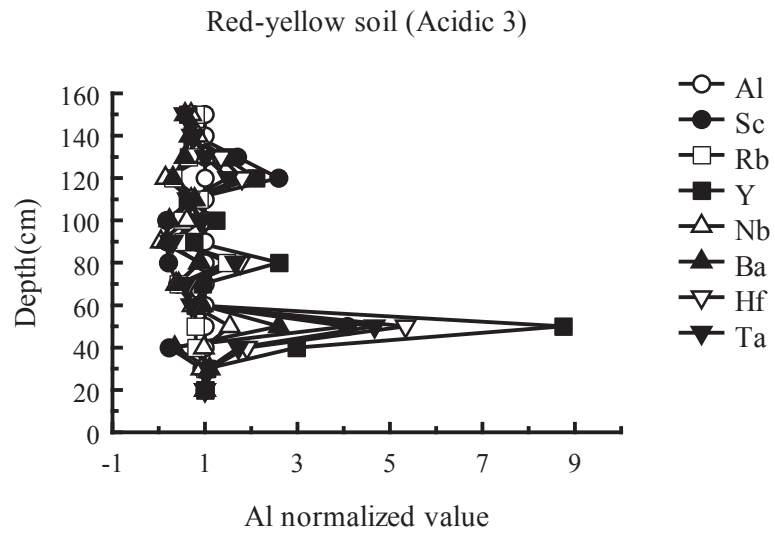
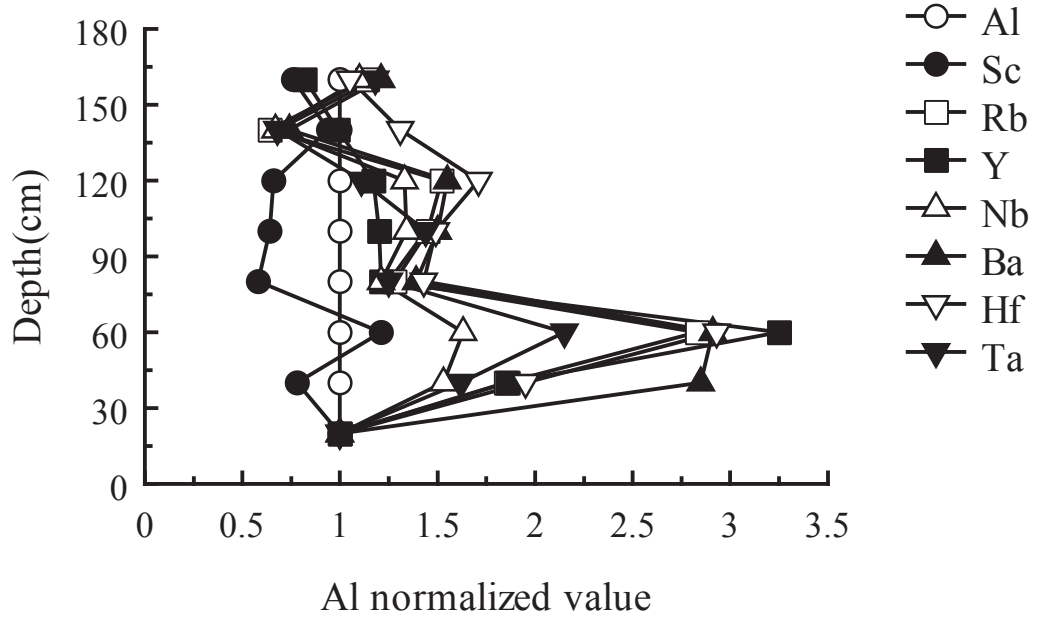


Fig.226 Relations between Al normalized value of other elements and depth in red-yellow soil (Ishigaki Island area).

Red-yellow soil (Acidic 10)



Red-yellow soil (Acidic 13)

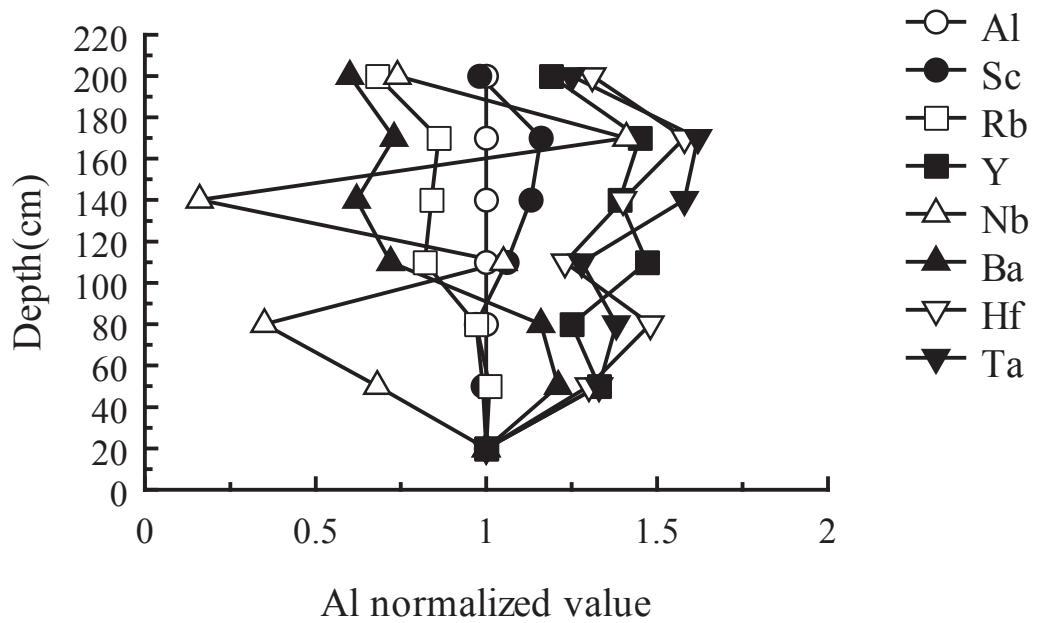


Fig.227 Relations between Al normalized value of other elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa central part area).

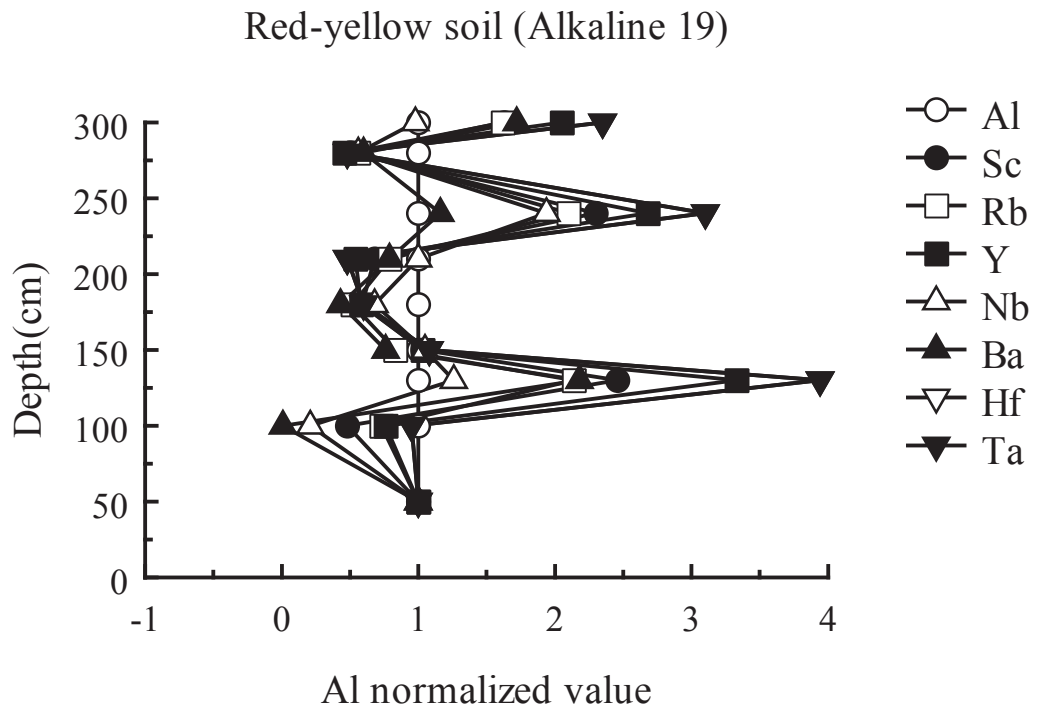
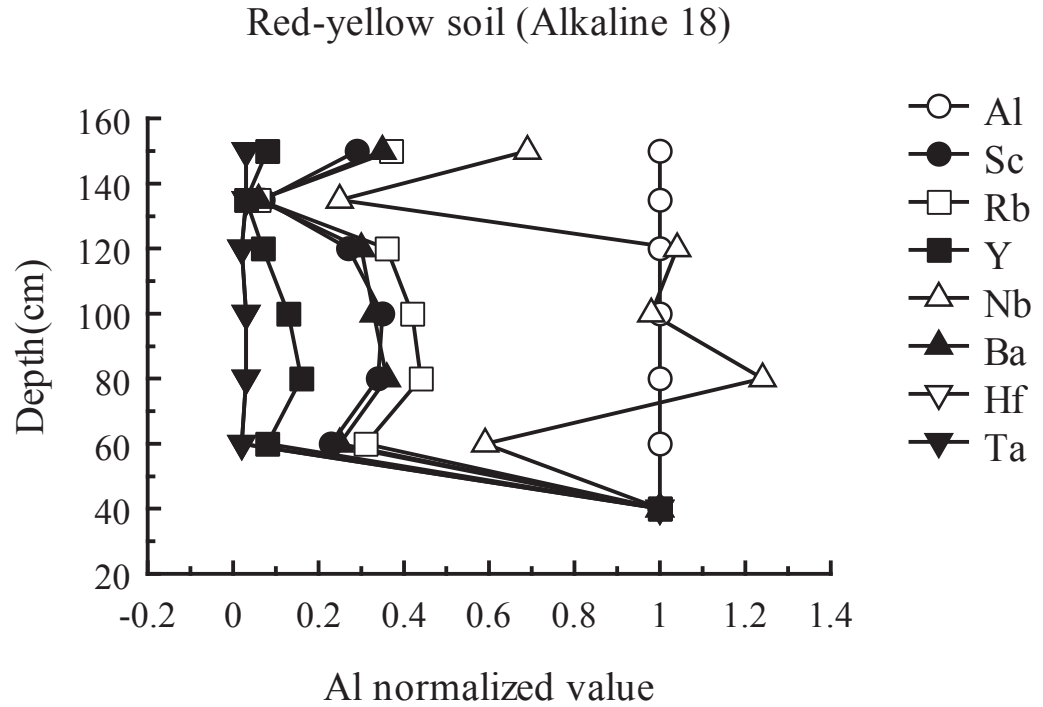


Fig.228 Relations between Al normalized value of other elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa area).

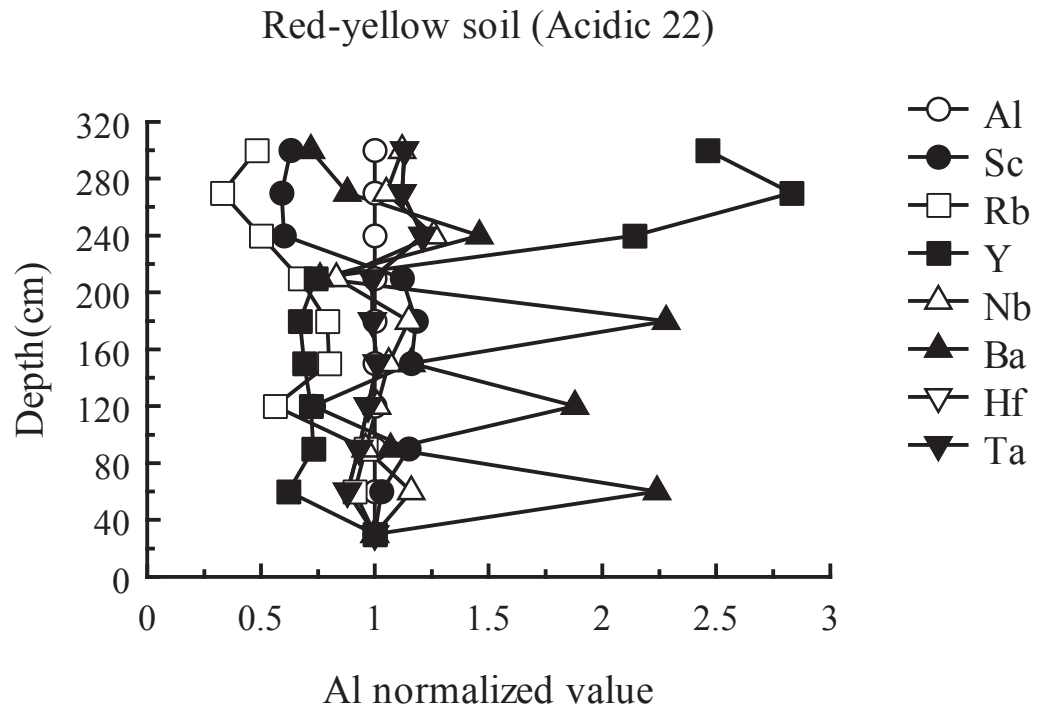
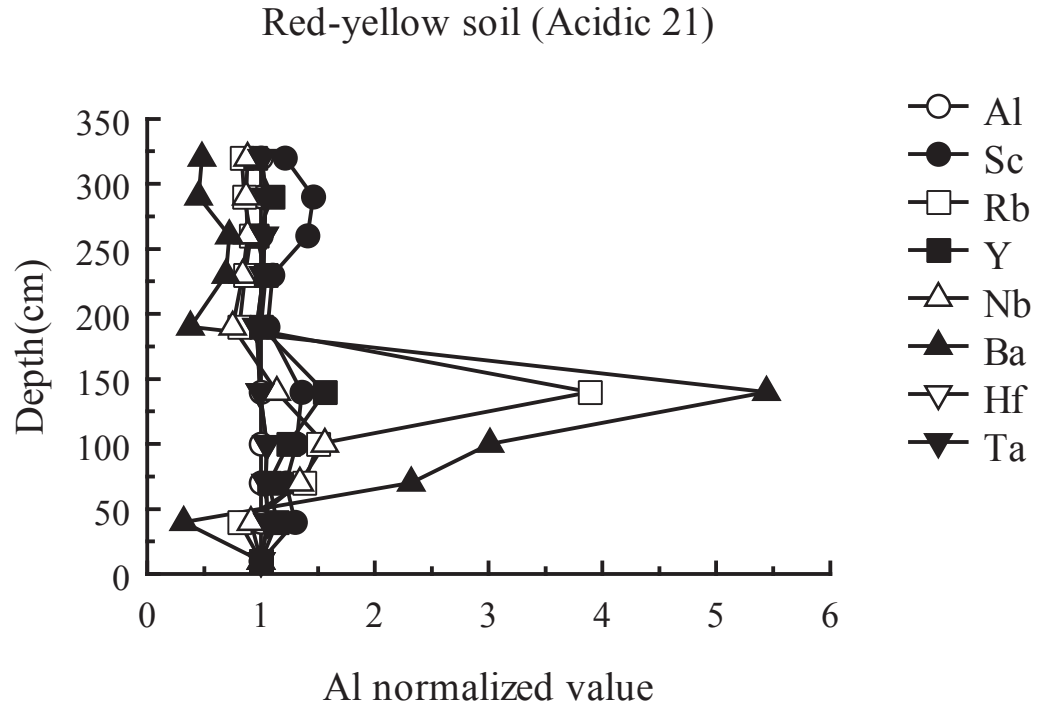


Fig.229 Relations between Al normalized value of other elements and depth in red-yellow soil (The main island of Okinawa area).

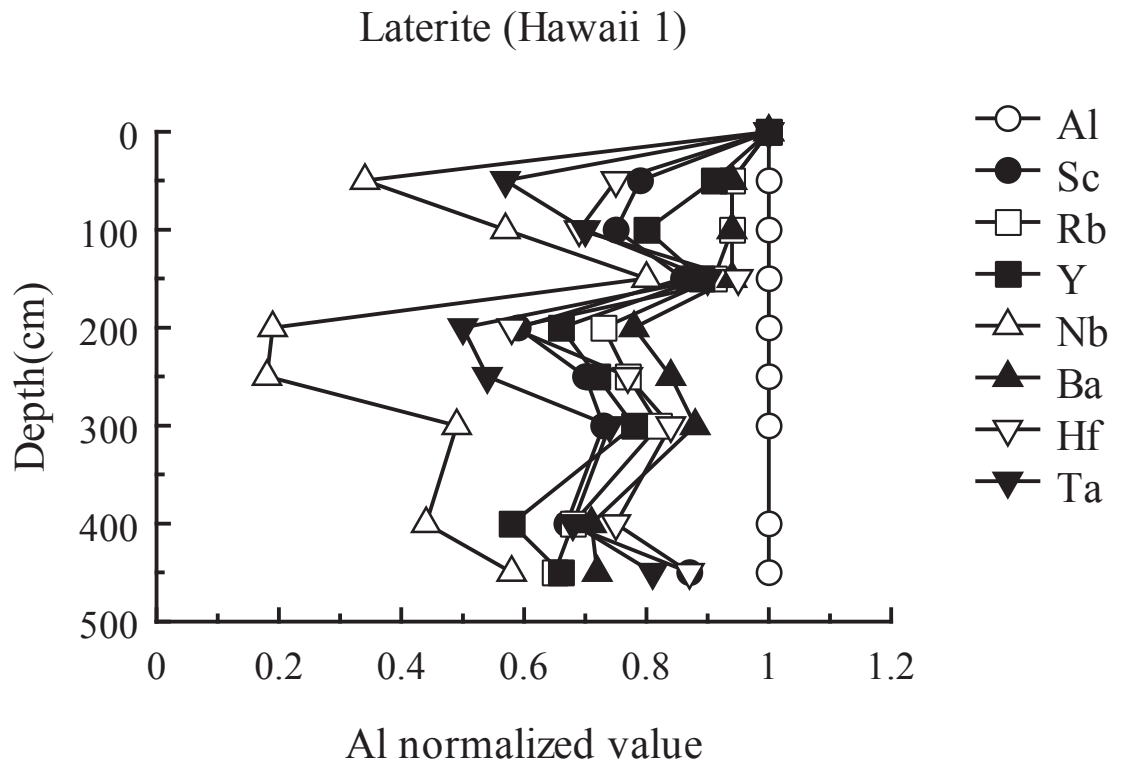


Fig.230 Relations between Al normalized value of other elements and depth in red-yellow soil (Oahu and Hawaii Island area).

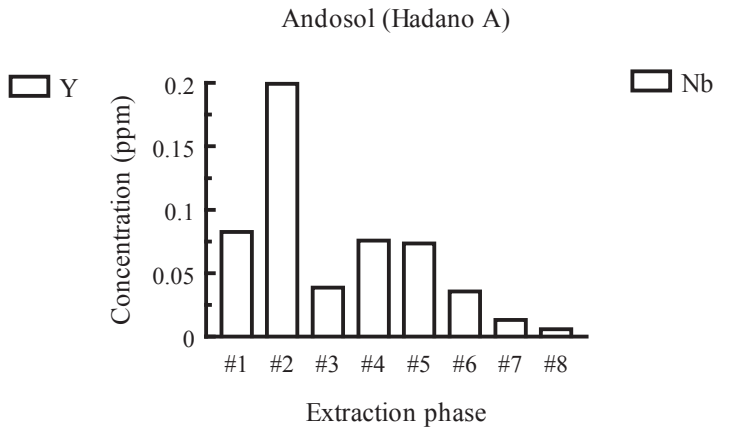
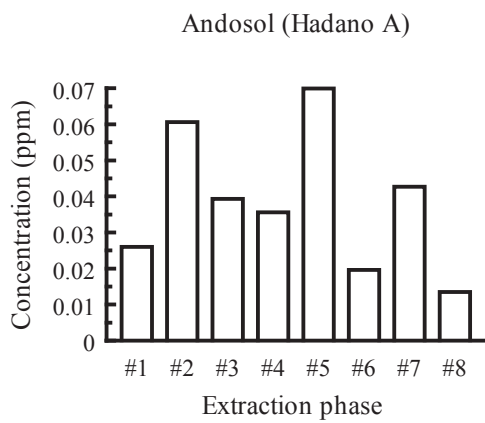
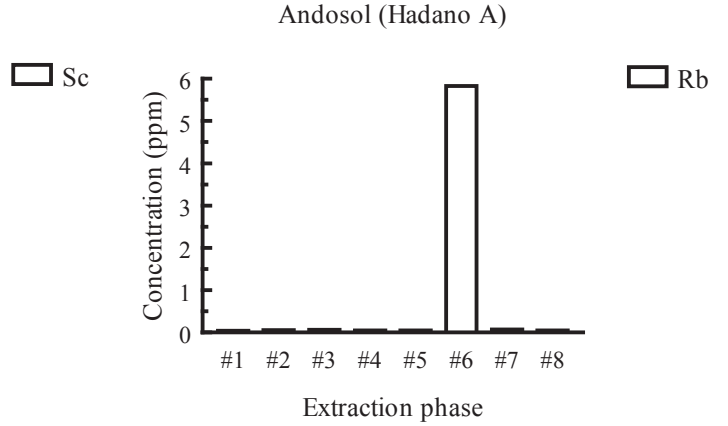
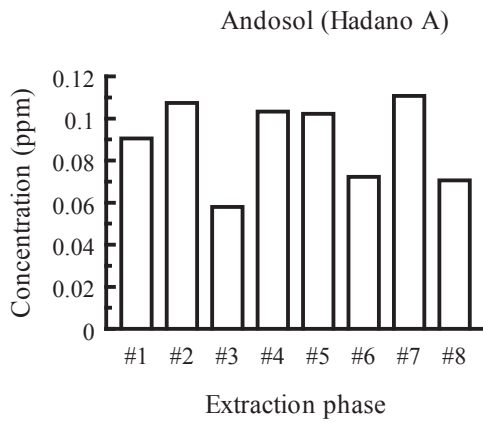


Fig.231 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Sc, Rb, Y and Nb) in andosol (Hadano A).

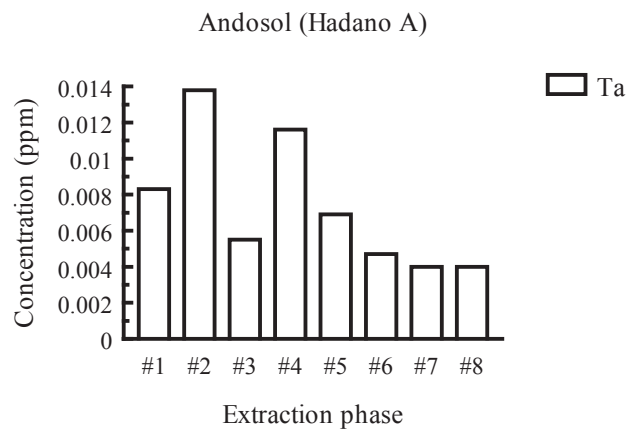
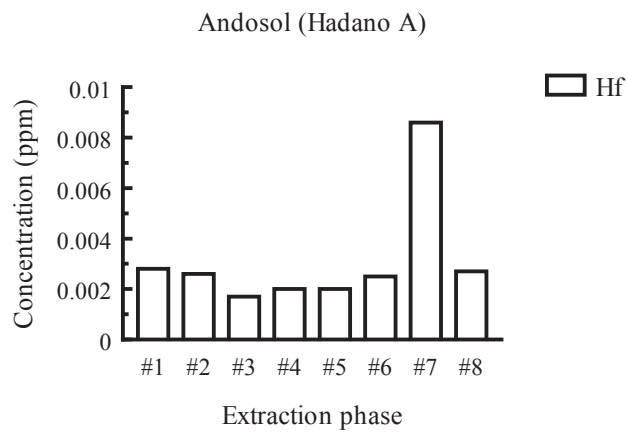
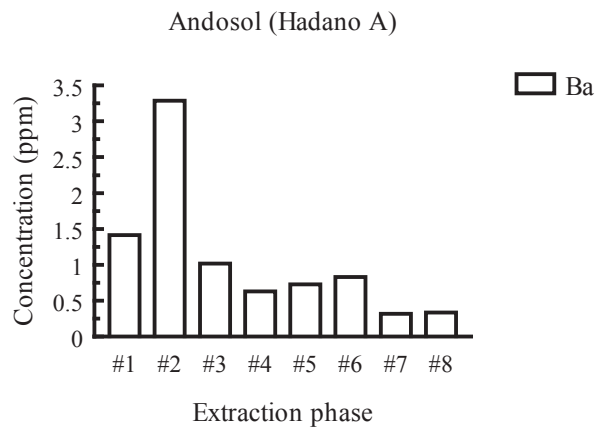


Fig.232 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Ba, Hf and Ta) in andosol (Hadano A).

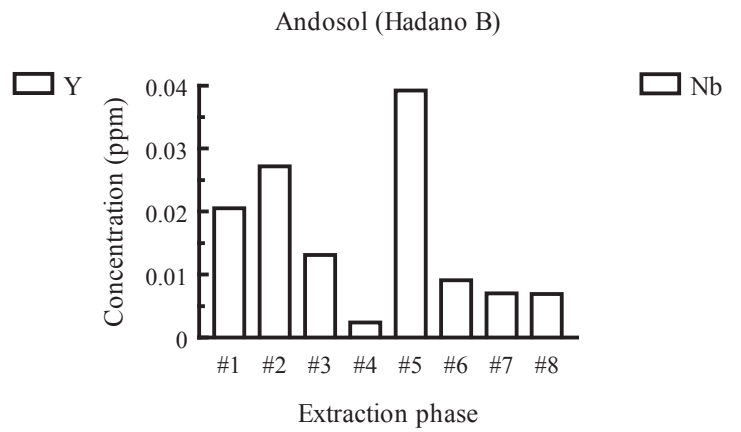
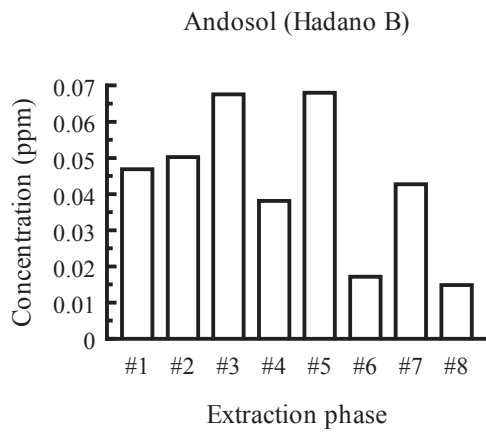
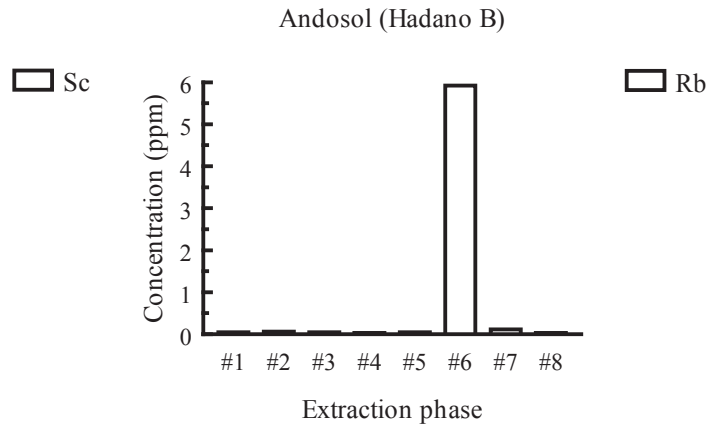
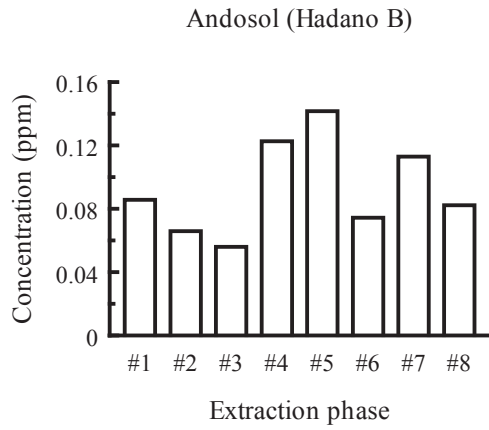


Fig.233 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Sc, Rb, Y and Nb) in andosol (Hadano B).

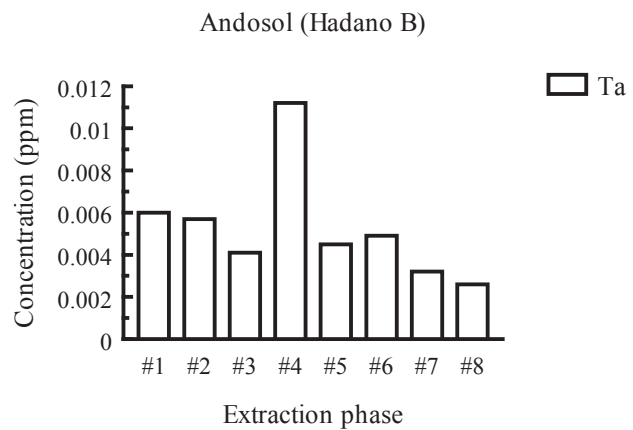
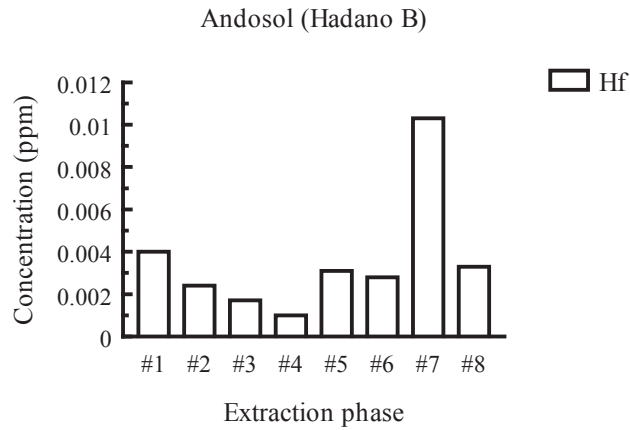
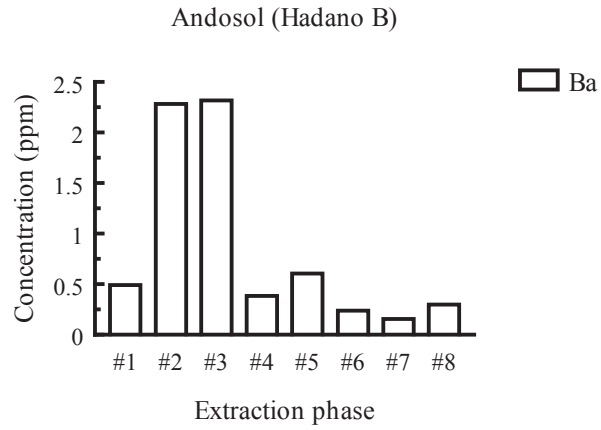


Fig.234 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Ba, Hf and Ta) in andosol (Hadano B).

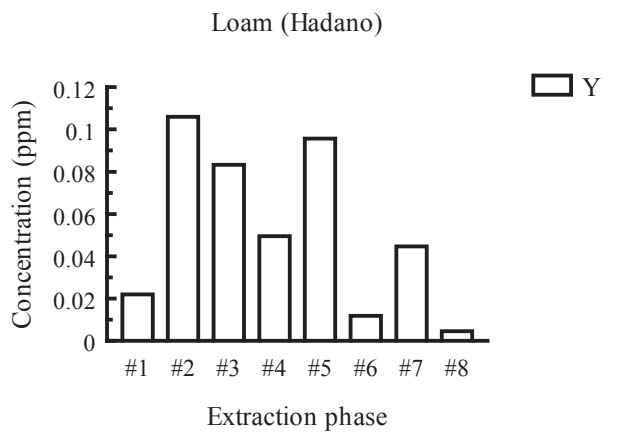
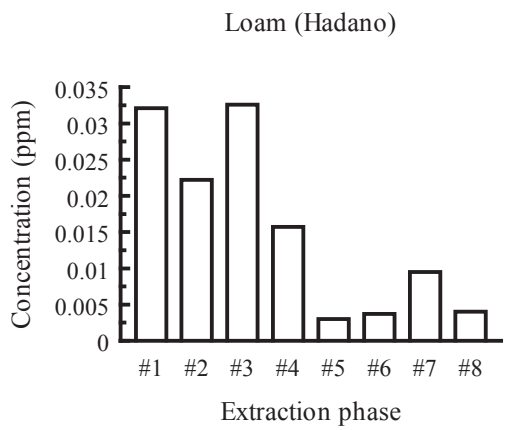
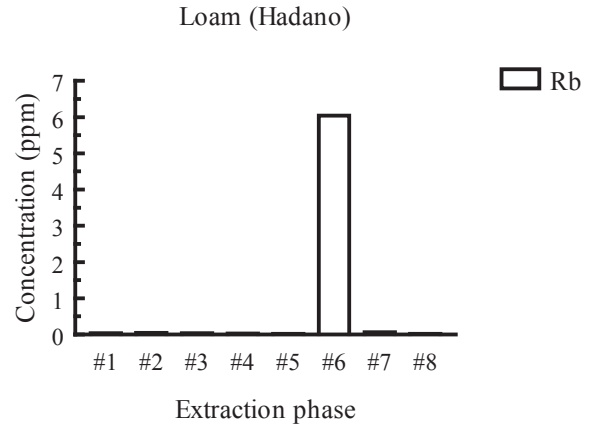
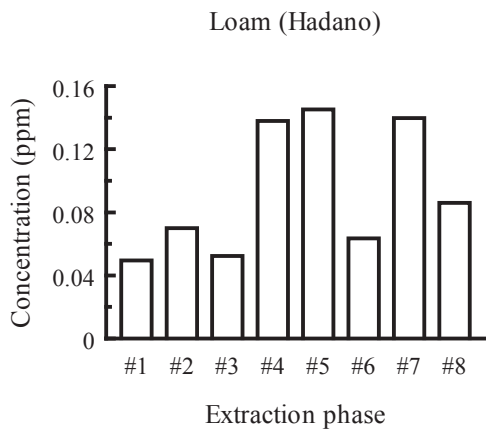


Fig.235 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Sc, Rb, Y and Nb) in loam (Hadano).

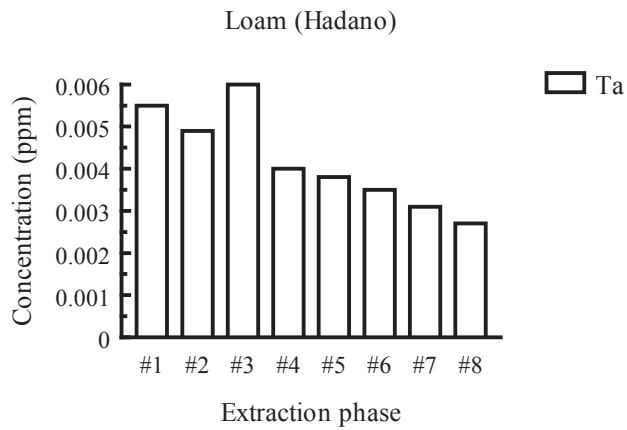
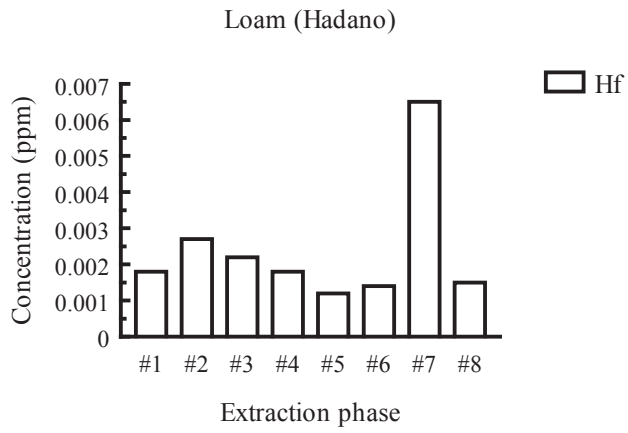
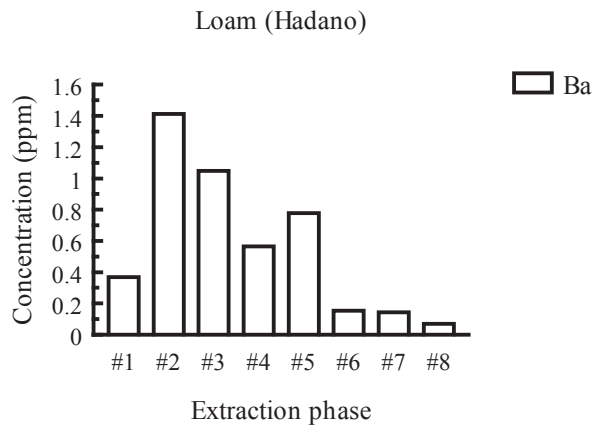


Fig.236 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Ba, Hf and Ta) in loam (Hadano).

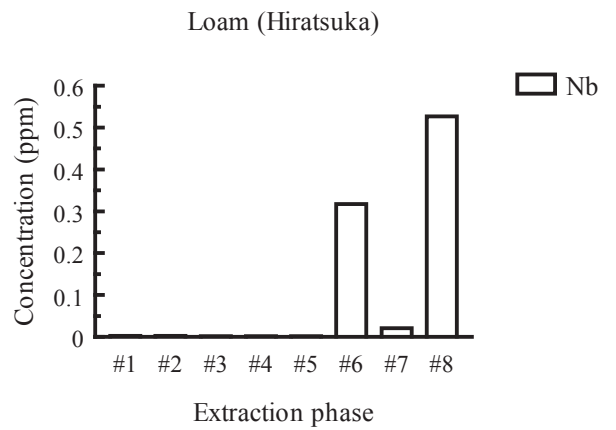
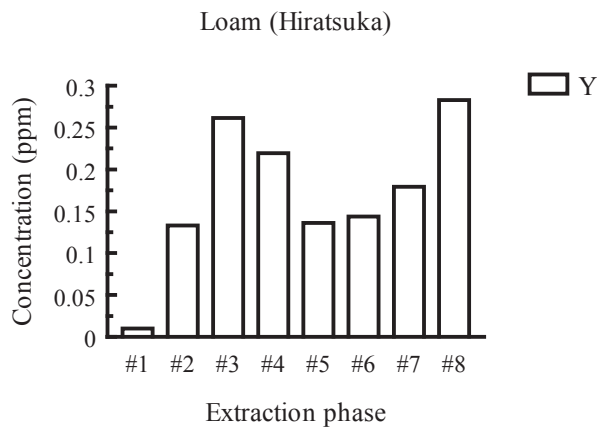
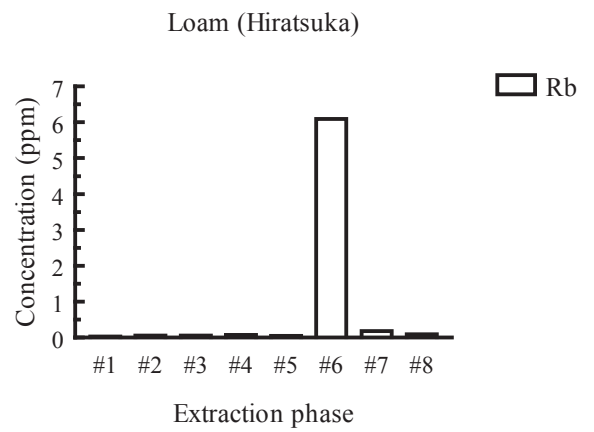
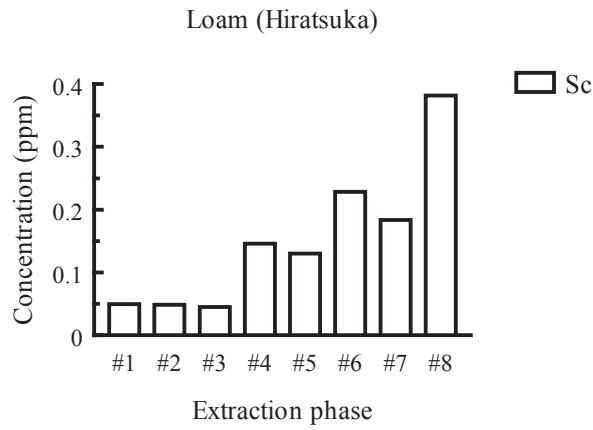


Fig.237 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Sc, Rb, Y and Nb) in loam (Hiratsuka).

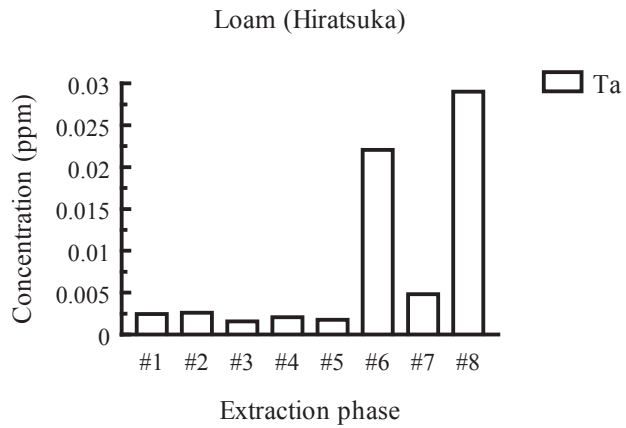
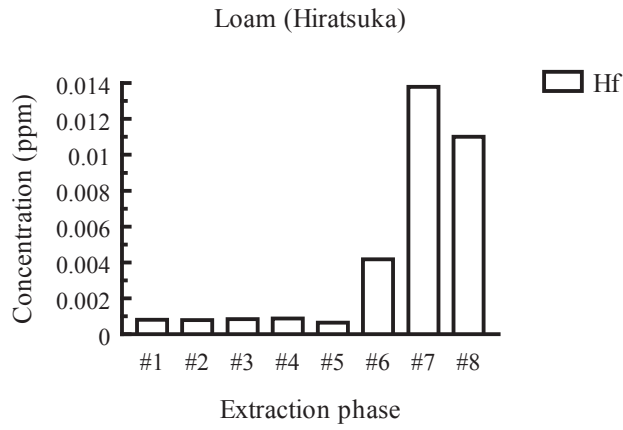
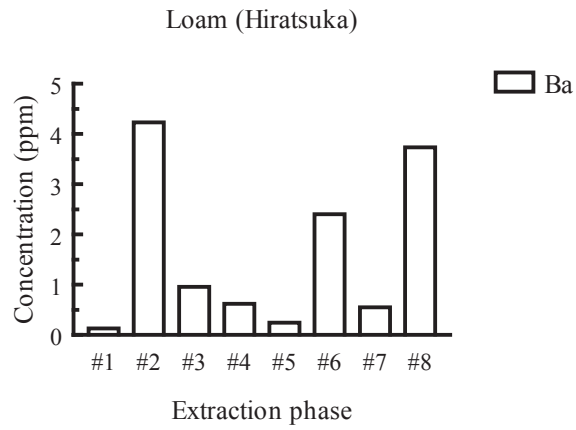


Fig.238 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Ba, Hf and Ta) in loam (Hiratsuka).

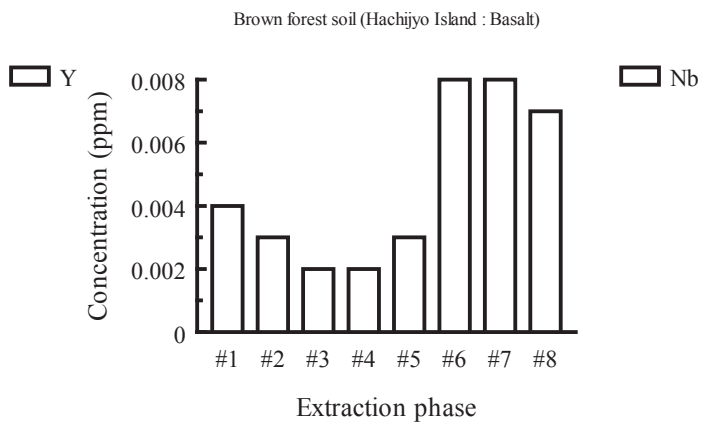
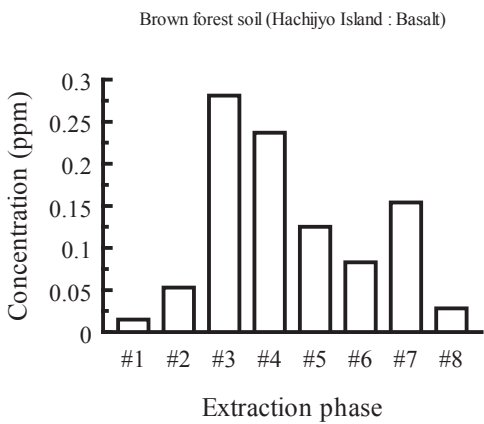
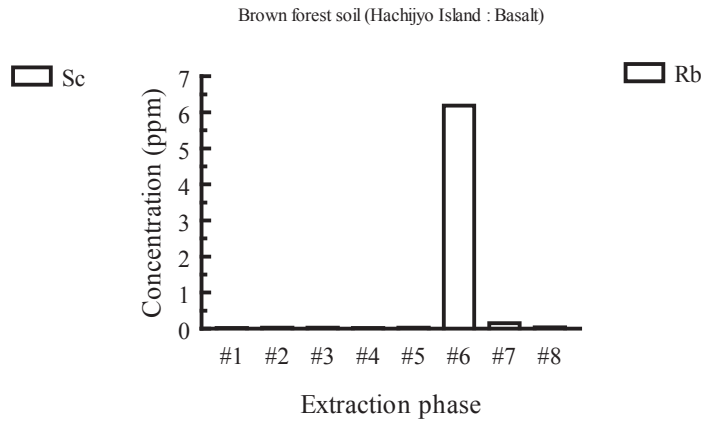
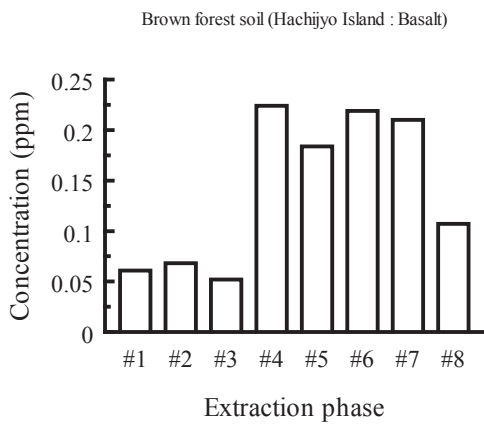


Fig.239 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Sc, Rb, Y and Nb) in brown forest soil (Hachijyo Island : Basalt).

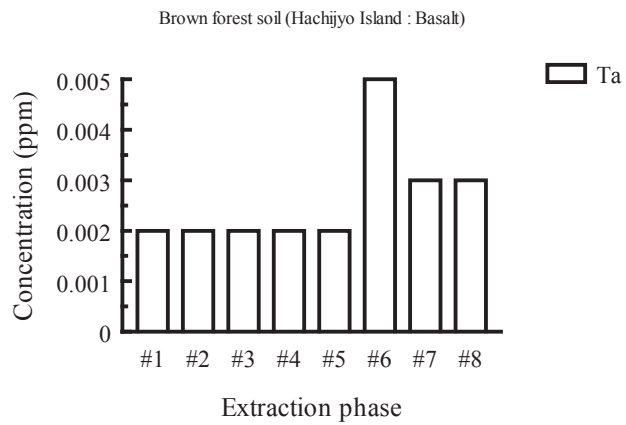
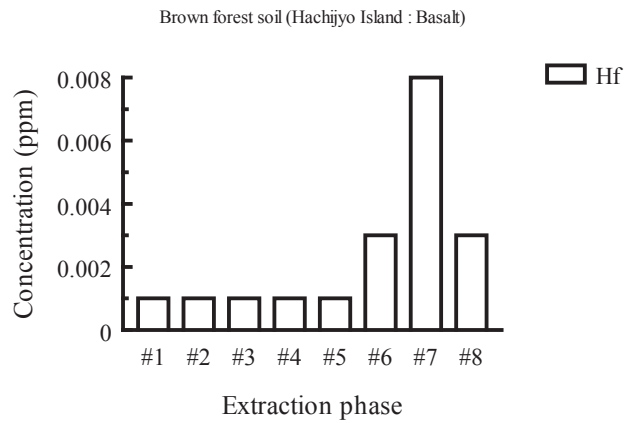
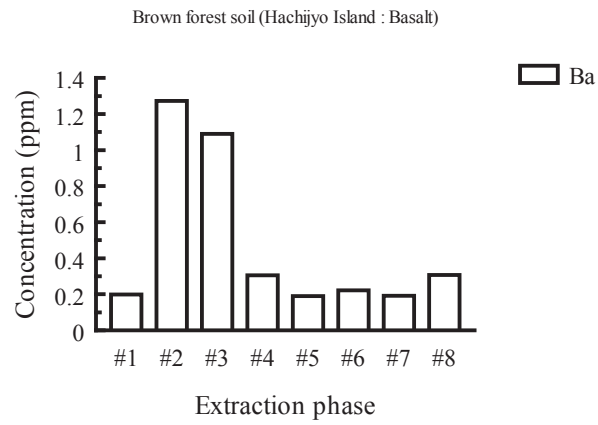


Fig.240 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Ba, Hf and Ta) in brown forest soil (Hachijyo Island : Basalt).

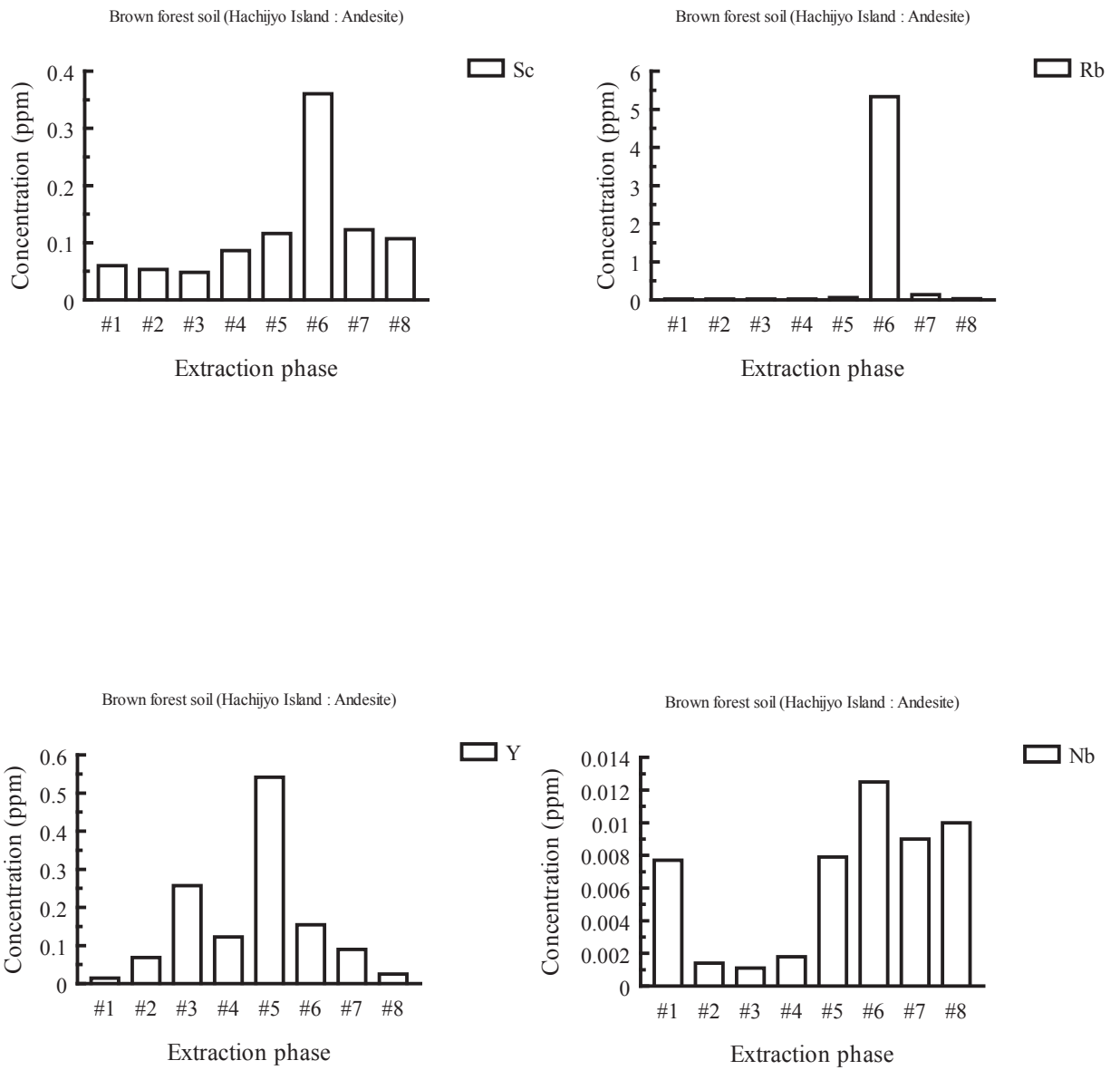


Fig.241 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Sc, Rb, Y and Nb) in brown forest soil (Hachijyo Island : Andesite).

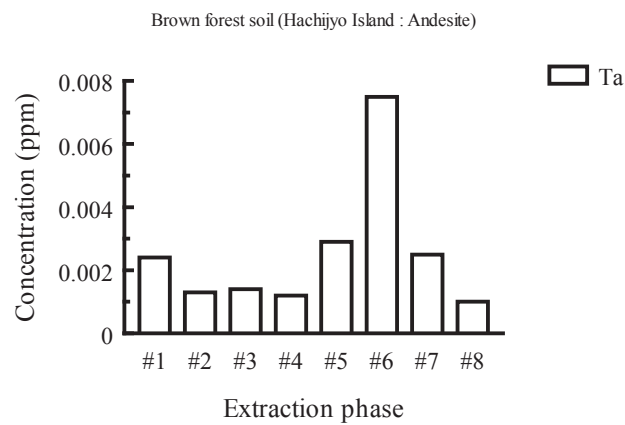
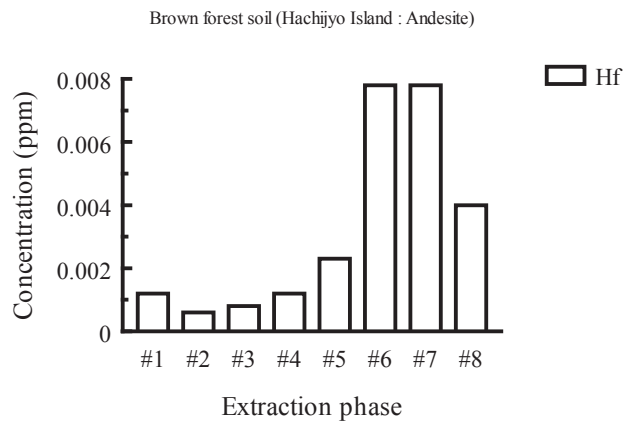
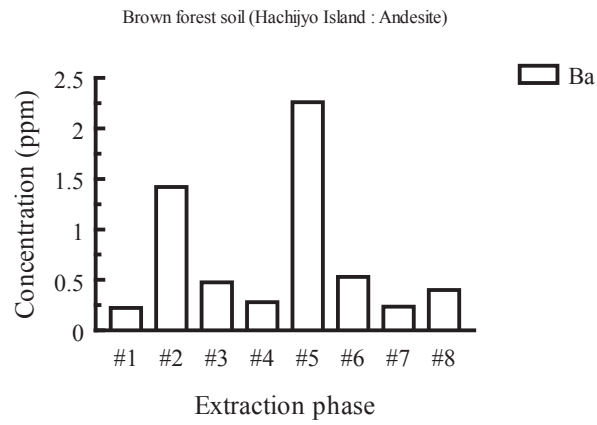


Fig.242 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Ba, Hf and Ta) in brown forest soil (Hachijyo Island : Andesite).

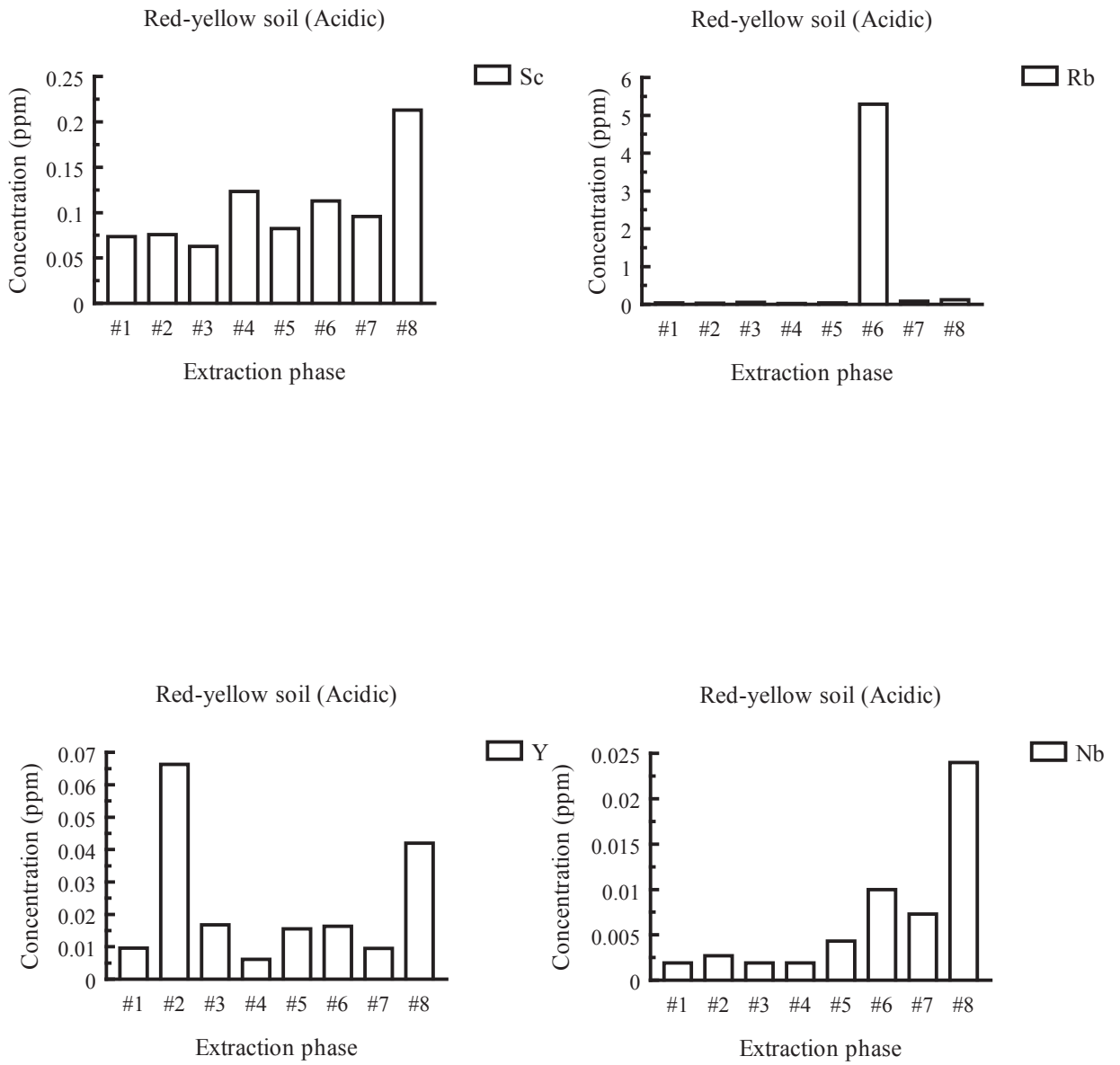


Fig.243 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Sc, Rb, Y and Nb) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Acidic soil).

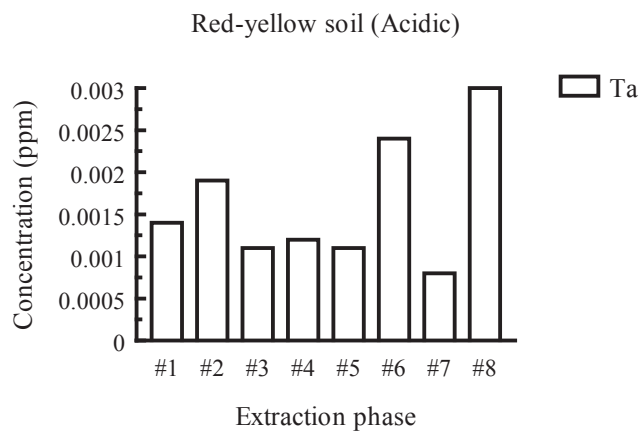
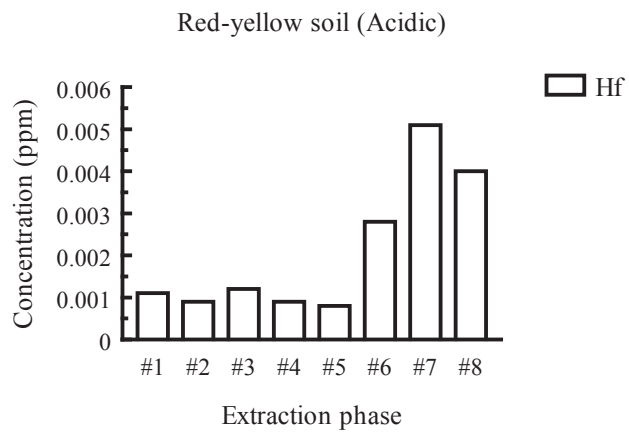
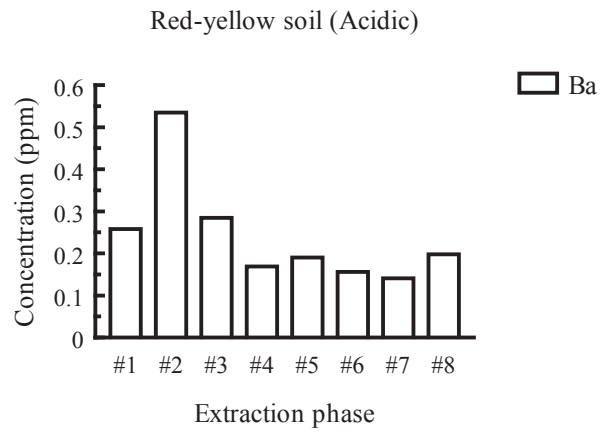


Fig.244 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Ba, Hf and Ta) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Acidic soil).

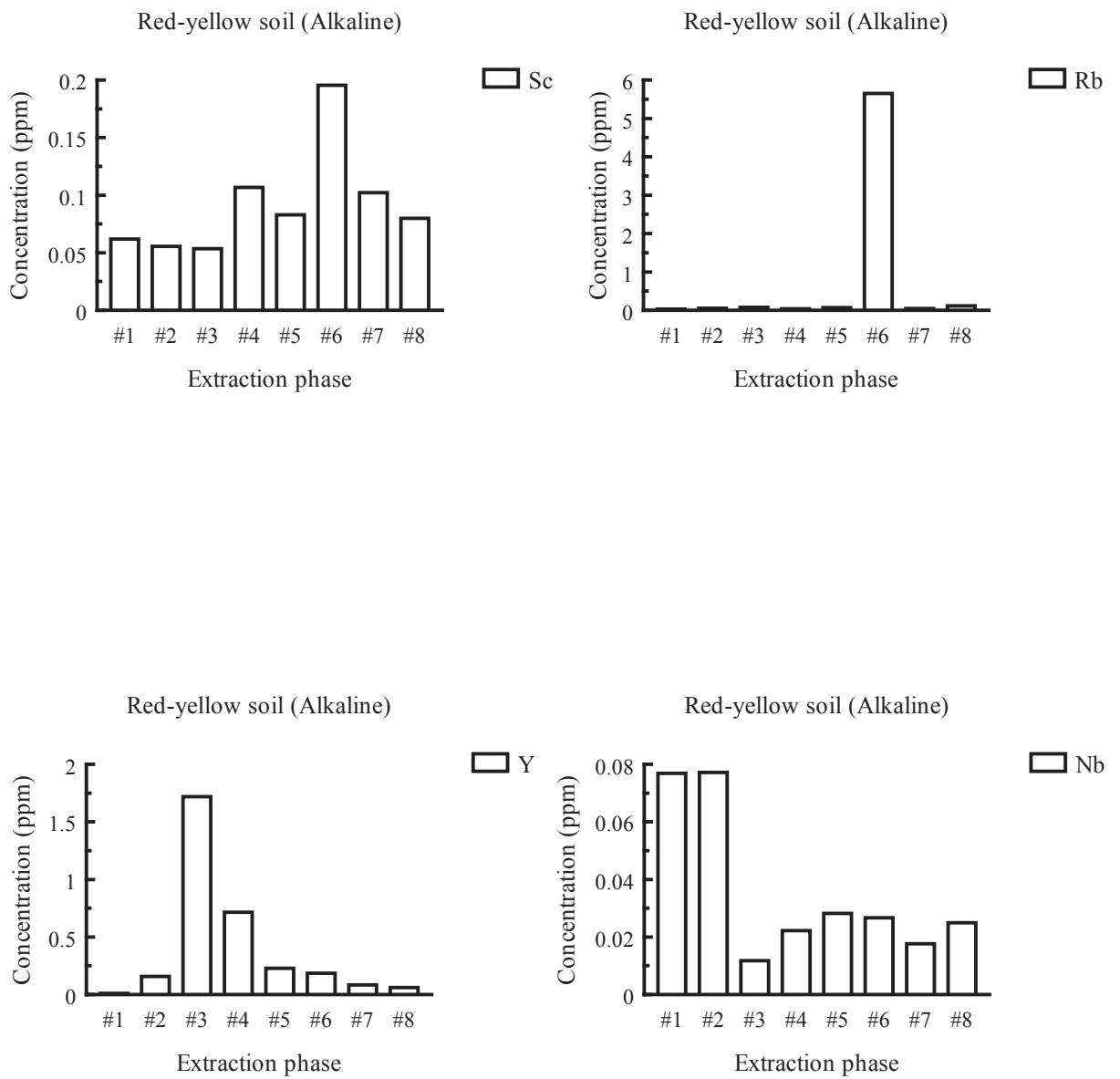


Fig.245 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Sc, Rb, Y and Nb) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Alkaline soil).

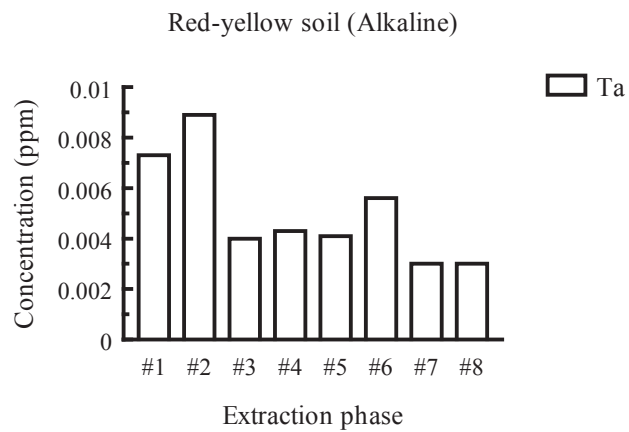
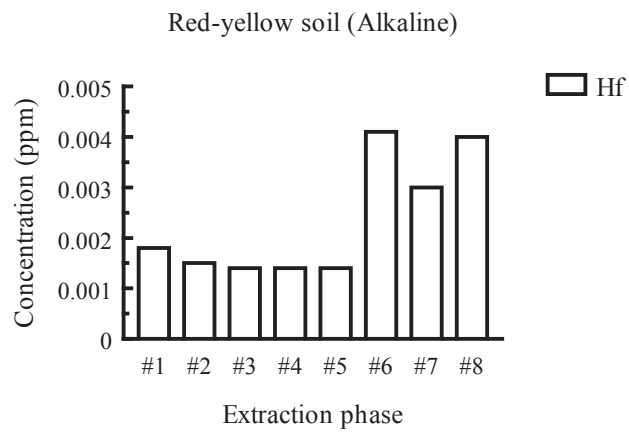
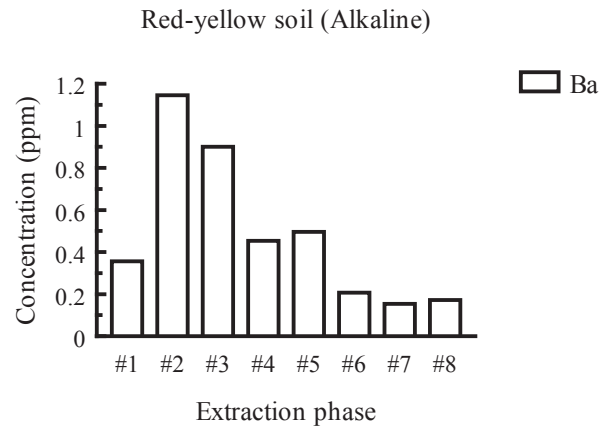


Fig.246 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Ba, Hf and Ta) in red-yellow soil (The main island of Okinawa : Alkaline soil).

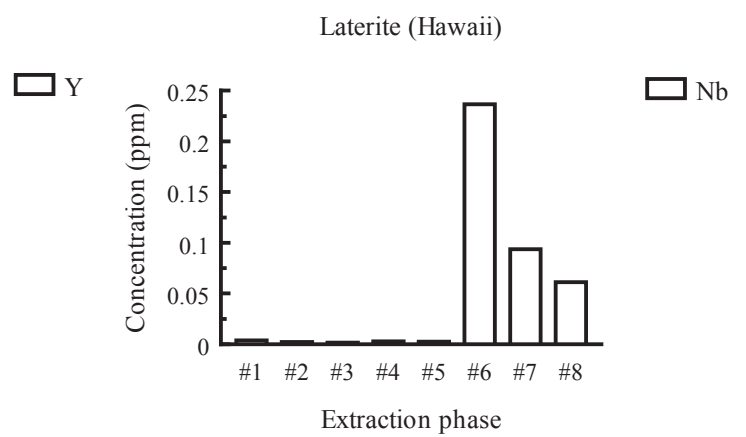
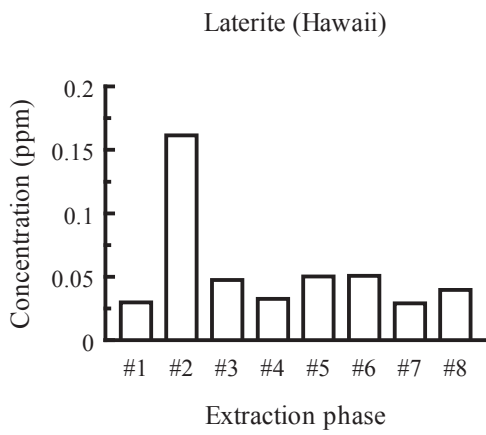
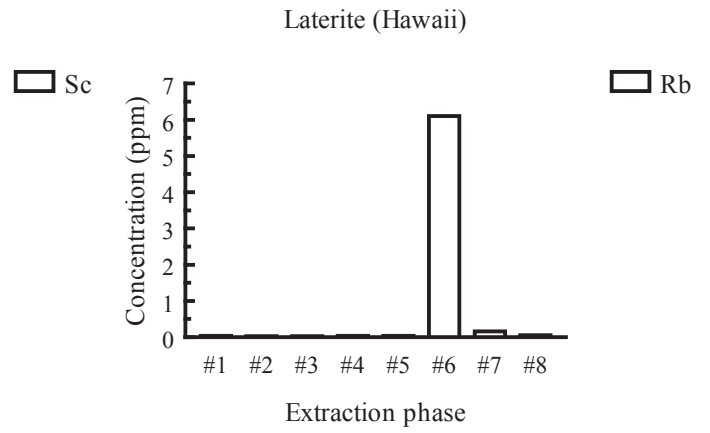
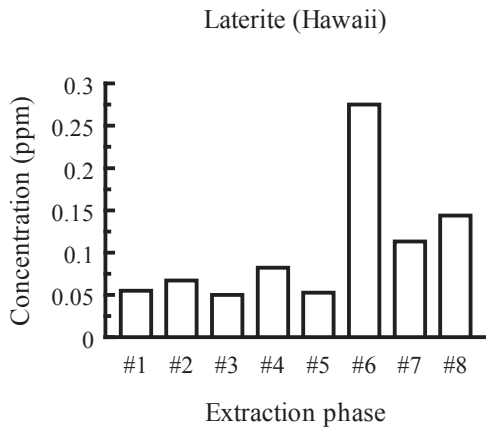


Fig.247 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Sc, Rb, Y and Nb) in laterite (Hawaii Islands).

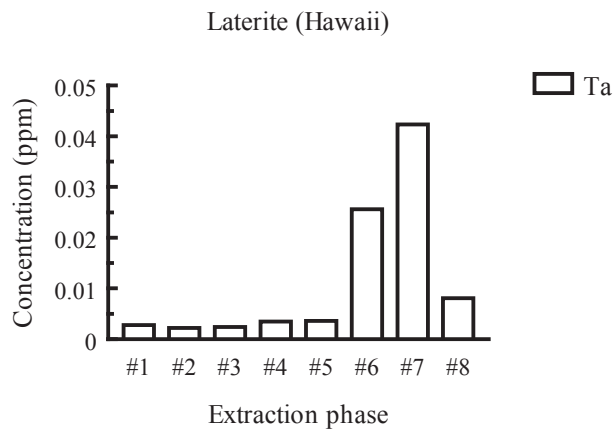
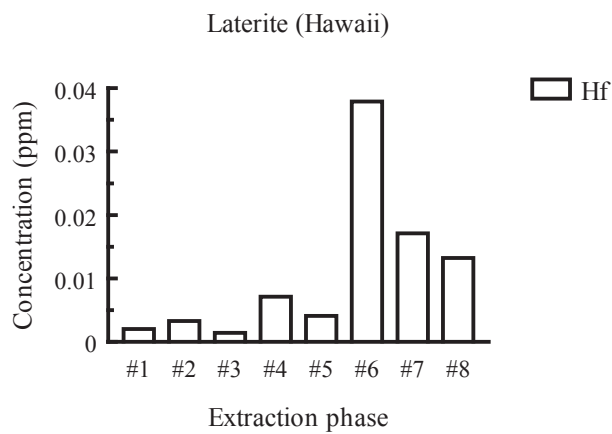
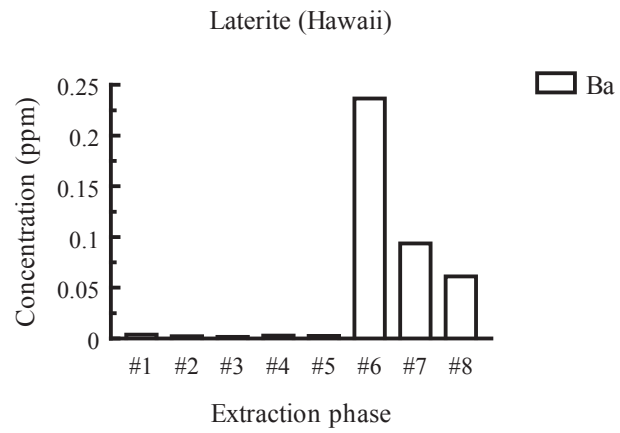


Fig.248 Result of extraction experiment. Concentration of other elements (Ba, Hf and Ta) in laterite (Hawaii Islands).

Table1 Soil constituent minerals identified by XRD (Hadano samples)

Primary mineral	Hadano A	Hadano B	Loam	Secondary mineral	Hadano A	Hadano B	Loam
Fel				Hal			
Mt				Goe			
Qz				Sm			
Ol							
Pl							
Py				very abundant		abundant	
Mag				minor			

Fel:Feldspar, Mt:Magnetite, Qz:Quartz, Ol:Olivine, Pl:Plagioclase, Mag:Maghettite, Py:Pyroxene, Cal:Calcite, Dol:Dolomite, Mus:Muscovite, Hem:Hematite
 Bio:Biotite, Hal:Halloysite, Goe:Goethite, Sm:Smectite, Kaol:Kaolinite, Ill:Illite, Ver:Vermiculite, Gibb:Gibbsite, Boe:Boemite, Dia:Diaspore

Table2 Soil constituent minerals identified by XRD (Hiratsuka samples)

Primary mineral	Hiratsuka	Secondary mineral	Hiratsuka
Fel		Hal	
Mt		Goe	
Qz		Sm	
Ol		Ill	
Pl		very abundant	abundant
Mag		minor	× not identified

Abbreviations are same to Table1.

Table3 Soil constituent minerals identified by XRD (Akagi samples)

Primary mineral	Akagi A	Akagi B	Secondary mineral	Akagi A	Akagi B
Fel			Hal		
Mt			Kaol		
Qz			Goe		
Ol			Sm		
Pl			Ill		
Py			very abundant minor		abundant × not identified

Abbreviations are same to Table1.

Table4 Soil constituent minerals identified by XRD (Hachijyo Island samples)

Primary mineral	Basalt	Andesite	Secondary mineral	Basalt	Andesite
Fel			Hal		
Pl			Goe		
Qz			Sm		
Py			Ill		
Ol			very abundant		abundant
Mt			minor		× not identified

Abbreviations are same to Table1.

Table5 Soil constituent minerals identified by XRD (The main island of Okinawa and Ishigaki Island samples)

Primary mineral	Acidic soil	Alkaline soil	Secondary mineral	Acidic soil	Alkaline soil
Fel			Hal		
Mt			Kaol		
Qz			Goe		
Pl			Sm		
Cal			Ill		
Dol			Verm		
Mus			Gibb		
Hem					
Mag			very abundant		abundant
Bio	×		minor		× not identified

Abbreviations are same to Table1.

Table6 Soil constituent minarals identified by XRD (Oahu and Hawaii Island samples)

Primary mineral	Oahu	Hawaii	Secondary mineral	Oahu	Hawaii
Fel			Hal	×	
Mt			Kaol		
Ol			Goe		
Pl			Gibb		
Py	×		Boe		
Mag			Dia		
			very abundant		abundant
			minor		×

Abbreviations are same to Table1.

Table7 Concentration of major elements analyzed by XRF (Hadano samples)

sampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total (%)
A-1	30	47.72	1.34	18.67	12.10	0.20	4.54	7.75	2.21	0.59	0.29	3.76	99.17
A-2	40	48.57	1.09	18.29	12.09	0.21	4.55	7.41	2.19	0.61	0.22	3.50	98.74
A-3	50	45.77	1.41	20.02	12.66	0.22	4.03	7.46	2.01	0.30	0.27	5.36	99.51
A-4	60	45.87	1.30	20.98	12.38	0.23	3.99	7.89	1.94	0.28	0.24	5.24	100.33
A-5	70	45.38	1.44	21.09	12.49	0.23	4.62	7.37	1.80	0.26	0.23	5.46	100.36
A-6	80	44.39	1.34	20.41	12.78	0.23	4.31	7.15	1.46	0.27	0.21	5.89	98.44
A-7	90	44.76	1.21	21.01	12.42	0.22	4.16	6.97	1.61	0.29	0.21	6.05	98.91
A-8	100	44.78	1.34	21.35	12.88	0.23	4.16	6.44	1.53	0.31	0.18	6.30	99.50
A-9	110	45.00	1.29	21.61	12.78	0.25	3.97	5.89	1.44	0.29	0.18	7.42	100.12
A-10	120	43.70	1.34	21.84	13.11	0.25	3.51	5.21	1.19	0.24	0.19	9.07	99.65
A-11	130	43.35	1.38	21.95	13.50	0.26	3.63	4.41	0.95	0.21	0.18	10.16	99.97
A-12	140	43.18	1.54	21.49	13.96	0.26	2.95	3.19	0.76	0.23	0.15	10.56	98.28
A-13	150	42.88	1.64	21.76	15.04	0.27	2.69	2.57	0.57	0.22	0.15	10.98	98.78
A-14	160	43.17	1.63	21.87	14.76	0.27	2.51	2.36	0.51	0.24	0.18	11.60	99.11
A-15	170	44.29	1.65	21.31	14.59	0.29	2.29	1.75	0.45	0.24	0.17	12.15	99.18
sampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total (%)
B-1	30	42.99	1.50	21.41	14.09	0.27	3.32	3.62	0.89	0.25	0.18	10.95	99.47
B-2	40	44.03	1.52	21.29	14.16	0.26	3.24	3.56	0.81	0.31	0.18	10.93	100.29
B-3	50	45.21	1.60	20.88	14.56	0.28	2.31	2.09	0.49	0.21	0.16	12.02	99.80
B-4	60	46.61	1.59	20.80	14.36	0.28	2.13	1.80	0.42	0.14	0.13	11.69	99.95
B-5	70	43.49	1.65	21.23	14.68	0.27	2.15	1.59	0.33	0.16	0.19	13.49	99.24
B-6	80	41.43	1.74	21.69	15.29	0.29	2.08	1.41	0.25	0.14	0.22	14.63	99.18
B-7	90	37.89	1.82	22.48	15.93	0.29	2.37	1.43	0.19	0.12	0.26	15.69	98.48
B-8	100	34.79	2.00	24.51	17.61	0.32	3.23	1.33	0.17	0.11	0.30	16.36	100.73
B-9	110	35.99	1.94	23.71	17.49	0.32	4.50	1.84	0.21	0.08	0.30	13.39	99.77
B-10	120	36.88	1.77	23.51	17.21	0.31	4.36	1.87	0.24	0.07	0.18	12.68	99.08
B-11	130	37.76	1.86	23.64	17.10	0.32	4.71	2.31	0.18	0.08	0.21	11.97	100.13
B-12	140	37.01	1.86	23.72	17.19	0.33	4.62	2.10	0.21	0.09	0.25	11.96	99.34
B-13	150	37.70	1.91	24.69	17.34	0.31	3.61	1.78	0.19	0.10	0.21	11.99	99.83

Table8 Concentration of major elements analyzed by XRF (Hiratsuka samples)

sampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total(%)
1	30	43.87	1.25	17.62	11.27	0.19	4.23	7.21	2.06	0.55	0.27	10.37	98.88
2	90	49.67	1.02	17.93	10.15	0.16	3.01	4.65	1.79	0.26	0.08	9.66	98.39
3	240	48.33	0.93	18.27	10.19	0.33	2.22	4.19	1.53	0.32	0.09	12.51	98.92
4	500	47.34	0.94	19.07	11.36	0.15	3.39	5.37	1.52	0.30	0.12	12.29	101.85
5	530	49.97	0.92	17.45	9.90	0.16	3.37	5.48	1.79	0.32	0.12	10.38	99.87
6	590	46.88	0.91	19.31	10.40	0.16	3.85	6.01	1.55	0.22	0.09	9.48	98.87
7	650	46.19	0.93	16.47	11.37	0.15	3.23	5.36	1.48	0.23	0.10	14.85	100.35
8	690	45.26	0.86	17.03	13.34	0.16	2.29	4.48	1.52	0.25	0.08	13.67	98.95
9	820	45.95	1.88	17.28	12.69	0.15	2.67	5.31	1.82	0.26	0.13	11.81	99.94
10	840	46.31	0.89	16.26	10.84	0.14	2.53	5.09	1.80	0.27	0.12	16.21	100.46
11	920	48.19	0.93	17.98	11.38	0.13	2.21	5.38	1.66	0.29	0.09	10.03	98.26
12	990	49.41	0.82	15.61	10.32	0.13	2.44	5.27	2.11	0.47	0.11	12.70	99.39

Table9 Concentration of major elements analyzed by XRF (Akagi samples)

sampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total(%)
A 1-1	10	39.55	0.81	17.57	8.70	0.38	3.01	2.68	0.96	0.44	0.13	24.54	98.77
A 1-2	20	45.69	0.64	14.70	8.39	0.34	3.40	4.99	1.89	0.52	0.15	18.20	98.92
A 1-3	30	48.57	0.67	15.55	9.94	0.57	4.20	5.37	2.06	0.47	0.12	11.72	99.25
A 1-4	40	52.02	0.88	14.24	14.56	1.17	5.44	5.34	2.01	0.45	0.09	3.31	99.49
A 1-5	50	52.17	0.91	14.11	14.75	1.02	5.11	5.31	2.12	0.52	0.07	3.57	99.66
A 1-6	60	39.59	0.89	19.61	9.11	0.38	2.60	2.20	0.87	0.46	0.12	22.85	98.68
A 1-7	70	36.73	0.63	14.38	6.81	0.18	2.29	2.66	0.76	0.41	0.19	33.96	98.99
A 1-8	80	39.29	0.55	11.97	7.40	0.35	2.95	3.97	1.54	0.53	0.11	30.42	99.09
A 1-9	90	41.08	0.91	22.39	11.31	0.79	3.08	0.97	0.30	0.23	0.09	17.04	98.18
A 1-10	100	12.93	0.27	6.01	2.87	0.13	0.92	0.81	0.28	0.15	0.04	74.98	99.39
A 1-11	110	39.59	0.60	14.47	6.76	0.25	2.25	2.99	0.96	0.42	0.18	30.24	98.71
A 1-12	120	45.48	0.93	20.86	9.90	0.39	3.20	2.91	1.00	0.51	0.20	12.73	98.09
A 1-13	130	41.05	0.99	21.76	10.20	0.45	2.63	1.71	0.84	0.52	0.08	17.93	98.16
A 1-14	140	40.09	0.98	21.85	10.44	0.62	2.63	1.42	0.64	0.49	0.07	18.92	98.15
A 1-15	150	40.68	0.99	22.56	10.63	0.54	2.67	1.29	0.60	0.49	0.07	18.01	98.53
A 1-16	160	40.01	0.93	22.20	10.22	0.61	2.52	1.19	0.58	0.41	0.08	19.65	98.40
A 1-17	180	39.93	0.94	22.86	11.20	0.76	2.90	0.96	0.32	0.26	0.08	18.15	98.35
A 1-18	200	41.77	0.96	23.88	11.42	0.74	2.61	0.81	0.29	0.23	0.07	15.64	98.43
A 1-19	220	41.67	0.92	22.84	11.19	0.74	2.94	0.97	0.32	0.24	0.09	16.38	98.31
A 1-20	240	44.52	0.77	20.15	9.74	0.50	3.55	2.06	0.89	0.41	0.11	16.14	98.86
sampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total(%)
B 2-1	20	47.57	0.71	15.35	10.74	0.61	3.98	5.09	1.91	0.41	0.10	12.32	98.80
B 2-2	40	54.14	0.78	14.44	13.54	1.07	5.05	5.31	2.15	0.56	0.07	2.59	99.71
B 2-3	60	37.56	0.62	14.20	6.79	0.33	2.18	2.78	0.87	0.42	0.21	33.27	99.25
B 2-4	80	37.78	0.72	16.24	7.77	0.38	2.54	2.53	0.85	0.43	0.17	29.11	98.51
B 2-5	100	38.41	0.84	18.37	8.85	0.41	2.63	2.18	0.83	0.44	0.14	25.21	98.30
B 2-6	120	40.93	0.94	21.22	9.93	0.47	2.58	1.97	0.78	0.48	0.13	19.11	98.56
B 2-7	140	38.80	0.94	20.95	10.12	0.57	2.64	1.73	0.71	0.44	0.10	21.22	98.23
B 2-8	160	38.45	0.97	22.11	10.94	0.70	2.79	1.19	0.46	0.36	0.08	20.03	98.07
B 2-9	190	38.85	0.88	21.26	10.61	0.68	3.48	1.34	0.47	0.30	0.10	20.40	98.36
B 2-10	210	41.30	0.81	20.14	10.38	0.68	3.88	1.87	0.66	0.31	0.11	18.21	98.36

Table10 Concentration of major elements analyzed by XRF (Hachijyo Island samples (Basalt))

sampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total(%)
1-1		37.08	0.96	18.30	8.53	0.10	1.29	1.77	0.46	0.17	0.40	29.30	98.35
1-2		44.02	1.08	20.33	9.41	0.10	1.64	2.49	0.54	0.16	0.19	18.64	98.59
1-3		43.41	1.07	20.40	9.45	0.10	1.69	2.62	0.60	0.15	0.18	18.91	98.58
1-4 lava		48.34	1.17	18.70	11.70	0.18	3.88	10.65	1.82	0.28	0.16	2.20	99.07
1-5 fresh lava		49.11	1.20	18.16	12.05	0.18	4.11	11.07	1.74	0.27	0.13	0.20	98.23
1'-1		45.22	1.14	16.54	14.29	0.26	4.06	8.00	1.49	0.14	0.10	7.28	98.51
1'-2		48.02	1.11	15.81	13.83	0.26	3.98	8.25	1.80	0.17	0.09	3.57	96.89
1'-3		45.73	1.20	16.45	14.69	0.26	3.84	7.71	1.54	0.14	0.10	7.23	98.90
2-1		49.02	1.19	18.74	12.02	0.17	4.12	11.35	1.71	0.28	0.14	0.00	98.74
2-2		48.48	1.30	17.73	12.77	0.19	4.06	10.61	1.81	0.29	0.16	1.68	99.08
2-3		48.74	1.26	18.35	12.28	0.18	3.92	10.77	1.80	0.28	0.16	1.51	99.25
3 clay		39.97	1.47	17.98	17.02	0.34	3.30	5.67	1.24	0.11	0.14	11.35	98.60
4-1		49.43	1.16	18.91	11.60	0.16	4.02	11.50	1.69	0.27	0.15	-0.05	98.84
4-2		49.29	1.33	17.14	12.95	0.20	4.28	10.69	1.79	0.31	0.15	0.23	98.35
4-3		49.54	1.33	17.33	12.99	0.20	4.27	10.80	1.85	0.30	0.15	0.25	99.00
4-4		49.63	1.33	16.14	12.96	0.21	3.81	9.63	1.98	0.34	0.16	2.56	98.75
4 rock		49.68	1.31	17.49	12.94	0.32	4.37	10.89	1.89	0.29	0.15	0.19	99.52
5-1		48.22	1.23	19.55	11.84	0.17	3.44	11.26	1.80	0.27	0.15	1.08	99.02
5-2		47.84	1.29	18.30	12.36	0.18	3.52	10.35	1.75	0.29	0.16	3.26	99.30
6-1		33.05	1.02	12.66	9.88	0.20	2.49	5.98	1.17	0.31	0.34	32.27	99.38
6-2		50.28	1.38	17.37	13.42	0.21	3.64	9.68	1.89	0.34	0.17	1.51	99.89
6-3		48.90	1.32	17.55	12.65	0.18	3.71	10.53	1.86	0.30	0.16	1.35	98.52
7-1		44.76	1.48	16.82	14.53	0.28	2.78	5.42	1.31	0.34	0.25	10.56	98.52
7-2	20	42.94	1.37	17.02	13.34	0.23	3.35	6.75	1.48	0.20	0.16	12.08	98.90
7-3	120	37.97	1.38	17.60	13.98	0.24	2.58	5.83	1.17	0.14	0.18	17.85	98.94
7-4	170	37.75	1.56	17.13	16.58	0.30	2.50	5.16	1.04	0.07	0.09	16.44	98.61
7-5	220	50.17	1.23	15.62	13.81	0.23	4.18	8.78	1.88	0.26	0.11	2.86	99.12
8 basalt lava		45.00	1.26	17.11	13.33	0.22	3.49	8.38	1.74	0.47	0.09	5.83	96.92
9-1		44.57	1.48	16.09	13.82	0.23	3.05	7.43	1.64	0.28	0.17	9.85	98.61
9-2		44.89	1.45	16.31	13.52	0.19	2.89	6.71	1.53	0.27	0.15	10.82	98.74
9-3		45.50	1.23	16.58	12.04	0.19	3.39	9.50	1.71	0.24	0.12	1.55	92.05

Table10 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total(%)
10-1	20	46.81	1.42	17.50	13.22	0.21	3.51	9.12	1.73	0.28	0.16	5.53	99.47
10-2	60	45.70	1.51	15.42	14.05	0.21	3.29	7.87	1.65	0.30	0.18	6.11	96.29
10-3	100	44.26	1.24	13.70	12.94	0.22	3.54	7.76	1.77	0.27	0.13	11.01	96.83
10-4	140	46.72	1.67	18.91	17.84	0.32	3.31	6.97	1.37	0.18	0.15	1.50	98.92
10-5	180	43.93	1.35	16.71	13.92	0.26	3.16	7.31	1.51	0.19	0.13	8.39	96.86
16-1		47.33	0.80	17.76	13.02	0.21	6.41	11.83	1.58	0.11	0.08	0.58	99.71
16-1'		44.79	0.87	18.45	13.60	0.23	5.77	9.84	1.21	0.09	0.07	4.45	99.36
16-2		47.43	0.81	17.79	13.03	0.21	6.49	12.04	1.56	0.10	0.08	0.28	99.82
16-3		47.39	0.80	17.66	13.04	0.20	6.42	12.07	1.53	0.10	0.07	0.25	99.53
17-1		78.36	1.29	3.90	2.99	0.04	0.05	0.20	0.17	0.03	0.04	11.79	98.87
17-2		77.86	2.16	3.24	5.25	0.03	0.16	0.29	0.11	0.03	0.09	10.49	99.71
17-3		80.31	1.39	2.92	2.52	0.03	0.22	0.34	0.15	0.08	0.08	11.47	99.51
18-1		41.65	0.96	23.08	14.62	0.26	6.69	7.05	0.77	0.02	0.09	4.05	99.24
18-2		40.60	0.94	22.77	14.28	0.26	6.13	6.64	0.73	0.03	0.09	6.83	99.31
18-3		40.53	0.90	21.68	13.76	0.24	6.14	6.61	0.76	0.04	0.08	8.41	99.16
19-1		44.57	1.08	21.16	15.24	0.29	3.98	6.66	1.32	0.18	0.06	4.62	99.14
19-2		46.25	0.90	17.80	13.86	0.23	6.07	10.77	1.34	0.11	0.08	2.31	99.70
20-1	0	44.59	1.10	21.97	13.63	0.28	2.81	2.62	0.88	0.20	0.04	10.44	98.57
20-2	20	46.12	1.10	20.62	14.45	0.28	3.10	3.64	1.00	0.21	0.05	8.22	98.80
20-3	70	43.56	1.08	18.93	14.01	0.26	3.04	3.68	1.01	0.20	0.06	12.38	98.21
20-4	90	41.42	1.42	22.74	18.28	0.35	2.41	1.37	0.48	0.12	0.09	9.77	98.45
20-5	110	38.37	1.42	24.76	20.69	0.28	2.04	0.88	0.36	0.19	0.07	10.89	99.95
20-6	130	36.45	1.12	21.95	17.58	0.30	3.87	1.16	0.22	0.05	0.04	16.05	98.79
20-7	150	42.75	1.03	20.81	16.43	0.29	4.89	5.35	0.68	0.03	0.04	6.60	98.90
20-8	170	41.50	1.00	21.73	16.13	0.28	5.06	6.15	0.73	0.03	0.04	5.73	98.39
20-9	190	37.79	1.18	22.46	18.85	0.36	3.74	1.34	0.28	0.06	0.04	13.07	99.19
20-10	210	39.62	1.39	23.37	19.60	0.39	2.46	1.33	0.50	0.20	0.06	9.65	98.56
20-11	230	41.99	1.34	23.58	15.55	0.29	2.33	2.05	0.55	0.19	0.04	10.29	98.20
20-12	250	44.33	1.56	22.51	17.01	0.19	1.74	1.34	0.57	0.51	0.04	8.93	98.73
20-13	270	44.54	1.49	23.26	16.38	0.16	1.43	0.93	0.60	0.70	0.03	9.31	98.82
20-14	290	43.49	1.14	24.20	15.22	0.24	2.45	1.22	0.40	0.26	0.02	9.42	98.08
20-15	310	43.30	1.05	25.11	14.05	0.28	2.91	1.59	0.41	0.19	0.06	9.66	98.61
20-16	330	43.11	1.03	22.49	14.59	0.30	4.23	3.08	0.61	0.06	0.06	8.72	98.28

Table10 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total(%)
22-1		42.92	1.00	18.75	12.66	0.66	3.19	6.19	1.23	0.14	0.09	12.19	99.03
22-2		45.57	0.87	19.82	11.56	0.32	3.93	9.45	1.33	0.09	0.09	6.19	99.21
22-3		44.70	0.94	17.61	12.04	0.62	3.27	6.24	1.25	0.12	0.10	12.33	99.20
23-1		38.02	1.08	20.73	15.23	0.72	2.16	1.21	0.28	0.28	0.03	18.67	98.41
23-2		44.30	0.81	20.04	11.89	0.73	3.60	4.43	1.07	0.12	0.04	12.14	99.18
23-3		41.38	0.88	22.30	11.89	0.62	2.10	2.28	0.82	0.29	0.06	15.82	98.46
30 rock		47.28	0.96	16.94	13.84	0.49	4.86	9.30	1.49	0.09	0.07	3.73	99.05
30-1		38.97	1.15	19.17	16.33	0.77	3.60	3.90	0.70	0.04	0.04	13.49	98.16
30-2		39.18	1.21	19.14	16.70	0.85	3.96	5.02	0.81	0.01	0.05	11.46	98.39
30-3		48.35	1.12	16.61	14.64	0.55	5.13	9.30	1.80	0.15	0.09	1.70	99.43
30-4		43.19	1.26	18.74	16.02	0.79	3.09	4.58	1.38	0.09	0.05	9.07	98.25
30-5		39.58	1.49	17.25	17.77	1.09	3.54	5.63	1.32	0.08	0.09	10.79	98.63
30-6		30.36	1.41	19.16	15.71	0.77	2.51	3.34	0.66	0.14	0.14	25.03	99.24
30-7		39.87	1.18	16.84	14.46	0.81	3.37	5.33	1.02	0.14	0.17	16.70	99.90
35-1		35.63	1.20	21.41	15.20	1.15	2.29	2.60	0.92	0.21	0.05	18.52	99.18
35-2		41.23	1.49	18.23	17.10	0.97	3.15	5.63	1.40	0.15	0.10	10.74	100.20
35-3		41.38	1.43	19.81	17.07	0.69	2.17	3.02	0.72	0.28	0.05	11.74	98.37
35-4		37.14	1.21	17.40	14.57	0.81	2.85	4.40	1.15	0.17	0.11	19.12	98.92
37-1		37.67	1.52	20.73	18.19	1.23	3.16	4.23	0.90	0.05	0.06	10.96	98.71
37-2		39.67	1.30	19.98	15.90	0.87	3.01	4.47	1.13	0.16	0.06	12.24	98.80
37-3		48.68	1.18	17.75	13.87	0.65	3.43	6.97	2.09	0.23	0.09	4.49	99.43
37-4		48.38	1.57	16.73	15.26	0.57	3.62	7.32	1.98	0.33	0.12	4.19	100.08
38-1		44.39	1.33	18.90	13.15	0.39	3.22	9.00	1.56	0.21	0.15	7.02	99.33
38-2		50.76	1.57	16.48	14.41	0.34	3.48	8.38	1.95	0.31	0.14	1.36	99.19
38-3		45.97	1.36	18.69	13.44	0.40	3.57	9.66	1.78	0.20	0.13	4.62	99.82
39-1		49.47	1.26	17.76	12.45	0.33	4.19	11.22	1.98	0.30	0.15	0.16	99.29
39-2		49.84	1.28	17.75	12.63	0.25	4.23	11.15	1.91	0.29	0.15	0.15	99.63
40 rock		49.92	1.25	17.91	12.36	0.23	4.28	11.41	1.94	0.32	0.15	0.01	99.78
40-1		49.34	1.36	17.98	13.10	0.41	3.91	10.67	1.95	0.31	0.16	0.27	99.46
40-2		45.17	1.32	17.59	12.59	0.27	3.63	9.44	1.77	0.30	0.18	7.17	99.44
40-3		48.79	1.36	17.79	12.97	0.32	3.85	10.43	1.90	0.32	0.16	1.84	99.74
40-4		42.17	1.26	18.20	14.59	0.73	3.51	6.80	1.40	0.18	0.17	10.15	99.16
41-1	0	48.96	1.29	15.76	15.00	0.61	4.05	8.94	2.08	0.19	0.12	3.00	99.99
41-2	50	48.97	1.21	16.89	13.22	0.38	3.64	9.44	1.83	0.23	0.12	3.12	99.04
41-3	100	50.06	1.22	16.35	13.65	0.47	4.21	9.64	1.87	0.25	0.11	1.39	99.22
41-4	150	39.05	1.58	26.25	20.93	1.34	4.05	3.59	0.90	0.13	0.12	0.72	98.66
41-5	200	49.39	1.23	15.45	14.41	0.59	4.25	9.61	2.64	0.29	0.12	0.28	98.26
42-1	0	49.08	1.38	16.32	14.14	0.43	4.15	10.25	1.84	0.29	0.14	1.15	99.17
42-2	50	50.46	1.26	15.77	14.17	0.46	4.55	9.24	1.89	0.26	0.11	0.88	99.06
42-3	100	45.46	1.19	16.05	13.60	0.79	3.45	7.36	1.51	0.15	0.08	10.13	99.78
42-4	150	43.37	1.37	17.67	15.44	0.58	3.08	6.57	1.31	0.09	0.08	10.85	100.41
42-5	200	43.96	1.41	18.47	15.91	0.76	3.44	6.92	1.45	0.10	0.09	6.82	99.35
42-6	250	40.90	1.43	17.95	15.52	0.91	3.21	6.97	1.48	0.11	0.10	10.99	99.56
43-1		50.08	1.36	16.71	13.22	0.28	4.20	10.10	1.86	0.35	0.16	1.71	100.03
44-1		42.29	1.20	15.43	11.72	0.36	3.61	8.84	1.68	0.28	0.22	14.15	99.78
44-2		39.79	1.12	14.87	11.05	0.29	3.32	8.26	1.42	0.27	0.23	18.89	99.52
44-3		48.70	1.53	16.06	14.24	0.41	3.80	9.08	1.94	0.32	0.13	3.66	99.87
45-1	0	48.08	1.29	17.77	12.71	0.29	3.85	10.50	1.80	0.30	0.17	2.89	99.65
45-2	50	47.55	1.28	17.61	12.44	0.22	3.66	10.35	1.72	0.29	0.17	3.25	98.55
45-3	100	46.77	1.28	18.39	12.32	0.25	3.54	10.53	1.91	0.29	0.18	4.01	99.47
45-4	150	45.86	1.22	18.36	11.84	0.22	3.46	10.42	1.72	0.26	0.18	5.23	98.78
45-5 lava	200	54.19	1.72	13.61	14.97	0.55	3.13	8.20	2.31	0.53	0.22	0.02	99.44
45-6 ash+scoria	250	52.82	1.71	14.35	15.04	0.66	3.16	7.89	2.22	0.52	0.22	1.07	99.65
45-7	300	46.72	1.31	17.52	12.54	0.36	3.45	10.09	1.85	0.30	0.18	4.49	98.79
45 rock		54.05	1.72	13.84	15.01	0.66	3.16	8.23	2.57	0.54	0.23	0.15	100.17
46-1		48.50	1.32	18.52	12.71	0.28	3.66	10.70	1.96	0.30	0.17	1.45	99.58
46-2		49.73	1.44	15.91	13.96	0.47	4.19	10.07	2.04	0.35	0.18	0.52	98.85
46-3		51.40	1.63	14.58	14.71	0.52	3.39	7.86	2.37	0.53	0.21	2.58	99.78

Table 11 Concentration of major elements analyzed by XRF (Hachijyo Island samples(Andesite))

sampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total(%)
11-1		44.77	0.84	15.91	10.62	0.26	3.76	6.65	1.82	0.16	0.09	14.56	99.44
11-2		44.13	0.97	17.46	12.27	0.28	3.42	5.97	1.56	0.15	0.08	13.60	99.89
12-1		40.61	1.59	16.85	15.02	0.23	3.05	5.50	1.37	0.40	0.20	14.21	99.04
12-2		36.16	2.24	26.98	23.55	0.32	2.64	3.98	0.78	0.13	0.11	1.58	98.47
12-3		35.98	1.66	17.87	18.25	0.31	2.95	4.76	0.93	0.09	0.09	15.57	98.47
12-4		44.15	1.47	16.31	16.69	0.34	3.10	6.43	1.74	0.12	0.10	8.79	99.23
13-1		43.00	1.04	23.16	17.20	0.30	7.12	5.04	0.40	0.03	0.04	1.18	98.52
13-2		42.56	0.98	21.68	16.10	0.29	6.85	6.22	0.53	0.03	0.04	3.36	98.62
13-3		44.04	0.97	21.41	15.82	0.28	6.19	6.98	0.69	0.05	0.04	2.27	98.74
14-1		45.39	1.16	23.72	16.70	0.24	3.72	3.81	0.25	0.12	0.07	2.96	98.14
14-2		44.21	1.03	20.33	13.32	0.25	3.33	4.38	0.92	0.11	0.06	11.28	99.23
14-3		42.29	1.29	22.05	16.23	0.35	3.29	4.12	0.90	0.17	0.06	7.91	98.65
15-1		40.98	1.78	23.48	18.70	0.25	2.91	5.38	1.19	0.19	0.09	3.89	98.84
15-2		46.09	1.54	18.41	14.44	0.22	2.87	8.87	1.71	0.25	0.14	4.92	99.47
15-3		41.41	1.62	17.89	18.18	0.30	2.97	5.98	1.41	0.11	0.07	9.06	98.98
21-1		41.09	1.31	17.56	16.37	0.30	3.73	5.82	1.39	0.13	0.10	11.64	99.45
21-2		45.05	1.40	19.84	16.96	0.31	3.71	5.67	1.33	0.20	0.15	4.60	99.22
21-3		40.05	1.80	21.90	20.17	0.36	2.98	4.58	1.17	0.18	0.21	5.66	99.06
24-1		39.17	1.34	16.46	15.64	0.86	3.34	5.36	1.35	0.14	0.08	16.14	99.88
24-2		39.23	1.21	19.26	15.22	0.63	2.52	2.92	0.72	0.39	0.05	16.10	98.27
24-3		37.17	1.30	18.69	15.45	0.61	2.15	2.40	0.53	0.39	0.06	19.40	98.16
25		40.03	1.09	16.59	12.91	0.83	3.08	5.29	1.13	0.26	0.27	17.19	98.69
25 rock		49.02	1.23	18.68	12.08	0.18	3.59	11.50	1.90	0.24	0.14	0.11	98.68
26		34.00	0.91	14.74	11.14	0.82	3.00	5.33	0.97	0.25	0.30	27.89	99.34
26 rock		48.24	0.72	17.18	11.46	0.27	6.27	12.25	1.50	0.07	0.08	1.43	99.48
27-1	50	45.92	1.19	17.83	14.94	0.62	3.70	8.04	1.45	0.18	0.09	5.48	99.44
27-2	100	50.64	1.15	13.65	13.10	0.78	2.60	6.74	2.46	0.24	0.11	8.11	99.58
27-3	150	41.02	1.33	17.05	14.96	0.71	3.06	6.23	1.24	0.19	0.44	13.43	99.67
27-4	200	40.47	1.41	17.34	15.91	0.73	3.16	6.54	1.35	0.14	0.17	12.06	99.29
27-5	250	40.22	1.30	16.91	15.15	0.71	3.16	6.39	1.34	0.23	0.41	13.41	99.24

Table11 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total(%)
28-1		48.87	1.12	16.10	13.88	0.58	4.00	8.78	1.76	0.17	0.08	4.03	99.36
28-2		45.64	1.23	17.38	15.00	0.74	3.29	7.40	1.32	0.10	0.07	7.02	99.20
28-3		40.01	1.42	18.64	16.19	0.72	3.01	5.71	1.15	0.12	0.11	12.35	99.44
28-4		38.42	1.47	17.30	15.71	0.85	2.79	5.32	1.06	0.16	0.15	15.53	98.76
29-1		30.92	1.45	17.93	16.17	0.91	2.47	3.50	0.79	0.14	0.25	24.81	99.34
29-2		36.49	1.28	16.89	14.99	0.70	3.18	5.35	1.15	0.16	0.20	19.18	99.58
29-3		43.31	1.09	16.04	13.80	0.65	4.11	7.10	1.47	0.20	0.16	10.89	98.83
31-1		37.78	1.25	20.65	15.70	1.03	2.14	2.96	0.84	0.14	0.02	16.63	99.14
31-2		39.68	1.26	21.05	16.17	1.17	2.40	3.10	1.07	0.06	0.03	13.20	99.19
31-3		43.72	1.00	20.20	12.34	0.75	2.50	4.00	1.55	0.08	0.03	12.69	98.86
31-4		41.71	1.19	21.86	14.09	1.02	2.21	4.33	1.33	0.07	0.04	10.99	98.84
32-1	0	38.50	1.23	19.43	16.67	0.96	3.43	4.15	0.76	0.02	0.04	12.97	98.17
32-2	50	39.04	1.05	21.31	14.92	0.65	3.24	4.51	1.16	0.08	0.06	13.56	99.57
32-3	100	49.46	0.93	18.04	12.25	0.49	3.65	7.02	1.99	0.15	0.05	4.76	98.78
32-4	120	32.24	0.77	9.80	8.77	0.33	2.79	5.88	1.33	0.18	0.07	37.57	99.75
32-5	170	38.42	1.24	17.57	15.19	0.83	2.95	4.63	1.14	0.17	0.19	16.15	98.48
33		51.42	0.84	16.44	10.63	0.41	2.49	4.96	2.16	0.26	0.09	9.57	99.27
33 rock weathering		53.81	0.78	16.05	10.85	0.31	4.14	8.71	2.18	0.27	0.08	1.61	98.79
33 rock fresh		53.17	0.75	16.07	10.92	0.34	4.48	8.70	2.17	0.25	0.08	1.82	98.76
34-1		35.96	1.20	21.24	15.07	1.02	2.00	2.04	0.72	0.23	0.04	18.65	98.17
34-2		45.03	1.04	19.41	13.52	0.61	2.29	2.64	0.83	0.26	0.04	13.34	99.01
34-3		33.61	1.29	20.52	16.45	0.98	2.21	2.07	0.58	0.08	0.05	20.22	98.04
34-4		34.77	1.26	20.23	15.60	1.73	1.90	2.29	0.65	0.14	0.05	20.44	99.05
36-1		39.79	0.79	19.02	11.74	0.71	3.99	4.08	0.55	0.06	0.05	17.69	98.48
36-2		43.54	1.00	18.19	12.09	0.28	2.01	2.08	0.62	0.68	0.06	17.89	98.44
36-3		43.37	0.92	17.55	11.57	0.54	2.95	3.84	0.93	0.24	0.05	17.13	99.10
47-1		56.46	1.23	15.02	13.85	0.82	2.69	7.34	2.74	0.31	0.14	0.31	100.90
47-2		47.81	1.57	17.82	18.27	0.69	3.20	6.95	1.63	0.15	0.11	1.30	99.50
47-3		51.90	1.35	14.97	15.62	1.06	3.59	7.96	2.23	0.19	0.11	1.16	100.14

Table12 Concentration of major elements analyzed by XRF (The main island of Okinawa and Ishigaki Island samples in acidic soil)

SampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total (%)
1-1		44.88	0.73	18.72	8.33	0.05	0.64	0.17	0.12	1.82	0.07	23.25	98.77
1-2		49.32	0.67	18.43	6.85	0.05	0.61	0.15	0.12	1.66	0.06	23.02	100.96
1-3		53.95	0.61	19.22	6.21	0.05	0.51	0.14	0.18	1.50	0.12	15.79	98.28
2-1		51.03	0.92	16.36	6.88	0.09	0.23	0.24	0.41	1.36	0.07	21.32	98.93
2-2		46.99	1.00	17.88	8.10	0.05	0.59	0.13	0.40	1.62	0.06	24.85	101.67
3-1	20	64.15	0.76	16.89	7.42	0.12	1.59	0.06	0.33	2.93	0.04	6.54	100.83
3-2	30	63.75	0.68	16.49	6.78	0.12	1.42	0.06	0.82	3.43	0.03	5.44	99.02
3-3	40	72.74	0.09	15.23	1.41	0.02	0.02	0.06	2.12	2.22	0.01	4.49	98.41
3-4	50	90.30	0.00	0.38	0.61	0.16	0.00	0.16	0.00	0.00	0.01	7.50	99.13
3-5	60	57.78	0.72	18.30	5.86	0.12	1.35	0.04	1.53	3.01	0.05	9.84	98.59
3-6	70	71.85	0.17	6.17	1.00	0.01	0.08	0.07	1.26	0.50	0.00	17.53	98.64
3-7	80	77.88	0.07	13.48	0.54	0.02	0.28	0.22	0.45	3.00	0.01	2.36	98.30
3-8	90	73.52	0.07	14.98	1.77	0.01	0.02	0.06	1.56	2.03	0.01	4.85	98.87
3-9	100	60.77	0.08	19.78	1.94	0.01	0.05	0.08	0.12	1.82	0.03	15.99	100.67
3-10	110	59.36	0.66	20.07	2.14	0.01	0.67	0.05	0.46	3.38	0.01	12.95	99.77
3-11	120	41.92	2.59	19.38	20.70	0.37	5.90	0.05	0.88	1.09	0.04	8.64	101.56
3-12	130	77.49	0.25	7.57	6.35	0.12	1.36	0.05	0.05	0.69	0.01	4.08	98.03
3-13	140	52.50	0.65	17.01	5.86	0.06	1.14	0.04	0.76	2.30	0.02	17.96	98.31
3-14	150	54.21	0.56	19.03	6.59	0.02	0.64	0.06	0.23	2.11	0.03	18.37	101.85
4-1		63.42	0.60	10.97	2.94	0.16	1.03	7.47	1.59	1.94	0.10	8.16	98.37
4-2		78.04	0.56	12.42	2.01	0.02	0.55	0.32	1.69	2.10	0.09	1.90	99.70
5-1		55.72	1.27	15.27	9.60	0.03	0.36	0.05	0.02	1.13	0.02	15.94	99.39
5-2		57.36	0.67	15.56	4.83	0.10	0.58	0.16	1.14	1.80	0.04	16.71	98.94
5-3		57.81	0.70	18.29	5.98	0.11	0.55	0.29	0.65	1.49	0.04	14.16	100.08
6-1		67.49	0.57	13.06	4.66	0.06	0.38	0.55	0.26	2.14	0.06	8.97	98.23
6-2		48.02	0.77	20.50	8.32	0.06	0.86	0.06	0.03	2.71	0.07	18.26	99.67
6-3		67.74	0.66	17.61	4.48	0.07	0.72	0.06	0.06	2.91	0.06	4.59	98.95
7-1		52.75	0.61	16.24	4.70	0.07	0.41	0.11	0.31	1.94	0.05	22.51	99.70
7-2		58.18	0.80	14.50	7.27	0.11	0.85	0.16	0.67	3.70	0.06	12.02	98.30
7-3		58.28	0.57	18.03	4.93	0.10	0.52	0.11	0.46	2.35	0.05	13.89	99.29

Table12 Continued

SampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total (%)
8-1	20	71.74	0.63	10.46	2.65	0.06	0.11	0.09	0.10	1.59	0.01	11.31	98.76
8-2	60	67.52	0.26	14.42	3.15	0.03	0.02	0.09	0.79	2.86	0.01	11.98	101.15
8-3	100	62.95	0.19	12.19	2.39	0.04	0.14	0.05	0.31	3.51	0.03	16.60	98.40
8-4	140	59.61	0.48	15.18	3.58	0.01	0.17	0.04	0.07	2.25	0.05	17.93	99.38
8-5	180	66.70	0.47	14.56	3.94	0.06	0.27	0.05	0.06	1.91	0.02	12.68	100.71
10-1	20	60.82	0.77	12.77	6.88	0.04	0.39	0.04	0.03	0.87	0.04	16.78	99.43
10-2	40	56.78	0.76	12.98	5.61	0.07	0.49	0.04	0.04	1.66	0.03	19.74	98.20
10-3	60	58.05	0.74	12.48	5.76	0.09	0.44	0.03	0.02	1.55	0.03	21.34	100.55
10-4	80	58.26	0.77	14.69	6.15	0.08	0.40	0.07	0.01	1.56	0.02	19.00	101.04
10-5	100	58.72	0.76	12.71	6.31	0.08	0.42	0.04	0.01	1.55	0.04	18.02	98.66
10-6	120	57.96	0.75	12.69	5.92	0.08	0.41	0.04	0.01	1.52	0.03	18.95	98.36
10-7	140	59.56	0.78	12.86	6.92	0.12	0.23	0.12	0.02	1.08	0.03	16.75	98.48
10-8	160	60.34	0.70	11.98	5.99	0.07	0.20	0.03	0.03	1.03	0.03	17.88	98.29
11-1		51.95	0.82	17.92	6.48	0.10	0.38	0.18	0.66	1.58	0.05	20.65	100.77
11-2		68.48	1.14	12.03	4.53	0.02	0.29	0.07	0.07	0.96	0.02	11.28	98.90
11-3		57.82	1.22	16.31	9.37	0.02	0.40	0.05	0.04	1.07	0.02	14.86	101.18
11-4		51.92	1.24	15.49	8.73	0.03	0.40	0.05	0.10	1.15	0.01	21.32	100.42
11-5		56.73	1.24	12.55	9.89	0.03	0.32	0.04	0.08	1.23	0.02	17.23	99.36
11-6		62.49	0.84	11.92	8.47	0.02	0.20	0.04	0.01	1.05	0.01	13.12	98.18
11-7		55.50	0.90	15.06	10.44	0.02	0.35	0.04	0.04	1.73	0.03	14.99	99.10
12-1		53.07	1.31	14.02	9.91	0.11	5.67	8.26	3.57	0.09	0.10	2.83	98.95
12-2		54.69	1.19	13.66	9.91	0.16	5.19	7.88	4.54	0.09	0.10	0.76	98.16
13-1	20	48.79	0.83	16.35	6.82	0.02	0.39	0.03	0.06	2.47	0.05	22.68	98.50
13-2	50	61.31	0.82	14.46	5.84	0.02	0.50	0.05	0.07	2.09	0.04	15.32	100.52
13-3	80	58.92	0.76	13.26	6.00	0.01	0.42	0.03	0.04	1.90	0.03	16.94	98.31
13-4	110	59.89	0.72	13.16	7.05	0.02	0.38	0.07	0.04	1.31	0.09	15.82	98.54
13-5	140	60.88	1.13	13.85	8.99	0.02	0.33	0.04	0.03	1.34	0.02	13.58	100.21
13-6	170	47.92	1.45	16.14	10.98	0.02	0.50	0.04	0.03	1.89	0.02	19.78	98.76
13-7	200	55.78	1.63	18.90	9.97	0.02	0.54	0.08	0.06	1.48	0.02	12.58	101.06
14-1		74.05	0.33	10.83	2.03	0.02	0.36	0.04	0.25	2.07	0.01	8.50	98.48
14-2		75.02	0.41	11.97	2.57	0.01	0.39	0.05	0.16	1.92	0.02	6.29	98.82
21-1	10	49.83	1.36	17.00	11.29	0.19	4.88	4.63	2.73	1.00	0.08	5.05	98.03
21-2	40	51.90	1.51	15.79	12.20	0.20	5.63	6.82	2.49	0.49	0.09	3.82	100.94
21-3	70	50.40	1.54	16.86	13.96	0.19	5.70	6.10	2.50	0.48	0.08	3.59	101.37
21-4	100	49.93	1.46	16.27	11.93	0.19	5.52	6.64	2.52	0.47	0.07	3.39	98.38
21-5	140	50.88	1.57	17.38	12.60	0.20	5.87	5.59	2.93	0.44	0.07	2.49	100.02
21-6	190	50.90	1.50	17.29	11.04	0.20	5.27	5.03	1.85	0.55	0.07	5.24	98.94
21-7	230	51.16	1.47	16.33	11.74	0.20	5.38	5.09	3.03	0.59	0.07	4.34	99.40
21-8	260	48.12	1.76	16.02	13.63	0.22	7.80	5.66	2.14	0.45	0.10	3.08	98.98
21-9	290	50.74	1.58	16.00	13.74	0.19	6.43	5.81	2.06	0.50	0.07	3.87	100.99
21-10	320	50.64	1.43	16.46	12.15	0.20	5.58	4.86	2.41	0.47	0.06	4.77	99.04
22-1	30	43.73	2.33	20.95	19.01	0.26	2.39	1.98	1.58	0.24	0.06	8.63	101.16
22-2	60	37.82	2.66	24.65	24.78	0.10	1.03	0.43	0.14	0.15	0.06	7.49	99.30
22-3	90	36.84	2.59	22.51	23.68	0.09	1.13	0.47	0.19	0.10	0.05	11.95	99.60
22-4	120	41.05	2.58	21.63	21.18	0.07	0.40	0.14	0.00	0.22	0.04	11.18	98.50
22-5	150	41.62	2.62	20.81	23.29	0.10	0.66	0.32	0.00	0.10	0.05	11.87	101.43
22-6	180	37.78	2.65	21.50	23.08	0.10	0.37	0.14	0.00	0.15	0.05	12.23	98.03
22-7	210	40.01	2.77	20.79	21.34	0.10	0.66	0.58	0.17	0.13	0.05	13.10	99.70

Table13 Concentration of major elements analyzed by XRF (The main island of Okinawa Island samples in alkaline soil)

sampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CuO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total (%)
9-1		53.84	0.78	14.73	7.05	0.03	0.62	0.18	0.05	2.27	0.05	20.55	100.16
9-2		56.08	1.03	16.99	8.45	0.04	0.77	0.08	0.08	2.41	0.06	12.81	98.81
9-3		45.99	1.25	15.22	10.13	0.17	0.65	0.06	0.03	1.77	0.10	22.84	98.21
9-4		63.40	0.77	18.42	5.86	0.03	1.25	0.11	0.03	3.68	0.04	5.24	98.83
9-5		35.94	1.00	17.46	14.27	0.03	0.65	0.33	0.04	2.74	0.08	27.33	99.87
9-6		34.49	2.18	16.23	13.38	0.04	0.89	0.17	0.05	0.94	0.11	30.70	99.18
9-7		68.89	0.57	11.99	4.34	0.10	1.16	0.19	0.28	1.79	0.04	8.96	98.32
9-8		47.86	0.75	15.35	6.04	0.09	0.65	0.07	0.00	1.96	0.08	28.10	100.96
9-9		46.13	0.70	16.31	5.81	0.18	0.99	0.03	0.01	2.40	0.05	26.93	99.56
9-10		4.10	0.00	0.61	0.06	0.00	2.28	67.45	0.23	0.00	0.31	23.39	98.42
9-11		81.17	0.33	5.51	4.77	0.09	0.61	0.11	0.10	0.07	0.08	5.16	98.01
9-12		2.89	0.01	0.44	0.05	0.00	1.47	40.02	0.16	0.00	0.17	53.73	98.93
9-13		4.21	0.00	0.33	0.00	0.00	3.13	52.75	0.23	0.00	0.40	37.40	98.45
9-14		6.05	0.03	1.89	0.37	0.00	1.86	39.12	0.14	0.07	0.19	49.57	99.31
9-15		4.12	0.00	0.28	0.00	0.00	2.72	68.77	0.12	0.00	0.31	22.19	98.50
15-1		15.50	0.87	17.04	6.16	0.23	2.02	26.89	0.22	1.65	0.39	28.46	99.42
15-2		5.56	0.00	1.03	0.09	0.00	3.53	48.88	0.19	0.04	0.47	39.07	98.88
15-3		4.12	0.00	0.35	0.00	0.00	2.81	68.61	0.11	0.00	0.37	22.11	98.48
16		73.67	0.54	13.28	3.20	0.04	0.79	0.24	1.66	2.29	0.03	2.42	98.15
17-1		10.78	0.12	4.58	1.08	0.00	3.19	40.44	0.22	0.33	0.46	37.51	98.71
17-2		39.71	1.56	22.88	12.42	0.10	1.94	1.31	0.12	4.14	0.34	14.33	98.86
17-3		8.52	0.09	3.57	0.83	0.00	2.94	49.45	0.22	0.10	0.47	32.85	99.03
17-4		4.74	0.00	0.53	0.00	0.00	2.58	45.11	0.17	0.00	0.32	44.99	98.45
18-1	40	4.64	1.01	0.59	0.01	0.12	2.71	65.18	0.21	2.36	0.36	21.76	98.93
18-2	60	40.57	1.10	25.80	11.46	0.14	1.46	0.64	0.16	2.15	0.43	14.80	98.70
18-3	80	46.54	1.31	22.86	13.64	0.18	1.16	0.79	0.03	2.37	0.36	10.55	99.79
18-4	100	46.36	1.31	24.52	13.60	0.12	1.02	0.64	0.05	2.36	0.34	9.60	99.90
18-5	120	49.72	1.47	24.99	11.71	0.17	0.90	0.66	0.14	2.14	0.30	8.81	101.02
18-6	135	52.57	1.52	23.23	11.09	0.22	0.69	0.59	0.06	2.02	0.29	6.85	99.11
18-7	150	60.00	1.56	18.90	9.23	0.34	0.80	0.72	0.18	1.94	0.28	6.63	100.58
19-1	50	4.02	0.06	1.67	0.50	0.00	3.23	48.89	0.29	0.19	0.58	39.30	98.72
19-2	100	4.19	0.04	1.71	0.43	0.00	3.08	57.99	0.17	0.01	0.44	30.59	98.62
19-3	130	4.54	0.00	0.39	0.00	0.00	3.07	60.93	0.16	0.00	0.39	29.11	98.59
19-4	150	2.92	0.05	1.53	0.56	0.00	3.53	49.79	0.18	0.00	0.48	39.58	98.61
19-5	180	2.51	0.06	2.75	0.64	0.00	3.37	50.00	0.19	0.07	0.50	39.74	99.83
19-6	210	9.78	0.11	3.62	1.19	0.00	2.79	55.22	0.15	0.07	0.48	25.75	99.15
19-7	240	4.60	0.00	0.53	0.01	0.00	2.74	68.66	0.10	0.00	0.42	21.90	98.97
19-8	280	8.46	0.11	3.36	1.09	0.00	3.13	49.86	0.13	0.36	0.59	30.95	98.03
19-9	300	4.85	0.00	0.69	0.04	0.00	2.84	61.01	0.15	0.00	0.42	28.30	98.31
20-1		48.01	1.22	10.96	13.79	0.26	1.22	1.24	0.10	2.67	0.25	22.06	101.80
20-2		5.95	0.01	1.42	0.28	0.00	2.70	64.68	0.14	0.05	0.39	22.68	98.31

Table14 Concentration of major elements analyzed by XRF (Oahu and Hawaii Island samples)

sampleNo.	Depth(cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total(%)
H 1		30.66	2.86	14.34	14.54	0.50	6.24	6.09	0.74	0.15	0.46	22.46	99.05
H 1-1	0	22.59	5.35	20.62	28.69	0.19	0.32	0.15	0.00	0.79	0.17	19.18	98.04
H 1-2	50	23.51	4.82	23.58	26.76	0.25	0.38	0.35	0.07	0.93	0.16	18.32	99.14
H 1-3	100	22.62	4.60	23.64	23.89	0.52	0.37	0.30	0.02	0.94	0.16	21.33	98.38
H 1-4	150	22.37	6.16	19.88	31.79	0.13	0.32	0.09	0.03	0.83	0.19	17.42	99.21
H 1-5	200	22.00	4.86	22.24	26.83	0.22	0.41	0.40	0.06	0.91	0.18	20.44	98.56
H 1-6	250	20.52	5.79	20.08	28.74	0.19	0.41	0.50	0.06	0.86	0.20	21.19	98.56
H 1-7	300	20.28	6.08	18.99	29.72	0.16	0.38	0.33	0.04	0.87	0.20	21.04	98.11
H 1-8	400	20.83	4.43	21.11	30.38	0.09	0.20	0.08	0.05	0.72	0.18	20.69	98.76
H 1-9	450	23.69	4.73	19.70	29.46	0.11	0.19	0.12	0.01	0.57	0.19	20.31	99.08
H 1-10		25.10	3.50	23.42	28.74	0.08	0.07	0.05	0.03	0.32	0.17	16.90	98.37
H 2		31.26	3.22	23.11	18.98	0.10	0.29	0.07	0.01	0.07	0.07	21.11	98.28
H 2-1		24.83	6.69	16.86	35.54	0.11	0.36	0.11	0.05	0.84	0.22	13.47	99.08
H 2-2		23.90	3.77	23.01	29.38	0.08	0.09	0.05	0.00	0.24	0.16	18.19	98.86
H 3		45.27	2.22	12.89	14.07	0.26	10.70	10.12	2.20	0.76	0.28	0.33	99.10
H 4		49.10	2.27	13.81	12.34	0.16	7.12	10.63	2.13	0.27	0.24	0.69	98.76
H 4-1		31.34	4.24	21.80	21.48	0.08	0.25	0.05	0.01	0.15	0.13	18.87	98.39
H 4-2		34.48	3.28	25.69	20.43	0.10	0.34	0.04	0.03	0.03	0.06	14.98	99.46
H 4-3		34.09	3.71	24.18	22.02	0.09	0.33	0.04	0.00	0.05	0.05	14.04	98.61
H 4-4		33.41	3.45	17.08	17.20	0.24	6.09	5.82	0.71	0.19	0.37	14.22	98.79
H 4-4'		36.50	2.91	26.51	15.76	0.13	0.66	0.34	0.06	0.07	0.08	15.61	98.63
H 4-5		34.12	3.55	25.43	20.65	0.10	0.35	0.13	0.04	0.07	0.07	14.10	98.62
H 5-1		31.70	4.08	23.24	20.69	0.00	0.23	0.09	0.00	0.16	0.10	18.25	98.55
H 5-2		36.19	3.35	25.88	19.04	0.12	0.62	0.05	0.00	0.00	0.02	13.34	98.61
H 5-3		36.39	3.43	23.97	16.36	0.14	0.56	0.06	0.00	0.00	0.05	17.20	98.16
H 5-4		37.52	3.39	24.17	16.87	0.23	0.61	0.11	0.01	0.06	0.10	15.16	98.23
H 5-5		41.36	3.12	20.55	14.96	0.62	3.68	2.88	0.43	0.06	0.30	10.45	98.42
Rock A		28.47	3.81	25.10	24.63	0.00	0.07	0.05	0.00	0.11	0.17	16.29	98.72
Rock B		29.39	3.73	25.08	23.13	0.00	0.10	0.06	0.00	0.07	0.13	16.30	98.00
Keauhou lava weak weathering		48.20	0.60	5.63	9.66	0.00	16.19	15.14	0.70	0.50	0.13	1.49	98.23
Keauhou lava weathering		44.64	2.24	13.39	13.77	0.26	9.82	10.26	2.38	0.79	0.28	0.67	98.49
Keauhou lava hard weathering		42.99	1.96	12.50	14.03	0.10	8.25	12.39	2.15	0.73	0.28	3.58	98.94
Keauhou soil		45.19	2.23	12.90	14.09	0.24	10.65	10.10	2.20	0.75	0.28	0.35	98.96
Fresh		49.53	2.11	13.68	12.48	0.19	7.44	10.45	2.03	0.21	0.20	0.34	98.67
Oahu weathering rock A		42.53	2.14	12.40	14.87	0.56	13.73	3.37	0.37	0.11	0.22	7.76	98.06
Oahu weathering rock B		21.12	4.15	23.82	19.00	0.00	0.60	0.17	0.02	0.07	0.43	29.18	98.57
Oahu non-weathering rock		48.34	1.83	10.91	12.81	0.34	13.76	5.55	1.46	0.35	0.20	2.86	98.41

Table15 Concentration(ppm) of base metal and minor elements analyzed by ICP-MS(Hadano sample)

	Depth(cm)	V	Cr	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Zr	Th	U
A-1	30	271.70	120.30	0.75	32.69	42.02	135.00	88.39	4.33	333.80	88.02	1.05	0.39
A-2	40	434.60	171.50	0.86	38.94	58.63	150.10	104.70	4.76	324.60	98.28	1.27	0.45
A-3	50	433.90	143.50	0.75	39.50	52.45	178.10	97.42	4.80	363.00	102.30	1.33	0.50
A-4	60	430.40	140.40	0.77	39.39	47.82	156.60	102.10	4.39	353.60	93.90	1.18	0.52
A-5	70	460.40	129.80	0.60	34.47	39.03	150.00	95.47	4.39	331.50	92.81	1.32	0.47
A-6	80	298.20	111.30	0.57	34.13	38.36	145.20	85.62	3.98	220.10	89.07	1.15	0.48
A-7	90	322.80	89.07	0.48	27.70	31.78	108.70	70.47	3.23	274.10	66.72	0.91	0.34
A-8	100	476.40	123.40	0.58	42.08	44.62	167.30	96.45	5.49	304.70	91.41	1.23	0.49
A-9	110	467.70	114.30	0.59	40.98	41.07	142.20	97.33	4.35	326.90	107.70	1.34	0.59
A-10	120	490.30	106.20	0.55	36.40	35.36	137.70	92.66	4.40	384.50	111.40	1.26	0.56
A-11	130	485.60	104.70	0.48	37.38	38.65	145.10	86.52	4.90	303.00	88.66	1.19	0.44
A-12	140	535.80	120.50	0.57	36.57	42.51	165.10	93.19	4.98	329.70	107.40	1.59	0.55
A-13	150	505.10	107.50	0.59	36.21	38.20	156.70	88.23	4.96	371.20	136.10	1.90	0.69
A-14	160	459.20	88.73	0.49	32.80	33.29	156.30	89.96	4.96	245.40	90.32	1.31	0.53
A-15	170	355.10	78.72	0.43	25.08	25.87	129.60	68.44	4.12	126.30	71.52	1.07	0.39

	Depth(cm)	V	Cr	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Zr	Th	U
B-1	30	377.00	92.20	0.46	30.20	30.66	133.10	83.27	5.13	377.60	91.34	1.28	0.39
B-2	40	362.50	90.39	0.52	28.78	30.24	127.40	88.62	5.71	344.70	89.51	1.30	0.45
B-3	50	388.50	86.81	0.42	24.99	27.05	125.50	77.26	4.57	347.20	87.86	1.19	0.39
B-4	60	410.60	90.53	0.44	26.85	31.28	129.50	88.82	4.58	164.60	82.91	1.18	0.38
B-5	70	316.80	82.51	0.44	24.50	27.96	130.20	71.05	4.36	165.10	78.27	1.26	0.43
B-6	80	313.20	90.53	0.41	25.72	29.60	129.90	69.40	4.01	131.20	73.01	1.14	0.38
B-7	90	254.30	90.42	0.39	26.31	30.29	131.60	56.16	4.05	97.88	82.87	1.08	0.31
B-8	100	329.90	103.40	0.61	35.04	40.87	145.80	60.93	5.32	68.45	82.97	1.09	0.41
B-9	110	337.20	94.87	0.64	29.32	31.18	137.40	51.09	3.84	56.66	83.49	1.01	0.41
B-10	120	355.10	115.90	0.54	33.04	40.69	134.20	73.49	4.18	81.61	78.43	1.16	0.37
B-11	130	293.00	136.60	0.59	42.78	50.72	155.40	90.95	3.77	83.68	80.53	1.01	0.34
B-12	140	380.10	140.70	0.59	35.88	47.41	163.50	87.36	4.34	83.41	84.90	1.01	0.37
B-13	150	380.80	117.80	0.41	36.94	42.05	178.00	83.95	4.47	289.80	79.70	1.35	0.44

Table16 Concentration(ppm) of base metal and minor elements analyzed by ICP-MS(Hiratsuka sample)

sampleNo.	Depth(cm)	V	Cr	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Zr	Th	U
1	30	271.70	120.30	0.75	32.69	42.02	135.00	88.39	4.33	333.80	88.02	1.05	0.39
2	90	225.10	46.90	1.55	27.31	21.46	89.37	141.30	7.27	289.20	396.10	0.82	0.39
3	240	21.55	0.00	1.32	4.80	0.00	13.69	91.77	7.42	219.70	585.20	0.77	0.28
4	500	287.10	51.39	1.45	26.36	24.81	98.33	95.22	6.63	270.50	457.00	1.03	0.37
5	530	31.22	0.00	1.42	7.81	0.00	14.80	96.37	7.87	182.10	448.70	0.57	0.15
6	590	86.59	4.64	2.49	10.83	3.75	25.63	116.60	7.99	253.00	1266.00	0.77	0.31
7	650	295.30	72.18	1.93	35.42	38.56	105.60	116.80	5.88	376.50	477.90	1.09	0.00
8	690	190.10	68.34	1.11	36.21	33.87	106.40	100.50	4.77	312.80	393.80	0.55	0.20
9	820	75.40	2.24	1.85	10.53	1.34	33.41	123.30	7.65	273.00	392.00	0.67	0.18
10	840	76.52	3.72	2.34	11.24	0.73	24.11	130.20	6.81	289.20	409.20	0.57	0.19
11	920	63.33	20.07	2.69	12.05	6.66	33.12	89.95	6.63	224.90	317.80	0.51	0.11
12	990	87.26	38.71	4.15	16.78	22.18	43.81	90.80	4.78	237.70	170.80	0.26	0.03

Table17 Concentration(ppm) of base metal and minor elements analyzed by ICP-MS(Akagi sample)

sampleNo.	Depth(cm)	V	Cr	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Zr	Th	U
A 1-1	10	120.82	12.89	1.05	12.92	9.76	64.72	13.56	1.37	139.10	113.72	0.61	0.00
A 1-2	20	39.20	140.22	0.93	10.18	41.35	8.65	4.54	7.39	87.63	113.10	1.95	0.80
A 1-3	30	75.02	8.83	0.32	9.10	5.15	15.24	11.25	5.00	52.90	106.85	1.66	0.37
A 1-4	40	66.35	0.00	0.41	8.05	2.30	12.43	10.67	2.56	78.62	107.87	0.93	0.12
A 1-5	50	72.77	757.95	0.00	16.02	432.95	26.16	1409.82	3.32	813.78	114.29	0.65	0.00
A 1-6	60	96.69	0.00	0.60	10.61	0.00	5.57	19.16	0.31	71.69	114.52	0.41	0.00
A 1-7	70	110.93	0.00	0.58	10.82	0.00	7.13	21.39	0.74	71.69	110.80	0.53	0.00
A 1-8	80	77.46	3.75	0.24	8.58	3.43	14.63	10.10	4.49	50.05	107.45	1.83	0.38
A 1-9	90	51.85	4.63	0.82	7.31	3.18	12.11	0.00	4.13	58.08	113.96	1.29	0.11
A 1-10	100	61.61	3.98	0.80	8.10	4.15	13.51	23.27	4.89	48.66	113.37	1.47	0.17
A 1-11	110	63.43	3.10	0.79	7.85	3.19	13.87	3.79	3.63	46.98	113.69	1.34	0.15
A 1-12	120	101.91	7.39	1.04	11.59	7.81	57.37	9.05	0.99	121.80	113.93	0.52	0.00
A 1-13	130	42.28	0.00	0.84	6.35	1.73	17.57	0.00	3.62	54.95	114.14	1.03	0.04
A 1-14	140	69.86	0.00	0.59	7.96	1.72	12.03	12.95	5.10	76.94	111.38	0.91	0.03
A 1-15	150	77.20	0.00	0.73	8.41	1.83	13.40	5.94	4.41	45.61	113.02	1.80	0.26
A 1-16	160	72.79	0.00	0.51	9.10	2.35	14.27	10.22	4.94	40.00	110.26	1.91	0.34
A 1-17	180	67.71	0.00	0.78	8.36	1.55	12.42	6.54	3.69	37.81	113.20	1.75	0.22
A 1-18	200	59.51	0.00	0.54	8.10	0.83	11.43	11.03	3.83	39.84	108.93	1.81	0.30
A 1-19	220	57.70	0.00	1.04	8.47	0.21	9.93	22.12	2.63	75.68	113.85	1.26	0.04
A 1-20	240	73.99	0.00	0.71	7.98	1.59	13.37	1.92	4.48	45.77	113.47	1.63	0.24
sampleNo.	Depth(cm)	V	Cr	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Zr	Th	U
B 2-1	20	48.40	0.00	0.94	6.80	0.00	6.27	3.80	2.25	62.46	113.21	1.10	0.00
B 2-2	40	0.00	0.00	1.03	2.54	0.00	0.00	0.00	8.05	60.70	114.66	4.08	1.17
B 2-3	60	67.86	0.00	0.97	7.62	0.00	7.76	2.51	0.48	63.70	114.57	0.43	0.00
B 2-4	80	65.96	0.00	0.97	7.62	0.00	4.45	9.67	0.35	64.87	114.51	0.40	0.00
B 2-5	100	35.47	0.00	0.88	5.50	0.78	11.05	0.00	2.92	45.93	114.22	0.89	0.00
B 2-6	120	50.05	0.85	0.85	6.73	1.82	10.67	0.00	3.49	45.62	113.87	1.14	0.08
B 2-7	140	67.40	2.44	0.50	7.63	2.64	14.54	5.79	4.32	44.36	109.43	1.55	0.27
B 2-8	160	72.92	0.16	0.63	8.20	2.39	13.38	5.54	4.76	45.25	112.03	1.64	0.25
B 2-9	190	64.10	0.00	0.83	7.59	0.66	9.60	0.00	3.05	41.40	113.47	1.43	0.17
B 2-10	210	57.69	5020.88	0.00	38.00	1611.97	61.51	5489.03	4.91	2678.71	113.82	1.56	0.16

Table 18 Concentration(ppm) of base metal and minor elements analyzed by ICP-MS(Hachijyo Island samples(Basalt

sampleNo.	Depth(cm)	V	Cr	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Zr	Th	U
1-1		89.31	5.41	0.97	10.04	5.98	47.95	3.24	0.74	105.59	114.13	0.48	0.00
1-2		27.48	102.52	0.91	7.83	29.93	6.09	0.00	5.33	69.44	113.72	1.48	0.53
1-3		85.72	0.00	0.94	7.46	0.65	34.81	14.49	1.46	37.51	114.59	0.25	0.01
1-4 lava		90.11	0.00	0.94	7.88	0.00	36.58	12.19	0.80	44.99	114.61	0.25	0.00
1-5 fresh lava		96.95	0.00	0.93	8.16	0.50	37.36	16.64	1.08	45.62	114.56	0.25	0.00
1'-1		91.23	0.00	0.97	8.92	0.00	39.92	11.26	0.59	54.49	114.62	0.17	0.00
1'-2		90.28	0.00	0.99	9.09	0.00	26.42	8.26	0.21	54.09	114.61	0.16	0.00
1'-3		100.52	0.00	1.03	9.83	0.00	23.45	12.58	0.76	50.12	114.85	0.15	0.00
2-1		96.15	0.00	1.01	8.95	0.00	21.83	14.44	0.69	52.01	114.86	0.14	0.00
2-2		94.61	0.00	1.07	9.52	0.00	24.70	13.94	0.33	50.64	114.85	0.14	0.00
2-3		80.44	0.00	1.06	8.74	0.00	37.55	8.46	0.00	54.22	114.66	0.15	0.00
3 clay		83.72	0.00	1.03	8.68	0.00	47.01	16.67	0.00	53.62	114.63	0.16	0.00
4-1		74.79	2.13	1.07	9.14	4.98	42.85	0.00	0.45	97.23	114.25	0.43	0.00
4-2		125.35	0.00	1.08	10.56	0.00	30.20	20.07	0.00	44.73	114.75	0.17	0.00
4-3		83.83	0.00	1.00	8.69	0.00	36.95	13.64	0.00	54.90	114.66	0.15	0.00
4-4		93.82	0.00	0.99	9.13	0.00	43.60	9.28	0.00	55.44	114.61	0.16	0.00
4 rock		244.27	0.00	0.33	20.53	1.92	101.72	45.15	12.07	111.58	46.45	0.00	0.00
5-1		87.76	0.00	0.98	8.82	1.07	38.30	12.37	0.21	52.21	114.51	0.17	0.00
5-2		87.01	0.00	1.06	9.13	0.00	41.20	8.96	0.00	53.11	114.65	0.15	0.00
6-1		272.20	0.00	1.34	21.81	3.98	103.81	67.71	17.00	120.48	57.35	0.49	0.15
6-2		338.38	18.68	0.02	30.77	6.05	178.73	50.76	58.74	105.70	28.05	0.31	0.18
6-3		342.40	18.06	0.02	31.27	6.41	171.50	44.21	49.61	110.12	25.99	0.24	0.16
7-1	20	324.47	21.05	0.02	27.87	7.10	125.75	52.65	55.18	63.79	22.80	0.65	0.41
7-2	70	393.78	21.31	0.02	31.10	8.54	112.26	45.90	63.97	78.78	26.35	0.36	0.27
7-3	120	385.79	686.95	1.58	35.66	162.91	267.61	173.03	55.90	76.49	22.32	0.45	0.36
7-4	170	380.46	698.89	1.42	45.76	164.63	187.40	72.21	12.49	87.31	24.35	0.24	0.19
7-5	220	315.63	717.12	1.31	35.58	164.77	140.61	59.31	23.39	103.99	22.00	0.21	0.18
8 basalt lava		249.48	1034.20	1.82	34.93	219.23	156.63	95.13	36.89	112.16	20.97	0.18	0.66
9-1		353.63	19.19	0.02	31.68	5.57	192.80	45.39	20.14	99.20	28.37	0.28	0.21
9-2		378.10	19.02	0.02	27.61	5.61	139.98	41.82	6.29	95.50	25.31	0.24	0.52
9-3		334.94	19.04	0.02	27.51	6.49	153.16	43.10	61.05	112.72	22.23	0.29	0.18

Table 18 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	V	Cr	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Zr	Th	U
10-1	20	335.15	18.58	0.02	31.09	6.33	179.97	45.41	8.62	104.33	26.29	0.23	0.18
10-2	60	385.56	18.20	0.02	32.45	6.27	184.92	44.55	13.15	106.96	27.80	0.25	0.20
10-3	100	329.49	22.58	0.02	33.17	8.14	156.70	47.50	90.95	107.63	26.85	0.22	0.21
10-4	140	404.54	24.78	0.02	38.97	11.03	167.67	54.71	27.45	104.24	24.48	0.28	0.26
10-5	180	411.36	666.54	1.56	35.79	161.84	184.28	75.86	666.31	106.60	25.15	0.28	0.24
16-1		375.50	1048.34	2.48	42.63	216.74	77.01	88.46	32.25	108.08	7.51	0.09	0.06
16-1'		333.51	43.92	0.07	39.43	15.63	68.81	47.80	14.89	98.11	9.76	0.12	0.20
16-2		347.52	686.38	1.34	40.36	162.82	65.42	53.76	20.63	102.89	7.35	0.11	0.12
16-3		390.94	697.06	1.61	42.01	155.82	69.27	56.20	16.78	111.65	7.45	0.08	0.06
17-1		123.13	17.12	0.01	10.02	2.86	33.79	23.34	9.17	11.74	28.95	0.15	0.11
17-2		294.93	20.98	0.04	3.42	4.02	37.22	32.21	29.55	33.00	38.46	0.20	0.18
17-3		894.74	931.35	638.43	177.93	3804.12	2766.77	1035.24	22.83	1467.36	147.32	12.98	0.00
18-1		224.13	69.07	0.01	38.73	17.14	98.99	41.43	11.92	51.56	15.83	0.14	0.11
18-2		231.69	77.43	0.04	40.55	21.50	107.59	52.81	15.22	57.45	15.82	0.15	0.13
18-3		190.77	66.72	0.01	38.76	18.36	92.59	49.75	13.09	106.74	15.30	0.15	0.11
19-1		316.30	26.05	0.02	36.13	9.12	89.77	58.14	22.10	157.37	15.92	0.18	0.14
19-2		360.20	14.75	0.01	37.03	6.67	53.02	39.81	10.39	102.13	9.30	0.09	1.70
20-1	0	57.04	57.03	2.25	5.06	19.67	5.10	44.24	3.89	40.18	53.56	0.02	0.00
20-2	20	60.84	57.02	2.26	5.64	19.67	3.61	44.32	3.79	94.92	53.41	0.02	0.00
20-3	70	38.38	57.02	2.27	5.46	19.67	3.23	44.36	3.75	109.44	53.41	0.03	0.00
20-4	90	33.66	57.02	2.26	5.23	19.67	5.07	44.48	3.82	54.67	53.60	0.03	0.00
20-5	110	78.53	57.05	2.25	7.28	19.72	11.73	47.50	4.14	81.70	53.77	0.12	0.00
20-6	130	25.94	57.00	2.27	0.49	19.61	0.62	43.57	3.86	45.56	53.47	0.06	0.00
20-7	150	90.31	57.15	2.23	2.43	19.67	10.85	45.67	4.56	85.48	53.76	0.15	0.01
20-8	170	81.18	57.14	2.23	2.28	19.71	10.35	44.93	5.04	94.20	54.56	0.53	0.13
20-9	190	34.02	57.18	2.25	3.26	19.80	7.73	44.18	4.41	86.67	54.61	0.26	0.02
20-10	210	29.42	57.18	2.26	4.85	19.83	8.38	44.19	4.17	93.32	53.77	0.17	0.03
20-11	230	28.24	57.20	2.25	4.37	19.83	5.41	43.88	3.90	88.17	53.63	0.04	0.00
20-12	250	70.44	57.05	2.25	5.04	19.71	13.92	44.93	4.05	46.07	53.54	0.04	0.00
20-13	270	39.04	57.06	2.26	4.19	19.69	12.93	46.38	3.93	48.50	53.64	0.06	0.00
20-14	290	33.70	57.03	2.26	2.24	19.65	5.48	44.78	3.97	75.74	53.76	0.04	0.00
20-15	310	35.04	57.03	2.27	2.68	19.65	6.57	45.00	3.94	87.02	53.58	0.05	0.00
20-16	330	30.04	57.03	2.26	1.61	19.62	2.70	44.72	3.90	76.39	53.63	0.04	0.00

Table18 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	V	Cr	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Zr	Th	U
22-1		275.05	12.36	0.32	31.78	7.28	70.89	67.92	12.96	161.46	50.13	0.17	0.06
22-2		192.71	1.32	0.20	32.31	8.60	67.68	57.37	12.56	195.16	42.00	0.00	0.00
22-3		306.72	5.52	0.39	30.93	9.75	60.17	81.04	13.03	152.60	49.54	0.13	0.05
23-1		384.02	30.91	2.08	34.47	19.59	65.17	69.93	13.36	119.20	68.39	0.91	0.28
23-2		197.90	13.50	0.54	29.42	11.59	47.08	58.38	12.97	140.97	54.03	0.43	0.14
23-3		196.99	16.06	0.62	29.14	32.04	102.93	71.10	13.93	136.02	96.18	1.75	0.59
30 rock		201.42	0.00	0.16	28.64	1.35	51.05	44.64	12.20	121.28	30.45	0.00	0.00
30-1		266.91	0.00	0.18	31.30	1.36	57.27	51.24	11.98	140.36	34.04	0.00	0.00
30-2		241.57	0.00	0.29	28.21	0.00	56.19	52.00	11.94	129.14	34.90	0.00	0.00
30-3		296.87	0.00	0.32	25.89	1.06	43.69	45.03	11.99	111.91	32.79	0.00	0.00
30-4		313.60	0.00	0.33	23.43	0.00	55.96	46.91	12.05	150.44	35.69	0.00	0.00
30-5		353.97	0.00	0.48	26.33	0.00	98.37	54.91	12.03	80.01	40.09	0.00	0.00
30-6		340.08	558.11	18.19	29.13	306.18	77.19	608.40	12.62	56.96	46.03	0.18	0.11
30-7		305.11	0.00	0.62	24.27	1.81	61.29	51.10	12.73	76.53	39.84	0.05	0.03
35-1		285.98	0.00	0.31	26.97	2.68	60.16	63.07	12.21	80.85	45.72	0.00	0.05
35-2		360.44	0.00	0.25	26.17	2.74	80.56	61.80	12.96	91.73	43.80	0.00	0.08
35-3		329.39	0.00	0.43	24.95	3.44	65.93	50.64	12.09	80.62	39.51	0.00	0.04
35-4		302.55	0.00	0.84	22.07	0.54	68.62	42.71	12.23	76.58	43.81	0.00	0.11
37-1		344.65	0.00	0.19	28.01	5.03	110.06	33.95	12.04	94.85	38.41	0.00	0.00
37-2		270.97	0.00	0.19	32.38	1.11	87.39	35.42	12.71	109.57	39.60	0.10	0.07
37-3		260.05	0.00	0.25	21.27	0.00	60.52	46.84	12.36	102.27	42.71	0.00	0.00
37-4		244.83	0.00	0.28	21.67	0.00	92.20	47.17	12.34	96.11	49.29	0.02	0.00
38-1		282.99	0.00	0.28	20.81	0.21	131.84	34.17	12.40	118.56	46.10	0.00	0.00
38-2		216.64	0.00	0.20	21.99	0.26	99.96	45.05	12.50	123.22	40.23	0.00	0.00
38-3		277.46	0.00	0.18	22.73	0.30	103.99	32.27	12.13	120.84	45.00	0.00	0.00
39-1		266.07	0.00	0.74	22.05	2.19	111.99	36.10	12.24	121.17	48.83	0.00	0.00
39-2		237.97	0.00	0.41	19.00	0.80	93.95	34.58	12.06	105.55	45.07	0.00	0.00
40 rock		235.46	1.43	0.54	20.22	6.37	101.34	45.07	12.43	114.72	44.90	0.00	0.00
40-1		276.46	0.00	0.51	21.90	0.95	100.45	42.57	12.74	119.02	49.48	0.00	0.00
40-2		341.31	20.44	0.03	30.26	6.48	153.64	46.29	8.41	99.45	24.51	0.29	0.17
40-3		346.40	706.02	1.59	34.16	157.79	171.55	61.29	11.96	112.16	23.98	0.22	0.16
40-4		300.56	0.00	0.49	22.88	1.06	72.74	48.04	12.71	95.29	43.24	0.00	0.03
41-1	0	390.07	686.83	1.36	36.77	160.89	189.26	60.05	18.98	103.00	15.65	0.13	0.15
41-2	50	272.50	0.00	0.27	19.85	1.29	73.42	33.44	12.04	113.35	39.84	0.00	0.00
41-3	100	342.43	24.51	0.01	31.44	10.07	124.53	49.43	6.75	110.35	19.39	0.17	0.42
41-4	150	359.15	23.83	0.02	32.25	9.04	123.65	46.51	20.44	112.28	21.02	0.20	0.18
41-5	200	390.10	46.35	0.04	33.24	17.26	230.36	48.37	4.34	106.70	16.19	0.12	0.29
42-1	0	301.07	0.00	0.40	21.46	4.93	80.11	41.49	12.03	114.85	42.33	0.00	0.00
42-2	50	388.84	681.95	1.46	37.10	164.80	137.95	62.37	19.91	116.95	19.36	0.20	0.17
42-3	100	236.03	691.90	1.57	36.16	163.94	140.69	60.03	16.80	104.09	22.83	0.20	0.18
42-4	150	239.29	0.00	0.18	24.18	6.30	105.35	40.42	12.09	114.08	45.29	0.00	0.00
42-5	200	301.49	694.17	1.27	40.10	166.99	163.64	61.52	5.11	135.30	22.12	0.22	0.18
42-6	250	327.39	23.53	0.01	36.30	9.92	171.53	52.61	20.42	84.92	21.64	0.22	0.19
43-1		242.84	0.00	0.19	21.76	0.71	121.30	37.44	12.24	106.25	47.10	0.00	0.00
44-1		226.59	0.00	0.28	19.19	0.45	90.18	40.55	13.22	105.97	44.12	0.00	0.00
44-2		204.17	0.00	0.51	16.69	0.30	82.68	34.61	12.91	92.55	41.68	0.00	0.00
44-3		377.18	48.89	0.08	32.80	12.41	178.04	50.02	8.00	103.62	27.72	0.21	0.26
45-1	0	239.06	0.00	0.28	19.99	0.97	116.61	30.97	12.37	112.28	45.24	0.00	0.00
45-2	50	236.17	208.04	12.61	20.56	118.77	102.82	259.24	12.26	107.74	47.03	0.00	0.00
45-3	100	231.39	0.00	0.37	19.36	0.00	96.07	35.46	12.18	106.95	44.85	0.00	0.00
45-4	150	232.05	0.00	0.32	20.47	1.11	95.88	38.40	12.53	115.64	44.72	0.00	0.01
45-5 lava	200	165.97	13.09	0.01	28.62	3.82	183.40	54.49	26.51	112.29	28.86	0.29	0.21
45-6 ash+scoria	250	194.48	0.00	0.55	20.03	0.00	115.05	48.10	12.47	117.75	65.81	0.00	0.01
45-7	300	216.28	0.00	0.35	19.67	0.38	103.38	33.54	12.34	107.69	44.05	0.00	0.00
45 rock		180.01	0.00	0.45	20.10	0.00	117.43	57.48	13.05	118.77	61.44	0.00	0.00
46-1		242.69	0.00	0.38	19.95	0.00	95.19	35.08	12.50	115.36	47.61	0.00	0.07
46-2		262.63	0.00	0.39	21.53	0.12	108.27	39.81	12.37	116.20	48.88	0.00	0.01
46-3		204.71	0.00	0.41	20.56	0.00	121.07	45.96	12.66	115.53	60.45	0.00	0.06

Table 19 Concentration(ppm) of base metal and minor elements analyzed by ICP-MS(Hachijyo Island sample/Andesite)

sampleNo.	Depth(cm)	V	Cr	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Zr	Th	U
11-1		239.149	23.090	22.290	6.428	37.670	43.390	102.182	19.794	0.022	20.165	0.217	0.160
11-2		299.015	1075.531	31.033	228.985	78.499	92.269	113.263	19.248	2.528	22.405	0.215	0.211
12-1		327.724	19.777	27.350	5.838	136.284	56.213	57.275	27.555	0.032	35.243	1.006	0.519
12-2		524.610	25.171	33.720	7.940	154.606	44.545	36.920	26.727	0.024	24.978	0.372	0.306
12-3		527.701	21.820	42.161	9.339	150.463	46.697	52.335	20.229	0.014	31.683	0.226	0.171
12-4		395.388	26263.122	94.874	3129.118	416.885	336.141	91.804	22.102	34.791	35.074	0.166	0.129
13-1		298.521	22.657	32.813	7.641	37.813	41.273	55.719	6.287	0.008	35.153	0.084	0.069
13-2		392.903	27.537	41.444	10.327	50.773	32.646	66.645	7.584	0.028	36.845	0.086	0.133
13-3		323.828	697.651	43.748	161.873	66.298	78.479	85.258	8.308	1.522	83.009	0.097	0.160
14-1		415.659	50.810	29.304	11.970	65.542	37.861	75.982	20.732	0.029	52.385	0.527	0.280
14-2		331.918	42.783	34.066	9.521	67.915	37.474	85.361	19.348	0.020	13.862	0.286	0.187
14-3		321.858	29.758	30.841	7.083	77.566	49.205	98.595	19.547	0.023	50.472	0.234	0.192
15-1		416.365	988.831	41.306	221.185	171.831	97.203	60.510	25.492	1.782	13.300	0.398	0.284
15-2		409.886	674.866	33.349	159.065	187.460	59.595	96.751	26.837	1.461	12.027	0.214	0.171
15-3		487.009	23.904	39.233	8.930	149.641	48.744	74.880	18.787	0.030	99.725	0.184	0.141
21-1		380.073	676.180	39.365	159.508	119.176	63.344	74.054	13.689	1.156	7.203	0.177	0.125
21-2		396.974	699.402	35.428	154.131	113.533	70.718	75.245	18.159	1.526	15.221	0.281	0.196
21-3		478.046	671.548	37.592	160.879	142.625	64.957	55.049	22.065	1.662	11.827	0.441	0.271
24-1		408.414	5.562	27.815	6.571	81.185	83.929	132.447	55.981	0.717	12.897	0.336	0.134
24-2		377.652	3.448	29.624	4.638	77.590	76.541	140.191	54.777	0.659	13.088	0.997	0.232
24-3		357.849	10.011	29.244	6.103	89.267	67.293	146.966	53.075	0.276	13.981	1.293	0.386
25		275.110	4.578	26.173	5.624	114.804	75.669	93.689	57.082	0.751	13.526	0.179	0.099
25 rock		353.985	0.000	23.695	2.900	94.264	45.811	155.418	48.243	0.276	12.255	0.000	0.000
26		235.040	1.987	22.622	4.244	85.757	65.978	105.261	45.499	0.739	14.764	0.148	0.092
26 rock		307.197	53.078	27.939	13.949	65.629	33.189	129.733	32.263	0.374	12.146	0.000	0.000
27-1	50	271.061	0.000	27.855	2.467	87.253	55.157	132.668	43.724	0.342	12.161	0.000	0.000
27-2	100	393.175	0.000	25.834	5.693	100.755	58.398	114.033	47.377	0.854	12.292	0.000	0.000
27-3	150	342.950	499.285	30.191	300.799	109.331	606.179	117.792	49.225	34.986	12.567	0.030	0.026
27-4	200	400.076	0.000	29.461	5.942	102.487	61.939	117.018	49.584	0.754	12.371	0.000	0.000
27-5	250	318.000	0.000	26.666	5.317	101.379	81.165	107.522	45.899	0.600	12.740	0.000	0.000
28-1		280.828	0.000	26.544	3.489	78.025	54.137	131.110	42.124	0.397	12.517	0.000	0.000
28-2		204.706	0.000	28.846	3.645	79.785	56.277	128.051	45.087	0.485	12.113	0.000	0.000
28-3		278.973	0.000	27.580	4.980	94.989	58.449	93.915	46.781	0.542	12.651	0.000	0.000
28-4		297.466	0.000	25.110	3.836	93.286	54.181	77.822	46.394	0.408	12.515	0.035	0.011
29-1		367.958	5.847	27.535	19.392	83.202	71.825	60.140	48.478	1.395	12.380	0.097	0.059
29-2		337.904	0.000	25.516	6.097	78.976	63.739	100.025	44.606	0.662	12.799	0.079	0.070
29-3		223.641	21.159	25.314	14.947	58.900	59.738	128.720	36.539	0.195	13.474	0.056	0.085
31-1		232.535	0.000	26.067	4.554	68.140	58.556	89.834	40.452	0.206	12.422	0.358	0.073
31-2		279.956	0.000	25.574	0.143	62.719	38.916	95.454	41.916	0.395	12.380	0.000	0.017
31-3		158.930	0.000	17.542	0.000	35.378	38.072	116.201	44.248	0.205	12.218	0.000	0.003
31-4		224.414	0.000	21.477	0.000	51.957	60.863	139.167	59.811	0.335	12.355	0.000	0.000
32-1	0	257.412	0.000	29.575	0.386	59.278	53.892	135.368	34.055	0.311	12.333	0.000	0.000
32-2	50	249.558	0.266	31.941	3.461	51.662	36.185	78.032	38.016	0.209	12.404	0.055	0.073
32-3	100	246.428	0.000	19.552	0.399	41.587	36.153	122.275	46.954	0.203	12.339	0.000	0.000
32-4	120	286.602	0.000	23.245	0.517	59.964	33.288	61.963	34.397	0.343	12.018	0.000	0.000
32-5	170	299.231	0.000	24.344	1.983	66.201	60.651	81.824	42.144	0.344	12.884	0.000	0.029
33		190.546	0.000	13.359	0.000	62.486	26.903	96.723	49.784	0.372	12.201	0.000	0.012
33 rock weathering		210.790	0.000	19.118	0.623	38.594	44.215	117.017	43.726	0.455	12.412	0.000	0.000
33 rock fresh		244.275	714.487	32.602	169.264	76.247	64.959	103.862	17.761	1.471	9.975	0.157	0.125
34-1		256.270	24.905	24.308	20.018	55.036	75.262	108.826	48.236	1.846	12.585	0.425	0.198
34-2		202.330	0.000	19.457	1.442	69.706	45.323	94.901	41.584	0.305	12.411	0.032	0.031
34-3		303.218	0.000	28.793	2.466	67.166	53.388	115.360	37.034	0.193	12.256	0.000	0.004
34-4		456.889	0.000	27.272	4.204	53.344	56.763	92.522	41.189	0.275	12.672	0.398	0.247
36-1		211.979	21.825	27.231	10.052	38.771	17.974	66.294	37.494	0.211	12.029	0.044	0.000
36-2		201.636	17.520	18.065	6.649	66.418	26.163	74.388	49.795	0.173	13.596	2.311	0.591
36-3		194.317	0.000	18.478	0.757	43.794	28.426	76.975	40.592	0.245	12.588	0.555	0.091
47-1		110.565	0.000	14.768	0.000	33.303	44.296	107.337	41.863	0.245	13.951	0.000	0.000
47-2		130.653	0.000	16.563	0.000	38.748	45.924	111.809	42.786	0.264	12.232	0.000	0.000
47-3		192.662	0.000	21.428	0.000	66.887	45.946	110.825	35.859	0.211	11.951	0.000	0.000

Table20 Concentration(ppm) of base metal and minor elements analyzed by ICP-MS(The main island of Okinawa and Ishigaki Island samples in acidic se

sampleNo.	Depth(cm)	V	Cr	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Zr	Th	U
1-1		143.58	139.72	3.48	8.09	59.99	43.94	101.39	5.46	39.67	215.40	1.13	15.85
1-2		73.47	114.35	0.00	12.89	52.61	34.91	95.23	1.92	37.32	48.00	0.06	19.76
1-3		105.51	113.36	0.32	9.68	54.27	40.51	102.69	3.56	275.47	130.42	0.98	21.65
2-1		150.93	99.86	1.67	12.54	44.62	34.19	132.12	4.96	33.89	185.24	1.28	16.22
2-2		161.35	105.50	2.04	9.05	45.75	40.00	91.44	5.45	31.43	209.48	1.35	20.27
3-1	20	127.70	157.17	1.48	12.71	75.36	39.31	163.84	4.87	10.56	195.62	0.97	10.93
3-2	30	112.92	57.37	1.66	11.38	32.94	60.75	185.74	3.95	9.97	133.32	1.04	28.48
3-3	40	4.05	0.00	2.75	2.06	0.84	21.48	19.06	6.76	31.17	240.91	1.18	16.36
3-4	50	6.94	0.00	0.12	10.16	4.48	11.22	0.00	1.04	3.20	47.56	0.05	2.78
3-5	60	112.55	60.95	1.98	8.61	22.23	53.34	112.34	5.70	14.94	228.81	0.90	29.68
3-6	70	20.33	14.95	3.40	4.17	10.69	8.82	34.59	1.44	7.96	54.60	0.09	8.82
3-7	80	6.15	0.00	0.00	0.45	0.00	5.63	0.00	5.80	9.11	198.42	1.10	5.55
3-8	90	0.58	5.08	3.22	0.70	4.22	9.63	64.64	0.13	0.37	1.27	0.01	11.04
3-9	100	5.11	0.09	0.00	3.29	5.69	31.01	71.51	4.72	8.48	158.48	0.39	9.95
3-10	110	111.74	52.69	1.07	7.01	19.21	38.30	132.03	3.94	9.36	152.12	0.88	14.74
3-11	120	516.46	610.90	0.18	69.27	152.41	60.65	387.55	6.06	27.96	232.82	0.16	15.50
3-12	130	74.92	20.32	1.60	14.93	38.75	37.21	109.41	3.57	11.92	163.55	0.48	10.70
3-13	140	119.97	84.15	4.43	9.99	43.27	35.39	141.41	4.66	14.79	181.80	0.88	14.95
3-14	150	133.19	84.40	2.83	9.24	32.81	32.99	104.99	3.75	19.33	148.85	0.81	15.44
4-1		54.83	42.35	0.00	9.28	19.94	14.77	96.18	3.18	134.07	119.91	0.69	11.74
4-2		48.69	46.43	4.64	11.70	24.85	10.46	68.87	6.09	540.65	241.57	0.53	13.99
5-1		90.69	58.55	0.00	18.49	39.00	26.38	87.98	2.63	53.53	93.71	0.18	12.46
5-2		74.43	30.04	0.00	11.46	22.35	21.98	68.85	2.85	54.92	103.51	0.78	7.75
5-3		93.63	54.90	4.87	20.01	35.78	32.67	147.67	5.27	42.07	226.72	0.89	9.78
6-1		80.54	57.97	2.22	7.99	23.25	25.82	79.23	3.97	31.95	148.33	1.08	13.51
6-2		158.98	111.92	5.28	11.15	48.78	56.97	168.54	5.14	37.27	187.97	0.32	17.14
6-3		106.50	50.53	2.76	17.97	39.98	65.21	134.53	4.28	34.66	176.15	1.07	18.15
7-1		59.29	35.65	1.68	11.86	17.97	18.81	99.64	4.79	25.52	171.16	0.38	13.18
7-2		56.48	16.75	0.00	16.01	10.37	36.40	176.99	6.71	37.89	232.77	0.90	18.69
7-3		61.48	34.16	2.56	12.05	15.38	19.71	110.78	3.41	36.07	121.77	1.02	12.17

Table20 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	V	Cr	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Zr	Th	U
8-1	20	38.75	23.82	4.87	5.88	7.47	17.30	79.07	3.99	17.65	148.35	1.16	31.08
8-2	60	7.21	4.96	7.47	2.21	7.95	172.83	137.33	3.47	37.51	151.26	0.48	21.35
8-3	100	27.85	13.64	4.33	5.95	3.93	17.84	47.15	4.11	15.88	164.68	0.68	45.53
8-4	140	36.87	28.28	5.84	85.11	13.04	22.71	150.27	38.27	18.80	65.50	5.71	11.41
8-5	180	43.31	17.38	12.53	4.28	8.44	26.77	46.01	5.58	13.87	214.45	1.15	47.27
10-1	20	27.00	17.94	0.03	0.69	4.85	2.48	0.00	0.90	4.16	6.76	1.79	2.12
10-2	40	22.69	13.55	0.02	1.45	2.99	2.80	4.27	1.16	7.44	12.09	2.94	2.03
10-3	60	20.35	10.72	0.01	1.93	2.83	2.51	4.91	1.18	11.12	15.40	4.60	1.99
10-4	80	18.64	10.80	0.02	1.62	2.76	2.77	4.62	1.14	5.02	9.16	2.15	2.64
10-5	100	20.34	11.57	0.03	1.32	3.35	2.60	4.13	1.02	4.95	8.16	2.08	2.35
10-6	120	21.93	12.67	0.03	1.47	2.91	2.67	2.85	1.03	4.81	9.97	2.21	2.62
10-7	140	23.80	28.73	0.04	3.47	5.85	3.22	29.19	1.40	3.86	6.39	1.36	1.73
10-8	160	21.76	12.07	0.02	0.39	2.91	2.06	3.27	0.86	3.83	6.51	1.60	1.89
11-1		124.00	90.97	3.32	2.35	13.81	12.80	45.57	9.79	58.50	150.70	27.77	3.07
11-2		83489.94	81.56	0.00	2.17	10.45	10.55	57.67	4.86	50.48	182.23	0.44	7.81
11-3		26.99	19.85	0.76	0.44	0.43	2.07	2.81	2.28	13.47	37.26	5.86	7.66
11-4		31.51	25.79	1.40	0.48	2.39	2.49	200.80	2.40	12.22	42.54	5.98	7.43
11-5		32.05	24.38	0.92	0.45	0.80	2.68	1.90	2.68	19.75	40.64	9.83	8.43
11-6		25.54	23.65	0.71	0.39	0.82	2.73	23.45	2.03	11.49	27.70	5.98	6.00
11-7		28.95	36.74	0.71	0.62	4.63	5.01	6.60	2.95	19.48	30.52	9.40	8.00
12-1		225.33	378.78	0.00	40.66	84.03	94.97	99.42	2.82	140.52	118.34	0.04	2.29
12-2		267.41	352.90	0.00	44.65	80.29	72.87	107.74	2.10	124.76	83.02	0.09	2.90
13-1	20	104.20	79.69	1.09	2.46	14.11	24.39	48.49	2.04	11.62	70.76	1.33	9.71
13-2	50	108.95	111.61	0.84	3.28	18.56	16.58	63.91	5.19	48.92	202.15	0.76	15.72
13-3	80	109.45	91.56	0.88	2.59	16.17	14.21	53.40	4.46	41.47	165.59	0.30	9.65
13-4	110	133.53	151.80	4.79	3.90	26.44	25.38	83.23	3.73	109.95	149.46	0.94	23.38
13-5	140	138.69	140.59	0.00	3.64	18.27	25.48	78.23	5.03	56.94	193.43	0.16	14.03
13-6	170	203.03	161.73	8.33	3.99	16.35	25.68	91.47	6.90	57.91	257.77	2.11	18.84
13-7	200	180.52	128.78	4.40	3.95	15.25	22.02	71.64	6.23	54.60	234.10	0.68	23.82
14-1		37.91	30.82	0.59	3.35	11.00	11.00	75.35	1.05	15.69	39.28	0.07	13.17
14-2		37.78	39.23	0.00	4.00	13.20	11.94	48.77	2.52	14.08	100.28	0.31	11.44
21-1	10	134.90	134.90	1.95	138.80	21.05	32.08	46.54	5.36	15.37	23.10	1.41	1.14
21-2	40	142.39	142.39	1.12	151.07	25.33	33.88	54.95	4.36	8.13	27.54	0.65	1.09
21-3	70	164.56	164.56	3.09	161.58	25.89	37.85	53.58	5.74	9.85	26.20	0.94	1.17
21-4	100	174.14	174.14	3.36	197.85	26.68	43.63	45.77	6.05	10.86	26.30	1.06	1.21
21-5	140	189.23	189.23	3.13	246.44	30.78	65.11	53.06	7.64	11.38	25.58	0.74	1.14
21-6	190	150.25	150.25	1.62	149.84	23.41	32.89	41.92	4.89	10.92	22.00	0.62	1.09
21-7	230	145.94	145.94	1.86	150.15	23.33	33.60	39.44	5.17	11.78	22.25	0.74	1.10
21-8	260	174.36	174.36	1.60	167.11	26.57	41.57	30.10	4.10	8.33	29.00	0.32	1.08
21-9	290	180.51	180.51	1.56	192.04	27.47	41.16	56.99	4.49	11.41	27.07	0.50	1.09
21-10	320	152.50	152.50	1.59	177.07	25.30	37.85	43.16	4.65	10.09	22.72	0.52	1.10
22-1	30	265.93	265.93	2.05	178.07	60.00	53.84	76.81	5.38	3.36	43.72	0.66	1.12
22-2	60	312.62	312.62	3.86	217.76	16.33	47.94	92.06	8.89	2.65	35.40	0.98	1.19
22-3	90	316.69	316.69	1.97	186.18	13.78	43.10	89.63	13.31	2.48	31.39	0.95	1.18
22-4	120	257.01	257.01	5.13	139.28	10.72	30.44	66.77	11.91	5.62	18.28	1.80	1.26
22-5	150	304.95	304.95	2.10	149.72	13.00	35.15	84.73	16.68	2.87	25.68	1.18	1.20
22-6	180	319.88	319.88	4.42	147.43	11.72	36.97	100.92	19.04	4.05	20.90	1.51	1.25
22-7	210	300.15	300.15	2.15	145.10	13.26	33.63	87.90	16.26	2.67	23.04	0.94	1.16

Table21 Concentration(ppm) of base metal and minor elements analyzed by ICP-MS(The main island of Okinawa samples in alkaline so

sampleNo.	Depth(cm)	V	Cr	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Zr	Th	U
9-1		91.80	93.74	0.57	7.69	57.79	29.48	99.30	18.01	77.39	104.50	26.49	28.48
9-2		22.63	24.34	0.11	2.41	11.68	8.02	17.75	5.94	18.29	26.72	7.48	7.81
9-3		27.65	37.05	0.14	35.70	18.79	9.87	23.08	7.60	13.96	24.72	0.52	8.34
9-4		131.91	131.51	1.34	11.73	71.47	30.27	175.53	6.68	16.58	276.86	1.45	26.43
9-5		23.41	25.42	0.24	0.90	6.49	8.36	8.97	3.97	34.14	30.01	11.09	9.34
9-6		53.14	67.32	0.17	5.33	43.83	16.39	58.80	8.61	21.69	40.27	4.69	16.28
9-7		11.09	12.86	0.05	6.56	14.84	3.38	11.99	3.84	9.99	18.57	5.77	5.34
9-8		94.36	51.13	0.35	18.53	46.69	30.03	60.68	30.70	35.65	116.50	26.89	27.14
9-9		16.92	10.64	0.05	8.26	8.47	4.87	6.55	2.78	25.27	24.89	5.77	5.51
9-10		6.02	0.00	0.00	0.77	2.67	2.25	0.00	1.25	541.57	56.71	0.02	2.54
9-11		65.29	34.77	0.00	38.15	87.90	49.25	130.10	2.06	0.77	84.65	0.39	4.30
9-12		6.62	26.89	0.00	0.82	6.11	2.58	46.15	1.30	534.29	62.06	0.04	2.47
9-13		1.27	5.55	1.39	0.38	3.38	2.85	12.04	1.38	472.66	65.34	0.00	0.55
9-14		2.13	3.15	0.05	0.30	0.00	0.20	0.00	0.49	148.50	2.80	0.70	2.95
9-15		1.58	6.29	1.30	0.42	6.38	1.93	40.95	1.17	358.90	51.90	0.01	0.98
15-1		86.71	138.78	3.12	18.68	49.50	42.83	155.12	21.75	239.77	173.66	9.55	1.61
15-2		3.78	1.45	0.00	0.82	17.08	4.03	0.00	1.57	296.45	51.03	0.40	0.24
15-3		95.87	56.99	5.63	20.46	36.19	34.61	146.58	11.35	40.76	233.36	7.10	1.34
16		68.12	64.09	5.81	8.60	25.76	13.69	100.89	2.71	98.41	99.10	0.78	26.13
17-1		16.30	10.46	0.74	2.26	5.65	6.41	2.87	4.68	144.59	129.89	0.81	1.15
17-2		132.55	106.09	0.50	17.47	51.93	33.59	110.09	19.78	100.96	126.96	10.19	1.64
17-3		14.56	14.48	1.20	1.88	8.07	1.33	17.39	4.30	168.98	105.43	0.51	1.11
17-4		8.87	7.55	1.04	1.04	4.72	0.12	10.52	3.39	176.81	105.41	0.04	1.11
18-1	40	9.19	10.00	0.98	1.10	6.54	1.17	11.95	4.28	119.67	101.94	0.02	1.07
18-2	60	92.94	122.28	2.93	13.11	48.05	33.21	110.57	22.37	171.49	157.99	8.13	1.45
18-3	80	114.22	145.25	2.47	16.96	53.29	38.97	112.32	27.11	197.64	181.11	10.01	1.53
18-4	100	118.06	155.86	5.75	21.11	60.06	37.54	112.65	28.26	204.88	167.13	10.50	1.63
18-5	120	106.00	146.16	2.88	16.77	45.77	30.69	103.13	24.71	178.11	194.48	9.95	1.68
18-6	135	24.62	21.90	0.10	3.53	6.64	3.41	3.78	6.38	40.45	113.46	1.68	1.13
18-7	150	84.63	132.70	1.46	17.52	29.48	23.28	67.74	23.14	137.52	151.22	8.09	1.57
19-1	50	13.05	13.94	1.25	1.68	4.93	1.54	4.49	4.17	193.06	149.00	0.57	1.13
19-2	100	7.49	9.39	0.10	0.69	4.16	0.51	7.07	2.52	10.35	101.23	0.71	1.02
19-3	130	8.35	7.12	0.79	0.97	3.61	0.27	3.56	3.26	131.43	103.74	0.58	1.07
19-4	150	12.80	6.25	0.81	1.92	4.93	1.78	3.40	4.65	117.81	128.61	0.43	1.12
19-5	180	13.57	7.06	0.56	1.68	3.20	0.90	6.81	4.22	119.96	123.16	0.48	1.12
19-6	210	19.14	22.12	3.46	2.93	11.78	3.12	39.25	6.11	142.41	227.84	1.24	1.26
19-7	240	9.17	3.61	1.17	1.25	3.20	0.14	5.46	3.25	71.65	136.22	0.16	1.08
19-8	280	17.72	12.76	0.79	2.03	5.83	1.05	3.90	4.34	108.58	104.35	0.51	1.11
19-9	300	9.20	6.19	1.12	1.12	4.92	0.08	9.54	3.35	61.93	107.04	0.06	1.06
20-1		99.77	119.31	3.85	14.82	52.87	36.75	142.58	24.15	131.37	233.02	8.56	1.48
20-2		11.62	10.96	1.07	1.43	6.29	1.16	188.65	4.23	68.35	106.42	0.22	1.07

Table 22 Concentration(ppm) of base metal and minor elements analyzed by ICP-MS(Oahu and Hawaii Island sample

sampleNo.	Depth(cm)	V	Cr	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Sr	Zr	Th	U
H 1		205.45	486.94	1.71	41.66	172.83	92.84	86.00	2.89	105.05	108.55	0.34	0.25
H 1-1	0	439.47	764.23	3.65	16.15	219.04	139.85	115.68	18.06	14.04	106.90	5.31	1.52
H 1-2	50	191.14	654.68	2.11	17.39	223.11	138.83	131.75	18.23	17.85	107.81	5.67	1.57
H 1-3	100	246.30	537.85	2.82	18.40	217.24	131.37	125.68	16.41	16.58	107.94	5.55	1.54
H 1-4	150	388.22	784.78	3.03	13.98	158.02	113.68	86.51	12.38	8.19	107.19	4.07	1.15
H 1-5	200	101.33	412.71	1.71	13.12	156.43	97.31	96.20	13.38	14.52	108.74	3.97	1.14
H 1-6	250	197.60	497.39	1.60	12.75	134.11	100.53	91.69	15.45	16.58	107.97	3.46	0.99
H 1-7	300	250.26	617.97	2.27	12.84	128.29	99.95	73.35	13.39	10.89	107.87	3.24	0.97
H 1-8	400	220.22	524.70	2.30	6.85	142.80	76.48	40.00	8.91	6.63	107.84	2.72	0.82
H 1-9	450	280.32	648.58	2.55	10.04	202.00	102.00	61.54	14.61	5.49	107.75	3.45	0.98
H 1-10		197.64	371.15	2.89	5.01	177.90	66.52	29.24	7.66	0.00	108.14	2.14	0.69
H 2		214.07	377.52	1.65	38.54	159.17	75.41	64.97	2.59	94.25	108.78	0.35	0.29
H 2-1		313.88	686.36	2.52	12.08	144.35	104.04	57.61	8.45	11.05	107.65	2.52	0.97
H 2-2		223.58	615.46	2.31	5.94	187.91	83.27	29.72	7.15	0.00	107.80	2.80	0.75
H 3		161.13	156.24	1.74	22.18	66.13	64.85	34.37	1.36	139.70	109.00	0.00	0.13
H 4		113.38	164.30	1.56	23.07	69.01	60.03	38.62	1.89	149.85	109.15	0.00	0.12
H 4-1		176.35	241.88	1.74	13.09	97.72	72.88	32.19	5.11	0.00	108.11	1.22	0.49
H 4-2		124.33	147.91	1.76	15.08	91.38	92.08	35.22	3.25	0.00	107.87	0.58	0.46
H 4-3		135.63	187.55	1.66	13.96	127.06	77.76	54.22	2.72	0.00	107.85	0.74	0.56
H 4-4		121.20	162.73	1.74	34.55	99.48	77.45	37.94	3.73	0.00	108.13	0.68	0.74
H 4-4'		73.28	155.22	1.69	49.54	175.49	73.43	71.86	3.83	7.65	108.84	0.47	0.44
H 4-5		70.07	172.09	1.61	25.22	105.17	81.77	33.27	5.34	0.00	108.32	0.86	0.45
H 5-1		150.12	186.93	1.90	10.10	84.23	64.72	32.65	2.98	4.43	108.19	0.85	0.42
H 5-2		32.69	98.10	1.57	11.10	57.95	81.11	19.29	2.70	0.00	108.70	0.18	0.24
H 5-3		77.77	143.22	1.64	34.00	81.14	94.99	45.16	1.69	0.00	108.46	0.23	0.24
H 5-4		128.69	170.40	1.64	129.02	176.90	124.51	76.37	2.57	0.00	108.31	0.35	0.33
H 5-5		115.86	115.29	1.78	105.58	171.80	74.08	77.43	1.90	28.57	108.95	0.09	0.19
Rock A		88.68	664.72	2.53	11.07	275.27	65.26	5432.24	3.57	0.00	108.83	0.72	0.41
Rock B		211.72	788.41	0.23	11.35	276.20	101.67	18.20	12.29	18.40	127.78	0.64	0.37
Keauhou lava weak weathering		215.21	278.61	0.49	33.49	129.28	49.03	32.86	12.54	285.72	79.32	0.69	0.12
Keauhou lava weathering		219.41	317.85	0.35	36.24	148.51	43.70	36.79	12.19	262.05	85.56	0.72	0.14
Keauhou lava hard weathering		174.52	208.08	1.98	24.87	94.15	41.01	23.08	1.94	255.67	109.13	0.23	0.25
Keauhou soil		201.94	305.94	0.27	37.40	170.64	41.68	30.38	11.96	239.01	77.17	0.71	0.11
Fresh		147.03	182.18	1.68	23.99	48.85	70.74	33.59	1.18	126.35	109.12	0.00	0.15
Oahu weathering rock A		122.17	398.19	3.22	62.93	518.33	63.14	4952.14	1.98	20.39	109.10	0.00	0.12
Oahu weathering rock B		258.98	164.01	2.17	12.46	92.04	91.59	38.61	4.28	0.00	108.25	0.37	0.29
Oahu non-weathering rock		108.61	299.62	1.69	40.98	370.52	46.16	44.48	1.20	97.18	109.15	0.00	0.17

Table 23 Concentration(ppm) of rare earth elements analyzed by ICP-MS (Hadano samples)

	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
A-1	30	7.08	17.33	2.09	12.90	3.30	1.00	3.24	0.50	3.79	0.52	1.49	0.19	1.98	0.29
A-2	40	7.27	18.11	2.23	13.57	3.62	1.10	3.62	0.55	4.30	0.57	1.70	0.22	2.25	0.34
A-3	50	7.41	18.56	2.30	14.37	3.73	1.17	3.86	0.58	4.66	0.61	1.82	0.25	2.45	0.37
A-4	60	6.51	17.47	2.03	12.75	3.42	1.09	3.60	0.53	4.35	0.60	1.74	0.23	2.37	0.37
A-5	70	6.31	15.92	1.98	12.36	3.33	1.06	3.41	0.51	4.08	0.55	1.68	0.22	2.28	0.35
A-6	80	5.46	14.45	1.76	11.19	3.02	0.98	3.19	0.49	4.07	0.55	1.64	0.21	2.20	0.35
A-7	90	4.70	11.71	1.49	9.15	2.46	0.79	2.56	0.38	3.15	0.41	1.25	0.16	1.72	0.27
A-8	100	6.35	15.58	2.00	12.59	3.41	1.06	3.69	0.54	4.44	0.61	1.86	0.24	2.51	0.40
A-9	110	4.32	11.57	1.40	8.87	2.51	0.83	2.76	0.43	3.63	0.50	1.52	0.20	2.16	0.34
A-10	120	4.20	10.42	1.38	8.75	2.43	0.82	2.60	0.41	3.50	0.45	1.41	0.19	1.96	0.30
A-11	130	5.42	11.80	1.69	10.67	2.89	0.96	3.12	0.48	3.92	0.53	1.63	0.21	2.18	0.34
A-12	140	5.81	13.12	1.83	11.53	3.15	1.03	3.39	0.52	4.30	0.58	1.75	0.23	2.37	0.36
A-13	150	4.88	11.56	1.55	9.58	2.69	0.86	2.84	0.45	3.72	0.49	1.51	0.19	2.08	0.32
A-14	160	6.16	13.65	1.88	11.40	3.08	0.98	3.21	0.48	4.06	0.54	1.62	0.21	2.21	0.34
A-15	170	5.84	12.45	1.66	10.26	2.72	0.82	2.79	0.42	3.45	0.46	1.37	0.18	1.86	0.28

	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
B-1	30	6.06	14.71	1.89	11.14	3.23	0.97	3.18	0.48	3.71	0.47	1.43	0.18	1.96	0.31
B-2	40	7.12	16.68	2.17	12.57	3.52	1.06	3.46	0.52	3.99	0.50	1.52	0.19	1.98	0.33
B-3	50	5.20	11.17	1.64	9.52	2.75	0.84	2.73	0.41	3.17	0.41	1.23	0.15	1.68	0.27
B-4	60	4.15	8.52	1.32	7.71	2.23	0.67	2.23	0.34	2.65	0.34	1.03	0.14	1.44	0.24
B-5	70	6.18	13.77	1.88	10.97	3.09	0.92	3.05	0.46	3.54	0.45	1.37	0.18	1.95	0.29
B-6	80	5.55	12.88	1.70	10.00	2.85	0.83	2.80	0.40	3.19	0.41	1.22	0.16	1.65	0.27
B-7	90	4.58	9.95	1.51	9.04	2.59	0.79	2.53	0.38	3.02	0.38	1.16	0.15	1.56	0.26
B-8	100	4.03	10.31	1.20	7.14	2.10	0.64	2.17	0.34	2.73	0.36	1.10	0.15	1.55	0.26
B-9	110	3.09	7.37	0.99	5.85	1.73	0.52	1.73	0.28	2.25	0.29	0.91	0.12	1.26	0.21
B-10	120	5.45	13.87	1.77	10.43	2.98	0.91	2.97	0.46	3.56	0.45	1.41	0.19	1.89	0.31
B-11	130	3.34	10.03	1.16	7.20	2.13	0.69	2.27	0.36	2.96	0.39	1.21	0.16	1.74	0.28
B-12	140	4.10	10.34	1.40	8.34	2.43	0.78	2.58	0.39	3.12	0.41	1.25	0.17	1.83	0.30
B-13	150	4.80	13.72	1.60	9.62	2.75	0.86	2.75	0.42	3.38	0.43	1.33	0.17	1.87	0.29

Table 24 Concentration(ppm) of rare earth elements analyzed by ICP-MS (Hiratsuka samples)

sampleNo.	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	30	7.08	17.33	2.09	12.90	3.30	1.00	3.24	0.50	3.79	0.52	1.49	0.19	1.98	0.29
2	90	6.65	13.87	3.09	15.59	4.69	2.00	6.23	1.31	7.91	1.74	6.02	0.91	6.65	1.17
3	240	5.26	14.39	2.58	12.58	3.69	1.40	4.68	1.04	6.28	1.29	4.26	0.66	4.91	0.85
4	500	6.33	16.20	2.69	12.78	3.57	1.49	4.26	0.88	5.18	1.06	3.48	0.52	3.78	0.65
5	530	5.36	15.22	2.62	12.69	3.79	1.53	4.52	0.99	5.70	1.15	3.54	0.52	3.79	0.62
6	590	5.27	16.01	2.68	13.03	4.05	1.49	5.01	1.13	6.63	1.40	4.56	0.70	5.09	0.86
7	650	6.81	16.58	2.77	12.67	3.33	1.45	3.90	0.78	4.35	0.88	2.85	0.42	2.97	0.51
8	690	4.40	10.92	2.00	9.35	2.71	1.21	3.22	0.68	4.07	0.84	2.63	0.39	2.84	0.48
9	820	5.55	15.71	2.79	13.41	4.03	1.62	4.75	1.06	6.17	1.24	3.99	0.60	4.33	0.71
10	840	5.10	13.86	2.56	12.28	3.77	1.60	4.72	1.04	6.24	1.28	4.17	0.64	4.53	0.79
11	920	4.18	14.17	2.05	9.88	3.13	1.26	4.04	0.87	5.24	1.11	3.52	0.53	3.96	0.68
12	990	3.13	9.81	1.56	7.95	2.39	1.05	3.02	0.67	3.92	0.82	2.62	0.38	2.78	0.46

Table 25 Concentration(ppm) of rare earth elements analyzed by ICP-MS (Akagi samples)

sampleNo.	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
A 1-1	10	3.78	8.68	0.64	3.47	1.63	0.49	1.71	0.30	2.08	0.44	1.23	0.21	1.05	0.23
A 1-2	20	6.14	12.40	0.81	2.75	1.21	0.33	0.99	0.16	1.29	0.33	0.81	0.15	0.66	0.18
A 1-3	30	6.33	10.99	0.99	4.12	1.51	0.39	1.44	0.24	1.79	0.41	1.14	0.21	1.11	0.24
A 1-4	40	3.45	6.59	0.08	0.34	0.89	0.24	0.71	0.12	1.21	0.32	0.77	0.15	0.71	0.20
A 1-5	50	2.87	5.48	0.00	0.00	0.82	0.24	0.67	0.12	1.13	0.30	0.71	0.14	0.60	0.18
A 1-6	60	2.20	4.18	0.00	0.00	0.58	0.18	0.49	0.08	0.91	0.28	0.60	0.13	0.54	0.17
A 1-7	70	2.46	4.90	0.00	0.00	0.67	0.20	0.56	0.10	1.03	0.29	0.68	0.14	0.59	0.18
A 1-8	80	6.79	12.44	1.10	4.59	1.54	0.43	1.47	0.26	1.88	0.42	1.14	0.21	1.17	0.24
A 1-9	90	6.86	9.76	0.84	3.17	1.22	0.33	1.09	0.18	1.42	0.33	0.86	0.16	0.69	0.18
A 1-10	100	6.23	10.31	0.92	3.62	1.39	0.37	1.33	0.21	1.65	0.37	0.98	0.19	0.93	0.21
A 1-11	110	5.38	9.61	0.71	2.71	1.22	0.37	1.20	0.20	1.57	0.36	0.92	0.18	0.81	0.20
A 1-12	120	3.38	7.66	0.45	2.60	1.51	0.42	1.44	0.25	1.88	0.40	1.07	0.19	0.99	0.21
A 1-13	130	5.85	8.12	0.56	2.01	1.05	0.27	0.87	0.15	1.25	0.31	0.76	0.14	0.55	0.18
A 1-14	140	3.57	6.84	0.14	0.40	0.89	0.25	0.75	0.13	1.20	0.31	0.75	0.15	0.67	0.19
A 1-15	150	5.50	12.31	0.92	3.52	1.46	0.41	1.41	0.24	1.76	0.39	1.08	0.20	1.03	0.22
A 1-16	160	5.36	12.77	0.88	3.62	1.44	0.41	1.41	0.23	1.75	0.39	1.07	0.20	1.02	0.23
A 1-17	180	4.92	12.50	0.74	2.91	1.29	0.37	1.19	0.21	1.59	0.36	0.95	0.18	0.94	0.21
A 1-18	200	4.97	12.41	0.74	2.94	1.28	0.38	1.17	0.19	1.52	0.36	0.94	0.18	0.89	0.22
A 1-19	220	4.62	10.98	0.52	2.19	1.16	0.33	0.99	0.17	1.44	0.34	0.87	0.17	0.79	0.19
A 1-20	240	5.89	11.45	0.93	3.84	1.48	0.41	1.39	0.22	1.77	0.39	1.08	0.19	0.99	0.22
sampleNo.	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
B 2-1	20	4.51	9.00	0.36	1.25	0.97	0.35	0.73	0.12	1.16	0.30	0.71	0.15	0.59	0.18
B 2-2	40	6.69	13.74	1.03	3.39	1.38	0.22	1.10	0.19	1.43	0.33	0.80	0.16	0.68	0.18
B 2-3	60	2.24	4.18	0.00	0.00	0.61	0.18	0.47	0.08	0.94	0.27	0.62	0.13	0.50	0.16
B 2-4	80	2.17	4.27	0.00	0.00	0.57	0.16	0.39	0.06	0.85	0.25	0.57	0.12	0.45	0.16
B 2-5	100	4.77	6.80	0.30	0.76	0.85	0.22	0.62	0.09	1.01	0.27	0.60	0.12	0.40	0.15
B 2-6	120	5.50	8.58	0.57	2.00	1.07	0.29	0.98	0.15	1.30	0.32	0.77	0.15	0.65	0.18
B 2-7	140	5.78	10.43	0.78	3.43	1.33	0.35	1.30	0.20	1.67	0.38	0.99	0.19	0.94	0.22
B 2-8	160	5.89	11.36	0.92	3.78	1.42	0.40	1.38	0.23	1.77	0.39	1.06	0.19	1.01	0.22
B 2-9	190	4.70	10.12	0.62	2.59	1.20	0.34	1.10	0.19	1.49	0.35	0.90	0.17	0.81	0.20
B 2-10	210	4.64	11.50	0.67	2.70	1.34	0.37	1.12	0.20	1.58	0.37	0.94	0.18	0.88	0.20

Table 26 Concentration(ppm) of rare earth elements analyzed by ICP-MS (Hachijyo Island samples(Basalt)

sampleNo.	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1-1		3.04	6.78	0.26	1.78	1.24	0.37	1.24	0.21	1.65	0.37	0.96	0.18	0.78	0.19
1-2		4.83	9.56	0.39	1.05	0.92	0.25	0.70	0.11	1.07	0.29	0.62	0.13	0.46	0.16
1-3		1.84	3.98	0.00	0.00	1.02	0.32	1.25	0.24	1.87	0.43	1.21	0.22	1.16	0.24
1-4 lava		1.87	3.98	0.00	0.00	0.96	0.33	1.23	0.24	1.97	0.43	1.24	0.23	1.17	0.25
1-5 fresh lava		1.91	4.13	0.00	0.00	1.05	0.33	1.24	0.25	1.99	0.44	1.25	0.22	1.23	0.25
1'-1		1.57	3.17	0.00	0.00	0.81	0.28	1.03	0.19	1.65	0.38	1.03	0.19	0.93	0.22
1'-2		1.53	3.13	0.00	0.00	0.79	0.27	0.94	0.19	1.69	0.38	1.03	0.19	0.90	0.21
1'-3		1.39	2.59	0.00	0.00	0.63	0.23	0.65	0.12	1.33	0.33	0.85	0.16	0.70	0.19
2-1		1.36	2.58	0.00	0.00	0.60	0.22	0.68	0.14	1.35	0.34	0.84	0.16	0.72	0.20
2-2		1.37	2.62	0.00	0.00	0.63	0.24	0.73	0.14	1.38	0.35	0.90	0.17	0.76	0.20
2-3		1.52	3.04	0.00	0.00	0.80	0.26	0.90	0.19	1.59	0.38	1.00	0.18	0.95	0.21
3 clay		1.54	3.08	0.00	0.00	0.82	0.28	0.94	0.20	1.63	0.38	1.03	0.19	0.92	0.22
4-1		2.83	6.16	0.11	0.99	1.14	0.32	1.05	0.18	1.48	0.35	0.87	0.17	0.70	0.19
4-2		1.50	2.94	0.00	0.00	0.78	0.29	0.93	0.19	1.68	0.38	1.07	0.20	0.98	0.22
4-3		1.50	2.98	0.00	0.00	0.79	0.27	0.89	0.18	1.57	0.36	0.98	0.18	0.93	0.21
4-4		1.55	3.20	0.00	0.00	0.87	0.30	1.04	0.21	1.72	0.39	1.07	0.19	1.00	0.22
4 rock		1.38	0.00	0.00	0.00	1.52	0.65	2.15	0.39	2.99	0.54	1.86	1.21	1.81	0.33
5-1		1.62	3.35	0.00	0.00	0.90	0.30	1.13	0.23	1.80	0.40	1.16	0.21	1.09	0.23
5-2		1.56	3.17	0.00	0.00	0.83	0.27	0.97	0.20	1.67	0.39	1.05	0.19	0.98	0.21
6-1		2.92	3.89	0.44	1.77	1.90	0.77	2.91	0.47	3.43	0.61	1.94	1.20	2.08	0.36
6-2		2.48	7.42	1.43	8.19	0.48	0.98	4.36	0.78	5.39	1.09	3.44	0.51	3.57	0.56
6-3		2.22	6.90	1.34	7.63	0.46	0.98	3.94	0.79	4.85	0.99	3.25	0.49	3.44	0.51
7-1	20	2.79	7.89	1.32	7.05	0.40	0.81	3.45	0.65	4.42	0.86	3.00	0.44	3.08	0.48
7-2	70	2.43	7.22	1.30	7.35	0.42	0.92	3.69	0.75	4.88	0.98	3.36	0.50	3.40	0.56
7-3	120	2.65	7.32	1.32	7.60	0.44	0.96	3.95	0.69	4.99	0.96	3.13	0.47	3.27	0.52
7-4	170	2.22	7.16	1.36	7.85	0.47	1.06	3.87	0.85	5.37	1.10	3.39	0.52	3.67	0.58
7-5	220	2.05	6.00	1.11	6.40	0.35	0.82	3.36	0.71	4.36	0.89	2.89	0.41	3.06	0.49
8 basalt lava		1.87	5.90	1.13	6.44	0.40	0.94	3.52	0.84	4.60	0.96	3.22	0.48	2.94	0.49
9-1		2.52	8.06	1.58	9.19	0.54	1.17	4.88	0.95	5.99	1.25	4.02	0.59	4.22	0.64
9-2		1.96	6.35	1.21	7.01	0.44	0.93	3.77	0.75	4.94	0.97	3.11	0.50	3.45	0.50
9-3		1.98	6.04	1.18	6.46	0.41	0.90	3.59	0.72	4.80	0.93	2.99	0.47	3.12	0.50

Table 26 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
10-1	20	6.69	7.20	1.43	7.97	0.47	1.07	4.31	0.87	5.38	1.11	3.57	0.53	3.78	0.58
10-2	60	2.77	8.05	1.60	9.02	0.49	1.16	4.61	0.89	6.02	1.17	3.97	0.57	4.06	0.64
10-3	100	2.38	7.37	1.50	8.19	0.52	1.09	4.54	0.98	5.77	1.25	3.75	0.55	3.86	0.60
10-4	140	2.14	6.86	1.24	7.06	0.44	0.97	3.94	0.78	5.10	1.06	3.23	0.47	3.75	0.54
10-5	180	2.23	7.01	1.32	7.79	0.44	1.00	4.09	0.77	5.16	1.10	3.43	0.56	3.71	0.57
16-1		0.89	2.45	0.46	2.62	0.18	0.49	1.54	0.40	2.14	0.52	1.39	0.22	1.49	0.21
16-1'		1.37	3.02	0.68	3.77	0.23	0.61	2.18	0.44	2.80	0.60	1.78	0.30	2.07	0.30
16-2		0.95	2.51	0.46	2.67	0.16	0.47	1.50	0.32	2.07	0.42	1.38	0.21	1.45	0.23
16-3		0.80	2.39	0.45	2.59	0.16	0.47	1.61	0.32	2.16	0.45	1.41	0.20	1.36	0.23
17-1		0.55	1.70	0.27	1.58	0.10	0.15	0.77	0.15	0.93	0.22	0.68	0.10	0.76	0.10
17-2		1.32	2.69	0.48	2.31	0.10	0.20	0.74	0.15	0.90	0.20	0.65	0.10	0.79	0.11
17-3		324.60	67.52	60.48	73.89	14.32	26.41	134.41	28.48	114.13	23.24	34.24	18.99	52.91	113.22
18-1		1.63	4.16	0.90	5.05	0.32	0.72	2.67	0.52	3.50	0.72	2.33	0.35	2.40	0.37
18-2		1.61	4.36	0.87	5.12	0.31	0.68	2.71	0.53	3.51	0.73	2.34	0.33	2.39	0.36
18-3		1.43	4.32	0.83	4.41	0.27	0.63	2.37	0.49	3.20	0.66	2.17	0.31	2.14	0.35
19-1		1.80	4.80	0.92	5.12	0.31	0.75	2.77	0.55	3.60	0.69	2.43	0.35	2.59	0.39
19-2		0.87	2.56	0.51	2.93	0.18	0.52	1.73	0.35	2.31	0.49	1.63	0.22	1.60	0.27
20-1	0	1.74	4.70	1.86	6.83	1.88	0.32	3.47	0.43	3.05	0.39	1.90	0.26	1.62	0.28
20-2	20	1.78	4.83	1.88	6.98	1.95	0.35	3.50	0.44	3.13	0.42	1.94	0.27	1.67	0.29
20-3	70	1.84	4.89	1.89	7.07	1.97	0.36	3.52	0.45	3.16	0.43	1.95	0.27	1.69	0.29
20-4	90	1.75	4.72	1.86	6.86	1.89	0.33	3.47	0.43	3.07	0.40	1.92	0.27	1.63	0.29
20-5	110	2.07	5.55	1.95	7.41	2.09	0.41	3.56	0.47	3.28	0.46	2.01	0.28	1.77	0.30
20-6	130	1.90	5.13	1.91	7.12	1.98	0.35	3.51	0.45	3.15	0.42	1.95	0.27	1.68	0.29
20-7	150	2.11	5.93	1.97	7.40	2.05	0.37	3.53	0.46	3.20	0.44	1.97	0.28	1.71	0.30
20-8	170	3.10	8.03	2.16	8.41	2.34	0.46	3.67	0.51	3.42	0.50	2.07	0.30	1.87	0.32
20-9	190	2.42	6.65	2.04	7.83	2.18	0.41	3.60	0.48	3.31	0.47	2.02	0.29	1.80	0.31
20-10	210	2.36	6.67	2.01	7.68	2.15	0.40	3.59	0.48	3.29	0.47	2.02	0.29	1.79	0.30
20-11	230	1.86	5.13	1.91	7.13	2.00	0.36	3.52	0.45	3.17	0.43	1.96	0.27	1.69	0.29
20-12	250	1.78	5.06	1.89	6.99	1.94	0.34	3.49	0.43	3.09	0.41	1.92	0.27	1.64	0.29
20-13	270	1.94	5.25	1.93	7.29	2.05	0.39	3.55	0.47	3.25	0.45	2.00	0.28	1.75	0.30
20-14	290	1.89	5.12	1.92	7.20	2.02	0.37	3.53	0.46	3.19	0.44	1.97	0.28	1.72	0.30
20-15	310	1.93	5.40	1.93	7.27	2.03	0.38	3.54	0.46	3.22	0.45	1.98	0.28	1.74	0.30
20-16	330	1.88	5.11	1.92	7.23	2.03	0.37	3.53	0.46	3.20	0.44	1.97	0.28	1.72	0.30

Table 26 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
22-1		1.83	3.02	0.44	2.01	2.22	0.96	3.31	0.61	3.88	0.88	2.63	1.18	2.54	0.44	
22-2		1.55	0.91	0.29	1.52	2.08	2.98	0.61	2.98	0.61	3.96	0.83	2.45	1.19	2.40	0.37
22-3		2.35	2.04	0.41	1.63	2.07	0.83	2.99	0.63	3.94	0.91	2.55	1.18	2.53	0.40	
23-1		4.64	5.21	1.21	6.27	2.69	1.02	4.15	0.83	4.95	1.12	3.04	1.17	2.85	0.45	
23-2		2.91	6.19	1.00	4.39	2.61	1.04	4.03	0.77	5.07	1.06	3.23	1.17	3.23	0.52	
23-3		5.94	15.92	2.24	11.90	4.49	1.37	5.87	1.13	7.06	1.63	4.69	1.11	4.55	0.77	
30 rock		0.06	0.00	0.00	0.00	0.66	0.52	1.10	0.20	1.83	0.26	1.08	1.23	1.14	0.21	
30-1		0.24	0.00	0.00	0.00	0.93	0.57	1.43	0.24	2.24	0.33	1.23	1.22	1.31	0.25	
30-2		0.55	0.00	0.00	0.00	0.90	0.61	1.73	0.28	2.52	0.44	1.54	1.21	1.49	0.26	
30-3		0.02	0.00	0.00	0.00	0.71	0.55	1.09	0.20	1.91	0.28	1.11	1.22	1.19	0.22	
30-4		0.24	0.00	0.00	0.00	0.78	0.59	1.43	0.25	2.28	0.37	1.38	1.22	1.47	0.25	
30-5		0.86	0.00	0.09	0.43	2.21	0.87	3.10	0.65	4.09	0.89	2.51	1.19	2.50	0.40	
30-6		1.41	1.26	0.11	0.00	1.50	0.70	2.24	0.40	3.17	0.61	1.99	1.20	1.94	0.33	
30-7		0.93	0.00	0.00	0.00	0.96	0.60	1.49	0.25	2.36	0.37	1.33	1.22	1.46	0.26	
35-1		0.85	0.00	0.02	0.00	1.54	0.79	2.33	0.48	3.52	0.66	2.13	1.19	2.22	0.36	
35-2		0.93	0.00	0.00	0.00	1.49	0.73	2.41	0.45	3.24	0.63	1.89	1.20	2.18	0.34	
35-3		0.74	0.00	0.00	0.00	1.14	0.72	1.96	0.37	2.88	0.55	1.83	1.21	1.81	0.31	
35-4		0.84	0.00	0.00	0.00	1.30	0.66	2.04	0.35	2.88	0.51	1.66	1.21	1.74	0.31	
37-1		0.99	0.00	0.00	0.00	1.70	0.79	2.39	0.46	3.52	0.63	2.13	1.20	2.20	0.38	
37-2		1.25	1.13	0.34	1.90	2.35	0.82	3.49	0.55	4.23	0.78	2.49	1.18	2.47	0.40	
37-3		0.78	0.00	0.00	0.00	1.44	0.77	2.36	0.41	3.21	0.56	2.03	1.20	2.04	0.34	
37-4		1.49	0.92	0.22	0.84	2.01	0.83	2.74	0.52	3.94	0.72	2.33	1.19	2.44	0.39	
38-1		1.00	0.00	0.00	0.00	1.44	0.70	2.24	0.41	3.08	0.61	1.89	1.20	1.98	0.33	
38-2		1.12	0.40	0.17	0.72	2.00	0.83	2.82	0.51	3.86	0.76	2.45	1.19	2.44	0.39	
38-3		0.82	0.00	0.00	0.00	1.64	0.78	2.60	0.46	3.47	0.68	2.09	1.20	2.20	0.33	
39-1		0.89	0.00	0.02	0.00	1.65	0.71	2.47	0.44	3.26	0.57	1.92	1.20	1.88	0.32	
39-2		0.84	0.00	0.00	0.00	1.36	0.65	1.94	0.34	2.82	0.49	1.66	1.21	1.71	0.28	
40 rock		0.69	0.00	0.00	0.00	1.45	0.64	2.05	0.33	2.91	0.49	1.69	1.21	1.67	0.31	
40-1		0.99	0.00	0.05	0.16	1.70	0.75	2.40	0.45	3.41	0.61	2.09	1.20	2.10	0.34	
40-2		2.11	6.58	1.24	6.97	0.43	0.89	3.61	0.70	4.71	0.92	3.03	0.78	3.08	0.46	
40-3		2.09	6.56	1.24	7.03	0.42	0.90	3.60	0.71	4.81	0.95	3.05	0.46	3.30	0.49	
40-4		1.00	0.00	0.00	0.00	1.23	0.69	1.92	0.36	3.05	0.53	1.88	1.21	1.89	0.31	
41-1	0	1.41	4.72	0.91	5.29	0.36	0.82	3.22	0.69	4.11	0.90	2.79	0.42	2.84	0.45	
41-2	50	0.75	0.00	0.00	0.00	1.16	0.65	1.86	0.34	2.74	0.45	1.69	1.21	1.73	0.28	
41-3	100	1.74	5.35	1.00	5.68	0.34	0.78	3.27	0.64	4.10	0.82	2.62	0.41	2.74	0.41	
41-4	150	1.96	6.02	1.14	6.51	0.39	0.84	3.44	0.73	4.50	0.95	2.97	0.47	3.02	0.49	
41-5	200	1.37	4.55	0.93	5.46	0.36	0.85	3.11	0.61	4.14	0.83	2.67	0.43	2.94	0.44	
42-1	0	0.82	0.00	0.00	0.00	1.26	0.66	1.91	0.35	2.79	0.48	1.71	1.20	1.69	0.30	
42-2	50	1.98	5.88	1.08	6.44	0.37	0.89	3.35	0.70	4.41	0.95	2.97	0.44	3.17	0.46	
42-3	100	2.03	6.15	1.15	6.71	0.41	0.91	3.63	0.75	4.56	0.96	3.11	0.44	3.36	0.52	
42-4	150	0.80	0.00	0.00	0.00	1.33	0.67	2.24	0.38	3.03	0.54	1.86	1.21	1.92	0.30	
42-5	200	2.01	6.55	1.21	7.02	0.42	0.94	3.80	0.70	4.86	1.00	3.25	0.51	3.34	0.54	
42-6	250	2.02	6.50	1.26	6.96	0.42	1.00	3.72	0.80	4.85	1.05	3.28	0.44	3.42	0.52	
43-1		1.09	0.00	0.07	0.04	1.69	0.72	2.49	0.43	3.24	0.61	2.04	1.20	2.03	0.33	
44-1		0.91	0.00	0.00	0.00	1.51	0.63	2.02	0.35	2.94	0.48	1.73	1.20	1.74	0.30	
44-2		0.86	0.00	0.00	0.00	1.05	0.53	1.68	0.28	2.46	0.38	1.41	1.22	1.45	0.23	
44-3		1.97	8.04	1.19	7.22	0.44	1.02	3.74	0.75	5.44	1.09	3.61	0.56	3.58	0.58	
45-1	0	0.73	0.00	0.00	0.00	1.34	0.67	2.03	0.36	2.88	0.51	1.75	1.21	1.84	0.30	
45-2	50	0.99	0.00	0.00	0.00	1.61	0.67	2.20	0.40	3.02	0.54	1.77	1.20	1.94	0.32	
45-3	100	1.04	0.00	0.00	0.00	1.55	0.67	2.26	0.40	3.04	0.56	1.77	1.21	1.81	0.30	
45-4	150	0.91	0.00	0.00	0.00	1.53	0.67	2.10	0.40	3.20	0.54	1.86	1.20	1.87	0.32	
45-5 lava	200	3.27	10.38	2.01	11.61	0.69	1.39	5.82	1.18	7.57	1.59	5.00	0.74	5.24	0.83	
45-6 ash+scoria	250	2.08	3.51	0.85	5.05	3.11	1.15	4.46	0.86	5.60	1.18	3.53	1.15	3.47	0.54	
45-7	300	1.14	0.00	0.07	0.00	1.63	0.68	2.41	0.43	3.37	0.61	2.00	1.20	2.05	0.34	
45 rock		1.94	3.20	0.72	4.80	2.95	1.09	4.39	0.81	5.36	1.12	3.41	1.15	3.49	0.56	
46-1		0.88	0.00	0.00	0.00	1.58	0.70	2.29	0.40	3.14	0.61	1.96	1.20	1.87	0.32	
46-2		1.01	0.08	0.11	0.34	1.74	0.73	2.82	0.48	3.62	0.66	2.15	1.19	2.27	0.36	
46-3		1.79	2.72	0.58	3.42	2.71	0.97	3.90	0.72	4.90	1.04	3.06	1.17	3.15	0.52	

Table 27 Concentration(ppm) of rare earth elements analyzed by ICP-MS (Hachijyo Island samples (andesite)

sampleNo.	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
11-1		1.80	5.70	0.98	5.39	0.32	0.79	2.81	0.61	3.80	0.79	2.52	0.37	2.74	0.44
11-2		1.95	5.73	1.05	5.96	0.35	0.81	3.20	0.66	4.14	0.88	2.74	0.41	2.84	0.49
12-1		3.69	9.58	1.62	7.92	0.47	0.95	3.82	0.72	4.92	1.01	3.19	0.47	3.41	0.53
12-2		1.54	7.75	1.20	7.05	0.44	1.04	3.82	0.79	5.02	1.01	3.23	0.48	3.48	0.54
12-3		1.75	6.09	1.11	6.75	0.42	1.04	3.58	0.82	4.99	1.05	3.42	0.52	3.55	0.56
12-4		1.95	6.17	1.24	7.24	0.42	1.09	4.17	0.87	5.47	1.20	3.56	0.55	4.01	0.57
13-1		0.62	1.96	0.34	1.96	0.13	0.36	1.11	0.24	1.59	0.32	1.05	0.17	1.10	0.16
13-2		0.77	2.46	0.43	2.55	0.17	0.44	1.59	0.42	2.09	0.50	1.29	0.21	1.47	0.22
13-3		0.85	2.59	0.46	2.58	0.18	0.46	1.68	0.45	2.20	0.54	1.48	0.21	1.49	0.23
14-1		1.36	4.46	0.71	3.77	0.24	0.49	1.80	0.54	2.43	0.62	1.56	0.24	1.77	0.28
14-2		1.80	5.84	0.87	4.98	0.28	0.66	2.27	0.48	2.99	0.63	1.99	0.32	2.20	0.35
14-3		1.81	5.66	1.08	6.06	0.38	0.92	3.48	0.83	4.61	1.04	3.00	0.47	3.31	0.49
15-1		2.54	7.47	1.39	7.92	0.46	1.05	3.99	0.81	5.26	1.10	3.44	0.52	3.77	0.58
15-2		2.26	7.24	1.43	8.07	0.53	1.06	4.37	0.87	5.64	1.13	3.70	0.56	3.91	0.63
15-3		1.92	5.62	1.10	6.32	0.38	0.98	3.59	0.92	4.88	1.13	3.24	0.48	3.35	0.53
21-1		1.48	4.73	0.91	5.28	0.36	0.85	3.16	0.59	4.17	0.83	2.77	0.40	2.95	0.46
21-2		1.86	5.42	0.94	5.68	0.35	0.81	3.02	0.62	3.92	0.80	2.67	0.38	2.93	0.44
21-3		2.70	7.53	1.26	7.15	0.42	0.96	3.81	0.73	4.90	1.01	3.33	0.48	3.40	0.53
24-1		2.18	2.12	0.36	1.81	2.16	0.92	3.00	0.53	3.85	0.76	2.40	1.19	2.46	0.40
24-2		3.02	5.57	0.73	3.40	2.22	0.91	3.29	0.60	4.01	0.82	2.70	1.18	2.50	0.42
24-3		3.75	7.72	1.03	5.18	2.75	0.98	3.61	0.62	4.38	0.85	2.57	1.18	2.72	0.46
25		2.12	2.44	0.43	1.77	2.17	0.87	3.04	0.52	3.68	0.71	2.39	1.19	2.38	0.40
25 rock		0.86	0.00	0.05	0.06	1.82	0.77	2.79	0.46	3.46	0.63	2.06	1.19	2.05	0.36
26		1.64	0.72	0.00	0.00	1.17	0.64	1.88	0.41	2.62	0.48	1.56	1.21	1.60	0.27
26 rock		0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.43	0.77	0.12	1.53	0.15	0.78	1.23	0.83	0.18
27-1	50	0.71	0.00	0.00	0.00	1.70	0.73	2.14	0.41	3.05	0.54	1.85	1.20	1.85	0.31
27-2	100	1.07	0.00	0.05	0.00	1.84	0.89	2.78	0.51	3.80	0.71	2.35	1.19	2.37	0.41
27-3	150	1.34	0.64	0.10	0.30	1.71	0.83	2.68	0.47	3.67	0.69	2.27	1.20	2.27	0.39
27-4	200	1.09	0.05	0.09	0.00	1.84	0.83	2.69	0.50	3.69	0.70	2.27	1.19	2.34	0.38
27-5	250	1.24	0.00	0.00	0.00	1.59	0.76	2.40	0.44	3.24	0.62	1.95	1.20	2.10	0.36

Table 27 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dv	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
28-1		0.67	0.00	0.00	0.00	1.46	0.80	2.15	0.38	3.07	0.55	1.95	1.20	1.89	0.36
28-2		0.73	0.00	0.00	0.00	1.48	0.79	2.50	0.44	3.44	0.65	2.14	1.20	2.13	0.35
28-3		1.27	0.16	0.11	0.03	1.76	0.81	2.69	0.51	3.42	0.66	2.23	1.20	2.17	0.38
28-4		1.33	0.33	0.06	0.00	1.63	0.76	2.47	0.45	3.36	0.64	2.02	1.20	1.99	0.34
29-1		1.26	0.47	0.02	0.00	1.67	0.79	2.36	0.45	3.29	0.59	2.07	1.19	2.12	0.34
29-2		1.31	0.03	0.00	0.00	1.37	0.71	2.23	0.40	2.94	0.55	1.85	1.21	1.89	0.32
29-3		0.90	0.00	0.00	0.00	1.17	0.64	1.67	0.29	2.39	0.40	1.42	1.22	1.59	0.27
31-1		1.86	0.99	0.04	0.00	1.15	0.66	1.82	0.35	2.69	0.48	1.55	1.21	1.57	0.28
31-2		0.80	0.00	0.00	0.00	1.34	0.68	1.83	0.34	2.68	0.47	1.64	1.21	1.79	0.30
31-3		0.83	0.00	0.00	0.00	1.35	0.65	1.94	0.35	2.86	0.51	1.80	1.20	1.98	0.32
31-4		1.33	1.87	0.41	2.49	2.38	0.99	3.47	0.70	4.59	1.00	2.87	1.17	3.04	0.51
32-1	0	0.39	0.00	0.00	0.00	1.01	0.62	1.73	0.33	2.62	0.46	1.61	1.21	1.60	0.27
32-2	50	1.03	0.00	0.00	0.00	1.02	0.58	1.76	0.31	2.51	0.41	1.44	1.22	1.52	0.26
32-3	100	1.19	0.25	0.10	0.00	1.56	0.74	2.51	0.44	3.46	0.66	2.03	1.19	2.20	0.38
32-4	120	0.55	0.00	0.00	0.00	1.01	0.59	1.53	0.32	2.20	0.39	1.33	1.22	1.34	0.25
32-5	170	1.07	0.00	0.00	0.00	1.46	0.72	1.91	0.40	3.08	0.54	1.89	1.20	1.87	0.31
33		0.68	0.00	0.00	0.00	0.88	0.51	1.20	0.37	2.15	0.47	1.39	1.22	1.52	0.27
33 rock weathering		0.31	0.00	0.00	0.00	0.71	0.56	1.28	0.24	2.18	0.36	1.27	1.22	1.45	0.27
33 rock fresh		1.23	4.02	0.73	4.18	0.25	0.70	2.35	0.49	3.12	0.64	2.14	0.32	2.49	0.39
34-1		1.96	2.96	0.36	1.58	1.93	0.86	2.70	0.51	3.65	0.71	2.31	1.19	2.45	0.39
34-2		1.36	0.51	0.03	0.00	1.51	0.69	2.22	0.39	3.02	0.56	1.92	1.20	1.92	0.33
34-3		1.07	0.00	0.00	0.00	1.44	0.81	2.16	0.43	3.19	0.56	1.85	1.20	1.99	0.34
34-4		1.93	1.70	0.17	0.00	1.46	0.74	2.40	0.43	3.26	0.62	2.01	1.20	2.01	0.33
36-1		0.55	0.87	0.00	0.00	0.66	0.39	0.94	0.24	1.59	0.29	0.88	1.23	1.02	0.20
36-2		5.23	11.74	1.37	6.21	2.62	0.81	3.05	0.54	3.85	0.71	2.28	1.19	2.29	0.37
36-3		1.99	1.92	0.11	0.00	1.43	0.60	1.67	0.30	2.67	0.43	1.52	1.21	1.67	0.28
47-1		0.70	0.00	0.00	0.00	1.59	0.77	2.41	0.45	3.38	0.64	2.04	1.19	2.12	0.38
47-2		0.60	0.00	0.00	0.00	1.56	0.80	2.61	0.45	3.24	0.64	2.22	1.19	2.16	0.38
47-3		0.41	0.00	0.00	0.00	1.24	0.70	2.02	0.38	2.98	0.54	1.86	1.20	1.84	0.33

Table 28 Concentration (ppm) of rare earth elements analyzed by ICP-MS (The main island of Okinawa and Ishigaki Island samples in acidic so

sampleNo.	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1-1		11.61	291.77	18.54	40.00	3.79	15.22	3.03	0.63	2.97	0.43	2.91	0.20	1.78	0.29
1-2		10.10	239.26	15.83	45.87	3.11	12.11	2.48	0.49	2.32	0.46	2.47	0.62	1.59	0.28
1-3		10.09	236.92	37.84	59.71	7.31	25.90	4.66	0.86	3.53	0.50	2.97	0.23	1.65	0.27
2-1		7.62	254.19	20.87	66.58	4.61	18.32	3.61	0.71	3.06	0.41	3.15	0.16	1.67	0.28
2-2		8.38	276.74	27.86	65.14	6.41	24.34	4.80	0.92	4.02	0.56	3.17	0.26	1.86	0.30
3-1	20	6.02	510.61	23.06	51.38	6.17	26.38	5.44	0.91	4.26	0.53	3.11	0.25	1.87	0.35
3-2	30	9.19	601.70	30.97	70.54	7.73	32.62	7.05	1.28	5.05	0.63	3.82	0.55	2.20	0.40
3-3	40	9.58	170.00	36.67	77.18	8.94	36.42	8.75	1.48	8.67	1.28	8.33	1.09	4.48	0.72
3-4	50	0.19	31.83	2.17	4.30	0.67	3.26	0.94	0.21	0.99	0.13	0.80	0.00	0.34	0.05
3-5	60	6.20	553.62	31.90	64.90	6.87	26.30	5.08	1.46	4.36	0.61	3.51	0.54	1.67	0.29
3-6	70	1.05	84.22	5.87	16.70	1.57	6.40	1.49	0.36	1.33	0.21	1.24	0.00	0.62	0.09
3-7	80	6.57	376.92	36.50	73.58	8.64	36.31	7.58	1.36	6.78	0.99	5.95	0.75	3.42	0.58
3-8	90	5.77	72.70	31.47	64.49	7.29	29.14	5.79	0.70	4.23	0.48	2.53	0.02	0.96	0.12
3-9	100	4.97	140.94	35.47	72.52	8.23	32.10	6.44	0.86	5.37	0.86	4.65	0.48	2.45	0.66
3-10	110	5.43	501.51	31.45	62.29	6.73	26.14	4.62	0.80	3.26	0.37	2.37	0.23	1.59	0.28
3-11	120	2.59	188.70	8.69	22.07	3.66	19.67	6.38	1.51	6.99	1.24	8.51	1.65	5.11	0.80
3-12	130	1.56	129.98	23.70	36.26	4.99	18.81	3.50	0.69	3.14	0.42	2.55	0.14	1.29	0.19
3-13	140	5.98	365.81	16.05	33.26	3.59	14.07	2.59	0.62	2.19	0.31	2.21	0.14	1.57	0.29
3-14	150	9.14	348.97	18.85	37.18	4.19	15.95	2.96	0.59	2.31	0.31	2.05	0.11	1.40	0.25
4-1		2.71	485.86	31.97	67.43	8.07	33.61	7.03	1.59	6.07	0.79	4.52	0.74	1.97	0.30
4-2		2.08	464.25	46.54	91.76	10.74	42.67	7.97	1.55	7.05	0.92	5.33	0.73	2.55	0.38
5-1		9.45	334.76	28.96	77.99	7.51	31.30	6.88	1.66	6.37	0.94	5.43	0.67	2.87	0.45
5-2		6.84	288.27	29.52	41.10	7.35	31.40	7.78	2.29	9.42	1.56	9.61	1.36	5.08	0.72
5-3		7.32	277.53	44.33	71.86	13.19	60.00	12.71	2.89	10.02	1.34	7.76	1.17	3.81	0.58
6-1		7.48	275.41	19.44	53.76	4.40	17.73	3.45	0.57	2.87	0.42	2.71	0.19	1.70	0.28
6-2		11.40	446.64	20.86	58.54	4.23	15.71	2.76	0.63	2.68	0.48	3.03	0.46	2.11	0.37
6-3		6.57	536.39	54.78	130.67	12.75	44.47	6.98	1.16	6.11	0.73	3.79	0.34	2.08	0.35
7-1		6.75	346.47	31.98	72.47	8.04	34.01	7.14	1.43	8.06	0.95	6.05	0.96	3.25	0.50
7-2		10.12	572.46	36.81	58.30	9.18	39.54	8.30	1.67	7.98	1.15	7.48	1.01	4.36	0.67
7-3		6.92	393.81	40.28	78.94	10.27	43.79	9.31	1.77	8.54	1.27	7.63	1.38	3.90	0.55

Table 28 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
8-1	20	5.39	194.77	19.03	50.46	4.46	17.75	3.49	0.54	3.09	0.45	2.88	0.26	1.84	0.30
8-2	60	5.81	796.96	31.22	46.41	8.31	34.66	7.91	1.26	7.42	1.06	6.14	0.66	2.65	0.40
8-3	100	8.42	444.36	26.24	87.75	7.05	30.06	6.74	1.21	6.00	0.87	4.86	0.44	2.32	0.33
8-4	140	24.12	53.70	5.19	18.65	3.94	6.00	3.77	0.51	2.78	0.35	1.36	0.22	1.35	0.19
8-5	180	7.53	166.66	20.29	63.07	4.49	17.56	3.43	0.56	3.15	0.45	4.15	0.21	1.93	0.34
10-1	20	1.28	5.89	0.31	1.45	0.33	0.07	0.22	0.05	0.29	0.04	0.17	0.03	0.26	0.03
10-2	40	2.85	15.66	0.70	3.04	0.61	0.12	0.42	0.08	0.45	0.08	0.28	0.05	0.41	0.05
10-3	60	5.23	25.80	1.24	5.37	1.05	0.21	0.72	0.13	0.71	0.12	0.46	0.09	0.62	0.10
10-4	80	1.93	11.64	0.48	2.04	0.42	0.09	0.29	0.06	0.34	0.06	0.26	0.04	0.36	0.04
10-5	100	1.81	9.72	0.44	1.89	0.40	0.09	0.27	0.06	0.31	0.05	0.18	0.03	0.27	0.04
10-6	120	1.73	9.33	0.42	1.82	0.37	0.07	0.24	0.05	0.28	0.05	1.86	0.03	0.27	0.04
10-7	140	1.40	7.62	0.34	1.49	0.35	0.07	0.23	0.06	0.28	0.05	0.19	0.03	0.33	0.04
10-8	160	1.00	4.51	0.25	1.11	0.22	0.05	0.18	0.04	0.21	0.04	0.15	0.02	0.20	0.03
11-1		20.13	42.38	4.15	16.92	3.05	0.51	1.98	0.41	3.70	0.47	1.86	0.30	2.55	0.37
11-2		10.69	202.90	22.94	43.74	4.90	18.34	3.19	0.79	2.22	0.34	2.32	0.19	1.30	0.21
11-3		5.38	11.31	1.12	4.64	0.78	0.13	0.51	0.10	0.43	0.11	0.07	0.07	0.63	0.09
11-4		4.52	8.96	0.90	3.76	0.64	0.11	0.44	0.10	0.58	0.11	0.42	0.07	0.62	0.09
11-5		6.00	12.32	1.17	4.76	0.81	0.15	0.53	0.12	0.81	0.15	0.59	0.10	0.82	0.14
11-6		2.93	5.33	0.56	2.27	0.40	0.09	0.28	0.07	0.40	0.08	0.30	0.06	0.48	0.07
11-7		6.50	7.84	1.05	4.02	0.71	0.14	0.46	0.11	0.74	0.13	0.58	0.10	0.91	0.12
12-1		0.26	22.01	3.44	10.10	1.63	9.72	3.48	1.36	4.77	0.93	5.88	0.85	3.69	0.55
12-2		0.21	17.23	2.90	8.75	1.49	8.88	3.24	1.16	4.77	0.83	5.87	0.76	3.42	0.53
13-1	20	6.85	469.05	7.41	17.37	1.84	7.33	1.40	0.32	1.29	0.20	1.53	0.03	1.21	0.21
13-2	50	7.13	502.93	24.44	38.81	5.03	19.14	3.14	0.58	2.41	0.40	1.81	0.36	1.34	0.22
13-3	80	6.15	439.73	18.00	27.18	3.64	13.93	2.38	0.48	1.76	0.23	1.67	0.00	1.15	0.21
13-4	110	7.70	270.68	26.05	29.56	4.94	18.22	2.90	0.56	2.09	0.27	1.77	0.04	1.14	0.21
13-5	140	11.84	247.83	18.50	35.02	3.73	14.05	2.34	0.49	1.84	0.24	1.77	0.10	1.28	0.23
13-6	170	15.40	336.45	22.06	42.47	4.51	16.30	2.72	0.56	2.14	0.38	2.24	0.30	1.70	0.28
13-7	200	14.78	315.89	23.68	46.09	4.96	18.44	3.14	0.58	2.36	0.36	2.11	0.28	1.45	0.29
14-1		3.10	459.27	27.26	54.46	6.01	23.04	3.92	0.82	2.72	0.30	1.52	0.34	0.77	0.12
14-2		3.78	396.20	32.43	59.51	6.74	24.16	4.22	0.83	2.97	0.33	1.82	0.00	0.88	0.15
21-1	10	5.37	14.87	2.03	7.03	1.35	0.72	3.33	0.46	3.27	0.53	2.11	0.36	1.86	0.33
21-2	40	4.32	7.79	1.95	7.12	1.67	0.88	3.70	0.62	4.05	0.78	2.47	0.39	2.30	0.38
21-3	70	5.15	10.88	2.09	7.42	1.60	0.84	3.63	0.55	3.83	0.89	2.42	0.39	2.37	0.39
21-4	100	5.59	12.02	2.20	7.86	1.79	0.87	3.64	0.60	3.97	0.78	2.54	0.40	2.67	0.42
21-5	140	4.88	11.25	2.14	8.01	1.79	0.86	3.59	0.57	3.91	5.57	2.41	0.39	2.32	0.37
21-6	190	3.52	8.39	1.77	5.92	1.06	0.69	3.32	0.42	3.10	0.55	2.00	0.34	1.71	0.30
21-7	230	3.98	10.66	1.84	6.33	1.17	0.72	3.33	0.43	3.16	0.61	2.04	0.35	1.67	0.30
21-8	260	3.43	6.25	1.89	7.31	2.00	0.96	3.89	0.69	4.54	0.89	2.65	0.41	2.59	0.40
21-9	290	3.65	7.29	1.90	7.24	1.85	0.94	3.76	0.62	4.20	1.53	2.51	0.40	2.42	0.38
21-10	320	3.26	6.60	1.73	5.81	1.21	0.77	3.39	0.48	3.36	0.58	2.21	0.36	1.97	0.33
22-1	30	7.00	15.80	2.99	13.87	4.46	1.62	5.37	1.29	7.62	1.73	4.10	0.54	4.50	0.62
22-2	60	7.66	16.46	2.89	12.30	3.46	1.29	4.59	0.99	5.91	1.31	3.40	0.48	3.64	0.53
22-3	90	6.12	14.38	2.52	10.59	2.82	1.11	4.20	0.80	5.11	1.05	2.96	0.44	3.12	0.47
22-4	120	3.19	7.02	1.40	3.32	0.04	0.36	2.74	0.19	2.07	0.22	1.66	0.31	1.35	0.29
22-5	150	4.49	10.42	1.93	6.85	1.49	0.74	3.50	0.50	3.66	0.63	2.43	0.38	2.22	0.39
22-6	180	3.42	9.62	1.55	4.34	0.56	0.50	3.00	0.31	2.58	0.43	1.92	0.34	1.80	0.34
22-7	210	3.02	9.00	1.63	5.21	1.00	0.67	3.22	0.43	3.20	0.54	2.12	0.36	1.91	0.33

Table 29 Concentration (ppm) of rare earth elements analyzed by ICP-MS (The main island of Okinawa samples in alkaline so

sampleNo.	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
9-1		34.39	88.11	7.69	33.26	6.82	1.33	4.55	0.89	4.55	7.34	2.64	0.43	3.42	0.51
9-2		12.21	50.53	2.67	11.46	2.13	0.41	1.46	0.28	1.44	0.24	0.85	0.13	1.05	0.16
9-3		14.32	105.80	3.33	14.46	2.76	0.54	1.99	0.38	1.84	0.30	0.98	0.15	1.17	0.15
9-4		9.15	496.51	10.10	42.48	2.53	10.86	2.02	0.43	1.86	0.25	1.73	0.41	1.41	0.26
9-5		10.88	19.51	2.15	8.70	1.72	0.34	1.12	0.21	1.07	0.15	0.55	0.09	0.71	0.11
9-6		17.93	42.12	3.68	15.05	3.29	0.71	2.29	0.47	2.40	0.35	1.12	0.18	1.27	1.54
9-7		30.03	39.24	6.14	26.53	5.96	1.35	5.80	1.33	7.14	1.12	3.59	0.49	3.11	0.37
9-8		722.70	181.20	18.58	85.67	17.88	3.54	12.40	2.33	11.74	1.84	6.21	0.91	6.87	0.92
9-9		8.32	29.25	2.24	10.60	2.38	0.48	1.90	0.39	1.98	0.32	1.16	0.18	1.39	0.19
9-10		0.16	45.20	2.07	1.93	0.36	1.49	0.32	0.06	0.31	0.08	0.30	0.18	0.19	0.03
9-11		0.37	52.77	19.16	28.13	4.95	21.10	4.71	1.14	5.19	0.77	4.66	0.52	2.55	0.37
9-12		0.20	26.21	2.92	3.93	0.58	2.51	0.54	0.12	0.62	0.07	0.65	0.00	0.47	0.07
9-13		0.02	19.33	0.54	0.54	0.08	0.33	0.07	0.02	0.10	0.00	0.13	0.00	0.11	0.02
9-14		1.73	3.31	0.38	1.69	0.32	0.06	0.24	0.05	0.25	0.05	0.14	0.02	0.18	0.02
9-15		0.01	16.94	0.40	0.45	0.07	0.23	0.05	0.01	0.06	0.03	0.07	0.00	0.07	0.01
15-1		8.11	256.66	44.14	83.78	9.81	40.69	8.18	1.70	7.82	1.11	6.83	1.01	4.12	0.64
15-2		0.29	13.34	1.67	2.77	0.35	1.42	0.29	0.07	0.30	0.06	0.31	0.00	0.22	0.03
15-3		7.50	288.52	45.24	73.71	13.93	60.82	13.10	3.02	10.17	1.40	7.97	1.11	4.11	0.61
16		3.21	543.15	11.61	54.08	2.61	9.96	1.96	0.51	1.74	0.27	1.62	0.36	0.95	0.15
17-1		3.05	3.94	1.26	2.34	6.70	0.24	2.46	0.06	1.27	0.01	1.23	0.26	0.57	0.19
17-2		43.54	90.54	8.70	34.63	7.02	1.35	4.92	0.93	5.31	1.01	2.92	0.44	3.11	0.48
17-3		1.25	0.38	0.93	0.86	6.74	0.19	2.29	0.01	1.02	0.90	1.11	0.25	0.35	0.17
17-4		0.41	7.32	0.52	0.77	6.25	0.11	2.15	0.84	0.75	0.71	0.99	0.24	0.19	0.15
18-1	40	4.57	91.19	0.54	60.73	5.57	0.12	2.15	2.46	0.76	0.73	1.00	0.24	0.21	0.15
18-2	60	38.80	73.88	8.09	34.05	7.30	1.54	5.48	1.11	6.25	1.37	3.45	0.50	3.67	0.56
18-3	80	50.78	98.39	11.26	53.09	13.66	2.61	8.50	2.11	10.90	2.73	5.63	0.69	6.51	0.86
18-4	100	55.81	111.09	12.04	53.60	14.08	2.65	8.26	2.27	12.09	3.04	6.39	0.79	7.99	1.01
18-5	120	49.83	100.59	9.93	40.42	8.14	1.53	5.34	1.06	5.78	1.24	3.27	0.48	3.82	0.56
18-6	135	7.49	13.58	2.09	5.76	0.15	0.32	2.61	0.11	1.45	0.02	1.30	0.27	0.72	0.21
18-7	150	42.79	95.25	8.87	36.59	7.39	1.39	5.02	0.88	5.04	1.20	2.88	0.43	3.10	0.47
19-1	50	1.66	0.95	0.97	1.06	0.13	0.19	2.34	0.03	1.16	0.93	1.20	0.26	0.51	0.20
19-2	100	0.26	0.45	0.42	0.97	0.06	0.09	2.08	0.08	0.66	0.82	0.94	0.23	0.11	0.14
19-3	130	0.05	0.24	0.49	1.15	0.39	0.11	2.13	0.03	0.73	0.54	0.98	0.24	0.17	0.15
19-4	150	1.21	0.28	0.90	0.76	0.03	0.17	2.32	0.02	1.06	0.73	1.15	0.26	0.43	0.18
19-5	180	1.41	0.66	0.94	1.05	0.13	0.20	2.33	0.03	1.10	0.48	1.15	0.25	0.45	0.18
19-6	210	5.07	7.82	1.62	3.99	0.26	0.30	2.62	0.14	1.68	0.13	1.48	0.30	1.08	0.26
19-7	240	0.08	5.21	0.61	1.78	0.21	0.12	2.18	1.29	0.84	0.14	1.05	0.25	0.33	0.17
19-8	280	2.11	2.60	1.12	1.82	0.03	0.22	2.39	0.04	1.15	0.67	1.15	0.25	0.41	0.17
19-9	300	0.04	2.50	0.65	1.05	0.11	0.13	2.21	0.04	0.85	0.75	1.03	0.24	0.24	0.16
20-1		45.52	88.83	10.14	47.11	12.34	2.41	8.01	2.01	10.43	2.74	5.34	0.67	5.94	0.81
20-2		0.16	2.15	0.72	23.76	10.96	0.15	2.23	1.55	0.91	0.76	1.06	0.24	0.27	0.16

Table 30 Concentration (ppm) of rare earth elements analyzed by ICP-MS (Oahu and Hawaii Island samples)

sampleNo.	Depth(cm)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
H 1		10.60	25.18	3.06	16.22	4.25	1.53	4.46	0.77	4.32	0.74	2.02	0.27	1.81	0.26
H 1-1	0	11.56	32.09	1.82	7.90	1.52	0.44	1.57	0.24	1.71	0.43	1.06	0.15	1.29	0.17
H 1-2	50	11.78	37.15	1.91	8.11	1.58	0.44	1.58	0.24	1.72	0.41	1.04	0.14	1.22	0.17
H 1-3	100	11.61	38.74	1.89	8.12	1.48	0.42	1.59	0.24	1.67	0.41	0.97	0.15	1.20	0.16
H 1-4	150	10.30	26.43	1.56	6.69	1.24	0.38	1.37	0.21	1.50	0.39	0.92	0.13	1.16	0.16
H 1-5	200	9.47	29.01	1.36	6.02	1.10	0.33	1.26	0.19	1.23	0.36	0.77	0.11	0.94	0.12
H 1-6	250	9.28	24.68	1.30	5.83	0.98	0.31	1.16	0.16	1.17	0.37	0.78	0.10	1.03	0.12
H 1-7	300	9.22	24.24	1.29	5.94	1.00	0.30	1.11	0.17	1.21	0.36	0.80	0.11	1.02	0.13
H 1-8	400	7.50	21.07	0.92	4.57	0.74	0.26	0.99	0.15	1.08	0.33	0.69	0.10	0.93	0.11
H 1-9	450	8.16	23.91	1.07	5.23	1.01	0.32	1.16	0.18	1.19	0.35	0.80	0.10	1.02	0.13
H 1-10		5.66	23.58	0.65	3.75	0.97	0.37	1.15	0.19	1.35	0.37	0.76	0.09	1.06	0.13
H 2		9.98	24.52	2.85	14.71	3.76	1.35	3.93	0.68	3.97	0.67	1.78	0.25	1.65	0.22
H 2-1		8.97	23.19	1.24	5.74	1.01	0.32	1.16	0.17	1.29	0.36	0.81	0.11	1.11	0.14
H 2-2		5.61	15.97	0.43	2.70	0.51	0.23	0.80	0.11	0.85	0.30	0.53	0.06	0.72	0.08
H 3		6.22	15.28	1.40	8.34	2.23	0.87	2.53	0.43	2.66	0.53	1.29	0.17	1.24	0.17
H 4		6.04	14.68	1.35	8.18	2.31	0.85	2.69	0.44	2.67	0.54	1.33	0.17	1.30	0.17
H 4-1		5.66	12.97	0.51	2.96	0.51	0.20	0.78	0.08	0.68	0.27	0.42	0.04	0.60	0.05
H 4-2		5.07	12.28	0.34	2.41	0.54	0.25	0.81	0.11	0.73	0.27	0.38	0.03	0.49	0.03
H 4-3		6.63	15.18	0.85	4.40	1.01	0.38	1.32	0.22	1.26	0.32	0.54	0.04	0.58	0.05
H 4-4		8.33	38.24	1.88	9.74	2.40	0.85	2.50	0.40	2.37	0.47	0.99	0.11	0.97	0.11
H 4-4'		39.88	96.34	15.83	74.17	18.13	5.76	15.11	2.75	14.68	1.88	5.36	0.82	4.09	0.58
H 4-5		7.42	22.50	1.41	7.59	1.79	0.63	1.99	0.33	1.91	0.42	0.84	0.10	0.90	0.10
H 5-1		4.82	12.10	0.29	2.22	0.38	0.18	0.70	0.08	0.58	0.26	0.37	0.03	0.55	0.04
H 5-2		4.90	13.86	0.33	2.27	0.37	0.20	0.81	0.11	0.73	0.27	0.36	0.02	0.44	0.03
H 5-3		8.58	21.74	1.60	8.29	1.95	0.65	1.95	0.34	1.93	0.41	0.78	0.08	0.79	0.08
H 5-4		14.89	73.70	5.23	25.31	6.72	2.07	5.28	0.93	4.84	0.74	1.77	0.25	1.61	0.21
H 5-5		66.04	91.34	26.36	123.88	31.84	10.30	28.94	5.44	29.93	3.87	11.88	1.82	9.45	1.47
Rock A		4.19	17.13	0.59	3.93	1.48	0.49	1.27	0.25	1.74	0.40	0.84	0.13	1.29	0.15
Rock B		0.85	15.60	0.00	0.00	0.73	0.41	0.25	0.03	0.90	0.00	0.16	1.25	0.31	0.07
Keauhou lava weak weathering		9.78	19.44	2.38	10.18	2.58	0.90	2.45	0.37	2.38	0.27	0.94	1.23	0.73	0.13
Keauhou lava weathering		10.20	21.04	2.55	11.07	2.79	0.96	2.56	0.39	2.41	0.31	0.98	1.23	0.86	0.15
Keauhou lava hard weathering		8.86	19.26	1.85	9.44	2.01	0.72	2.06	0.32	1.96	0.45	0.96	1.12	1.01	0.12
Keauhou soil		9.52	19.28	2.36	9.89	2.48	0.91	2.42	0.34	2.31	0.28	0.96	1.24	0.87	0.14
Fresh		5.86	14.12	1.25	7.77	2.27	0.81	2.73	0.44	2.63	0.54	1.29	0.17	1.31	0.17
Oahu weathering rock A		259.93	182.43	151.04	740.83	183.16	54.84	136.79	23.40	117.27	13.98	42.98	6.53	31.99	5.11
Oahu weathering rock B		3.48	8.20	0.21	2.41	0.74	0.29	0.95	0.14	0.91	0.31	0.48	0.05	0.69	0.06
Oahu non-weathering rock		214.70	126.48	115.58	569.33	141.92	43.47	112.38	19.41	98.37	11.99	37.42	5.68	27.61	4.40

Table42 Result of Principal Component Analysis (Andosol A:Hadano area)

	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
eigenvalue	10.994	3.378	2.778	1.119
contribution ratio(%)	57.861	17.778	14.624	5.891
cumulative contribution ratio(%)	57.861	75.639	90.263	96.154
factor loadings	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
SiO ₂	-0.871	-0.049	0.366	0.291
TiO ₂	0.129	-0.740	0.630	0.091
T-Fe ₂ O ₃	0.341	-0.743	0.534	0.081
MnO	0.730	-0.532	0.285	-0.078
MgO	-0.880	0.385	-0.051	0.137
CaO	-0.900	0.391	-0.088	0.093
Na ₂ O	-0.946	0.268	0.011	0.151
K ₂ O	-0.798	-0.117	0.358	0.385
P ₂ O ₅	-0.910	0.041	0.278	0.256
Sr	-0.697	-0.135	-0.527	0.289
Zr	-0.446	-0.618	-0.581	0.261
Th	-0.261	-0.821	-0.450	0.062
U	-0.213	-0.604	-0.721	0.029
La	-0.865	-0.208	0.420	-0.126
Ce	-0.945	-0.112	0.257	-0.102
Eu	-0.934	-0.161	0.141	-0.255
Gd	-0.920	-0.173	0.147	-0.311
Yb	-0.876	-0.199	-0.108	-0.416
Lu	-0.837	-0.121	-0.181	-0.483

Table43 Result of Principal Component Analysis (Andosol B:Hadano area)

	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
eigenvalue	13.289	3.671	1.339	0.483
contribution ratio(%)	69.944	19.321	7.047	2.540
cumulative contribution ratio(%)	69.944	89.260	96.311	98.850
factor loadings	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
SiO ₂	0.135	-0.911	0.386	0.004
TiO ₂	0.921	0.272	0.251	-0.118
T-Fe ₂ O ₃	0.908	0.143	0.304	-0.250
MnO	0.914	-0.225	0.027	-0.330
MgO	-0.950	-0.067	-0.293	0.066
CaO	-0.948	-0.176	-0.258	0.042
Na ₂ O	-0.931	-0.264	-0.250	0.003
K ₂ O	-0.913	-0.311	0.005	-0.032
P ₂ O ₅	-0.061	0.984	-0.162	-0.036
Sr	-0.809	-0.329	-0.211	-0.437
Zr	-0.717	-0.677	-0.056	-0.156
Th	-0.867	-0.368	0.274	0.133
U	-0.675	-0.086	0.709	0.105
La	-0.847	0.460	0.247	-0.072
Ce	-0.855	0.509	0.078	-0.026
Eu	-0.930	0.316	0.139	-0.129
Gd	-0.914	0.366	0.141	-0.109
Yb	-0.888	0.279	0.218	-0.049
Lu	-0.972	0.183	0.114	-0.087

Table44 Result of Principal Component Analysis (Loam:Hadano area)

	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
eigenvalue	7.993	5.036	3.112	1.738
contribution ratio(%)	42.067	26.506	16.378	9.149
cumulative contribution ratio(%)	42.067	68.573	84.951	94.100
factor loadings	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
SiO ₂	-0.304	-0.253	-0.812	-0.239
TiO ₂	0.744	0.154	-0.128	0.597
T-Fe ₂ O ₃	0.496	-0.712	0.314	0.346
MnO	0.606	-0.751	-0.082	-0.087
MgO	0.059	-0.916	0.396	-0.021
CaO	-0.190	-0.944	0.095	-0.232
Na ₂ O	-0.357	-0.834	-0.096	-0.015
K ₂ O	-0.177	0.716	-0.652	-0.115
P ₂ O ₅	0.765	-0.091	-0.320	0.549
Sr	-0.724	0.384	0.364	-0.398
Zr	0.263	-0.490	-0.629	-0.421
Th	-0.847	0.283	0.286	0.029
U	-0.036	0.150	0.916	-0.072
La	-0.808	0.063	-0.200	0.500
Ce	-0.927	-0.046	0.165	0.329
Eu	-0.930	-0.162	-0.224	0.218
Gd	-0.912	-0.194	-0.226	0.254
Yb	-0.872	-0.404	-0.038	0.044
Lu	-0.816	-0.454	-0.099	0.118

Table45 Result of Principal Component Analysis (Loam:Hiratsuka area)

	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
eigenvalue	7.443	5.603	2.015	1.361
contribution ratio(%)	39.173	29.492	10.606	7.164
cumulative contribution ratio(%)	39.173	68.665	79.270	86.434
factor loadings	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
SiO2	0.294	-0.741	-0.168	0.281
TiO2	-0.869	0.016	-0.360	0.150
T-Fe2O3	-0.880	0.450	0.005	-0.077
MnO	-0.722	0.190	-0.065	-0.003
MgO	-0.782	0.298	-0.207	-0.249
CaO	-0.796	-0.237	-0.185	-0.245
Na2O	-0.209	-0.703	-0.558	0.260
K2O	-0.497	-0.722	-0.389	0.018
P2O5	-0.863	-0.274	-0.337	-0.087
Sr	-0.595	0.127	0.335	0.587
Zr	0.281	0.582	0.153	-0.505
Th	-0.672	0.659	0.133	0.089
U	-0.383	0.374	0.541	0.461
La	-0.668	0.678	-0.129	0.217
Ce	-0.624	0.600	-0.074	-0.249
Eu	0.409	0.722	-0.358	0.313
Gd	0.427	0.744	-0.497	0.100
Yb	0.631	0.615	-0.438	0.079
Lu	0.641	0.614	-0.406	0.115

Table46 Result of Principal Component Analysis (Andosol A: Akagi area)

	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
eigenvalue	10.717	4.250	2.058	0.935
contribution ratio(%)	56.404	22.370	10.832	4.920
cumulative contribution ratio(%)	56.404	78.775	89.607	94.527
factor loadings	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
SiO2	0.961	0.179	-0.081	0.172
TiO2	0.652	0.678	0.207	-0.050
T-Fe2O3	0.785	0.490	0.369	-0.020
MnO	0.586	0.450	0.642	-0.094
MgO	0.926	0.300	0.163	0.026
CaO	0.961	0.119	-0.139	0.177
Na2O	0.968	0.119	-0.064	0.150
K2O	0.821	0.053	-0.379	0.211
P2O5	0.418	-0.073	-0.796	0.298
Sr	0.584	0.654	-0.034	-0.234
Zr	0.944	0.284	-0.021	0.133
Th	0.542	-0.713	0.276	0.230
U	0.126	0.598	-0.678	-0.291
La	0.651	-0.659	0.146	0.194
Ce	0.619	-0.721	0.172	0.036
Eu	0.733	-0.528	-0.130	-0.386
Gd	0.632	-0.611	-0.152	-0.433
Yb	0.795	-0.438	-0.062	-0.329
Lu	0.962	-0.130	-0.020	-0.110

Table47 Result of Principal Component Analysis (Andosol B: Akagi area)

	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
eigenvalue	12.183	4.161	1.280	0.802
contribution ratio(%)	64.119	21.900	6.739	4.220
cumulative contribution ratio(%)	64.119	86.018	92.758	96.977
factor loadings	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
SiO2	-0.866	0.463	0.167	0.086
TiO2	-0.853	0.299	-0.391	-0.025
T-Fe2O3	-0.993	0.072	-0.003	0.004
MnO	-0.968	-0.103	-0.024	-0.169
MgO	-0.950	0.119	0.214	-0.024
CaO	-0.838	0.454	0.180	0.243
Na2O	-0.891	0.375	0.109	0.216
K2O	-0.671	0.699	-0.115	-0.020
P2O5	0.301	0.864	0.276	0.009
Sr	-0.106	-0.293	0.821	-0.442
Zr	-0.895	0.407	0.155	0.071
Th	-0.928	-0.082	-0.188	-0.301
U	0.112	0.901	-0.071	-0.342
La	-0.917	-0.226	-0.251	-0.075
Ce	-0.943	-0.294	-0.049	-0.137
Eu	-0.573	-0.613	0.276	0.442
Gd	-0.786	-0.557	-0.175	-0.143
Yb	-0.737	-0.582	0.051	-0.063
Lu	-0.969	-0.123	0.086	0.081

Table48 Result of Principal Component Analysis (Brown forest soil (basalt): Hachijyo Island area

	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4	major component 5
eigenvalue	7.666	3.240	2.058	1.567	1.316
contribution ratio(%)	40.350	17.054	10.832	8.248	6.925
cumulative contribution ratio(%)	40.350	57.404	68.236	76.485	83.410
factor loadings	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4	major component 5
SiO2	0.815	-0.510	-0.010	-0.105	0.076
TiO2	0.840	-0.081	-0.147	0.390	0.203
T-Fe2O3	0.590	0.255	0.132	0.276	0.446
MnO	0.263	0.393	0.508	0.358	0.482
MgO	0.342	-0.503	0.350	-0.580	0.070
CaO	0.590	-0.704	0.163	-0.266	-0.099
Na2O	0.823	-0.511	0.063	-0.058	0.080
K2O	0.656	-0.341	-0.362	0.216	0.057
P2O5	0.727	-0.431	-0.158	0.168	-0.038
Sr	0.669	0.087	0.462	-0.244	-0.031
Zr	-0.132	-0.639	-0.416	0.415	0.222
Th	0.476	-0.034	0.416	0.434	-0.362
U	0.216	-0.116	-0.242	0.240	-0.566
La	0.397	0.332	-0.698	-0.155	-0.107
Ce	0.382	0.174	0.444	0.349	-0.545
Eu	0.897	0.363	0.091	-0.094	-0.006
Gd	0.680	0.601	-0.296	-0.173	-0.027
Yb	0.846	0.458	-0.139	-0.182	-0.036
Lu	0.867	0.408	-0.185	-0.133	-0.016

Table49 Result of Principal Component Analysis (Brown forest soil (andesite): Hachijyo Island area

	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4	major component 5
eigenvalue	6.297	4.352	2.290	1.436	1.196
contribution ratio(%)	33.140	22.904	12.051	7.560	6.295
cumulative contribution ratio(%)	33.140	56.044	68.095	75.655	81.950
factor loadings	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4	major component 5
SiO2	-0.684	-0.515	-0.320	0.153	0.088
TiO2	-0.685	0.511	0.192	-0.342	-0.151
T-Fe2O3	-0.583	0.413	0.155	-0.515	-0.281
MnO	-0.262	-0.228	0.792	0.018	-0.249
MgO	-0.075	-0.486	-0.672	-0.152	-0.405
CaO	-0.611	-0.515	-0.501	-0.123	-0.192
Na2O	-0.777	-0.390	-0.235	0.017	0.128
K2O	-0.502	0.007	0.029	0.700	0.103
P2O5	-0.464	0.066	0.164	0.147	-0.710
Sr	-0.581	-0.573	0.118	0.189	0.003
Zr	-0.538	-0.378	0.584	0.356	-0.108
Th	-0.334	-0.687	0.305	-0.288	0.299
U	-0.385	-0.634	0.081	-0.298	0.134
La	-0.050	-0.168	-0.395	0.243	-0.201
Ce	-0.287	-0.651	0.163	-0.288	0.193
Eu	-0.898	0.382	0.044	0.036	0.074
Gd	-0.746	0.606	-0.093	0.047	0.149
Yb	-0.718	0.612	-0.204	-0.018	0.185
Lu	-0.807	0.510	-0.158	0.008	0.183

Table50 Result of Principal Component Analysis (Red-yellow soil (acidic):Okinawa , Ishigaki Island area

	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
eigenvalue	8.507	4.224	1.823	1.096
contribution ratio(%)	44.775	22.230	9.597	5.767
cumulative contribution ratio(%)	44.775	67.005	76.602	82.369
factor loadings	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
SiO2	0.868	-0.237	-0.315	0.051
TiO2	-0.458	-0.604	-0.369	0.045
T-Fe2O3	0.083	-0.727	-0.592	0.132
MnO	0.847	-0.325	-0.321	0.049
MgO	-0.118	-0.854	0.273	-0.143
CaO	0.081	-0.798	0.334	-0.191
Na2O	0.006	-0.720	0.523	-0.257
K2O	0.509	0.713	0.249	-0.021
P2O5	0.898	-0.059	-0.026	-0.050
Sr	0.335	-0.016	0.422	-0.340
Zr	0.955	-0.068	-0.189	0.006
Th	-0.114	0.212	-0.482	-0.742
U	0.860	0.198	-0.091	0.072
La	0.215	0.531	-0.241	-0.493
Ce	0.792	0.350	0.234	0.122
Eu	0.924	0.181	0.203	0.065
Gd	0.963	-0.129	0.057	0.024
Yb	0.870	-0.339	-0.006	-0.087
Lu	0.863	-0.339	0.017	-0.066

Table51 Result of Principal Component Analysis (Red-yellow soil (alkaline):Okinawa , Ishigaki Island area

	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
eigenvalue	9.918	3.917	2.988	1.089
contribution ratio(%)	49.590	19.586	14.942	5.447
cumulative contribution ratio(%)	49.590	69.176	84.118	89.564
factor loadings	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
SiO2	0.625	0.483	0.186	-0.183
TiO2	0.218	0.339	-0.910	-0.054
T-Fe2O3	-0.507	-0.317	-0.010	-0.512
MnO	0.206	0.333	-0.912	-0.047
MgO	0.751	0.567	0.225	0.073
CaO	0.786	0.543	0.200	0.014
Na2O	0.618	0.732	0.200	-0.066
K2O	0.262	0.373	-0.883	-0.059
P2O5	0.725	0.086	-0.090	0.575
Sr	0.342	0.740	0.372	-0.341
Zr	0.971	0.050	0.105	0.135
Th	0.832	-0.535	0.049	-0.079
U	0.637	0.411	0.233	-0.253
La	0.323	-0.332	-0.182	-0.439
Ce	0.907	-0.347	-0.063	-0.134
Eu	0.908	-0.410	0.009	0.054
Gd	0.852	-0.493	0.059	-0.077
Yb	0.872	-0.464	0.059	-0.083
Lu	0.930	-0.336	0.007	0.086

Table52 Result of Principal Component Analysis (Laterite:Oahu , Hawaii Island area)

	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
eigenvalue	7.014	4.446	3.586	0.744
contribution ratio(%)	38.968	24.701	19.924	4.134
cumulative contribution ratio(%)	38.968	63.669	83.593	87.727

factor loadings	major component 1	major component 2	major component 3	major component 4
SiO2	-0.540	0.640	0.482	0.007
TiO2	0.233	0.420	-0.778	-0.142
T-Fe2O3	0.339	0.465	-0.712	-0.115
MnO	-0.736	0.052	-0.230	0.049
MgO	-0.505	0.753	0.369	-0.016
CaO	-0.479	0.769	0.381	-0.001
Na2O	-0.090	0.433	0.479	0.648
K2O	0.121	0.683	-0.504	0.129
P2O5	-0.519	0.734	-0.048	-0.275
Sr	0.204	-0.182	0.769	-0.266
Zr	-0.385	0.845	0.010	-0.181
Th	0.347	0.297	-0.751	0.282
La	-0.901	-0.295	-0.266	0.067
Ce	-0.794	-0.290	-0.269	-0.073
Eu	-0.934	-0.318	-0.096	0.022
Gd	-0.936	-0.306	-0.112	0.025
Yb	-0.933	-0.212	-0.221	0.028
Lu	-0.930	-0.209	-0.230	0.039

Table77 Result of extraction experiment. Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(Hadano sample)

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
A-1 #1	1.02E-01	4.51E-02	2.51E-02	3.57E-02	4.53E-01	2.55E-03	8.00E-03
A-1 #2	9.51E-02	5.14E-02	5.99E-02	1.96E-02	2.72E+00	2.40E-03	6.28E-03
A-1 #3	5.23E-02	6.83E-02	4.79E-02	8.84E-03	8.60E-01	1.80E-03	6.53E-03
A-1 #4	8.59E-02	5.70E-02	5.69E-02	7.70E-03	5.52E-01	2.32E-03	2.67E-02
A-1 #5	1.28E-01	6.89E-02	1.15E-01	1.29E-02	8.86E-01	3.32E-03	4.02E-03
A-1 #6	9.17E-02	6.13E+00	2.24E-02	9.28E-03	3.84E-01	2.82E-03	3.79E-03
A-1 #7	1.14E-01	7.11E-02	4.83E-02	1.91E-02	4.53E-01	9.48E-03	8.21E-03
A-1 #8	7.57E-02	5.66E-02	7.80E-03	7.56E-03	2.14E-01	2.77E-03	3.45E-03
A-1 #9	2.59E+01	1.13E+01	1.85E+01	1.30E+00	1.64E+02	6.55E-01	2.12E-01
A-3 #1	9.14E-02	3.47E-02	2.52E-02	3.56E-03	5.84E-01	2.71E-03	6.24E-03
A-3 #2	8.06E-02	5.35E-02	5.93E-02	1.39E-02	1.75E+00	2.49E-03	4.58E-03
A-3 #3	4.93E-02	4.69E-02	5.40E-02	2.55E-02	8.77E-01	1.52E-03	4.56E-03
A-3 #4	9.83E-02	2.80E-02	3.65E-02	1.51E-01	8.41E-01	3.16E-03	1.21E-02
A-3 #5	9.99E-02	2.58E-02	6.89E-02	1.72E-01	1.02E+00	2.02E-03	1.30E-02
A-3 #6	8.28E-02	5.87E+00	2.10E-02	1.50E-01	6.57E-01	2.20E-03	9.66E-03
A-3 #7	1.07E-01	4.52E-02	3.19E-02	1.71E-02	2.04E-01	8.31E-03	2.75E-03
A-3 #8	5.98E-02	2.13E-02	3.36E-03	3.81E-03	1.26E-01	2.04E-03	3.08E-03
A-3 #9	2.51E+01	1.05E+01	1.93E+01	1.36E+00	1.70E+02	7.12E-01	2.05E-01
A-5 #1	8.22E-02	2.23E-02	1.20E-02	5.99E-02	3.76E-01	3.26E-03	8.37E-03
A-5 #2	7.17E-02	3.60E-02	4.02E-02	2.99E-02	2.99E+00	2.64E-03	6.11E-03
A-5 #3	4.69E-02	3.51E-02	2.20E-02	3.98E-03	7.49E-01	1.15E-03	2.76E-03
A-5 #4	7.33E-02	2.98E-02	2.58E-02	5.58E-03	2.78E-01	1.31E-03	3.22E-03
A-5 #5	7.91E-02	3.24E-02	8.30E-02	2.61E-02	5.43E-01	1.22E-03	3.59E-03
A-5 #6	6.81E-02	6.11E+00	7.82E-03	4.74E-03	1.06E-01	2.58E-03	2.61E-03
A-5 #7	1.09E-01	5.03E-02	3.22E-02	4.70E-03	1.78E-01	7.31E-03	2.29E-03
A-5 #8	7.50E-02	2.72E-02	5.66E-03	5.28E-03	1.39E-01	1.66E-03	5.21E-03
A-5 #9	2.52E+01	7.63E+00	1.54E+01	1.04E+00	1.34E+02	5.12E-01	2.16E-01
A-10 #1	8.75E-02	3.43E-02	1.82E-02	1.50E-01	1.78E+00	3.09E-03	9.54E-03
A-10 #2	1.91E-01	7.92E-02	5.19E-02	7.45E-01	5.13E+00	3.10E-03	3.96E-02
A-10 #3	4.94E-02	9.47E-02	1.75E-02	4.08E-03	6.25E-01	1.34E-03	2.47E-03
A-10 #4	9.79E-02	7.39E-02	2.22E-02	1.51E-01	9.30E-01	1.82E-03	1.08E-02
A-10 #5	8.83E-02	5.78E-02	3.90E-02	1.52E-01	7.13E-01	1.66E-03	1.07E-02
A-10 #6	5.56E-02	5.68E+00	2.19E-02	6.17E-03	4.92E-01	1.76E-03	2.91E-03
A-10 #7	1.13E-01	7.24E-02	4.38E-02	1.78E-02	3.77E-01	7.47E-03	3.14E-03
A-10 #8	7.42E-02	6.15E-02	2.26E-02	5.40E-03	6.33E-01	3.12E-03	1.99E-03
A-10 #9	1.78E+01	7.73E+00	8.74E+00	7.55E-01	1.05E+02	3.36E-01	1.46E-01
A-13 #1	8.87E-02	6.07E-02	4.97E-02	1.63E-01	3.88E+00	2.61E-03	9.15E-03
A-13 #2	9.88E-02	5.80E-02	9.16E-02	1.89E-01	3.85E+00	2.19E-03	1.25E-02
A-13 #3	9.19E-02	7.06E-02	5.52E-02	1.51E-01	1.97E+00	2.74E-03	1.12E-02
A-13 #4	1.61E-01	5.05E-02	3.63E-02	6.29E-02	5.51E-01	1.58E-03	5.05E-03
A-13 #5	1.16E-01	5.94E-02	4.40E-02	4.72E-03	4.77E-01	2.03E-03	3.17E-03
A-13 #6	6.26E-02	5.35E+00	2.48E-02	7.06E-03	2.51E+00	2.96E-03	4.35E-03
A-13 #7	1.13E-01	1.11E-01	5.72E-02	7.00E-03	3.82E-01	1.03E-02	3.45E-03
A-13 #8	6.80E-02	7.10E-02	2.79E-02	7.55E-03	5.51E-01	3.93E-03	6.26E-03
A-13 #9	1.59E+01	7.47E+00	6.34E+00	6.40E-01	8.96E+01	2.71E-01	1.44E-01

Table77 Continued

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
B-1 #1	6.04E-02	3.82E-02	3.59E-02	1.61E-02	5.22E-01	1.49E-03	4.67E-03
B-1 #2	6.88E-02	8.23E-02	5.16E-02	2.22E-02	2.52E+00	2.38E-03	5.21E-03
B-1 #3	5.29E-02	4.50E-02	4.94E-02	3.32E-03	1.42E+00	9.61E-04	3.09E-03
B-1 #4	1.00E-01	4.19E-02	3.33E-02	2.90E-03	5.29E-01	9.76E-04	3.03E-03
B-1 #5	1.43E-01	5.29E-02	6.86E-02	9.84E-02	7.16E-01	4.60E-03	4.30E-03
B-1 #6	7.57E-02	5.93E+00	2.33E-02	1.69E-02	3.71E-01	3.88E-03	4.79E-03
B-1 #7	1.02E-01	9.25E-02	3.92E-02	1.02E-02	1.34E-01	1.00E-02	2.50E-03
B-1 #8	7.33E-02	5.02E-02	2.12E-02	6.15E-03	5.55E-01	2.46E-03	3.35E-03
B-1 #9	1.69E+01	7.65E+00	8.43E+00	8.57E-01	1.11E+02	3.42E-01	1.63E-01
B-3 #1	1.29E-01	6.01E-02	6.56E-02	2.29E-02	5.68E-01	7.80E-03	7.56E-03
B-3 #2	6.46E-02	5.72E-02	6.60E-02	2.60E-02	3.96E+00	2.66E-03	5.53E-03
B-3 #3	4.39E-02	3.45E-02	7.43E-02	2.35E-03	2.72E+00	6.81E-04	2.20E-03
B-3 #4	1.39E-01	2.79E-02	4.29E-02	2.76E-03	3.26E-01	1.19E-03	2.75E-02
B-3 #5	1.45E-01	3.34E-02	5.84E-02	3.00E-03	4.07E-01	1.41E-03	3.83E-03
B-3 #6	6.80E-02	5.91E+00	1.61E-02	4.72E-03	2.00E-01	2.39E-03	4.53E-03
B-3 #7	1.22E-01	1.24E-01	4.78E-02	2.42E-03	1.79E-01	8.53E-03	3.67E-03
B-3 #8	8.97E-02	3.12E-02	1.53E-02	9.31E-03	1.58E-01	4.92E-03	1.87E-03
B-3 #9	1.72E+01	7.72E+00	5.93E+00	8.03E-01	9.39E+01	2.85E-01	1.85E-01
B-6 #1	6.81E-02	4.70E-02	3.92E-02	2.25E-02	3.85E-01	2.73E-03	5.66E-03
B-6 #2	6.47E-02	3.57E-02	3.30E-02	3.35E-02	3.59E-01	2.18E-03	6.22E-03
B-6 #3	7.10E-02	4.72E-02	7.91E-02	3.38E-02	2.81E+00	3.38E-03	6.91E-03
B-6 #4	1.29E-01	2.02E-02	3.80E-02	1.66E-03	2.97E-01	8.97E-04	3.14E-03
B-6 #5	1.38E-01	4.70E-02	7.72E-02	1.62E-02	6.88E-01	3.25E-03	5.50E-03
B-6 #6	7.94E-02	5.91E+00	1.21E-02	5.65E-03	1.36E-01	2.17E-03	5.50E-03
B-6 #7	1.15E-01	1.21E-01	4.10E-02	8.37E-03	1.51E-01	1.22E-02	3.38E-03
B-6 #8	8.37E-02	2.02E-02	8.14E-03	5.38E-03	1.78E-01	2.63E-03	2.66E-03
B-6 #9	1.54E+01	6.19E+00	4.29E+00	6.71E-01	6.85E+01	2.00E-01	1.17E-01
B-7 #1	4.58E-02	3.56E-02	1.72E-02	2.90E-02	2.97E-01	1.65E-03	4.86E-03
B-7 #2	8.50E-02	4.18E-02	8.21E-02	3.06E-02	1.91E+00	3.73E-03	6.71E-03
B-7 #3	5.05E-02	4.06E-02	7.82E-02	3.04E-02	9.35E-01	2.17E-03	5.23E-03
B-7 #4	1.31E-01	4.51E-02	4.98E-02	2.99E-02	7.26E-01	3.06E-03	4.90E-03
B-7 #5	9.47E-02	1.57E-02	2.14E-02	2.13E-03	1.98E-01	1.14E-03	2.72E-03
B-7 #6	6.11E-02	5.93E+00	7.50E-03	3.55E-03	6.38E-02	1.62E-03	3.76E-03
B-7 #7	1.25E-01	7.30E-02	2.98E-02	1.63E-02	1.10E-01	7.57E-03	4.20E-03
B-7 #8	9.26E-02	1.59E-02	3.17E-03	3.88E-03	7.16E-02	1.22E-03	2.50E-03
B-7 #9	1.37E+01	3.51E+00	3.41E+00	4.81E-01	4.43E+01	1.54E-01	6.67E-02
B-12 #1	5.33E-02	3.22E-02	2.66E-02	3.52E-02	4.39E-01	2.03E-03	6.09E-03
B-12 #2	5.49E-02	4.01E-02	1.30E-01	1.37E-02	9.19E-01	1.67E-03	3.09E-03
B-12 #3	5.43E-02	3.55E-02	8.83E-02	3.48E-02	1.16E+00	2.18E-03	6.71E-03
B-12 #4	1.45E-01	6.21E-03	4.91E-02	1.51E-03	4.04E-01	6.04E-04	3.06E-03
B-12 #5	1.96E-01	1.86E-02	1.70E-01	3.81E-03	1.36E+00	1.35E-03	4.82E-03
B-12 #6	6.58E-02	6.15E+00	1.60E-02	3.89E-03	2.43E-01	1.24E-03	3.26E-03
B-12 #7	1.55E-01	5.63E-02	5.97E-02	2.74E-03	1.75E-01	5.42E-03	2.03E-03
B-12 #8	7.96E-02	1.46E-02	5.87E-03	4.02E-03	6.57E-02	1.76E-03	2.90E-03
B-12 #9	1.66E+01	2.79E+00	5.29E+00	5.05E-01	4.16E+01	1.79E-01	8.33E-02

Table78 Result of extraction experiment. Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(Hiratsuka sample)

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
1 #1	5.53E-02	2.12E-02	5.12E-03	1.48E-03	6.94E-02	8.74E-04	9.13E-04
1 #2	4.97E-02	5.43E-02	7.86E-02	1.97E-03	3.66E+00	9.54E-04	2.80E-03
1 #3	7.24E-02	5.59E-02	5.25E-02	1.65E-03	6.92E-01	1.57E-03	1.00E-03
1 #4	6.74E-02	4.99E-02	4.84E-02	1.27E-03	4.11E-01	6.75E-04	2.03E-03
1 #5	4.97E-02	3.07E-02	1.02E-01	1.16E-03	1.06E-01	5.11E-04	1.67E-03
1 #6	1.02E-01	6.18E+00	5.02E-02	6.81E-03	5.81E-01	1.81E-03	4.06E-03
1 #7	8.56E-02	1.13E-01	4.73E-02	1.20E-02	1.32E-01	1.22E-02	8.38E-03
1 #8	2.02E-01	4.32E-02	6.65E-02	4.59E-01	2.45E+00	6.46E-03	2.27E-02
1 #9	9.50E+00	6.06E+00	1.95E+01	1.03E+00	2.02E+02	8.93E-01	3.53E-01
3 #1	4.31E-02	1.56E-02	4.06E-03	1.27E-03	1.28E-01	6.35E-04	7.92E-04
3 #2	4.52E-02	5.84E-02	2.57E-01	1.51E-03	9.24E+00	6.50E-04	1.52E-03
3 #3	4.84E-02	5.51E-02	5.70E-01	1.49E-03	1.18E+00	7.90E-04	7.17E-04
3 #4	2.17E-01	8.47E-02	4.48E-01	1.20E-03	7.82E-01	8.66E-04	2.30E-03
3 #5	1.92E-01	5.64E-02	1.90E-01	1.24E-03	2.72E-01	6.21E-04	2.07E-03
3 #6	2.06E-01	6.08E+00	2.31E-01	5.91E-02	3.80E-01	3.77E-03	8.26E-03
3 #7	2.84E-01	2.13E-01	3.58E-01	1.41E-02	6.30E-01	8.65E-03	3.53E-03
3 #8	5.52E-01	1.60E-01	4.88E-01	1.10E+00	9.12E+00	1.34E-02	5.55E-02
3 #9	1.27E+01	5.01E+00	7.90E+00	8.16E-01	9.57E+01	4.13E-01	3.37E-01
6 #1	3.79E-02	1.56E-02	2.75E-03	4.38E-04	9.65E-02	8.32E-04	6.73E-04
6 #2	4.97E-02	3.65E-02	5.44E-02	4.46E-03	1.67E+00	8.24E-04	2.85E-03
6 #3	3.41E-02	4.07E-02	1.26E-01	1.94E-03	9.45E-01	6.13E-04	1.51E-03
6 #4	1.73E-01	6.41E-02	1.47E-01	1.72E-03	7.48E-01	1.33E-03	2.09E-03
6 #5	1.15E-01	2.95E-02	6.81E-02	1.50E-03	2.81E-01	6.35E-04	1.97E-03
6 #6	1.46E-01	5.98E+00	1.02E-01	1.39E-02	1.88E+00	1.89E-03	4.11E-03
6 #7	2.10E-01	1.95E-01	1.37E-01	2.02E-02	3.71E-01	1.42E-02	4.50E-03
6 #8	4.69E-01	7.68E-02	2.30E-01	7.20E-01	4.05E+00	9.43E-03	4.19E-02
6 #9	8.68E+00	2.14E+00	5.97E+00	4.57E-01	6.17E+01	3.64E-01	1.83E-01
9 #1	5.88E-02	1.49E-02	4.79E-03	1.45E-03	1.06E-01	6.18E-04	9.69E-04
9 #2	5.02E-02	4.52E-02	1.55E-01	8.58E-04	1.75E+00	6.82E-04	3.01E-03
9 #3	3.48E-02	4.33E-02	3.76E-01	1.04E-03	1.22E+00	5.60E-04	2.00E-03
9 #4	1.49E-01	4.43E-02	3.02E-01	1.00E-03	5.59E-01	8.26E-04	1.78E-03
9 #5	1.85E-01	4.03E-02	1.96E-01	1.29E-03	3.21E-01	8.07E-04	1.39E-03
9 #6	5.14E-01	5.93E+00	2.13E-01	1.49E+00	8.07E+00	1.02E-02	8.79E-02
9 #7	2.01E-01	2.22E-01	2.49E-01	4.11E-02	6.13E-01	1.96E-02	4.05E-03
9 #8	3.74E-01	5.84E-02	4.51E-01	1.91E-01	1.46E+00	1.24E-02	1.27E-02
9 #9	7.67E+00	2.94E+00	6.20E+00	7.92E-01	7.95E+01	4.39E-01	3.08E-01
12 #1	5.22E-02	5.98E-02	3.24E-02	5.04E-03	2.51E-01	1.10E-03	8.95E-03
12 #2	4.79E-02	6.05E-02	1.21E-01	1.59E-03	4.85E+00	7.96E-04	2.76E-03
12 #3	3.44E-02	8.06E-02	1.83E-01	1.17E-03	7.35E-01	6.21E-04	2.50E-03
12 #4	1.24E-01	9.81E-02	1.51E-01	1.07E-03	5.78E-01	6.42E-04	2.18E-03
12 #5	1.08E-01	8.53E-02	1.24E-01	1.16E-03	2.36E-01	6.20E-04	1.77E-03
12 #6	1.74E-01	6.31E+00	1.24E-01	1.61E-02	1.10E+00	3.17E-03	6.03E-03
12 #7	1.36E-01	1.63E-01	1.06E-01	1.71E-02	9.81E-01	1.43E-02	3.71E-03
12 #8	3.14E-01	1.04E-01	1.79E-01	1.71E-01	1.58E+00	1.23E-02	1.11E-02
12 #9	1.54E+01	8.08E+00	9.07E+00	7.17E-01	1.16E+02	4.65E-01	2.66E-01

Table79 Result of extraction experiment. Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(Akagi sample)

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
A-1 #1	8.74E-02	2.37E-02	5.52E-03	6.66E-03	8.23E-02	1.33E-03	1.09E-03
A-1 #2	1.04E-01	4.47E-02	9.46E-02	4.00E-03	2.35E+00	1.04E-03	9.72E-04
A-1 #3	8.07E-02	4.80E-02	3.41E-01	2.13E-03	6.64E-01	9.94E-04	9.30E-04
A-1 #4	7.37E-02	2.31E-02	1.78E-01	2.26E-03	2.77E-01	1.32E-03	1.82E-03
A-1 #5	1.57E-01	2.44E-02	4.04E-01	2.32E-03	1.65E-01	3.61E-03	1.04E-03
A-1 #6	3.24E-01	3.78E+00	9.53E-02	2.43E-02	2.32E-01	1.79E-02	2.34E-03
A-1 #7	6.28E-02	5.91E-02	2.20E-02	2.99E-02	1.19E-01	4.01E-03	3.25E-03
A-1 #8	3.36E-02	2.91E-02	1.17E-02	4.76E-03	2.70E-01	2.38E-03	3.30E-03
A-1 #9	3.12E+00	1.34E+00	1.68E+00	2.48E-01	1.37E+01	7.10E-02	2.93E-02
A-5 #1	7.38E-02	2.00E-02	6.11E-03	2.91E-03	9.60E-02	1.14E-03	1.20E-03
A-5 #2	3.38E+00	4.14E-01	6.13E-01	7.86E-02	1.38E+00	4.57E-02	3.65E-02
A-5 #3	9.18E-02	2.30E-02	3.31E-02	2.91E-03	2.18E-01	8.58E-04	1.39E-03
A-5 #4	4.89E-02	2.15E-02	2.89E-03	2.04E-03	6.69E-02	7.89E-04	1.96E-03
A-5 #5	8.20E-02	2.15E-02	4.63E-02	1.81E-03	1.52E-01	1.74E-03	9.29E-04
A-5 #6	9.34E-02	5.35E+00	6.38E-03	4.76E-03	9.82E-02	1.87E-03	6.26E-04
A-5 #7	4.40E-02	1.28E-02	3.69E-02	1.04E-03	1.37E-01	1.08E-03	2.43E-03
A-5 #8	6.98E-02	3.51E-02	7.24E-03	5.57E-03	9.36E-02	2.04E-03	3.89E-03
A-5 #9	4.44E+00	6.16E-01	3.60E+00	3.76E-01	1.34E+01	1.13E-01	1.07E-01
A-10 #1	8.99E-02	5.09E-02	1.44E-02	2.84E-03	1.73E-01	1.35E-03	1.24E-03
A-10 #2	8.15E-02	4.14E-02	8.29E-02	1.90E-03	1.46E+00	1.15E-03	9.57E-04
A-10 #3	7.69E-02	5.08E-02	1.53E-01	1.79E-03	8.85E-01	1.77E-03	9.61E-04
A-10 #4	9.73E-02	2.62E-02	1.52E-01	1.46E-03	4.39E-01	4.72E-03	1.53E-03
A-10 #5	3.10E-01	3.99E-02	7.24E-01	6.67E-03	3.70E-01	8.27E-03	1.19E-03
A-10 #6	3.12E-01	4.44E+00	2.00E-01	2.15E-02	1.87E-01	2.03E-02	1.83E-03
A-10 #7	9.12E-02	1.40E-01	9.07E-02	5.34E-02	2.20E-01	9.69E-03	3.30E-03
A-10 #8	5.32E-02	4.71E-02	1.62E-02	1.37E-01	5.43E-01	3.21E-03	1.26E-02
A-10 #9	5.74E+00	6.59E+00	3.98E+00	1.27E+00	5.16E+01	2.56E-01	3.75E-01
A-15 #1	7.39E-02	3.14E-02	3.99E-03	2.30E-03	7.08E-01	8.00E-04	7.28E-04
A-15 #2	8.79E-02	5.09E-02	1.90E-01	1.67E-03	1.05E+01	1.09E-03	8.05E-04
A-15 #3	6.47E-02	5.90E-02	3.55E-01	1.00E-03	2.80E+00	1.05E-03	9.68E-04
A-15 #4	2.28E-01	2.74E-02	2.01E-01	5.41E-04	1.05E+00	8.15E-04	3.40E-03
A-15 #5	2.83E-01	4.04E-02	3.03E-01	1.33E-03	3.82E-01	2.12E-03	2.40E-03
A-15 #6	1.39E-01	3.39E+00	3.96E-02	4.90E-03	1.59E-01	4.07E-03	7.73E-04
A-15 #7	1.84E-01	2.85E-01	1.68E-01	2.89E-02	1.27E+00	1.96E-02	5.24E-03
A-15 #8	1.07E-01	9.58E-02	2.31E-02	1.89E-01	8.86E-01	5.62E-03	1.28E-02
A-15 #9	1.74E+00	3.63E+00	1.17E+00	5.22E-01	2.55E+01	8.73E-02	1.37E-01
A-20 #1	6.72E-02	1.87E-02	4.31E-03	3.93E-03	1.60E-01	1.85E-03	9.36E-04
A-20 #2	7.33E-02	3.26E-02	1.55E-01	1.38E-03	4.11E+00	9.12E-04	1.05E-03
A-20 #3	6.36E-02	3.15E-02	2.49E-01	1.63E-03	1.13E+00	1.10E-03	1.21E-03
A-20 #4	1.28E-01	1.80E-02	1.61E-01	1.40E-03	2.57E-01	1.21E-03	2.54E-03
A-20 #5	1.31E-01	2.28E-02	1.81E-01	1.40E-03	1.19E-01	2.23E-03	2.69E-03
A-20 #6	1.07E-01	3.83E+00	3.26E-02	7.02E-03	1.40E-01	2.25E-03	6.13E-04
A-20 #7	1.24E-01	2.54E-01	1.23E-01	8.30E-02	2.06E-01	2.09E-02	4.79E-03
A-20 #8	1.06E-01	5.18E-02	2.28E-02	7.85E-02	7.01E-01	2.39E-03	6.39E-03
A-20 #9	1.17E+01	7.35E+00	4.22E+00	1.56E+00	9.72E+01	2.65E-01	4.37E-01

Table79 Continued

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
B-1 #1	5.01E-02	2.95E-02	2.51E-02	3.12E-02	4.39E-01	1.95E-03	5.84E-03
B-1 #2	6.02E-02	5.19E-02	4.74E-02	2.23E-02	1.10E+00	2.10E-03	6.32E-03
B-1 #3	5.38E-02	5.37E-02	5.14E-02	1.95E-02	4.72E-01	3.71E-03	5.30E-03
B-1 #4	6.93E-02	5.49E-02	7.90E-02	1.85E-02	3.47E-01	4.89E-03	8.49E-03
B-1 #5	5.45E-02	4.00E-02	7.79E-02	1.75E-01	6.54E-01	5.52E-03	1.46E-02
B-1 #6	7.67E-02	5.85E+00	3.12E-02	1.80E-02	2.29E-01	7.01E-03	7.58E-03
B-1 #7	4.52E-02	7.03E-02	1.13E-02	2.79E-02	1.17E-01	2.60E-03	7.42E-03
B-1 #8	8.84E-02	3.94E-02	1.24E-02	9.05E-03	2.41E-01	2.01E-03	3.87E-03
B-1 #9	2.77E+01	2.61E+01	1.48E+01	4.78E+00	2.01E+02	5.96E-01	5.81E-01
B-4 #1	3.53E-02	2.68E-02	6.90E-03	5.44E-03	1.03E-01	1.67E-03	3.95E-03
B-4 #2	4.27E-02	3.31E-02	6.45E-02	5.07E-03	2.92E+00	1.97E-03	3.04E-03
B-4 #3	4.92E-02	3.99E-02	2.30E-01	2.85E-02	2.02E+00	1.40E-03	5.87E-03
B-4 #4	7.68E-02	3.60E-02	2.55E-01	1.60E-01	1.21E+00	4.60E-03	9.40E-03
B-4 #5	9.18E-02	2.43E-02	4.41E-01	5.73E-03	2.21E-01	4.77E-03	2.86E-03
B-4 #6	2.08E-01	3.48E+00	1.04E-01	3.06E-02	3.31E-01	1.70E-02	9.48E-03
B-4 #7	5.03E-02	9.15E-02	3.52E-02	2.33E-02	1.52E-01	5.17E-03	8.18E-03
B-4 #8	6.73E-02	3.74E-02	9.01E-03	1.60E-02	1.88E-01	1.97E-03	7.90E-03
B-4 #9	2.87E+01	1.69E+01	1.40E+01	2.80E+00	1.58E+02	4.83E-01	3.74E-01
B-7 #1	6.52E-02	5.65E-02	3.08E-02	3.36E-02	6.48E-01	3.06E-03	6.33E-03
B-7 #2	4.02E-02	2.59E-02	9.76E-02	3.44E-03	7.66E+00	1.70E-03	3.97E-03
B-7 #3	2.97E-02	4.03E-02	2.67E-01	3.22E-03	2.42E+00	1.21E-03	2.16E-03
B-7 #4	1.31E-01	4.30E-02	5.60E-01	5.20E-03	9.21E-01	4.50E-03	4.62E-03
B-7 #5	1.53E-01	3.03E-02	3.60E-01	4.95E-03	1.69E-01	5.41E-03	4.20E-03
B-7 #6	3.38E-01	5.78E+00	8.52E-02	2.22E-02	1.61E-01	2.76E-02	1.02E-02
B-7 #7	9.84E-02	2.14E-01	1.20E-01	9.01E-02	3.28E-01	2.84E-02	1.19E-02
B-7 #8	6.45E-02	6.61E-02	7.24E-03	4.95E-02	5.01E-01	3.20E-03	1.11E-02
B-7 #9	2.52E+01	9.50E+00	1.52E+01	1.46E+00	1.13E+02	4.85E-01	2.48E-01
B-10 #1	4.64E-02	2.33E-02	1.43E-02	1.49E-01	6.12E-01	2.08E-03	1.27E-02
B-10 #2	4.31E-02	2.85E-02	2.04E-01	7.43E-03	2.39E+00	1.53E-03	5.54E-03
B-10 #3	4.86E-02	3.89E-02	2.37E-01	2.47E-02	1.08E+00	1.24E-03	2.86E-03
B-10 #4	1.39E-01	3.11E-02	4.05E-01	6.86E-02	6.58E-01	2.42E-03	7.56E-03
B-10 #5	7.89E-02	1.87E-02	1.18E-01	3.96E-03	1.16E-01	3.15E-03	3.11E-03
B-10 #6	1.28E-01	6.60E+00	4.50E-02	1.29E-02	1.51E-01	4.92E-03	2.19E-03
B-10 #7	1.29E-01	3.40E-01	2.88E-01	1.14E-01	2.50E-01	5.82E-02	8.44E-03
B-10 #8	6.30E-02	3.87E-02	4.36E-02	4.95E-02	3.64E-01	7.97E-03	2.80E-03
B-10 #9	3.82E+01	2.37E+01	1.34E+01	2.62E+00	2.68E+02	6.04E-01	5.07E-01

Table80 Result of extraction experiment. Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(Hachijyo Island : Basalt sample)

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
4-1 #1	4.93E-02	9.45E-03	6.69E-03	1.52E-03	3.79E-02	4.96E-04	2.65E-03
4-1 #2	5.93E-02	8.91E-03	1.63E-02	1.25E-03	4.68E-01	5.97E-04	1.56E-03
4-1 #3	4.01E-02	1.89E-02	4.17E-02	1.34E-03	2.27E-01	7.32E-04	3.26E-03
4-1 #4	7.67E-02	9.80E-03	2.64E-02	1.64E-03	1.49E-01	9.19E-04	1.81E-03
4-1 #5	5.31E-02	8.28E-03	8.31E-03	4.21E-03	5.15E-02	9.67E-04	3.01E-03
4-1 #6	5.70E-02	6.40E+00	2.56E-02	4.42E-02	4.66E-01	1.93E-03	4.17E-03
4-1 #7	8.05E-02	2.45E-02	2.48E-02	2.63E-03	1.17E-01	1.75E-03	1.56E-03
4-1 #8	6.05E-02	4.14E-02	2.17E-02	3.64E-02	5.16E-01	4.61E-03	5.15E-03
4-1 #9	1.63E+01	2.05E+00	1.52E+01	2.59E-01	5.56E+01	3.93E-01	8.05E-02
4rock #1	4.64E-02	9.45E-03	2.86E-03	2.46E-03	3.88E-02	8.12E-04	2.56E-03
4rock #2	5.28E-02	1.18E-02	1.58E-02	1.84E-03	4.64E-01	6.16E-04	2.48E-03
4rock #3	4.39E-02	9.13E-03	1.50E-02	1.67E-03	2.17E-01	8.70E-04	2.30E-03
4rock #4	7.60E-02	9.36E-03	3.20E-02	1.18E-03	1.67E-01	7.00E-04	1.60E-03
4rock #5	9.62E-02	3.58E-02	4.62E-02	2.69E-02	4.50E-01	3.03E-03	7.31E-03
4rock #6	6.38E-02	6.38E+00	3.50E-02	2.68E-02	4.16E-01	1.98E-03	6.12E-03
4rock #7	7.17E-02	4.33E-02	5.65E-02	2.77E-02	6.73E-01	3.14E-03	4.81E-03
4rock #8	6.25E-02	2.93E-02	2.52E-02	2.33E-02	5.06E-01	1.89E-03	5.24E-03
4rock #9	1.39E+01	2.37E+00	1.47E+01	2.77E-01	6.54E+01	5.00E-01	1.07E-01
7-1 #1	1.26E-01	1.83E-02	1.43E-02	1.85E-03	8.98E-02	2.67E-03	1.83E-03
7-1 #2	8.40E-02	5.02E-02	6.08E-02	1.60E-03	2.07E+00	1.63E-03	1.55E-03
7-1 #3	5.53E-02	2.41E-02	6.28E-01	1.26E-03	5.24E-01	8.51E-04	1.55E-03
7-1 #4	6.84E-02	1.10E-02	1.28E-01	1.32E-03	2.41E-01	7.97E-04	1.14E-03
7-1 #5	9.66E-02	1.34E-02	1.92E-01	2.22E-03	1.48E-01	9.63E-04	4.39E-04
7-1 #6	4.32E-01	4.06E+00	6.50E-02	4.56E-03	1.72E-01	8.44E-03	1.63E-03
7-1 #7	6.12E-02	3.50E-02	1.39E-02	3.89E-03	8.21E-02	2.13E-03	1.73E-03
7-1 #8	4.53E-02	2.93E-02	2.04E-02	2.93E-03	4.37E-01	2.17E-03	3.60E-03
7-1 #9	3.18E+00	7.24E-01	2.90E+00	5.83E-02	1.40E+01	7.91E-02	2.39E-02
7-3 #1	6.11E-02	1.96E-02	8.89E-03	1.88E-03	9.69E-02	1.19E-03	1.19E-03
7-3 #2	6.83E-02	2.87E-02	4.74E-02	1.41E-03	3.28E+00	1.26E-03	1.25E-03
7-3 #3	5.80E-02	1.71E-02	4.90E-01	1.75E-03	9.08E-01	1.23E-03	8.79E-04
7-3 #4	1.42E-01	1.01E-02	2.33E-01	8.65E-04	3.14E-01	6.68E-04	2.67E-03
7-3 #5	1.50E-01	1.22E-02	2.40E-01	1.28E-03	1.51E-01	1.16E-03	2.94E-04
7-3 #6	4.05E-01	3.85E+00	7.42E-02	4.20E-03	2.07E-01	5.35E-03	7.10E-04
7-3 #7	8.65E-02	6.96E-02	6.80E-02	1.24E-03	1.57E-01	2.56E-03	2.00E-03
7-3 #8	6.18E-02	1.82E-02	7.29E-03	2.60E-03	2.67E-01	9.11E-04	2.17E-03
7-3 #9	8.00E+00	1.02E+00	6.03E+00	1.14E-01	2.51E+01	1.50E-01	4.02E-02
7-5 #1	6.21E-02	1.51E-02	7.85E-03	1.25E-03	1.11E-01	1.71E-03	1.00E-03
7-5 #2	6.82E-02	2.41E-02	3.46E-02	1.10E-03	1.18E+00	1.18E-03	8.82E-04
7-5 #3	5.17E-02	3.32E-02	1.66E-01	1.77E-03	6.04E-01	8.40E-04	7.44E-04
7-5 #4	9.18E-02	2.15E-02	1.00E-01	8.46E-04	2.29E-01	7.79E-04	2.43E-03
7-5 #5	9.26E-02	3.61E-02	1.13E-01	2.65E-03	2.25E-01	1.59E-03	9.50E-04
7-5 #6	7.12E-02	3.87E+00	2.90E-02	9.76E-03	1.93E-01	1.20E-03	7.68E-03
7-5 #7	7.72E-02	6.46E-02	3.32E-02	4.43E-03	9.71E-02	3.76E-03	1.75E-03
7-5 #8	4.27E-02	4.15E-02	1.81E-02	2.81E-03	4.30E-01	2.14E-03	3.49E-03
7-5 #9	2.46E+00	4.05E-01	6.37E+00	7.82E-02	2.66E+01	2.42E-01	3.70E-02

Tab180 Continued

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
8 lava #1	5.74E-02	3.05E-02	3.03E-02	3.84E-02	4.54E-01	1.82E-03	5.07E-03
8 lava #2	5.52E-02	4.00E-02	2.69E-02	3.24E-02	9.35E-01	1.70E-03	4.86E-03
8 lava #3	3.63E-02	1.33E-02	1.75E-01	1.75E-03	9.36E-01	7.34E-04	2.94E-03
8 lava #4	1.66E-01	1.21E-02	1.91E-01	1.39E-03	3.38E-01	1.01E-03	1.59E-03
8 lava #5	1.03E-01	1.33E-02	1.26E-01	1.12E-03	2.15E-01	6.01E-04	1.86E-03
8 lava #6	7.64E-02	6.49E+00	7.80E-02	2.80E-02	4.17E-01	3.44E-03	5.69E-03
8 lava #7	2.17E-01	9.23E-02	1.84E-01	1.15E-02	1.97E-01	9.37E-03	2.26E-03
8 lava #8	7.34E-02	5.41E-02	1.96E-02	3.14E-03	4.20E-01	1.94E-03	3.34E-03
8 lava #9	1.31E+01	1.28E+00	8.97E+00	2.37E-01	3.58E+01	2.42E-01	5.79E-02
17-1 #1	4.26E-02	3.38E-02	1.43E-02	4.43E-03	3.37E-01	2.00E-03	3.86E-03
17-1 #2	5.03E-02	9.31E-03	7.98E-02	1.48E-03	1.45E+00	8.86E-04	2.44E-03
17-1 #3	3.40E-02	1.13E-02	6.58E-02	1.02E-03	3.14E-01	4.10E-04	2.74E-03
17-1 #4	1.62E-01	2.43E-02	3.40E-02	1.25E-03	1.67E-01	4.88E-04	3.06E-03
17-1 #5	7.19E-02	1.84E-02	7.00E-03	1.27E-03	8.27E-02	5.99E-04	3.05E-03
17-1 #6	1.22E-01	6.21E+00	3.23E-02	4.11E-03	3.08E-01	2.78E-03	4.82E-03
17-1 #7	8.91E-02	1.59E-01	1.75E-02	5.62E-03	1.43E-01	1.97E-02	2.00E-03
17-1 #8	1.15E-01	6.07E-02	4.60E-02	9.25E-03	4.29E-01	1.38E-02	4.51E-03
17-1 #9	3.93E+00	1.27E+00	2.08E+00	3.83E-01	1.66E+01	5.66E-01	1.10E-01
17-3 #1	4.23E-02	3.20E-02	1.81E-02	2.74E-03	3.76E-01	1.43E-03	2.63E-03
17-3 #2	4.95E-02	1.22E-02	6.51E-02	1.01E-03	1.09E+00	6.49E-04	1.92E-03
17-3 #3	3.54E-02	1.70E-02	2.35E-02	1.17E-03	2.98E-01	6.57E-04	7.91E-04
17-3 #4	9.61E-02	5.40E-02	1.67E-02	1.59E-03	2.05E-01	6.16E-04	1.93E-03
17-3 #5	4.23E-02	3.20E-02	1.81E-02	2.74E-03	3.76E-01	1.43E-03	2.63E-03
17-3 #6	8.14E-02	6.49E+00	1.93E-02	3.48E-03	1.99E-01	2.70E-03	3.28E-03
17-3 #7	7.50E-02	3.31E-01	1.28E-02	5.30E-03	1.72E-01	1.15E-02	1.83E-02
17-3 #8	7.91E-02	7.37E-02	3.18E-02	6.15E-03	4.46E-01	7.21E-03	3.89E-03
17-3 #9	3.80E+00	1.02E+00	1.95E+00	2.61E-01	4.48E+01	6.98E-01	6.35E-02
20-1 #1	8.70E-02	1.65E-02	7.40E-03	7.06E-03	1.17E-01	1.89E-03	9.58E-04
20-1 #2	8.33E-02	2.46E-02	2.50E-02	3.74E-03	2.20E+00	1.15E-03	1.25E-03
20-1 #3	6.33E-02	3.46E-02	4.29E-01	1.64E-03	1.87E+00	9.51E-04	1.04E-03
20-1 #4	3.05E-01	2.05E-02	2.87E-01	1.24E-03	3.64E-01	7.93E-04	1.11E-03
20-1 #5	1.91E-01	2.27E-02	1.22E-01	7.52E-04	3.94E-01	4.34E-04	3.89E-04
20-1 #6	2.17E-01	6.35E+00	2.33E-01	2.03E-03	1.35E-01	2.76E-03	1.22E-03
20-1 #7	2.54E-01	4.18E-01	1.60E-01	7.23E-03	1.76E-01	1.53E-02	1.50E-03
20-1 #8	1.49E-01	2.61E-02	6.50E-02	2.25E-03	1.80E-01	3.49E-03	6.53E-04
20-1 #9	2.85E+00	2.91E-01	1.26E+00	2.64E-01	6.49E+00	2.51E-01	1.26E-01
20-5 #1	8.23E-02	1.89E-02	9.09E-03	1.92E-03	1.14E-01	1.38E-03	1.54E-03
20-5 #2	6.25E-02	5.06E-02	7.25E-02	3.95E-03	1.69E+00	1.39E-03	7.23E-04
20-5 #3	3.70E-02	4.63E-02	4.61E-01	4.76E-03	7.47E-01	8.43E-04	6.37E-04
20-5 #4	3.08E-01	3.40E-02	4.02E-01	1.59E-03	3.09E-01	1.80E-03	1.28E-03
20-5 #5	1.78E-01	5.42E-02	1.63E-01	7.00E-04	2.25E-01	7.42E-04	2.24E-03
20-5 #6	1.71E-01	6.48E+00	2.77E-01	2.64E-03	1.24E-01	2.79E-03	1.28E-03
20-5 #7	3.60E-01	3.28E-01	2.12E-01	1.58E-02	1.47E-01	1.55E-02	1.61E-03
20-5 #8	2.94E-01	4.75E-02	5.36E-02	1.09E-02	1.14E-01	9.92E-03	3.32E-03
20-5 #9	3.97E-01	8.59E-01	3.26E-01	1.55E+00	3.43E+00	4.06E-01	6.04E-01
20-9 #1	4.87E-02	1.32E-02	3.40E-03	1.09E-03	9.95E-02	3.89E-04	4.64E-04
20-9 #2	8.58E-02	2.94E-02	1.38E-02	2.66E-03	8.77E-01	1.15E-03	1.07E-03
20-9 #3	7.03E-02	3.68E-02	2.20E-01	1.94E-03	1.06E+00	1.09E-03	1.34E-03
20-9 #4	3.41E-01	2.54E-02	1.79E-01	1.18E-03	2.66E-01	1.11E-03	1.32E-03
20-9 #5	3.97E-01	4.11E-02	1.99E-01	3.42E-03	3.64E-01	9.61E-04	1.20E-03
20-9 #6	1.86E-01	6.16E+00	1.58E-01	2.03E-03	1.20E-01	2.16E-03	1.13E-03
20-9 #7	4.36E-01	3.25E-01	3.51E-01	4.36E-03	3.57E-01	1.04E-02	1.32E-03
20-9 #8	9.94E-02	2.94E-02	1.18E-02	2.80E-03	5.51E-01	2.66E-03	5.51E-03
20-9 #9	9.70E-01	1.36E-01	2.15E-01	8.01E-02	8.94E-01	7.47E-02	5.11E-02

Table80 Continued

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
20-16 #1	7.49E-02	2.02E-02	1.22E-02	2.03E-03	1.27E-01	1.47E-03	1.18E-03
20-16 #2	7.09E-02	3.53E-02	8.39E-02	2.80E-03	1.16E+00	1.27E-03	7.31E-04
20-16 #3	7.27E-02	4.89E-02	6.36E-01	2.77E-03	5.83E-01	1.72E-03	1.69E-03
20-16 #4	3.84E-01	4.32E-02	4.88E-01	3.53E-03	2.33E-01	2.24E-03	1.89E-03
20-16 #5	2.01E-01	3.53E-02	1.96E-01	8.76E-04	1.74E-01	6.40E-04	2.59E-03
20-16 #6	2.16E-01	4.56E+00	3.08E-01	3.11E-03	1.40E-01	2.09E-03	9.89E-04
20-16 #7	4.16E-01	5.21E-01	4.56E-01	2.62E-02	2.41E-01	1.50E-02	3.86E-03
20-16 #8	2.10E-01	3.95E-02	6.01E-02	6.20E-03	1.31E-01	6.70E-03	1.70E-03
20-16 #9	9.96E-01	3.53E-01	8.34E-01	1.90E-01	3.75E+00	2.24E-01	1.18E-01
30-1 #1	4.74E-02	1.52E-02	3.59E-03	1.65E-03	1.93E-01	8.10E-04	5.18E-04
30-1 #2	4.54E-02	1.08E-02	6.66E-02	4.40E-03	1.43E+00	9.82E-04	2.01E-03
30-1 #3	3.84E-02	1.47E-02	4.85E-01	2.33E-03	2.28E+00	5.68E-04	2.57E-03
30-1 #4	9.37E-02	2.52E-02	5.33E-02	3.01E-03	6.49E-01	2.46E-03	4.25E-03
30-1 #5	4.29E-01	1.55E-02	1.30E-01	1.34E-03	1.19E-01	7.49E-04	2.43E-03
30-1 #6	3.32E-01	6.13E+00	1.20E-01	3.19E-03	7.56E-01	3.03E-03	3.49E-03
30-1 #7	5.57E-01	2.59E-01	2.81E-01	9.31E-03	1.87E-01	1.45E-02	1.68E-03
30-1 #8	2.14E-01	7.18E-02	3.82E-02	5.98E-03	3.84E-01	4.12E-03	2.84E-03
30-1 #9	1.40E+01	7.91E-01	3.05E+00	9.04E-02	1.64E+01	1.28E-01	4.60E-02
30-3 #1	6.18E-02	2.05E-02	4.71E-03	1.44E-03	9.92E-02	8.18E-04	1.01E-03
30-3 #2	6.82E-02	1.78E-02	3.30E-02	1.30E-03	3.96E-01	1.28E-03	1.50E-03
30-3 #3	5.19E-02	1.86E-02	2.86E-02	1.83E-03	1.78E-01	1.11E-03	1.41E-03
30-3 #4	8.15E-02	1.45E-02	4.06E-02	3.32E-03	1.29E-01	1.26E-03	1.06E-03
30-3 #5	5.80E-02	7.04E-03	3.28E-02	2.11E-03	6.81E-02	6.95E-04	1.81E-03
30-3 #6	8.40E-02	5.41E+00	1.03E-02	2.40E-03	1.77E-01	6.45E-04	1.33E-03
30-3 #7	9.52E-02	3.31E-02	3.38E-02	3.29E-03	6.79E-02	3.04E-03	1.54E-03
30-3 #8	5.52E-02	3.64E-02	2.56E-02	2.65E-02	5.88E-01	2.96E-03	3.95E-03
30-3 #9	1.83E+01	1.00E+00	9.93E+00	1.15E-01	3.26E+01	2.19E-01	4.17E-02
30-5 #1	7.64E-02	1.82E-02	3.24E-02	1.70E-03	8.45E-02	1.24E-03	1.58E-03
30-5 #2	6.39E-02	1.68E-02	6.13E-02	9.69E-04	4.49E-01	8.31E-04	1.23E-03
30-5 #3	5.25E-02	1.47E-02	5.46E-01	1.45E-03	2.33E-01	1.34E-03	1.11E-03
30-5 #4	3.45E-01	7.74E-03	3.09E-01	1.34E-03	1.46E-01	7.80E-04	2.57E-03
30-5 #5	3.15E-01	3.13E-02	3.74E-01	3.47E-03	3.65E-01	1.98E-03	3.71E-03
30-5 #6	1.68E-01	3.64E+00	5.28E-02	2.11E-03	1.83E-01	1.15E-03	7.03E-04
30-5 #7	3.57E-01	1.54E-01	3.54E-01	1.40E-03	2.01E-01	4.50E-03	2.81E-03
30-5 #8	6.57E-02	3.66E-02	2.73E-02	3.88E-03	3.74E-01	2.52E-03	3.96E-03
30-5 #9	1.48E+01	6.71E-01	7.36E+00	1.06E-01	2.43E+01	1.69E-01	4.90E-02
35-1 #1	4.48E-02	2.62E-02	1.90E-02	1.84E-03	4.28E-01	1.47E-03	3.47E-03
35-1 #2	9.73E-02	4.85E-02	6.13E-02	3.08E-03	2.55E+00	8.19E-04	1.30E-03
35-1 #3	8.28E-02	3.32E-02	8.30E-01	1.74E-03	8.73E+00	8.43E-04	1.91E-03
35-1 #4	9.52E-01	2.88E-02	9.48E-01	2.17E-03	5.56E-01	1.10E-03	2.10E-03
35-1 #5	6.14E-01	2.70E-02	2.24E-01	2.16E-03	1.51E-01	8.54E-04	1.68E-03
35-1 #6	6.53E-01	6.44E+00	8.27E-02	2.93E-03	1.01E-01	5.77E-03	3.92E-03
35-1 #7	5.04E-01	2.14E-01	3.88E-01	4.34E-03	2.80E-01	1.40E-02	2.84E-03
35-1 #8	1.87E-01	2.29E-02	3.50E-02	5.75E-03	1.64E-01	3.25E-03	1.72E-03
35-1 #9	1.91E+01	3.06E+00	9.00E+00	5.23E-01	7.37E+01	2.69E-01	2.20E-01
35-3 #1	3.64E-02	3.43E-02	2.91E-02	2.41E-03	3.99E-01	1.51E-03	2.88E-03
35-3 #2	7.54E-02	2.30E-02	4.73E-02	1.87E-03	8.32E-01	4.58E-04	1.27E-03
35-3 #3	6.70E-02	2.25E-02	3.46E-01	1.87E-03	6.71E-01	8.58E-04	1.58E-03
35-3 #4	4.74E-01	1.94E-02	6.43E-01	2.70E-03	2.75E-01	1.03E-03	1.75E-03
35-3 #5	4.04E-01	1.94E-02	2.55E-01	1.57E-03	8.72E-02	9.12E-04	1.55E-03
35-3 #6	5.40E-01	6.97E+00	1.01E-01	3.45E-03	1.93E-01	5.10E-03	1.43E-03
35-3 #7	3.80E-01	1.41E-01	3.37E-01	2.21E-03	1.61E-01	7.51E-03	1.68E-03
35-3 #8	2.08E-01	2.50E-02	1.01E-01	4.05E-03	1.73E-01	3.50E-03	1.79E-03
35-3 #9	3.24E+01	3.10E+00	1.92E+01	3.30E-01	7.74E+01	4.12E-01	7.61E-02

Table80 Continued

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
38-2 #1	1.09E-01	1.94E-02	6.33E-02	1.99E-03	7.99E-02	9.96E-04	1.78E-03
38-2 #2	7.30E-02	3.06E-02	4.39E-02	1.30E-03	7.43E-01	7.80E-04	1.22E-03
38-2 #3	5.10E-02	1.92E-02	9.68E-02	7.86E-04	4.50E-01	7.51E-04	1.42E-03
38-2 #4	1.49E-01	1.88E-02	2.21E-01	2.46E-03	3.74E-01	5.94E-04	1.70E-03
38-2 #5	8.39E-02	2.01E-02	5.72E-02	1.67E-03	8.62E-02	9.33E-04	1.48E-03
38-2 #6	8.73E-02	6.99E+00	3.16E-02	2.63E-03	9.56E-02	1.72E-03	1.44E-03
38-2 #7	1.43E-01	4.49E-02	8.68E-02	5.64E-03	2.29E-01	4.94E-03	1.58E-03
38-2 #8	8.75E-02	2.96E-02	2.07E-02	2.35E-03	3.29E-01	1.65E-03	1.74E-03
38-2 #9	3.37E+01	5.90E+00	3.74E+01	3.73E-01	1.49E+02	8.43E-01	1.17E-01
39-2 #1	3.61E-02	2.36E-02	1.44E-02	2.12E-03	3.28E-01	1.58E-03	3.67E-03
39-2 #2	7.00E-02	2.77E-02	2.94E-02	1.04E-03	3.20E-01	5.74E-04	1.60E-03
39-2 #3	6.05E-02	1.40E-02	1.47E-02	1.22E-03	1.42E-01	8.00E-04	1.04E-03
39-2 #4	9.24E-02	1.83E-02	6.10E-02	6.06E-03	2.12E-01	1.10E-03	1.30E-03
39-2 #5	6.08E-02	1.56E-02	1.89E-02	2.25E-03	6.70E-02	9.35E-04	2.41E-03
39-2 #6	6.65E-02	7.48E+00	7.72E-03	2.96E-03	7.24E-02	9.55E-04	3.44E-03
39-2 #7	8.43E-02	2.00E-02	1.56E-02	2.52E-03	7.49E-02	1.82E-03	1.96E-03
39-2 #8	6.30E-02	1.46E-02	2.71E-03	2.91E-03	1.06E-01	1.15E-03	2.05E-03
39-2 #9	3.38E+01	5.41E+00	3.56E+01	3.78E-01	1.40E+02	8.18E-01	9.72E-02
42-1 #1	6.44E-02	2.30E-02	7.05E-03	2.52E-03	1.13E-01	1.26E-03	1.48E-03
42-1 #2	6.88E-02	2.60E-02	1.60E-02	1.56E-03	4.54E-01	8.18E-04	1.85E-03
42-1 #3	4.96E-02	1.32E-02	4.82E-02	1.06E-03	2.41E-01	6.42E-04	9.28E-04
42-1 #4	1.08E-01	1.80E-02	9.47E-02	1.21E-03	2.62E-01	6.16E-04	1.43E-03
42-1 #5	7.68E-02	1.41E-02	3.62E-02	1.84E-03	5.84E-02	7.63E-04	1.86E-03
42-1 #6	7.82E-02	7.22E+00	1.22E-02	2.00E-03	1.36E-01	9.70E-04	1.86E-03
42-1 #7	8.60E-02	2.57E-02	2.36E-02	5.50E-03	7.52E-02	3.25E-03	1.45E-03
42-1 #8	7.55E-02	1.76E-02	5.75E-03	2.83E-03	1.47E-01	1.32E-03	1.27E-03
42-1 #9	3.64E+01	4.69E+00	3.35E+01	3.44E-01	1.29E+02	7.17E-01	7.52E-02
42-3 #1	6.62E-02	1.97E-02	4.83E-03	1.42E-03	9.99E-02	7.62E-04	1.08E-03
42-3 #2	5.98E-02	2.99E-02	5.39E-02	2.08E-03	2.13E+00	6.88E-04	1.28E-03
42-3 #3	3.52E-02	4.21E-02	4.07E-01	4.82E-03	2.05E+00	1.68E-03	3.57E-03
42-3 #4	2.14E-01	3.52E-02	4.37E-01	2.65E-03	5.62E-01	9.95E-04	2.65E-03
42-3 #5	1.09E-01	3.04E-02	1.82E-01	2.19E-03	3.66E-01	1.02E-03	9.18E-04
42-3 #6	9.50E-02	6.57E+00	1.13E-01	4.19E-03	1.80E-01	2.22E-03	1.30E-03
42-3 #7	1.45E-01	1.35E-01	1.44E-01	9.41E-03	1.79E-01	1.07E-02	3.07E-03
42-3 #8	1.08E-01	3.80E-02	1.44E-02	3.21E-03	1.50E-01	1.98E-03	2.07E-03
42-3 #9	3.53E+01	4.46E+00	3.11E+01	3.31E-01	1.21E+02	6.72E-01	7.06E-02
42-5 #1	3.68E-02	2.77E-02	2.81E-02	3.36E-03	5.58E-01	1.51E-03	3.56E-03
42-5 #2	8.70E-02	3.02E-02	2.09E-01	1.88E-03	3.65E+00	6.48E-04	1.44E-03
42-5 #3	4.03E-02	3.24E-02	5.15E-01	2.84E-03	3.08E+00	2.00E-03	2.79E-03
42-5 #4	5.24E-01	3.72E-02	5.57E-01	2.66E-03	5.72E-01	1.02E-03	1.79E-03
42-5 #5	2.88E-01	2.64E-02	1.64E-01	2.52E-03	1.63E-01	9.53E-04	1.01E-03
42-5 #6	3.20E-01	6.90E+00	9.94E-02	3.08E-03	1.35E-01	3.13E-03	1.66E-03
42-5 #7	3.81E-01	2.03E-01	4.58E-01	1.97E-02	3.05E-01	2.21E-02	4.38E-03
42-5 #8	1.35E-01	3.77E-02	1.29E-02	1.13E-02	2.27E-01	3.93E-03	1.62E-03
42-5 #9	3.02E+01	2.41E+00	1.63E+01	1.40E-01	6.73E+01	3.88E-01	5.36E-02

Table80 Continued

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
45-1 #1	4.66E-02	2.25E-02	1.62E-02	2.53E-03	4.01E-01	2.21E-03	3.06E-03
45-1 #2	6.29E-02	2.11E-02	5.03E-02	2.84E-03	6.27E-01	8.71E-04	1.58E-03
45-1 #3	6.86E-02	2.69E-02	6.24E-02	2.73E-03	2.91E-01	9.15E-04	1.23E-03
45-1 #4	1.10E-01	2.49E-02	9.78E-02	2.52E-03	2.84E-01	9.95E-04	1.48E-03
45-1 #5	3.40E-01	4.81E-02	8.63E-02	7.50E-03	1.55E-01	4.35E-03	7.17E-03
45-1 #6	5.96E-01	9.76E+00	3.76E-02	2.10E-02	3.61E-01	1.51E-02	4.30E-02
45-1 #7	8.58E-02	2.55E-02	4.89E-02	4.88E-03	1.68E-01	2.86E-03	1.87E-03
45-1 #8	5.00E-02	2.18E-02	5.07E-03	1.88E-03	2.10E-01	1.30E-03	2.22E-03
45-1 #9	2.86E+01	4.86E+00	3.12E+01	1.61E-01	1.22E+02	7.01E-01	4.33E-02
45-4 #1	5.34E-02	1.58E-02	4.54E-03	1.93E-03	9.62E-02	1.07E-03	8.61E-04
45-4 #2	6.48E-02	2.80E-02	6.48E-02	1.61E-03	7.25E-01	5.55E-04	1.07E-03
45-4 #3	5.32E-02	1.56E-02	9.58E-02	1.48E-03	2.59E-01	5.04E-04	8.55E-04
45-4 #4	9.27E-02	1.62E-02	1.24E-01	1.46E-03	2.57E-01	7.43E-04	1.29E-03
45-4 #5	6.81E-02	1.47E-02	6.65E-02	1.74E-03	1.09E-01	9.06E-04	1.76E-03
45-4 #6	1.43E-01	6.91E+00	2.84E-02	3.80E-03	1.40E-01	2.06E-03	3.03E-03
45-4 #7	9.52E-02	3.48E-02	4.32E-02	5.12E-03	1.29E-01	3.02E-03	2.06E-03
45-4 #8	7.39E-02	1.98E-02	2.41E-02	2.14E-03	1.97E-01	9.83E-04	1.54E-03
45-4 #9	3.00E+01	5.10E+00	3.23E+01	4.39E-01	1.34E+02	8.13E-01	1.22E-01
45-7 #1	7.00E-02	2.28E-02	2.23E-02	1.86E-03	1.03E-01	8.93E-04	1.34E-03
45-7 #2	6.79E-02	2.58E-02	4.36E-02	1.15E-03	6.62E-01	6.68E-04	7.93E-04
45-7 #3	5.03E-02	1.81E-02	1.99E-01	1.82E-03	3.12E-01	5.28E-04	8.95E-04
45-7 #4	1.36E-01	2.06E-02	2.23E-01	1.21E-03	3.64E-01	1.03E-03	1.32E-03
45-7 #5	8.95E-02	1.27E-02	7.52E-02	1.38E-03	1.02E-01	9.95E-04	1.05E-03
45-7 #6	2.14E-01	6.99E+00	4.38E-02	5.20E-03	1.10E-01	2.79E-03	9.29E-03
45-7 #7	1.08E-01	4.14E-02	3.95E-02	5.60E-03	1.61E-01	4.28E-03	3.21E-03
45-7 #8	6.03E-02	1.85E-02	5.13E-03	1.99E-03	1.98E-01	8.44E-04	1.13E-03
45-7 #9	3.18E+01	5.51E+00	3.65E+01	4.19E-01	1.44E+02	8.59E-01	1.29E-01

Table81 Result of extraction experiment. Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(Hachijyo Island : Andesite sampl

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
11-1 #1	4.95E-02	2.53E-02	7.55E-03	1.41E-03	8.47E-02	8.21E-04	2.71E-03
11-1 #2	5.93E-02	2.27E-02	7.54E-02	1.17E-03	1.22E+00	7.45E-04	6.16E-04
11-1 #3	6.30E-02	2.34E-02	4.18E-01	1.32E-03	3.52E-01	1.23E-03	7.81E-04
11-1 #4	1.19E-01	4.03E-02	1.77E-01	3.24E-03	3.32E-01	1.66E-03	1.32E-03
11-1 #5	1.29E-01	6.06E-02	7.85E-01	6.90E-03	2.09E+00	2.94E-03	1.33E-03
11-1 #6	2.00E-01	3.50E+00	1.06E-01	2.12E-03	1.56E-01	3.94E-03	7.44E-04
11-1 #7	1.12E-01	8.93E-02	8.82E-02	6.26E-03	1.67E-01	6.12E-03	7.15E-04
11-1 #8	7.01E-02	1.71E-02	4.53E-03	2.64E-03	2.06E-01	1.90E-03	8.85E-04
11-1 #9	4.52E+00	8.87E-01	2.40E+00	6.65E-02	2.33E+01	9.82E-02	1.72E-02
11-2 #1	4.90E-02	1.75E-02	6.48E-03	6.65E-03	1.98E-01	6.21E-04	4.19E-04
11-2 #2	5.58E-02	2.42E-02	9.06E-02	3.41E-03	1.46E+00	7.83E-04	6.23E-04
11-2 #3	4.63E-02	2.39E-02	3.70E-01	1.00E-03	5.88E-01	7.91E-04	5.59E-04
11-2 #4	8.93E-02	1.80E-02	1.23E-01	1.02E-03	2.65E-01	5.96E-04	2.91E-04
11-2 #5	1.88E-01	1.92E-02	1.55E-01	2.31E-03	1.64E-01	9.44E-04	7.62E-04
11-2 #6	3.31E-01	5.49E+00	8.24E-02	3.99E-03	1.31E-01	3.24E-03	8.99E-04
11-2 #7	1.60E-01	9.52E-02	1.15E-01	7.72E-03	1.65E-01	9.76E-03	9.69E-04
11-2 #8	1.68E-01	4.77E-02	3.91E-02	6.54E-03	4.93E-01	6.05E-03	1.20E-03
11-2 #9	4.12E+00	9.03E-01	2.30E+00	5.57E-02	2.17E+01	8.81E-02	1.13E-02
25 #1	5.96E-02	1.89E-02	4.54E-03	9.28E-04	8.29E-02	8.03E-04	4.80E-04
25 #2	5.09E-02	3.98E-02	8.26E-02	1.01E-03	3.36E+00	5.05E-04	1.93E-03
25 #3	3.91E-02	2.33E-02	3.52E-01	7.12E-04	1.00E+00	5.72E-04	1.64E-03
25 #4	9.18E-02	2.53E-02	2.00E-01	1.85E-03	2.80E-01	1.35E-03	6.55E-04
25 #5	7.18E-02	8.25E-02	9.22E-01	7.54E-04	4.07E+00	2.16E-03	2.16E-03
25 #6	5.33E-01	5.29E+00	2.53E-01	4.90E-03	7.26E-01	1.53E-02	6.09E-03
25 #7	1.02E-01	1.45E-01	1.03E-01	1.58E-02	1.85E-01	7.70E-03	5.18E-03
25 #8	1.27E-01	3.65E-02	9.58E-03	6.07E-03	4.24E-01	4.47E-03	8.66E-04
25 #9	3.90E+00	5.03E-01	2.08E+00	7.79E-02	2.06E+01	7.13E-02	1.62E-02
26 #1	4.68E-02	1.31E-02	2.64E-03	1.30E-03	1.82E-01	5.71E-04	4.43E-04
26 #2	5.16E-02	1.60E-02	1.55E-02	1.02E-03	6.23E-01	6.53E-04	7.11E-04
26 #3	5.67E-02	1.99E-02	3.82E-02	1.53E-03	2.28E-01	1.02E-03	9.33E-04
26 #4	6.48E-02	1.60E-02	4.43E-02	1.13E-03	1.75E-01	1.65E-03	6.12E-04
26 #5	6.59E-02	8.10E-02	7.68E-01	9.92E-04	3.81E+00	2.14E-03	4.15E-04
26 #6	4.47E-01	3.80E+00	2.41E-01	3.42E-03	3.20E-01	6.29E-03	1.15E-03
26 #7	1.58E-01	2.74E-01	1.25E-01	1.25E-02	5.34E-01	1.31E-02	4.36E-03
26 #8	8.19E-02	3.24E-02	6.13E-03	4.19E-03	4.38E-01	3.92E-03	1.23E-03
26 #9	4.52E+00	4.01E-01	2.71E+00	9.49E-02	2.55E+01	6.72E-02	2.00E-02
33 #1	9.48E-02	5.21E-02	4.91E-02	2.84E-02	5.63E-01	2.99E-03	8.13E-03
33 #2	4.85E-02	1.34E-02	7.77E-02	6.45E-04	4.41E-01	4.68E-04	2.61E-03
33 #3	3.48E-02	3.37E-02	1.07E-01	1.15E-03	2.13E-01	5.42E-04	2.90E-03
33 #4	6.62E-02	3.03E-02	6.78E-02	1.74E-03	3.46E-01	5.47E-04	2.92E-03
33 #5	1.26E-01	4.21E-02	7.79E-02	2.88E-02	1.17E+00	3.22E-03	9.78E-03
33 #6	2.91E-01	8.58E+00	8.97E-02	4.83E-02	1.31E+00	1.01E-02	2.88E-02
33 #7	8.09E-02	7.62E-02	1.84E-02	2.54E-03	1.14E-01	2.18E-03	1.26E-03
33 #8	9.01E-02	3.87E-02	6.80E-02	3.14E-02	4.41E-01	4.58E-03	2.54E-03
33 #9	3.90E+00	6.99E-01	2.81E+00	4.99E-02	1.85E+01	1.19E-01	1.97E-02

Table82 Result of extraction experiment. Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(The main island of Okinawa : Acidic sampl

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
10-1 #1	8.42E-02	3.30E-02	1.30E-02	6.81E-04	2.77E-01	7.57E-04	5.30E-04
10-1 #2	1.37E-01	5.49E-02	1.47E-01	4.21E-03	7.49E-01	1.02E-03	1.62E-03
10-1 #3	8.19E-02	4.27E-02	4.15E-02	1.41E-03	3.46E-01	6.31E-04	1.19E-03
10-1 #4	1.52E-01	1.67E-02	5.85E-03	2.30E-03	1.32E-01	6.33E-04	1.99E-03
10-1 #5	9.48E-02	3.45E-02	3.86E-02	3.52E-03	1.99E-01	1.14E-03	1.41E-03
10-1 #6	5.46E-02	8.09E-01	2.49E-02	1.50E-03	5.12E-02	3.62E-04	5.58E-04
10-1 #7	1.37E-01	8.09E-02	2.47E-02	3.62E-03	2.26E-01	1.59E-03	8.59E-04
10-1 #8	4.06E-01	1.62E-01	4.99E-02	2.21E-02	2.08E-01	3.32E-03	1.63E-03
10-1 #9	5.03E+00	3.82E+01	4.90E+00	8.50E+00	2.04E+02	4.22E-01	1.60E+00
10-3 #1	6.59E-02	2.02E-02	2.85E-03	1.11E-03	1.87E-01	9.49E-04	9.56E-04
10-3 #2	4.74E-02	1.83E-02	2.80E-02	1.61E-03	3.15E-01	7.03E-04	2.01E-03
10-3 #3	3.82E-02	4.52E-02	9.84E-03	2.10E-03	3.28E-01	1.16E-03	1.66E-03
10-3 #4	1.14E-01	2.79E-02	4.85E-03	7.58E-04	2.01E-01	5.01E-04	1.02E-03
10-3 #5	4.36E-02	1.81E-02	3.60E-03	1.00E-03	2.22E-01	5.58E-04	3.66E-04
10-3 #6	1.18E-01	7.17E+00	6.19E-03	3.82E-03	1.94E-01	8.23E-04	1.47E-03
10-3 #7	1.30E-04	9.57E-06	3.38E-05	1.42E-06	3.97E-05	9.88E-07	1.94E-06
10-3 #8	1.07E-01	6.18E-02	1.94E-02	6.73E-03	4.00E-01	1.91E-03	2.68E-03
10-3 #9	4.42E+00	2.65E+01	4.02E+00	7.79E+00	1.86E+02	6.32E-01	9.78E-01
10-6 #1	7.00E-02	3.43E-02	2.07E-02	2.82E-03	2.75E-01	1.56E-03	6.66E-04
10-6 #2	4.79E-02	2.96E-02	7.94E-02	1.14E-03	4.73E-01	3.90E-04	4.99E-04
10-6 #3	7.63E-02	6.34E-02	2.87E-02	2.38E-03	4.12E-01	1.11E-03	1.46E-03
10-6 #4	1.37E-01	2.47E-02	6.71E-03	4.04E-03	2.01E-01	6.76E-04	9.42E-04
10-6 #5	1.07E-01	5.23E-02	4.52E-02	1.07E-03	3.65E-01	6.86E-04	5.80E-04
10-6 #6	1.05E-01	6.98E+00	4.22E-02	2.54E-03	1.13E-01	1.13E-03	4.02E-03
10-6 #7	7.57E-02	6.78E-02	1.02E-02	1.68E-03	2.13E-01	1.09E-03	3.80E-04
10-6 #8	4.50E-01	4.30E-01	1.83E-01	2.87E-02	2.76E-01	6.21E-03	1.12E-03
10-6 #9	3.88E+00	2.29E+01	3.00E+00	7.52E+00	2.00E+02	8.15E-01	9.12E-01
10-8 #1	5.63E-02	1.81E-02	2.26E-03	1.23E-03	1.88E-01	5.52E-04	6.58E-04
10-8 #2	5.39E-02	2.24E-02	3.15E-02	1.62E-03	5.14E-01	7.38E-04	3.24E-03
10-8 #3	5.69E-02	2.91E-02	4.67E-03	1.20E-03	2.13E-01	1.08E-03	5.55E-04
10-8 #4	1.77E-01	2.42E-02	5.15E-03	1.66E-03	3.63E-01	1.01E-03	8.77E-04
10-8 #5	1.20E-01	3.38E-02	2.06E-02	1.37E-03	2.17E-01	7.01E-04	7.11E-04
10-8 #6	1.60E-01	4.99E+00	1.60E-02	2.02E-03	2.11E-01	1.35E-03	9.42E-04
10-8 #7	1.15E-01	7.49E-02	7.29E-03	2.43E-03	1.66E-01	1.64E-03	8.89E-04
10-8 #8	4.08E-01	1.37E-01	4.82E-02	2.17E-02	1.87E-01	4.02E-03	1.54E-03
10-8 #9	3.30E+00	3.11E+01	3.10E+00	7.15E+00	2.01E+02	9.49E-01	5.16E-01

Table82_Continued

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
13-1 #1	7.72E-02	2.88E-02	3.40E-03	2.23E-03	2.75E-01	5.14E-04	9.40E-04
13-1 #2	5.41E-02	3.77E-02	2.72E-02	4.51E-03	5.52E-01	8.13E-04	4.05E-03
13-1 #3	6.61E-02	7.59E-02	1.01E-02	2.01E-03	2.57E-01	2.66E-03	9.94E-04
13-1 #4	5.90E-02	8.85E-03	3.68E-03	1.68E-03	2.68E-02	1.34E-03	1.41E-03
13-1 #5	1.03E-01	6.53E-02	7.01E-03	2.46E-02	1.27E-01	1.77E-03	3.32E-03
13-1 #6	1.57E-01	6.61E+00	1.28E-02	3.43E-02	2.10E-01	8.98E-03	5.42E-03
13-1 #7	1.29E-01	2.05E-01	9.63E-03	2.01E-02	1.79E-01	1.45E-02	1.24E-03
13-1 #8	9.18E-02	8.34E-02	9.98E-03	3.67E-02	2.02E-01	5.81E-03	3.53E-03
13-1 #9	1.99E+00	5.10E+01	1.12E+01	8.33E+00	1.64E+02	1.81E+00	1.09E+00
13-3 #1	7.99E-02	4.05E-02	1.66E-02	3.19E-03	3.16E-01	2.37E-03	4.51E-03
13-3 #2	9.04E-02	3.36E-02	2.55E-02	2.75E-03	6.62E-01	8.61E-04	8.22E-04
13-3 #3	6.41E-02	8.32E-02	1.78E-02	3.21E-03	2.56E-01	1.14E-03	1.18E-03
13-3 #4	1.48E-01	3.14E-02	6.70E-03	2.11E-03	1.50E-01	8.64E-04	1.04E-03
13-3 #5	7.84E-02	3.42E-02	3.50E-03	1.23E-03	1.96E-01	5.57E-04	3.66E-04
13-3 #6	1.22E-01	6.65E+00	1.11E-02	1.81E-02	1.14E-01	6.71E-03	3.58E-03
13-3 #7	1.33E-01	1.04E-01	8.87E-03	2.33E-02	1.42E-01	1.58E-02	1.49E-03
13-3 #8	9.93E-02	6.66E-02	1.35E-02	5.28E-02	1.55E-01	6.12E-03	3.50E-03
13-3 #9	5.50E+00	4.72E+01	9.25E+00	1.18E+01	1.40E+02	1.15E+00	3.55E+00
13-5 #1	7.25E-02	1.97E-02	6.08E-03	2.09E-03	9.14E-02	1.04E-03	1.38E-03
13-5 #2	8.46E-02	2.90E-02	6.86E-02	1.93E-03	5.14E-01	1.04E-03	1.38E-03
13-5 #3	5.55E-02	4.16E-02	7.10E-03	1.08E-03	2.01E-01	6.24E-04	6.13E-04
13-5 #4	1.11E-01	2.21E-02	6.42E-03	1.46E-03	1.24E-01	1.13E-03	7.50E-04
13-5 #5	6.63E-02	2.96E-02	3.18E-03	5.29E-04	6.37E-02	7.59E-04	1.74E-03
13-5 #6	1.34E-01	5.65E+00	1.31E-02	1.68E-02	2.12E-01	2.53E-03	2.44E-03
13-5 #7	9.73E-02	6.15E-02	8.17E-03	4.97E-03	1.09E-01	4.66E-03	8.45E-04
13-5 #8	7.23E-02	2.79E-02	5.41E-03	1.69E-02	7.54E-02	3.28E-03	2.39E-03
13-5 #9	6.61E+00	6.64E+01	8.13E+00	1.24E+01	3.30E+02	1.07E+00	3.83E+00
13-7 #1	8.20E-02	1.08E-01	1.22E-02	1.58E-03	4.54E-01	1.14E-03	1.51E-03
13-7 #2	9.20E-02	4.42E-02	1.24E-01	3.66E-03	5.00E-01	1.43E-03	1.58E-03
13-7 #3	6.31E-02	5.79E-02	1.49E-02	1.65E-03	2.62E-01	9.21E-04	1.01E-03
13-7 #4	8.94E-02	2.38E-02	9.29E-03	1.59E-03	1.56E-01	1.13E-03	1.17E-03
13-7 #5	4.67E-02	2.68E-02	2.52E-03	9.15E-04	1.34E-01	5.08E-04	3.51E-04
13-7 #6	5.18E-02	3.48E+00	4.03E-03	1.01E-03	1.41E-01	6.16E-04	4.48E-04
13-7 #7	7.85E-02	6.61E-02	7.12E-03	1.96E-03	8.94E-02	1.35E-03	9.22E-04
13-7 #8	7.18E-02	2.67E-02	6.87E-03	8.60E-03	7.85E-02	1.11E-03	5.98E-03
13-7 #9	5.19E+00	4.52E+01	5.55E+00	6.74E+00	2.05E+02	7.78E-01	1.87E+00

Table83 Result of extraction experiment. Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(The main island of Okinawa : Alkaline sampl

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
18-3 #1	8.03E-02	4.69E-02	1.32E-02	1.55E-01	6.45E-01	3.53E-03	1.38E-02
18-3 #2	6.73E-02	7.66E-02	1.04E-01	1.59E-01	1.96E+00	1.87E-03	1.51E-02
18-3 #3	8.33E-02	1.48E-01	5.91E+00	7.42E-03	1.56E+00	1.16E-03	1.94E-03
18-3 #4	1.27E-01	6.07E-02	2.21E+00	1.54E-01	1.09E+00	3.08E-03	1.22E-02
18-3 #5	7.63E-02	1.07E-01	6.80E-01	8.28E-03	4.43E-01	3.33E-03	2.71E-03
18-3 #6	3.65E-01	5.94E+00	6.34E-01	9.57E-03	8.61E-02	1.00E-02	5.92E-03
18-3 #7	1.39E-01	7.68E-02	3.00E-01	4.35E-02	2.18E-01	6.12E-03	4.07E-03
18-3 #8	1.22E-01	1.24E-01	1.75E-01	3.58E-02	2.10E-01	5.93E-03	1.78E-03
18-3 #9	1.73E+01	1.91E+02	3.56E+01	2.57E+01	4.07E+02	1.92E+00	5.64E+00
18-4 #1	6.73E-02	4.58E-02	1.29E-02	1.45E-01	5.60E-01	2.32E-03	1.23E-02
18-4 #2	4.01E-02	1.01E-01	1.08E+00	4.13E-03	1.66E+00	2.09E-03	2.16E-03
18-4 #3	3.04E-02	1.23E-01	4.08E+00	2.57E-03	1.31E+00	1.57E-03	5.34E-03
18-4 #4	2.44E-01	5.63E-02	1.10E+00	6.48E-03	4.00E-01	1.59E-03	4.29E-03
18-4 #5	9.85E-02	8.63E-02	3.77E-01	2.85E-03	1.93E-01	1.59E-03	2.72E-03
18-4 #6	1.51E-01	5.54E+00	4.02E-01	8.16E-03	1.13E-01	8.39E-03	8.35E-03
18-4 #7	1.35E-01	4.96E-02	1.71E-01	2.61E-02	1.83E-01	4.53E-03	3.67E-03
18-4 #8	1.44E-01	1.73E-01	1.71E-01	3.57E-02	2.62E-01	5.79E-03	2.82E-03
18-4 #9	1.67E+01	1.84E+02	3.64E+01	2.39E+01	4.08E+02	1.81E+00	4.78E+00
18-5 #1	6.28E-02	3.38E-02	1.53E-02	1.54E-01	6.77E-01	1.71E-03	1.16E-02
18-5 #2	5.78E-02	4.81E-02	2.05E-02	7.16E-02	1.63E+00	1.09E-03	7.91E-03
18-5 #3	4.42E-02	7.29E-02	1.17E+00	6.70E-02	1.44E+00	1.08E-03	7.38E-03
18-5 #4	7.94E-02	2.75E-02	1.37E-01	2.12E-03	1.68E-01	5.30E-04	6.50E-04
18-5 #5	9.73E-02	6.51E-02	7.24E-02	2.99E-03	2.62E-01	7.60E-04	1.22E-03
18-5 #6	2.40E-01	4.83E+00	9.58E-02	3.72E-03	1.61E-01	4.10E-03	2.75E-03
18-5 #7	1.09E-01	5.47E-02	3.21E-02	1.24E-02	1.55E-01	2.16E-03	2.28E-03
18-5 #8	7.39E-02	1.27E-01	3.54E-02	1.95E-02	1.53E-01	2.69E-03	3.29E-03
18-5 #9	1.12E+01	1.18E+02	2.16E+01	2.22E+01	2.89E+02	1.53E+00	3.99E+00
18-6 #1	8.63E-02	5.31E-02	7.80E-03	2.12E-03	1.40E-01	8.28E-04	1.69E-03
18-6 #2	8.63E-02	5.31E-02	7.80E-03	2.12E-03	1.40E-01	8.28E-04	1.69E-03
18-6 #3	7.08E-02	1.06E-01	1.17E+00	1.76E-03	1.16E+00	6.99E-04	1.60E-03
18-6 #4	1.83E-01	5.65E-02	5.63E-01	2.47E-03	5.34E-01	9.45E-04	1.09E-03
18-6 #5	1.66E-01	1.01E-01	1.60E-01	2.93E-03	4.81E-01	6.68E-04	1.35E-03
18-6 #6	1.48E-01	4.59E+00	4.80E-02	3.60E-03	1.87E-01	1.70E-03	1.93E-03
18-6 #7	9.87E-02	5.16E-02	5.49E-02	2.23E-02	1.61E-01	3.79E-03	3.75E-03
18-6 #8	9.07E-02	1.31E-01	4.57E-02	4.00E-02	1.97E-01	5.08E-03	3.03E-03
18-6 #9	1.23E+01	1.44E+02	2.64E+01	3.03E+01	3.47E+02	1.99E+00	6.49E+00
18-7 #1	7.18E-02	2.39E-02	7.01E-03	1.43E-03	9.91E-02	8.32E-04	1.04E-03
18-7 #2	4.81E-02	4.75E-02	2.71E-02	1.53E-01	1.63E+00	2.30E-03	1.39E-02
18-7 #3	6.84E-02	8.78E-02	1.42E+00	2.55E-03	9.52E-01	5.59E-04	2.73E-03
18-7 #4	8.50E-02	5.45E-02	7.35E-01	2.09E-03	5.71E-01	6.89E-04	1.17E-03
18-7 #5	1.21E-01	9.86E-02	3.14E-01	1.69E-03	1.22E+00	7.96E-04	9.74E-04
18-7 #6	4.88E-01	5.64E+00	2.05E-01	1.38E-02	2.31E-01	3.75E-03	1.99E-03
18-7 #7	1.19E-01	6.56E-02	8.54E-02	2.42E-02	1.88E-01	4.31E-03	4.77E-03
18-7 #8	7.22E-02	1.59E-01	3.76E-02	4.10E-02	2.24E-01	6.80E-03	2.81E-03
18-7 #9	1.12E+01	1.29E+02	2.51E+01	3.08E+01	3.54E+02	2.05E+00	6.95E+00

Table83 Continued

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
19-1 #1	4.83E-02	2.39E-02	4.70E-03	4.43E-03	6.48E-02	1.84E-03	4.86E-03
19-1 #2	4.76E-02	2.76E-02	8.31E-03	6.80E-02	7.42E-01	1.16E-03	7.63E-03
19-1 #3	3.64E-02	2.57E-02	3.38E-03	5.31E-03	2.19E-01	1.46E-03	4.60E-03
19-1 #4	5.14E-02	3.35E-02	3.97E-01	4.44E-03	2.64E-01	2.56E-03	7.10E-03
19-1 #5	4.67E-02	2.26E-02	8.56E-02	2.03E-01	1.15E+00	1.64E-03	1.62E-02
19-1 #6	6.51E-02	6.05E+00	3.18E-02	1.61E-01	6.43E-01	1.51E-03	1.57E-02
19-1 #7	6.96E-02	2.65E-02	1.84E-02	2.20E-03	1.08E-01	9.92E-04	1.56E-03
19-1 #8	4.71E-02	5.79E-02	5.58E-03	1.07E-02	5.74E-02	9.42E-04	3.46E-03
19-1 #9	8.59E-01	1.55E+00	1.68E+00	3.67E-01	6.64E+00	3.54E-02	3.73E-02
19-3 #1	4.64E-02	1.95E-02	1.10E-02	1.51E-01	5.96E-01	1.22E-03	9.55E-03
19-3 #2	5.44E-02	2.24E-02	1.10E-02	1.56E-01	8.92E-01	1.42E-03	1.78E-02
19-3 #3	5.99E-02	2.40E-02	9.99E-03	4.87E-03	2.41E-01	2.78E-03	5.47E-03
19-3 #4	3.04E-02	8.34E-03	1.12E-01	8.93E-04	1.44E-01	8.52E-04	4.46E-03
19-3 #5	3.06E-02	1.97E-02	4.18E-02	2.43E-03	8.63E-02	1.20E-03	3.28E-03
19-3 #6	4.61E-02	6.37E+00	2.29E-02	7.67E-03	1.27E-01	1.68E-03	5.48E-03
19-3 #7	7.39E-02	2.53E-02	9.70E-03	4.18E-03	1.03E-01	8.73E-04	1.61E-03
19-3 #8	4.59E-02	5.21E-02	4.98E-03	8.42E-03	1.17E-01	7.46E-04	2.49E-03
19-3 #9	2.77E+00	2.51E+01	6.74E+00	3.55E+00	8.68E+01	2.44E-01	7.82E-01
19-6 #1	3.17E-02	2.41E-02	2.97E-03	2.90E-03	6.49E-02	1.78E-03	3.65E-03
19-6 #2	4.21E-02	3.79E-02	6.56E-03	4.32E-03	5.10E-01	1.10E-03	4.61E-03
19-6 #3	3.52E-02	3.08E-02	4.35E-03	2.85E-03	3.29E-01	1.54E-03	2.88E-03
19-6 #4	5.31E-02	3.34E-02	4.64E-01	4.32E-03	4.48E-01	1.05E-03	3.72E-03
19-6 #5	2.72E-02	2.43E-02	9.79E-02	1.04E-03	1.30E-01	1.34E-03	3.97E-03
19-6 #6	6.15E-02	6.26E+00	4.18E-02	6.24E-03	1.08E-01	2.01E-03	2.70E-03
19-6 #7	7.35E-02	3.30E-02	8.15E-03	5.99E-03	1.20E-01	9.24E-04	2.61E-03
19-6 #8	4.56E-02	7.86E-02	7.38E-03	1.27E-02	1.59E-01	1.23E-03	2.83E-03
19-6 #9	3.38E+00	3.47E+01	1.11E+01	5.24E+00	9.89E+01	4.00E-01	6.76E-01

Table84 Result of extraction experiment. Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(Hawaii Islands sample)

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
H1-1 #1	5.21E-02	1.04E-01	1.26E-01	1.04E-02	1.09E+02	2.98E-03	4.19E-03
H1-1 #2	4.38E-02	2.57E-02	1.59E-02	1.30E-03	5.25E-01	1.73E-03	1.49E-03
H1-1 #3	3.36E-02	2.81E-02	1.92E-02	8.47E-04	2.19E-01	3.27E-04	3.37E-03
H1-1 #4	4.36E-02	4.40E-02	1.08E-02	2.09E-03	1.51E-01	2.66E-03	1.72E-03
H1-1 #5	4.82E-02	2.72E-02	7.37E-03	7.06E-04	4.55E-02	2.99E-03	2.25E-03
H1-1 #6	2.86E-01	6.10E+00	5.39E-02	9.44E-01	3.95E+00	3.08E-02	6.63E-02
H1-1 #7	1.08E-01	1.73E-01	1.64E-02	2.07E-02	1.20E-01	5.44E-03	2.05E-01
H1-1 #8	1.34E-01	6.83E-02	6.04E-02	6.48E-02	6.57E-01	1.11E-02	1.03E-02
H1-1 #9	2.09E+00	1.75E+01	3.17E+00	5.93E+00	5.30E+01	1.56E+00	1.52E+00
H1-4 #1	4.93E-02	3.98E-02	2.76E-03	1.58E-03	2.28E-01	1.05E-03	3.35E-03
H1-4 #2	4.64E-02	2.25E-02	1.16E-02	1.18E-03	4.87E-01	8.85E-04	1.50E-03
H1-4 #3	3.99E-02	4.43E-02	1.81E-02	1.86E-03	3.81E-01	7.30E-04	2.47E-03
H1-4 #4	4.65E-02	5.22E-02	8.62E-03	1.51E-03	3.68E-01	2.52E-03	2.08E-03
H1-4 #5	5.23E-02	4.77E-02	7.40E-03	1.06E-03	2.72E-01	2.16E-03	2.53E-03
H1-4 #6	1.74E-01	6.07E+00	4.78E-02	8.30E-02	8.42E-01	2.67E-02	1.46E-02
H1-4 #7	1.03E-01	1.17E-01	2.18E-02	1.85E-01	9.87E-01	5.47E-03	1.88E-02
H1-4 #8	1.42E-01	7.19E-02	5.63E-02	6.29E-02	6.42E-01	9.04E-03	1.12E-02
H1-4 #9	2.39E+00	9.52E+00	2.13E+00	4.49E+00	3.62E+01	1.27E+00	1.30E+00
H1-7 #1	4.24E-02	2.98E-02	2.98E-03	1.80E-03	7.97E-02	1.74E-03	2.35E-03
H1-7 #2	5.06E-02	3.77E-02	7.63E-03	6.48E-03	5.93E-01	8.23E-04	2.84E-03
H1-7 #3	3.16E-02	3.44E-02	1.79E-02	3.13E-03	2.21E-01	8.94E-04	2.18E-03
H1-7 #4	4.37E-02	5.21E-02	1.28E-02	4.82E-03	1.87E-01	1.05E-02	3.57E-03
H1-7 #5	4.20E-02	3.31E-02	8.36E-03	1.50E-03	5.13E-02	2.53E-03	1.81E-03
H1-7 #6	1.95E-01	5.41E+00	4.44E-02	4.01E-01	1.97E+00	2.19E-02	3.21E-02
H1-7 #7	7.35E-02	5.40E-02	1.68E-02	1.63E-01	5.78E-01	2.05E-03	1.33E-02
H1-7 #8	6.12E-02	3.59E-02	2.19E-02	3.88E-02	6.25E-01	4.36E-03	3.75E-03
H1-7 #9	1.52E+00	2.86E+00	8.38E-01	1.47E+00	8.76E+00	2.41E-01	3.49E-01
H1-10 #1	4.51E-02	2.89E-02	4.04E-03	3.77E-03	6.96E-02	2.37E-03	2.30E-03
H1-10 #2	4.19E-02	4.01E-02	1.11E-02	1.21E-03	6.09E-01	2.97E-03	1.80E-03
H1-10 #3	3.23E-02	2.57E-02	1.81E-02	1.34E-03	1.83E-01	6.34E-04	1.99E-03
H1-10 #4	4.37E-02	3.57E-02	9.16E-03	2.02E-03	1.91E-01	6.29E-03	2.53E-03
H1-10 #5	5.56E-02	2.17E-02	8.31E-03	2.72E-03	4.91E-02	9.73E-03	9.82E-03
H1-10 #6	1.87E-01	6.24E+00	5.55E-02	6.92E-02	1.08E+00	5.14E-02	1.95E-02
H1-10 #7	9.03E-02	1.23E-01	2.29E-02	9.37E-02	3.96E-01	9.80E-03	1.42E-02
H1-10 #8	9.35E-02	4.54E-02	3.84E-02	7.10E-02	4.59E-01	1.05E-02	4.80E-03
H1-10 #9	5.83E+00	5.37E+00	2.26E+00	4.88E+00	1.43E+01	7.31E-01	1.43E+00

Table84 Continued

sample No.	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
H4-1 #1	6.13E-02	2.04E-02	8.15E-03	5.96E-03	6.16E-02	7.54E-04	2.36E-03
H4-1 #2	6.75E-02	2.17E-02	4.09E-02	2.57E-03	4.87E-01	1.86E-03	2.17E-03
H4-1 #3	4.57E-02	8.59E-03	1.61E-02	2.29E-03	2.03E-01	8.00E-04	1.63E-03
H4-1 #4	6.66E-02	3.17E-02	2.70E-02	5.91E-03	1.81E-01	6.45E-03	8.57E-03
H4-1 #5	6.42E-02	1.82E-02	2.70E-02	1.51E-03	6.07E-02	5.37E-03	1.89E-03
H4-1 #6	2.73E-01	6.51E+00	4.68E-02	4.62E-02	1.10E+00	3.22E-02	1.72E-02
H4-1 #7	9.45E-02	1.85E-01	2.16E-02	3.19E-02	4.90E-01	8.10E-03	9.34E-03
H4-1 #8	2.12E-01	9.25E-02	3.43E-02	4.82E-02	6.35E-01	1.56E-02	1.50E-02
H4-1 #9	8.13E+00	4.95E+00	1.49E+00	1.06E+01	1.63E+01	1.23E+00	2.71E+00
H4-3 #1	7.32E-02	3.05E-02	3.53E-02	2.42E-03	1.71E-01	3.43E-03	3.21E-03
H4-3 #2	1.14E-01	1.93E-02	2.67E-01	8.45E-04	1.35E+00	8.03E-03	2.48E-03
H4-3 #3	1.21E-01	1.51E-02	3.17E-02	1.07E-03	1.11E-01	5.51E-03	3.02E-03
H4-3 #4	1.38E-01	1.42E-02	1.07E-02	2.06E-03	4.82E-02	1.40E-02	3.23E-03
H4-3 #5	5.63E-02	4.46E-02	2.78E-01	8.49E-03	4.62E-01	2.97E-03	3.73E-03
H4-3 #6	4.05E-01	6.22E+00	5.05E-02	4.82E-02	4.01E-01	4.48E-02	1.32E-02
H4-3 #7	1.75E-01	2.50E-01	3.62E-02	6.17E-02	2.61E-01	5.11E-02	2.12E-02
H4-3 #8	1.89E-01	4.31E-02	2.52E-02	5.23E-02	4.14E-01	2.20E-02	4.15E-03
H4-3 #9	1.23E+01	1.79E+00	1.13E+00	6.59E+00	8.58E+00	1.42E+00	1.73E+00
H4-4 #1	6.09E-02	1.91E-02	2.97E-02	1.15E-03	1.13E-01	1.48E-03	1.60E-03
H4-4 #2	1.03E-01	2.94E-02	7.76E-01	1.35E-03	1.21E+00	6.50E-03	2.93E-03
H4-4 #3	4.68E-02	2.27E-02	2.11E-01	9.73E-04	2.42E-01	8.55E-04	1.98E-03
H4-4 #4	1.94E-01	3.29E-02	1.48E-01	1.33E-03	5.04E-01	7.59E-03	2.68E-03
H4-4 #5	4.87E-02	4.76E-02	1.53E-02	2.18E-03	3.39E-01	3.05E-03	3.08E-03
H4-4 #6	4.07E-01	6.17E+00	5.69E-02	6.27E-02	2.21E-01	5.77E-02	1.61E-02
H4-4 #7	1.48E-01	1.96E-01	6.71E-02	9.98E-02	7.91E-01	3.78E-02	1.40E-02
H4-4 #8	1.76E-01	3.65E-02	4.02E-02	8.97E-02	2.97E-01	1.97E-02	7.57E-03
H4-4 #9	4.23E+00	2.04E+00	9.11E-01	1.99E+00	1.18E+01	1.64E+00	5.62E-01

Table69 Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(Hadano samples)

sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
A-1	30	30.14	10.26	21.76	2.04	194.70	2.60	0.13
A-2	40	35.33	11.80	23.50	2.41	209.50	3.05	0.16
A-3	50	37.14	6.07	24.36	2.38	201.10	3.16	0.17
A-4	60	35.97	5.01	23.38	2.27	206.30	3.04	0.17
A-5	70	38.59	4.39	21.88	2.08	272.60	3.01	0.14
A-6	80	34.76	4.22	20.37	1.85	215.00	2.81	0.11
A-7	90	27.53	4.24	16.17	1.49	152.90	2.11	0.10
A-8	100	39.86	4.34	23.86	2.21	235.80	2.95	0.15
A-9	110	43.60	5.38	17.57	2.76	243.30	3.52	0.17
A-10	120	42.47	4.06	15.81	2.92	196.80	3.66	0.19
A-11	130	33.42	3.20	19.21	2.21	193.80	2.87	0.20
A-12	140	38.00	3.52	20.89	2.77	193.90	3.67	0.30
A-13	150	43.53	4.09	16.91	5.03	218.20	4.63	0.54
A-14	160	28.55	4.97	19.68	2.69	188.10	3.11	0.22
A-15	170	20.68	4.40	16.12	1.86	155.10	2.44	0.13

sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
B-1	30	33.37	4.76	20.80	2.32	179.50	2.78	0.17
B-2	40	31.08	7.46	22.65	2.19	191.80	2.70	0.17
B-3	50	28.04	3.20	16.87	2.25	182.50	2.76	0.18
B-4	60	29.38	2.30	13.43	2.14	167.90	2.59	0.12
B-5	70	25.29	4.65	19.29	2.12	157.90	2.35	0.13
B-6	80	24.80	4.25	16.91	1.98	112.20	2.22	0.12
B-7	90	23.00	2.03	15.52	1.70	70.46	2.49	0.12
B-8	100	31.56	1.93	13.90	2.87	45.37	2.66	0.20
B-9	110	26.17	1.42	10.80	2.87	39.79	2.56	0.15
B-10	120	28.93	2.28	18.09	1.80	97.94	2.45	0.13
B-11	130	36.57	1.45	14.60	2.03	146.40	2.55	0.11
B-12	140	28.33	1.72	16.55	1.94	211.60	2.71	0.15
B-13	150	33.18	2.47	16.81	2.14	266.10	2.61	0.12

Table70 Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(Hiratsuka samples)

sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
1	30	30.14	10.26	21.76	2.04	194.70	2.60	0.13
2	90	40.85	10.17	65.44	1.35	280.50	8.32	0.11
3	240	23.53	11.16	49.81	1.38	336.70	12.34	0.12
4	500	40.63	8.95	42.74	1.79	276.30	9.69	0.14
5	530	33.16	11.96	36.07	1.50	288.50	9.50	0.12
6	590	34.88	11.22	53.42	1.84	354.80	16.02	0.15
7	650	42.43	11.07	33.74	1.98	221.60	10.03	0.16
8	690	46.02	6.44	32.03	1.04	198.70	7.99	0.09
9	820	33.10	12.83	39.80	1.16	358.20	7.48	0.09
10	840	34.54	12.50	47.17	1.44	345.50	9.34	0.12
11	920	31.27	11.90	38.94	1.35	283.40	7.83	0.11
12	990	31.70	10.88	27.05	0.86	239.70	3.98	0.03

Table71 Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(Akagi samples)

sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
A 1-1	10	9.91	6.91	12.52	2.35	105.73	3.09	0.08
A 1-2	20	5.48	24.07	9.67	5.06	128.12	3.00	0.33
A 1-3	30	7.93	7.96	12.40	4.04	82.99	1.62	0.17
A 1-4	40	6.17	6.73	9.30	3.13	84.25	1.86	0.36
A 1-5	50	6.40	6.23	8.89	3.07	90.02	3.26	0.04
A 1-6	60	6.24	5.22	7.99	2.44	62.46	3.30	0.08
A 1-7	70	6.28	5.57	8.51	2.44	71.12	2.50	0.07
A 1-8	80	7.66	8.89	12.44	4.23	85.12	1.76	0.81
A 1-9	90	6.05	7.61	10.25	3.61	88.71	3.18	0.72
A 1-10	100	6.74	7.54	11.35	3.75	77.94	3.05	0.50
A 1-11	110	6.84	7.96	10.85	3.74	73.58	3.10	0.36
A 1-12	120	8.44	6.32	11.39	2.32	95.92	3.15	0.04
A 1-13	130	5.28	6.88	9.36	3.31	96.15	3.23	0.54
A 1-14	140	5.96	7.83	9.27	3.14	101.15	2.60	0.13
A 1-15	150	7.41	9.26	11.40	2.82	98.54	2.92	0.17
A 1-16	160	7.37	9.48	11.29	4.02	113.44	2.33	0.20
A 1-17	180	6.80	8.83	10.25	4.26	122.13	3.00	1.53
A 1-18	200	6.37	7.85	10.34	4.23	143.64	2.08	1.47
A 1-19	220	6.65	5.81	9.71	2.44	96.24	3.13	0.09
A 1-20	240	7.00	8.77	11.70	3.63	87.96	3.03	0.20
sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
B 2-1	20	5.42	5.90	8.77	3.59	585.78	3.01	0.98
B 2-2	40	2.05	45.75	9.88	4.34	150.78	3.31	0.62
B 2-3	60	5.60	4.80	7.92	2.73	60.19	3.33	0.14
B 2-4	80	4.88	5.34	7.56	2.54	64.87	3.30	0.12
B 2-5	100	4.24	6.18	8.23	3.15	149.64	3.25	0.08
B 2-6	120	5.50	6.88	9.45	3.46	77.32	3.14	0.46
B 2-7	140	6.68	7.75	11.04	3.85	83.25	2.10	0.33
B 2-8	160	6.99	8.53	11.48	4.02	84.80	2.72	0.45
B 2-9	190	6.12	7.62	10.10	3.82	93.24	3.05	1.23
B 2-10	210	6.53	7.04	10.19	3.09	122.38	3.14	0.08

Table72 Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(Hachijyo Island samples(Basalt))

sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
1-1		7.38	5.66	10.44	2.32	86.66	3.19	0.05
1-2		4.17	18.08	8.28	4.30	103.56	3.13	0.29
1-3		9.04	3.38	12.16	2.43	58.84	3.32	0.13
1-4 lava		9.53	3.23	12.52	2.41	59.70	3.33	0.13
1-5 fresh lava		9.61	3.25	12.55	2.40	60.41	3.32	0.10
1'-1		7.80	3.49	10.74	2.35	55.33	3.32	0.07
1'-2		7.86	3.33	10.87	2.36	54.35	3.32	0.11
1'-3		9.09	3.00	9.35	2.31	46.44	3.40	0.06
2-1		8.76	3.04	9.51	2.33	47.28	3.40	0.06
2-2		9.14	2.97	9.74	2.26	46.79	3.40	0.03
2-3		7.56	3.32	10.68	2.27	53.60	3.33	0.03
3 clay		7.45	3.38	10.68	2.32	55.46	3.33	0.04
4-1		6.59	5.36	9.79	2.31	79.70	3.23	0.04
4-2		10.17	2.92	10.93	2.28	48.83	3.37	0.03
4-3		7.40	3.31	10.54	2.34	53.79	3.33	0.09
4-4		8.02	3.38	10.99	2.35	54.94	3.33	0.09
4 rock		23.67	0.81	19.66	1.88	73.47	1.26	0.20
5-1		7.73	3.61	11.57	2.38	57.68	3.30	0.11
5-2		7.73	3.38	10.91	2.28	54.80	3.34	0.03
6-1		25.87	5.57	21.92	2.77	93.47	1.48	0.26
6-2		33.77	5.24	37.58	0.30	110.95	0.94	0.03
6-3		32.60	5.31	35.19	0.23	108.10	0.86	0.04
7-1	20	29.32	6.92	31.42	0.91	103.75	0.79	0.11
7-2	70	33.49	3.86	35.47	0.60	91.66	0.87	0.07
7-3	120	32.54	3.43	33.91	0.77	107.94	0.75	0.07
7-4	170	41.50	1.60	37.45	0.05	230.60	0.82	0.02
7-5	220	33.28	4.19	30.90	0.12	93.04	0.71	0.02
8 basalt lava		35.35	5.62	33.41	0.17	73.90	0.71	0.03
9-1		34.18	4.71	42.33	0.41	106.14	0.95	0.05
9-2		31.44	4.17	33.09	0.46	99.86	0.90	0.07
9-3		30.58	4.74	32.52	0.52	99.92	0.76	0.03

Table72 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
10-1	20	32.32	4.78	40.15	0.34	99.41	0.90	0.03
10-2	60	33.96	5.10	42.18	0.58	121.94	0.97	0.09
10-3	100	34.92	4.96	40.43	0.16	115.51	0.93	0.02
10-4	140	37.80	3.33	34.55	0.56	133.74	0.81	0.08
10-5	180	36.12	3.68	36.49	0.62	99.82	0.86	0.07
16-1		34.21	1.99	15.57	0.29	36.50	0.27	0.03
16-1'		38.33	1.62	21.18	0.17	43.04	0.35	0.02
16-2		35.37	1.84	14.32	0.21	36.13	0.27	0.02
16-3		37.40	1.76	14.95	0.23	35.12	0.28	0.03
17-1		9.92	1.67	7.19	0.08	37.32	1.15	0.02
17-2		10.63	1.70	6.66	0.09	43.98	1.39	0.01
17-3		2.11*10 ⁴	1.45*10 ³	1.9*10 ³	109.66	1.46*10 ³	4.07*10 ³	3.85*10 ³
18-1		37.59	0.52	26.30	0.12	44.16	0.54	0.03
18-2		36.88	0.50	27.77	0.21	76.15	0.56	0.02
18-3		35.65	0.67	22.61	0.32	215.18	0.51	0.03
19-1		39.17	2.24	25.75	0.25	114.93	0.55	0.04
19-2		35.31	1.57	16.92	0.13	40.59	0.33	0.03
20-1	0	1.96	8.22	22.19	0.00	120.74	2.09	0.04
20-2	20	5.76	8.21	22.45	0.00	120.85	2.08	0.38
20-3	70	8.22	8.25	22.79	0.00	122.00	2.08	0.05
20-4	90	3.06	8.23	22.29	0.00	122.02	2.09	0.03
20-5	110	12.62	8.74	23.29	0.91	126.60	2.10	0.35
20-6	130	3.53	8.45	22.65	0.00	121.67	2.09	0.04
20-7	150	4.22	9.04	22.52	0.44	130.27	2.10	0.19
20-8	170	9.62	10.63	23.78	0.71	134.91	2.13	0.29
20-9	190	8.74	8.95	23.36	0.21	129.88	2.13	0.13
20-10	210	8.45	8.73	23.41	0.11	128.00	2.10	0.07
20-11	230	3.97	8.24	22.54	0.09	124.28	2.09	0.09
20-12	250	4.17	8.39	22.20	0.26	129.44	2.09	0.39
20-13	270	8.86	8.37	23.07	0.28	123.67	2.09	0.18
20-14	290	4.08	8.28	22.67	0.01	124.92	2.10	0.07
20-15	310	6.24	8.35	22.97	0.00	125.52	2.09	0.03
20-16	330	3.46	8.27	22.60	0.01	122.01	2.09	0.04

Table72 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
22-1		41.29	1.44	24.48	1.94	94.51	1.29	0.21
22-2		36.88	0.00	23.76	1.87	102.16	1.08	0.21
22-3		35.30	1.04	29.61	2.01	110.65	1.28	0.22
23-1		44.03	5.45	30.40	2.67	109.82	1.95	0.24
23-2		35.53	1.56	28.57	2.15	90.16	1.44	0.23
23-3		33.78	10.36	41.53	2.83	154.55	2.87	0.25
30 rock		33.03	0.00	15.80	1.83	44.38	0.61	0.20
30-1		36.05	0.00	16.78	1.84	49.83	0.74	0.20
30-2		34.91	0.00	17.94	1.93	60.29	0.75	0.22
30-3		29.75	0.00	15.79	1.88	45.17	0.65	0.21
30-4		32.39	0.00	17.14	1.91	61.27	0.77	0.22
30-5		35.77	0.00	22.75	2.00	36.30	0.98	0.21
30-6		30.70	0.64	21.29	2.03	45.17	1.10	0.22
30-7		29.10	0.25	17.70	2.16	56.09	0.89	0.22
35-1		33.13	0.00	21.02	1.93	112.96	1.12	0.21
35-2		34.38	0.29	20.49	1.88	49.08	1.16	0.21
35-3		31.52	0.00	19.06	1.91	44.08	1.00	0.21
35-4		30.30	0.24	18.82	2.13	39.84	1.06	0.23
37-1		36.26	0.00	21.09	1.84	31.98	0.91	0.20
37-2		31.72	0.32	23.14	1.89	57.48	1.06	0.21
37-3		30.04	0.24	20.65	1.88	63.53	1.06	0.21
37-4		25.72	1.63	22.70	1.92	88.12	1.36	0.21
38-1		24.69	0.52	21.09	1.90	65.96	1.15	0.21
38-2		27.39	1.54	22.51	1.86	96.13	1.11	0.21
38-3		26.83	0.22	21.09	1.85	70.17	1.21	0.20
39-1		24.14	1.21	20.10	1.99	76.08	1.32	0.21
39-2		21.97	0.65	18.74	1.90	69.01	1.18	0.20
40 rock		23.00	0.93	19.20	1.87	71.61	1.15	0.21
40-1		24.56	1.29	20.38	1.96	84.15	1.41	0.21
40-2		30.12	5.04	32.98	0.55	94.96	0.81	0.07
40-3		31.31	5.14	33.52	0.52	100.88	0.87	0.05
40-4		28.13	0.05	19.32	2.00	65.63	1.13	0.21
41-1	0	36.65	2.95	29.31	0.14	71.70	0.50	0.02
41-2	50	23.29	0.21	18.22	1.86	63.88	1.05	0.21
41-3	100	32.80	4.15	29.85	0.04	82.53	0.61	0.02
41-4	150	35.26	4.60	32.50	0.25	90.98	0.75	0.02
41-5	200	37.27	3.08	29.50	0.03	71.74	0.58	0.02
42-1	0	24.78	0.60	18.37	1.89	66.98	1.08	0.21
42-2	50	34.78	4.38	31.12	0.19	89.60	0.68	0.02
42-3	100	34.77	3.73	32.94	0.42	93.19	0.74	0.03
42-4	150	28.79	0.00	19.36	1.89	78.45	1.19	0.20
42-5	200	39.16	1.96	34.31	0.14	100.92	0.82	0.01
42-6	250	37.41	1.94	34.56	0.10	93.62	0.76	0.02
43-1		24.91	1.80	20.54	1.87	84.37	1.28	0.21
44-1		22.02	1.03	18.85	1.95	72.64	1.17	0.21
44-2		19.10	0.53	17.27	2.04	60.88	1.07	0.21
44-3		33.73	5.07	37.34	0.26	110.14	0.93	0.03
45-1	0	22.67	0.90	18.82	1.87	72.24	1.19	0.20
45-2	50	21.93	0.87	19.32	2.02	73.41	1.35	0.21
45-3	100	20.97	0.76	19.07	1.87	73.90	1.19	0.20
45-4	150	22.70	0.96	19.28	1.86	75.81	1.21	0.21
45-5 lava	200	32.75	7.65	54.71	0.34	153.78	0.94	0.05
45-6 ash+scoria	250	25.94	2.84	28.15	2.10	116.62	2.09	0.22
45-7	300	22.07	0.88	20.37	1.85	73.97	1.20	0.20
45 rock		26.14	3.18	28.17	2.06	117.61	1.80	0.22
46-1		22.95	0.99	19.63	1.92	73.05	1.31	0.20
46-2		25.63	1.34	21.09	1.90	81.10	1.37	0.21
46-3		25.83	2.38	26.17	1.95	100.99	1.81	0.22

Table73 Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(Hachijyo Island samples(Andesite)

sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
11-1		29.22	2.52	27.16	0.42	64.94	0.65	0.06
11-2		33.52	2.72	29.81	0.47	69.07	0.64	0.04
12-1		30.47	9.56	34.83	1.29	86.40	0.90	0.16
12-2		43.20	2.64	26.05	0.51	34.50	0.89	0.04
12-3		44.63	2.11	33.16	0.18	39.84	0.73	0.04
12-4		42.84	2.01	39.38	2.64	66.50	0.75	0.06
13-1		30.68	0.66	10.18	0.06	21.14	0.23	0.02
13-2		34.44	0.59	14.20	0.18	17.84	0.28	0.03
13-3		37.76	1.07	15.60	0.17	27.34	0.32	0.02
14-1		34.15	3.48	15.97	0.73	72.23	0.69	0.09
14-2		36.44	2.13	19.90	0.56	54.21	0.69	0.09
14-3		38.68	2.72	34.28	0.49	100.53	0.66	0.07
15-1		38.06	3.29	36.31	0.21	79.84	0.87	0.02
15-2		35.98	3.65	40.74	0.30	103.07	0.90	0.02
15-3		43.10	1.99	34.14	0.12	65.40	0.61	0.02
21-1		41.50	1.98	29.40	0.16	76.47	0.49	0.03
21-2		36.91	3.20	28.90	0.34	74.34	0.99	0.03
21-3		41.17	3.38	34.68	0.83	62.84	0.77	0.09
24-1		40.48	2.52	23.25	2.26	108.90	1.44	0.22
24-2		39.42	9.39	24.13	2.68	140.92	1.46	0.25
24-3		43.46	10.12	24.52	2.05	108.19	1.31	0.22
25		33.55	2.38	23.13	2.41	97.54	1.57	0.24
25 rock		29.03	1.10	21.64	1.87	84.47	1.23	0.21
26		26.73	2.50	18.87	2.37	93.96	1.06	0.24
26 rock		33.81	0.00	14.01	1.88	41.15	0.64	0.21
27-1	50	35.08	1.12	20.22	1.90	76.05	1.05	0.21
27-2	100	34.74	0.99	21.99	2.05	70.21	1.26	0.21
27-3	150	32.04	1.82	21.87	2.22	104.09	1.37	0.22
27-4	200	35.69	1.16	22.13	2.13	101.10	1.27	0.21
27-5	250	31.25	1.59	20.27	2.14	89.18	1.16	0.21

Table73 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
28-1		32.29	0.38	20.02	1.89	69.34	1.08	0.21
28-2		34.92	0.00	21.25	1.96	70.31	1.16	0.21
28-3		33.15	0.16	21.28	2.07	73.78	1.28	0.22
28-4		29.00	0.43	20.72	1.96	65.80	1.26	0.21
29-1		32.18	0.65	21.45	2.32	50.24	1.19	0.24
29-2		30.74	0.82	19.89	2.23	57.18	1.12	0.23
29-3		29.42	1.31	17.82	1.87	73.62	0.80	0.21
31-1		30.49	2.48	19.09	1.87	58.65	0.92	0.21
31-2		31.88	0.00	19.30	1.97	55.08	1.01	0.21
31-3		26.16	0.00	19.86	1.90	47.61	1.08	0.21
31-4		30.75	0.00	25.08	2.05	86.59	1.65	0.21
32-1	0	37.29	0.00	18.58	1.89	61.80	0.77	0.21
32-2	50	30.70	0.00	17.95	1.86	46.88	0.89	0.20
32-3	100	30.09	0.00	21.22	1.87	79.83	1.24	0.21
32-4	120	32.38	0.00	16.53	1.99	32.51	0.82	0.21
32-5	170	31.27	0.89	19.39	2.03	62.94	1.06	0.21
33		22.90	1.13	17.75	2.00	70.40	1.28	0.21
33 rock weathering		24.57	0.89	16.72	2.05	72.59	2.13	0.22
33 rock fresh		30.83	4.29	23.16	0.25	84.38	0.65	0.04
34-1		31.03	2.08	21.02	2.37	48.64	1.25	0.24
34-2		27.41	0.69	20.30	1.91	124.46	1.01	0.20
34-3		36.21	0.00	20.18	1.88	41.31	0.93	0.21
34-4		31.15	1.29	21.40	1.98	58.32	1.05	0.21
36-1		22.64	0.00	14.55	1.92	39.14	0.83	0.21
36-2		23.76	19.09	20.64	1.98	109.61	1.26	0.21
36-3		23.34	4.59	17.83	1.93	64.60	0.97	0.21
47-1		23.30	0.26	20.45	1.86	71.34	1.15	0.20
47-2		24.94	0.26	20.75	1.90	71.08	1.17	0.21
47-3		29.22	0.00	19.21	1.87	61.60	0.85	0.20

Table74 Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(The main island Okinawa and Ishigaki Island samples in acidic so

sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
1-1		20.19	125.13	19.74	13.72	291.77	1.87	0.30
1-2		17.06	115.41	18.09	0.70	239.26	1.82	0.29
1-3		17.25	121.88	18.69	11.61	236.92	1.76	0.26
2-1		18.99	102.94	16.47	15.65	254.19	1.85	0.30
2-2		20.50	99.38	19.25	16.16	276.74	1.95	0.31
3-1	20	18.42	138.29	17.46	12.50	510.61	2.43	0.41
3-2	30	18.29	147.52	19.37	12.27	601.70	2.87	0.46
3-3	40	3.81	105.62	49.22	11.62	170.00	4.38	0.66
3-4	50	1.80	2.62	3.66	0.46	31.83	0.31	0.05
3-5	60	17.03	124.77	16.13	10.42	553.62	2.12	0.33
3-6	70	2.89	22.17	6.41	1.81	84.22	0.61	0.09
3-7	80	3.34	173.42	38.73	9.55	376.92	3.64	0.58
3-8	90	2.94	66.47	11.92	0.56	72.70	0.65	0.09
3-9	100	3.75	85.15	26.38	9.25	140.94	2.74	0.44
3-10	110	16.29	152.75	13.64	11.03	501.51	2.01	0.32
3-11	120	57.78	52.60	44.48	2.29	188.70	5.31	0.74
3-12	130	14.17	40.30	11.16	5.67	129.98	1.48	0.19
3-13	140	15.54	115.94	13.29	11.24	365.81	2.00	0.31
3-14	150	15.89	131.32	13.11	10.41	348.97	1.70	0.28
4-1		8.65	89.76	23.26	12.36	485.86	1.71	0.26
4-2		7.85	79.18	32.55	12.10	464.25	2.35	0.35
5-1		20.98	106.84	30.41	2.54	334.76	2.89	0.42
5-2		15.84	101.41	57.76	10.23	288.27	4.31	0.64
5-3		20.30	89.47	38.17	11.12	277.53	3.70	0.55
6-1		11.39	134.13	16.31	12.63	275.41	2.02	0.29
6-2		19.98	176.16	20.55	11.04	446.64	2.36	0.38
6-3		15.26	139.70	21.06	13.60	536.39	2.22	0.36
7-1		16.16	119.70	36.14	7.10	346.47	3.28	0.46
7-2		23.82	195.24	47.77	11.64	572.46	4.22	0.65
7-3		18.16	140.98	44.62	12.24	393.81	3.38	0.49

Table74 Continued

sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
8-1	10.63	108.15	17.26	15.52	194.77	1.94	0.30	
8-2	14.71	149.22	29.54	14.64	796.96	2.26	0.32	
8-3	9.14	235.13	26.29	7.31	444.36	2.06	0.30	
8-4	12.89	84.97	14.37	9.68	125.34	1.50	0.60	
8-5	13.02	131.45	18.38	14.63	166.66	2.16	0.32	
10-1	9.50	10.46	1.34	1.33	33.73	0.18	0.10	
10-2	7.52	19.53	2.50	2.04	96.92	0.35	0.16	
10-3	11.16	28.83	4.23	2.10	95.70	0.51	0.20	
10-4	6.33	15.45	1.87	1.85	54.03	0.29	0.14	
10-5	6.04	15.12	1.59	1.77	50.27	0.26	0.14	
10-6	6.32	16.02	1.58	1.78	52.89	0.31	0.11	
10-7	8.96	6.73	1.34	0.90	25.20	0.23	0.07	
10-8	6.78	11.20	1.03	1.37	38.34	0.17	0.11	
11-1	24.43	65.43	16.80	17.59	171.20	4.13	1.40	
11-2	10.64	80.09	11.75	6.33	0.45	2.88	0.24	
11-3	5.30	15.38	4.15	4.41	35.69	1.01	0.33	
11-4	4.94	15.64	4.23	4.80	35.13	1.14	0.35	
11-5	8.05	21.27	5.59	4.67	51.00	1.15	0.36	
11-6	5.24	14.85	3.00	3.39	37.78	0.78	0.27	
11-7	9.03	26.45	5.06	2.25	72.50	0.87	0.26	
12-1	51.04	2.70	37.97	0.51	22.01	3.41	0.51	
12-2	47.60	2.73	35.83	1.21	17.23	3.32	0.50	
13-1	17.71	129.42	10.32	18.11	469.05	1.39	0.21	
13-2	15.52	115.85	12.17	10.83	502.93	1.60	0.25	
13-3	13.95	101.34	10.49	5.10	439.73	1.66	0.23	
13-4	15.05	85.33	12.18	15.22	270.68	1.37	0.21	
13-5	16.93	92.35	12.19	2.47	247.83	1.64	0.28	
13-6	20.29	109.47	14.80	25.12	336.45	2.17	0.33	
13-7	19.67	100.23	13.87	15.24	315.89	2.05	0.29	
14-1	5.68	88.35	7.41	4.26	459.27	0.75	0.11	
14-2	5.69	85.32	9.14	4.28	396.20	0.95	0.15	
21-1	19.40	71.89	72.62	160.05	1.40	3.47	3.47	
21-2	23.55	54.71	77.61	136.34	0.41	3.42	3.42	
21-3	23.54	98.78	77.40	212.29	3.22	3.57	3.57	
21-4	25.33	107.58	89.59	248.39	4.18	3.64	3.64	
21-5	26.98	285.68	115.55	185.95	7.76	3.52	3.52	
21-6	21.02	58.97	73.70	122.19	0.55	3.39	3.39	
21-7	20.66	59.74	73.00	130.55	0.93	3.40	3.40	
21-8	26.13	62.31	66.35	134.69	0.96	3.42	3.42	
21-9	26.64	57.45	75.10	131.29	0.60	3.41	3.41	
21-10	23.02	58.62	67.50	138.53	0.66	3.42	3.42	
22-1	40.82	147.95	34.91	173.06	1.58	3.49	3.49	
22-2	49.70	158.00	25.64	236.09	4.17	3.63	3.63	
22-3	50.33	153.11	27.40	177.86	1.82	3.50	3.50	
22-4	30.63	85.24	26.14	180.34	3.07	3.51	3.51	
22-5	46.91	117.54	23.79	182.99	1.83	3.51	3.51	
22-6	49.50	119.99	23.97	204.50	3.71	3.56	3.56	
22-7	45.49	98.31	25.93	144.00	1.20	3.43	3.43	

Table75 Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(The main island of Okinawa samples in alkaline soi)

sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
9-1		33.35	131.90	26.01	12.97	383.40	2.98	1.05
9-2		10.80	38.21	9.44	3.40	99.62	0.76	0.28
9-3		10.32	25.10	11.57	32.86	79.19	0.70	0.24
9-4		21.18	192.50	14.12	17.49	496.51	1.95	0.37
9-5		7.84	31.91	4.90	2.76	80.60	0.84	0.24
9-6		13.66	15.88	11.58	4.71	108.40	0.94	0.32
9-7		4.74	24.93	49.64	2.31	63.19	0.55	0.20
9-8		36.66	117.60	74.02	12.97	299.10	3.32	0.99
9-9		6.78	27.44	13.78	2.46	534.30	0.72	0.20
9-10		0.59	1.96	3.30	0.35	45.20	0.17	0.03
9-11		8.29	5.83	31.36	6.44	52.77	2.31	0.33
9-12		0.98	1.85	8.47	0.97	26.21	0.50	0.08
9-13		0.11	0.26	2.05	0.13	20.54	0.14	0.02
9-14		0.80	0.30	2.15	0.27	4.02	0.07	0.02
9-15		0.17	0.14	1.37	0.12	16.94	0.07	0.01
15-1		14.97	115.87	59.42	14.76	256.66	4.48	0.76
15-2		0.60	3.99	3.30	0.54	13.34	1.15	0.03
15-3		20.57	92.32	39.23	11.60	288.52	5.35	0.94
16		14.97	88.82	8.93	9.67	543.15	1.11	0.16
17-1		2.66	8.36	15.59	1.67	31.69	3.40	3.40
17-2		16.80	137.19	31.73	19.46	391.64	3.41	3.41
17-3		2.21	6.23	14.37	1.07	51.73	3.35	3.35
17-4		1.44	3.43	12.86	0.35	19.95	3.35	3.35
18-1	40	1.46	6.48	13.07	0.33	20.08	3.34	3.34
18-2	60	14.70	88.38	44.00	8.55	220.19	3.47	3.47
18-3	80	19.24	111.04	81.81	16.14	280.33	3.51	3.51
18-4	100	21.01	112.69	70.24	13.48	276.61	3.49	3.49
18-5	120	17.01	99.20	38.35	14.82	256.57	3.54	3.54
18-6	135	3.80	16.19	16.23	3.30	45.31	3.37	3.37
18-7	150	13.64	78.91	34.40	7.48	232.01	3.45	3.45
19-1	50	2.21	4.15	15.58	0.99	27.93	3.44	3.44
19-2	100	1.08	3.07	12.15	0.21	0.39	3.34	3.34
19-3	130	1.34	2.20	12.83	0.31	15.04	3.35	3.35
19-4	150	2.08	3.14	14.65	0.96	19.49	3.40	3.40
19-5	180	2.15	3.51	14.94	1.11	19.65	3.39	3.39
19-6	210	3.24	7.10	18.18	2.15	47.60	3.60	3.60
19-7	240	1.62	2.79	13.37	0.62	10.33	3.41	3.41
19-8	280	2.21	4.73	14.53	1.12	33.88	3.35	3.35
19-9	300	1.50	2.79	13.26	0.40	20.00	3.35	3.35
20-1		16.63	114.62	76.95	14.40	286.25	3.62	3.62
20-2		1.83	2.37	13.72	0.63	28.02	3.35	3.35

Table76 Concentration(ppm) of other elements analyzed by ICP-MS(Oahu and Hawaii Island samples)

sampleNo.	Depth(cm)	Sc	Rb	Y	Nb	Ba	Hf	Ta
H 1		24.82	3.46	24.67	5.51	93.02	3.40	1.08
H 1-1	0	18.39	38.03	9.69	21.25	109.03	5.55	1.90
H 1-2	50	16.54	40.70	10.09	8.21	117.77	4.74	1.23
H 1-3	100	15.92	41.02	8.87	13.89	117.43	4.37	1.53
H 1-4	150	15.24	33.52	8.31	16.37	98.68	5.09	1.66
H 1-5	200	11.65	30.02	6.95	4.40	91.48	3.50	1.03
H 1-6	250	12.51	28.55	6.80	3.76	88.98	4.14	1.00
H 1-7	300	12.31	28.77	6.93	9.56	88.74	4.28	1.30
H 1-8	400	12.69	26.63	5.80	9.50	78.80	4.25	1.32
H 1-9	450	15.37	23.48	6.08	11.84	74.75	4.60	1.47
H 1-10		11.31	9.80	4.41	12.12	43.84	3.99	1.46
H 2		21.13	2.88	20.36	8.29	94.01	3.21	1.24
H 2-1		14.71	30.22	6.56	12.50	91.49	4.44	1.41
H 2-2		12.27	8.76	3.92	10.44	41.60	4.42	1.38
H 3		15.27	2.97	14.58	5.24	57.70	2.78	1.01
H 4		16.17	2.79	14.67	3.82	55.38	2.59	1.01
H 4-1		12.30	6.83	3.40	6.11	42.21	3.93	1.12
H 4-2		20.68	2.18	2.94	8.47	40.18	4.43	1.24
H 4-3		20.96	2.23	4.87	6.58	39.73	4.66	1.14
H 4-4		18.60	3.09	10.09	7.30	40.01	4.19	1.19
H 4-4'		34.91	2.08	62.97	4.12	63.88	3.36	1.02
H 4-5		18.05	3.28	8.68	5.34	41.44	3.83	1.06
H 5-1		11.83	4.80	2.69	9.30	37.30	3.91	1.18
H 5-2		12.28	0.91	3.49	4.70	42.29	3.22	1.04
H 5-3		18.23	0.71	8.74	6.18	49.98	3.61	1.10
H 5-4		19.83	1.28	18.25	5.94	71.49	3.76	1.11
H 5-5		23.59	0.71	134.19	9.16	88.08	2.94	1.12
Rock A		17.44	1.66	3.55	6.70	31.49	3.22	1.07
Rock B		19.06	0.00	8.48	4.82	17.79	3.51	0.41
Keauhou lava weak weathering		15.54	9.87	15.26	7.94	162.67	1.98	0.65
Keauhou lava weathering		16.70	10.00	16.01	4.40	175.94	2.24	0.29
Keauhou lava hard weathering		10.78	9.93	10.47	12.76	139.98	2.53	1.36
Keauhou soil		16.04	9.16	15.48	3.42	157.52	2.16	0.26
Fresh		17.04	2.26	14.50	4.92	52.31	2.64	1.02
Oahu weathering rock A		12.32	1.48	498.22	5.07	67.16	2.64	1.10
Oahu weathering rock B		13.60	1.04	3.41	10.06	54.65	3.89	1.30
Oahu non-weathering rock		9.03	2.91	434.99	4.60	69.11	2.54	1.07