

思考状態推定に基づく
コミュニケーション支援

平成19年度

宮田 章裕

目次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景と目的	2
1.2 研究の概要	2
1.3 本論文の構成	3
第2章 コミュニケーションの進行と記録	5
2.1 コミュニケーションとは	6
2.2 非言語情報	8
2.2.1 非言語情報の分類	9
2.3 生体情報	11
2.3.1 生体情報の分類	11
2.3.2 脳波	12
2.4 コミュニケーションの進行支援に関する研究事例	20
2.4.1 SCACS	20
2.4.2 Montage	21
2.4.3 Hydra	22
2.4.4 cAR/Pe!	23
2.4.5 MAJIC	23
2.4.6 VirtualActor・InterActor	24
2.4.7 MeetBall	24
2.4.8 Paw2	25
2.5 コミュニケーションの記録支援に関する研究事例	25
2.5.1 FXPAL conference room	25
2.5.2 全方位カメラを利用した会議撮影システム	27
2.5.3 Meeting Browser	28
2.5.4 テロップを利用した研究事例	29
2.5.5 色情報を利用した研究	29
2.5.6 動き情報を利用した研究事例	30
2.5.7 映像文法を利用した研究事例	31
2.5.8 状況理解を利用した研究事例	33
2.5.9 テキスト情報を利用した研究事例	33
2.5.10 協同記録に関する研究事例	34

2.6	思考状態推定に関する研究事例	35
2.6.1	非言語情報を利用した研究事例	35
2.6.2	生体情報解析を利用した研究事例	40
2.6.3	脳波情報を利用した研究事例	44
第3章	思考状態推定に基づく	
	コミュニケーションの進行および記録の支援	50
3.1	コミュニケーションの進行および記録の支援	51
3.1.1	本研究が対象とするコミュニケーション	51
3.1.2	既存のコミュニケーション支援方法の問題点	56
3.2	思考状態推定に基づくコミュニケーション支援の提案	58
3.2.1	脳波情報を利用した思考状態推定	58
3.2.2	思考状態を示す指標：MS-Level	64
3.2.3	思考状態推定に基づくコミュニケーション支援システムの構築	73
第4章	相手の思考状態推定に基づく	
	コミュニケーション支援	75
4.1	指導者による思考状態把握の重要性	76
4.2	既存手法の問題点	76
4.3	思考状態推定および複合現実感を利用した指導者支援	77
4.3.1	MS-Levelの導出	77
4.3.2	複合現実感を利用した思考状態の提示	78
4.3.3	システムの全体構成	79
4.4	評価実験1: 思考状態推定の精度の検証	81
4.4.1	実験目的	81
4.4.2	実験内容	81
4.4.3	実験結果	82
4.5	評価実験2: 重畳表示の効果の検証	84
4.5.1	実験目的	84
4.5.2	実験内容	84
4.5.3	実験結果	85
4.6	考察	86
第5章	自己の思考状態推定に基づく	
	コミュニケーション支援	88
5.1	遠隔コミュニケーションにおける自己の思考状態把握の重要性	89
5.2	既存手法の問題点	89
5.3	自己の思考状態推定に基づく遠隔コミュニケーション進行支援	91
5.3.1	MS-Levelの導出	91
5.3.2	自己の思考状態を反映した仮想コミュニケーション空間	92

5.4	評価実験	94
5.4.1	実験目的	94
5.4.2	実験内容	95
5.4.3	実験結果（定量評価）	97
5.4.4	実験結果（定性評価）	98
5.5	考察	99
第6章	参加者全体の思考状態推定に 基づくコミュニケーション支援	101
6.1	コミュニケーション記録における参加者全体の思考状態把握の重要性	102
6.1.1	会議とは	102
6.1.2	本研究の対象	104
6.2	既存手法の問題点	104
6.3	思考状態と発話停止点を利用したコミュニケーションの動画ダイジェスト 生成支援	105
6.3.1	参加者達の思考状態の導出	106
6.3.2	発話停止点を利用した映像分割	107
6.3.3	ダイジェスト生成の方法	108
6.4	プロトタイプの実装	108
6.4.1	会議の記録	108
6.4.2	ダイジェストの生成	109
6.5	評価実験1	110
6.5.1	実験目的	110
6.5.2	実験内容	110
6.5.3	実験結果	111
6.6	評価実験2	111
6.6.1	実験目的	111
6.6.2	実験内容	111
6.6.3	実験結果	112
6.7	評価実験3	113
6.7.1	実験目的	113
6.7.2	実験内容	113
6.7.3	実験結果	114
6.8	考察	114
第7章	結論	117
	謝辞	120
	参考文献	124

付録	135
----	-----

論文目録	143
------	-----

目 次

2.1	脳の構造（出展：加藤・大久保“初学者のための生体機能の測り方”[33]）	13
2.2	脳細胞の構造（出展：加藤・大久保“初学者のための生体機能の測り方”[33]）	13
2.3	国際 10-20 法	16
2.4	IBVA	17
2.5	FXPAL conference room	26
2.6	全方位カメラを利用した会議撮影システム	27
2.7	Meeting Browser	28
2.8	音声心理分析に基づくリアルタイム表情アニメーション	39
2.9	Valentine	40
3.1	本研究の位置付け	53
3.2	脳波測定・記録ソフトウェア	62
3.3	ハニングウインドウを掛けた後の脳波データ（縦軸：強度，横軸：時間）	63
3.4	脳波データのヒストグラム（縦軸：強度，横軸：周波数）	63
3.5	脳波データのヒストグラム（縦軸：強度，中央下端から左上に伸びる軸： 周波数，中央下端から右上に伸びる軸：時間）	64
3.6	12～40Hz 帯域の脳波強度（一部抜粋）	73
4.1	Head Mounted Display の外観	79
4.2	指導者から見た生徒・作業者の映像（顔付近に球体 CG）	81
4.3	システムの全体構成	82
4.4	分割表示	85
4.5	重畳表示	85
5.1	画面分割型の遠隔コミュニケーションシステム	89
5.2	e-MulCS のコンセプト	90
5.3	e-MulCS の実装画面	91
5.4	脳波強度（上）とズームの度合い（下）	94
5.5	ズームアップ（上）とズームアウト（下）	95
5.6	メーター方式のインタフェース	96
6.1	単位映像への分割例	107
6.2	会議記録システムの概要	109

6.3	ダイジェスト閲覧コントローラ	110
6.4	正解判定と MS-Level 判定の相関係数	112
6.5	各方法による判定結果の相関分布	115

表 目 次

2.1	非言語情報の分類 [17, 6]	9
2.2	脳波の変動要因	15
2.3	本多らによる内容に一貫性のある発話の定義	30
2.4	ショットの属性値	31
2.5	西澤らによるシーンの関連性の定義	32
2.6	Ozeki らによる注目喚起行動の定義	34
2.7	Ekman らによる Action Unit の一覧	37
2.8	Picard による音声効果と感情要因の関係の定義	38
2.9	下田による生理指標の解釈	43
3.1	円滑な進行を支援する研究事例との比較	54
3.2	記録の活用を支援する研究事例との比較	55
3.3	IBVA の仕様	61
3.4	会議の構成要素を想定したタスク	67
3.5	“最も頭を使ったタスク” のアンケート結果 (計 60 人)	68
3.6	各周波数帯の脳波強度 (60 人の平均値)	69
3.7	各周波数帯の脳波強度 (60 人の平均値, 一部抜粋)	72
3.8	各帯域の脳波強度に関する F 検定の結果	73
3.9	各帯域の脳波強度に関する T 検定の結果	74
4.1	Head Mounted Display の仕様	80
4.2	3SPACE FASTRAK の仕様	80
4.3	評価実験 1 の結果	83
4.4	評価実験 2 の結果 (被験者 11 人分の平均)	85
5.1	レベルの平均値と変化の様子 (N=11)	97
5.2	あいづちの回数と発話時間 (N=11)	97
5.3	アンケート結果 (0-3 点の 4 段階回答, N=11)	99
6.1	自然な分割と感ずる沈黙時間帯閾値の最小値 (18 人の平均値)	111

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

人は、文化を創り、発展させ、それを後世に伝えるというサイクルを淀みなく繰り返すことで繁栄を手にしてきた。この壮大な営みは、到底一人の人間の力だけで実現できるものではない。人々は、互いに意思の疎通を交わし、経験知を共有し、解決への糸口を協同で模索し、困難を克服してきた。そして、互いに異なる個である人間が、このような協同作業を行う過程で重要な役割を果たしているのが、コミュニケーションである。

しかし、問題を解決するための行為であるコミュニケーション自体もまた、少なからず問題を含んでいると言える。

例えば、人は相手がどの程度の深く物事を考えているのか、外見だけから判断することは困難である。思考の状態は表情や声色の変化として表出することもあるが、人は社会的理由等によりこれらを意図的に操作すること（作り笑いやポーカーフェイス等）に慣れてしまっている。これは、相手に物事を理解させようとするコミュニケーションにおいては円滑な進行の障害となる。

一方、人は時として、自身の思考の状態変化に気付かずにコミュニケーションに失敗する。例えば、他者と協同して難題について議論を行う時、人は疲労等により無意識的に思考を停滞させてしまうことがある。しかし、思考が停滞している状態に自身で気付くのはなかなか難しく、頭が働かない非効率な状態のまま議論を続けてしまうことがある。これは自身にとっても相手にとっても不利益である。

また、全員で目的を共有して議論を行うコミュニケーションの場合、自身・相手を含めた全員の思考の状態が重要な指標となることがある。例えば、思考を要するコミュニケーションの代表例である会議を動画として記録しておいて後から参照する場合、全員が頭を働かせているシーンだけを抽出して閲覧できれば閲覧作業を効率化できると思われるが、現状では全員の思考の状態を的確に把握する術が無く、これが難しい。

そこで本研究では、思考を行うことに重きが置かれている“課題解決”や“情報・知識の伝達”、“情報・知識の獲得”のためのコミュニケーションにおいて、各参加者の思考状態（どの程度頭を働かせているか）を推定するアプローチを採る。これにより、これらのコミュニケーションが円滑に進行し、その記録を効率的に利用できる環境の実現を目的とする。

1.2 研究の概要

コミュニケーション参加者の思考状態を把握する手段があれば、現状のコミュニケーションがより円滑に進行し、その記録を効率的に利用できるようになると考えられる。そこで、本研究ではコミュニケーション中の脳波情報を利用して思考状態推定を行うというアプローチを採る。

脳波とは専用の小型デバイスさえあれば比較的手軽に取得できる指標でありながら、コミュニケーション中の思考状態推定に非常に適している。まず、思考を行う器官である脳から発生している信号である脳波は脳の状態を直接的に表していると言えるし、頭の働き具合と脳波強度の相関関係に関しては多くの報告が為されている [1, 2, 3, 4, 5]。また、脳波は常に発生しているためコミュニケーション中のすべての時間帯において計測できる。さらに、表情等とは違って他者から認知されない指標であるため、参加者が社会的立場等を気にして意図的に脳波を操作できないし、そもそも操作すること自体が極めて困難である。これらの理由から、本研究では脳波情報を利用する。

しかし、脳波情報が思考状態と高い相関を持っているとはいえ、脳波強度から思考状態を直接推定することは困難である。なぜならば、脳波は周波数帯域ごとに特性が異なり、強度が変化する条件も異なるからである。また、脳波は心拍等の生体情報と同様に時々刻々と変化する指標であるが、思考状態も全く同じように変化しているという保証は無い。

そこで、本研究では検証実験を行い、思考状態と高い相関にある周波数帯域を特定する。さらに、ある瞬間の思考は、その瞬間のみで行われたというよりは、過去一定時間の思考の積み重ねの結果であると判断し、このモデルに沿って MS-Level (Mental-State Level) という思考状態をスコア化するアルゴリズムを構築する。

さらに、本研究では MS-Level を導出して思考状態推定を行うだけでなく、それをどのように提示すればコミュニケーション支援の効果が高まるかという所まで掘り下げて検証を行う。具体的には、相手の思考状態推定が必要な状況、自己の思考状態推定が必要な状況、参加者全体の思考状態推定が必要な状況のそれぞれに対して適切な MS-Level の提示方法を検討してシステム構築を行い、効果の測定を行う。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は次のとおりである。

2章では、本研究の対象であるコミュニケーションについて述べる。コミュニケーションの分類と定義について述べ、脳波を含めたコミュニケーション中に発生する情報についてまとめる。さらに、本研究同様、コミュニケーション支援を目指した既存のコミュニケーション支援システムの紹介を行う。

3章では、思考状態推定に基づくコミュニケーションの進行および記録の支援の提案を行う。この章では本研究の対象と問題点を明確化し、解決のために、脳波情報に基づいて思考状態を推定する手法について述べている。検証実験に基づいて脳波の中で利用する帯域の決定を行い、この情報を利用して思考状態を表す指標 MS-Level の導出アルゴリズムを構築する。

以降, 4章, 5章, 6章では, 思考状態推定に基づくコミュニケーション支援の適切な形態をコミュニケーションの状況ごとに模索し, 支援システムの構築および検証実験を行う.

4章では, 相手の思考状態推定が必要なコミュニケーションの事例として, 教育現場における教師や作業現場における監督者等の指導者が, 対面環境にいる生徒・作業者等に対して指導を行う場合を想定している. 指導者が生徒・作業者の思考状態を把握しにくいという問題点を解決してコミュニケーションの進行を円滑にするために, 本研究では相手の MS-Level を複合現実感を利用して提示するシステムを構築し, 効果の測定を行う.

5章では, 自己の思考状態推定が必要なコミュニケーションの事例として, 共有仮想空間を利用したリアルタイム遠隔コミュニケーションを想定している. 遠隔地の相手と直接対面していないが故に生じやすい参加者の無意識的な参加意欲低下を未然に防止してコミュニケーションの進行を円滑にするために, 本研究では自身の MS-Level を仮想空間全体を利用してフィードバックするシステムを構築し, 効果の測定を行う.

6章では, 参加者全体の思考状態推定が必要なコミュニケーションの事例として, 会議等の思考することに重きが置かれるコミュニケーションを動画で記録する場合を想定している. 記録した動画の中から全員が頭を働かせているシーンだけを抽出することが困難であるという問題を解決するために, 動画の各シーンに参加者全員の MS-Level のインデックスを付与し, 全員が活発に思考を行っているシーンを抽出するシステムを構築し, 効果の測定を行う.

最後に7章にて, 本論文の結論を述べる.

第2章 コミュニケーションの進行と記録

ここでは研究対象であるコミュニケーションの進行と記録について述べる。2.1節ではコミュニケーションの概念・定義について、2.2節・2.3節ではそれぞれコミュニケーションにおいて重要な役割を果たしている非言語情報・生体情報について述べる。2.4節ではコミュニケーションの進行を支援するための研究事例を紹介し、2.5節ではコミュニケーションの記録に関する研究事例を紹介する。また、コミュニケーションの進行・記録に必要と思われる、コミュニケーション中の思考状態推定を目指した研究事例を2.6節にて紹介する。

2.1 コミュニケーションとは

人間は、生体活動を続けていく中の多くの場面で、自分の感情・態度・知識・情報を相手に伝える意思を持っている。意思の伝達を受けた相手は、反応を示すで相互に意思を伝達する。この相互作用の過程がコミュニケーションである。原岡が「人間社会の基礎はコミュニケーションにある」と述べているとおり、人間社会にとってコミュニケーションは必要不可欠なものである [6]。

物的伝達機構である交通の問題から出発した Cooley は、20世紀の初めにコミュニケーションを次のように定義した [7]。

コミュニケーションとは、それによって人間関係が成立し、発達するメカニズムを意味する。それは精神のすべてのシンボルであるとともに、空間を隔ててシンボルを運搬し、あるいは時間を経過した後までこれを保存する手段でもある。それは顔の表情、態度と身振り、声の調子、言葉、書字、印刷、鉄道、電信、電話、その他の時間と空間を克服するすべての事績を含む。

ただし、これは非常に包括的な定義であり、曖昧さを多く含んでいると言える。

Schramm のように、動機や意図に注目した場合は次のようになる [8]。

コミュニケーションという言葉は、ラテン語の“communis”（共通、共有）から来ている。我々の間でのコミュニケーションとは、我々の間に共通性を成立させる。つまり、情報、思想、あるいは態度を共有しようとする試みである。

また、コミュニケーションをより工学的な側面から捉えた場合は以下のようなになる。

通信、伝達、情報を伝えること。人間相互間ばかりではなく、動物相互間の、言語以外の各種の伝達行動も含まれる。また、工学では、機械相互間や、人間と機械の間の送信についてもいう。一般にコミュニケーションは、送信者と受信者、情報及びこれを伝える記号、情報路（媒体）等があって成り立つ。

ここでは、コミュニケーションにおける情報路の必要性が強調されている。

一方、深田は人がコミュニケーションを行う目的に着目し、下記のようにコミュニケーションを分類している [9]。

- (1) 課題解決
解決が必要な課題に関して相手から情報や援助を求める、相手との間で解決すべき課題に関して交渉や取り引きを行う等のことを目的としたコミュニケーション。
- (2) 情報・知識の伝達
自分が知っている情報や知識を相手に伝達することを目的としたコミュニケーション。
- (3) 情報・知識の獲得
自分自身に関する情報、相手に関する情報、他者・状況・環境等の外界に関する情報の獲得を目的としたコミュニケーション。
- (4) 相手に対する影響力行使
相手の態度や行動を変えようと説得する、命令や強制等で相手を支配する、相手を騙す、相手を援助する等のことを目的としたコミュニケーション。
- (5) 対人関係の形成・発展・維持
相手との間に友好的な対人関係を形成する、発展させる、維持する等のことを目的としたコミュニケーション。
- (6) 娯楽の享受
退屈や孤独の気持ちを晴らすことを目的としたコミュニケーション。

なお、上記の目的はそれぞれが完全に独立しているのではなく、例えば“相手との対人関係を形成するという目的のために、相手に関する情報の獲得を目的とするコミュニケーションを行う”といった包摂関係にある項目も存在すると深田は述べている。

Dance と Larson は著書“人間のコミュニケーションの機能”の中で、過去に出版された研究書や論文等の文献から 126 にも及ぶコミュニケーションの定義をリストアップしている [10][11]。

また、コミュニケーション学者 Wood は、“コミュニケーション”という言葉の定義する難しさには次の 3 つの理由があると主張している [12]。

- (1) 我々はコミュニケーションについて、日常よく考えない傾向がある。コミュニケーションを当然のものとして受け入れてしまいがちなために、この実態、機能を良く分析せずに済ませてしまうからである。

- (2) コミュニケーション活動の見られる範囲が広すぎて、マス・コミュニケーションのメディア広告から、親密な対人関係のやり取りまですべての領域がカバーされるために、コミュニケーションを一つだけの定義で代表させることは難しい。
- (3) “コミュニケーション”という言葉が現代のキーワードとして広く用いられているため、コミュニケーションの中にコンピュータから人工衛星までをも含む傾向が、現代では顕著になっている。

2.2 非言語情報

コミュニケーションには数多くの分類があるが [13]，中でも言語情報と非言語情報に着目した分類方法が主流である [14, 15, 6, 16] 。

言語情報を利用して行われるコミュニケーションは言語コミュニケーションと呼ばれ、人間特有の言葉を用いたコミュニケーションのことを指す。例えば、手紙のように文字を用いたコミュニケーションは言語コミュニケーションの典型であるし、直接相手と対面して行う会話の中にも言語コミュニケーションの要素は多く含まれている。

一方、非言語情報を利用して行われるコミュニケーションは非言語コミュニケーションと呼ばれ、言葉そのものではなく言葉以外の情報を用いたコミュニケーションの事を指す。例えば、うなずき、瞬き、注目している方向、視線、しぐさ、容姿、ジェスチャー、声の強弱、声のピッチ等を用いたコミュニケーションは非言語コミュニケーションである。

非言語コミュニケーションが社会的相互作用の中で果たす役割は大きく、中でも次の機能が重要であると Patterson は述べている [17] 。

- (1) 情報提供
顔の表情等により、相手に伝えたい情報が補完される。
- (2) 相互作用の調整
頷きや姿勢等により、会話を続けるか、話題を変えるかといったように、相手との相互作用の調整が行われる。
- (3) 親密さ表出機能
対人距離を小さくすることで、相手との親密度の高さを示すことができる。
- (4) 社会的統制機能
声を大きくすることで、発話者が発言に自信を持っていることを他者に示せる。
- (5) サービスと仕事の機能
身体接触等により、相手との親密度を上げることができる。

このように、非言語情報はコミュニケーションの中で重要な役割を果たしており、人間のコミュニケーションの約 65 % が非言語情報によって成立しているとの報告 [18] もある。本研究では、この非言語情報の重要性に着目している。

表 2.1: 非言語情報の分類 [17, 6]

非言語情報	具体例
対人距離	空間的配置, 他者間距離
体の動き	体の向き, 体の動き, ジェスチャー, 姿勢
表情	微笑み, 顔をしかめる
視線	誰の方向を向いているか, 凝視しているか
接触	触れる, 抱き合う
準言語	話の間, 声の大きさ, 流暢さ
嗅覚作用	他者からの香り
人工物	化粧, 服装, 装飾品

2.2.1 非言語情報の分類

非言語情報に関する研究事例は数多く, その分類法も多様である [6, 19, 20, 17, 21, 22]. 表 2.1 に示すのは, Patterson による分類 [17] に原岡らが解釈を加えたもの [6] である.

以降, 分類分けされたそれぞれの非言語情報について説明する.

2.2.1.1 対人距離

原岡らの定義によると, 対人距離とは相互作用において人と人とがとる物理的距離であり [6], コミュニケーションにおいて重要な役割を果たしている. 例えば, 近い距離で話す2人は親密である場合が多く, とりわけ男女の関係においては顕著である.

また, 会議の際の席順もコミュニケーションに大きな影響を与える. 特に日本では, 出入口から一番遠くに座っている人が一番発言権がある場合が多く, 座る位置次第で発言頻度・内容が変わることも少なくない. 席を自由に選ぶ際に仲が良い者同士が近くに座ることも, 対人距離がコミュニケーションに大きな影響を与えている例の1つである.

2.2.1.2 体の動き

人がコミュニケーションを行う際に意識的・無意識に行うジェスチャー等の体の動きは, 非言語情報の中でも重要な役割を果たしている [19]. 堂々とした姿勢で大きなジェスチャーを交えて発言する話者は自信があるように見えるし, 悪い姿勢でうつむきながら発言する話者は頼りなく見える.

コミュニケーションにおいて, 相手の体の動きから相手が自分の話に関心を持っているかを認識できる. たとえば話している最中に, 相手が全く違う方向を向いていたら, 自分話している内容に関心を持っていないと認識できる. 一方, 相手が体を自分に向け, 身を乗り出して聞く等の体勢をとれば, それは自分の話に関心を抱いている可能性が高いこと

を認識できる [13] . このように体の動きは , 人間のコミュニケーションにおいて重要な役割を果たす .

2.2.1.3 表情

表情は , 人間の感情等を認識する上で重要な役割を担う非言語情報である . 例えば , 話者は自分の話が関心を持たれているかどうか , 聞き手の表情から判断する 경우가少なくない . 表情の中でも , 瞬きの頻度は相手に関心を持っているかどうかということと深い関係があると報告されている [23, 24, 25] .

2.2.1.4 視線

“目は口程に物を言う” という言葉があるとおり , 相手がどの方向を見ているか , どのような目つきで見ているか等の視線情報も , コミュニケーションでは重要な役割を果たしている . 話者は聞き手の視線を確認しながら話す場合が多い . 話者は自分に視線が向けられていれば聞き手が興味を持ってくれていると判断できるし , 逆に視線を向けてもらえなければ聞き手が興味を持っていないと推測できる .

2.2.1.5 接触

接触は , 触れる・抱き合う等の非言語情報である . 人はコミュニケーションをする際に , 相手の肩をたたいたり頭をなでたりすることで , 言語情報だけでは表現できない親密度を表現することがある . また , スポーツや舞踊のレッスンでは , 接触を通じてスキルの伝達も行われる .

2.2.1.6 準言語

話の間・声の大きさ等の非言語情報は準言語と呼ばれている . これも重要な非言語情報の1つであり , 準言語の使い方次第で情報伝達の効率や伝わり方が大きく異なる . 例えば , 大きな声で淀み無く発言する話者が自信を持っているように見える現象は , 話の内容そのものよりも準言語に因るところが大きい .

2.2.1.7 嗅覚作用

嗅覚作用とは , 非言語情報の1つである香り等を通して嗅覚を刺激する作用のことであり , コミュニケーションにおいて重要な役割を果たしている . 例えば , 心地よい香りの香水をつけている人は好意を持たれやすいし , 口臭のきつい人は敬遠されることが多い .

2.2.1.8 人工物

人工物とは、化粧・服装・装飾品等のことであり、コミュニケーションにおいて非言語情報を伝えている。人は身だしなみである程度相手の人格・社会的地位・嗜好等を判断することが多く、人工物がコミュニケーションにおいて重要な役割を果たしていることが分かる。

2.3 生体情報

2.2章ではコミュニケーションにおいて非言語情報が果たす役割とその重要性について述べた。本章では、コミュニケーションを分析する際に有用と思われる生体情報について述べる。特に、本研究に密接な関係を持つ脳波については詳細に述べる。

まず、本研究においては、人間が無意識に発している脳波・心電図・血圧・呼吸等の情報を生体情報と定義する。生体情報は、覚醒度・生体リズム・ストレス・メンタルワークロード・疲労度等、人間の心身状態との関連性があるとされており、数多くの研究が行われてきた [19]。

生体情報の大半は、コミュニケーションを行う相手に伝わるものではない。しかし、以降で述べるように生体情報とコミュニケーションは密接に関連しており、これを分析して利活用することでコミュニケーション分析・支援のための新たな指標になり得ると考えられる。

2.3.1 生体情報の分類

生体情報の種類は数多く、その分類は多岐に渡る [19, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32]。本節ではこれらの中でも代表的なものとして、脳波、心電図、動脈血圧、脈波、呼吸、皮膚電気活動を取り上げる。なお、脳波は本研究と大きな関わりがあるため、2.3.2章でより詳細に述べる。

2.3.1.1 心電図

心電図とは、人間の心臓の収縮に伴う電位変化を測定したものであり、胸部に装着した2つの電極間の電位差を利用して計測する。心電図は、心房の興奮を示すP波、心室の脱分極を示すQRS波（Q波・R波・S波を一括してこのように呼ばれることが多い）、寝室の再分極を示すT波により構成される。R波が出現してから次のR波が出現するまでの時間はRR間隔と呼ばれ、60秒をRR間隔で割った値が心拍数である。心拍数、身体的負荷や精神的負荷に影響されると言われており、作業負荷の指標として利用されることが多い。

2.3.1.2 動脈血圧

動脈血圧とは、血管にかかる圧力のことであり、収縮期血圧、拡張期血圧および平均血圧が指標として用いられる。動脈血圧は、緊張や作業負荷等と密接な関係を持っていると言われている。

2.3.1.3 脈波

脈波とは、心臓から血液が押し出される時に血管が振動して発生する波形のことである。このうち、血管の容積変化を検出するのが容積脈波であり、血管内の圧力変化を検出するのが圧脈波である。一般的に脈波と呼ばれているのは前者である。

脈波の指標としては、脈派間隔・脈派波高・脈派伝達時間が用いられる。脈派は、心拍や血圧の代用として用いられることが多い指標であり、人の作業負荷や精神状態を推定する際に有益な情報の1つである。

2.3.1.4 呼吸

呼吸とは、体内で利用される酸素を体外から取り入れ、また体内で作り出される炭酸ガスを体外に排出する一連の活動のことである。

呼吸の指標としては、呼吸時間、呼気時間、吸気時間、1回吸気量、1回呼気量が挙げられる。呼吸を測定する際には、マスクを装着して流量を測る方法が正確であるが、ベルトを利用して胸囲の変化を測定することもある。

呼吸は、リラックス時には深くゆっくりとしたテンポになり、逆に精神的作業負荷が大きいときは早く浅くなることが多い。呼吸はこれらの状態を認識する上で有益な生体情報の1つであると言える。

2.3.1.5 皮膚電気活動

皮膚電気活動とは、精神性発汗を電氣的に測定して得られる指標の総称で、主に精神性発汗を電位として測定する皮膚電位活動と、発汗によるコンダクタンス（抵抗の逆数）の増加を測定する皮膚コンダクタンス活動の2つに大別することができる。

これらの指標は覚醒水準の高さや、緊張度等の精神状態を抽出する上で有益な生体情報の1つである。

2.3.2 脳波

2.3.2.1 脳および脳波について

脳は、解剖学的に神経系の中の中樞神経系に位置づけられ、重さ約1.3kgで、千億以上の神経細胞からなっている。脳は、図2.1に示すように、頭皮、頭蓋骨、脳膜によって保

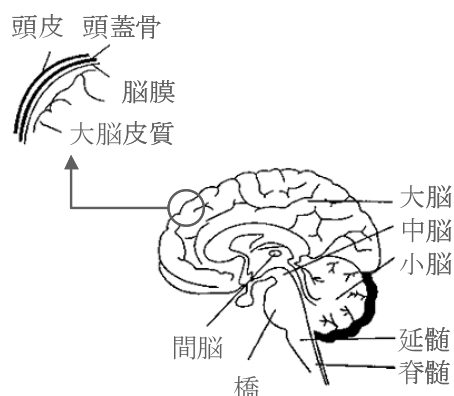


図 2.1: 脳の構造 (出展: 加藤・大久保 “初学者のための生体機能の測り方” [33])

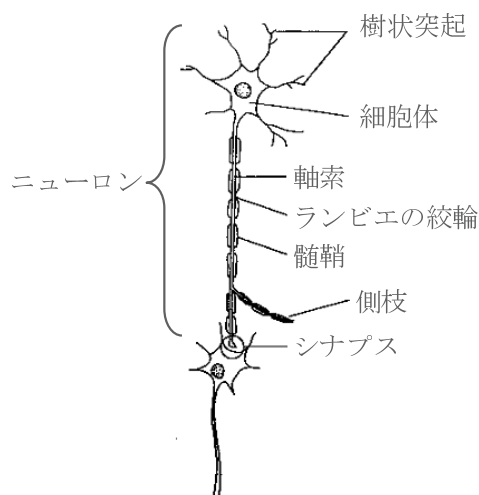


図 2.2: 脳細胞の構造 (出展: 加藤・大久保 “初学者のための生体機能の測り方” [33])

護されており，脳幹（延髄，橋，中脳，間脳），小脳，大腦に区分できる．脳幹は生命維持に，小脳は運動機能の調整に関与している．また，大腦は，知覚，運動，思考，判断等に関与する上位中枢であり，その中心的な役割は表面の大腦皮質である．大腦皮質は，大腦の最外層で厚さ 2～5mm，約 140 億個の神経細胞からなる．脳細胞は，図 2.2 に示すように，ニューロン（細胞体，軸索，樹状突起）と呼ばれる基本構成で数十から数百個が群を成してできている．1つの神経細胞は他の神経細胞とシナプスという部分で連絡し，1つの細胞体に連絡する他の神経細胞からのシナプスの数は数百から数千と言われている．これらはニューロン回路網と呼ばれる複雑なネットワークを形成しており，情報が伝達される [33]．

脳細胞は，脳の活動状態や様々な刺激に関連して周波数帯域 0.5～100Hz，20～数十 μV の電位変化を示す．一般に，電位の周波数は脳の活動が盛んな時に高く，低調な時に低く

なる．このように，脳の活動に伴って頭皮上に生じる電位の時間変化を記録したものが脳波（EEG, Electroencephalogram）であり，1929年にドイツの精神科医ハンス・ベルガーによって初めてヒトで観測に成功した．脳波は，人間から常に発生し続けている生体情報の1つである [33]．

脳波は，その周波数（ fHz ）帯域から δ 波（ $f < 4Hz$ ）， θ 波（ $4Hz \leq f < 8Hz$ ）， α 波（ $8Hz \leq f < 12Hz$ ）， β 波（ $12Hz \leq f < 30Hz$ ）， γ 波（ $30Hz \leq f$ ）の5つに分類ができる．

一般に， δ 波と θ 波は徐波と呼ばれ，覚醒水準の低下に伴う眠気や意識レベルの低下によって発生すると言われている．特に， δ 波は睡眠が深い時に現れ，振幅は大きく $100\mu V$ 近い波形が観察される時がある．また，正常成人では睡眠中以外に出現することは無いので，脳腫瘍等の障害検出の診断情報として用いられる場合もある． θ 波は，入眠初期のまどろみ状態の時に出現し，振幅は $50\mu V$ 以下である．小児期によく見られるが成長により次第に減少する．

α 波は，目を閉じて光刺激を遮断したり，精神的に落ち着いた状態やぼんやりと目覚めた状態の時に頭頂部や後頭部で優勢となり，振幅 $30 \sim 50\mu V$ 程度の規則的な波形である事が知られている．意識レベルとも関連があると言われており，幼児から成人への成長過程で上昇し，高齢者では再び低下する傾向にある．心理学的では， α 波が覚醒の度合いを表しているとされており，一般にはリラックスしている時には α 波が現れ，覚醒している時には α 波が減衰するとされている [4]．しかし， α 波が全く観測されない被験者も少なくない [34]．

β 波， γ 波は，速波と呼ばれ，脳波の所見上は意識レベルの高い状態（興奮，不安，緊張，集中，痛み等）で観察できる．振幅は $20 \sim 30\mu V$ と他の波形に比較して小さく，前頭部で顕著に観測される [33, 34]． β 波帯付近の脳波は思考を要する作業を行う時に強く出現し，思考を要しない作業時にはあまり出現しないという報告もいくつかある [1, 2, 3, 4, 5]．

ある一定の周期をもった波の連続を律動，リズム（rhythm）といい，2つ以上の波の連続で背景となる脳波から明瞭に区別され，しかも，特徴的な形を示し一定の形で繰り返し起こるものを複合（complex）と言う．これらの脳波や異常脳波の局在（焦点），分布を分析することで病変の発生源を推定したり，一部の疾病の診断を行うことが可能である [35]．

また，常に発生し続けている電位は自発電位と呼ばれるもので，常に頭皮上に現れている．これは，大脳皮質表面にあるニューロンの活動が皮質全面に渡って常に起こっているためである．逆に，特定の刺激を与えた際に脳波上に現れる成分を ERP（Event-Related Potential, 事象関連電位）と呼ぶ．ERP は刺激の物理的特性よりも，刺激の与え方や刺激の持つ意味，被検者の認知機能や心理的要因に大きく影響を受ける．

ERP には，刺激呈示方法の違いによっていくつかの種類があることが分かっている．同じ刺激を繰り返し呈示し，時々違う刺激を挿入してその刺激を検出するような場合に発生する P300（後期陽性電位）や，2つで1組の刺激において，1つ目を予告とし，2つ目でボタンを押す等の実験をした場合に発生する CNV（Contingent Negative Variation, 随伴陰性変動）等が有名である [36]．

表 2.2: 脳波の変動要因

変動要因	例
年齢	新生児，乳幼児，学童，少年，成人，老年
意識レベル	睡眠，精神的緊張，注意集中，不安，思考
物理刺激	低酸素
感覚刺激	光，音，体性，開閉眼
薬物	精神安定剤，飲酒
その他	血糖値

また，脳波は，表 2.2 に示すように，年齢，緊張の度合いや意識レベル，血液性状，開閉眼や外界からの刺激，さらには薬物等多くの変動因子の影響を受けるという特性がある．また，脳波として記録される電位は頭蓋骨を通った非常に微小なものなので，顔面の筋肉の緊張（嘔む，笑う）等によってノイズが混入してしまうこともある．これは，筋肉が緊張する際に筋細胞に電流が流れ，脳波計に筋肉の電位変化が記録されてしまうためである．その他にも，頭部の発汗や機器の交流雑音の影響を受けることが確認されている．実際の医療現場でも，電動ベッド，心電図，人工呼吸器などによってノイズが混入することがあるという．さらに，骨は絶縁体なので，手術等による頭蓋骨の部分的な欠損がある場合には，見かけ上非常に強度が大きい脳波が記録されることもある [33, 37]．

2.3.2.2 脳波計

医療用の脳波計には，図 2.3 に示す国際 10–20 法（International 10–20 method）に従って電極が装着されている場合が多い．この方法は Montreal 大学の H. Jasper により提唱された方法であり，モントリオール法，あるいは，ジャスパー法と言われる事もある．これは，左右については両耳間を，前後については鼻根点（nasion，鼻と額の間の窪み）と後頭結節（inion，後頭部の隆起点）の間をそれぞれ 10%，および 20% ずつ区分した位置に電極を装着する方法である．計測によって電極位置を定めるので，何度検査をしても，あるいは，被験者が変わっても，必ず同一部位につける事が可能であり，位置に関して再現性のある導出結果が得られる．基準用電極は一般的に零電位に近い耳たぶに装着する事が多い．電極には銀 - 塩化銀による脳波用円板電極が用いられ，その固定にはコロジオン液が推奨されているが，脳波用ペーストでも十分な場合が多い [38, 34, 39, 40]．

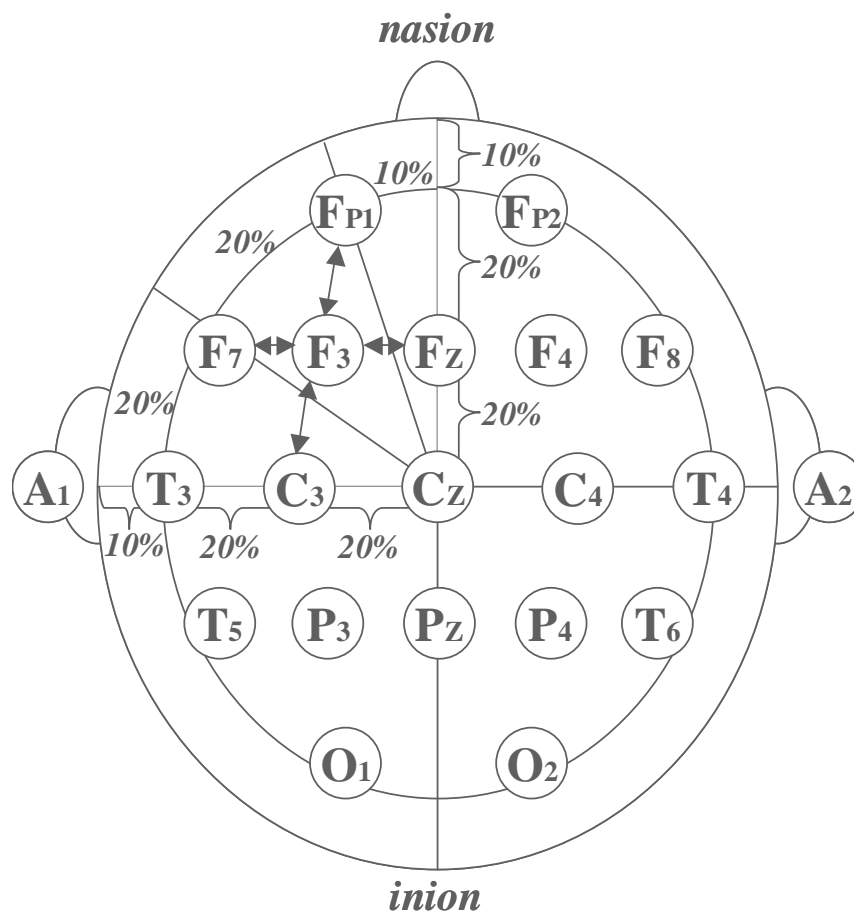


図 2.3: 国際 10-20 法

2.3.2.3 簡易脳波計 IBVA

医療レベルの精度を求められる場合には 2.3.2.2 項で述べたような脳波計を装着すべきである。しかし、簡易な脳波入力インタフェースや日常使用を想定したアプリケーションに脳波情報を適用することを考えた場合、大量に電極がついた医療用脳波計では装着に手間がかかりすぎるし身動きが取り難いという問題がある。

そこで、そのような場合には電極数が少ない簡易脳波計を利用することも多い。図 2.4 に示すのは、IBVA Technologies 社 [41] が開発した簡易脳波計 IBVA (Interactive Brainwave Visual Analyzer) である。

IBVA は一般のパソコンや PDA 等でも簡単に稼働させられる簡易型脳波計測装置である。小型のセンサを専用固定バンドによって頭部に取り付けるだけで測定が可能であり、極めて手軽であると言える。センサに内蔵された 3 つの簡易型ボタン電極から前頭部の脳波信号を検出でき、このアナログ信号は 8bit のデジタル信号に変換された後、パソコンに繋いだ受信機に無線で送信されてパソコン内で信号処理される。



図 2.4: IBVA

簡単に α 波や β 波を計測でき、無線型の非拘束式で体を動かすことも容易なので、特定のパフォーマンス中の脳波を測定したり、自然な姿勢で音楽を聴いている時の α 波を分析したりする等様々な解析に利用されている。また、脳波信号を利用した入力インタフェースとして使われることもある。ただし、医療器具としての認定はされていない。

2.3.2.4 アーチファクト

脳波を脳活動の指標として扱うためには、それが確かに脳の内部から生じたものであり、それ以外の原因で生じたのではないということを確認しなければならない。脳波記録に混入する脳波以外の電位変化をアーチファクト (artifacts) と呼ぶ。

アーチファクトには生体に由来するものとそれ以外のものがある。生体に由来するものには筋電位や発汗等が挙げられるが、脳波を記録する時に最も問題となるのは、眼球運動とまばたきによるアーチファクト (ocular artifacts) である。眼球はちょうど乾電池の+極と-極のように、突起した角膜面が陽性、網膜面が陰性に帯電している。そのため、眼球を上下左右に動かすと周囲の電場が変化する。また、まばたきをすると陽性に帯電した角膜上をまぶたがスライドするので、目より上側にある電極にまぶたを通して陽性の電位が伝わる。眼球運動やまばたきは脳波の100倍以上の電位を生じさせる。その影響は頭頂部付近にまで伝播し脳波の波形を歪めてしまう。

眼球運動やまばたきに由来するアーチファクトに対処する方法は3つある。

第1の方法は、脳波記録中に眼球運動やまばたきをしないよう被験者に教示する方法で

ある．被験者の眼前に注視点もしくは小さな絵を呈示して，脳波の記録中はそれを見つめておくように教示すれば，眼球運動は比較的容易に抑えられる．しかし，まばたきは意図せずに生じることがあるし，記録が長時間に及ぶ場合に眼球運動・まばたきを全くしないことは不可能であるので，この方法だけでは十分にアーチファクトを除去できない．

第2の方法は，眼球の近くに装着した電極から EOG (electro-oculogram, 眼電図) を記録することで眼球運動やまばたきを監視し，ある基準 (例えば $\pm 80\mu\text{V}$) を超える電位が生じた試行を分析対象から除く方法である．ただし，この方法はアーチファクトが基準以下の場合には除去できないという欠点がある．

第3の方法は補正法である．これは，まばたきや眼球運動による電位が脳波を記録している各チャンネルに与える影響を推定して，脳波データを補正する方法である．脳波記録に含まれる EOG の割合を回帰分析によって推定し，EOG データに回帰係数 (0.01 ~ 0.30 程度) を掛けたものを脳波データから差し引く．さらに進んだ技術として (1) 眼球運動とまばたきの電流発生源を等価電流ダイポールで近似してその影響を取り除く方法，(2) 眼球運動やまばたきをしている時に記録した電位に対して空間主成分分析を行い，水平眼球運動・垂直眼球運動・まばたきのそれぞれに対応した頭皮上電位分布パターンを抽出し，その分布を考慮しながら脳波データを補正する方法等が提案されている．しかし，補正法は手続きが複雑であり，また，補正した波形が“真の波形”に近いという保証が必ずしも得られないので，現段階で広く普及しているというわけではない．

また，生体以外に由来するアーチファクトには電極の装着不良や破損・断線によるものや，電灯線・電気器具による交流障害等がある．これらのアーチファクトは，原則として脳波を記録する時点で発見して除去する必要がある [36]．

2.3.2.5 FFT

FFT (Fast Fourier Transform) とは，DFT (Discrete Fourier Transform) を計算機上で高速に計算するアルゴリズムであり，連続信号を処理する際に実用的に用いられている手法である．脳波信号を処理する際も FFT が用いられることが多い．本書末尾の付録にて FFT の基礎理論を紹介する．

2.3.2.6 窓関数

実世界の信号処理を行う際には，2.3.2.5 項で述べた FFT と併せて窓関数が用いられることが多い．窓関数とは，ある有限区間以外で 0 となる関数であり，この関数を分析対象である信号に掛け合わせると，特定区間内だけの信号を抽出できるので数値解析が容易になる．脳波信号を処理する際にも窓関数は有効である．本書末尾の付録にて窓関数の基礎理論を紹介する．

2.3.2.7 脳波以外の指標による脳機能計測

2.3.2 項では脳波を利用した脳機能計測について述べたが，解剖学，分子生物学，生理学の発展や情報テクノロジーの進歩により，現在，脳の状態を調べる手段には，その目的や状況により脳波以外にも様々な選択肢がある [42, 34]．ここでは，DT 法，f-MRI，MEG のように放射性物質を利用しない非侵襲的脳機能計測法，PET，SPECT のように放射性物質を体内に導入する侵襲的脳機能計測法を紹介する．

(1) DT 法 DT 法 (Dipole tracing method, 脳内双極子追跡法) とは，脳内のニューロン群の同期化した活動の変化によって生じた電氣的活動を少量 (1 個あるいは 2 個) の等価電流双極子 (電流発生源) で近似し，その双極子の位置とモーメントの方向を脳表硬膜あるいは頭皮上の電位分布から推定する方法である．つまり，事前に頭のモデルを設けて内部に等価電流双極子を仮定しておき，そこから計算した表面電位分布が実測地にできるだけ近くなるように近似する手法である．この手法では，脳内の情報の流れをミリ秒オーダーの分解能で追跡することが可能である [43, 44]．DT 法の有効な応用例としては，てんかん焦点の位置確認への適用が挙げられる．DT 法でてんかんの位置が確認できれば，その部位 (幹部) にガンマ線を集中して治療できるので，外科的な手術を行わなくても済むというメリットがある [34]．

(2) fMRI MRI (Magnetic resonance imaging, 磁気共鳴映像法) とは，主に NMR (Nuclear magnetic resonance, 核磁気共鳴) を人体に応用したものである．まず，強い磁気の中で被験者に外部から電波を加える．これにより，体内の水素原子が共鳴し，電波を止めると共鳴した水素原子から微弱な電波が発生する．この微弱な電波を受信して CT (Computerized tomography, コンピューター断層撮影法) によって画像化することで生体組織の断層像を得られる．X 線 CT のように X 線や造影剤を使用しないので，人体に与える悪影響が少ないというメリットがある．この MRI を発展させたものが，fMRI (functional MRI, 機能的磁気共鳴映像法) である．これは，核磁気共鳴現象を利用して血中ヘモグロビンの酸化還元状態を計測し，血流量に変化が見られる部位を画像化できる手法である．特に，脳の活動と血流量には高い相関があるので，この画像から脳の各領域の活動状況を知ることができる [42, 34]．

(3) MEG MEG (Magneto-encephalography, 脳磁図) とは，脳の神経細胞が活動することで生じる磁束流を計測する手法である．この磁束流を計測するためには，SQUID (Superconducting quantum interference device) という超伝導装置を用いた磁気センサとそれを冷却するための設備，外界からの磁場を遮断する非常に強固なシールド室が必要である．このように，装置が非常に大掛かりになってしまう MEG であるが，磁気は頭蓋骨によって減衰を受けることが無く，特に脳の表面に近いニューロン群の活動を観測する場合には，電位変化を計測する手法よりも高い精度で計測を行うことが可能である [42, 34]．

(4) PET X線CTを利用して、ブドウ糖や酸素を組織に送り込む血液の流れを測定することで、脳の働きを評価できる。そして、ラジオアイソトープ（放射性同位元素）を使った断層画像にX線CTを利用したものがPET（Positron emission tomography, 陽電子放出断層撮像法）である。この手法は、 ^{15}O のように半減期が短く、崩壊の際に陽電子を放出するようなラジオアイソトープを静脈に注射し、放射活性を断層撮影することで脳機能を視覚化できる。多様なラジオアイソトープを利用できるので、様々な脳の活動状況の映像が得られることがPETのメリットであるが、利用するラジオアイソトープの元になる炭素（C）や窒素（N）、酸素（O）等はいずれも寿命が短く、測定を行う際には巨額の費用を要するサイクロトロンでラジオアイソトープを生産し続ける必要がある [42, 34]。

(5) SPECT SPECT（Single photon emission computer tomography, 単光子放出断層撮像法）は、PETと同様にラジオアイソトープの断層画像を得る手法であり、脳血流分布を精度良く把握できる。この手法は、一般の核医学で用いられるような、 ^{123}I や ^{133}Xe 等の崩壊時にガンマ線を放出するラジオアイソトープを利用する。これらのラジオアイソトープは、比較的半減期が長いいためPETのようにサイクロトロン等の特殊な設備を要しないというメリットがある。そのため、アルツハイマー病の診断等、臨床用に広く利用されている手法である [42, 34]。

2.4 コミュニケーションの進行支援に関する研究事例

我々は日常的に他者とコミュニケーションを行うが、様々な要因によりコミュニケーションの円滑な進行が阻害されることがある。ここではそれらの要因を除去することで円滑なコミュニケーション環境の構築を目指している研究事例を紹介する。

2.4.1 SCACS

SCACS (a Social Context-Aware Communications System) は、研究者達が集う場における対面コミュニケーションにおいて、各研究者の所属学会や共著者情報（誰と誰が同じ論文で共著の関係にあるか）を提示することでコミュニケーションの円滑化を図るシステムである。このシステムは主に下記コンポーネントから構成されている。

- SNS Server:
文献検索サービスを利用して収集した各研究者の共著情報が格納されている。SNS Server 内に格納された情報は API を通じて後述の Portable Computer から取得できる。
- Environmental Sensor:
ユーザの向きや相手との位置関係等を測定するための機器であり、GPS やジャイロセンサがこれにあたる。取得した情報は Portable Computer に送信される。

- **Portable Computer:**

EnvironmentalSensor から得られた情報に基づいて、コミュニケーション相手に関する情報を SNS Server から取得し、後述の Display Device 上に適切な形態で表示する。

- **Display Device:**

Portable Computer から受信したコミュニケーション相手の背景情報を提示するためのデバイスであり、HMD (Head Mounted Display) や PDA、携帯電話等がこれにあたる。

実際に学会においてこのシステムを利用したところ、背景情報を把握した上で行うコミュニケーションは相手の情報が全く分からない場合よりも円滑に進行することが報告されている。

2.4.2 Montage

Montage は、分散コミュニケーション環境において glance(一瞥) をサポートしたデスクトップビデオ会議システムである [45]。この glance が提供されることにより、分散環境にいるユーザ達は周りの状態に応じて話しかけることが可能になる。この研究では、相手の所在確認や相手と話す機会を交渉することは pre-interaction と定義されており、これが発生する状況のモデルとして下記の3つが挙げられている。

- **telephone モデル**

telephone モデルは、話をしようとしても相手が不在であったり、その場合に誰かが代理をしなければいけなかったりする等、生産性は必ずしも高くはないが、プライバシーに関しては完全に守られている。

- **overview モデル**

overview モデルとは、各ユーザの状況が常に撮影されて、全員が互いの状況を把握できるモデルである。このモデルでは、相手の様子が分かる反面、自分が常に監視されているのでプライバシー保護の観点では問題がある。特定の状況においては有効であるが、それ以外の場合はユーザはカメラに映らないように隠れてしまうことが多い。

- **hallways モデル**

人が誰かと話すためにオフィスや廊下を歩き回る様子をモデル化したものである。このモデルでは、プライバシーの保護と制御が行いやすく、コミュニケーションをするための適切な機会を見つけやすい。

Montage は hallways モデルに基づいて構築されている。ネットワークを通して相手と映像・音声の通信を行うことができるが、その際はいきなり映像・音声が続くので

はなく、始め映像のみが接続されて (glance)、話しかける方はこの映像を見て話すか話さないか判断できるようになっている。そして、話すか判断した場合、次に音声接続される。映像が現れる際も、唐突に現れるのではなく、最初に足音がして、それに伴って画面がフェードインする工夫が為されている。また、相手が不在等で話せない場合への対策として、Montage ではオンラインカレンダー・Stickup note (スクリーンに注意書きを残しておく機能)・eメール等のツールが提供されており、同期から非同期への通信にもある程度配慮がされている。

9人からなるグループが9週間に渡り行った評価実験によると、大部分の glance はすぐには双方向のコミュニケーションには発展しなかった。これは、Montage が簡単にコンタクトをとれることを支援しているだけではなく、コンタクトに至る pre-interaction を支援できていることを示している。

Montage は、ユーザがコミュニケーションを行うための適切な機会を発見するのに有効な映像的きっかけを提供している。つまり、Montage は音声だけでなく映像が双方向のコミュニケーションにおいて有効であることを実証しただけでなく、映像がどのように pre-interaction を支援するべきかについても探求したと言える。コミュニケーションが始まる前の交渉を自然な形で行うことを可能にしたこのアプローチは従来のデスクトップビデオ会議システムの映像の使用法とは明らかに異なるものである。

2.4.3 Hydra

Hydra は、テーブルを囲んでいるような状況を再現する遠隔会議システムであり、トロント大学で開発された [46]。

カメラ・モニタ・スピーカをそれぞれ1台ずつ使用し、1つの画面中に同時に全参加者を映し出す一般的な在席会議システムの方法は、顔の向きや視線等で会話の流れを制御できないため次のような問題がある。

- 個々の参加者に注意を注ぐことが難しい。
- 自分が誰かに注目されていてもそれに気付くことが難しい。
- 2人以上の同時の発話を聞き分けることが難しい。
- 2組以上に別れて同時に会話をすることが難しい。
- 内緒話をするのが難しい。

上記を改善するために、Hydra では小型のカメラ・モニタ・スピーカが一体化されたユニットが遠隔地にいる参加者に1式ずつ割り当てられ、これらがあたかも対面環境に参加者が存在しているかのように配置されている。このように、人がいる位置(いると想定する位置)にモニタを配置する発想は Hydra 以前からあり、Bell Northern Research 等で以

前から研究されている。ただし，Hydra はユニットが小型であり，比較的省スペースな環境にて遠隔会議を行えるという特徴がある。

しかし，Hydra と1つの画面中に同時に全参加者を映し出す一般的な在席会議システムの比較実験によると，並列な会話が可能になったこと，会話を追うのが楽になったことは確認できたが，その他には大きな差異が認められなかったと報告されている。これは，画面が小さすぎたために視線を追う効果が減退されたことが一因とされている。

2.4.4 cAR/Pe!

2.4.3 章の Hydra が現実空間中に各ユーザのモニタを配置したのに対し，cAR/Pe!は仮想空間中において円卓を囲むように各ユーザを配置している [47]。各ユーザはビデオ映像のライブストリーミングで表示されているため，表情等の情報を欠落させずに伝え合うことが可能である。さらに，各ユーザは自分の映像が表示されているパネルを回転させられるため，誰が誰の方向を向いているのか他者が理解でき，円滑にコミュニケーションを進行できるというメリットがある。

2.4.5 MAJIC

MAJIC (Multi-Attendant Joint Interface for Collaboration) は，臨場感が無い，視線の一致を行えない等の既存システムの問題点を克服した遠隔会議システムである [48]。MAJIC は次のコンセプトに基づいて設計されている。

- 等身大の相手画像との視線一致
等身大の表示を行うことで，より細かな仕草の伝達が可能になるだけでなく，身体動作を使ったコミュニケーションも活発になることが期待される。
- 1枚の湾曲スクリーンにシームレスに投影
一人一人を四角い枠に閉じ込めることなく，全参加者を1枚のスクリーン上に投影し，後ろに連続した1枚の背景を合成することで人と人之間をシームレスにできる。このようにシームレス映像を映し出すことで，臨場感・一体感の向上が期待できる。
- デスクトップの作業領域
MAJIC では，画面と利用者との間に連続したデスクトップの作業領域を設けることができる。これにより，対面環境と同様に会議に必要な共同作業領域を設けることが可能になる。また，卓上の作業空間は“視線を自然に外せる自由”として活用できるため，常に相手の顔を見ることを強いられず，より自然で人間的な会議空間が実現できる。

MAJIC では建装材として市販されているコントラビジョンを利用している。これは，透明なシートに特殊な技術を用いてドット等のパターンを印刷した物で，シートの表裏を

全く異なったデザインにすることが可能である。表が白、裏が黒の細かなドットが印刷されたコントラビジョンを利用することで、表からはスクリーンになり、裏からは透けて見えるような効果を得られる。このスクリーン上に多地点にいる相手の画像を等身大で投影し、相手画像の顔の真後ろにカメラを配置してこちらの様子をスクリーン越しに撮影すると、相手の目を見つめる行為がその後ろにあるカメラを見つめることになり、視線の不一致が起こらない。

スクリーンは1.2mの半径の円周に沿うように湾曲されて設置され、そこにそれぞれの相手画像が対面環境にいるかのような位置関係で投影される。この円の中心に利用者が座ると、まるで他の参加者と同じ部屋にいるような一体感・臨場感を得ることができる。また、投影画像の大きさと位置を変化させることで、仮想会議室内の座席配置を自由に変えることもできる。

2.4.6 VirtualActor・InterActor

非言語情報の中でも特にジェスチャを利用してコミュニケーションの円滑化を図っているシステムがVirtualActorである[49, 50, 51, 52]。VirtualActorはユーザが頭頂部、背中、両腕に装着した4個の磁気センサーの角度・位置情報を利用してユーザの頷き、身振り等の被言語情報を表現している。

頷きや身振り等を“コミュニケーションの引き込み動作”と定義して、これを音声から自動生成する音声駆動型身体引き込みキャラクタInterActorというシステムも提案されている[53]。InterActorは音声情報に基づいて話の聞き手のアバタとしてジェスチャを行うこともできるし、逆に話の語り手のアバタとしてジェスチャを行うこともできる。また、音声入力だけではなく、データグローブを用いて手指の動きを入力することでアバタのジェスチャをより豊かにする試みも為されている[54]。

2.4.7 MeetBall

MeetBallは、テーブルトップへの映像提示を行うことで発話を活性化させるコミュニケーション支援システムである[55]。

このシステムは情報処理用のコンピュータや映像提示用のプロジェクタを内包した球状のデバイスであり、コミュニケーションが行われるテーブルの上方から吊り下げる形態で利用する。コミュニケーション参加者の発話内容から音声処理技術によって単語を抽出し、その単語に適合する画像をテーブルトップに映写して発話内容を視覚化することで会話の活性化を実現している。例えば、一部の参加者しか知らない事物が言及された場合でも、それがMeetBallによって映像化されることで全員が視認する事ができ、会話が中座してしまったり一部の参加者だけで会話が盛り上がったりしてしまうことを防いでいる。

2.4.8 Paw2

PAW2は、インターネット上に構築された仮想空間中にユーザがアバタとして参加するタイプのコミュニケーションシステムである [56]。操作は基本的にマウスとキーボードを用いて行われるが、アバタの表情を変化させるインタフェースが用意されており、各表情のボタンをクリックすることでユーザは任意のタイミングでアバタの表情を変化させられる。

2.5 コミュニケーションの記録支援に関する研究事例

前節ではコミュニケーションの進行を支援する研究事例について述べたが、往々にしてコミュニケーションを記録することが必要な場合がある。例えば、コミュニケーションを記録しておいてその場に不在であった人にその内容・様子を伝達することは少なくないし、会議等のようにコミュニケーションの内容が複雑かつ資料的価値を持つものは議事録等の形態で記録して保存・参照することが多い。ここでは、コミュニケーションを映像・音声・テキスト等で記録したり、記録したコミュニケーションの各シーンを評価・インデキシングするための研究事例を紹介する。

2.5.1 FXPAL conference room

FX Palo Alto Laboratory の Chiu らは、会議中の映像や音声、参加者のメモ等を統合的に記録する機能を備えた会議室を開発している [57]。

この会議室には、コンピュータで操作可能な3台のビデオカメラが設置されており、参加者の様子やホワイトボードを撮影し動画として記録することができる。また、天井には6つマイクが設置されており、参加者の発言を音声で記録することができる。参加者はノートの形をしたワイヤレス端末に、電子ペンを利用してメモを取ることができ、この情報はタイムスタンプと共にデジタル的に保存される。また、この端末にはプレゼンテーション資料やビデオ会議で参加している遠隔参加者の様子を映すこともできる。

会議が終了すると、会議中に発生した様々な情報を元にしてHTML形式の会議記録が自動生成される。会議記録には会議の各シーンのサムネイルが時系列に沿って表示されており、これらはその時の会議映像の動画にリンクしている。各シーンには、参加者の電子ペンによるメモに基づくインデックスが付与されている。

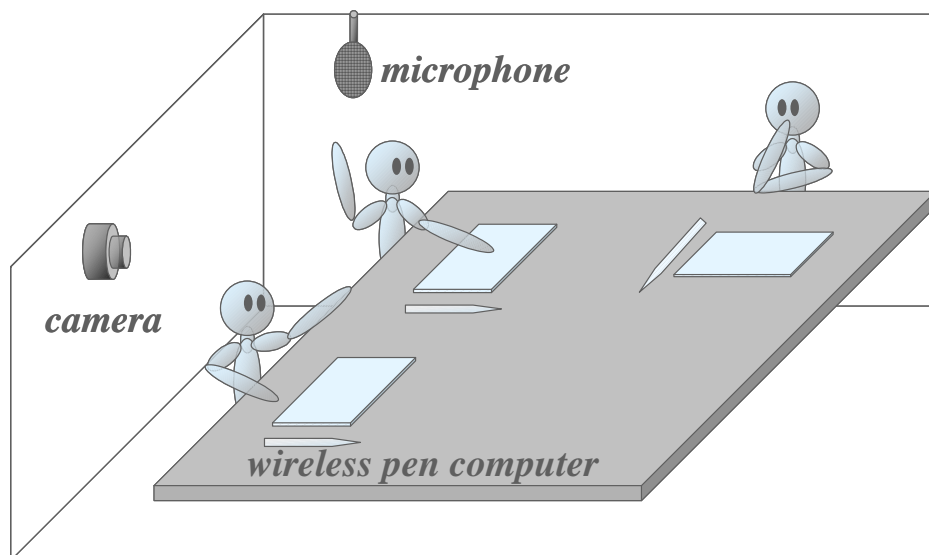


図 2.5: FXPAL conference room

2.5.2 全方位カメラを利用した会議撮影システム

Microsoft の Yong らは，全方位カメラを利用することで，低コストで会議の様子を記録できるシステムを開発している [58] ．

このシステムは，専用のカメラオペレータを用意しなくても，会議の様子を余すこと無く自動的に記録することを目的としている．まず，全方位カメラを利用することで，複数カメラ連携でしか撮影できなかったような，全参加者が並んだ連続映像の撮影を可能にしている．この時，全方位カメラ特有の映像の歪みが生じるが，その歪みを補正するソフトウェアも開発している．

会議映像を後から視聴できるようなインターフェースも用意されており，図2.6のように，全参加者映像と注目参加者の映像が表示されるようになっている．全方位カメラが撮影した映像の中から個々の参加者映像を切り出す際には，動き検出と肌色検出を組み合わせた人物抽出を行っている．注目人物の選択する際には，プロのビデオ編集者の意見に基づいてルールが決められている．例えば，誰かが発言を始めたらその人物を映し，30秒以上発言を続けていたら，5秒ほどランダムに別の人物を映す等といった工夫がされている．

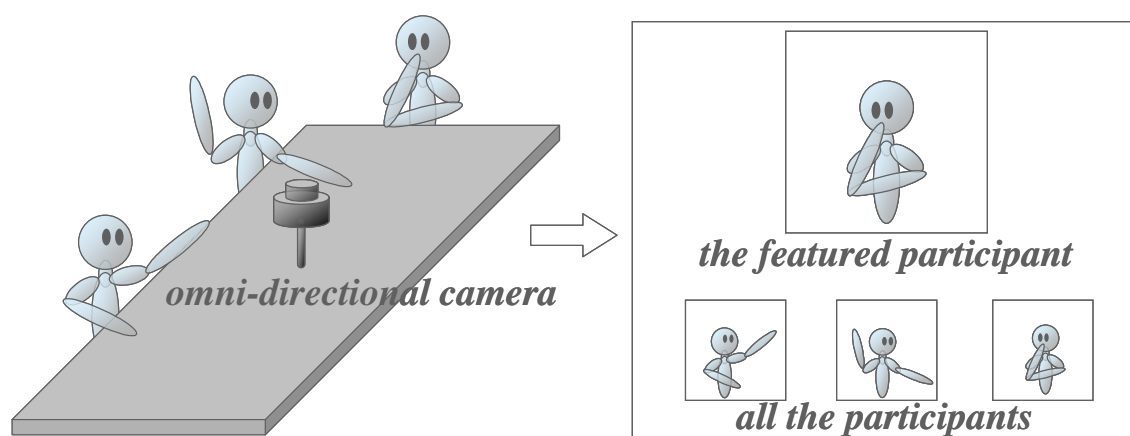


図 2.6: 全方位カメラを利用した会議撮影システム

2.5.3 Meeting Browser

Carnegie Mellon 大学の Waibel らは、会議映像に発言情報から自動生成したインデックスを付与することができる Meeting Browser を開発している [59]。

このシステムでは、音声解析技術を利用して会議中の発言から重要なフレーズを抽出している。その際、発言内容の意味的・構文的な解析は行わず、フレーズの出現回数を数えるといった統計学的なアプローチを行っているので、音声情報だけから要約を作成できるというメリットがある。重要フレーズから生成されたインデックスと会議映像を同時に参照でき、インデックスを利用して会議の各シーンを素早く再生することも可能である。

また、動画を利用した記録ではないが、MIT Media 研究所の Hindus らも、発話情報から生成したインデックスを会議記録に付与する研究を行っている [60, 61]。

彼らは Waibel らとは異なり、音声解析技術を利用せずにミーティング中の音声情報を利用しようとしている。彼らは現状の音声解析技術では会話等の自然言語からの的確に情報を抽出することは困難であると考え、さらに、会話の構造や流れを把握するためにはミーティング中の生音声を参照することが重要だと考えた。そこで、彼らがとった手法は、ミーティング中に各参加者が発話していた時間帯を抽出・インデックス化し、録音した音声の後から参照しやすくするといったものである。参加者は任意のタイミングで録音中の発話ログにフラグを立てることもできるので、会話終了後、もしくは、会話中に過去の発言内容を記録したものにアクセスすることが容易である。

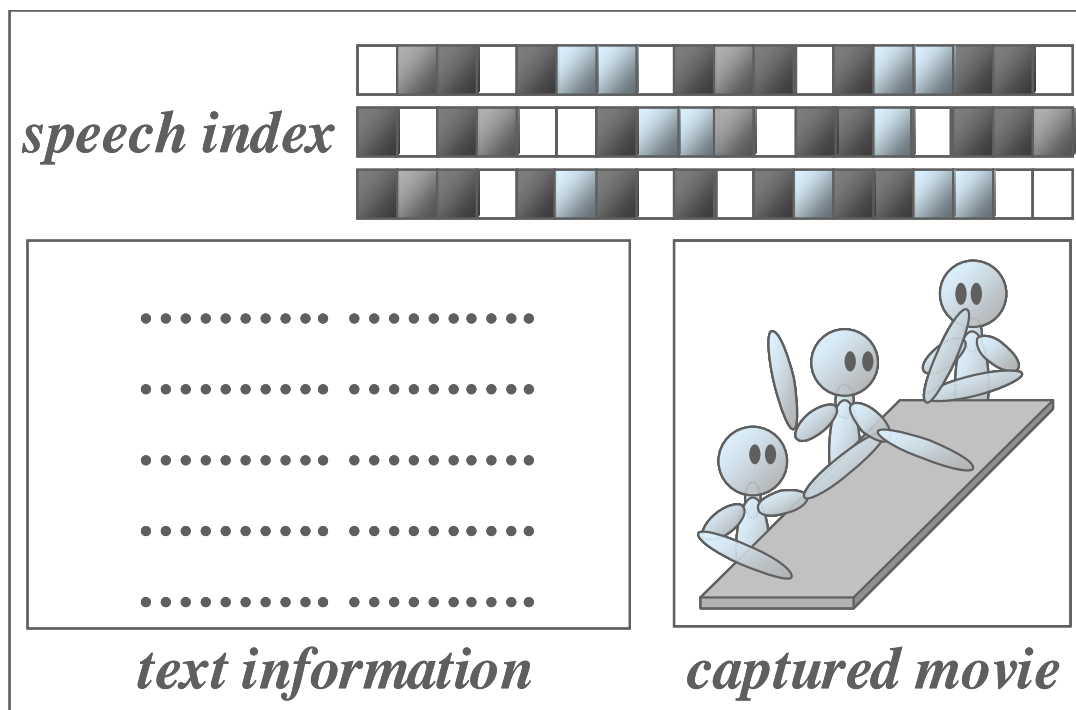


図 2.7: Meeting Browser

2.5.4 テロップを利用した研究事例

Carnegie Mellon 大学の Smith らは、ニュース映像中のテロップを用いて各シーンをインデキシングし、重要シーンを決定する手法を提案している [62]。

ニュース映像は、他の種類の映像に比べてより厳密に構造化されており、予めトピックごとにテロップが付与されているという特徴がある。彼らは、この特徴を利用してニュース映像を分割し、ニュース番組の内容を端的に示すテロップを利用して各シーンにインデックスを自動付与している。さらに、テロップに登場する各単語の出現頻度を集計してキーワードを抽出し、重要なシーンのインデックスとして利用している。この手法で重要度の高いインデックスが付与されたシーンを抽出してダイジェストを生成すると、原映像の重要な内容を保ったまま、最大で 20 分の 1 の長さまで圧縮できるという。

Kuwanon も同様に、テロップを利用した映像インデキシングを提案している [63]。

彼らは、背景が込み入ったシーンにおいても、映像に重畳されて表示されるテロップの情報を自動的に取得できる技術を開発している。その際、テロップの意味情報だけでなく、属性（フォント、サイズ、表示位置）も検出している。なぜならば、“ニュースのヘッドラインは大きいフォントで表示したい” 等のように、テロップの属性には編集者の意図が現れているからである。映像にはテロップの意味情報および属性から導出されたインデックスが付与されることになる。さらに、このテロップ検出技術に加えて、ショット切替検出、カメラワーク検出、音楽検出、音声検出の機能も兼ね揃えた映像インデキシングシステム SceneCabinet も提案されている [64]。

2.5.5 色情報を利用した研究

Meryland 大学の DeMenthon らは、テロップ等のメタデータが埋め込まれておらず明確な構造化が難しい映像に対して、映像の色変化に基づいてシーンの境界を決定する手法を提案している [65]。

この手法では、特徴ベクトルを用いて色変化の推移をグラフとして表現しており、大幅に色が変化するフレームをシーンの境界と判定している。場合によっては映像は非常に多くの色情報を含むため、色変化をただグラフ化しただけではグラフの関数は高次元になってしまうが、彼らは木構造を用いてグラフを再帰的に低次元化し、処理を簡略化する工夫をしている。

さらに、彼らは、木構造の中で異なるレベルの接点に相当するフレームをキーフレームとして使用し、任意の粒度（木構造中のレベル）でダイジェストを生成できるようなインタフェースを提供している。

また、神戸大学の本多らは、映画やドラマのようにストーリーを持つ映像に対し、映像の色に関する特徴量を利用したダイジェスト生成を行っている [66]。

この手法では、各ショットから代表フレームの特徴量を算出し、隣接ショット間同士の代表フレームの差分がシーン境界として妥当かどうか、確率モデルに基づいて判断している。これにより、色が類似したショット列から全く異なる色で表現されるショットに推移

表 2.3: 本多らによる内容に一貫性のある発話の定義

	定義	理由
Same speaker	同一の発話者による連続した発話。	同一の発話者による連続した発話は、時間、場所、内容について一定である。
Question-answer	疑問文を含む発話と直後の会話。「？」を含む文を疑問文とする。	問いには必ず答えが存在し、問いかけられた話者は答えるのが自然である。
Second person	代名詞 you の変化形を含んだ発話と近隣の発話。	話し相手の存在を示しており、ある話題についての会話が行われている。
Conjunction	and, then 等の接続詞で始まる発話と1つ前の発話。	接続詞の部分で内容が途切れることはありえない。
Pronoun	he, she 等の代名詞を含む発話と1つ前の発話。	第三者の存在を示しており、その人物に関係した内容の発話である。
Co-occur	隣接する会話で単語の共起がある部分。	単語の共起は、同じ内容についての発話をしている際に生じる。

した場合等が、シーンの境界として判定されるようになっている。

さらに、彼らは、発話情報を利用してダイジェストの要素となるシーンを選別している。具体的には、対象となる映像（映画やドラマ）に予め付与されている Closed Caption（発話内容を記述した文字放送用のテキスト情報）から会話内容に一貫性がある部分を検出し、そのシーンをダイジェストの要素として採用するアプローチを取っている。表 2.3 に、彼らが定義した内容に一貫性のある発話の一覧を示す。

2.5.6 動き情報を利用した研究事例

鈴木らは、“動きベクトル”の変化を利用して映像の切れ目を検出する研究を行っている [67]。

従来から、映像中の動きベクトルが大きいショットをシーンの境界と判定する研究は行われていた。しかし、ベクトルの大きさだけで判定を行った場合、画面全体の動きが大きいショット（“大きな物体の高速運動”や“画面全体の高速パン”等）をシーンの境界として誤判定してしまうといった問題を抱えていた。

そこで、彼らは、動きベクトルの方向の変化を利用してシーンの境界を検出している。

表 2.4: ショットの属性値

属性値	説明
SceneID	シーンの識別番号
CutID	カットの識別番号
ShotID	ショットの識別番号
StartFrame	ショットが開始するフレーム番号
EndFrame	ショットが終了するフレーム番号
CameraWork	カメラワーク
ShotSize	ショットサイズ
Master	マスターショットとして適しているかどうか
Used	既に編集されたかどうか

画面全体の動きが大きいだけのシーンでは、動きベクトルの絶対値は大きいですが方向は比較的揃っている傾向がある。それに対して、シーンの境界では動きベクトルの方向分布が異なるという特徴がある。彼らは、この特徴を利用して、動きベクトルの方向分布の違いが大きいショットをシーンの境界と判定している。さらに、ドラマやスポーツ番組、ニュース番組等映像ジャンル別に識別辞書を作成し、辞書に基づいて動きベクトルの変化を判定することで、より高い精度でシーンの境界を検出することに成功している。

2.5.7 映像文法を利用した研究事例

映像文法とは、製作者側の意図を視聴者に正確に伝えることを目的として映像を編集する場合に、必ず守らなくてはならない普遍的な規則であり [68]，映像文法を利用したダイジェスト生成システムも数多く提案されている [69, 70, 71, 72]。

神戸大学の天野らは、映像文法を利用した映像編集支援システムを開発している [69, 70]。

このシステムでは、“シーンはマスターショット（シーン全体の様子が分かるようなショット）から始まらなければならない”等の映像文法のルールに則って、単位映像の範囲をカメラワークやシーンチェンジから自動的に検出している。その際、カット点（カメラのON，OFFが行われた点）やシーンの境界の検出には彼ら自身が提案するバッファリング法 [73]，シーンの切れ目判定法 [74] を利用し，カメラワークの検出には長坂らによる投影法 [75] を利用している。さらに、それぞれのショットに対して、表 2.4 に示すような属性を自動付与しており、この属性に基づいて映像を編集できるシステムを構築している。

大阪大学の西澤らも、映像文法を利用したダイジェスト自動生成システムを開発している [71]。

重要度が高いシーンを個々に抽出・連結しただけのダイジェストでは、シーン間の整合性や関連性が考慮されていないため、映像の意図が視聴者に伝わり難い違和感のあるダ

表 2.5: 西澤らによるシーンの関連性の定義

関連性	説明
強関連性	映っている対象の間に関連性がある。 2つの映像の間に他の映像を挟むことはできない。
弱関連性	映っている対象の間に関連性がある。 2つの映像の間に他の映像を挟むことができる。
連鎖関連	一方の映像が選択された時には、もう一方の映像もなるべく使用した方が望ましい。
並列関連	映っている対象の間には関連性が無いが、シチュエーションが類似している関係。
排他関連	一方の映像が選択された時には、もう一方の映像は選択しないことが望ましい関係。
無関連	2つの映像間には関連性が無い。

イジェスト映像が生成される可能性があった。そこで、彼らは以前、映像文法を利用することで、映像の断片が違和感なく接続されたダイジェストの自動生成を提案していた [76]。しかし、映像文法は映像内容そのものの規則を定めたものではないため [68]、例えば、“シーン A を説明するシーンがあるのに、シーン A がダイジェストに含まれていない”といったような、視聴者が理解しにくいダイジェスト映像が生成されてしまうおそれがあった。

この問題を解決するために、彼らは、映像内容の関連性を考慮したダイジェスト自動生成システムを提案している [71]。映像の各シーン間にはそれぞれ表 2.5 のような関係が予め手動で定義されており、この関係を考慮しながら各シーンを抽出・連結してダイジェストの自動生成を行っている。さらに、“このシーンはダイジェストに必要”、“ダイジェストにシーン A が採用されているなら、シーン B も採用する”といったような映像製作者の意図もメタデータとして各シーンに付与されており、より完成度の高いダイジェストの生成を実現している。

他の映像文法を利用した研究例としては、慶應義塾大学の井上らの TV 会議システムが挙げられる [72]。

彼らは、映像文法 [68] の中でも特に討論番組のカメラワークの知識を利用して会議映像の演出を行っており、変化に富んだ会議映像を提供することで TV 会議における様々な問題の解決を目指している。特に、“モニタに映る人数が多いと、個々の人物の表情が読み

取り難い”という徳らの報告 [77] があるが、彼らの手法を利用すれば人数が多い場合でも話者映像を中心とした映像の切り替えが行われ、この問題を解決することができる。

2.5.8 状況理解を利用した研究事例

大阪府立大学の西らは、対象物の状況理解に基づいた映像の自動評価を行っている [78]。

彼らは、講義を自動撮影する際に、講義の状況理解に基づいて複数のカメラの映像を自動評価して、適切なカメラ映像にスイッチングを行う手法を取っている。具体的には、まず、講義映像中の動物体の位置を検出することで「教師の位置」を推定、肌色領域を検出することで“教師の顔の向き”を推定、黒板中の静物体の量を検出することで“板書量の増減”を推定する。次に、予め定めた撮影規則に基づいて、推定した状況に一番適しているカメラ映像にスイッチングする。例えば、教師が右側にいれば右側が映るカメラ映像、教師が板書をしていれば教師と黒板が映るカメラ映像にスイッチングが行われる。

同様に、筑波大学の尾関らも、対象物の状況理解に基づいた映像の自動編集手法を提案している [79, 80]。

彼らは、人間の連続的な振る舞いの中から、動き情報だけを用いて意味ある行動を抽出・認識することは難しいと判断して、“動き情報”と“発話情報”を組み合わせる手法を取っている。具体的には、机上作業（料理、組立て、作業等）を複数カメラで撮影した映像の自動編集を実現するため、“指示”や“実演”等の手の動きと、“呼びかけ”等の発話を“注目喚起行動”と定義し、それらをキーとして映像を自動編集している。例えば、特に注目喚起行動が行われていない場合は人物と作業領域の全体図が映り、“指差す”という注目喚起行動が行われた場合は指差している対象が映るようになっている。なお、手の動きは可視光カメラ・赤外線カメラで検出し、作業対象物の位置などはステレオカメラを利用して検出している。表 2.6 に、彼らが定義した注目喚起行動の具体例を示す。

2.5.9 テキスト情報を利用した研究事例

電子掲示板（BBS）やブログのコメント機能を利用して行われるテキストコミュニケーションの記録を分析・活用する研究も行われている。これらのコミュニケーションは会話自体がテキストを通して行われるので、コミュニケーションを記録することはそれほど難しくない。しかし、その記録の中から重要な発言、有益な情報、中心的な役割を果たしている人物等を発見することは困難である。

この問題を解決するために、電子掲示板（BBS）上で行われたテキストコミュニケーションの記録を分析する CMINER というシステムが提案されている [81]。このシステムは BBS のスレッド上における各ユーザの発言数や発言間隔、ユーザ間の関わり合いの深さ等を分析することが可能である。

表 2.6: Ozeki らによる注目喚起行動の定義

注目喚起行動	説明
pointing	注目して欲しい物体や場所を手や指で指し示す動作。
holding-out	注目して欲しい物体を体の前に掲げたり，軽く持ち上げたりする動作。
illustration	その場には無い物体の形や大きさをジェスチャで表現したり，操作等を身振りで表現する動作。
manipulation	作業の一部や一連の作業が特に重要であることを強調し，実際に行ってみせる動作。
direct request	「見て下さい」等と呼びかけて，現在の状態に注目して欲しいことを示す発話。
deictic utterance	「これが」等と協調して，操作している対象や操作自体に注目して欲しいことを示す発話。

一方，ブログ記事の性質によって読者の反響が異なる点に着目し，読者の行動記録を分析することで有益なブログ記事を発見する”反響特性分析”という手法も提案されている [82, 83]。この手法では主にブログ上のコメントを通じて行われるコミュニケーションに着目している。例えば，資料的な価値を持つブログ記事は長期間に渡って大人数からコメントを受け続ける，面白いネタに関するブログ記事は短期間で大量のコメントを集める等の現象を利用し，コメントの数や送信者数，送信時間間隔等を多面的に分析するアプローチを採っている。

2.5.10 協同記録に関する研究事例

人手をかけてコミュニケーション記録を作成する手法についても研究が行われており，協同記録作成はその代表的な例である。

江木らは，対面会議において協同議事録作成を行うためのシステム EGITool を提案している [84, 85]。このシステムでは，議事録を参加者全員が会議進行中に共同執筆することで，議事録作成者の負荷を軽減している。また，この種の共同執筆システムで問題にな

ることが多い編集権限の排他制御に関しても，議事録の行単位で排他制御を行うことで議事録全体の編集権を一部の参加者が占有してしまう危険性を無くしている．

2.6 思考状態推定に関する研究事例

2.4節でコミュニケーション支援に関する研究事例，2.5節でコミュニケーション記録に関する研究事例について述べた．ここでは，この両方に必要と思われるコミュニケーション中の思考状態推定を目指した研究事例を紹介する．思考状態推定には様々な指標が用いられているが，ここでは大きく分けて2.6.1項にて非言語情報，2.6.2項にて生体情報を利用した研究事例として紹介する．なお，脳波情報も生体情報の一部であるが，脳波は本研究と特に深い関わりを持つため別途2.6.3項にて研究事例を紹介する．

2.6.1 非言語情報を利用した研究事例

非言語情報を利用して思考状態推定を目指した研究事例として，2.6.1.1項にて表情解析，2.6.1.2項にて音声解析，2.6.1.3項にて行動解析を利用した研究事例を紹介する．

2.6.1.1 表情解析を利用した研究事例

人間が相手の思考状態を推定する際に，一番よく利用する手段は表情であると思われる．Oxford大学のBullも，表情を「情動を表出して伝達する最も重要なノンバーバル言語」と位置付けている[86]．表情の変化から直接思考状態を推定するような研究はあまり行われていないが，顔表情の認識研究自体は1970年代から画像処理の分野で活発に行われており，近年の画像処理技術の発達により，高解像度化・認識率の向上・リアルタイム化が実現されている．

表情の認識を行う場合，カラーCCDカメラにより撮像された静止画像，あるいは，動画像から顔の表情を認識することが多い．次に示すのがリアルタイムで認識処理を行うための手順である．

- (1) 撮像画像から顔部分を抜き出す．
- (2) 顔画像から特徴を抽出し符号化する．
- (3) 抽出した符号を表情に変換する．

1においては，主に色情報の認識による方法や背景画像との差異から認識する方法，顔形状のテンプレートと表情のマッチングを利用する方法等がよく用いられている[87, 88]．ただし，これらの方法はそれぞれに問題点を抱えている．色情報を認識する方法では，照明の当たり具合や肌の色により抽出が困難な場合もある．背景画像との差異を認識する手

法では、カメラの移動や背景の変化により顔部分を正しく抽出できないことがある。テンプレートとのマッチングを利用する手法では、計算量が大きくなってしまいうためリアルタイム処理が困難である。

2においては、目や口のような顔器官（特徴点）を抽出してその位置変化を特徴量とする手法、顔器官の輪郭形状の変化を特徴量とする手法、顔の皮膚表面の移動を特徴量とする手法等がある [87, 89, 90]。

3においては、ルールによる推定や、ニューラルネットワークによる推定等がある [87, 91]。ルールによる推定では、California 大学の Ekman らによる FACS (Facial Action Coding System) と呼ばれる手法がよく用いられる [92]。FACS は心理学分野の表情研究で有名な手法であり、表情を動作が独立で視覚的に識別可能な動作単位の組合せ “ActionUnit” として記述する (表 2.7)。ただし、FACS は定性的に記述されているので、ルール化の際には定量化が必要である。

下田らは上記の3つの手法を用いている [87]。その際、顔の動画像を CCD カメラで撮像し、その表情をリアルタイムで認識する手法をとっている。具体的には、目、眉、口の各端点に設定した 18 個の特徴点を画像処理によって抽出し、それらの位置関係を表す 16 個の特徴量の計算を行っている。そして、顔の上部・中央部・下部の 3 つの領域において、ファジィ推論を利用して各特徴点の変化量から基本 6 表情が現れている強さを認識する。この時、前述の FACS を用いて顔表面の変化と表情との関連を測っている。

表 2.7: Ekman らによる Action Unit の一覧

顔の上部	顔の下部
1. 眉の内側を上げる	9. 鼻にしわを寄せる
2. 眉の外側を上げる	10. 上唇を上げる
4. 眉を下げる	11. 鼻唇溝を深める
5. 上瞼を上げる	12. 唇端を引張りあげる
6. 頬を持ち上げる	13. 唇端を鋭く上げて頬を膨らます
7. 瞼を緊張させる	14. えくぼを作る
41. 瞼を力なく下げる	15. 唇端を下げる
42. 薄目	16. 下顎を下げる
43. 瞼を閉じる	17. 下顎を上げる
44. 細目	18. 唇をすぼめる
45. まばたく	20. 唇端を横に引張る
46. ウィンクする	22. 唇を突き出す
70. 眉が見えない	23. 唇を固く閉じる
71. 目が見えない	24. 唇を押さえつける
	25. 顎を下げずに唇を開く
	26. 顎を下げて唇を開く
	27. 口を大きく開く
その他の部分	頭と目の位置
8. 唇同士を接近させる	51. 左を向く
19. 舌を見せる	52. 右を向く
21. 首を緊張させる	53. 頭を上げる
29. 下顎を突き出す	54. 頭を下げる
30. 下顎を横へずらす	55. 左へ傾ける
31. 歯を食いしばる	56. 右へ傾ける
32. 唇を噛む	57. 前へ出す
33. 息を吹きかける	58. 後ろへ引く
34. 頬を息で膨らます	61. 左を見る
35. 頬を吸い込む	62. 右を見る
36. 舌で頬や唇を膨らます	63. 上を見る
37. 舌で唇をなめる	64. 下を見る
38. 鼻孔を開く	65. 斜視
39. 鼻孔を狭める	66. 内斜視

表 2.8: Picard による音声効果と感情要因の関係の定義

	恐れ	怒り	悲しみ	幸福	憎悪
速さ	非常に遅い	少し速い	少し遅い	速いか遅い	極めて遅い
平均ピッチ	極めて高い	極めて高い	少し低い	非常に高い	極めて低い
ピッチ幅	かなり広い	かなり広い	少し狭い	かなり広い	少し広い
強弱	普通	大きい	小さい	大きい	小さい
声質	正常とは異なる発声	息切れのするトーン	共鳴的	吐息が低い	不満気なトーン
ピッチ変化	正常	強調的で突発的	下方への変化	なだらかな上方への変化	広い下方への変化
滑舌	正確	緊張的	不明瞭で連続的	正常	正常

2.6.1.2 音声解析を利用した研究事例

音声から話し手の心理状態を解析することができる Truster というシステムが AdvantageUpGrade 社によって開発されている [93]。このシステムは、話し手の音声を入力するだけで“真実を話している”、“興奮している”等の心理状態を推定することができるため、金融機関や警察機関等で利用されているケースもあるという。

MIT メディア研究所の Picard は、声の抑揚やピッチから発話者の感情を推定する試みを行っている [94]。具体的には、音声の周波数解析等を利用して発話の“速さ”、“平均ピッチ”、“ピッチ幅”、“強弱”、“声質”、“ピッチ変化”、“滑舌”を計測し、表 2.8 に示す関係に基づいて感情の推定を行っている。

また、Microsoft 社の Yan らは、音声から心理を解析してリアルタイム表情アニメーションを作成できるシステムを開発している [95]。彼らは、分類問題を効率的に学習できると言われている SVM (Support Vector Machine) を利用しており、SVM に予め“happy”、

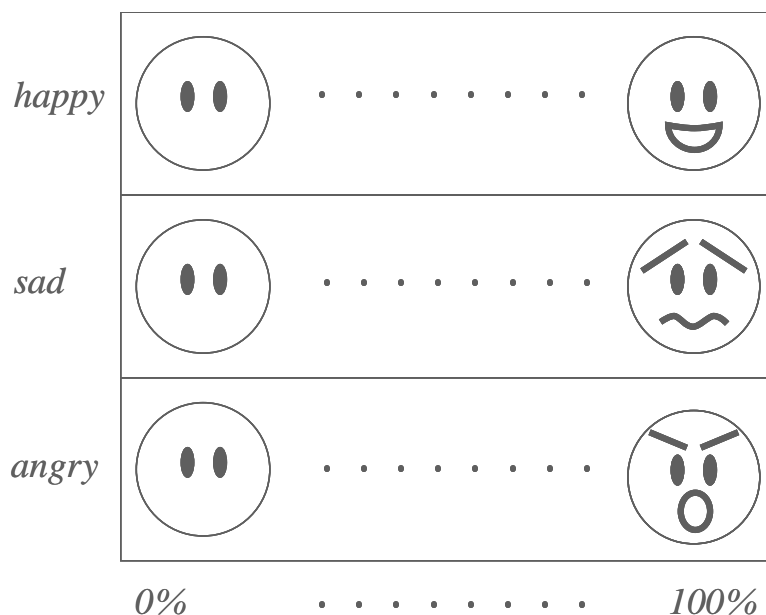


図 2.8: 音声心理分析に基づくリアルタイム表情アニメーション

“sad”, “angry” の各感情を学習させている．そして，SVM に音声を入力して話し手の各感情のレベルを導出し，モーフィングを利用して各感情の表情を合成して図 2.8 のような表情アニメーションを実現している．

同様に，ATR 知能映像通信研究所でも，ニューラルネットワークを利用して話し手の口調等から心理状態を解析し，話し手の心理に応じて映画のストーリーを変化させるという研究も行われている [96].

2.6.1.3 行動解析を利用した研究事例

慶應義塾大学の本田らは，会議中の行動から参加者の集中度を推定する研究を行っている [97, 98] .

彼らは，作業者の集中度に応じた環境を提供する仮想オフィスシステム Valentine を開発している．Valentine は地理的に分散した参加者をネットワーク上に仮想的に構築したオフィスに出勤させ，そこで他の参加者の雰囲気・気配を伝達してコミュニケーションを支援するシステムである．遠隔地にいる他の参加者の気配をアウェアするために，“周辺視ビュー” および “効果音” を実現している．周辺視ビューとは，現実世界の視野に相当する 200 度の範囲で仮想空間を描く手法であり，正面の狭い範囲しか描かない従来の手法とは異なり隣にいる参加者の “気配” まで察することができる．その際，正面以外にいる人物にはモザイクがかけられて表示されるため気配だけしか察することができず，彼らの様子を詳しく知りたければ彼らの方を向く必要がある．“関心がある人の方を向く” とい

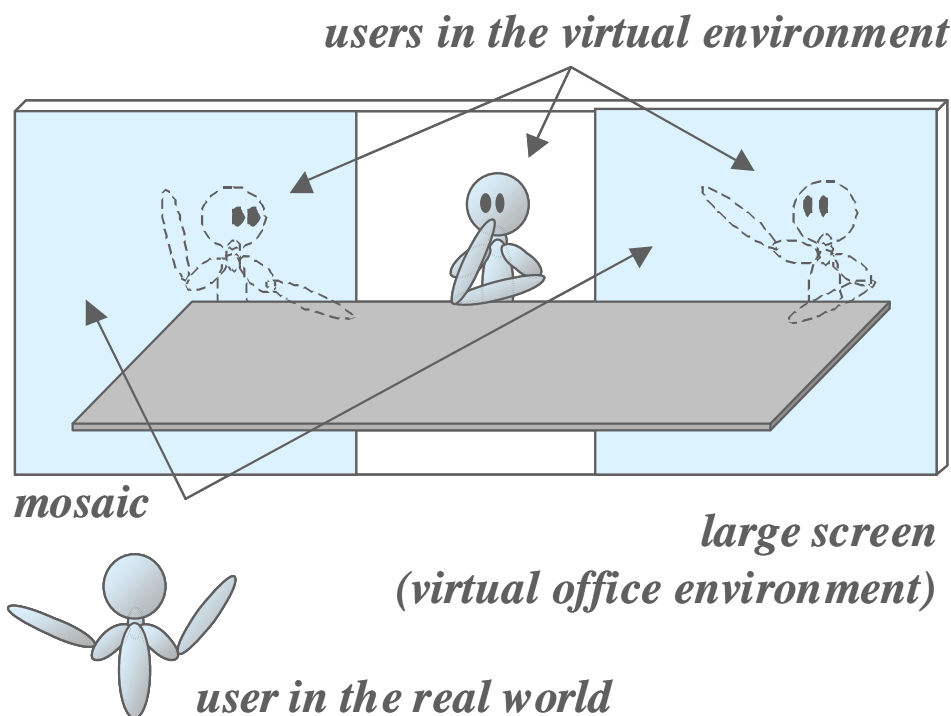


図 2.9: Valentine

この行為は現実世界を忠実に再現しており、他の参加者に自分が関心を持っている対象を知らせるという意味合いも持つ。また、効果音は“オフィスを歩く足音”、“椅子を動かす音”、“ドアを開閉する音”、“雑音”が提供されており、実際にオフィスにいるような臨場感や緊張感を高めている。

しかし、アウェアネスの過度な提供が効率的な個人作業の妨げになることから、各参加者に“集中度”を定義し、集中度に応じたアウェアネスの提供を実現している。集中度はキーボード・マウスの使用頻度、椅子を動かす頻度という2つの行動から自動検出され、作業環境に反映される。

2.6.2 生体情報解析を利用した研究事例

生体情報から人間の思考状態を推定しようとする試みも数多く行われている [99, 100, 101, 94, 102]。

MIT メディア研究所の Healey らは、皮膚伝導率からユーザの驚きを検出する手法を取っている [99]。

彼らが開発した StartleCam というウェアラブル型のシステムは、皮膚伝導率センサやデジタルビデオカメラ、無線通信機器等から構成されている。指の皮膚伝導率が変化する

と，“ユーザを驚かすような出来事が起こった”とシステムが判断してデジタルビデオカメラでその出来事を自動的に撮影して画像情報を Web サーバへ無線で送信する仕組みになっている。

東京大学の廣瀬らも同様の研究を行っており，彼らは心拍を記録する手法を取っている [100]。

皮膚の情報を利用した研究は他にも行われており，例えば，岡山県立大学の渡辺らの研究が挙げられる [101]。

彼らは，サーモグラフィを用いて顔面皮膚温や末梢皮膚温を計測し，そこから情動やストレスを推定する手法を取っている。この研究では，被験者に恐怖ビデオを見せた時の鼻部や指背面の温度変化や心拍を計測し，恐怖に対する情動変動時に皮膚温や心拍間隔が低下すること，そして，呼吸数が多くなること等を確認している。

また，皮膚の情報だけでなく，様々な生体情報から総合的に感情を推定しようとする試みが MIT メディア研究所の Picard によって行われている [94]。

彼女は，“皮膚伝導度反応”，“咀嚼筋の筋電位”，“血圧”，“呼吸”の4つの生理指標と感情との関連を調査している。さらに，これらの指標の平均や標準偏差等を利用して24の特徴量を求め，その特徴量と感情との関連を調べている。

東北大学の渡辺らも，各種の生理指標をニューラルネットワークに入力してリアルタイムに心理状態を推定する研究を行っている [102]。

この手法では，まず，次の生理指標の計測を行う。

- a. 心拍数
- b. 心拍数変化
- c. 呼吸数
- d. 呼吸数変化
- e. 血圧変化
- f. 皮膚電位反応
- g. 瞬目数
- h. 眼球の飛翔運動数

その後，次の状態の推定を行う。

- I. 情報取り込み

II. 記憶関連

III. 思考

IV. 動作

V. 情動

VI. その他

ニューラルネットワークには、a-e を入力層，I-VI を出力層として，中間層を 3-4 個に設定したものをを用いている。事前に被験者による認知状態誘発実験を行い，得られた生理指標のパターンと認知状態との関連を教師データとしてニューラルネットワークに学習させている。

上記に述べた指標も含め，京都大学の下田は各生理指標を表 2.9 ように解釈している。

表 2.9: 下田による生理指標の解釈

生理指標	解釈および評価方法
心電図	<ul style="list-style-type: none"> ・ 覚醒度低下に伴い、心拍数は低下し、作業パフォーマンスも低下する。 ・ 精神作業負荷の上昇に伴い、RR 間隔のばらつき、変動計数等が低下する。 ・ RR 間隔時系列データの周波数解析では、安静時には $1/f$ 分布であるが、緊張あるいは作業負荷により $1/f^2$ に近づく。
血圧	<ul style="list-style-type: none"> ・ 肉体および精神作業負荷により、血圧値は短期的に上昇する。 ・ 最高・最低血圧の概日リズムには 24 ± 3 時間の周期が観測される。
呼吸	<ul style="list-style-type: none"> ・ 肉体作業負荷により、酸素消費量が増加する。 ・ 過度の緊張により呼吸数は減少する。 ・ 肉体的・精神的負荷により呼吸数が増加する。
脳波	<ul style="list-style-type: none"> ・ 覚醒度が低下すると、低周波成分が増える。 ・ 眼球運動等と組み合わせて睡眠段階の判定を行う。
事象関連電位	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特定の刺激を与えた際に脳波上に現れる成分。 ・ 刺激後の陰性波と陽性波の電位差が注意力の関数となる。 ・ 刺激の 300ms 後の波高が、精神作業負荷の増加により減少する (P300)。
体温	<ul style="list-style-type: none"> ・ 直腸温により快適あるいは局部温性、ヒートストレスの判定を行うことができる。 ・ 顔面の平均皮膚温は快適感覚醒度と関連性が深い。
まばたき	<ul style="list-style-type: none"> ・ 覚醒度が低下するとまばたきの波形がゆっくりしたものになる。 ・ 覚醒度が著しく低下する直前に群発性の瞬目が増える。
臨界フリッカ周波数	<ul style="list-style-type: none"> ・ 生体リズムに近い 24 時間周期のカーブを描く。 ・ 精神・神経疲労時および覚醒度低下時に弁別周波数が低下する。
皮膚電気活動	<ul style="list-style-type: none"> ・ 覚醒度が低下すると皮膚電位 (抵抗) 水準が上昇する。 ・ 作業の複雑さ、注意の集中、作業負荷により、皮膚電位 (抵抗) 反射の発生頻度や振幅が変化する。

2.6.3 脳波情報を利用した研究事例

2.6.3.1 脳波の特性を調査する研究事例

ここでは、脳波情報を利用して思考状態推定を行うために必要不可欠な、思考と脳波の関係に関する基礎的な研究事例を紹介する。

2.3.2 項でも述べたように、脳波は α 波や β 波、雑音等の複数の要因が複雑に絡み合った時系列信号である。そのため、脳波の特性を調査する際には、脳波データを周波数分解して観測する機会が多い[103, 104, 105, 106, 107]。

しかし、各周波数帯の中で、どの帯域が重要で、どの帯域が重要でないのか判断することは容易ではない。「 α 波が多いからリラックスしている」であるとか「 β 波が多いから集中している」等と言われるが、決して巷で言われるほど脳波と思考状態の関係ははっきり決められるものではない。例えば、 α 波が多いほど「落ち着いていて作業効率がいい」ということが言われるが、少し緊張して β 波が出ている時の方が作業効率が良いこともあるし、2.3.2 項でも述べたように、人によっては α 波がほとんど観測されない場合もある。さらに、脳波は個人差が大きい上に、同一人物でも時間帯・状況によって脳波と思考状態の関係は変化する。

そこで、徳島大学の伊藤らは、遺伝的アルゴリズムとニューラルネットワークを利用して、対象とする周波数帯域を取捨選択する方法を採っている[108]。

彼らは、脳波データの中で特徴が強く現れている周波数帯域を抽出し、逆に、自発電位や雑音等不要な情報を多く含む帯域を除去して脳波パターンの分類・識別を行っている。

また、特定のタスクを実行している時の脳波特徴を抽出しようとする研究も数多く行われている。タスクの対象は、“随意運動”[109]や“作業”[110]といった幅広い概念のものから、“聴覚ストレスを受けている時”[111]といった具体的なものまで様々に渡っている。

中でも、知的作業と脳波の関係を調査した Veterans Administration Medical Center の Giannitrapani らの研究は興味深い[1, 2, 112]。

知的作業が行われる前に、脳内の神経細胞が化学変化を起こすことを知っていた彼らは、脳波の周波数成分の中には知的作業と強い関連を持つものと仮定し、知能テストを受けている最中の健常者の脳波を測定した。その結果、13Hz 帯(12–14 Hz, β 波の低周波数成分)の脳波が、読解テスト、数学テスト、図形整列テスト中に優勢となり、それ以外のテスト中には優勢でなくなることが分かった。これは、 β 波が思考状態を推定する指標としてある程度有効であることを示している。

大分大学の村井らは、ディベート中やコンピュータ操作中の脳波を測定している[113, 114, 115]。特に、ディベート中の脳波については、次のような結果が得られている。

- 閉眼安静時には顕著に α 波が現れる。
- 自分が発言する時は、 α 波と β 波が共に活性化する。
- メモをとっている時は β 波が非活性化する。

- 自分に発言が求められることを予測するといった、発言の予備段階から α 波と β 波は活性化し始める。

発話においては、富士通研究所の Fujimaki らが、声を出さずに発話を想像するサイレントスピーチを ERP で観測できると報告している [116]。ただ、サイレントスピーチで発話内容の違いまでを検出することは容易でないと思われる。

文字識別時の脳波変化を測定する研究もいくつか行われている。

東京工業大学の阿部らは、漢字認知における脳波変化を測定している [117]。漢字には、部首等の図形的特長があるため、漢字の認知過程には漢字の“図形特徴の認識”と“記憶と照合した認識”の2段階があるとされている。そこで、彼らは、ランダムに表示される“既知漢字”、“未知漢字”、“偽漢字”を被験者が識別している時の脳波を計測する実験を行った。その結果、漢字の図形特徴を認識する際には後頭葉が活性化し、認知した漢字を記憶と照合させて認識する際には左側頭葉後部が活性化することが分かった。

また、ATR 人間情報通信研究所の Callan らは、英単語の聴取、発話準備時に γ 波が活性化することを報告している [118]。

2.6.3.2 脳波を利用して思考状態推定を行う研究

2.6.3.1 項では、主に、特定の思考を行った際の脳波変化を調査する基礎的な研究事例を紹介した。ここでは、それをさらに発展させて、脳波の変化から思考状態推定を行う研究事例を紹介する。

人間の感情を計測する方法として、脳波情報を利用した感性スペクトル解析法が提案されている [35, 119]。感性スペクトル解析法では、いくつかの感性要素に関する特徴が重ね合わせの原理に従っている。重ね合わせの原理とは、2つの要素が同時に存在する時、その特徴量が各要素の特徴量の和になって現れるというものである。この時、ある部分の脳波と別の部分の脳波の相互相関を判断するために、計測に使用されている10個の電極から2個の電極を取り出す45通りの組み合わせを考える。この各組み合わせについて θ 波、 α 波、 β 波をそれぞれ分析する。3つの周波数帯域が存在するので、合計135個の相互相関係数の値 (y_1, y_2, \dots, y_{135}) が得られることになる。そして、この中から人間の4つの感性要素に関する特徴量を導出するのである。次に、4つの感性要素（怒り/ストレス、喜び、悲しみ、リラックス）のレベルをそれぞれ z_1, z_2, z_3, z_4 とし、次のような式を立てる。

$$z_1 = c_{1,1} y_1 + c_{1,2} y_2 + \dots + c_{1,135} y_{135} \quad (1)$$

$$z_2 = c_{2,1} y_1 + c_{2,2} y_2 + \dots + c_{2,135} y_{135} \quad (2)$$

$$z_3 = c_{3,1} y_1 + c_{3,2} y_2 + \dots + c_{3,135} y_{135} \quad (3)$$

$$z_4 = c_{4,1} y_1 + c_{4,2} y_2 + \dots + c_{4,135} y_{135} \quad (4)$$

この時、係数 $(c_{1,1}, c_{1,2}, \dots, c_{4,135})$ は全部で 540 個必要になる。これらの係数は、(5) 怒り / ストレス (6) 喜び (7) 悲しみ (8) リラックスのように 4 つの感性要素のレベルが次の式に該当するような感性要素を被験者が作ることで決定している。

$$z_1 = 1, \quad z_2 = 0, \quad z_3 = 0, \quad z_4 = 0 \quad (5)$$

$$z_1 = 0, \quad z_2 = 1, \quad z_3 = 0, \quad z_4 = 0 \quad (6)$$

$$z_1 = 0, \quad z_2 = 0, \quad z_3 = 1, \quad z_4 = 0 \quad (7)$$

$$z_1 = 0, \quad z_2 = 0, \quad z_3 = 0, \quad z_4 = 1 \quad (8)$$

しかし、“怒りの感情だけを出す”等のようなことは普通の人には極めて困難である。そこで、武者らによる研究では、感情コントロールができるようにイメージングの訓練を受けた人たちによって純粋な感性要素を作成していた。

こうして作成された 4 つの純粋な感性要素の値を元に式 (1) から式 (4) の係数を求めている。この時、求め出された 540 個の係数 $(c_{1,1}, c_{1,2}, \dots, c_{1,135}), (c_{2,1}, c_{2,2}, \dots, c_{2,135}), (c_{3,1}, c_{3,2}, \dots, c_{3,135}), (c_{4,1}, c_{4,2}, \dots, c_{4,135})$ を“感性マトリクス”と呼び、被験者の脳波から計算された 135 個の相互相関係数の値 $(y_1, y_2, \dots, y_{135})$ を 1 組にして“入力ベクトル”，感性要素のレベルの算出方法を“感性スペクトル解析法”と呼んでいる。

この手法を製品等の評価に用いた研究もいくつか行われている。例えば、化粧品や美容行為の心理的影響の評価 [120] や、衣服の着心地の評価 [121]，ソフトウエアのユーザビリティやインタフェースの評価 [122, 123]，対話分析に言葉と感性スペクトル解析法を利用した研究 [124] 等が挙げられる。

また、早稲田大学の中沢は、作業中の人間が満足度しているかどうかを独自の手法で脳波から判断する“満足感計測システム”を開発した [125]。このシステムを利用すれば、主観的な言葉に頼らず満足感を定量化することが可能になるので、ユーザーの感性を満たす製品の開発手法に利用したり、人間が満足するように機械システムを制御させたりすること等に応用できる。

満足感等の感情を司る前頭葉に近いため、このシステムではノイズに強い双電極を額に貼り付けて脳波計測を行う。脳波のうち、主な分析対象となるのが α 波と β 波である。検出した脳波は無線ですごくにパソコンに送信した後、FFT を利用して周波数スペクトルに分解する。その際、利用する周波数域は α 波と β 波を含み、かつノイズが入りにくい 5–30Hz である。5Hz 未満は眼球運動、30Hz 以上は筋肉の動きの影響を受けるので、これらの帯域を使用してしまうと正確な脳波測定ができない。

続いて、周波数スペクトルをニューラルネットワークに入力信号として取り込む。その際、ニューラルネットワークには予め様々な作業を通して周波数スペクトルと教師信号を与えて学習させておく。与える教師信号は満足が 1，不満足は 0 である。また、ノイズの影響を減らすためにノイズの教示も行っておく。そして、入力した周波数スペクトルの形（パターン）から満足か不満足かどうかをニューラルネットワークがパターン認識を行っ

て判断し、0-1の値を表示する。値が0に近いほど不満足、1に近いほど満足ということになる。約4秒ごとに値を出力するため、満足感の細かい時間変化を調べることが可能である。

その他にも、脳波測定を利用して、画像品質が鑑賞者に与える影響を客観的に評価する研究 [126, 127] や、気泡浴が人間に及ぼす心理的影響を調査する研究 [128] 等がある。

2.6.3.3 脳波情報に基づいて映像編集を行う研究事例

映像の撮影時や視聴時の脳波情報を利用して、各シーンにおける思考状態を推定し映像の編集に活用する試みも行われている。

東京大学の相澤、石島らは、ウェアラブルカメラを着用して歩き回る等の日常生活を送り、そこで記録した個人体験映像をインデキシングしたり要約したりする際に、映像と同時記録した脳波情報を利用して個人の主観を反映させている [129, 130]。

彼らは、体験映像の要約には本人が興味を強く感じたショットやシーンを抽出することが重要であるとしている。そのため、本人がそのシーンに居合わせた時の興味の度合い等主観的な状態を脳波により評価する手法を取っている。その際、次のような脳波の性質を利用している。

- とっさに興奮、緊張等の状態になると α 波が減衰し、 β 波が現れるようになる (α 減衰と呼ばれる瞬時的な現象)。
- 長い間、興奮、注意、集中の状態にあると持続的に β 波が現れる。

この2つの性質を利用し、 α 減衰が現れるショットと持続的な β 波が現れるショットを抜き出して編集することで、体験映像の要約を自動生成している。なお、感情の変化が脳波に反映されるまでの遅延も考慮しており、シーンを抽出する際は、脳波が変化する 500ms 前の場面から利用する工夫をしている。

これにより、“遊園地でお化け屋敷を体験したシーン”等被験者が興味を持ったと自覚したイベントを自動抽出することに成功している。また、被験者が無意識に興味を持ったと思われるシーンも抽出できているようである。

慶應義塾大学の中村らは、複数人からなる撮影グループで撮影した映像素材を自動編集する際に、撮影者の脳波情報をキーの1つとして利用している [131]。

この手法では、撮影グループの各生体反応(脳波、筋電)から撮影者の心理状態やカメラワークを自動的に推定し、その情報に基づいて各ショットの優先度を算出している。撮影者の α 波が減衰し β 波が増加している時は、撮影者が集中・興奮していると判定される。また、撮影者の筋電の変化が大きい時は、カメラワークが不安定であると判定される。この判定を利用して、次のルールに則って映像素材が自動編集される。

- 撮影映像が1つである時間帯は、その映像を採用する。
- カメラワークが不安定な映像はなるべく採用しない。

- 撮影者が集中・興奮状態であった時間帯は、リプレイ映像候補となる。

また、撮影者ではなく、視聴者の α 波が減衰する状態を検出して、視聴者が興味を覚えるようなシーンの抽出を試みる研究も、彼らによって行われている [132]。

2.6.3.4 BCIの研究事例

ここまでで述べたとおり、脳波を利用して思考状態推定を試みる研究は数多い。一方、直接思考状態を推定するわけではないが、脳波を入力してコンピュータやアプリケーションを制御する研究も行われており、この仕組みはBCI (Brain-computer Interface, 脳波インタフェース) と呼ばれている。

Wolpawらは、 μ 波と呼ばれる波形を側頭部から出現させられるように訓練を行い、その振幅値を利用してスクリーン上のカーソルを動かすということを試みている [133]。しかしながら、精度が最良で70%程度であることや、訓練による修熟度にかかなりの個人差があることが報告されている。

また、EOG (electro-oculogram, 眼電図) を利用してアイポインタを操作する研究も行われている [134]。眼球は、その前面である角膜が後面の網膜に対して正に帯電しているため、目を挟むように1対の電極を配置すれば眼球の偏移角に比例して電極間の電位が変動する。この電位を角膜網膜電位 (Corneo-retinal Potential) と言い、このようにして眼球運動を電位変動として測定する方法をEOG法と呼ぶ。このEOG法を利用することで、長時間使用しても疲労が少ない視線入力インタフェースの実現が可能である。ただし、この手法は次のような問題を抱えている。

- (1) 眼球運動とは無関係に時間経過と共に電位が変動する (ドリフト現象)。
- (2) 瞬きがノイズとして混入する。
- (3) 電極の貼り付け位置によっては表情を作る顔筋の筋電が角膜網膜電位に混入することがある。
- (4) 垂直方向の眼球運動測定精度が水平方向より劣る。
- (5) 人によっては皮膚への電極貼り付けを不快に感じることもある。

4の問題は脳波を測定することによって多少改善が見られる [135]。眼球を右に動かした時は右後頭葉で、左に動かした時は左後頭葉で、眼球運動開始約25ms前に電位が低下することが分かっており、これを利用することで左右の変化が分析可能になる。

脳波スイッチの分野では、MCTOSというシステムが介護・福祉機器として実現されている [136]。このシステムでは額に取り付けた測定器で生体信号を検出してスイッチ信号に変換し、そのスイッチ信号で機器を操作することができる。使用する生体信号は次のようになっている。

- 筋電信号：目を強くつぶる．眉毛を動かす．奥歯を強く噛む．
- 眼電信号：眼球を上下左右に動かす．
- 脳波：頭で強く念じる．意識を集中させる．興奮する，怒る．

“はい”“いいえ”という選択動作が可能であり，KOTOBAX というアプリケーションを併用すると言葉や体が不自由な人でも意思の伝達が可能になる．KOTOBAX には“挨拶”，“食べ物”，“便・生理”，“痛い・痒い”，“調子”，“飲み物・果物”，“生活”の項目にそれぞれ 28 種類の言葉，意思が登録されている．

Bio Control Systems 社では，脳波の周波数成分の特徴を MIDI データに対応させて思考状態と音を関連付ける研究が行われている [137]．これは，主に筋電位（筋肉を動かし際に体内で発生する電気信号）の変化を 2 本の筋電センサバンドに取り付けられた銀 - 塩化銀の皿電極を利用して検出し，MIDI 情報に変換する装置である．脳波や心電図から抽出したデータを扱うこともできる．

第3章 思考状態推定に基づく コミュニケーションの進行および 記録の支援

3.1 コミュニケーションの進行および記録の支援

3.1.1 本研究が対象とするコミュニケーション

本研究はコミュニケーションの進行・記録の支援を目指すものである．ここではまず，本研究が対象とするコミュニケーションの定義を明確にする．

コミュニケーションは，それが同期的に行われるか否かで同期コミュニケーションと非同期コミュニケーションに分類できる．対面して行う会話や電話は同期的コミュニケーション，電子メールや手紙は非同期コミュニケーションの代表例である．同期コミュニケーション・非同期コミュニケーションのどちらも人間が社会生活を営む上で不可欠なものであるが，その性質は両者で大きく異なり，それゆえ内包する問題や解決方法も異なる場合が多い．このうち，本研究では同期コミュニケーションを対象とする．なお，非同期コミュニケーションに関しては，コミュニケーションを円滑に進めるための手法 [138] や，コミュニケーションのログを解析する手法 [82, 83] 等が近年においても多数提案されているので，そちらを参照されたい．

次に，コミュニケーションを目的という観点から分類するために，深田によるコミュニケーションの分類を再掲する [9] ．

- (1) 課題解決
解決が必要な課題に関して相手から情報や援助を求める，相手との間で解決すべき課題に関して交渉や取り引きを行う等のことを目的としたコミュニケーション．
- (2) 情報・知識の伝達
自分が知っている情報や知識を相手に伝達することを目的としたコミュニケーション．
- (3) 情報・知識の獲得
自分自身に関する情報，相手に関する情報，他者・状況・環境等の外界に関する情報の獲得を目的としたコミュニケーション．
- (4) 相手に対する影響力行使
相手の態度や行動を変えようと説得する，命令や強制等で相手を支配する，相手を騙す，相手を援助する等のことを目的としたコミュニケーション．
- (5) 対人関係の形成・発展・維持
相手との間に友好的な対人関係を形成する，発展させる，維持する等のことを目的としたコミュニケーション．
- (6) 娯楽の享受
退屈や孤独の気持ちを晴らすことを目的としたコミュニケーション．

本研究では、上記定義の中で“課題解決”，“情報・知識の伝達”および“情報・知識の獲得”を目的としたコミュニケーションを研究の対象とし、これらの進行・記録を支援する手法の提案を行う。これらのコミュニケーションは課題解決のための方法を思案する、知識を伝達・獲得するために頭を働かせる等、思考を行うことに重きが置かれているという特徴がある。一方、“相手に対する影響力行使”，“対人関係の形成・発展・維持”，“娯楽の享受”のコミュニケーションでは自分の欲求を満たす、会話することを楽しむ等に重きが置かれているという違いがある。本研究の位置付け、および関連研究との関係を図3.1に示す。また、コミュニケーションの円滑な進行・記録の活用を支援する研究事例と本研究の比較をそれぞれ表3.1，表3.2に示す。

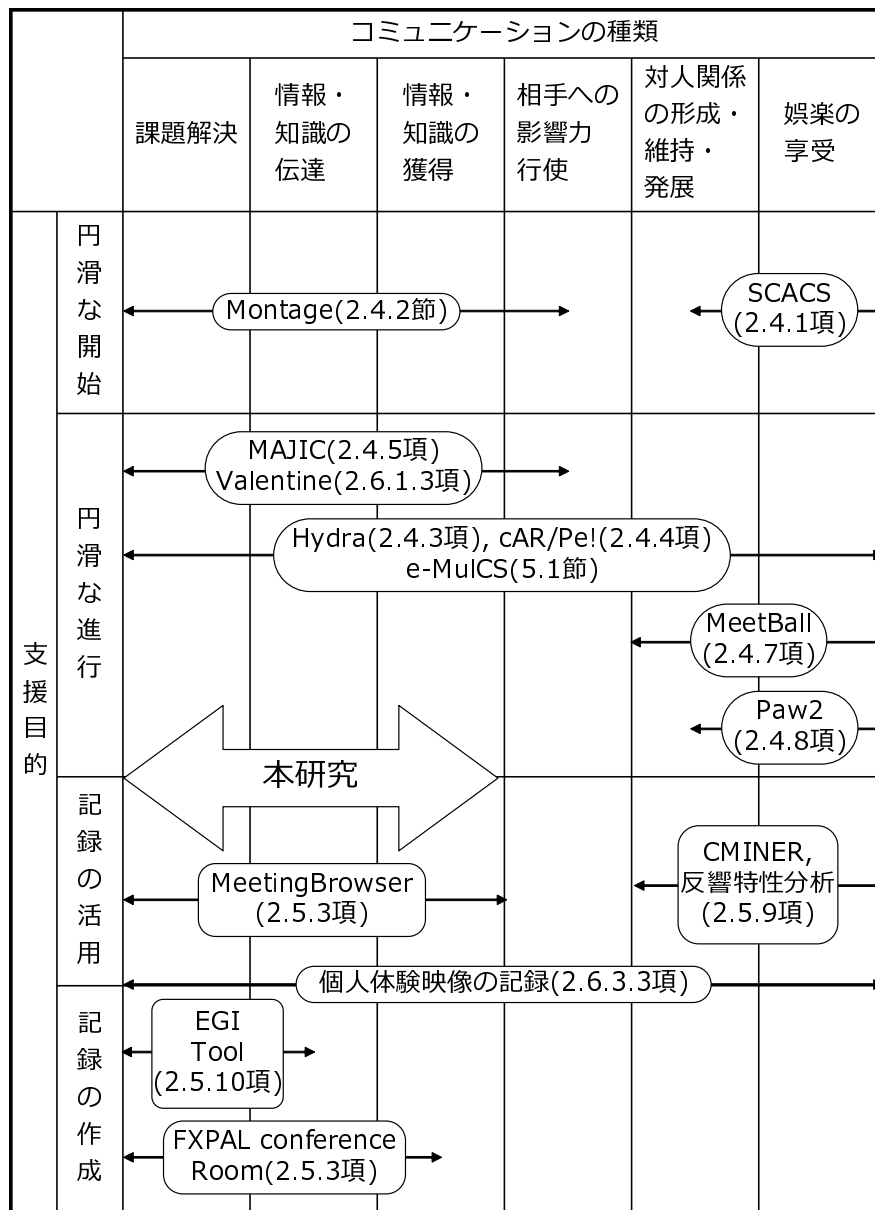


図 3.1: 本研究の位置付け

表 3.1: 円滑な進行を支援する研究事例との比較

システム名	主に利用する情報	特徴
MAJIC (2.4.5 項)	視線 位置関係	遠隔環境において，対面環境と同等の視線一致・位置関係を構築することで，同一空間にいるような一体感・臨場感を提供する．
VirtualActor InterActor (2.4.6 項)	ジェスチャ 頷き	ユーザの発話に対してアバタがジェスチャ・頷きを行うことで，ユーザの発話意欲を高めコミュニケーションに引き込む．
MeetBall (2.4.7 項)	音声	発言内容を映像で補足したり，ユーザ間の発言の偏りを補正して各ユーザに発言機会を与えるたりすることで，コミュニケーションを活性化させる．
本研究	脳波	思考状態を提示することで，ユーザは相手の頭の働き具合に応じた行動をとることができる．また，自分の頭の働き具合の低下に気付くことができる．これにより，コミュニケーションが停滞せず円滑に進むことを支援している．

表 3.2: 記録の活用を支援する研究事例との比較

システム名	主に利用する情報	特徴
MeetingBrowser (2.5.3 項)	音声 映像	発話量と会議記録を関連付けて記録することで、議論が活発に行われた会議シーンを効率的に参照することができる。
個人体験映像の 記録 (2.6.3.3 項)	脳波 映像	ユーザの日常生活の映像と脳波情報を関連付けて記録することで、ユーザが興味を持ったシーンを発見できる。
本研究	脳波 音声 映像	コミュニケーション中の映像と参加者の脳波・発話情報を関連付けて記録することで、コミュニケーションの重要シーンを把握できるダイジェストの生成を支援する。

3.1.2 既存のコミュニケーション支援方法の問題点

コミュニケーションの進行・記録を支援する研究事例は数多い。ここでは、過去の研究事例を分析・考察することで、本研究で解決すべき問題点を明確化する。

3.1.2.1 既存のコミュニケーションの進行支援の問題点

コミュニケーションを進行する際に生じる大きな問題の1つに、“相手の状態が分からない”ということが挙げられる。コミュニケーションを行う相手と自己は異なる個体であるため、相手の言動から得られる情報だけからでは相手の状態を十分に理解できず、その結果コミュニケーションが円滑に進まなくなることは少なくない。

この問題を解決するための一手法として、コミュニケーション相手の背景情報を提示するシステムが提案されており [139]、背景情報を把握した上で行うコミュニケーションは相手の情報が全く分からない場合よりも円滑に進行することが報告されている。ただし、この手法はコミュニケーション相手の所属機関や人間関係といった静的情報の提示に重きを置いているため、動的に変化するコミュニケーションにおいて、相手が現在どのような状態であるか把握することはできない。

また、コミュニケーションが遠隔環境で行われる場合、この問題はより顕著である。対面環境では伝わる表情の微妙な変化、視線の方向、息遣い等が電話やテレビ会議システムといった遠隔環境におけるコミュニケーションでは伝わりにくいからである。この点を考慮して、対面環境に近い情報量を送受信できるコミュニケーションチャネルを遠隔環境においても構築しようと試みる研究事例は数多い。例えば、対面環境にいるかのような位置関係・視線の Awareness の提供を目指したシステム [46, 47, 48] や、遠隔地間においてもジェスチャーのやりとりが行える環境の構築を目指したシステム [49, 50, 51, 52, 53, 54, 56] が提案されている。しかし、対面環境を模倣した遠隔環境におけるコミュニケーションでは、どうしても対面環境ほどの豊富な情報の送受信を再現しきれていない。

このように、対面環境と同程度の情報量を送受信できない遠隔環境においては、コミュニケーションの円滑な進行を妨げる新たな問題が生じる。それは、参加者の無意識的な参加意欲低下の問題である。遠隔環境ではコミュニケーション相手と対面しておらず、互いの雰囲気等も伝わりづらいので、「少々気を抜いてコミュニケーションを行っても相手に気付かれないだろう」といったような気の緩みが生じやすい。一般に、娯楽のために行うコミュニケーションと比べて情報・知識の伝達や課題解決を行うコミュニケーションは高度に思考を要するために疲労しやすく、このような気の緩みも生じやすいと思われる。気が緩んだ参加者はコミュニケーションに対するモチベーションも低下すると思われる。このような参加者が増えるとコミュニケーション全体が円滑に進まなくなる危険性がある。

3.1.2.2 既存のコミュニケーションの記録支援の問題点

コミュニケーションとは、送り手から受け手へと情報を伝達する過程であるが [140]，その過程を記録する必要がある場合が往々にしてある。例えば、コミュニケーションを記録しておいてその場に不在であった人にその内容・様子を伝達することは多いし、会議のようにコミュニケーションの内容が複雑かつ資料的価値を持つものは議事録等の形態で記録して保存・参照することは一般的な行為である。しかし、コミュニケーションを記録する際、(1) 記録作業に労力がかかる、(2) 参加者がどのような状態であったか記録することが難しい、という問題がある。

(1) に関しては、実際に経験したことがあれば分かることだが、議事録をとるという行為は非常に労力を要する作業であり、場合によってはコミュニケーションに参加する以上に大変なこともある。議事録をコミュニケーション参加者全員が共同執筆することで議事録作成者の負荷を軽減する研究事例もあるが [84, 85]，参加者がコミュニケーションへの参加以外の行為、つまりコミュニケーションの過程で発生した情報をテキストとして記録するという作業に労力を割かなければいけないという問題は依然として残る。

この問題を回避するために、コミュニケーションの様子を人間がテキストで記録するのではなく、撮影・録音機器を利用して映像・音声記録として保存し、各シーンに適切なメタ情報をインデックスを付与したり、メタ情報に基づいてダイジェストを生成したりする研究事例がある。例えば、会議中に参加者達が発話していた時間帯を抽出・インデックス化し、録音した音声を後から参照しやすくするシステム [60, 61] や、音声の中から重要と思われるフレーズを検出してその言葉が出現していた時間帯の音声・映像を参照できるシステム [59] が提案されている。

しかし、これでも (2) の問題、つまりコミュニケーション中に参加者がどのような状態であったか記録することが難しいという問題が残る。当然、撮影・録音機器を利用すれば参加者の表情やジェスチャ、発言内容を記録することはできるが、会議のような知的作業では特に重要な要素である“コミュニケーションに集中していたか”、“退屈していたか”といった参加者の思考の状態は記録できないので、その記録を後から参照しても有用なシーンを見つけることが難しい。

さらに、表情やジェスチャ、発言等は参加者同士の立場関係や個人の習慣等により抑制されてしまう場合がある。例えば、威圧的な態度や社会的立場を利用して発言権を占有する参加者がいることがあるし、目下の人には目上の人に遠慮して発言を控えることも少なくない。また、他者に感情を読ませないために意図的に表情を変化させないポーカーフェイスの人がいることもある。このため、会議のように全員で協同して共通の議題に取り組むようなコミュニケーションを映像等で記録しようとしても、参加者全員から対等に情報を収集して各シーンにメタ情報を付与することは困難である。つまり、既存手法では、複数人による共同作業の記録に対し、一部参加者のみから取得した偏ったメタ情報しか付与で

きない危険性がある。

3.2 思考状態推定に基づくコミュニケーション支援の提案

3.1節で述べたとおり、情報・知識の伝達や課題解決のように高度に思考を要するコミュニケーションの進行・記録を行うためには様々な問題がある。そこで、本研究ではこれらの問題を解決するために、各参加者が“どの程度頭を働かせているか”という情報（以降思考状態とする）の推定を行うことでコミュニケーションの進行・記録を支援する手法“思考状態推定に基づくコミュニケーション支援”を提案する。これにより、下記の効果を得ることができる。

- 相手がどの程度頭を働かせているか把握できる
相手が“どの程度考えているか”，“意識が散漫になっていないか”等，相手の言動だけからは読み取ることが難しい情報を把握できる。これにより，コミュニケーション相手達の思考状態を把握でき，彼らの思考状態に応じて自身の振る舞いやコミュニケーションの進め方を変更・修正することができるので，非効率なコミュニケーションを避けることが可能になる。
- 自身がどの程度頭を働かせているか把握できる
自身の頭がどの程度働いているか把握しながらコミュニケーションを進められる。これにより，各参加者が無意識的に気が緩んでぼんやりしてしまった場合も各自がそれに気付くことができるので，各参加者のコミュニケーションへの積極的な参加意欲を維持しやすくなり，コミュニケーションの質を高めることが可能になる。
- 参加者全体がどの程度頭を働かせているか把握できる
思考という行為は表情変化・ジェスチャ・発言等とは違って他者に直接見えることは無く，それゆえ互いの立場関係等に影響されて抑制されてしまうことが少ない。このため，“どの程度頭を働かせていたか”という情報を参加者全体から偏り無く収集でき，会議等の参加者全体の協同作業に対して適切なメタ情報を付与することが可能になる。

そして，思考状態を適切に算出するために本研究では脳波情報を利用する。以降，脳波情報を利用する理由と，思考状態の推定方法について述べる。

3.2.1 脳波情報を利用した思考状態推定

本研究では，各参加者の脳波情報を利用して思考状態推定を行う。まず3.2.1.1項にて既存の思考状態推定手法の問題点を明確化し，次に3.2.1.2項で思考状態推定に脳波情報を利用することが最適である理由を述べる。そして，3.2.1.3項で脳波情報の取得手段について述べる。

3.2.1.1 既存の思考状態推定手法の問題点

2.6.1.1 項で述べたように，“表情”は人間が情動を表出して伝達する際に最も重要な役割を果たしている [86] ため，人間が相手の思考状態を推定する際に一番よく利用する手段であると思われる．表情をコンピュータで自動認識する研究も多数行われており [87, 88, 89, 90, 91, 92]，認識した表情から思考状態を推定することも全く不可能というわけではないと思われる．

また，2.6.1.2 項や 2.6.1.3 項で述べたように，声やジェスチャから思考状態を推定する研究も行われている [93, 94, 95, 96, 97, 98] ．

しかし，表情や声，ジェスチャは人間が意図的に操作できる範疇のものであり，日常的なコミュニケーションにおいても“露骨に顔をしかめて見せる”，“場を盛り上げるために無理矢理大声を出す”，“気を遣って頷いて見せる”等のように，意図的に操作する機会は決して少なくない．また，“上司に対して控えめな口調で意見する”，“貧乏ゆすりする癖がある”などのように，個人の社会的身分や習慣による影響も大きいと思われる．また，声やジェスチャに関する情報は常時発生しているとは限らないし，コミュニケーション参加者の全員が発しているとも限らない．よって，コミュニケーション中の思考状態を推定する手段として，表情や声，ジェスチャを利用することは必ずしも最適であるとは言えない．

逆に，2.6.2 項で述べたような心拍数や呼吸数等の生体情報は，訓練を積まない限り自由に操作することは難しいし，そもそも通常的环境では外部から視認できない指標であるので，相手との立場関係を気にしてこれらの指標を操作するという機会自体が滅多に無いと言える．また，これらの情報は全時間帯において全参加者から発生している．そして，生体情報の中でも，思考が行われる器官である“脳”からの情報は，思考状態を推定するのに特に適した指標であると思われる．2.3.2.7 章で述べたように，脳の状態を調べる手段には，その目的や状況により様々な選択肢がある [42, 34] ．

しかし，PET や SPECT といった侵襲的脳機能計測法による方法は放射性同位元素を体内に導入するので，測定を何度も繰り返すと人体に悪影響が出る可能性があるし，1 回の画像撮影に時間がかかるため短時間の脳内現象を計測することが困難である．その点，DT 法，f-MRI，MEG 等の非侵襲的脳機能計測法であれば人体に大きな悪影響が及ぶおそれは少ないが，計測装置が大掛かりになってしまうし，計測中はほとんど身動きがとれないという問題点がある（これは PET や SPECT にも言える）．例えば，MEG は脳の神経細胞が活動することによって生じる磁束流を計測するために，外界からの磁場を遮断する非常に強固なシールド室で計測を行う必要がある．これを会議や授業といった日常的なコミュニケーションにおいて利用することは現実的ではない．

3.2.1.2 思考状態推定に脳波情報を利用する理由

3.2.1.1 項で述べた問題点を考慮し，本研究では思考状態推定を行う際には脳から発生している生体情報を利用するアプローチを採る．中でも本研究では脳波（2.3.2 章）に注目し，簡易脳波計で測定した脳波情報に基づいて思考状態を導出する．

その理由を次に示す．

- 脳波は常に発生し続けている情報である．
- 脳波は全員から発生している情報である．
- 通常は脳波を意図的に操作しないし，操作することが難しい．
- 医療用脳機能計測装置（PET や MEG，大量に電極が付いた医療用脳波計等）とは異なり簡易脳波計は現実的なコストで導入できるし，人体に悪影響を与えることも無く，計測中に会話したり動いたりすることも可能である．
- 一般的な簡易脳波計は前頭部の計測しかできないが，前頭部で顕著に検出できる β 波 [33, 34] は思考を要する作業を行う時に強く出現し，思考を要しない作業時にはあまり出現しないとされており [1, 2, 3, 4, 5]，思考状態と強い相関がある指標だと言える．

上記の理由から，本研究では簡易脳波計を利用してコミュニケーションの各参加者の脳波測定を行い，この情報に基づいてコミュニケーションの進行・記録を支援することとする．

なお，脳波から思考状態の推定を行う関連研究として，ウェアラブルカメラを着用して日常生活を送り，その中で記録した個人体験映像をインデキシングする際に，映像と同時記録した脳波情報を利用して個人の主観を反映させるものがある [129]．この手法では，長い間，興奮，注意，集中の状態にあると持続的に β 波が現れる現象を利用している．また，ダイジェストを生成する際に映像撮影者の脳波情報をキーとして利用する研究事例もある [131, 132]．この手法でも，撮影者の β 波が増加している時は撮影者が集中・興奮していると判定され，その時間帯の映像がリプレイ映像の候補となる．

このように， β 波の出現を検知して興奮や注意，集中といった状態を判定する研究はいくつかあり，この点からも脳波（特に β 波帯域）を利用して思考状態を推定する本研究の手法は妥当性があると言える．

3.2.1.3 脳波情報の取得方法

本研究では脳波情報を取得するための簡易脳波計として，各種研究所・教育機関で使用実績がある IBVA Technologies 社の IBVA[41]（2.3.2.3 項）を利用する．選定理由は，頭

表 3.3: IBVA の仕様

項目	仕様
測定可能周波数	0 ~ 60Hz
データ方式	パリティ無しの 8bit データ
データ無線送信時の仕様周波数	275, 295, 315MHz の 3 タイプ
寸法	W94 x H57 x D26mm
重量	105g (電池含む)

部に小型センサを装着するだけで計測を行うことができ、脳波計から PC へのデータ転送が無線式で使用者が自由に動き回ることができるからである。

IBVA は国際 10/20 法の Fp1, Fp2 に計測用電極、前額部の中央にグランド電極の計 3 電極が存在しており、左右の電極の電位差を利用して脳波測定を行う仕組みとなっている。測定時の周波数帯域は 0 ~ 60Hz であり、これはデバイス固定値である。

IBVA の概観は図 2.4 に示すとおりである。また、IBVA の仕様詳細を表 3.3 に示す。

なお、IBVA には専用の動作制御用アプリケーションが付属しているが、このソフトウェアは脳波データを周波数別に表示することしかできず、数値データを取得して加工できないという問題がある。そこで、図 3.2 に示す専用の脳波測定・記録ソフトウェアを Java 言語で開発した。

このソフトウェアには、次のような特徴がある。

- (1) IBVA を制御できる。
脳波測定の開始・停止といった IBVA の挙動を、任意のタイミングでソフトウェアから操作することができる。
- (2) 脳波データを記録できる。
脳波データを加工可能な数値データとして取得・記録することができる。8bit で表現された 1 サンプルのデータを取得するのに約 0.0083 秒かかるので、データ速度は約 120samples/sec となる。なお、この値はデータ受信用の PC により若干違いが見られた。
- (3) 脳波データをバッチ処理することができる。
つまり、脳波データの記録が終了したら、周波数帯域・過去サンプル数を設定する

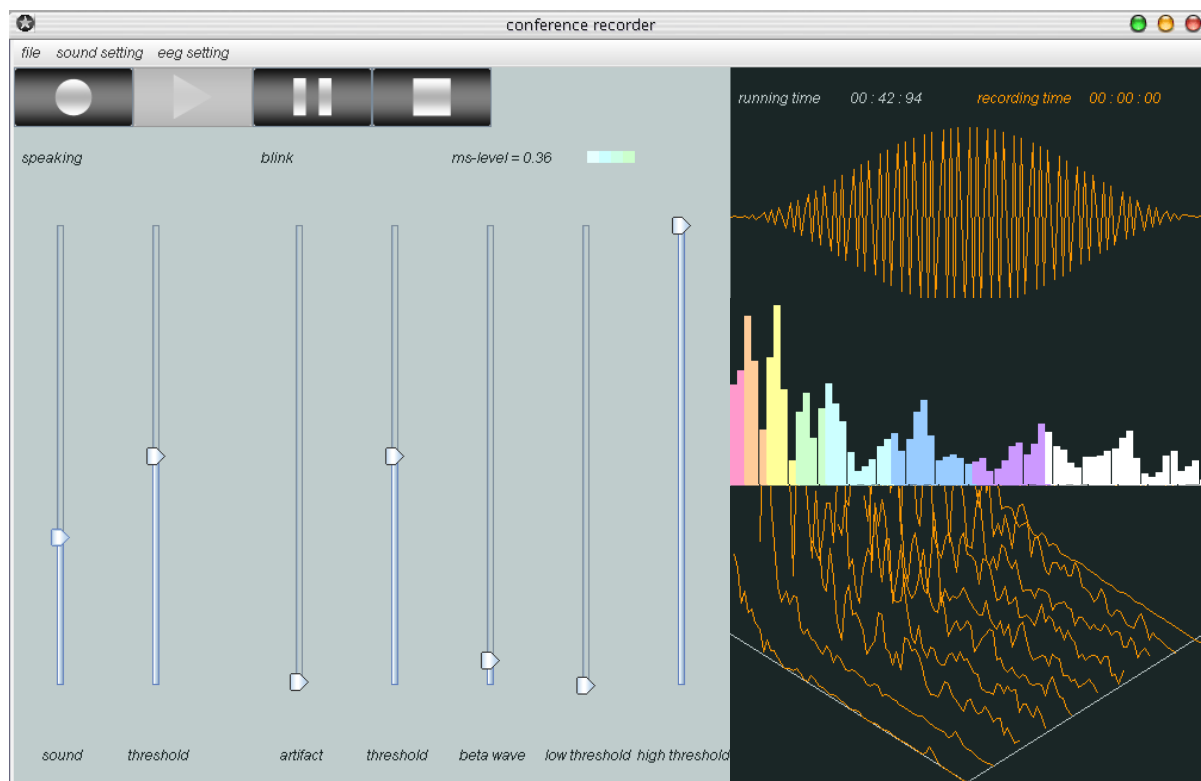


図 3.2: 脳波測定・記録ソフトウェア

ことにより，即座に各時間帯の思考状態を導出できる．

- (4) 脳波データをリアルタイムに解析・表示することができる．

図 3.3 (図 3.2 右側上段を拡大したもの) に示すのが，ハニングウィンドウを掛けた後の脳波データである．図 3.4 (図 3.2 右側中段を拡大したもの) に示すのが，FFT により周波数分解された脳波データのヒストグラムであり，これに時間軸を加えて表示したものが図 3.5 (図 3.2 右側下段を拡大したもの) のグラフである．これらの情報がリアルタイムに表示されるようになっているので，状態を確認しながら脳波を計測・記録することが可能である．また，提案概念と直接の関連は無いが，まばたきによるノイズが混じりやすい低周波数帯 ($0 \sim 2\text{Hz}$) のデータを監視することにより，まばたきの発生をリアルタイムに検出する機能も備えている．

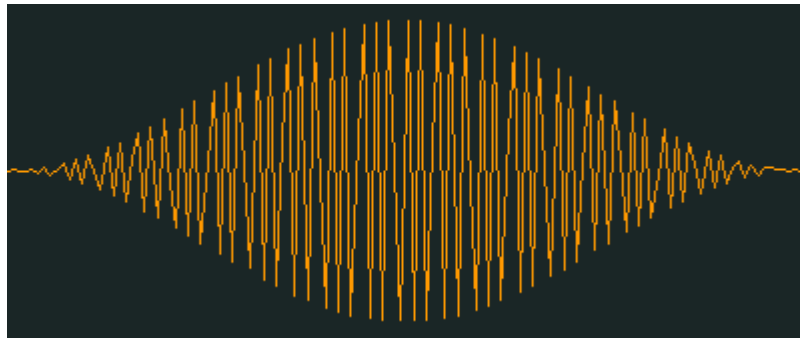


図 3.3: ハニングウィンドウを掛けた後の脳波データ (縦軸: 強度, 横軸: 時間)

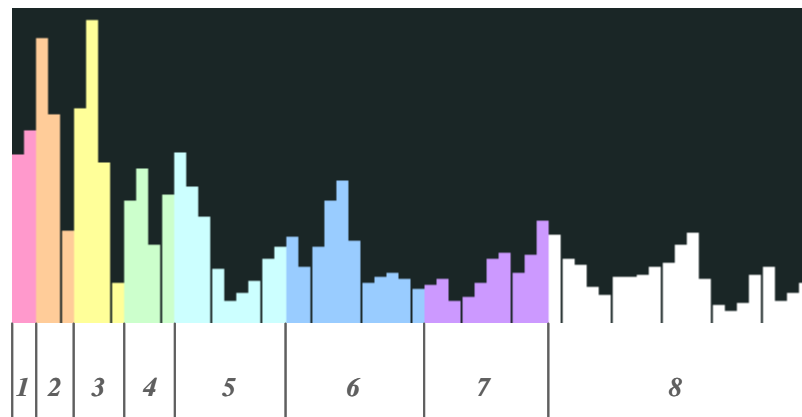


図 3.4: 脳波データのヒストグラム (縦軸: 強度, 横軸: 周波数)

脳波は, その周波数帯域から δ 波, θ 波, α 波, β 波, γ 波の 5 つに分類できる.

- (1) 0 ~ 1Hz (δ 波低域, 眼球運動によるノイズが多い)
- (2) 1 ~ 4Hz (δ 波中高域)
- (3) 4 ~ 8Hz (θ 波)
- (4) 8 ~ 12Hz (α 波)
- (5) 12 ~ 20Hz (β 波低域)
- (6) 20 ~ 30Hz (β 波中高域)
- (7) 30 ~ 40Hz (γ 波, ノイズと見なされることが多い)
- (8) 40 ~ 60Hz (ノイズ帯域)

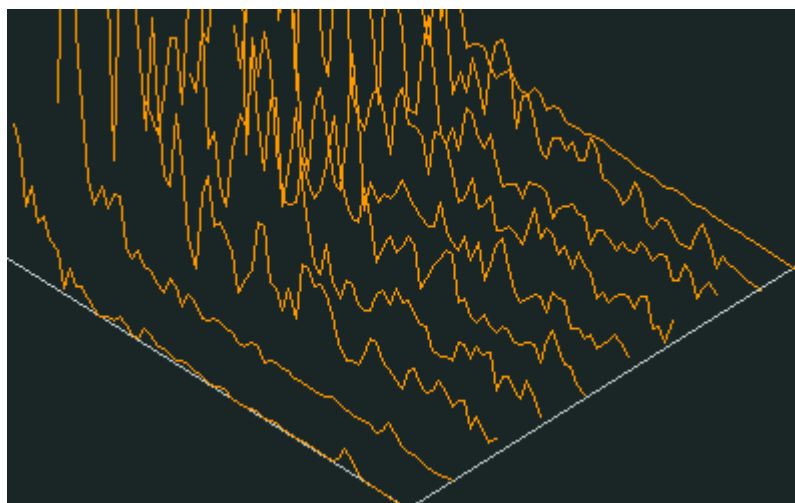


図 3.5: 脳波データのヒストグラム（縦軸：強度，中央下端から左上に伸びる軸：周波数，中央下端から右上に伸びる軸：時間）

3.2.2 思考状態を示す指標：MS-Level

3.2.2.1 MS-Level

前節で述べたとおり，本研究では脳波情報を利用することで思考状態の推定を行うが，脳波とは脳の活動に伴って頭皮上に生じる電位の時間変化を記録したもののことであり [33]，生の生体情報信号のままではコミュニケーション中の参加者の思考状態推定を行うことは困難である。

そこで，取得した脳波情報に適切な演算を施して思考状態，つまり“どの程度頭を働かせているか”という情報を示す指標 MS-Level (Mental State Level) を導出する。その手順は次のとおりである。

- (1) コミュニケーション中の各参加者の脳波を周波数分解し，使用しない帯域のデータを除去する。使用する帯域に関してもノイズ除去を行う。
- (2) 思考状態と特に相関が強い周波数帯域のデータの平均値を求める（これを1サンプルの脳波データと定義する）。
- (3) 各瞬間において，最新 N サンプルの脳波データに重み関数を掛けて加算し，その値をその瞬間の MS-Level と定義する。

まず，(1) の具体的な実現方法について述べる。IBVA では，8bit のデジタルデータとして脳波データを取得できる。取得した脳波データの中から特定周波数成分を取得するために，脳波データにハニングウィンドウを掛けた後，オーバーラップ無しで128個のサンプリングポイントでFFTを行う。なお，2.3.2.6項で述べたように，ハニングウィンドウ

は生体計測・脳波計測で一般的に用いられている実用性の高い窓関数であり、 $x[n]$ を元のデータとすると、ハニングウインドウを掛けて得られるデータ $w[n]$ は次式で与えられる [141][142] .

$$w[n] = x[n] \times (1 - \cos(2 \times \pi \times i / (n - 1))) \times 0.5 \quad (1)$$

オーバーラップを利用しない理由は、MS-Level を導出する際に過去サンプルを利用するからである。サンプリングポイントは多いほど周波数分解能が高まり厳密な脳波分析が行えるが、これ以上サンプリングポイントを増やしてしまうと1サンプルの脳波データを取得するのに1秒以上かかってしまう。今回は1秒以内に1サンプルのFFT出力を得られるように128個のサンプリングポイントでFFTを行っており、この条件ならばデータ速度は約0.87samples/secとなる。

次に、まばたきや筋電等のノイズが非常に多い周波数帯域(0~2Hz)と、脳波自体が比較的微弱な高周波数帯(40~60Hz)を除去する。一般的に思考状態と関連が深いと認知されている β 波は12~30Hz付近であるので、この作業で除去されてしまうことは無い。

さらに、筋電などにより瞬間的に非常に大きなノイズが入るといふ脳波の性質を考慮して、数学的に外れ値となるようなデータをノイズと見なして除去する。具体的には、医療分野における計測で慣習的に行われているように、各周波数ごとに平均値から標準偏差の3倍以上離れているデータを外れ値とみなし、この値を除去して前後のデータの平均値で補間する。

(2)では、ノイズが多い帯域などを除去した残りの脳波データの中から、思考状態と特に相関が強い $F_{low} \sim F_{high}$ Hz のデータを抽出し、この区間のデータを平均したものを1サンプルの脳波データと定義する。なお、2.3.2項で述べたように、 β 波は思考状態と密接な関係があると認知されているが、 β 波と呼ばれる帯域はかなり広く、思考を要する作業でも内容の違いによって優勢になる帯域が若干異なることを経験上確認している。さらに、会議や授業という作業に特化して脳波変化を調査した事例は少なく、このようなコミュニケーション中における思考状態を的確に表しているのはどの帯域なのか、過去の知見だけでは判断しかねる。そこで、本研究では対象としているコミュニケーションを構成している代表的な要素を再現したタスクを被験者に課し、各タスク中に測定した脳波データを分析することで、的確に思考状態を表している帯域 $F_{low} \sim F_{high}$ Hz を導出する(詳細は3.2.2.2項参照)。

(3)では、最新 N サンプルの脳波データを利用して思考状態を導出する。このように、現在だけではなく過去のサンプルも利用する理由は、思考は時間幅を持ったプロセスであると思われるからである。また、ここまでで取り除けなかった瞬間的なノイズの重みを減らすという意味もある。

ここでは、連続的な信号処理を行う際によく用いられる畳み込みを行う。畳み込みの最

もシンプルな手法としてはSMA(Simple Moving Average)が挙げられる。しかし、遠い過去より直近の思考の方が現在の思考状態に与える影響は大きいと思われるので、利用する過去サンプルがすべて対等な重みで扱われてしまうSMAは不適切であると判断した。そこで本研究では、過去サンプルごとに重みを考慮した畳み込み手法であるWMA(Weighted Moving Average)に近いモデルを採用する。具体的には、最新 N サンプルの脳波データの各強度に、新しいデータほど重みが大きくなるような重み関数を掛けて加算し、これをその瞬間のMS-Levelと定義する。次にMS-Levelの導出方法を示す。

$$MS\text{-Level}(x) = \sum_{i=0}^{N-1} (N-i)Power(x-i) \quad (2)$$

この際、各パラメータは次のものを表している。

- N : 使用する脳波データの最新サンプル数
- x : 脳波のサンプルID
- $Power(x)$: IDが x の脳波サンプルの強度
- $MS\text{-Level}(x)$: 脳波のサンプルIDが x のときのMS-Level

なお、サンプルごとに重みを考慮したモデルとしてはEWMA(Exponentially Weighted Moving Average)等も存在し、MS-Levelの導出方法をより複雑なものにすることも可能である。しかし、これによりMS-Levelの精度が向上する可能性がある一方で、モデルが複雑になり最適パラメータの発見やMS-Level導出結果の検証が困難になる危険性もある。そこで、本研究では上式のようなベーシックなモデルでMS-Levelを導出し着実に検証を行うことを優先し、より複雑なモデル構築は今後の研究課題とする。

また、 N の最適値は目的によって大きく変動すると思われる。例えば、自動車で混雑する一般道を運転するときのように、素早い判断と思考の切り替えが次々と要求されるような作業中のMS-Levelを導出するのであれば、 N の値を小さくして思考を短いプロセスと捉えた方が都合が良いかもしれない。秒単位でイベント(信号の色が変わる、歩行者が飛び出してくる、等)が発生する作業において、1時間前の思考の影響を考慮する必要は無いからである。逆に、東京大学の相澤、石島らのように人生を記録するしようと考えた場合[129, 130]は、数時間前の思考の影響を考慮する必要があるかもしれない。本研究で利用する N の値は5章, 4章, 6章においてそれぞれ決定する。

3.2.2.2 利用周波数帯域

前述のとおり、一般に β 波(12Hz以上)は思考状態と密接な関係があると認知されている。医学上の所見でも、意識レベルの高い状態(興奮, 不安, 緊張, 集中, 計算などの精神活動, 痛み)で観察できるとされているし、思考を要する作業を行う時に強く出現

表 3.4: 会議の構成要素を想定したタスク

タスク名	タスク内容	想定する状況の例	時間
論理思考	論理問題（与えられた条件を整理して解を求める問題）を解く．問題は紙面で与えられ，記述で回答する．	提示された条件を満たすように論理的な判断を行い回答を準備する．	5分
質疑応答	クイズ（知識を問うものであり論理思考は必要としない）に回答する．問題は口頭で与えられ，口頭で回答する．	投げかけられた質問にその場で回答する．	2分
会話	3人で議論を交わし1つの論理問題（論理思考タスクと同形式）を解く．問題は紙面で与えられ，代表者1人が口頭で回答する．	複数の参加者で議論を交わしたり交渉を行ったりして総意をまとめる．	5分
リラックス	何も考えず安静を保つ．発言や動作を一切行わない．	議論に疲れるなどして，発言や思考を止めてしまう．	3分

し，思考を要しない作業時にはあまり出現しないという報告もいくつかある [1, 2, 3, 4, 5]．しかし， β 波と呼ばれる帯域はかなり広い上に，本研究が対象とするコミュニケーションに特化して脳波変化を調査した事例は極めて少ないため，コミュニケーション中の思考状態を的確に表しているのはどの帯域なのか，過去の知見だけでは判断しかねる．

そこで，この実験では，会議を構成している代表的な要素を想定したタスクを被験者に実際に行ってもらい，各タスク中に測定した脳波データを分析することで，最も的確に思考状態を表している脳波の周波数帯域 $F_{low} - F_{high}$ を決定する．

表 3.4 に本研究が対象とするコミュニケーションの構成要素を想定したタスクを示す（被験者は 60 人）．

実験終了直後に，60 人の被験者に対して”最も頭を使ったタスク”を問うアンケートを実施した．その結果を表 3.5 に示す．この結果より，”論理思考（26 人）”が最も頭を使い，”リラックス（2 人）”が最も頭を使わないタスクであると判断できるので，MS-Level を導出する際には，”論理思考”中に脳波強度が大きくなり，かつ，”リラックス”中に脳波強度が小さくなるような周波数帯域を利用するのが妥当であると言える．

そこで，表 3.6 に示すように，各タスク（”論理思考”，”リラックス”）中の脳波強度

表 3.5: “最も頭を使ったタスク” のアンケート結果 (計 60 人)

タスク名	回答数 (単位: 人)
論理思考	26
質疑応答	19
会話	13
リラックス	2

の平均値を、各周波数帯域に対して求めた。脳波強度は、各参加者で最小値が 0、最大値が 1 になるようにスケーリングした値なので単位は無い。また、0 ~ 2Hz は眼球運動によるノイズが非常に多く、40Hz 以上は脳波自体が微弱であったため、今回は利用せず解析の対象からも外した。なお、数値は被験者 60 人の平均値である。

この時、表 3.7 のように、“リラックス” についての情報を一部抜粋してみると、8 ~ 12Hz 付近の脳波強度が突出して大きくなっていることが分かる。これは、「リラックス時には α 波 (8 ~ 12Hz) が現れる」という報告 [4] や一般的に認知されている現象と一致する。しかし、3.2.2.1 項で定義されているように、本手法では“脳波強度が大きいほど思考が活発である”と判定しているため、“リラックス”時に脳波強度が大きくなるこの帯域は使用すべきではない。そこで、対象を 12 ~ 40Hz に限定して、表 3.6 の中で“論理思考”時の脳波強度が最大となる帯域を探すと、 $F_{low} = 12$ 、 $F_{high} = 28$ がこれに該当する。この帯域における全被験者の脳波強度 (最小値 0、最大値 1 に正規化されている) の標準偏差は 0.067 と小さく、標準偏差を σ とすると平均値 $\pm\sigma$ の範囲に全被験者データの約 68.3%、平均値 $\pm 2\sigma$ の範囲に全被験者データの約 98.3% が含まれる分布であった。ここから、被験者間の脳波強度のばらつきが小さいことが確認できるため、参加者全員の MS-Level の平均値を利用するアプローチにも大きな問題が無いと分かる。よって、本研究では、12 ~ 28Hz の脳波データを利用して MS-Level を導出する。

表 3.6: 各周波数帯の脳波強度 (60 人の平均値)

周波数 (単位: Hz)		脳波強度 (単位無し)		周波数 (単位: Hz)		脳波強度 (単位無し)	
F_{low}	F_{high}	論理思考	リラックス	F_{low}	F_{high}	論理思考	リラックス
2.0	4.0	0.323	0.140	4.0	36.0	0.458	0.168
	6.0	0.336	0.134		38.0	0.458	0.167
	8.0	0.351	0.138		40.0	0.458	0.166
	10.0	0.362	0.145	6.0	8.0	0.366	0.186
	12.0	0.374	0.150		10.0	0.388	0.200
	14.0	0.382	0.152		12.0	0.402	0.208
	16.0	0.395	0.155		14.0	0.416	0.206
	18.0	0.403	0.155		16.0	0.434	0.203
	20.0	0.412	0.157		18.0	0.443	0.202
	22.0	0.417	0.156		20.0	0.450	0.200
	24.0	0.422	0.155		22.0	0.458	0.199
	26.0	0.426	0.154		24.0	0.461	0.196
	28.0	0.428	0.154		26.0	0.463	0.192
	30.0	0.433	0.153	28.0	0.465	0.190	
	32.0	0.435	0.154	30.0	0.468	0.189	
	34.0	0.437	0.153	32.0	0.470	0.188	
	36.0	0.439	0.153	34.0	0.471	0.187	
	38.0	0.439	0.153	36.0	0.471	0.185	
	40.0	0.440	0.152	38.0	0.470	0.183	
4.0	6.0	0.342	0.144	40.0	0.469	0.182	
	8.0	0.364	0.154	8.0	10.0	0.375	0.226
	10.0	0.380	0.164		12.0	0.398	0.233
	12.0	0.393	0.173		14.0	0.420	0.230
	14.0	0.406	0.175		16.0	0.441	0.223
	16.0	0.423	0.178		18.0	0.448	0.218
	18.0	0.430	0.177		20.0	0.457	0.215
	20.0	0.437	0.177		22.0	0.463	0.212
	22.0	0.443	0.175		24.0	0.468	0.209
	24.0	0.447	0.175		26.0	0.467	0.203
	26.0	0.449	0.173		28.0	0.469	0.200
	28.0	0.451	0.171		30.0	0.468	0.195
	30.0	0.454	0.170		32.0	0.469	0.193
	32.0	0.456	0.169		34.0	0.469	0.191
34.0	0.457	0.169					

周波数 (単位: Hz)		脳波強度 (単位無し)		周波数 (単位: Hz)		脳波強度 (単位無し)	
F_{low}	F_{high}	論理思考	リラックス	F_{low}	F_{high}	論理思考	リラックス
8.0	36.0	0.468	0.189	14.0	16.0	0.404	0.216
	38.0	0.468	0.188		18.0	0.424	0.218
	40.0	0.467	0.186		20.0	0.437	0.215
10.0	12.0	0.379	0.240	22.0	0.448	0.213	
	14.0	0.402	0.228	24.0	0.455	0.207	
	16.0	0.432	0.221	26.0	0.460	0.201	
	18.0	0.442	0.218	28.0	0.459	0.196	
	20.0	0.450	0.214	30.0	0.453	0.187	
	22.0	0.461	0.213	32.0	0.454	0.185	
	24.0	0.464	0.208	34.0	0.457	0.185	
	26.0	0.465	0.202	36.0	0.456	0.183	
	28.0	0.467	0.198	38.0	0.456	0.182	
	30.0	0.464	0.192	40.0	0.455	0.181	
	32.0	0.464	0.189	16.0	18.0	0.385	0.219
	34.0	0.465	0.188		20.0	0.408	0.217
	36.0	0.465	0.187		22.0	0.428	0.217
	38.0	0.465	0.186		24.0	0.437	0.210
40.0	0.465	0.185	26.0		0.447	0.206	
12.0	14.0	0.387	0.219		28.0	0.448	0.201
	16.0	0.427	0.217		30.0	0.445	0.191
	18.0	0.440	0.215		32.0	0.447	0.190
	20.0	0.449	0.212	34.0	0.447	0.187	
	22.0	0.457	0.209	36.0	0.445	0.184	
	24.0	0.463	0.205	38.0	0.445	0.182	
	26.0	0.467	0.201	40.0	0.446	0.181	
	28.0	0.468	0.198	18.0	20.0	0.381	0.214
	30.0	0.463	0.189		22.0	0.408	0.214
	32.0	0.463	0.186		24.0	0.421	0.209
	34.0	0.463	0.185		26.0	0.432	0.205
	36.0	0.462	0.184		28.0	0.437	0.200
	38.0	0.462	0.182		30.0	0.432	0.189
	40.0	0.462	0.181		32.0	0.436	0.187

周波数 (単位: Hz)		脳波強度 (単位無し)		周波数 (単位: Hz)		脳波強度 (単位無し)			
F_{low}	F_{high}	論理思考	リラックス	F_{low}	F_{high}	論理思考	リラックス		
18.0	34.0	0.438	0.185	26.0	28.0	0.355	0.186		
	36.0	0.437	0.182		30.0	0.383	0.183		
	38.0	0.437	0.180		32.0	0.397	0.183		
	40.0	0.438	0.179		34.0	0.402	0.179		
20.0	22.0	0.377	0.210	36.0	0.408	0.177			
	24.0	0.410	0.211	38.0	0.408	0.173			
	26.0	0.417	0.203	40.0	0.411	0.171			
	28.0	0.424	0.198	28.0	30.0	0.366	0.186		
	30.0	0.420	0.185		32.0	0.382	0.184		
	32.0	0.427	0.185		34.0	0.390	0.179		
	34.0	0.430	0.183		36.0	0.397	0.178		
	36.0	0.432	0.182		38.0	0.400	0.175		
	38.0	0.432	0.180		40.0	0.401	0.172		
	40.0	0.434	0.179		30.0	32.0	0.361	0.183	
22.0	24.0	0.372	0.202			34.0	0.376	0.181	
	26.0	0.404	0.204			36.0	0.387	0.180	
	28.0	0.411	0.197			38.0	0.390	0.174	
	30.0	0.411	0.185	40.0	0.392	0.172			
	32.0	0.418	0.183	32.0	34.0	0.339	0.177		
	34.0	0.423	0.182		36.0	0.357	0.175		
	36.0	0.425	0.180		38.0	0.370	0.173		
	38.0	0.425	0.178		40.0	0.376	0.170		
	24.0	26.0	0.367		0.195	34.0	36.0	0.333	0.173
		28.0	0.388		0.192		38.0	0.353	0.171
30.0		0.396	0.183	40.0	0.360		0.165		
32.0		0.406	0.182	36.0	38.0		0.328	0.168	
34.0		0.412	0.180		40.0	0.345	0.165		
36.0		0.415	0.178		38.0	40.0	0.319	0.161	
38.0		0.416	0.175						
40.0		0.419	0.174						

表 3.7: 各周波数帯の脳波強度 (60 人の平均値, 一部抜粋)

周波数 (単位: Hz)		脳波強度 (単位無し) リラックス
F_{low}	F_{high}	
2.0	4.0	0.140
4.0	6.0	0.144
6.0	8.0	0.186
8.0	10.0	0.226
10.0	12.0	0.240
12.0	14.0	0.219
14.0	16.0	0.216
16.0	18.0	0.219
18.0	20.0	0.214
20.0	22.0	0.210
22.0	24.0	0.202
24.0	26.0	0.195
28.0	30.0	0.186
30.0	32.0	0.183
32.0	34.0	0.177
34.0	36.0	0.173
36.0	38.0	0.168
38.0	40.0	0.161

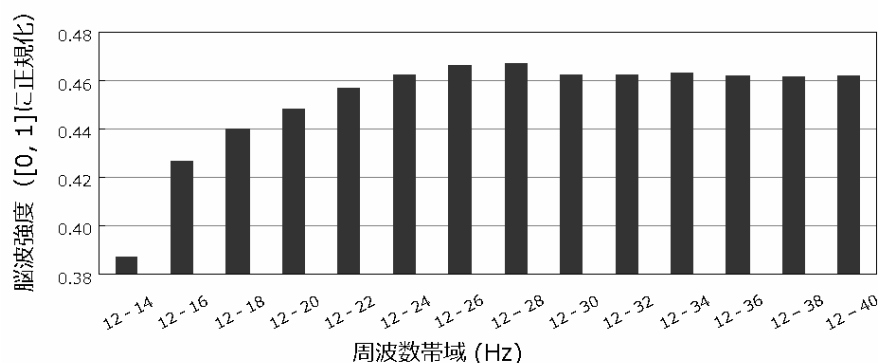


図 3.6: 12 ~ 40Hz 帯域の脳波強度 (一部抜粋)

表 3.8: 各帯域の脳波強度に関する F 検定の結果

x	y	f-test(x, y) における p 値
12 ~ 28Hz	12 ~ 22Hz	0.571
	12 ~ 24Hz	0.903
	12 ~ 26Hz	0.889
	12 ~ 30Hz	0.630

なお，図 3.6 を見ると分かるように，脳波強度は 12 ~ 28Hz で最大になるとはいえ他の帯域よりも際立って大きいわけではない．この点を詳細に検討するために，12 ~ 28Hz と特に脳波強度の値が近い帯域 (12 ~ 22Hz, 12 ~ 24Hz, 12 ~ 26Hz, 12 ~ 30Hz) の間で 60 人分の脳波強度に有意差があるか検定を行う．まず，検定方法を決定するために各帯域間の等分散性を F 検定によって評価する．表 3.8 を見ると，各帯域間には有意水準 5% で差が無い，つまり，等分散を仮定できるので T 検定による比較が可能であることが分かる．各帯域間で T 検定を行った結果を表 3.9 に示す．この表を見ると，12 ~ 24Hz および 12 ~ 26Hz とは有意差があるとは言えないが，12 ~ 22Hz および 12 ~ 30Hz とは有意水準 5% で差があると言える．この結果から，12 ~ 24Hz または 12 ~ 26Hz を利用しても，12 ~ 28Hz と同程度の精度で MS-Level を導出できることが分かる．

3.2.3 思考状態推定に基づくコミュニケーション支援システムの構築

本章では，参加者の思考状態を推定することによりコミュニケーションの進行を円滑化し，記録を効率的に利用する手法を提案した．そして，思考状態推定を行うための指標 MS-Level を脳波情報から導出するアルゴリズムを構築した．

以降，4 章，5 章，6 章では思考状態の推定結果をどのように提示すればコミュニケー

表 3.9: 各帯域の脳波強度に関する T 検定の結果

x	y	t-test(x, y) における p 値
12 ~ 28Hz	12 ~ 22Hz	0.011
	12 ~ 24Hz	0.111
	12 ~ 26Hz	0.610
	12 ~ 30Hz	0.038

ション支援の効果が高まるかという所まで掘り下げて検証を行う。具体的には、相手の思考状態推定が必要な状況、自己の思考状態推定が必要な状況、参加者全体の思考状態推定が必要な状況のそれぞれに対して適切な MS-Level の提示方法を検討してシステム構築を行い、効果の測定を行う。

第4章 相手の思考状態推定に基づく コミュニケーション支援

4.1 指導者による思考状態把握の重要性

人は相手がどの程度の深く物事を考えているのか、外見だけからは判断できない。思考の状態は表情や声色の変化として表出することもあるが、人は社会的理由等によりこれらを意図的に操作すること（作り笑いやポーカーフェイス等）に慣れてしまっている。これは、相手に物事を理解させようとするコミュニケーションにおいては円滑な進行の障害となる。

本章では、この障害が大きな問題となる典型例として、教育現場における教師や作業現場における監督者等の指導者が、対面環境にいる生徒や作業員等に対して指導を行うというコミュニケーションに着目した。教育現場における教師や、作業現場における監督者等の指導者は、生徒や作業者の様子や反応、特に“どの程度頭を働かせているか”ということに気を配りながら指導を行うのが一般的である。例えば教師は、難解な事項を説明した後には生徒達を見渡して彼らが理解することを諦めずに授業についてきているかどうか探ったり、集中力が散漫になってると思われる生徒を発見したら注意を促したりする。この行為の重要性は広く認識されており、教育・作業現場において生徒や作業者の状態を指導者に伝えて指導を支援する試みは、研究レベルからビジネスレベルまで数多くなされている。

4.2 既存手法の問題点

前述のとおり、以前から指導者による生徒・作業者の状態把握支援は多くの研究者・企業が試みてきたが、下記2つの問題点のため既存手法では、指導者は生徒・作業者がどの程度頭を働かせているか、つまり思考状態を的確かつ直感的に把握することは難しい。

1つ目の問題点は、既存の手法には生徒・作業者の思考状態を的確に表す指標が用いられていない点である。例えばある研究事例では、授業の受講者が顔を上げた時には“講義への関心がある”，顔を下げた時には“講義に疲れている”と判断し、この情報を用いることで指導者は生徒の聴講状態や理解度が把握しやすくなるとされている [143]。この手法にも一定の効果はあると思われるが、講義への関心がある場合でもノートをとる際は顔を下に向けるので、この単純なモデルだけで思考状態を的確に判断できるとは言いがたい。2.6.1.2項や2.6.1.3項で述べたように、声や行動から思考状態を推定する研究も行われており [93, 94, 95, 96, 97, 98]、被指導者の思考状態推定に利用することも考えられなくはないが、声、行動は人間が意図的に操作できる範疇のものである事、授業等の最中に声を出したり特定行動を繰り返す生徒は少ないと思われる。

2つ目の問題点は、既存の手法には、指導者が生徒・作業者の思考状態を直感的に把握する手段が無い点である。つまり、時々刻々と変化する思考状態とその主の生徒・作業者を関連付けて素早く直感的に表示する方法が、既存の手法では採用されていないのである。例えば、短い周期で変化する情報を表示する環境としては、PC等のモニタに情報を

文字やグラフ，メータとして表現するものが考えられる．しかし，各生徒・作業者の行動や仕草を肉眼で観察しつつ，一方でモニタに表示された彼らの思考状態を把握するという作業には視線の移動が多く発生し，指導者にとって負担が大きい．カメラで各生徒・指導者を撮影し，彼らのビデオ画像と思考状態の情報を重畳してモニタ上に表示する方法も考えられるが，カメラから得られる映像は第三者的な視点から得られる映像であり，指導者自身の視点から得られるものとは異なるため，指導者にとって直感的な表示方法とは言えない．また，その場合，指導者は常にモニタを見ている必要があるため，生徒・作業者と円滑にコミュニケーションを交わすことができない．モニタが見える位置に居なければならぬという移動の制約も生じる．

4.3 思考状態推定および複合現実感を利用した指導者支援

本章では，思考状態推定および複合現実感を利用した指導者支援について述べる．これは，4.2節の1つ目の問題点を解決するために生徒・作業者の思考状態を的確に表す指標としてMS-Levelを利用し，2つ目の問題点を解決するために直感的な情報提示方法として複合現実感を利用するものである．

4.3.1 MS-Levelの導出

3.2.1.3項で述べたように，生徒・作業者は簡易脳波計IBVAを装着し，脳波測定・記録ソフトウェアを利用して脳波測定を行う．そして，3.2.2.1項で述べた手続きに基づいて，各時間帯におけるMS-Levelを導出する．

なお，一般的な授業等では1人の指導者に対して複数の生徒・作業者がいる場合が多いので，複数の生徒・指導者について同時にMS-Levelの導出を行って指導者に提示する．この際，複数の生徒・作業者間でMS-Levelを相対的に比較できるように，MS-Levelを正規化する必要がある．なぜならば，脳波強度の絶対的な数値には個人差があり，そこから導出したMS-Levelにも個人差が含まれているからである．そこで，複数の生徒・作業者間でMS-Levelの比較が可能になるようにMS-Levelの正規化を行う．手順は次の通りである．

- (1) 生徒・作業者ごとにMS-Levelの平均値と標準偏差を求める．
- (2) 平均から標準偏差の3倍以上離れているデータ（医療計測の分野では一般に外れ値とされる）を生徒・作業者ごとに取り除く．
- (3) 生徒・作業者ごとに最小値0，最大値1になるようにデータを正規化する．

なお，相対化の作業は，脳波の測定時間がある程度長時間であることを前提としている．なぜならば，思考の様子が平坦な場合，つまり，すべての生徒・作業者にそれぞれ“ほとんど思考を行っていない時間帯”と“かなり思考している時間帯”の両方が存在して

いない場合に相対化を行うと不都合が生じてしまうからである。例えば、生徒 A は常に何も考えておらず、生徒 B は常に深い考え事をしてきたような短時間の授業などで相対化を行うと、両者の MS-Level はどちらも同じように 0 から 1 の範囲に正規化されてしまい、2 人の思考の違いを表せなくなってしまうおそれがある。

それに対して、長時間の活動であれば、各生徒・作業員にはそれぞれ全く思考を行わない時間帯と、深く思考を行っている時間帯の両方がある可能性が高く、上記のような不都合は生じない。

4.3.2 複合現実感を利用した思考状態の提示

生徒・作業員の思考状態を指導者に提示する方法として、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) による複合現実感を利用する。HMD は現実世界に電子データを重畳させて視認できるウェアラブルデバイスである。

現実世界の生徒・作業員に思考状態を表す電子データを重畳させて視認するこの方法は、前述の“各生徒・作業員を肉眼で確認しつつ、手元のモニタで彼らの思考状態を把握する”方法や、“カメラで各生徒・作業員を撮影し、彼らのビデオ画像と思考状態の情報を重畳してモニタ上に表示する”方法と比べて、次のようなメリットがある。

- (1) 指導者自身の直観的な視点から生徒・作業員を見ることができる。
- (2) 生徒・作業員と彼らの思考状態を見比べるために視線を移動させる必要が無い。
- (3) 手元のモニタなどを見る必要が無いため、指導者に移動の制約が無い。
- (4) カメラで姿を撮影する必要が無いため、生徒・作業員に移動の制約が無い。

思考状態を現実世界に重畳表示するには、CANON 社の MR Platform システムを利用した。図 4.1、表 4.1 に示すのは MRPlatform システムの HMD 部分の外観と仕様である。この HMD はビデオスルー方式であり、搭載した一対の CCD カメラで影した映像を PC 内で CG 映像と合成して、眼前のディスプレイに提示できる。また、表 4.2 に示すのが、複合現実空間を構築する際に必要となる 3 次元位置計測システム FASTRAK の仕様である。FASTRAK は 3 次元位置座標とオイラー角の 6 自由度をリアルタイムに測定可能である。また、位置検出には光学センサと磁気センサを併用するハイブリッド手法を採用しているので、物や人物の影に位置測定用レーザーが隠れてもデータが欠落しにくいという特徴がある。

本研究では、磁気レーザーを指導者の HMD、生徒・作業員の脳波計に装着することで、指導者と生徒・作業員の位置を磁気センシングして取得した。また、光学マーカを指導が行われる空間に設置することで、現実世界の座標を光学センシングして取得した。これにより、より高い精度で現実世界の適切な位置に電子データを重畳させることが可能になる。つまり、高い精度で各生徒・作業員に彼らの思考状態を表す CG を重畳することができる。



図 4.1: Head Mounted Display の外観

具体的には，図に示すとおり HMD 越しに見える各生徒・作業者に重ねるようにして，彼らの思考状態を表す球体の CG を表示する．球体には次のような特徴がある．

- (1) 半透明 CG なので生徒・作業者を覆い隠すことが無い．
- (2) 思考状態の活発さを色の濃淡で表現する（活発なほど色が濃い）ため，数値やグラフで表示する場合と比べ素早く読み取ることができる．
- (3) 各生徒・作業者の位置を CG が追従するため，生徒・作業者と各々の思考状態の関連を見失うことが無い．

4.3.3 システムの全体構成

図 4.3 にシステムの全体構成を示す．
詳細は次の通りである（図中の各番号を参照）．

- (1) HMD を装着した指導者である．HMD には (2) 各生徒・作業者と彼らの思考状態が重畳されて表示される（図 4.2 参照）．HMD は CCD カメラを内蔵しており，撮影した映像は有線で (4) 複合現実感制御マシンに転送される．また，HMD には磁気レーザが装着されており，(5) 磁気トランスミッタによって位置をセンシングされている．

表 4.1: Head Mounted Display の仕様

項目	仕様
視野角	水平方向 51 度 , 垂直方向 37 度
重量	327g
表示解像度	VGA (640 × 480 画素) × 2
カメラ入力	NTSC × 2

表 4.2: 3SPACE FASTRAK の仕様

項目	仕様
測定自由度	6DOF (x, y, z, pitch, yaw, roll)
測定精度	位置 0.8mm RMS , 角度 0.15 度 RMS
測定範囲	半径 76cm の半球内
データレート	120 / (レシーバ数) pps

- (2) 脳波計を装着した生徒・作業員である。脳波計により取得された脳波情報は無線で(3)思考状態導出マシンに転送される。また、脳波計には磁気レシーバが装着されており、(5)磁気トランスミッタによって位置をセンシングされている。
- (3) 思考状態導出マシンである。(2)各生徒・作業員が装着した脳波計から無線で送られて来る脳波情報から思考状態を導出し、有線で(4)複合現実空間制御マシンに転送する。
- (4) 複合現実空間制御マシンである。(1)指導者が装着した CCD カメラ内蔵の HMD から送られて来る映像から部屋に設置された光学マーカをセンシングし、現実世界の座標を取得する。また、(5)磁気トランスミッタから有線で送られて来る指導者・生徒・作業員の位置を取得する。これらの座標を元に、(3)思考状態導出マシンから送られて来る思考状態を現実世界に重畳させた映像を(1)指導者の HMD に有線で転送する。
- (5) 磁気トランスミッタである。(1)指導者と(2)生徒・作業員が装着した磁気レシーバをセンシングし、有線で(4)複合現実空間制御マシンに転送する。



図 4.2: 指導者から見た生徒・作業者の映像（顔付近に球体 CG）

4.4 評価実験 1: 思考状態推定の精度の検証

4.4.1 実験目的

この実験の目的は、思考の度合いに応じた MS-Label が適切に導出できるかどうか検証を行うことである。同時に、適切な MS-Level を導出できる N の値を決定することも目指している。

4.4.2 実験内容

被験者 20 名（21-25 歳の学生，男 17 名，女 3 名）に対して思考を要するタスク（英語リスニングテスト）と思考を要しないタスク（何も考えずにリラックス）を課した。タスクの時間はどちらも約 4 分間であり，タスク中の MS-Level の平均値を比較した。この時，思考を要するタスクに英語リスニングテストを選んだのは，思考に最も関連が高いとされている 波が，様々な学力テストの中でも特に言語テストを行う時に多く発生するという知見があるからである [1]。

実験は次のような条件で行った。

- (1) 脳波計に対する不快感や実験に対する緊張などを和らげるため，被験者が脳波計を

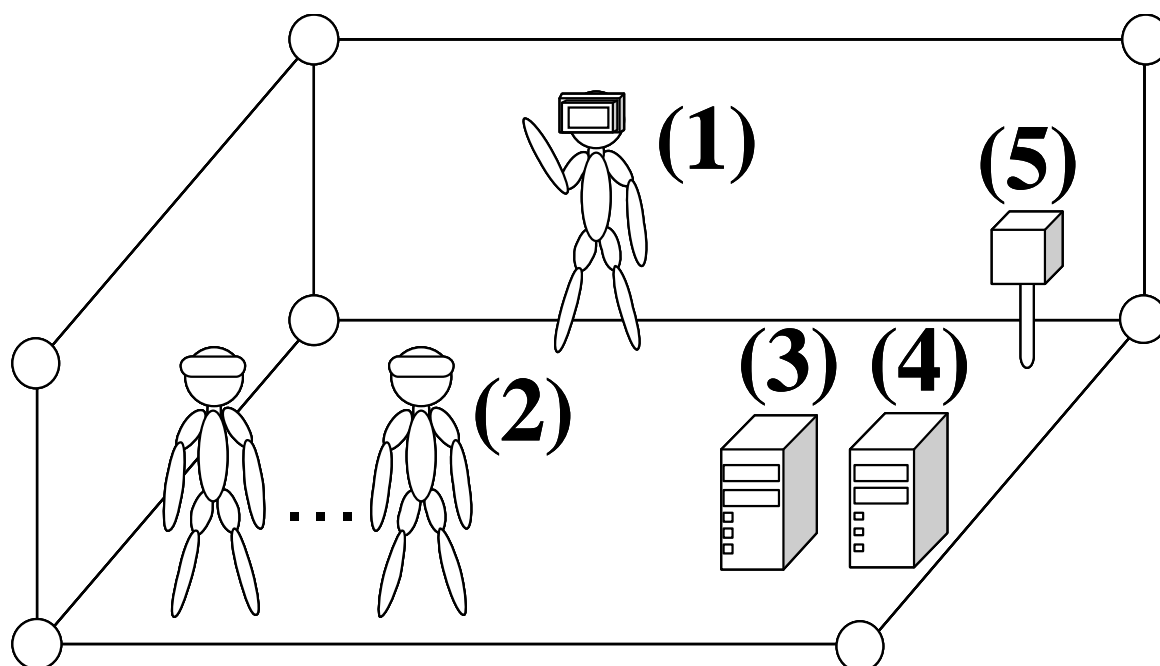


図 4.3: システムの全体構成

装着してから実験を開始するまで十分に時間をおいた。

- (2) 被験者が“思考”について必要以上に意識することを避けるため、被験者には何を計測するか一切知らせず、スピーカーから聞こえてくる台詞を真似るタスクをダミー実験として織り交ぜた。
- (3) 被験者を2グループに分けてタスクを行う順番をグループ間で変えた。

また、実験は、MS-Levelを導出する際に利用する最新サンプル数(3.2.2.1項参照)が $N = 1, 25, 50, 75, 100, 125$ の各場合について行った。それぞれ約0.24, 6, 12, 18, 24, 30秒分にあたる。

4.4.3 実験結果

各タスクにおける全被験者の MS-Level の平均値は表 4.3 のようになった。なお、5.3.1項でも述べたように、異なる被験者同士の MS-Level の平均を取る際には、事前に各被験者の MS-Level を正規化してある。その際、同項で触れたように、“思考を要するタスク”や“思考を要しないタスク”のどちらかだけを行っている時間帯で正規化してしまうと問題が生じてしまうので、一連のタスクを行っているすべての時間帯のデータを利用して正規化を行った。

表 4.3 を見ると、概ね N の値が大きくなるにつれて思考を要するタスク中の MS-Level は徐々に小さくなり、思考を要しないタスク中の MS-Level は徐々に大きくなる傾向があ

表 4.3: 評価実験1の結果

	思考を要する	思考を要しない
< N = 1 >		
MS-Level の平均値	0.649	0.301
MS-Level の標準偏差	0.201	0.159
< N = 25 >		
MS-Level の平均値	0.648	0.256
MS-Level の標準偏差	0.187	0.151
< N = 50 >		
MS-Level の平均値	0.638	0.246
MS-Level の標準偏差	0.179	0.148
< N = 75 >		
MS-Level の平均値	0.610	0.270
MS-Level の標準偏差	0.171	0.121
< N = 100 >		
MS-Level の平均値	0.618	0.270
MS-Level の標準偏差	0.155	0.117
< N = 125 >		
MS-Level の平均値	0.615	0.278
MS-Level の標準偏差	0.151	0.109

(結果はすべて被験者 20 名の平均値, N は利用する最新サンプル数)

ることが分かる。また、各タスク中の MS-Level の標準偏差は N の増加に伴い徐々に小さくなっている。

これは、ある瞬間の MS-Level を導出する際に利用する過去データの時間を長くするほど短時間の思考の変化の重みが減って、MS-Level が思考をしても大きくなりやすく、思考をしなくても小さくなりやすいためだと思われる。つまり、利用する過去サンプルが多いほど MS-Level が敏感に思考の変化を反映できなくなると判断できる。

このことから、利用する過去サンプル数はある程度少ない方が MS-Level が的確に思考状態の変化を反映できると思われる。しかし、よく表 4.3 を見ると、思考を要しないタスクの場合は N が 1 から 50 までは MS-Level の平均値が下がり続け、それ以降は上昇し続けていることが分かる。これは、N の値があまりにも小さいと眼球運動などの思考以外に波を高めてしまう瞬間的な現象が悪影響を及ぼし、MS-Level を高めてしまっているためであると思われる。

よって、ノイズの影響が少なく、かつ、思考の変化を見失わない長さとして、過去 50 サンプル (約 12.5 秒分のデータ) を利用して MS-Level を導出する。

N = 50 の時、思考を要するタスク中と思考を要しないタスク中の各被験者の MS-Level

の平均値の集合の間で Wilcoxon 符号順位和検定を行うと棄却率は $p = 0.0000820$ ($N = 20$, $p < 0.01$) となり, この2群の間には有意水準1%で有意に差があることが分かる。よって, タスクに要する思考の度合いに応じた MS-Level が導出できていたと判断することができる。

また, 思考を要するタスクの方が思考を要しないタスクに比べて標準偏差の平均値が大きい傾向が見られたが, これは, 被験者によって英語の能力が異なっているために思考の度合いにばらつきが生じたことが一因であると思われる。

4.5 評価実験2: 重畳表示の効果の検証

4.5.1 実験目的

ここでは, 導出された MS-Level を重畳表示で提示することの妥当性を評価する。

4.5.2 実験内容

被験者学生11名(21-25歳の学生, 男10名, 女1名)に, 指導者役となり8人の被指導者の“向き”と“思考状態(提示方法は後述)”を短時間で素早く観察するというタスクを課す。ただし, タスクの再現性の観点から実際に8人の被指導者と対面して彼らの観察を行う方法は避け, 8人の生徒が並んでいる風景を予めビデオ撮影したのを見て観察する方法を採った。ビデオの詳細は次のとおりである。

- 1シーンは約10秒で構成されており, 10個のシーンが連結されている。
- 各シーンには8人の生徒が並んで授業を受けている風景が映っている。
- 各シーンには指導者による授業の声と, それに対する生徒のリアクション(指導者の方を向く, ノートをとる等)が映っている。ただし, 生徒は発言しない。

なお, 撮影時に生徒が装着した簡易脳波計を用いて各シーンにおける MS-Level を計測しておいた。そして, 上記のような10シーンからなる授業風景のビデオを2セット用意し, それぞれに映っている生徒の MS-Level を“分割表示”および“重畳表示”にて提示する。分割表示は生徒の情報が指導者の手元のモニタ, すなわち生徒から目を離さなければ見えない位置に表示される既存手法(4.2節参照)を再現している。重畳表示は4.3.2項で述べた提案手法を再現している。それぞれのイメージを図4.4, 図4.5に示す。図中の思考状態を表す球形CGは, MS-Level が高いほど赤く, MS-Level が低いほど黄色く表示され, 色は3段階で変化する。

被験者は思考状態が分割表示されたビデオと重畳表示されたビデオのそれぞれを閲覧しながら, 各シーンにおける8人の生徒の顔の向き(左, 正面, 右)と思考状態(高, 中,

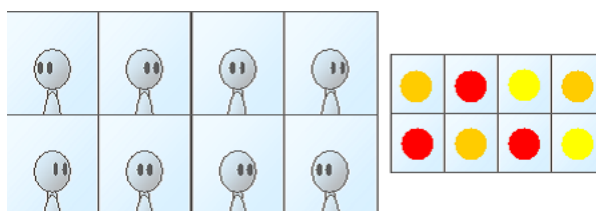


図 4.4: 分割表示



図 4.5: 重畳表示

低)を回答し,これを10シーン分繰り返すタスクを行った。その際,順序効果の影響を相殺するため被験者を2組に分け,分割表示のビデオと重畳表示のビデオを閲覧する順番を変えた。

4.5.3 実験結果

表 4.4 に各手法における被験者の回答の平均正解率を示す。なお,被験者の正解判定は生徒1人ごとに行い,その生徒の向きと思考状態の両方を正しく回答できた場合のみ正解とした。つまり,各シーンは8点満点,10シーンで80点満点として採点を行った。被験者が時間内に回答できなかった生徒については誤答と同じ扱いとした。

分割表示と重畳表示の間で正解率の Wilcoxon 符号順位和検定を行うと,棄却率は0.0020となり有意差があることが分かる。よって,限られた時間内に生徒の状態を観察する際には重畳表示の方が優れていると言える。

表 4.4: 評価実験2の結果(被験者11人分の平均)

手法	平均正解率
分割表示	0.70
重畳表示	0.89

4.6 考察

本章では、相手の思考状態推定が必要な状況として、教育現場における教師や作業現場における監督者等の指導者が、対面環境にいる生徒・作業員に対して指導を行うというコミュニケーションに着目した。思考状態を的確に表す指標としては脳波情報が適切であると考え、脳波情報から導出した MS-Level を用いて被指導者の思考状態推定を行うことを提案した。

この理由は 3.2.1.2 項でも述べたとおり、人が思考を要する作業を行う際に特定周波数帯域の脳波強度が高まることが確認されており、本研究において 60 人に対して行った検証実験 (3.2.2.2 項) でも確認されているからである。さらに言えば、脳波以外の情報、例えば生徒・作業員の表情や声色の変化から彼らの思考状態を読み取ることは難しいと思われる。仮に彼らが退屈して何も考えていない状態であっても指導者に感付かれない様に退屈そうな表情はしないだろう。彼らが常に声を発しているとも考えにくい。この観点からも、思考状態推定に脳波から導出した MS-Level を利用することは妥当と言える。“思考している状態”と“思考していない状態”の識別性能を検証した評価実験 1 (4.4 節) では、 $MS - Level_{N=50}$ を用いると有意水準 1% で両者が識別可能であることが確認された。

なお、プライバシーの問題に関しては一考の余地がある。MS-Level は思考の具体的な内容を示す指標ではないが、生徒・作業員の立場からすれば自分の頭の働き具合を指導者に把握されることは必ずしも心地良いことではない。例えば、“危険な作業をする生徒・作業員の思考状態を指導者が監視し、生徒・作業員の集中力が低下したら彼らの身の危険を避けるために指導者が警告を発する”といったような場合であれば生徒・作業員側にも十分メリットがあるが、日常的に行われる授業ではこうはいかない。むしろ、思考状態を把握されることで生徒・作業員が得るメリットよりも、生徒・作業員が感じる不快感の方が大きくなる可能性もある。このような場合は、生徒・作業員個々の思考状態を指導者に提示するのではなく、生徒・作業員全体の思考状態を平均化して提示することで問題を軽減できる場合が多いと思われる。こうすれば、指導者は生徒・作業員が“全体として”その程度頭を働かせているか把握しながら指導を行うことができるし、生徒・作業員は自分達の思考状態を個々に把握される心配をしなくて済む。

また、指導者が生徒・作業員の思考状態を把握しながら指導することを支援するという目的上、思考状態を把握する作業が指導作業そのものを妨害してはいけないと考え、本研究では HMD を利用して思考状態情報を生徒・作業員に重畳表示させるというアプローチを採った。この手法であれば、生徒・作業員の状態把握のために被指導者から目を離す必要が無く、コミュニケーションが阻害される危険性が無い。4.5 節で既存手法 (分割表示) との比較実験を行ったところ、正解率が既存手法で 70% であったものが提案手法では 89% と向上しており、有意水準 1% で両者に差があることも確認できた。思考状態だけでなく生徒・作業員の顔の向きも含めて回答するというタスクであったにも関わらず重畳表示の方が高い正解率を得たので、CG が重畳されて生徒・作業員の思考状態以外の情報が取得しにくくなるという事態が避けられたことも確認できる。これは、CG を半透明にする

工夫を行った効果であると思われる。

第5章 自己の思考状態推定に基づく コミュニケーション支援

5.1 遠隔コミュニケーションにおける自己の思考状態把握の重要性

時間や距離，空間の制約を低減できるという観点から，ビデオ会議システムなどの遠隔コミュニケーションシステムが有効であるシーンは数多く，様々なシステムが提案されている．参加者が3人以上の場合は図5.1のように画面全体を分割，あるいは参加者ごとに1つずつウィンドウを割り当てる方法が主流であった．しかし，このように各参加者が別空間にいるように表示してしまうと，参加者達は同じ空間を共有している感覚になれない．円滑なコミュニケーションが行われるためには参加者達が“対話の場”を共有することが必要であり，それが実現できないシステムでは会話がスムーズに進まないことが指摘されている [140] ．

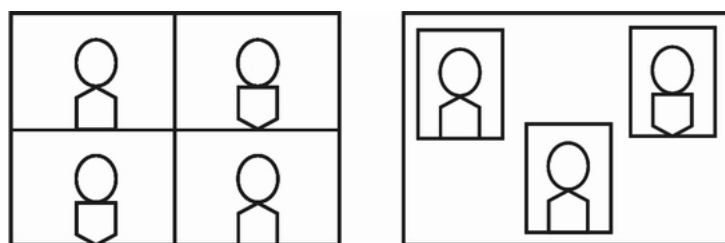


図 5.1: 画面分割型の遠隔コミュニケーションシステム

この問題を解決する手段として，仮想的な共有空間を現実世界またはネットワーク上に構築し，その空間上でコミュニケーションを行う方法がよく用いられる [46, 47, 48, 56, 97, 98] ．本研究の関連研究においても，シームレスな仮想空間を共有するタイプの遠隔コミュニケーションシステム e-MulCS が提案されている [144, 145] ．e-MulCS は，図 5.2 のように物理的に離れている多地点間で円滑に会議や談話を行うことを目的としている．図 5.3 に示すのは e-MulCS の実装画面である ．

本章では，共有仮想空間を利用したリアルタイム遠隔コミュニケーションの一実施例である e-MulCS を実験環境として利用して提案概念の検証を行う．なお本章で提案するコミュニケーション支援方法は，一人称視点で描かれる共有仮想空間を用いたリアルタイム遠隔コミュニケーションシステムであれば適用可能であり，必ずしも e-MulCS を前提にしているものではない ．

5.2 既存手法の問題点

一般に，対面環境では伝わるような表情の微妙な変化，視線の方向，息遣い等が電話やテレビ会議システムといった遠隔環境におけるコミュニケーションでは伝わりにくい．この点を考慮して，対面環境に近い情報量を送受信できるコミュニケーションチャネルを遠隔環

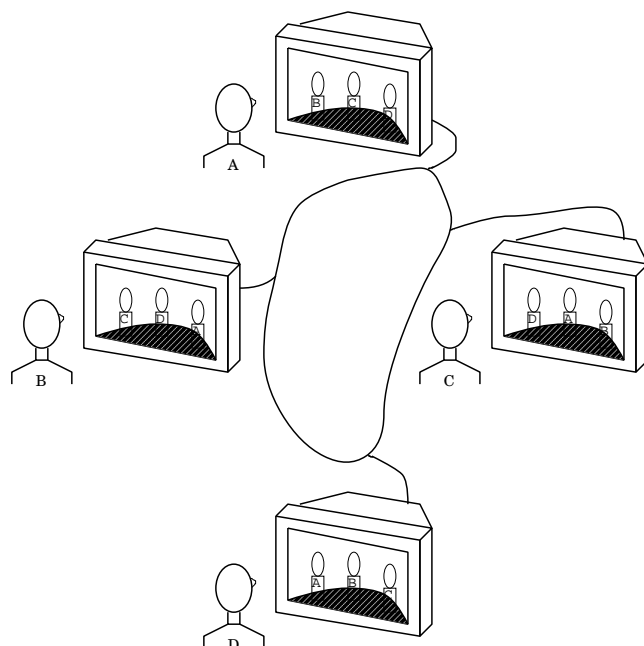


図 5.2: e-MulCS のコンセプト

境においても構築しようと試みる研究事例は数多い．例えば，対面環境にいるかのような位置関係・視線の Awareness の提供を目指したシステム [46, 47, 48] や，遠隔地間においてもジェスチャのやりとりが行える環境の構築を目指したシステム [49, 50, 51, 52, 53, 54, 56] が提案されている．しかし，対面環境を模倣した遠隔環境におけるコミュニケーションでは，どうしても対面環境ほどの豊富な情報の送受信を再現しきれていない．

このように，対面環境と同程度の情報量が送受信できない遠隔環境においては，コミュニケーションの円滑な進行を妨げる問題が生じる．それは，参加者の無意識的な参加意欲低下の問題である．遠隔環境ではコミュニケーション相手と対面しておらず，互いの雰囲気等も伝わりづらいので，“少々気を抜いてコミュニケーションを行っても相手に気付かれないだろう”といったような気の緩みが生じやすい．一般に，娯楽のために行うコミュニケーションと比べて情報・知識の伝達や課題解決を行うコミュニケーションは高度に思考を要するために疲労しやすく，このような気の緩みも生じやすいと思われる．気が緩んだ参加者はコミュニケーションに対するモチベーションも低下すると思われる，このような参加者が増えるとコミュニケーション全体が円滑に進まなくなる危険性がある．



図 5.3: e-MulCS の実装画面

5.3 自己の思考状態推定に基づく遠隔コミュニケーション進行支援

本章では、自己の思考状態把握に基づく遠隔コミュニケーション進行支援について述べる。これは、5.2 節の問題点を解決するために自己の思考状態を的確にあらわす指標として MS-Level を利用し、これを直感的な方法で視認するためのものである。

5.3.1 MS-Level の導出

3.2.1.3 項で述べたように、被指導者は簡易脳波計 IBVA を装着し、脳波測定・記録ソフトウェアを利用して脳波測定を行う。そして、3.2.2.1 項で述べた手続きに基づいて、各時間帯における MS-Level を導出する。

なお、MS-Level 導出の際の N の値は、4.4.3 項の実験において思考を要するタスク中と思考を要しないタスク中の思考状態を的確に表している $N = 50$ を採用する。

5.3.2 自己の思考状態を反映した仮想コミュニケーション空間

既存の遠隔コミュニケーション環境では、参加者の無意識的な参加意欲低下がコミュニケーションの円滑な進行を妨げるという問題があった。本研究では、この問題をより詳細に掘り下げ、次の2点が原因であると考えた。

- 参加意欲の低下に気付くことが難しい
無意識のうちに自分の参加意欲が低下した場合でも、ユーザはそのことに気付けない。
- 仮想空間とのインタラクションが不足している
固定視点から描かれた仮想空間はインタラクション性に乏しく、ユーザは退屈を覚えやすい。

本研究ではこれらの原因を取り除いて問題を解決するために、自己の思考状態を反映した仮想コミュニケーション空間を提案する。つまり、共有空間を表示している各参加者のPC上に参加者自身の思考状態をフィードバックするのである。これにより、各参加者は自身がどの程度頭を働かせているか把握しながらコミュニケーションを進められる。すると、各参加者が無意識的に気が緩んでぼんやりしてしまった場合も各自がそれに気付けるので、各参加者のコミュニケーションへの積極的な参加意欲を維持しやすくなり、コミュニケーションの質を高めることが可能になるとと思われる。

5.3.2.1 自己の思考状態フィードバック方法の検討

自己の思考状態を参加者にフィードバックする方法はいくつか考えられる。まずは単純に思考状態を数値化してメーター等で表示する方法がある。しかし、会話の流れや仮想空間中のコミュニケーション相手に意識を配りながら、さらにメーターを読み取るという作業はユーザへの負担となりかねない。

また、VALENTINEのように、タスクへの集中度に応じて仮想空間中における視野の広さを変える手法もある[97, 98]。このシステムでは、集中度が高まるほど仮想空間の周辺部からモザイクがかかる仕組みになっており、周囲の余計な情報が遮断されて自分の作業により集中できる。しかし、本章にて対象としているのは相手とのインタラクションが大切なコミュニケーションであるため、画面の一部がモザイクで隠されて相手の発する情報が欠落するおそれがあるこの手法は適切とは言えない。

これらの点を考慮すると、直感的で視認性が高く、かつコミュニケーション相手が発する情報をなるべく欠落させないフィードバック方法が必要であると思われる。

ここで、フィードバック方法のヒントを得るために研究室の学生の日常的なコミュニケーションを長期間観察したところ、話に夢中になっている人は身を乗り出し、話に興味が無い人は椅子の背もたれに寄りかかる傾向があることが分かった。そして、この日

常的な動作をモデルにすればより直感的なフィードバック方法になると考え、PC上の仮想空間全体をズームアップ・ズームアウトさせることで思考状態をフィードバックするForward-backwardモデルを考案した。このモデルにおいては、頭が活発に働いている時は画面がズームアップされ、頭の働きが鈍い時は画面がズームアウトさせる。この方法であれば参加者は仮想空間から目を離さなくても済むし、ズームを一定範囲内に抑えておけば相手の情報が欠落する心配も無い。また、思考状態に応じてインタラクティブに画面の状態が変化するので参加者が退屈を感じる可能性を低減させ、5.3.2項冒頭で述べた2つ目の原因除去にも繋がると思われる。

5.3.2.2 仮想空間のズーム方法の検討

今回は、仮想空間を5段階にズームさせることにした。そのため、MS-Levelを1から5までの整数値にスケールリングしてZoom-levelとした。つまり、Zoom-levelは1（最もズームアウト）から5（最もズームアップ）までのズーム度合いを示す指標である。

ここで、脳波はまばたき等によるノイズが乗りやすい指標であり、短時間で急激に変化することもあるので、各瞬間の脳波強度をそのままズームに反映させると頻繁にズームが発生してコミュニケーションに集中できないおそれがある。例えば、図5.4（上側）の縦軸は代表的なユーザ1人のコミュニケーション中の脳波強度を $[0, 1]$ の範囲にスケールリングしたもの、横軸は時間（秒）を表したものであるが、脳波という指標が短時間で変動しやすいことがよく分かる。しかし、3.2.2.1項で述べたとおり、MS-Levelの導出には各瞬間の脳波強度だけでなく一定時間過去のデータ（今回は5.3.1項で述べたとおり $N=50$ 、約12秒分の過去データ）も併せて利用されている。これにより、脳波の突発的な変化による影響が軽減されているので、ズームの頻発は起こりにくくなっている。

実際、図5.4（上側）で示した各瞬間の脳波強度からZoom-level、つまり各瞬間のズームの度合いを求めると図5.4（下側）のようになる。例えば、上側の図の600秒付近を見ると脳波強度は大きく乱れている（これは、まばたき等が原因と思われる）が、下側の図の同時刻を見るとズームの度合いではこの変動がある程度吸収されていることが分かる。これにより、脳波の突発的な変化によるズームの頻発を防ぐことができ、ユーザに負担を与えない表示方法となっている。図5.5はそれぞれズームアップとズームアウトが起こった時の状態であり、両者の間は滑らかに補完される。

なお、システム利用中の脳波強度を $[0, 1]$ の範囲にスケールリングするためには脳波強度の最大値・最小値を利用する必要があるが、これらの値はシステム利用後でないと判明しないし、被験者ごと、あるいは体調等によっても異なる値になると思われ、予め規定値を用意することは難しい。

そこで、本システムの利用者はシステム利用の直前に脳波強度の最大値・最小値を計測しておき（以降“事前タスク”）、これらの値をシステム利用（以降“本タスク”）中に用

いる方法を採用している。その際、まばたき等によるアーチファクトを最大値と判定しないように考慮している。事前タスク中の最大値・最小値は本タスク中のものとは厳密には異なるが、事前タスクを本タスクと極力似せる（あるいは同一の形態にする）ことでこの影響は低減されると思われる。

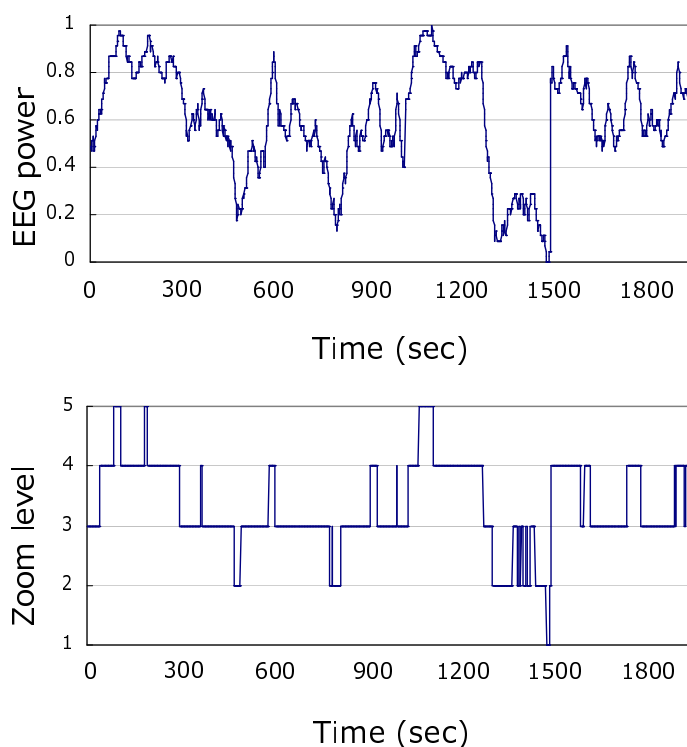


図 5.4: 脳波強度（上）とズームの度合い（下）

5.4 評価実験

5.4.1 実験目的

この実験の目的は、(1) 遠隔コミュニケーションシステムにおいて、自分の思考状態を画面にフィードバックすることで、コミュニケーションへの参加意欲を維持できるかどうか評価すること、(2) Forward-backward モデルに基づくフィードバック方法の妥当性を評価することである。

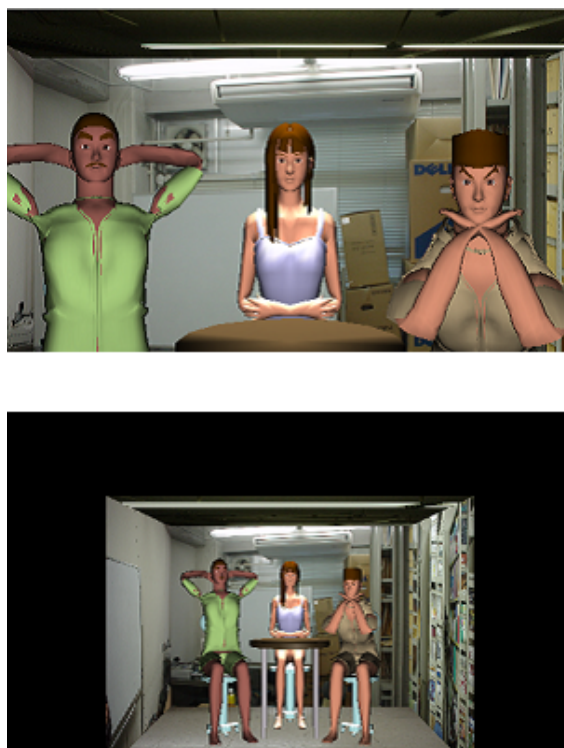


図 5.5: ズームアップ(上)とズームアウト(下)

5.4.2 実験内容

フィードバック方法には“FB(フィードバック)無し”と“メーター方式”、“ズーム方式”の3つがある(詳細は後述)。(1)は“FB無し”と単純なフィードバック方式である“メーター方式”の比較によって検証する。(2)は思考状態のフィードバックを“メーター方式”で与えた場合と、提案手法である“ズーム方式”で与えた場合の比較によって検証する。

遠隔コミュニケーションシステムには様々な用途が考えられるが、この実験では頭を働かせることが必要なコミュニケーションの一例として、積極的な参加と発案が求められるフリーディスカッションを題材として用いた。

被験者(20代の学生11名)には、e-MulCSを利用して遠隔地にいる実験者2人とフリーディスカッションを行うというタスクを課した。その際、積極的に発案し意見を述べるよう被験者に伝えた。ただし、コミュニケーションが不自然なものになってしまうことを防ぐため、むやみやたらに発言するのではなく会話の流れも意識するように補足をおいた。

被験者には3パターンのディスカッションを1パターンにつき5分ずつ行ってもらい、それぞれのパターンで画面の思考状態フィードバック方式と議題を変えた。思考状態フィードバック方式は前述のとおり“FB無し”、“メーター方式”、“ズーム方式”の3種類である。FB無しの場合は画面に何も変化が生じない。メーター方式の場合は図5.6に示すよ

うな極力外因を排した単純なインタフェース，ズーム方式の場合は図 5.5 に示すインタフェースを提示した．頭が働いている状態になるとメーター方式では PC 上に表示されたメーターが上昇し，ズーム方式では画面がズームアップされる．逆に，頭が働いていない状態になるとメーター方式ではメーターが下降し，ズーム方式では画面がズームアウトされる．各方式ともに 5 段階のレベル（レベル 1：頭が働いていない - レベル 5：頭が働いている）を持ち，思考状態の強度が既定の閾値を超えるとレベルが変化する．レベルが変化する条件は各方式とも同一である．

また，各方式で議題を変えてディスカッションを行ったが，方式の順番や議題の内容の差が実験結果に与える影響を極力低減するために，方式と議題の組合せを被験者がその都度くじ引き形式で決定する方法を採った．会話開始時に会話に参加する実験者 2 人にも議題は周知されるが方式は知らされないため，実験者は被験者の画面にどのようなフィードバック方式が適用されているか認識せずに会話を行う．ただし，“FB 無し”は常に最初に行う．なぜならば，システムを利用するためには事前に各被験者の脳波強度の最大値・最小値を計測しておく必要があり（5.3.2.2 項参照），この計測を“FB 無し”のタスク中に行うからである．つまり，“FB 無し”は事前に各被験者の脳波強度の最大値・最小値を測定するためのタスクでもある．

5.3.2.2 項でも述べたように，事前脳波計測を行うためのタスク（“FB 無し”）と実際のタスク（“メーター方式”，“ズーム方式”）は極力似通っていることが望ましいため，議題はすべて新たなアイデアを発案するタイプに統一してある．具体的には，“宝くじで 3 億円当たったらどうするか？”，“相撲をオリンピック種目にするにはどうすれば良いか？”，“タイムマシンが手に入ったら何をやるか？”の 3 種類を用意した．これらの議題は被験者ごとの知識や経験の有無に極力依存しないように選定されており，被験者達の中に宝くじ高額当選者，相撲経験者がいないことを事前に確認している．

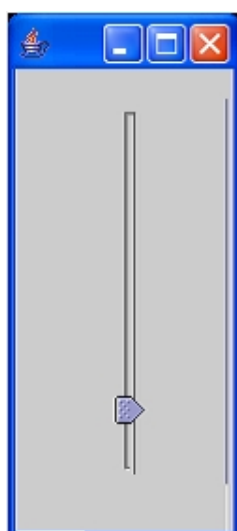


図 5.6: メーター方式のインタフェース

表 5.1: レベルの平均値と変化の様子 (N=11)

項目	平均値	変化回数	標準偏差
メーター	2.6	40.1	1.19
ズーム	3.8	31.7	0.81

表 5.2: あいづちの回数と発話時間 (N=11)

項目		FB無し	メーター	ズーム
あいづちの回数	平均(回)	20.27	19.73	19.73
	標準偏差	9.06	7.73	10.25
発話時間	平均(秒)	56.18	78.45	98.36
	標準偏差	23.62	29.38	32.15

5.4.3 実験結果 (定量評価)

メーター/ズームの各方式が示したレベルの平均値と変化の様子は表5.1のようになった。メーター方式の方がレベルの平均値が低く、かつ変化が頻繁に起こっていたことが分かる。5.4.2章で前述のとおり、メーターとズームのレベルが変化するための条件は同一であるので、この結果の差の原因は各方式の表示法がユーザに与える影響の差であると思われる。つまり、メーター方式の場合は、会話中にメーターを確認するという行為が話への集中力を低下させ、会話への参加意欲を安定して高く保ち続けることが難しかった可能性がある。逆にズーム方式の場合は、頭の働きが高まると身を乗り出すかのように画面がズームアップし、頭が働かなくなると後ろにのけぞるように画面がズームアウトするという直感的な表示方法であった。このため、思考状態を確認する際に話への集中力が途切れ難く、参加意欲を高く持続しやすかった可能性がある。

また、今回の実験タスクでは、積極的に議論に参加して意見を述べるように被験者に指示してあった。そこで、被験者の参加意欲を推測する指標として、発言に関する情報を利用することにした。具体的には、“あいづち”と“発話時間”である。“あいづち”として取り扱ったものは、「はい」、「なるほど」といったものや、直前の発言者の言葉の単純な繰返しである。単純な繰返しとは、例えば「宝くじが当たったら寄付をするよ」と直前の発言者が言った時、自分はきちんとその話を聞いているということを相手に知らせるために「寄付」と繰り返すような場合のことである。この行動は会話を円滑に進めるために行われていると思われるので“あいづち”として扱った。集計結果を表5.2に示す。

“FB無し”と“メーター方式”の間でWilcoxonの符号付順位和検定を行うと、あいづちの回数では有意差は見られないものの($p > 0.10$)、発話時間では5%の水準で有意差が認められた($0.02 < p < 0.05$)。次に、フィードバック方法の有効性を調査するために“メーター方式”と“ズーム方式”の間で検定を行うと、あいづちの回数では有意差は見られないものの($p > 0.10$)、発話時間では1%の水準で有意差が認められた($p < 0.01$)。

ここから，“積極的に発言することが課されている”という今回の条件下においては，思考状態をフィードバックさせることで被験者の参加意欲は維持され，より多くの発言を行うようになると推測できる．そして，フィードバック方式をズーム方式にすることで，その効果はより高まると思われる．

実際，被験者にヒアリングを行うと，「ズームアウトが起こったので発言を心掛けた」，「ズームアウトが起こり，自分が適当にあいづちを打っていたことに気付いたのできちんと発言をしなければと思った」という意見が聞かれた．一方，ズームアップが起こった場合に関しては「より積極的に参加しようと思った」と言う被験者が多い中，「夢中で考えをまとめていた時に画面が変化して驚いてしまった」と言う被験者が1名いた．他の被験者10名の発話時間は全員増加（10名で平均114.0%増）であるのに対し，この被験者の発話時間は23.4%減であった．このことから，より考え事を妨げ難いようなフィードバック方法を検討する余地が残っていると言える．

5.4.4 実験結果（定性評価）

実験後，0 - 3点の4段階（質問内容に対して“Yes”と感じるほど高得点）で回答する方式で被験者に行ったアンケートの結果を表5.3に示す．

“会話に参加する意欲は保てましたか？”という質問に対して，“ズーム”，“メーター”，“FB無し”の順で高得点の結果となっている．“FB無し”と“メーター方式”の間でWilcoxonの符号付順位和検定を行うと，得点の平均値間に1%の水準で有意差が見られた（ $p < 0.01$ ）．次に，フィードバック方法の有効性を調査するために“メーター方式”と“ズーム方式”の間で検定を行うと，ここでも1%の水準で有意差が見られた（ $p < 0.01$ ）．ここから，定性的な観点からも脳波情報をフィードバックさせることに一定の有用性を確認でき，フィードバック方式としてはズーム方式の方が効果が高いと言える．

“メーター”と“ズーム”の間に上記のような差が生じた理由はいくつか考えられるが，やはりフィードバック方法の直感性に因る部分が大いと思われる．実際，“会話に集中できましたか？”という質問に対して“メーター”は“FB無し”よりも低得点となっており，被験者からも「メーターに気を取られて会話に集中できない」という声が多く聞かれた．逆に，“ズーム”は高得点となっており，被験者からも「表現方法が直感的」，「会話の妨げにならない」という意見が得られた．

また，空間の“ズームアップ・ズームアウト”という表現は“身を前に乗り出す・後ろに反らす”といった身体位置の移動を感じさせるものであるが，本システムのズーム表現は思考状態のみに基づいており，ユーザの身体位置は全く考慮していない．つまり，ユーザの身体位置が変化していないのに仮想空間中の視点だけは前後しているような表現法であり，この不整合が仮想空間への没入感を低下させてしまう状況を我々は危惧していた．しかし，“仮想空間の部屋に居るといった感覚が得られましたか？”という質問に対して“ズーム方式”は最も高得点となっており，次に点の高い“メーター方式”との間でWilcoxonの符号付順位和検定を行うと， $p < 0.01$ となり得点の平均値には1%の水準で有意差が見られた．この結果から，思考状態に基づくズーム方式は仮想空間への没入感を高める上で一

表 5.3: アンケート結果 (0-3 点の4段階回答, N=11)

質問		FB 無し	メーター	ズーム
会話に参加する意欲は保てましたか？	平均 (点)	1.73	2.27	2.73
	標準偏差	0.65	0.47	0.47
会話に集中できましたか？	平均 (点)	2.00	1.82	2.55
	標準偏差	0.77	0.75	0.69
仮想空間の部屋に居るとい う感覚が得られましたか？	平均 (点)	0.82	1.27	2.36
	標準偏差	0.60	0.65	0.50
メーターやズームは自分の頭の働 き具合を的確に表していると感じ ましたか？	平均 (点)	-	1.82	2.18
	標準偏差	-	0.75	0.40

定の効果があることが確認でき、バーチャル酔い等のマイナス要因も被験者へのヒアリングでは確認できなかった。

5.5 考察

ここでは、共有仮想空間を利用した遠隔コミュニケーションにおいて参加者の参加意欲を維持するために、自己の思考状態を各自の画面上にフィードバックさせる手法を提案した。フィードバック方法としては、より直感的で視認性の高いものを目指し、仮想空間全体をズームアップ・ズームアウトさせる Forward-backward モデルを考案した。

評価実験では、積極的な発案が求められるフリーディスカッションという一例においてではあるが、参加者の参加意欲を維持するためには各参加者自身の脳波情報を提示することが有効であると確認できた。

上記効果は、仮想空間全体をズームアップ・ズームアウトさせる Forward-backward モデルに基づくズーム方式を適用した際に最大となり、発話時間に関してはフィードバックが無い場合の 1.75 倍、メーターによるフィードバックがある場合の 1.25 倍の長さとなった。アンケートにおいても会話への参加意欲、会話への集中に関してズーム方式が最高得点となっている。

このモデルは実際のユーザの体は移動していないが視点だけが変化するという表現方法であったが、ユーザへのアンケートでは仮想空間の部屋に居る感覚もズーム方式が最も高いし、ユーザへのヒアリングでも明確な不快感等は聞かれなかった。ただし、夢中で考え事をしていたところにズームアップが発生して驚いてしまった被験者もわずかながらいたので、より考え事を妨げにくいようなフィードバック方法を検討する余地も残っている。

脳波情報と仮想空間中の動きを取り扱った関連研究としては、興味深い研究事例が Leeb

らによって報告されている [146]。彼らのシステムではユーザが歩行するイメージを強く頭に思い描くと、その時の脳波パターンをシステムが検知してユーザが閲覧している仮想空間中の景色が、まるでユーザが前進しているかのように移り変わっていくのである。本章で提案したシステムは各ユーザが固定された位置でコミュニケーションを行うものであるが、将来的に仮想空間中を動き回る機能が必要となった場合、Leebらのシステムは参考になる。ただし、提案システムはユーザが体を動かそうと意図していないのに視点が前後に変化するという仮想的な動きを提供しているため、Leebらのように意図したとおりに動作できる機能を単純に追加するとシステム全体のインタフェースの整合性が崩れ、ユーザが混乱する可能性もあるので慎重な検討が必要である。

また、ここでは参加意欲が低い状態を“退屈”等の頭が働いていない状態として扱ったが、現実のコミュニケーションではより複雑な状況も考えられる。例えば、コミュニケーションとは無関係のことに必死に頭を使っているためにコミュニケーションに対する参加意欲が低下するという可能性もあり、この場合には頭の働き具合だけでは参加意欲を判定できない。ただし、この問題もコミュニケーション中の発言頻度等の指標を併せて利用することで、例えば“頭は働いているがほとんど発言していないので参加意欲が低い”といったような判定ができる可能性がある。

第6章 参加者全体の思考状態推定に 基づくコミュニケーション支援

6.1 コミュニケーション記録における参加者全体の思考状態把握の重要性

コミュニケーションとは、送り手から受け手へと情報を伝達する過程であるが [140]、その過程を記録する必要がある場合が往々にしてある。例えば、コミュニケーションを記録しておいてその場に不在であった人にその内容・様子を伝達する機会は多いし、コミュニケーションの内容が資料的価値を持つものは議事録等の形態で記録して保存し、後日参照する行為は一般的である。しかし、コミュニケーションを行った時間が長ければ長いほどその記録も膨大な量となり、他者がその記録を閲覧しても内容を把握することが困難となり、記録物を有効活用することが難しい。

本章では、この障害が大きな問題となる典型例として、会議を撮影して動画として記録する場合に着目する。ただし、一言に会議と言ってもその目的、形態は様々である。そこで、6.1.1 項にて会議の定義について述べ、6.1.2 項にて本研究が対象とする会議および会議記録の利用方法について述べる。

6.1.1 会議とは

高橋によると会議は次のように定義されている [147]。

会議とは、3人以上の参加者が共通の場に集まり、情報の伝達や加工を行って問題の解決を図ることである。

本研究はこの定義に則るものとし、同氏による会議の機能別分類、参加人数別分類、および、会議参加者の役割分類について述べる（なお、高橋氏の定義以外にも様々な会議の定義があるが、これらに類するもの、あるいはこれらを細分化したものである場合が多い）。

まず、会議は機能別に次の4つに分類できる。

- 伝達会議
情報の伝達とその確認を目指す会議。主に、方針の周知や結果報告等が行われる。
- 創造会議
問題解決のための会議。様々な課題に対して問題点を分析したり、解決策を考えたりするために行う。会議は問題解決のために行うので、創造会議が最も大切な会議の形式である。
- 調整会議
組織全体の目標に対して各部門の行動が適切であるか、部門ごとに重複行動が無いかな等をチェックするもの。

- 決定会議
組織行動を決定するために意思決定をするためのもの。日本では議決をとるだけの儀式となっている場合も多い。

そして、会議を参加人数の観点から分類すると次のようになる。

- 小集団会議
3人以上10人以内の会議。企業における小グループ活動や製品開発会議等の創造会議に適した人数。決定会議もこの規模で行うとしっかりした討議ができる。
- 中集団会議
10人から30人程度の会議。伝達会議や調整会議でよくある人数規模。運営上の工夫が必要とされる。職場集会や各種委員会等がこれにあたる。
- 大集団会議
30人以上の大人数で行う会議。議長団と議事運営が事前にしっかり決まっているような会議。組合大会、社員総会、株主総会といった伝達会議が中心。

これらの会議の構成員は、一般に次のようになっている。

- 会議リーダー（司会者）
会議の司会役や調整役、まとめ役を行う会議の要となる人。
- 会議メンバ（参加者）
伝達会議では聞き役にまわることが多いが、他の会議では問題解決の主役となる。
- 会議事務局（書記等）
書記役が中心。人数が少ない場合は、会議リーダーが兼任というケースもあるが、8人以上の場合は書記係が必要であり、さらに人数が多い場合は連絡係、メディア操作係等も必要になる。
- 情報提供者（専門家等）
会議の課題についての情報提供をする人。参加メンバに加えられることもあれば、純粋に情報提供のみというケースもある。

ただし、同氏が述べているように、これらの定義・分類は厳密なものではなく、会議を行う組織の文化や状況に応じて変化するものである。例えば、創造会議と決定会議が入り混じったような会議が行われることがあるし、明確な会議リーダーが存在しない会議が行われることも少なくない。

6.1.2 本研究の対象

本研究では、会議の中で特に重要と位置付けられている創造会議 [147] を対象とする。具体的には、大学等の研究機関でよく見受けられる3~数名程度から成る研究グループが日常的に行う会議を想定する。この会議の特徴は次のようになる。

- 課題解決やアイデア創出のために行う。
- 議長・書記等の役割分担は曖昧で、参加者全員が対等に発言を行う。
- 例えば、企業の重要な経営会議等とは異なり、議事進行は事前に決まっておらず、厳格な議事録の作成も必要無い。

そして、本研究では、このような会議を撮影して動画として記録し、後で第三者がその動画を閲覧した時に会議中の重要なシーンを効率的に把握できるように、会議映像の中から重要シーンを抽出するという利用方法に着目する。

会議時間が数時間にも及ぶ場合、すべての時間帯において参加者達が真剣に議論し続けている可能性は低い。長時間に及ぶ会議の最中には、参加者達が気を緩め談笑している時間帯もあるだろうし、集中力が途切れて議論が散漫になっている時間帯もあると思われる。これらの時間帯は会議中においては行き詰った場を和ます潤滑油や頭の休息の役割を果たすかもしれないが、後日会議の内容を把握するために会議映像を参照する際には重要度が低い。逆に、こうした会議では参加者全員が共通の議題に対して課題解決・アイデア創出のために議論を交し合っているのだから、参加者全員の思考が活発なシーンのみを抽出して閲覧できれば、会議の重要なシーンを効率良く把握できると思われる。

6.2 既存手法の問題点

前章では会議を撮影して動画として記録する場面に焦点を当てたが、会議の記録方法としてはやはりテキスト議事録が多く用いられる。しかし実際に経験したことがあれば分かることだが、テキストで議事録をとるという行為は非常に労力を要する作業であり、場合によってはコミュニケーションに参加する以上に大変な場合もある。議事録をコミュニケーション参加者全員が共同執筆することで議事録作成者の負荷を軽減する研究事例もあるが [84, 85]、参加者がコミュニケーションへの参加以外の行為、つまりコミュニケーションの過程で発生した情報をテキストとして記録するという作業に労力を割かなければいけないという問題は依然として残る。それゆえ、前章で定義したような日常的に行われる会議を記録する際は、撮影・録音機器を利用して映像・音声記録として保存する方法が適していると本研究では考える。

次に、会議映像に対して、既存の映像編集方法を適用して重要シーンの検出や、ダイジェスト生成が行えるかどうか検討する。

まず、ニュース映像中に含まれるテロップを利用して各シーンをインデキシングし、重要シーンを決定する研究がある [62]。多くの場合、テロップは映像の内容を端的に表しているし、テロップの出現頻度が高いシーンほど重要である可能性が高い。また、テロップの属性（フォント、サイズ、表示位置）から映像編集者の意図を推定することもできるであろう。これらのことから、この手法は、ニュース番組のようにトピックごとに細かくテロップが付与されている映像には有効であると思われる。しかし、日常的に行われる会議を撮影した映像のすべてに人手をかけてテロップを埋め込む行為は、コストを考えると現実的ではない。よって、この手法を会議映像に適用することは困難である。

また、映像の色変化に基づいてシーン境界の検出やダイジェスト生成を行う研究もある [65, 66]。映像の色が大きく変わるショットはシーンの境界である可能性が高く、色の変化パターンを統計的に解析すれば重要シーンの検出を自動的に行える可能性がある。これらのことから、この手法は、映画やドラマなどのようにシーンの変化が十分に行われる映像には有効であると思われる。しかし、会議映像は多くの場合同じ会議室が映っているだけで、シーンが大きく変化する部分（つまり、映像の色が大きく変化する部分）があるとは考えにくい。よって、この手法を会議映像に適用することも困難である。

あるいは、映像中の状況を理解して各シーンの重要度を評価したり、映像を自動編集したりする研究もある [78, 79, 80]。これらの研究のように、“教師が板書している”であるとか“講演者が注意を喚起している”といった状況を理解することができれば、素材映像の中から重要なシーンだけを抽出できる可能性がある。これらのことから、この手法は“授業中の教師”や“机上作業を説明する講演者”等のようにある程度行動や発言のパターンが限られており、定型化しやすい状況においては非常に有効であると思われる。しかし、会議とは非常に高度な知的作業であり、会議中の行動や発言から内容を推定することは困難であると思われる。例えば、会議映像の中から“挙手する”や“発言する”といった行動を検出することは可能であるが、そのシーンや発言内容が重要かどうか自動判定することは困難である。“しかし”や“結論として”等の“重要と思われる発言”を検出することも可能であるが、この発言が本当に重要であるかどうか自動判定することは困難であろう。現在の言語認識の技術では、会議のような非常に高度な論理を含む会話内容を理解できるとは考えにくい。よって、この手法を会議映像に適用することは困難である。

このように、既存手法では会議映像から重要シーンを検出したり、ダイジェスト生成を行ったりすることは難しい。

6.3 思考状態と発話停止点を利用したコミュニケーションの動画ダイジェスト生成支援

前章で述べたように、ダイジェストを生成する際には、映像に含まれるシーン境界やカメラワークを抽出する手法が一般的である。しかし、日常的な会議等のコミュニケーションを記録した映像は固定カメラ1台で撮影しただけの平坦な映像である場合が多く、シー

ン変化やカメラワークが元々含まれていない場合が多い。カメラマンを用意するとしても、会議に関係無い人が立ち回り撮影していると議論に集中できないおそれがある。テロップを利用して各シーンの重要度評価を行う手法もあるが、会議等のコミュニケーションは日常的に頻繁に繰り返されるものであり、これを撮影する度に手間と時間をかけてテロップを埋め込むとは考え難い。

ここで、分析対象である会議映像について考えてみる。

課題解決やアイデア創出のために行っている会議とは、参加者全員が共通の議題に対して頭を働かせ、知恵を絞り、試行錯誤を行い、その過程で考えた内容を議論しあう行為である。この行為が行われている時間帯は会議は正しく機能しており、会議映像においても重要なシーンであると言える。

一方、会議には参加者が疲れて集中力が途切れ、意識が散漫になったり眠くなったりする時間帯もある。特に参加者が全体的にこのような状態になっている場合は会議が正しく機能しているとは言えず、この時間帯の会議映像は重要なシーンではない可能性が高い。

また、参加者達が真剣に物事を考えている場合であっても、誰も発言していない時間帯が会議中には存在する。実際に会議を行っている最中であればこの沈黙の時間帯も何らかの役割を果たしているかもしれないが、後日会議映像を第三者が参照する場合、この時間帯には何の言語情報も含まれていないために得られる情報が少ない。

以上の点を考慮すると、第三者が効率良く重要シーンを把握できるようにするためには、会議参加者全員が活発に思考を行っており、かつ、発言が行われているシーンを抽出すれば良いと思われる。

そこで、本章では思考状態および発話停止点を利用したコミュニケーションの動画ダイジェスト生成支援を提案する。これは3.2.2項で述べたMS-Levelを利用して参加者達の思考状態推定を行い、発話停止点（会議中に発話が途切れる瞬間）を利用して発言が行われているシーンを抽出するものである。以降、詳細を述べる。

6.3.1 参加者達の思考状態の導出

3.2.1.2項で述べたように、脳波は思考状態と関連が高い指標である上に、参加者達が意図的にコントロールしてしまうことは無いし、会議中のすべての時間帯において発生し続けている指標である。

そこで、会議中の参加者達の脳波測定を行い、3.2.2項に示す方法で参加者達の思考状態を表す指標MS-Levelを導出する。

なお、脳波の中で利用する周波数帯域は3.2.2.2項の検証実験で決定した12~28Hzを利用する。また、MS-Level導出時に利用する脳波データの過去サンプル数 N （3.2.2.1項参照）は6.6.1項の検証実験において決定する。

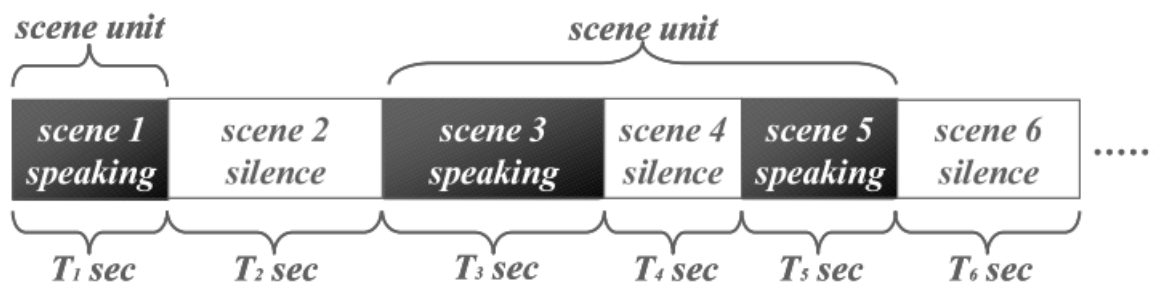


図 6.1: 単位映像への分割例

6.3.2 発話停止点を利用した映像分割

本手法では、発話停止点で映像分割を行う。具体的には、会議参加者が誰も発言していない時間帯（沈黙時間帯）が T sec を超えた場合は、発話が停止した（発話停止点）と判定して映像を分割する。分割後に残った各映像を“単位映像”と定義する。 T sec を超える長さを持つ沈黙時間帯はどの単位映像にも含まれることは無く、ダイジェスト映像の候補からも外れることになる。

例えば、図 6.1 において、scene 1, scene 3, scene 5 を発話時間帯、scene 2, scene 4, scene 6 を沈黙時間帯とし、 $T_4 < T < T_2, T_6$ の関係が成り立っている時、scene 2, scene 6 の沈黙時間は T sec を超えるので発話停止点と判定されて映像分割が行われ、scene 4 の沈黙時間は T sec を超えないので発話停止点と判定されないので分割は行われず、“scene 1”と“scene 3 + scene 4 + scene 5”の単位映像が定義されることになる。 T sec を超える長さを持つ沈黙時間帯（scene 2, scene 6）はどの単位映像にも含まれることは無く、ダイジェスト映像の候補からも外れることとなる。

このような方法で映像分割を行う理由は次のとおりである。

- カメラワークやテロップなどとは異なり、発話の有無はどんな会議映像からも必ず検出できる指標である。
- 発話の有無だけを評価するので、言語・性別・年齢に非依存である。
- 発話停止点で映像分割を行うので、誰かが発言している最中で映像が分割されることを防げる。
- 会議は論理的に高度なコミュニケーションであり、発言内容を言語認識やニューラルネットワークで解析すると処理が複雑になるばかりでなく、どうしても判定に不正確さが生じる。その点、あくまで発話の有無だけで映像分割を行うこの方法は処理が単純であるし、正確である。

- 実際の会議では沈黙していても視線や雰囲気を感じ合ったり、沈黙の駆け引きが行われたりするので、沈黙時間帯も無価値ではない。しかし、会議映像として後から参照した場合、これらのノンバーバル情報を映像から把握することは困難であるので、長い沈黙時間帯はダイジェストの候補から外しても問題が無いと言える。

6.3.3 ダイジェスト生成の方法

本手法では、MS-Level の平均値が閾値を超える単位映像を結合してダイジェストを生成する。MS-Level の平均値とは、各単位映像区間における参加者全員の MS-Level の平均値である。閾値は任意に設定可能であり、閾値が高くなるほど選択される単位映像が少なくなり、圧縮率の高いダイジェストが生成される。

また、この方法は単位映像の意味内容を直接的に評価していないので、コミュニケーションの冒頭・終了シーンがダイジェストに含まれない可能性がある。会議の例で言えば、冒頭シーンには“メンバーの紹介”や“議題の発表”，終了シーンには“内容のまとめ”や“結論”があり、会議の内容を把握するためには必須のシーンと言える。そこで、MS-Level の値に関わらず、コミュニケーションの冒頭・終了シーンは必ずダイジェストに含むようにした。

このようにして生成されたダイジェストは、思考状態という観点からコミュニケーション映像を振り返ることができるので参加者にとって有益である。例えば、“よく頭が働いていたシーン”など、通常の議事録やダイジェストからは見つけ出すことが難しいようなシーンを見つけて出すことが可能である。

6.4 プロトタイプの実装

6.4.1 会議の記録

コミュニケーション中の参加者の脳波は IBVA によって測定され、各時間帯における脳波情報が PC に無線で送信されて記録される。データ速度は約 0.87 samples/sec である。

コミュニケーション中の発言はマイクによって録音され、各時間帯における発話の有無が PC に送信されて記録される。精密な音声処理技術は本手法の対象外であるため、今回は簡易な発話検出システムの実装に留め、音声認識による発話者特定や厳密なノイズ除去などは行っていない。そのため、一部で正確に発話や沈黙が検出できない場面も生じたが、これはすべて手動で修正を行った。

コミュニケーション中の映像はカメラによって撮影され、MPEG 形式で PC に記録される。人手を掛けてカメラワークを行っても良いが、基本的にカメラはコミュニケーション参加者全員が映る位置に固定したまま撮影を行う。

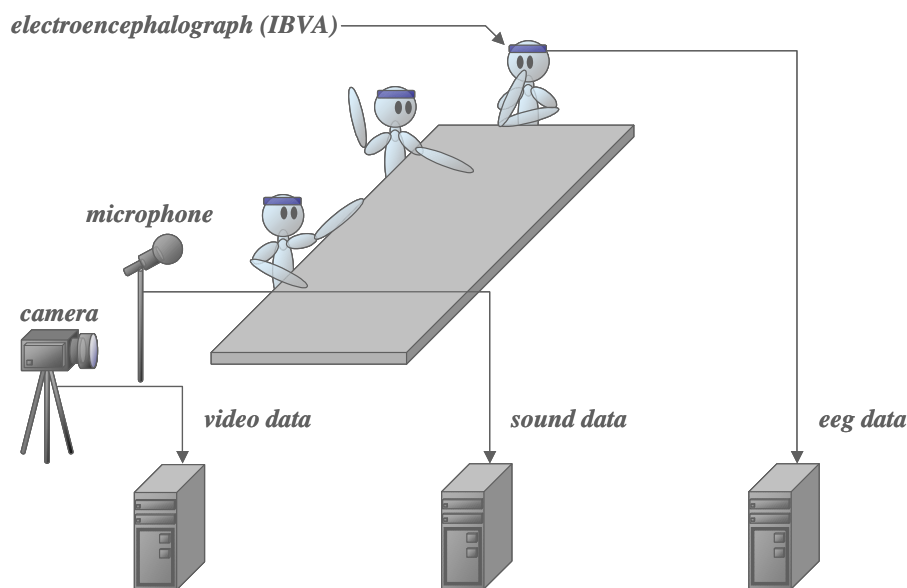


図 6.2: 会議記録システムの概要

6.4.2 ダイジェストの生成

ダイジェストの生成・閲覧手順は次のとおりである。

- (1) コミュニケーション映像を読み込む。
- (2) 沈黙時間帯の閾値を指定する。
- (3) MS-Level の閾値を指定する。
- (4) ダイジェストを再生する。

(1) では、映像データ全体を読み込む。ダイジェスト生成前の映像をすべて閲覧することも可能である。

(2) では、発話データを読み込んだ後、沈黙時間帯の閾値 T_{sec} を指定する。6.3.2 項で述べたように、この閾値を超える沈黙時間帯で映像が分割され、単位映像が定義される。

(3) では、各時間帯における全参加者の MS-Level の平均値を読み込んだ後、閾値を指定する。6.3.3 項で述べたように、区間中の MS-Level の平均値がこの閾値を超える単位映像が結合されて、ダイジェストが生成されることになる。

(4) では、図 6.3 に示すようなインターフェースを利用してダイジェストを再生する。A の部分で点灯している区間の 1 つ 1 つがダイジェストに採用された単位映像である。B の部分は映像の再生位置を示すシークバーであり、A が点灯している時間帯だけが再生される仕組みになっている。A が点灯していない時間帯はダイジェストに含まれておらず、シークバーが自動的にジャンプして映像は再生されない。(2) と (3) の手順を繰り返す。

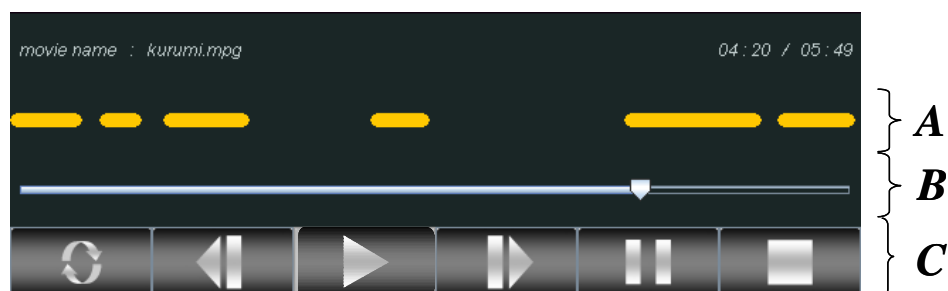


図 6.3: ダイジェスト閲覧コントローラ

て各閾値を変更する度にダイジェストに採用される区間が再計算され、その結果は A の部分に点灯する区間として表現される。また、C の部分で映像の再生・停止などを行う。

なお、コミュニケーション中の発話が少なくダイジェストが短すぎるような場合には、ダイジェスト閲覧者に“大して議論が行われなかった”という印象を与えかねない。しかし、ダイジェスト映像とダイジェスト閲覧インターフェースは常に同時に表示されているため、仮にダイジェスト映像が短すぎた場合でも、A が点灯していない部分が多いことを視認すれば“発話は少ないが何らかの議論があった可能性”に気付くことはできるし、A が点灯していない部分の様子を知りたいければ、簡単な操作でその時間帯の映像を閲覧することができる。あるいは、(2) の操作で“発話が無い”と判定される沈黙時間帯の閾値を大きくすることで、“沈黙”と判定される時間帯を減らせるので、沈黙が頻繁に起こるコミュニケーションでもダイジェスト生成の際に映像がむやみにカットされることを防げる。

6.5 評価実験 1

6.5.1 実験目的

前述のとおり、沈黙時間帯が T_{sec} を超えた場合は発話停止点と判定され、映像が分割されることになる。この閾値は任意に設定可能であるが、あまり小さすぎると発言中に含まれるわずかな無音時間帯で映像が分割されてしまい、視聴者に不自然な印象を与えてしまうおそれがある。

自然な映像分割を行うための沈黙時間帯の閾値 T_{sec} の最小値を決定することがこの実験の目的である。

6.5.2 実験内容

閾値の最小値を決定するために、どのくらい沈黙時間が続けば、場面を分割しても視聴者に不自然な印象を与えないか調査するためのタスクを被験者 18 人（21～27 歳の学生・会社員、男 16 人、女 2 人）に課した。具体的なタスクの内容は以下の通りである。

表 6.1: 自然な分割と感ずる沈黙時間帯閾値の最小値 (18人の平均値)

シーン番号	回答 (単位: sec)
1	1.78
2	1.94
3	1.83
全シーンの平均	1.85

- (1) 2文が連続して読み上げられるシーン (音声のみ) を3つ提示する。その際、音声ファイルを編集して2文の間隔を6パターン (0.500, 1.000, ..., 3.000sec) に変えて提示した。この時、被験者には映像を見せず、あくまで音声のみを提示する。これは、純粋に沈黙時間帯の間隔だけを評価するためである。なお、各シーンは過去に行われた実際の会議記録から抽出したものであり、すべて2文の間で話題転換が行われている。
- (2) 2文の間で話題転換があるという情報を与えた上で、被験者に“これ以上の沈黙間隔があればシーン分割しても良い”と思えるパターンを回答してもらう。

6.5.3 実験結果

3シーンすべてに対して回答を集計したところ、平均で 1.85 sec の沈黙時間があればシーンを分割しても不自然ではないという結果を得た (表 6.1)。

6.6 評価実験2

6.6.1 実験目的

この実験の目的は、MS-Level 導出時に使用する脳波データの最新サンプル数 N を決定することである。

6.6.2 実験内容

前述のとおり、 N はコミュニケーション映像のダイジェスト生成に適した値である必要がある。そこで今回は、ダイジェスト生成で最も重要な工程と言える“シーンの重要度

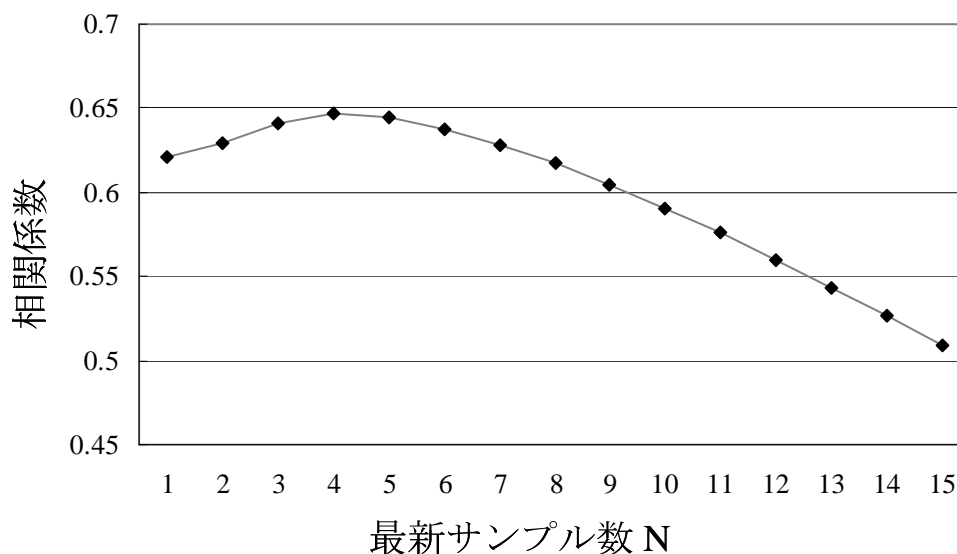


図 6.4: 正解判定と MS-Level 判定の相関係数

判定”において、正解判定と MS-Level 判定を比較し、両者が最も似通った結果になるような N を最適値と判定する。その際、正解判定は人手（被験者）で生成することにした。これまでに様々なダイジェスト生成方法が提案されているが、やはり、人間が手間と時間をかけて行った判定が“正解”に一番近いと言えるからである。

正解判定を生成するために、3人の実験者が10分間会議（議題は「ゆとり教育の問題点を解決するにはどうすれば良いか？」）を行う会議映像を用意し、1.85 sec（6.5.3項参照）以上沈黙が続く部分で著者が映像を分割した。この結果、10分の会議映像から30個の単位映像が定義され、各シーンの長さは平均約16.45 secとなった。そして、被験者17人（21～24歳の学生、男17人）に会議映像を見せ、各単位映像の重要度を0～3の4段階で判定してもらった。最後に、30個の単位映像それぞれに対して、被験者17人が判定した重要度の平均値を求め、これを正解判定とした。

また、それぞれの単位映像に対して、MS-Levelの平均値を利用して重要度（0～3）を導出し、これをMS-Level判定とした。なお、MS-Levelの平均値とは各単位映像中における会議参加者全員の平均であり、30個の単位映像の中でMS-Levelの平均値が最大のもは“重要度3”、最低のものは“重要度0”のように判定した。

6.6.3 実験結果

N の値を1～15まで変化させたところ、図6.4のように $N = 4$ の時に正解判定とMS-Level判定の相関係数が最大になった。なお、4サンプルの脳波データは約3.5 sec分に相当する。

6.7 評価実験3

6.7.1 実験目的

この実験の目的は、本提案で生成したダイジェストの有用性を評価することである。

6.7.2 実験内容

評価の方法として、ここまでで導出したパラメータを利用して生成した MS-Level 判定が、被験者が 6.6 節と同様の方法で生成した正解判定にどれだけ近いかが調査した。会議映像は 6.6.2 項で使用したものと同形式であるが内容が異なるもの（議題は「今年の冬はどこに旅行に行くべきか？」）を使用し、これは 32 個の単位映像（平均約 16.37 sec）に分割されている。また、予備実験と同様、極力多くの被験者を集めるという方針で実験を行い、結果的に正解判定の生成を依頼した被験者は 25 人（21～48 歳の学生・研究員，男 22 人，女 3 人）であった。

さらに、MS-Level 以外の異なる判定方法との比較が必要と判断したため、MS-Level 判定の代替手法として発話密度判定も行った。これは、会議中に参加者達が発話していた時間帯を抽出・インデックス化し、録音した音声を後から参照しやすくするシステム [60, 61] で用いられている手法である。本実験では、単位映像長に対する発話時間の割合を発話密度と定義して、発話密度が最大のものは“重要度 3”，最低のものは“重要度 0”というように判定を行う。複数の会議参加者が同時に発話している時は、発話している人数に比例して密度が高くなる。なお、発話密度で判定を行う単位映像は MS-Level で判定したものと全く同じである。この方法を比較対象として選んだ理由は、発話密度判定が最も合理的かつ一般的な手法と思われるからである。つまり、会議中において“発言数が多いシーン”や“同時発話が多く起こるシーン”を議論が活発になっているシーンと捉えることは合理的であるし、発話情報はカメラワークなどと違いどんな会議映像にも含まれているので、一般的な会議映像に広く利用することができる。今回は発話量の集計を厳密に手動で行ったため、発話検出のミスは無い。

なお、本実験で利用した会議映像を解析したところ、3 人のメンバの MS-Level が最大値の 50 % を超えている時間帯の割合はそれぞれ 32.6 %，35.0 %，35.5 % で、発話している時間帯の割合は 42.2 %，9.1 %，27.7 %，発話数（相槌などを除いた一連の発話の数。発話が途切れなくても、明らかに話題転換が行われていれば 2 つの発話として数えた。）は 42 回，9 回，13 回となった。また、全員の MS-Level の平均値が最大値の 50 % を超えていた時間帯は 26.4 %，誰か 1 人でも発話していた時間帯は 68.9 %，複数の人が同時に発話していた時間帯は 9.6 % であった。

同形式の会議を別途 4 回行い、同様に解析して平均値を求めたところ、3 人のメンバの MS-Level が最大値の 50 % を超えている時間帯はそれぞれ 34.2 %，32.0 %，29.8 % で、発話している時間帯は 50.3 %，12.7 %，24.5 %，発話数は 39.2 回，13.2 回，11.9 回であり、

全員の MS-Level の平均値が最大値の 50 % を超えていた時間帯は 28.1 % , 誰か 1 人でも発話していた時間帯は 71.9 % , 複数の人が同時に発話していた時間帯は 11.9 % であった . この結果は本実験で用いた会議映像と大きな差が無いいため , 本実験で利用した会議映像が特別に偏った特徴を持つものではないことが分かる .

6.7.3 実験結果

実験の結果 , 各方法による判定結果の相関分布は図 6.5 (図中の直線は近似曲線) のようになり , 正解判定と MS-Level 判定の相関係数は 0.558 , 正解判定と発話密度判定の相関係数は 0.387 となった . つまり , 発話密度判定よりも , MS-Level 判定の方が正解判定と似通っていることが分かる .

実際に , 32 個の単位映像のうち重要度が上位の 10 個を抽出・連結したダイジェストで検証したところ , 正解判定と MS-Level 判定では 81.3 % (26/32 個) , 正解判定と発話密度判定では 56.3 % (18/32 個) の単位映像でダイジェストへの採用・不採用の判定が一致した . この結果からも , MS-Level 判定の方が正解判定に似通っていることが改めて確認できる .

このような結果になった理由は , MS-Level の方が発話密度よりも , 会議の各シーンの重要度と密接な関係があるからと思われる . 実際 , 正解判定を行った被験者に対してヒアリングを行ったところ , 発話密度が低くても MS-Level が高いシーンは「発言数は多くないが有意義な会話をしている」と判定し , 発話密度が高くても MS-Level が低いシーンは「発言数は多いが無駄話である」と判定しているケースが多いことが分かった .

また , MS-Level 判定の精度を下げている要因を調査したところ , “MS-Level は高いがほとんど発言が無いシーン” を重要度が高いと判定していることが主な原因であった . ダイジェスト生成を目的とした場合 , 発話がほとんど無いシーンは情報量が少ないので重要度は低いと言えるし , 被験者の多くもそのような判定を行った . つまり , ダイジェストにこのようなシーンが含まれていると , 視聴者は違和感を覚える可能性がある . このような場合 , 視聴者は簡単な操作で “発話が無い” と判定される沈黙時間帯の閾値を小さくでき , 発言数が少ないシーンをダイジェストから外すことが可能である . また , この問題を根本的に解決するためには , MS-Level 単独でシーンの重要度判定を行うのではなく , “MS-Level が高くても発話密度が低ければ重要度は低い” といったように , MS-Level と発話密度を連携させて判定を行うべきであり , これは今後の検討課題である .

6.8 考察

ここでは , 会議のような参加者全員の協同作業で成立しているコミュニケーションの記録を効率的に活用するために , 参加者全員の思考状態および発話停止点を利用した会議の動画ダイジェスト自動生成を提案した . 思考状態は脳波情報を利用して導出した MS-Level で数値化した . ダイジェストを生成する際には , 発話停止点を利用して素材映像から単

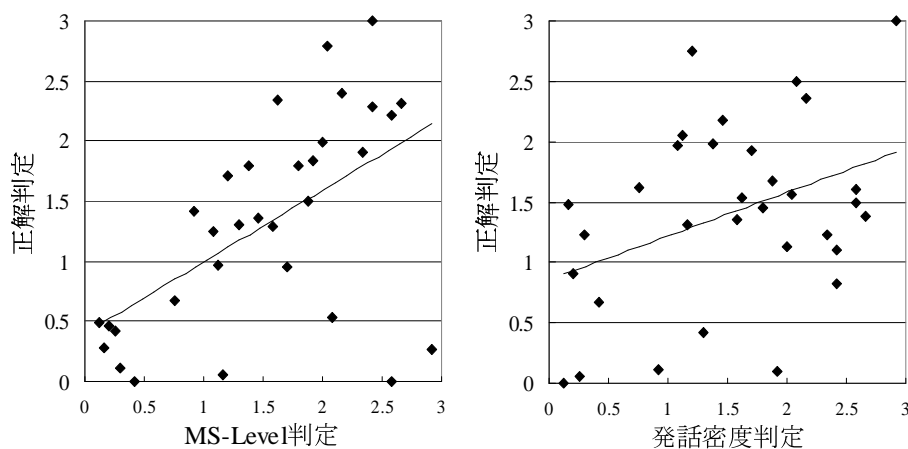


図 6.5: 各方法による判定結果の相関分布

位映像への分割を行い、単位映像の中から MS-Level が高いものを抽出・連結する手法を採った。

評価実験では、従来手法に基づく比較システムより高い精度で、人手で作成したものに近いダイジェストを自動生成できた。特に、提案手法を利用して 32 シーンからなる会議映像を 10 シーンに要約するケースでは、“このシーンをダイジェストに採用するかどうか” という判定が人間による判定と 26 シーンで一致した。それに対して、比較システムで同様の実験を行った場合には 18 シーンの一致に留まった。よって、我々の提案方式は会議映像のダイジェスト生成に有用であったと言える。

ただし、6.7.3 項で述べたように、正解判定と MS-Level 判定の相関係数が 0.558 となっており、ダイジェスト生成の支援用途としてはある程度有用と思われるが、自動生成用途であれば改善の余地は残っていると見える。更なる精度向上のためには、単位映像の重要度判定にも発話情報を利用する等、脳波と発話情報の連携も視野に入れると良いかもしれない。

関連研究としては、脳波情報を利用して映像の重要シーンを検出する手法がいくつか提案されている。

東京大学では、脳波情報を利用した個人体験映像のシーン評価を行っている [129, 130]。彼らの手法では、ユーザはウェアラブルカメラを着用して日常生活を送り個人体験映像を蓄積する。そして、映像と同時記録した脳波情報を利用することで、ユーザが興味を抱いていた時間帯の映像を発見している。日常生活の中には様々な種類の出来事があるため、脳波という指標だけで様々なシーンのユーザ興味をどのように判定するのかという課題は残っていると思われるが（その点、本章においては会議という行為に限定し、脳波情報によるシーン評価の精度を高く保つことに重点を置いている）、日々の生活そのものを脳波情報でインデキシングしようとする彼らの試みは興味深い。

対象はコミュニケーションではなくスポーツであるが、参加者ではなく撮影者や視聴者の脳波情報を利用してシーンの重要度評価を行う研究も行われている [131, 132]。本章の提案手法は会議記録に関するものであったため、参加者達の脳波情報を利用しているが、映像内容がスポーツ等のエンターテインメント性が高いものであれば視聴者側の思考状態の方が重視されるべきなのかもしれない。この点で彼らのアプローチは興味深い。

また、本研究では少人数の参加者が対等な立場で議論を交し合う会議を想定したため、参加者全員の MS-Level の平均値を利用するというアプローチを採った。しかし、大規模会議（6.1.1 項参照）のように大人数で会議を行う場合は、全参加者の MS-Level の平均値を利用する方法は不向きであると思われる。なぜなら、参加者が多ければ多いほど全参加者が同時に頭を働かせている、あるいは働かせていないという時間帯は存在しにくく、全参加者の MS-Level の平均値はどの時間帯においてもさほど差が無く平坦なものになると思われるからである。このような会議ではむしろ、議長等の役割が決まっていたり、議論に参加する人が明示的、あるいは暗黙的に決まっていたりする場合はほとんどである。そこで、このような会議を記録する際には、会議中に重要な役割を果たしている参加者の MS-Level のみを利用する、あるいは会議への貢献度に基づいて MS-Level に重み付けをした上で利用する等の対策が必要になると思われる。

第7章 結論

人がコミュニケーションを行う目的は様々である。困難な課題に対して協同して取り組むために行うコミュニケーションもあれば、気の合う仲間との談笑のようにコミュニケーションそのものを楽しむものもある。指導や支配もコミュニケーションの一種である。この中で、本研究では、協同して問題を解決するためのコミュニケーションや、情報・知識を相手に伝達するためのコミュニケーションを研究の対象とした。

これらのコミュニケーションでは思考することに重きが置かれているが、自身や相手の思考状態を把握することは困難であるため、コミュニケーションの円滑な進行や、記録の効率的な活用ができないという問題があった。そこで、本研究では、思考状態推定を行うことによってこの問題の解決を目指した。

思考状態を推定するために本研究で着目したのは脳波である。脳波は思考を行う器官そのものである脳から発生しており、思考と脳波の相関は医学領域においても認知されている。また、表情や声色等とは違い、脳波はコミュニケーションを行っている最中に意図的に操作されることは滅多に無いし、すべての時間帯において出現し続けている。つまり、脳波とは、コミュニケーション中の思考状態を推測するための指標として非常に適していると言える。

ただし、脳波と思考に相関関係があると言っても、問題解決のため論理的に思考を行う際に脳波がどのような挙動を示すのか確立された知見は無かった。そこで本研究では、60人の被験者に対して実験を行い、論理思考を行っている際に特定周波数帯域の脳波強度が増すことを突き止めた。そして、この帯域の脳波情報を用いて思考状態を推測し、MS-Level(Mental-State Level)としてスコア化するためのアルゴリズムを構築した。

さらに、思考状態の推定結果をどのように提示すればコミュニケーション支援の効果が高まるか検証を行うため、相手の思考状態推定が必要な状況、自己の思考状態推定が必要な状況、参加者全体の思考状態推定が必要な状況のそれぞれに対して適切な MS-Level の提示方法を検討してシステム構築を行い、効果の測定を行った。

相手の思考状態推定が必要な状況としては、教育現場における教師や作業現場における監督者等の指導者が、対面環境にいる被指導者に対して指導を行うというコミュニケーションを想定した。教育現場における教師や、作業現場における監督者等の指導者は、被指導者の様子や反応、特に“どの程度頭を働かせているか”ということに気を配りながら指導を行うのが一般的である。そこで本研究では、思考状態を的確に表す指標としては MS-Level が適切であると考え、被指導者の思考状態を表す指標として MS-Level を用いることを提案した。また、指導者が被指導者の思考状態を把握しながら指導することを支援するという目的上、思考状態を把握する作業が指導作業そのものを妨害してはいけないと考え、本研究では HMD を利用して思考状態情報を被指導者に重畳表示させるというアプローチを採った。評価実験においては、MS-Level が思考状態を的確に表していること、重畳表示が情報を素早く正確に把握するために適していることを確認した。

自己の思考状態推定が必要な状況としては、共有仮想空間を利用したリアルタイム遠

隔コミュニケーションを想定した．遠隔環境ではコミュニケーション相手と対面しておらず，互いの雰囲気等も伝わりづらいので，「少々気を抜いてコミュニケーションを行っても相手に気付かれないだろう」といったような気の緩みが生じやすい．このような“参加者の無意識的な参加意欲低下”が起こると，意欲が低下した本人のみならず参加者全体のモチベーションが低下してコミュニケーションが円滑に進まなくなるおそれがある．そこで本研究では，各参加者が見ている共有仮想空間に，各自の思考状態をフィードバックさせる手法を採った．フィードバックさせる方法としては，共有仮想空間全体を思考状態に応じてズームアップ・ズームアウトさせるという Forward-backward モデルを考案した．評価実験においては，自己の思考状態を把握することがコミュニケーションへの参加意欲持続に効果があり，Forward-backward モデルがコミュニケーションの進行を阻害しない妥当な手法であることを確認した．

参加者全体の思考状態推定が必要な状況としては，会議のような参加者全員の協同作業で成立しているコミュニケーションの記録を効率的に活用する場合を想定した．全員で目的を共有して議論を行うコミュニケーションの場合，自身・相手を含めた全員の思考の状態が重要な指標であると考えられる．例えば，会議を動画として記録しておいて後から参照する場合，全員が頭を働かせているシーンだけを抽出して閲覧できれば閲覧作業を効率化することができる．そこで本研究では，コミュニケーションを記録した動画の各シーンに参加者全員の MS-Level のインデックスを付与し，全員が活発に思考を行っているシーンを抽出するシステムを構築した．システム構築の際には，実際に人手で動画からシーンの抽出を行い，その抽出結果に基づいてシステムのアルゴリズムを決定した．評価実験においては，参加者全員の思考状態が高まっているシーンを抽出することで，既存手法よりも高い精度にて会議中の重要シーンが抽出できることを確認した．

このように，参加者の思考状態を推定することで，コミュニケーションの進行を円滑にし，記録を効率的に利用するための手法を提案した．この研究が，人々のコミュニケーションをより一層豊かなものにし，文化の発展に僅かでも寄与するところがあれば幸いである．

謝辭

本研究は非常に多くの方々のご支援のもと行われました。

まず第一に、本研究の主査であり、学部時代から合わせて5年もの間ご指導賜りました岡田謙一教授に感謝を申し上げます。私に研究の取り組み方、難しさ、そして面白さを常に教え続けてくださった先生のおかげで、研究を職業としている現在の私があります。まだまだ未熟者でございますが、先生のような偉大な研究者を目指して日々励んで参りたいと思います。

博士課程において副査を務めてくださいました山本喜一教授に感謝を申し上げます。年末のご多忙時にも関わらず、研究の本質から論文の体裁に至るまで非常に丁寧にご指導いただきありがとうございます。

同じく副査を務めてくださいました萩原将文教授に感謝を申し上げます。ご自身も脳波の研究に携わっていらっしゃる、非常に的確かつ実践的なご指摘・アドバイスをいただけたことを幸いに思っております。

そして副査であり、研究室においても大変お世話になりました重野寛准教授に感謝を申し上げます。論文の書き方から研究者としての心構えに至るまで、重野先生から教わったことは数え切れません。

在職博士課程への進学に理解を示していただき、多大なご助言をいただきましたNTTサイバーソリューション研究所の奥雅博さん、奥田英範さん、加藤泰久さんに感謝を申し上げます。業務と学業の両立に取り組む私を温かく見守ってくださったことに感謝をしております。

同研究所で活躍なさっており、岡田研究室の大先輩でもある小林稔さんにも感謝を申し上げます。研究に関するだけでなく、進学、就職と様々な場面でご相談に乗っていただけたことに大変感謝をしております。そして、尊敬する小林さんから2メートル離れたところで仕事ができる今の環境を幸運に思っております。

本研究にMixed Realityを取り入れる機会をくださった坂内祐一さんに感謝を申し上げます。長年企業でご活躍なさっている研究者としてだけでなく、人生の先輩としても数多くのことを教えてくださりありがとうございました。

研究室時代から現在に至るまで、先輩研究者としてご指導いただいている井上亮文さんに感謝を申し上げます。亮文さんは研究者として、そして人として正しい行動を身を以って示してくださる人です。

同じく先輩研究者である江木啓訓さんに感謝を申し上げます。江木さんはとても明るく気さくな方で、いつも何かにつけて私のことを気にかけてくださる優しい人です。

私が研究室に入るきっかけをくださった人であり、在職博士課程に進むきっかけをくださった人でもある福井健太郎さんに感謝を申し上げます。CSC班の先輩としていつでも親身に助言をくださるだけでなく、ご自身で次々と高い壁を乗り越えて見せてくださいました。いつも厳しい環境に身を置いていたい私の性分は、間違いなく福井さん譲りです。

福井さんと出会っていなければ今の私は無いでしょう。

福井さんと同じく、CSC 班の先輩である本田研作さんに感謝を申し上げます。研究室に入りたてで戸惑うことが多いとき、卒業論文の評価実験で苦しむとき、研作さんが親身に支えてくださったことを覚えています。

CSC 班の後輩である宮狭和大君、林剛史君、山本翔太君、林雅樹君、宮下広夢君に感謝をしています。博士論文執筆時にこれまでの研究成果をまとめてみると、みなさんの協力が無ければここまで辿り着けなかったことを痛感しました。

宮狭君のおかげで Mixed Reality の大掛かりなシステムを利用することができました。突然あのような複雑なシステムに取り組むことになったにも関わらず、それを見事克服してみせた彼の努力家ぶりには頭が下がる思いです。

林剛史君のおかげで脳波に関する大規模検証を行うことができました。60 人もの被験者を相手に笑顔で評価実験を完遂した彼の業績は、今なお CSC 班の宝です。

山本君のおかげで最後の論文誌採録の決め手となった評価実験をとり行うことができました。また、彼は自身の修士論文で多忙であるにも関わらず、私の博士論文作成のためにいつでも快く労力を割いてくれました。

林雅樹君、宮下君も私の博士論文作成、公聴会のために協力してくれました。研究に対する彼らの真摯な態度は、いつも私を刺激してくれました。これから苦しい場面も少なくないでしょうが頑張ってください。

先輩であり、友人でもある上田真太郎君に感謝を申し上げます。上田君は研究に、そして人生に実直な人です。彼の生き方は、この先もきっと私のお手本となり続けるでしょう。

結局、中学時代から博士課程に至るまでの縁となってしまった川口信隆君にも感謝をしています。ここまで長い付き合いになるとは思ってもみませんでした。またどこかで一緒になるような気がします。その時はよろしく。

門脇亜美さん、石堂遼子さん、渡辺晃一郎君、杉山阿葵さんに感謝を申し上げます。在職ドクターになると研究室に見知らぬ顔が増えて寂しくなるのですが、研究室を訪れたときや同じ研究会に参加したとき、みなさんが親しくしてくださりととても楽しかったです。

会社の同僚であり、研究者としての先輩である中茂睦裕さんにも感謝を申し上げます。まだ面識が無い頃から彼の研究成果に私は魅力を感じており、幾度と無く参考にさせていただいておりました。今なお斬新な研究を続ける彼は良き同僚であり、私の研究心を刺激し続けてくれる存在です。研究者としての実力だけでなく、その朗らかな性格や卓越したうどん打ちの腕前もまた彼の魅力です。

色々迷惑をかけましたが、それでも支え続けてくれた宮地玲奈さんに感謝をしています。少しずつ、返していきたいと思います。

この研究を，そして私自身を支えてくださった方は数え切れません．適切なアドバイスをくださり研究をより良い方向に導いて下さった方々，本研究の評価実験に参加して下さった方々，貴重な学生時代を共に過ごした友人達，そして家族に感謝の意を表します．

2008年2月
宮田 章裕

参考文献

- [1] D. Giannitrapani. The role of 13-hz activity in mentation. *The EEG of Mental Activities*, pp. 149–152, 1988.
- [2] D. Giannitrapani and J. Collins. Eeg differentiation between alzheimer’s and non-alzheimer’s dementias. *The EEG of Mental Activities*, pp. 26–41, 1988.
- [3] H. W. Rasey, J. F. Lubar, A. McIntyre, A. C. Zoffuto, and P. L. Abbott. Eeg biofeedback for the enhancement of attentional processing in normal college students. *Journal of Neurotherapy*, Vol. 1, No. 3, pp. 15–21, 1998.
- [4] 宮田洋. 現代心理学シリーズ2 脳と心. 培風館, 1996.
- [5] 八木昭宏. 現代心理学シリーズ6 知覚と認知. 培風館, 1996.
- [6] 原岡一馬. 人間とコミュニケーション. ナカニシヤ出版, 1990.
- [7] Charles Horton Cooley. *Social Organization: A Study of Larger Mind*. Charles Scribner’s Sons, 1909.
- [8] Wilbur Schramm. How communication works. In *The Processes and Effects of Mass Communication*, pp. 3–26, 1954.
- [9] 深田博己. インターパーソナルコミュニケーション. 北大路書房, 1999.
- [10] Frank E. X. Dance and Carl E. Larson. *The functions of human communication : a theoretical approach*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1976.
- [11] 橋本満弘, 石井敏. コミュニケーション基本図書 第1巻 コミュニケーション論入門. 桐原書店, 1993.
- [12] Julia T. Wood. *Human communication : a symbolic interactionist perspective*. Holt, Rinehart, and Winston, 1982.
- [13] 深田博己. インターパーソナル・コミュニケーション-対人コミュニケーションの心理学-. 北大路書房, 1995.
- [14] 松下温, 岡田謙一. コラボレーションとコミュニケーション. 共立出版, 1995.

- [15] Virginia P. Richmond and James C. McCroskey. *Nonverbal Behavior in Interpersonal Relations*. Allyn & Bacon, 2003.
- [16] 立川敬二. コミュニケーションの構造. NTT 出版株式会社, 1993.
- [17] Miles L. Patterson. *Nonverbal Behavior, A Functional Perspective*. Springer-Verlag, 1983.
- [18] Ray L. Birdwhistell. *Kinesics and Context: Essays on Body Motion Communication*. Univ of Pennsylvania Press, 1970.
- [19] 岡田謙一, 西田正吾, 葛岡英明, 仲谷美江, 塩澤秀和. ヒューマンコンピュータインタラクション. オーム社, 2002.
- [20] Marjorie F. Vargas. *LOUDER THAN WORDS -An Introduction to Nonverbal Communication-*. Iowa Sate University Press, 1987.
- [21] Albert Mehrabian. *Silent messages*. Wadsworth Publishing Company, 1971.
- [22] Edward T. Hall. *The Hidden Dimension*. Doubleday and Co., 1966.
- [23] 田多英興, 山田富美雄, 福田恭介. まばたきの心理学. 北大路書房, 1991.
- [24] Hideoki Tada. Eyeblink rates as a function of the interest value of video stimuli. In *Tohoku Psychologica Folia*, Vol. 45.
- [25] 津田兼六, 鈴木直人. 主観的興味が瞬目率と体動の生起頻度に及ぼす影響. 生理心理学と精神生理学, 第8巻.
- [26] 宮脇一男. 生体情報処理. コロナ社, 1966.
- [27] 内藪耕二. 生体の電気現象 [1]. コロナ社, 1967.
- [28] 福田忠彦. 生体情報システム論. 産業図書, 1995.
- [29] 小林幸夫, 武者利光. 生体情報工学. 森北出版, 2000.
- [30] 生体情報の可視化技術編集委員会. 生体情報の可視化技術. コロナ社, 1997.
- [31] 大西昇. 生体情報処理. 昭晃堂, 2001.
- [32] 星宮望. 生体情報計測. 森北出版, 1997.
- [33] 加藤象次郎, 大久保堯夫. 初学者のための生体機能の測り方. 日本出版サービス, 1999.

- [34] 小杉幸夫, 武者利光. 電子情報通信工学シリーズ 生体情報工学. 森北出版株式会社, 2000.
- [35] T. Musha, Y. Terasaki, H. Haque, and G. Ivanitsky. Feature extraction from eeg associated with emotions. In *Artif Life Robotics*, pp. 15–19, 1 1997.
- [36] 入野宏, 堀忠雄. 心理学研究における事象関連電位 (ERP) の利用. 広島大学総合科学部紀要 IV 理系編, Vol. 26, pp. 15–32, 2000.
- [37] 清水健太郎, 秋元波留夫, 時実利彦, 藤森聞一. 脳波入門. 南山堂, 1962.
- [38] 佐藤謙助, 平井富雄, 山岡淳. 誘発電位の基礎と臨床. 新樹会, 1990.
- [39] <http://www.nihonkohden.co.jp/> (2007年8月24日現在).
- [40] 末永和栄, 岡田保紀. 最新脳波標準テキスト (改訂2版). メディカルシステム研修所, 2004.
- [41] <http://www.ibva.com/> (2007年8月24日現在).
- [42] 柴崎浩, 米倉義晴. ブレインサイエンス・シリーズ (12) 脳のイメージング 脳のはたらきはどこまで画像化できるか. 共立出版, 1994.
- [43] S. Homma, Y. Nakajima, T. Musya, Y. Okamoto, K. E. Hagbarth, S. Blom, and R. Flink. Generator mechanisms of epileptic potentials analyzed by dipole tracing method. *Neuroscience Letters*, Vol. 113, No. 2, pp. 181–186, 1990.
- [44] B. He, T. Musha, Y. Okamoto, S. Homma, Y. Nakajima, and T. Sato. Electric dipole tracing in the brain by means of the boundary element method and its accuracy. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 34, No. 6, pp. 406–414, 1987.
- [45] John C. Tang and Monica Rua. Montage: Providing teleproximity for distributed groups. In *Proceedings of the Conference on Computer Human Interaction (CHI)'94*, pp. 37–43, 4 1994.
- [46] Bill Buxton. Telepresence: Integrating shared task and personal spaces. In *In Proceedings of The Potential of Team and Organizational Computing (Groupware '91)*, pp. 27–36, 10 1991.
- [47] Holger Regenbrecht, Claudia Ott, Michael Wagner, Tim Lum, Petra Kohler, Wilhelm Wilke, and Erich Mueller. An augmented virtuality approach to 3d videoconferencing. In *Proceedings of the The 2nd IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2003)*, pp. 290–291, 2003.

- [48] Ken-Ichi Okada, Fumihiko Maeda, Yusuke Ichikawaa, and Yutaka Matsushita. Multiparty videoconferencing at virtual social distance: Majic design. In *CSCW '94: Proceedings of the 1994 ACM conference on Computer supported cooperative work*, pp. 385–393, 1994.
- [49] 渡辺富夫, 大久保雅史. 身体的コミュニケーション解析のためのバーチャルコミュニケーションシステム. *情報処理学会論文誌*, Vol. 40, No. 2, pp. 670–676, 2 1999.
- [50] <http://www.i-robot.co.jp/>(2007年8月3日現在).
- [51] 新徳健, 渡辺富夫. 3者間インタラクション支援および合成的解析のための身体的バーチャルコミュニケーションシステム. *情報処理学会論文誌*, Vol. 45, No. 4, pp. 1212–1221, 4 2004.
- [52] 石井裕, 渡辺富夫. Virtualactor を対面合成した身体的ビデオコミュニケーションシステム. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 5, No. 2, pp. 225–234, 5 2003.
- [53] Tomio Watanabe, Masashi Okubo, Mutsuhiro Nakashige, and Ryusei Danbara. Interactor: Speech-driven embodied interactive actor. In *International Journal of Human-Computer Interaction*, pp. 43–60, 3 2004.
- [54] 大崎浩司, 渡辺富夫, 山本倫也. Interactor に手指動作入力を併用した身体的インタラクションシステムの開発. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 7, No. 3, pp. 89–98, 2005.
- [55] 中茂睦裕, 中山彰, 小林稔. テーブルトップへの画像刺激による遠隔コミュニケーションの分析. *ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006 論文集 2*, pp. 695–700, 2006.
- [56] 松田晃一, 三宅貴浩. パーソナルエージェント指向仮想社会 paw (第2版) の構築と評価. *情報処理学会論文誌*, Vol. 41, No. 10, 2000.
- [57] P. Chiu, A. Kapuskar, S. Reitmeier, and L. Wilcox. Room with a rear view: Meeting capture in a multimedia conference room. *IEEE MultiMedia*, Vol. 7, No. 4, pp. 48–54, 2000.
- [58] R. Yong, A. Gupta, and J. Cadiz. Viewing meetings captured by an omni-directional camera. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 450–457, 2001.
- [59] A. Waibel, M. Bett, M. Finke, and R. Stiefelhagen. Meeting browser: Tracking and summarizing meetings. In *Proceedings of the Broadcast News Transcription and Understanding Workshop*, pp. 281–286, 2 1998.

- [60] D. Hindus, C. Schmandt, and C. Horner. Capturing, structuring, and representing ubiquitous audio. *ACM Transactions on Information Systems*, Vol. 11, No. 4, pp. 376–400, 2 1993.
- [61] D. Hindus and C. Schmandt. Ubiquitous audio: Capturing spontaneous collaboration. *Proceedings of ACM CSCW '92 Conference*, pp. 210–217, 11 1992.
- [62] M. Smith and T. Kanade. Video skimming and characterization through the combination of image and language understanding. In *Proceedings of IEEE International Workshop on Content-Based Access of Image and Video Databases (CAIVD '98)*, pp. 61–70, 1 1998.
- [63] H. Kuwano, Y. Taniguchi, H. Arai, M. Mori, S. Kurakake, and H. Kojima. Telop-on-demand: video structuring and retrieval based on text recognition. In *IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME 2000)*, pp. 759–762, 8 2000.
- [64] 谷口行信, 南憲一, 佐藤隆, 桑野秀豪, 児島治彦, 外村佳伸. Scenecabinet: 映像解析技術を統合した映像インデクシングシステム. *電子情報通信学会論文誌*, No. 6, pp. 1112–1121, 6 2001.
- [65] D. DeMenthon, V. Kobla, and D. Doermann. Video summarization by curve simplification. In *Proceedings of the Sixth ACM International Conference on Multimedia*, pp. 211–218, 9 1998.
- [66] 本多光一郎, 藤村憲市, 上原邦昭. 色情報, 発話情報を用いたビデオの自動要約手法. *情報処理学会論文誌*, Vol. 43, No. 10, pp. 3199–3208, 10 2002.
- [67] 鈴木賢一郎, 中嶋正臣, 坂野鋭, 三部靖夫, 大塚作一. 動き方向ヒストグラム特徴を用いた映像データからのカット点検出法. *電子情報通信学会論文誌*, No. 4, pp. 468–478, 4 2003.
- [68] D. Arijon. *Grammar of the Film Language*. Focal Press, 1976.
- [69] 天野美紀, 上原邦昭, 熊野雅仁, 有木康雄, 下條真司, 春藤憲司, 塚田清志. 映像文法に基づく映像編集支援システム. *情報処理学会論文誌*, Vol. 44, No. 03, pp. 915–924, 3 2003.
- [70] M. Kumano, Y. Arika, M. Amano, and K. Uehara. Video editing support system based on video grammar and content analysis. In *Proceedings of 16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, pp. 1031–1036, 8 2002.

- [71] 西澤尚宏, 鎌原淳三, 下條真司, 宮原秀夫. 映像間の関連性を考慮したダイジェスト自動生成手法の提案. 電子情報通信学会第 14 回データ工学ワークショップ (DEWS 2003), 3 2003.
- [72] 井上智雄, 岡田謙一, 松下温. テレビ番組のカメラワークの知識に基づいた tv 会議システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 37, No. 11, pp. 2095–2104, 11 1996.
- [73] M. Kumano and Y. Ariki. Automatic useful shot extraction for a video editing support system. In *Proceedings of MVA 2002*, pp. 310–313, 12 2002.
- [74] 坂江伸悟, 林義文, 熊野雅仁, 有木康雄, 春藤憲司, 塚田清志. 素材映像中のカット点検出と色調によるシーン判定. 電気関係学会関西支部連合大会 G18-5, 11 2001.
- [75] 長坂晃朗, 宮武孝文. 輝度投影相関を用いた実時間ビデオモザイク. 電子情報通信学会論文誌, Vol. 82, , 10 1999.
- [76] 西澤尚宏, 鎌原淳三, 春藤憲司, 有木康雄, 上原邦昭, 下條真司, 宮原秀夫. 映像文法のためのカット先読み機構を備えた自動ダイジェスト生成システム. 電子情報通信学会第 13 回データ工学ワークショップ (DEWS 2002), 3 2002.
- [77] 徳勲, 友保康成, 渋谷雄, 田村博. テレビ会議技術の課題と利用法についての考察. In *Proceedings of 8th Symposium on Human Interface*, 1992.
- [78] 大西正輝, 村上昌史, 福永邦雄. 状況理解と映像評価に基づく講義の知的自動撮影. 電子情報通信学会論文誌, No. 4, pp. 594–603, 4 2002.
- [79] M. Ozeki, Y. Nakamura, and Y. Ohta. Video editing based on behaviors-for-attention – approach to professional editing by a simple scheme –. In *Proceedings of IEEE Int'l Conf. on Multimedia and Expo (ICME) TP9-4*, 6 2004.
- [80] M. Ozeki, M. Itoh, H. Izuno, Y. Nakamura, and Y. Ohta. Object tracking and task recognition for producing interactive video content – semi-automatic indexing for quevico. In *Proceeding of Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*, pp. 1044–1053, 9 2003.
- [81] 井上智雄, 小林哲郎, 池田謙一, 重野寛, 岡田謙一. ウェブ掲示板を対象としたネットワークコミュニティ分析システム: Cminer. 情報処理学会論文誌, Vol. 45, No. 1, pp. 131–141, 2004.
- [82] 宮田章裕, 松岡寿延, 岡野真一, 山田節夫, 石打智美, 荒川則泰, 加藤泰久. 反響特性分析を利用したブログ記事検索手法. 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 12, pp. 4041–4050, 2007.

- [83] Akihiro Miyata, Hisanobu Matsuoka, Shinichi Okano, Satomi Ishiuchi, Noriyasu Arakawa, and Yasuhisa Kato. Response to a blog post. In *Third International Conference on Collaboration Technologies 2007 (CollabTech2007)*, pp. 59–64, 7 2007.
- [84] 江木啓訓, 石橋啓一郎, 重野寛, 村井純, 岡田謙一. 協同記録作成を基にした対面議論への参加支援環境の構築. *情報処理学会論文誌*, Vol. 45, No. 1, pp. 202–211, 1 2004.
- [85] 江木啓訓, 石橋啓一郎, 重野寛, 村井純, 岡田謙一. 議事録の協同作成に基づく対面議論への参加支援手法. *情報処理学会研究報告*, 第 2003 巻, pp. 1–8, 2005.
- [86] P. Bull. *Body Movement and Interpersonal Communication*. Chichester, 1983.
- [87] 下田宏, 國弘威, 吉川榮和. 動的顔画像からのリアルタイム表情認識システムの試作. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 1, No. 2, pp. 25–32, 1999.
- [88] J. C. Terrillon, M. David, and S. Akamatsu. Automatic detection of human faces in natural scene images by use of a skin color model and of invariant moments. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 112–117, 4 1998.
- [89] 大久保雅史, 渡辺富夫, 山田公成. 色情報を用いたオプティカル・スネークによる口唇運動抽出. 第 14 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム, pp. 175–179, 9 1998.
- [90] 間瀬健二. 色情報を用いたオプティカル・スネークによる口唇運動抽出. *電子情報通信学会技術研究報告*, pp. 17–24, 6 1990.
- [91] 小林宏, 原文雄. ニュ - ラルネットによる人の基本表情認識. *計測自動制御学会論文集*, Vol. 29, No. 1, pp. 112–118, 1993.
- [92] P. Ekman and W. V. Friesen. *Facial Action Coding System/Investigator's Guide-Part 1/6701*. Consulting Psychologists Press, 1993.
- [93] <http://www.truster.com/> (2007 年 9 月 3 日現在).
- [94] R. W. Picard. *Affective Computing*. The MIT Press, 1997.
- [95] Yan Li, Feng Yu, Ying-Qing Xu, Eric Chang, and Heung-Yeung Shum. Speech-driven cartoon animation with emotions. In *Proceedings of the ninth ACM international conference on Multimedia*, pp. 365–371, 10 2001.
- [96] R. Nakatsu, J. Nicholson, and N. Tosa. Emotion recognition and its application to computer agents with spontaneous interactive capabilities. *Knowledge-Based Systems*, Vol. 13, No. 7, 9 2000.

- [97] S. Honda, H. Tomioka, T. Kimura, Okada K. Oosawa, T, and Y. Matsushita. Valentine: An environment for home office worker providing informal communication and personal space. In *Proceedings of the International ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work: the Integration Challenge*, pp. 368–375, 11 1997.
- [98] 本田新九郎, 富岡展也, 木村尚亮, 大澤隆治, 岡田謙一, 松下温. 作業者の集中度に応じた在宅勤務環境の提供 - 仮想オフィスシステム valentine. *情報処理学会論文誌*, Vol. 39, No. 5, pp. 1472–1483, 1998.
- [99] J. Healey and R. W. Picard. Startlecam: A cybernetic wearable computer. In *Second International Symposium on Wearable Computers (ISWC 1998)*, 10 1998.
- [100] 廣瀬通孝, 上岡玲子. ウェアラブルコンピュータの為の体験記録についての研究. *日本バーチャルリアリティ学会第 5 回大会論文集*, pp. 389–392, 9 2000.
- [101] 渡辺富夫, 大久保雅史, 黒田勉. 顔面皮膚温・心拍変動に基づく情動ストレスの評価. *日本機械学会第 74 期全国大会講演論文集 (IV)*, 9 1996.
- [102] 高橋信, 北村雅司, 吉川栄和. ニューラルネットワークによるリアルタイム認知状態推定. *計測自動制御学会論文集*, Vol. 30, No. 8, pp. 892–901, 1994.
- [103] 福田修, 辻敏夫, 金子真. ニューラルネットワークによる時系列脳波パターンの識別. *電子情報通信学会論文誌*, No. 7, pp. 1896–1903, 7 1997.
- [104] 阪田治, 椎名毅, 斎藤陽一. 多次元有向情報量とその脳波因果性解析への応用. *電子情報通信学会論文誌*, No. 5, pp. 466–475, 5 2000.
- [105] 木下和之, 柏木英一, 渡辺宏太郎. 時間 - 周波数分布による脳波の解析 (1). *電子情報通信学会 情報・システムソサイエティ大会*, p. 57, 9 1999.
- [106] 柏木英一, 木下和之, 渡辺宏太郎. 時間 - 周波数分布による脳波の解析 (2). *電子情報通信学会 情報・システムソサイエティ大会*, p. 58, 9 1999.
- [107] 安倍崇史, 田中久弥, 長嶋祐二, 西谷善樹, 井出英人. リアルタイム脳電位解析システム. *電子情報通信学会 総合大会*, p. 117, 3 1998.
- [108] 伊藤伸一, 満倉靖恵, 福見稔, 赤松紀男. GA と NN を用いた有効脳波スペクトラム領域の抽出. *電子情報通信学会 信学技報 NC2002-29*, pp. 61–65, 6 2002.
- [109] 平岩明, 内田典佳, 下原勝憲, 曾根原登. 随意運動発生直前の頭皮電位分布パターンのニューラルネットによる認識. *電子情報通信学会論文誌*, No. 2, pp. 408–415, 2 1996.
- [110] 井口弘和, 石井直宏. 波形パターン認識法による作業時脳波変動の特徴抽出. *電子情報通信学会論文誌*, No. 1, pp. 123–127, 1 1996.

- [111] 住谷正夫, 安久正紘. K.I 展開を用いた聴覚ストレス時の α 波パターンの特徴抽出について. 電子情報通信学会論文誌, No. 9, pp. 2556–2564, 9 1997.
- [112] D. Giannitrapani. *The Electrophysiology of Intellectual Functions*. Karger, 1985.
- [113] 村井護晏, 田中一定, 永田輝彦, 中島光実. デイベート中の脳波について. 日本科学教育学会 科教研報, 第 11 巻, pp. 53–56, 10 1996.
- [114] 村井護晏, 中島光実, 永田輝彦. デイベート中の脳波表意について. 日本科学教育学会 科教研報, 第 12 巻, pp. 67–72, 11 1997.
- [115] 村井護晏, 有田憲仁, 中島光実, 永田輝彦. コンピュータ使用中の脳波について. 日本科学教育学会 科教研報, 第 12 巻, pp. 73–76, 11 1997.
- [116] N. Fujimaki, F. Takeuchi, T. Kobayashi, S. Kuriki, and S. Hasuo. Event-related potentials in silent speech. *Brain Topography*, Vol. 6, No. 4, pp. 259–267, 1994.
- [117] 阿部央, 中山実. 漢字認知課題における脳波変化に関する検討. 電子情報通信学会 信学技報, pp. 1–6, 7 2002.
- [118] D. Callan, A. Callan, S. Masaki, and K. Honda. Scalp recorded electrical brain activity underlying lexical processing. *Technical Report of IEICE*, pp. 25–32, 10 1999.
- [119] 武者利光. 「こころ」を測る. 日経サイエンス 1996 年 4 月号, pp. 20–29, 4 1996.
- [120] 岡田明大, 河本昌彦. 化粧品心理的影響の評価に関する研究 感性スペクトルを利用した評価について. 月刊脳研 1 月号, 1 2001.
- [121] 清水裕子, 佐々木和也, 寺崎有仁子, 武者利光. 脳波の解析による衣服の着心地の評価. 宇都宮大学教育学部紀要, Vol. 49, No. 2, 3 1999.
- [122] 中西正洋, 島和之, 松本健一, 井上克郎, 鳥居宏次. 脳波データを用いたユーザビリティ評価実験の考察. 電子情報通信学会 信学技報, pp. 17–24, 7 1999.
- [123] 田垣内博一, 島和之, 松本健一, 鳥居宏次. 脳波計測装置を用いたユーザインタフェースの評価. 電子情報通信学会 信学技報, pp. 47–54, 3 1999.
- [124] 中村太戯留, 武者利光, 石崎俊, 田中茂範. 対話状況における感情の脳波分析. 第 10 回人工知能学会全国大会, pp. 489–492, 6 1996.
- [125] 中沢弘. 人間の満足感を測定するシステム. 日経メカニカル, No. 534, p. 50, 3 1999.
- [126] 林秀彦, 白井英樹, 國藤進, 宮原誠. 高品位画像の画質評価 脳波を指標とする客観的評価法と主観的評価法による . 情報処理学会第 35 回グループウェア研究会, pp. 25–30, 3 2000.

- [127] 大橋力, 仁科エミ, 不破本義孝, 河合徳枝, 田中基寛, 前川督雄. 脳波を指標とする映像情報の生体計測. 第 50 巻, pp. 1921–1934, 1996.
- [128] 岩川幹生, 小川麻子, 佐藤康仁, 寺野真明. 微細気泡浴の心理的・生理的効果. 松下電工技報, Vol. 52, No. 2, pp. 19–24, 5 2004.
- [129] 相澤清晴, 石島健一郎, 椎名誠. ウェアラブル映像の構造化と要約: 個人の主観を考慮した要約生成の試み. 電子情報通信学会論文誌, No. 6, pp. 807–815, 6 2003.
- [130] 石島健一郎, 相澤清晴. ウェアラブルによる長時間個人体験記録の編集 脳波を利用した映像の自動編集の試み. 電子情報通信学会パターン認識とメディア理解研究会 (PRMU2000-147), pp. 85–92, 1 2001.
- [131] 中村亮太, 市村哲, 岡田謙一, 松下温. 撮影グループの生体反応を相互利用した映像コンテンツ作成. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2004) シンポジウム, pp. 373–376, 7 2004.
- [132] 中村亮太, 市村哲, 松下温. スポーツ中継の知識を用いた多視点リプレイ自動生成システム. 情報処理学会第 49 回グループウェアとネットワークサービス研究会, pp. 127–132, 10 2003.
- [133] J. R. Wolpaw and D. J. McFarland. Multichannel eeg-based brain-computer communication. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, Vol. 90, No. 6, pp. 444–449, 6 1994.
- [134] 久野悦章, 八木透, 藤井一幸, 古賀一男, 内川嘉樹. Eog を用いた視線入力インタフェースの開発. 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 5, pp. 1455–1462, 5 1998.
- [135] 船瀬新王, 八木透, 久野悦章, 内川嘉樹. 脳波を用いたアイポインタに関する研究. pp. 597–599, 10 1999.
- [136] <http://www.technosj.co.jp/fukushi/communication/frame/mctos.htm> (2007年9月6日現在).
- [137] H. S. Lusted. Biomuse - virtual reality as healing art. p. 197, 7 1998.
- [138] 松下光範, 松田昌史, 筧康明, 苗村健. 遠隔地間の非同期コミュニケーションを可能にするテーブル型システム. インタラクシオン 2007, pp. 213–214, 3 2007.
- [139] 栗山進, 大平雅雄, 湯浅直弘, 松本健一. 対面コミュニケーションにおける tree-map を用いた共著関係め視覚化の効用. 情報処理学会研究報告 ヒューマンインタフェース研究会報告, 第 2006 巻, pp. 29–35, 2006.
- [140] 松尾太加志. コミュニケーションの心理学. ナカニシヤ出版, 1999.

- [141] <http://www.onosokki.co.jp/> (2007年8月26日現在).
- [142] <http://www.nikkoken.com/> (2007年8月26日現在).
- [143] 高野真, 児玉俊輔, 豊城かおり, 白井剛, 下條真司, 宮原秀夫. 受講者の状態把握を支援する遠隔講義システムの提案. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2000) シンポジウム, pp. 463–468, 2000.
- [144] Kentaro Fukui, Kensaku Honda, and Ken ichi Okada. Promotion of multiparty conference in collaborative virtual environments. In *IEICE Transactions on Information and Systems*, No. 12, pp. 2540–2547, 2004.
- [145] 福井健太郎, 宮田章裕, 林剛史, 重野寛, 岡田謙一. アバタコミュニケーションにおける脳活動状態ウェアネスを利用した話者支援. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 8, No. 1, pp. 87–94, 2006.
- [146] Robert Leeb, Claudia Keinrath, Doron Friedman, Christoph Guger, Reinhold Scherer, Christa Neuper, Maia Garau, Angus Antley, Anthony Steed, Mel Slater, and Gert Pfurtscheller. Walking by thinking: The brainwaves are crucial, not the muscles! In *Teleoperators & Virtual Environments*, Vol. 15, pp. 500–514, 2006.
- [147] 高橋誠. 会議の進め方. 日経文庫, 1987.

付録

FFT

フランスの数理学者 Fourier が発見したフーリエ変換は、フーリエ級数をその理論の源としている。“どんな複雑な波形でも同じ形を繰り返す周期性を持っていれば、複数の単純な正弦波（sin 波）と余弦波（cos 波）の級数で表現できる”というのがフーリエ級数の理論である。実際にはこの理論を数式で表現したものをフーリエ級数と言い、この級数の範囲を $-\infty$ から $+\infty$ まで拡張して発展させたものがフーリエ変換である。

しかし、実際に信号等を測定する場合、どこまで観測すれば周期性を見出せるか不明である場合が多い。周期性を見出すために無限大時間まで測定を行うのは事実上不可能である。そこで、一般的には適当な時間だけ波形を観測し、その波形が無限に繰り返される信号であると仮定して、この波形に対してフーリエ変換を行う。当初、このフーリエ変換の計算は膨大な回数の掛け算計算が必要だったが、データ数を2の n 乗個とすることで計算回数を少なくする方法が J. W. Cooley と J. W. Tukey により提案された。この方法により、データ数を n とした時の計算回数は $n \log_2 n$ 回となる。例えば、データ数を 1024 とすると $1024 \times 1024 = 1048576$ 回の掛け算が 10240 回に短縮される。この方法が FFT (Fast Fourier Transform, 高速フーリエ変換) とされるものである。

通常 FFT のプログラムでは

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \left[\cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + i \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right]$$

が実行され、 $X(k) = X_{real}(k) + i X_{imag}(k)$ の実数部と虚数部をそれぞれ a_k , b_k とすると、パワースペクトルは

$$|X_k|^2 = a_k^2 + b_k^2$$

となり、全振幅表示のスペクトルは

$$V_{pp} = 2|X_k|$$

となる。さらに、実効値表示のスペクトルは

$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}}|X_k|$$

となる。

離散化した信号から元の波形を復元するためには、その波形の2倍以上の周波数でサンプリングする必要がある。これをサンプリング定理という。波形の周期が T 、サンプリング数が N 個の場合を考えてみると、サンプリング時間 h と周波数 f_s は

$$h = \frac{T}{N}$$

$$f_s = \frac{1}{h} = \frac{N}{T}$$

となるので，サンプリング定理より分析可能な周波数 f_m は

$$f_m = \frac{1}{2}f_s = \frac{N}{2T} = \frac{N}{2}f_0$$

となる．すなわち，第 $N/2$ 高調波まで復元可能になり，FFT により求められるフーリエ成分の個数は総データ数の半分となることが分かる [141]．

窓関数

FFT 等の方式を用いて連続した正弦波データを周波数解析する場合を考える。この場合、無限長のデータを扱うことは事実上不可能なので、データ信号の一定区間と同じデータが無限に並んでいるものとして解析を行う。正弦波にひずみが無いとすれば単一の周波数成分しか存在しないはずなので、データの取り込み区間が信号の周期と一致していれば得られる周波数スペクトルは図 Appendix.1 の様に 1 本だけになるはずである。

ところが、データの取り込み区間と信号の周期が一致しない場合は、正確な波形を計測できず、図 Appendix.2 の様にデータが本来持っていた周波数以外のスペクトルを誤って検出してしまい、周波数解析に誤差が生じてしまう。

このように、有限の時間範囲でデータを切り取ってしまうために生じる誤差は時間窓による誤差、あるいは、トラランケーションによる誤差と呼ばれている。これは A/D 変換の量子化誤差等と比べてもかなり大きな誤差である。FFT を利用するアプリケーションでは、必ずしも信号の周期と取り込み区間を同期できるとは限らない。むしろ、同期できない場合の方が多いのでこの問題は深刻であると言える。

そこで、時間窓による誤差を軽減するために「窓関数」を利用する。通常は周期が不明の信号に FFT を施すので常に図 Appendix.1 のように処理できる可能性は低い。ここで、始点と終点が 0 になるような重み関数を掛けると、図 Appendix.3 のような連続波形を仮定でき、スペクトルも周波数 f_0 を中心に現れる。つまり、重み関数を掛けることにより、切り取る位置による影響を小さくすることができるのである。この重み関数を時間窓 (Time window, 時間窓関数) と言い、代表的なものにハニングウインドウが挙げられる。ハニングウインドウは FFT で頻繁に利用されている実用的な窓関数である。 $x[n]$ を元のデータとすると、ハニングウインドウを掛けて得られるデータ $w[n]$ は次式で与えられる [141, 142].

$$w[n] = x[n] \times (1 - \cos(2 \times \pi \times i / (n - 1))) \times 0.5$$

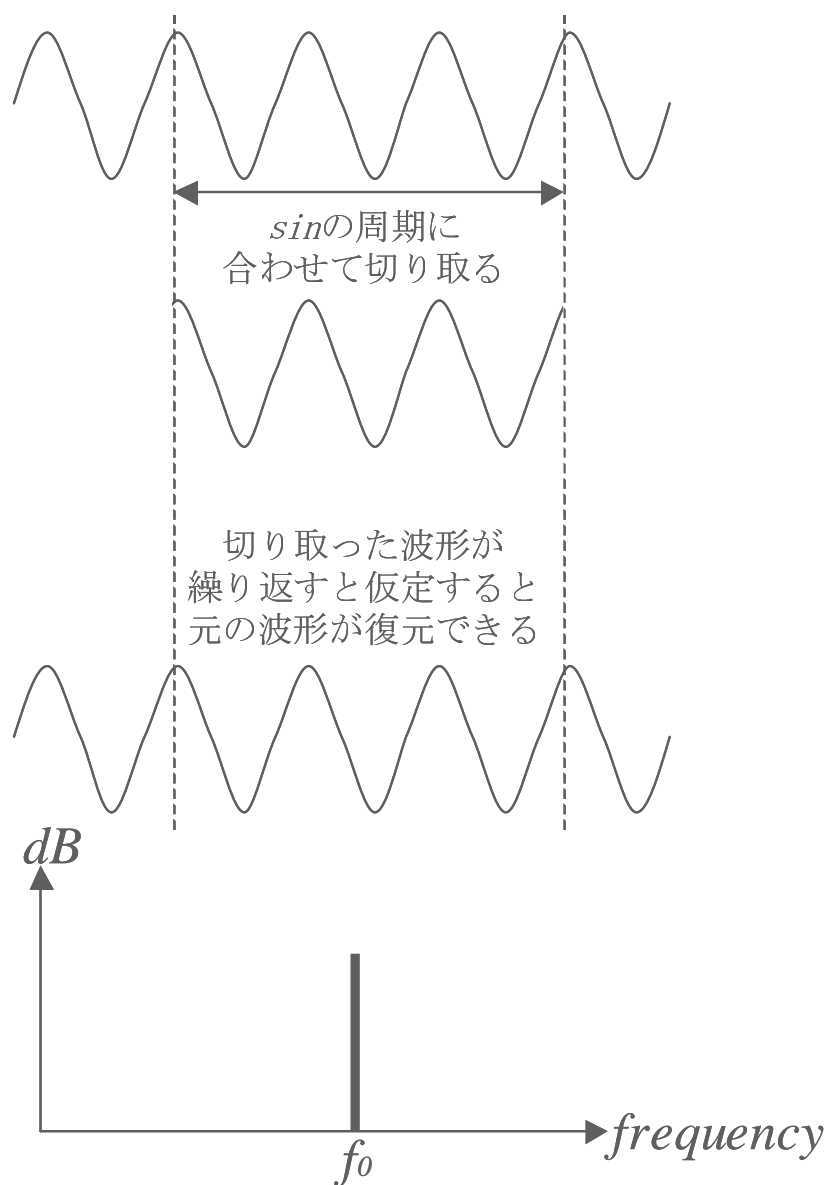


図 Appendix.1: 録信号の周期とデータの取り込み区間が一致する時

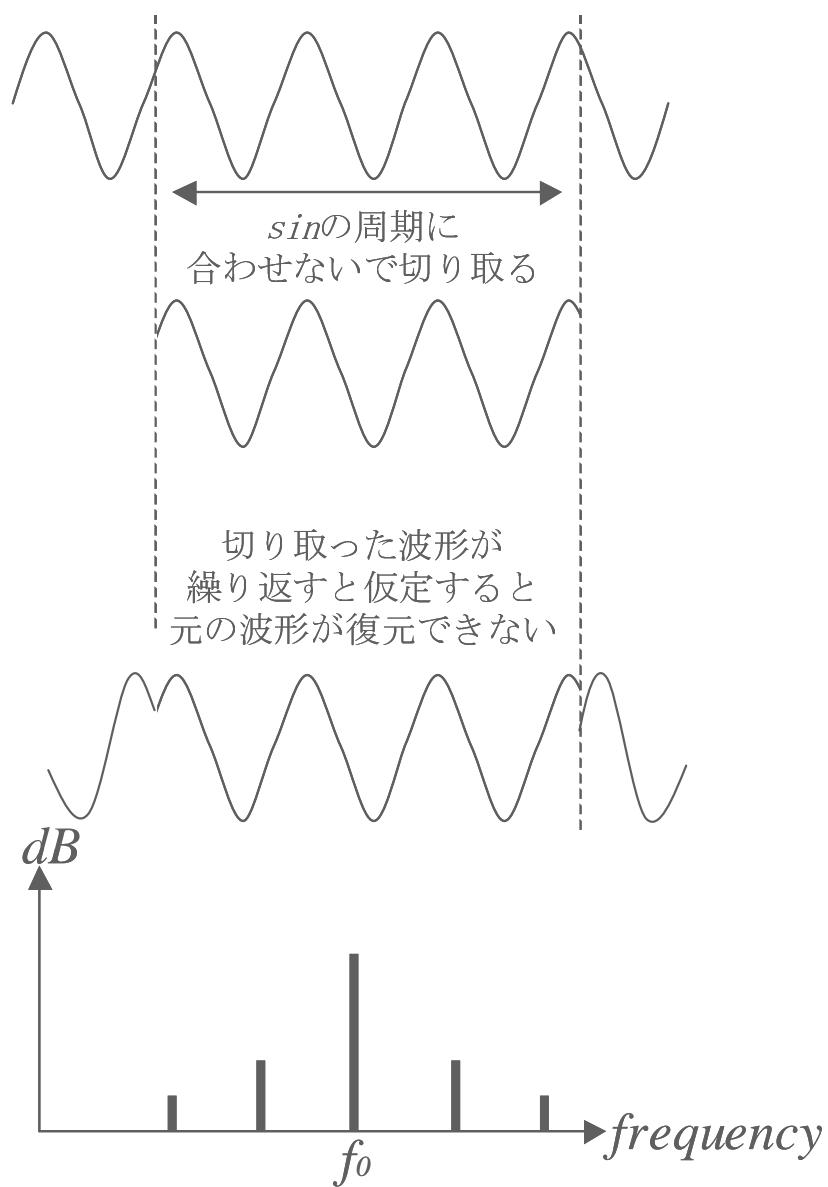


図 Appendix.2: 信号の周期とデータの取り込み区間が一致しない時

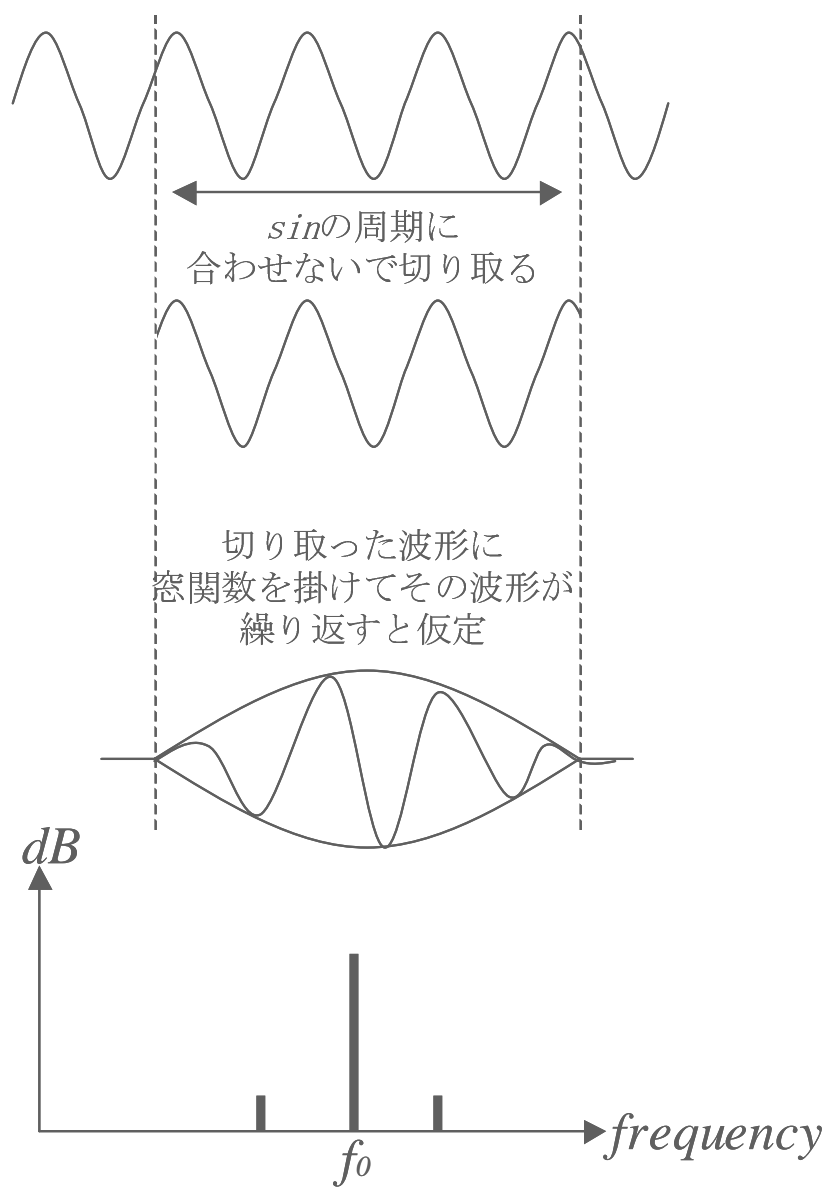


図 Appendix.3: 時間窓を掛けた場合

Wilcoxon 符号順位和検定

Wilcoxon 符号順位和検定とはノンパラメトリック手法の1つである。ノンパラメトリック手法とは、検定対象のデータ群の分布が正規分布に従っていない場合、あるいは分布の様子が不明な時に用いられる手法であり、データ母集団が少数の場合や医学分野で利用されることが多い。

ノンパラメトリック手法はデータの値そのものではなく順位を利用するので情報のすべてを活かしていない(データの値を無視している)一方、外れ値による影響が少ないという特徴を持っている。

本研究では、サンプルが少ない場合および脳波情報・発話情報を反映しているデータの検定を行う際には Wilcoxon 符号順位和検定を利用している(4.4.3 項, 4.5.3 項, 5.4.3 項, 5.4.4 項)。

論文目録

主論文に関する原著論文

- (1) 宮田章裕, 林剛史, 山本翔太, 福井健太郎, 重野寛, 岡田謙一 .: 自己の脳波状態を反映した協調仮想空間の構築と評価 . 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第12巻, 第1号, pp.17-24, 2007年3月 .
 - (2) 宮田章裕, 林剛史, 福井健太郎, 重野寛, 岡田謙一 .: 思考状態と発話停止点を利用した会議の動画ダイジェスト生成支援 . 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.3, pp.906-914, 2006年3月 .
 - (3) 福井健太郎, 宮田章裕, 林剛史, 重野寛, 岡田謙一 .: アバタコミュニケーションにおける脳活動状態ウェアネスを利用した話者支援 . ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.8, No.1, pp.87-94, 2006年2月 .
 - (4) 宮田章裕, 福井健太郎, 本田研作, 重野寛, 岡田謙一 .: 会議を撮影した動画メディアの思考状態インデキシングの提案 . 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.11, pp.2509-2518, 2004年11月 .
-

国際会議

- (1) Akihiro Miyata, Shota Yamamoto, Masaki Hayashi, Takefumi Hayashi, Hiroshi Shigeno, Kenichi Okada.: Development and Evaluation of a Collaborative Virtual Environment Supporting Self Feedbacks of Electroencephalogram. The IEEE 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2008), March 2008.
- (2) Shota Yamamoto, Hiromu Miyashita, Akihiro Miyata, Masaki Hayashi, Kenichi Okada.: Basic Experiment for Switching Difficulty in Virtual Environment. The Third IASTED International Conference on Human-Computer Interaction (IASTED-HCI 2008), March 2008.

- (3) Akihiro Miyata, Takefumi Hayashi, Shota Yamamoto, Masaki Hayashi, Hiroshi Shigeno, Kenichi Okada.: Conference Movie Digesting System using Mental States and Wordless Scenes. Third International Conference on Collaboration Technologies 2007 (CollabTech2007), pp.19–24, July 2007.
 - (4) Akihiro Miyata, Takefumi Hayashi, Shota Yamamoto, Masaki Hayashi, Hiroshi Shigeno, Kenichi Okada.: A Proposal of Indexing Conference Movies with Thinking States. The Fifth International Conference on Creating, Connecting and Collaborating through Computing (C5 2007), pp.54–61, January 2007.
 - (5) Kazuhiro Miyasa, Yuichi Bannai, Akihiro Miyata, Hiroshi Shigeno, Ken-ichi Okada.: A Visualization Method of Working Activities in a Mixed Reality Space for Supporting Work Analysis.] The 14th International Conference on Artificial Reality and Telexistence, pp.325-330, December 2004.
 - (6) Kentaro Fukui, Akihiro Miyata and Kenichi Okada.: Implementation of Avatar Mediated Communication Environment with Thinking Awareness.: Joint 2nd International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 5th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2004), September 2004.
-

研究会

- (1) 林雅樹, 宮田章裕, 山本翔太, 岡田謙一.: 生体情報を利用した VR 空間における個人作業への没頭支援手法, 情報処理学会 GN ワークショップ 2007 (査読付), 2007 年 11 月.
- (2) 山本翔太, 宮田章裕, 林雅樹, 岡田謙一.: 生体情報を用いた仮想環境における作業支援, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2007) シンポジウム, pp.1670–1677, 2007 年 7 月.
- (3) 林雅樹, 宮田章裕, 山本翔太, 岡田謙一.: VR 空間において生体情報を利用した個人作業支援手法, バーチャルリアリティ学会第 31 回サイバースペースと仮想都市研究会, pp.15–20, 2007 年 6 月.
- (4) 山本翔太, 林剛史, 宮田章裕, 林雅樹, 岡田謙一.: 生体情報を用いた作業支援手法に関する考察. 情報処理学会第 69 回全国大会, 2007 年 3 月.
- (5) 林雅樹, 山本翔太, 宮田章裕, 林剛史, 岡田謙一.: 生体情報を用いたポータブルな個人作業空間での没頭支援. 情報処理学会第 69 回全国大会, 2007 年 3 月.
- (6) 山本翔太, 福井健太郎, 宮田章裕, 林剛史, 岡田謙一.: 遠隔コミュニケーションにおいて言葉のニュアンスの表現を目的とした嗅覚情報提示手法, 情報処理学会 GN ワークショップ 2006 (査読付), 2006 年 11 月.

-
- (7) 山本翔太, 福井健太郎, 宮田章裕, 林剛史, 岡田謙一. 遠隔コミュニケーションにおいて嗅覚情報を用いた言葉のニュアンスの提示, サイバースペースと仮想都市研究会 CSVC 2006-13 pp29-34, 2006年5月.
 - (8) 林剛史, 福井健太郎, 宮田章裕, 重野寛, 岡田謙一.: 簡易脳波計を用いたリアルタイムな脳活動状態導出手法. 情報処理学会 GN ワークショップ 2005 (査読付), pp.69-74, 2005年11月.
 - (9) 林剛史, 福井健太郎, 宮田章裕, 重野寛, 岡田謙一.: 簡易脳波測定による時間幅を考慮したリアルタイムな思考状態の推定. FIT2005, 2005年9月.
 - (10) 林剛史, 福井健太郎, 宮田章裕, 重野寛, 岡田謙一.: 簡易脳波測定によるリアルタイムな思考状態導出手法. 情報処理学会第56回GN研究会, pp.43-48, 2005年5月.
 - (11) 宮田章裕, 宮狭和夫, 本田研作, 岡田謙一.: 脳波情報および複合現実感を利用した指導者支援の提案. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2004) シンポジウム, pp.587-590, 2004年7月.
 - (12) 宮狭和夫, 坂内祐一, 宮田章裕, 本田研作, 重野寛, 岡田謙一.: 複合現実空間における作業の記録・再生手法の提案. VR学会第22回サイバースペースと仮想都市研究会, 2004-CSVC-22, pp.19-24, 2004年5月.
 - (13) 宮狭和夫, 坂内祐一, 宮田章裕, 本田研作, 重野寛, 岡田謙一.: 複合現実空間における仮想物に関する情報を用いた作業分析支援. 情報処理学会第51回GN研究会, pp.121-126, 2004年3月.
 - (14) 本田研作, 福井健太郎, 宮田章裕, 重野寛, 岡田謙一., 思考状態アウェアネスによる対人コミュニケーション支援. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2003) シンポジウム, pp.449-452, 2003年6月.
 - (15) 宮田章裕, 福井健太郎, 本田研作, 重野寛, 岡田謙一.: 脳波情報を利用したミーティング分析. 第113回マルチメディア通信と分散処理研究会 (2003-DPS-113), pp.63-68, 2003年6月.
 - (16) 宮田章裕, 福井健太郎, 本田研作, 重野寛, 岡田謙一.: 脳活動 index を利用したコミュニケーション分析支援. 情報処理学会第65回全国大会, Vol.4, pp219-220, 2003年3月.
 - (17) 福井健太郎, 本田研作, 宮田章裕, 重野寛, 岡田謙一.: 多地点遠隔コミュニケーションにおける思考状態アウェアネスの提供. 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 CSVC2003-4, pp.33-38, 2003年1月.
-

著書

- (1) Kentaro Fukui, Kensaku Honda, Akihiro Miyata, Hiroshi Shigeno and Kenichi Okada.: e-MulCS: Multiparty Conferencing System in Collaborative Virtual Environments. Communication and Collaboration Support Systems, IOS Press, 2005.
-

プレスリリース

- (1) 2003年11月28日 日本経済新聞朝刊「思考状態および視線のウェアを実現した遠隔コミュニケーションシステム」.
-

展示

- (1) 脳波と香りを用いた運転者支援システム, 第11回 ITS 世界会議 愛知・名古屋, 2004年10月.
-

受賞

- (1) Best Paper Award in CollabTech2007.
 - (2) 情報処理学会 DICOMO 2004 最優秀プレゼンテーション賞.
 - (3) 情報処理学会 第65回全国大会 学生奨励賞.
-

その他の活動

論文誌

- (1) 宮田章裕, 松岡寿延, 岡野真一, 山田節夫, 石打智美, 荒川則泰, 加藤泰久.: 反響特性分析を利用したブログ記事検索手法. 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.12, pp4041-4050, 2007年12月.

国際会議

- (1) Akihiro Miyata, Hisanobu Matsuoka, Shinichi Okano, Satomi Ishiuchi, Noriyasu Arakawa and Yasuhisa Kato.: Response to a Blog Post. Third International Conference on Collaboration Technologies 2007 (CollabTech2007), pp.59-64, July 2007.

研究会

- (1) 宮田章裕, 川島晴美, 奥田英範 .: 読者に影響を与えるブログ記事発見手法 . 情報処理学会第 67 回 GN 研究会, 2008 年 3 月 .
- (2) 宮田章裕, 松岡寿延, 岡野真一, 石打智美, 荒川則泰, 加藤泰久 .: 反響特性分析に基づいた Blog 記事マイニング . 情報処理学会 GN ワークショップ 2006 (査読付), 2006 年 11 月 .
- (3) 宮田章裕, 山田節夫, 松岡寿延, 石打智美, 荒川則泰, 加藤泰久 .: ブログ記事の反響特性分析に関するユーザ意識調査 . パーチャルリアリティ学会第 31 回サイバースペースと仮想都市研究会, pp.21-26, 2007 年 6 月 .
- (4) 宮田章裕, 松岡寿延, 岡野真一, 石打智美, 荒川則泰, 加藤泰久 .: XappaLinks: Blog コミュニティ参加支援システム . 電子情報通信学会 2006 総合大会, 国土館大, 2006 年 3 月 .

受賞

- (1) 情報処理学会 平成 19 年度 山下記念研究賞 .
 - (2) 情報処理学会 グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2006 ベストペーパー賞 .
-