

状況伝達機能を有する  
遠隔コミュニケーションシステムの  
人間工学的研究

2022年2月

千葉大学大学院工学研究科

デザイン科学専攻 デザイン科学コース

深澤 伸一

(千葉大学審査学位論文)

状況伝達機能を有する  
遠隔コミュニケーションシステムの  
人間工学的研究

2022年2月

千葉大学大学院工学研究科

デザイン科学専攻 デザイン科学コース

深澤 伸一



# 博士学位論文 要旨

## 状況伝達機能を有する遠隔コミュニケーションシステムの人間工学的研究

### An Ergonomic Study on Telecommunication System with Awareness Sharing Functions

本論文は、テレワークを支援する新しい遠隔コミュニケーションシステムを実現させる人間工学的研究の成果をまとめたものである。テレワークに関わる実態調査の多くで「コミュニケーションが行い難くなる」ことが上位課題に挙げられている。しかし、その主な要因はコミュニケーション自体ではなく、その前段にあたるアウェアネス（他者の日常的な活動状況を知ること）を伝達する機能が従来の電話や会議システムには備えられておらず、遠隔の相手の状況がわからないため話しかけが難しくなるという点にある。

本研究では、アウェアネスの伝達機能を有する遠隔コミュニケーションシステムにおいて、アウェアネスの情報を取得し話しかける側と、取得され話しかけられる側の各利用状況に必要な要素機能の提案と評価を行った。話しかける側向けの機能として複数視点映像の提示、ズーム映像の提示、ズーム速度の最適値設定など、話しかけられる側向けの機能として気づきやすさと作業集中性の面で優れる視覚的な動きの情報を有した通知の仕様を、それぞれユーザー評価実験を行い検証した。

そして、それら機能群の要素を搭載したユーザインタフェースを備える“超臨場感テレワークシステム”を開発し、複数拠点に分散した従業員チームに実際の業務環境の中で長期間利用させる実証評価を3種類実施した。その結果、アウェアネスを伝達できる本テレワークシステムを利用することにより、テレワーク環境下でもコミュニケーションの頻度やつながりの大きさが棄損されずに増加し、特に従来のテレワークで失われがちであったインフォーマル・コミュニケーションに基づくつながりを醸成できることが示された。

# 目次

第1章 序論 .....	1
1.1 はじめに .....	1
1.2 テレワークの普及とコミュニケーションの課題 .....	1
1.3 コミュニケーションの定義 .....	3
1.4 遠隔コミュニケーションの課題の要因（1）：遠隔対話にまつわる風説 .....	4
1.5 遠隔コミュニケーションの課題の要因（2）：対話（会議）以外の状況 .....	6
1.6 遠隔コミュニケーションの課題の要因（3）：アウェアネス情報の欠如 .....	7
1.7 コミュニケーションの意義：進化人類学と神経科学の観点から .....	9
1.8 コミュニケーションの効果：経営学の観点から .....	12
1.9 テレワークにおけるコミュニケーションの課題の帰結 .....	13
1.10 超臨場感テレワークシステム .....	14
1.11 既存の遠隔コミュニケーションシステムとの相違 .....	16
1.12 第1章のまとめ .....	18
1.13 本論文の研究目的および章構成 .....	18
第2章 テレワークシステムの通知機能Ⅰ：周辺視野への視覚的な動きと 音による情報提示が気づきやすさと作業集中性に及ぼす影響...	20
2.1 目的 .....	20
2.2 背景 .....	20
2.3 方法 .....	23
2.4 結果 .....	28
2.5 考察 .....	39
2.6 第2章のまとめ .....	42
第3章 テレワークシステムの通知機能Ⅱ：周辺視野における通知の 動きの種類が気づきやすさと作業集中性に及ぼす影響...	44
3.1 目的 .....	44

3.2	背景	44
3.3	方法	45
3.4	結果	52
3.5	考察	61
3.6	第3章のまとめ	63
<b>第4章</b>	<b>テレワークシステムのユーザインタフェースと観る機能</b>	<b>65</b>
4.1	目的と節構成	65
4.2	テレワークシステムのユーザインタフェース Halo-UI の提案と評価	66
4.3	接近モード遷移時の映像ズーム速度の要件	81
4.4	テレワーカーの人物映像解像度の要件	87
4.5	感情推定 AI の推定情報を人物映像に付帯提示する機能の効果	93
4.6	第4章のまとめ	107
<b>第5章</b>	<b>テレワークシステムの実証評価</b>	<b>108</b>
5.1	目的	108
5.2	開発した超臨場感テレワークシステムと実証評価の環境	108
5.3	テレワークシステムの実証評価（1）：コミュニケーション頻度の増加	111
5.4	テレワークシステムの実証評価（2）：離れていてもつながりを醸成	113
5.5	テレワークシステムの実証評価（3）：インフォーマルなつながりを醸成	116
5.6	第5章のまとめ	118
<b>第6章</b>	<b>結論</b>	<b>119</b>
6.1	本論文のまとめ	119
6.2	今後の課題	121
6.3	今後の展望	122
謝辞		124
参考文献		125～134

# 第1章 序論

## 1.1 はじめに

本論文は、テレワークの実施を支援する新しい遠隔コミュニケーションシステムを実現させるための人間工学的研究の成果をまとめたものである。

詳細には、テレワーク環境では「同僚とコミュニケーションが行い難くなる」課題について、まず要因の探索とその解決手段となる情報通信システム像を示す。次に、当該情報通信システムの特に人間工学的な側面について、システムの実現に必要な要素機能の提案と有効性の評価を行った結果について述べる。最後に、当該情報通信システム、すなわち“超臨場感テレワークシステム”を実際のオフィスにおいて就業者が長期間使用し有効性を検証した実証評価の結果を紹介し、本論文の結論を記す。以降、本第1章において、研究背景として前述の要因探索とその解決手段である情報通信システム像を、最終節で本論文の第2章以降の構成を述べる。

なお、本章の以降の内容は、日本人間工学会第62回大会 理事会企画シンポジウムにおける著者の講演“遠隔コミュニケーションシステムの人間工学：COVID-19によるテレワークは何を失わせたのか” [1]の内容を中心に未発表内容を加えて構成したものである。

## 1.2 テレワークの普及とコミュニケーションの課題

2020年、新型コロナウイルス感染症（以下、COVID-19）が世界に広がった。人々は感染予防のため外出・移動を制限し、働き方においてもテレワークの普及が促進された[2][3]。テレワークは、ICT（情報通信技術）を活用した場所や時間にとらわれない柔軟な働き方、と定義されている[4]。

また、テレワークの形態の分類として、勤務を行う場所により、自宅での「在宅勤務」、本来の勤務先以外のオフィスでの「サテライトオフィス勤務」、営業

活動など外出先での「モバイルワーク」の三種類がある[5]。後述するように、本論文で提案する“超臨場感テレワークシステム”では、テレワーカー（テレワークの実施者）の勤務日常の映像や音声情報を同僚と常時共有することになる。在宅勤務においてそれは、家族の生活音など私生活情報の意図しない流出を含むプライバシー懸念の問題があることから、本論文では上記のうち主にサテライトオフィス勤務を想定したテレワーク（すなわちオフィス拠点間のテレワーク）を支援する機能やシステムを提案する。なお、上記テレワーク分類の実施割合は、コロナ禍後の2020年度は三密回避の観点から在宅勤務の割合が最も高くなったが、コロナ禍前の2019年度まではサテライトオフィス勤務の割合が最も高く[6]、今後COVID-19のワクチン接種が広く進めば元のようにサテライトオフィス勤務が最大割合に戻る可能性が考えられる。さらに、アフターコロナの方針として、都心にある本社の床面積を削減する一方で周辺地域に小規模なサテライトオフィスを増設するという企業の動きも出てきている[7]。

テレワークは、COVID-19の感染対策だけでなく、ワークライフバランスの改善、省エネルギー、事業継続計画等の観点からも社会的な意義と効果が期待される。一方で、テレワークの課題面に着目すると、テレワーカーを対象とした社会調査の多くにおいて、その上位課題（多くの場合は最上位）には「コミュニケーション」が挙げられている（調査の例として[8][9][10]など）。たとえば、テレワーカー1万名以上の回答を収集した内閣府による大規模調査[8]では、テレワーク経験者が感じるテレワークのデメリットの回答率上位3位は、1位が「社内での気軽な相談・報告が困難」、2位が「取引先等とのやりとりが困難」、3位が「コミュニケーション不足やストレス」であり、上位3位すべてがコミュニケーションに関わる課題となっている（図1.2）。すなわち、テレワークのさらなる社会普及のためには、遠隔環境におけるコミュニケーション（以下、遠隔コミュニケーション）の課題が解決される必要がある。

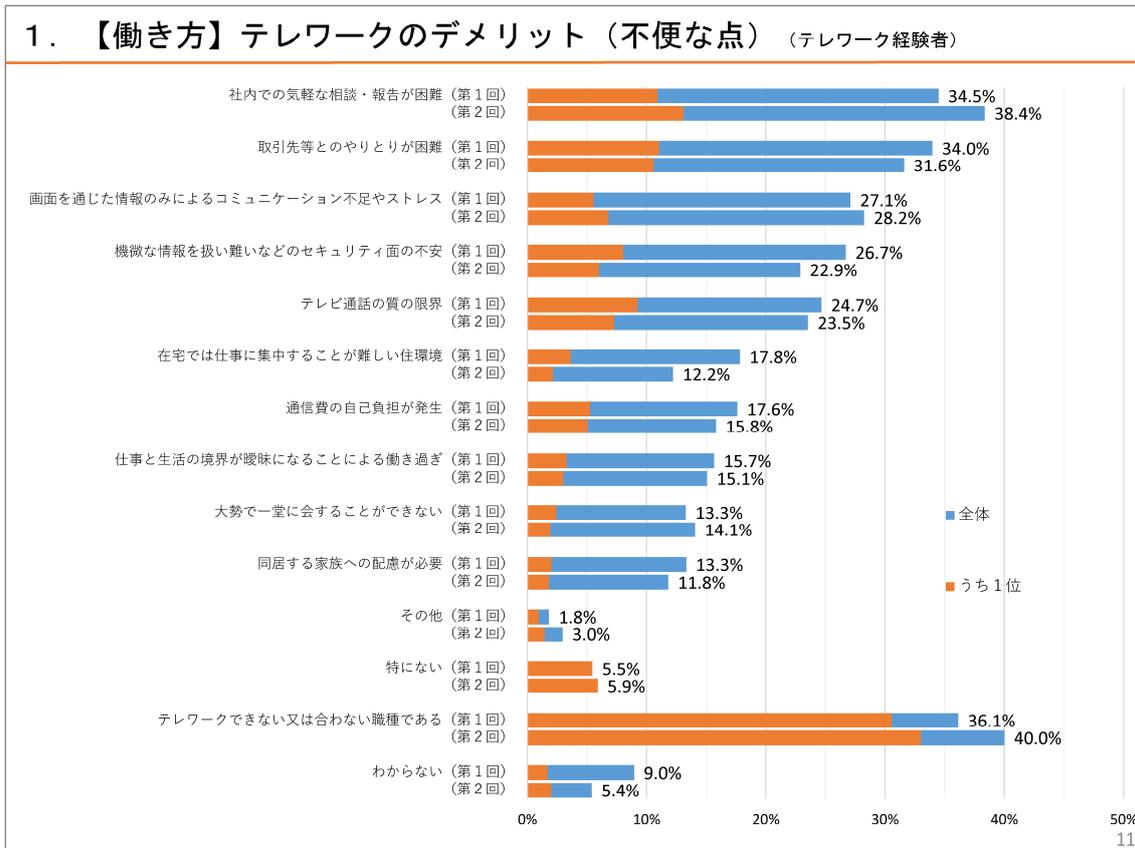


図 1.2 テレワークのデメリット [8]

### 1.3 コミュニケーションの定義

これ以降、本研究における課題解決の中心対象となるコミュニケーションの定義についてもここで述べておく。ただし、コミュニケーションの学術的な定義はこれまで研究者によってなされたものだけでも軽く 100 を超え、それらに一貫する特徴や要素を見出すことは極めて困難である [11]。コミュニケーションの定義範囲の細かな検討自体は本研究の目的ではないため、広い定義範囲を持ち、工学的な支援システム研究でも扱いやすい内容となっている深田 (1998) [12]、石井 (1993) [13] による「コミュニケーションは、送り手、受け手、メッセージ、チャンネルなどの構成要素から成る相互行為の過程である」を、本研究におけるコミュニケーションの定義として採用する。

#### 1.4 遠隔コミュニケーションの課題の要因（1）：遠隔対話にまつわる風説

ここで、解決の対象をより明確化するため、前述した遠隔コミュニケーションの課題の要因は何であるのかをより詳細に検討する。

遠隔コミュニケーションの課題の代表例としてよく挙げられるのは「電話、ビデオ会議、メールやチャット等の ICT ツールを用いた遠隔での対話は、同じ空間で行う対面での対話と比べて情報伝達の面で劣る」という意見である。はたして、世間でよく聞かれるこの意見は科学的には正しいのだろうか。杉谷（2008）[14]は、伝達度（話し手の発話内容が、その意図通り、正確に相手に受け取られた度合い）と伝達感（話し手と聞き手が、互いに情報を正しく共有できていると感じた度合い）という 2 種類の指標に着目し、テキストチャット、対面、ビデオ会議などの各種コミュニケーション環境条件で二名一組の対話タスクを行わせ、当該 2 指標の結果を比較する実験を行った。結果、先の意見のように伝達感是对面条件の方がテキストチャット条件よりも有意に高かった一方で、伝達度は逆にテキストチャット条件の方が対面条件よりも有意に高かった。さらに、糸川ら（2017）[15]は、杉谷（2008）の実験手続きを再現した追実験をテキストチャット、音声電話、対面のコミュニケーション環境条件で実施し、伝達感と伝達度を指標として比較評価した。結果、伝達感は対面、音声電話、テキストチャット条件の順に有意に下がっていったが、伝達度は条件間で有意な差は認められず、対面条件の伝達度平均値は 3 条件中で最も低かった。これらの関連研究が示すものは、情報の論理内容の実際の伝達度において、遠隔コミュニケーションが対面よりも劣るといふ科学的事実とは認められない、ということである（むしろ、杉谷（2008）のコミュニケーション実験においては遠隔条件の方が対面条件よりも有意に高い伝達度を示した）。

これに対して「遠隔対話が対面对話と比べて劣るのは、論理情報の伝達ではなく、感情の伝達である」という反論があるかもしれない。「対面で話すのと比べ、メールやビデオ会議では気持ち（感情）が伝わらない」といった表現でも

世間でよく聞かれる意見であるが、こちらについても関連研究を紹介する。有本 (2015) [16]は、テキストチャット、音声電話、ビデオ会議、対面の 4 環境条件で二名一組の対話タスクを行わせ、感情伝達度 (対話直後に行った対話タスクのビデオを観察、自身と相手の感情状態を評定させ、対話相手同士でその評定値の相関係数を算出) と感情伝達感 (対面環境と遠隔環境のどちらで感情理解度や感情伝達度が高いと感じたか) の 2 指標で評価した。結果、感情伝達感は対面条件が遠隔コミュニケーション条件よりも有意に高かったが、感情伝達度は対面条件とテキストチャット、音声電話、ビデオ会議それぞれの条件間で有意な差は認められなかった。また、Fukasawa et al. (2019) [17]における感情伝達度の評価実験においても、対面観察条件と遠隔観察条件間では感情伝達度に有意な差は認められなかった (詳細は本論文第 4 章を参照)。これらの関連研究が示すのは、相手の感情状態の実際の伝達度において、遠隔コミュニケーションが対面よりも劣るという科学的事実には認められない、ということである。さらに、Derks et al. (2008) [18] は、遠隔コミュニケーションに関わる 100 以上の文献を調査したレビュー論文において、“Our conclusion is that there is no indication that CMC is a less emotional or less personally involving medium than F2F.” (p.766 ; 著者訳「我々の文献調査の結論は、CMC (遠隔コミュニケーション) が F2F (対面コミュニケーション) よりも感情や人間的な伝達性の面で劣っていることはない、ということだ」) と記している。

以上の関連研究で示された結果を総合すると、対話における論理情報および感情情報の両面の伝達度において、遠隔コミュニケーション環境が対面環境よりも劣るという科学的事実には認められない。それでは、これをもってテレワークにおいて遠隔コミュニケーションの課題は無いと結論してもよいのだろうか。ここまでコミュニケーションという用語を会議や電話などの状況を主に想定して使用してきたが、それ以外のコミュニケーション活動も考える必要があるのではないか。

ここで、筑波大学 働く人への心理支援開発研究センター（2020）[19]が行った、テレワークの特にコミュニケーション面に焦点を当てた調査報告の一部に興味深いデータがある。同報告は、コロナ禍に伴いテレワークが導入された企業に勤務する 4,343 名の調査回答に基づくもので、そのうち「テレワーク導入後のコミュニケーションや関係性の変化」についての質問に対し、大きな変化を感じた上位 3 位の回答は「職場全体の雰囲気が見えにくくなった」「職場や同僚の状況や様子がわかりにくくなった」「業務以外のことに関する情報交換が少なくなった」という課題を挙げるものであった。これらの項目中には「職場」や「業務以外の」という特徴的な文言が含まれていることに注意されたい。この結果から考えられるのは、テレワーカーに遠隔コミュニケーションの課題をもたらしている要因は、いわゆる会議の中での計画的な情報伝達の部分ではなく、より広い職場レベルでの非計画的（偶発的）なコミュニケーションの部分にあるのではないかという推察である。

### 1.5 遠隔コミュニケーションの課題の要因（2）：対話（会議）以外の状況

前節にて、テレワークにおける遠隔コミュニケーションの課題は、遠隔会議での論理や感情情報伝達性によるものではなく、むしろ会議の外側にある職場レベルでの非計画的なコミュニケーションの部分にあるのではないか、という推察が得られた。それに対するひとつの答えとして、実験室内ではなく現実のオフィスで実際に発生したコミュニケーション行動をフィールド調査した Kraut et al. (1990) [20]の研究が参考になる。Kraut et al. (1990) は、2 カ所の研究機関に滞在し計 695 名のオフィスワーカーの労働現場を観察して、その現場で発生したコミュニケーション（対面对話）行動を調査した。彼らは、そこで収集した 117 個の対話事例について各対話の直後に実施者へのアンケート調査を行い、各対話事例を以下の 4 種類に分類した：(a)事前に計画された対話、(b)一方が他者を訪問移動して行われた対話（訪問される側は非計画）、(c)元々

話したい意図はあったが偶然出会って始まった対話、(d)話したい意図はなかったが偶然出会って始まった対話。その結果、117個の会話事例が各カテゴリに分類された比率は、(a)12%、(b)36%、(c)21%、(d)31%であった。前述の関連研究[14][15][16][17]の状況設定である実験室内での対話中（会議中）という条件はこの4種のうち(a)に相当し、現実のオフィスコミュニケーションの全体から見るとごく一部でしかない。逆に、残りの(b)+(c)+(d)の計88%（約9割）という、大多数にあたる非計画的なコミュニケーションの課題を解決する必要があるのではないか。すなわち、前節で述べたように、対話中（会議中）における論理情報および感情情報の伝達は遠隔コミュニケーションでも同等にできおり課題では無かったとしても、職場のコミュニケーションの約9割((b)(c)(d))にあたる非計画的（インフォーマル）な対話の遠隔環境化に伴う影響がテレワークにおけるコミュニケーションの主要課題である可能性が高く、解決が必要である。

## 1.6 遠隔コミュニケーションの課題の要因（3）：アウェアネス情報の欠如

それでは、非計画的な対話の遠隔環境化に伴う問題とは何であろうか。Kraut et al. (1990) [20]は、現実のオフィスにおける実際のコミュニケーション行動の観察で、対話発生の代表的な状況事例として、ある人物がオフィス内を徒歩移動中に同僚の姿が偶然に視界に入り、その同僚がその閲覧行動に反応する（返すように視線を合わせて挨拶する等）、そのような両者のインタラクションの後に対話が始まるケースを複数挙げている。すなわち、対話が始まる前に相手を見て「状況」の把握を互いに行えることが非計画的な対話の成立には重要であることが示唆されている。以上のような背景に適合し、課題を整理可能なコミュニケーション理論モデルについて次に説明する。

岡田ら（1993、1995）[21][22]は、ヒトとヒトが互いに関わり合いを深めていく過程を説明する「協調の次元階層モデル」を提案した。協調の次元階層モ

デルは、図 1.6 に示すように 4 層の構造を持ち、下から第 1 層の Copresence (共在)、第 2 層の Awareness (気づき)、第 3 層の Communication (コミュニケーション)、第 4 層の Collaboration (共同作業) から成る。そして、上位の層の活動が良好に行われるためには、それより下位の層の行動が成立済みであることが重要とされている。つまり、良好な対話が行われるためには、まず話したい相手が存在していること (Copresence) が必要であり、次に話したい相手が話しかけてもよい状況であることや話しかけられる可能性に気づけること (Awareness) が必要であり、それらが満たされていてこそ次に良好なコミュニケーション (Communication) が成立するのである。一見当たり前に思えるこの流れが、対面ではなく遠隔コミュニケーション環境になると当たり前ではなくなってしまう。たとえば、離席中で不在の相手に電話をかけてしまったり (Copresence 情報の欠如)、繁忙で話しかけて欲しくないや就寝中で起こして欲しくない相手に重要ではない用件で電話をかけてしまったり (Awareness 情報の欠如) する。Copresence 情報は PC やブラウザ・アプリへのログイン情報を用いて相手の在／不在情報を常時共有する機能を有する遠隔コミュニケーションシステムも増えてきているが、Awareness (以下、アウェアネス) 情報の常時遠隔共有を意図して実現できている遠隔コミュニケーションシステムは少ない。

以上をまとめると、対面環境では当たり前に共有できているアウェアネスの情報が、既存の遠隔コミュニケーションシステム製品ではうまく伝達できず欠如してしまうことが、テレワークにおける遠隔コミュニケーションの課題の主要因と考えられる。なお、アウェアネスのより厳密な定義としては、Dourish et al. (1992) [23] の「他者の日常的な活動状況 (誰が周囲にいて、何が起きていて、誰と誰が話しているか等) を知ること」があり、本論文も当該定義に従う。

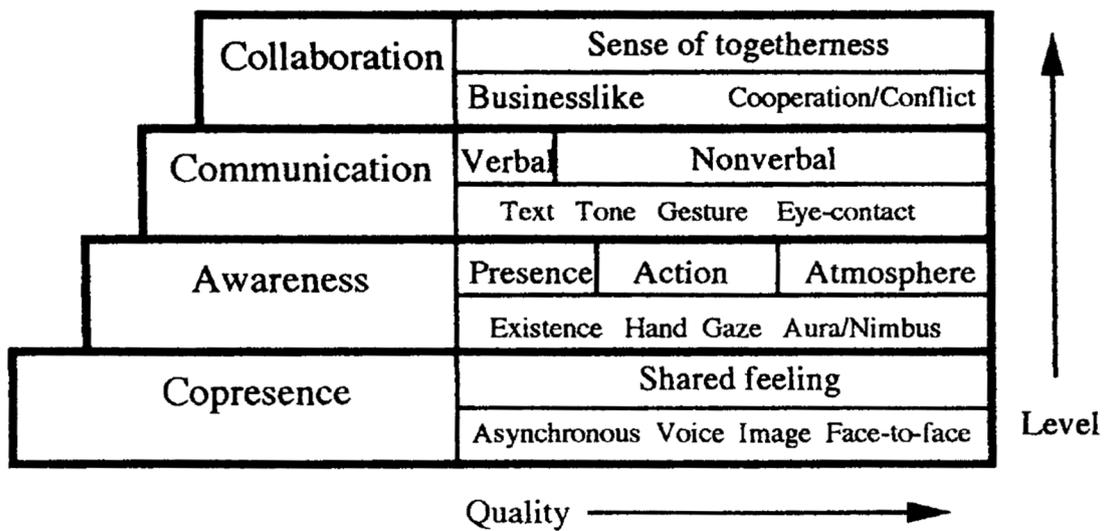


図 1.6 協調の次元階層モデル[22]

### 1.7 コミュニケーションの意義：進化人類学と神経科学の観点から

前節まで、主に社会心理学や情報工学を含むいわゆるコミュニケーション科学の観点から、テレワークにおける遠隔コミュニケーションの課題と要因について関連研究を引きながら整理を行った。ここでさらに、本節および次節において、進化人類学、神経科学や経営学といった人間工学と関連が深い周辺研究分野の関連研究を参照し、ヒトにとってのコミュニケーションの意義と効果について論じたい。

マックス・プランク進化人類学研究所所長の Tomasello (2008) [24]らの研究グループは、ヒト成人だけでなく、類人猿や音声言語獲得前後期のヒト乳幼児に対して進化人類学の観点からコミュニケーションに関わる数多くの心理学実験を行い、ヒトのコミュニケーションの起源を探ってきた。彼らはその結果をまとめ、ヒトの対話の起源は協力や利他性を志向する「共通基盤」(Common ground)を根底とした指差し・身振り(自然発生的ジェスチャー)であると論じている。共通基盤とは、Grice (1957) [25]により見出され Clark (1996) [26]ほかにより練り上げられてきた概念であり、「ヒトとヒトの間でやりとりが成立するために2者が共有している知識や信念、想定 of 総体」[27]である。Tomasello

らの研究グループは、音声言語以前の指差し・身振りベースのコミュニケーション活動の基本的な動機は、(1)要求する、(2)何かを知らせる、(3)感情や見方を他者と共有する、の3種類であるが、ヒトの乳幼児は(1)～(3)すべてを動機として行動するのに対し、類人猿は基本的に(1)要求する（指示的な）コミュニケーションのみを行うことを多くの実験結果により示してきた（それら実験の概要は[24]参照）。そして、(2)何かを知らせる、(3)感情や見方を他者と共有するには時間や空間を隔てた事物の情報伝達が必要であり、そのためには共通基盤が必要となる（一方、(1)は食物など自分が欲しい物を指さすだけで伝達ができ実現もできるので共通基盤は不要）。すなわち、類人猿は基本的に利己性の志向に基づき共通基盤の構築も行わないのに対し、ヒトは利他性つまり協力の志向を目的としたコミュニケーションを行う点が、ヒトが進化で得た類人猿と異なる能力だといえる。

上記に対して、類人猿も集団での狩りなど一見協力的な行動を行う点を指摘する声もあるかもしれない。しかし、Tomasello (2008) によれば、類人猿による集団の狩りには共同の目標や役割分担は見られず、各個体が単に自身にとって最も有利に獲物を捕まえられるような位置取りを個々にとろうとしているだけのこと、結果的に集団での狩りの形に見えているという。別の観点からそれを支持する研究として、Gilby (2006) [28]はチンパンジーの集団狩りのビデオ観察により、チンパンジーは集団狩りの成果である獲物肉の仲間への分配を協力に対する報酬として行っているのではなく、本来は獲物肉を独り占めしたい（実際に獲物肉を持って逃げたり仲間を追い払ったりする）が奪いに来る仲間から逃げきれないため仕方なく最小限の肉を分け与えていることを定量的な分析で明らかにした。Bullinger et al. (2011) [29]は14匹7ペアのチンパンジーに対して実験を行い、得られる報酬（食物など）が同じ条件であればチンパンジーは協力的行動ではなく単独行動で報酬を手に入れる確率が有意に高いことを示した。同実験では、チンパンジーが他個体との協力的行動を選ぶのは、協力的

より単独行動よりも報酬が増えることがわかっている（利己的な）条件のみであった。それとは対照的に、Gurven (2004) [30]はヒトの食料共有行動に関するレビュー研究により、ヒトは互恵的な利他主義に基づいて集団での食料分配を行うことを示している。狩り以外のシーンにおける類人猿の協力行動については、平田 (2009) [31]がチンパンジーの協力行動に関する総説論文において、様々な既存研究の概観的レビューと自身による複数の追実験の結果を総括し、チンパンジーは協力ではなく競合的に集団行動を行うと論じている。特に、平田 (2009) における「チンパンジーは自分のために行動している（中略）つまり、自分で食べ物を得るために目の前のひもを引き、重い石を動かそうとしている。そこに2個体がいることで、結果的に『協力』に見えている」(p.62) という記述は、前述した Tomasello (2008) の「結果的に集団での狩りの形に見えているだけ」という主張と整合している。その他、霊長類研究者の山極 (2014) [32]は、ヒトは子孫の共同保育を血縁関係にない他個体とも協力して行うが、類人猿にはそのような共同保育の習慣がないことを挙げ、それは両種の社会性の高さの違いから来ている可能性を論じていると。

以上のような、類人猿とは異なるヒト特有の協力や共通基盤構築の志向性、利他性、社会性の高さはどこから生まれるのだろうか。神経科学分野における関連研究をいくつか挙げたい。Dunbar (1992) [33]は様々な類人猿について、その種がつくる平均的な群れ（集団）の大きさと種の平均的な大脳新皮質の体積との関係性を調べ、両者の間に正の相関関係があることを示した。群れの集団が大きくなるほどその構成員には高い社会性が求められるだろう。滝沢ら (2012) [34]は、脳の体積を比較するとチンパンジーの約 250~400cm<sup>3</sup> に対しヒトは約 1200~1500cm<sup>3</sup> と3倍以上の大きさであり、中でも特に前頭極(Frontal pole) 部位の体積差が大きいこと、そして前頭極の活動は対人関係構築やコミュニケーションなどの社会行動に関連する可能性を述べている。脳以外の身体的特徴としては、ヒトは類人猿と比べて眼球白目（強膜）の露出領域が大きいこ

とが知られ[35]、その結果として類人猿と比べ他者の視線を知覚しやすく、アイコンタクトや共同注視などコミュニケーションに重要な視線行動をとることが容易にできる。

つまり、コミュニケーションという活動は、ヒトという種が類人猿にはない協力や利他性を集団として志向する生物へと脳神経系を含め進化した証でもある。そして、コミュニケーションは、協力的な集団活動によって個体では成しえない大きな成果を上げることが可能にし、そのような集団活動の基幹となる共通基盤を構築するという意義を持つのである。

## 1.8 コミュニケーションの効果：経営学の観点から

前節で、コミュニケーションというヒトの活動の意義として、協力的な集団活動を促進させる基幹となる共通基盤の構築を挙げた。本節では、コミュニケーション活動の効果として、共通基盤の構築が特に経営的效果を有することを述べる。

経営学分野において Shared Mental Model という概念がある。Shared Mental Model とは、「チームのタスクを遂行するために必要な知識がメンバー間で共有されている状態」（別の言い方をすると「メンバー間で共有されている組織化された知識構造」）[36]である。

前節で述べた共通基盤の定義と Shared Mental Model の上記定義とを比較すると、それぞれ主に使用されている研究分野が異なるため別の用語名称が用いられているが、両者の概念自体は非常に類似していることがわかる。そして、経営学分野における Shared Mental Model に関する多くの実証研究において、Shared Mental Model を高いレベルで実現できているチーム（組織）ほどビジネス成果のパフォーマンス（≒生産性）も高いことが明らかになっている（たとえば、DeChurch et al. (2010) [37]は Shared Mental Model を指標とした既存

研究 23 本に Meta-Analysis を行い、Shared Mental Model が組織パフォーマンスに対して正の効果を持つことを示した)。

近年、日本の企業組織において生産性の向上が重要課題に挙げられることが多いが、その解決手段として Shared Mental Model すなわち共通基盤の構築を促進するコミュニケーション支援施策は有効打になり得るだろう。

## 1.9 テレワークにおけるコミュニケーションの課題の帰結

ウィズコロナさらにはアフターコロナの社会においてテレワークの普及はもはや不可逆的に進むことから、ここまで述べてきた遠隔コミュニケーションの課題を解決しない限り、テレワーク環境では対面環境よりもコミュニケーション活動は衰退するであろう。実際に、Allen (1977) [38]や Waber et al. (2014) [39]は企業の現場においてフィールド調査を行い、就業者間の席の物理的な距離が大きくなる（テレワーク化する）ほど互いのコミュニケーションの頻度が減少していくこと、それは対面对話コミュニケーションだけに限らず電話や電子メールなどの電子コミュニケーションの頻度も同様に減少することを実証的に明らかにした。コミュニケーションの減少は共通基盤/Shared Mental Model の構築阻害につながり、前述のように組織の生産性を棄損させてしまう。

そこで本研究は、今後も普及が進むテレワーク環境においても、対面環境に劣らず良好なコミュニケーションを行える支援システムを実現するための各種機能の要件を検討する複数の実験を行った結果について報告する。さらに、実際に開発した支援システムである“超臨場感テレワークシステム”を企業現場で使用して実証的な有効性評価（実証評価）を行った結果についても報告する。

## 1.10 超臨場感テレワークシステム

ここまで述べた課題に対する解決手段として、著者らの研究グループが開発を行った“超臨場感テレワークシステム”(以降の表記では固有名詞を示すダブルクォーテーションマークを省略する)の概要と特長について説明する。なお、超臨場感とは、対面環境の忠実再現を目指す高解像度映像や音場再現型音響を志向した高臨場感型ではなく、後述する複数視点映像、Augmented Reality 型のユーザインタフェース、相手の状況を推定する AI、ウェアネス通知などの機能を備え、対面環境の超越を目指す超臨場感型(榎並ら、2010[40])の遠隔コミュニケーションシステムを志向するという企図で名称したものである。

前述の通り、テレワークにおける遠隔コミュニケーションの課題の主要因は、コミュニケーション段階自体ではなく、その前段にあたるウェアネスを伝達する機能が従来の電話や会議システムには備えられておらず、遠隔の相手の状況がわからないため話しかけが難しくなる(たとえば電話では、相手がいま話しかけてもよい状況であるかどうか相手が電話に出る前はわからないため、対面環境と比べて特に相談や雑談などのインフォーマル・コミュニケーションが行いにくくなる)という点にある。

そこで、テレワーク環境でもコミュニケーション開始の前に遠隔の相手のウェアネスの情報を得られるようにする超臨場感テレワークシステムを開発した。より詳細には、超臨場感テレワークシステムは以下の機能や効果を有する：(1)通話時にだけ相手とつながる電話と異なり映像・音声マルチメディア情報の常時接続により同僚や職場の日常的な状況(ウェアネス)の情報を共有できる、(2)複数のカメラやマイクによる多面的なセンサ情報がオフィスの3次元位置情報と融合されてシステム制御される、(3)多面的なセンサ情報の提供によりユーザーが複数の方向からの視点映像や部分空間的な音声のメディア情報を得ることができる、(4)ウェアネス情報を取得される側のユーザーにその旨の通知を行い一方的に閲覧できないようにすることでユーザーのプライバシー侵害

感を低減する、(5)アウェアネス情報の取得から連続的にコミュニケーションに移行できる、(6)前記(1)~(5)の要素が新たなユーザインタフェースにより統合され直観的操作で実現できる。

超臨場感テレワークシステムのコンセプトを基に著者らが作成した実現イメージビデオ[41]から、アウェアネス情報の取得とそれに続くコミュニケーションを行う特徴的な利用シーンを抜粋して図 1.10.1 に示す。図 1.10.1(0)は超臨場感テレワークシステムの全体的な利用シーンのイメージ、図 1.10.1(1)は遠隔オフィスの職場全体の雰囲気伝える俯瞰モード、図 1.10.1(2)はユーザーが遠隔オフィス内で興味関心を持った相手のいる一部の空間領域を拡大してその相手の詳細なアウェアネス情報を得られる接近モード、図 1.10.1(3)は相手とコミュニケーションを行う対話モード時のシーンを示している。著者らの研究グループは図 1.10.1 に示した実現イメージビデオの機能を実現させた位置情報連動型マルチメディア情報配信サーバと操作用ユーザインタフェースを備えるユーザー端末を含む超臨場感テレワークシステムを開発(図 1.10.2)し、実際のオフィスにおいて長期間使用する実証評価を行った。

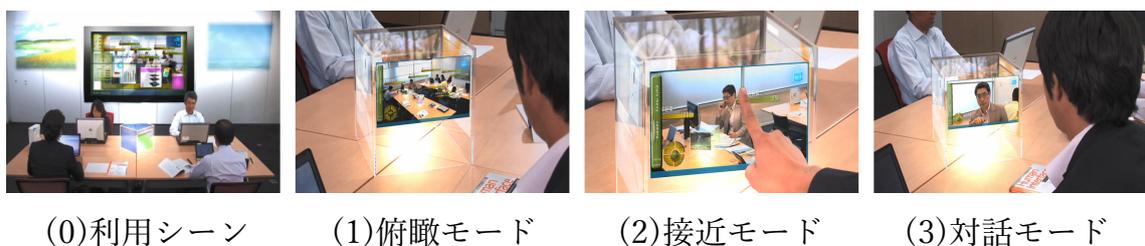


図 1.10.1 超臨場感テレワークシステムの実現イメージ[41]

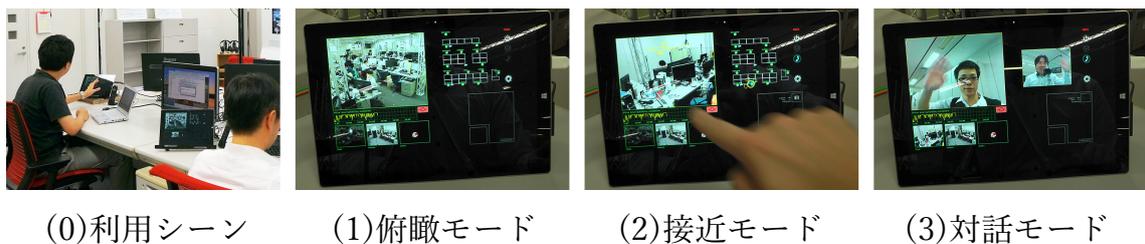


図 1.10.2 実際に開発した超臨場感テレワークシステム

テレワークシステムの人間工学的側面を主題として取り上げた本研究では、特に超臨場感テレワークシステムの新しいユーザインタフェースを構成するいくつかの要素機能についてデザイン（企画設計）の方針とユーザー評価実験の結果を示す（第2～4章）。さらに、同システムの実証評価の実験結果についても報告する（第5章）。なお、紙幅の都合上本論文内では取り上げなかった超臨場感テレワークシステムのユーザインタフェース以外の機能（特に位置情報連動型マルチメディア情報配信サーバ側の処理機能）の詳細については、文献[42][43][44]などを参照されたい。

### 1.11 既存の遠隔コミュニケーションシステムとの相違

遠隔コミュニケーションシステムを提案する既存研究は、前述した協調の次元階層モデルのコラボレーションやコミュニケーションの段階における支援を主体としたものが多く[45]、アウェアネスの段階における支援に主眼を置いた情報通信システムの研究は非常に少ない（たとえば、近年の商品事例であるテレプレゼンスシステム“窓”[46]も、主としてコミュニケーションやコラボレーションの段階で使用されることが想定された遠隔コミュニケーションシステムである）。アウェアネス情報の日常共有を志向したシステム研究の代表事例として、海外では“Portholes”（Dourish et al., 1992）[23]、日本では“e-office”（榎原ら、2002）[47]等のシステムが知られているが、それらは本論文著者らの超臨場感テレワークシステムと比較していくつかの相違点がある。第1に、遠隔地の映像を撮る視点数が、“Portholes”や“e-office”は1台のカメラによる単一視点映像であるのに対し、超臨場感テレワークシステムは複数台のカメラを用いた複数視点映像であり、超臨場感テレワークシステムの方がより多様な視点で遠隔地の状況把握を行うことができる（視点数による効果の差は本論文4.2節参照）。第2に、遠隔地の映像の更新頻度（フレームレート）が、“Portholes”は10分間に1回、“e-office”は早くても毎秒2フレーム、遅い場合は1分間に1フレーム

という断続的な映像であり、対して超臨場感テレワークシステムはリアルタイム映像（毎秒 10 フレーム以上）で被写体人物の細かな状況把握を行える（これは“Portholes”や“e-office”の研究が行われた 20 世紀末には現代のように通信速度数十～数百 Mbps の常時接続インターネット環境が社会普及していなかったことにも起因するだろう）。第 3 に、遠隔地の映像の表示様態が、“Portholes”や“e-office”は各人物別にグリッド状に区切られた表示でオフィスの物理空間性の情報が消失しているため、遠隔オフィスの場の全体的状況を把握するのが困難である。その他、新しいユーザインタフェースの搭載により、遠隔オフィス映像の中で好きな視点から俯瞰～接近状態の映像・音声を容易な操作で取得できる点、アウェアネス情報が伝達されたことを新しい通知機能により遠隔地の相手にも伝えられる点なども超臨場感テレワークシステムの優位点である（超臨場感テレワークシステムの諸要素機能と効果の詳細は本論文第 2～5 章参照）。

また、近年の動向として、アウェアネスの伝達支援研究は 21 世紀に入っても特に興隆の様相は見られなかったが、プライバシーに配慮し日常の実写映像ではなくデフォルメ化させたアウェアネス情報を伝達する研究が増えてきている。たとえば、テレワーカーのセンサ情報に対応して光の色を変化させる LED 照明型端末“SHOJI”（Shuzo et al., 2009）[48]やサーボモーターで身体が動く観葉植物型ロボット“tele plant”（長谷川ら、2013）[49]などである。しかし、これらの端末は人の在／不在や身体の単純な姿勢・動き程度の情報を表現し、プレゼンスから非常に低次元のアウェアネス情報までしか伝達できない。相手が話しかけてもよい状況であるかどうかや業務作業の繁忙状況などは複雑で高次元のアウェアネス情報であると著者は考えている。そこで、超臨場感テレワークシステムでは実写映像を採用して高次元のアウェアネス情報を伝達するが、一方で映像閲覧者の存在を伝え一方的な閲覧行為を防ぐ通知機能（第 2・3 章）の搭載や映像解像度を小さくするための評価実験（第 4 章）などによりプライ

バシーへの配慮も行っており、近年のデフォルメ化させたアウェアネス情報を伝達する他の研究との差異となっている。

以上の相違により、“Portholes”や“e-office”などの既存研究システムと比較して、超臨場感テレワークシステムはユーザーが豊富なアウェアネス情報を遠隔取得（共有）し易くなっている。

## 1.12 第1章のまとめ

本章では、本研究の背景として、まず COVID-19 下で普及が促進されたテレワークに関する多くの社会調査においてコミュニケーションが上位課題になっていること、次にその課題の主要因は遠隔会議の情報伝達度が対面環境よりも劣ることではなく、特に会議以外の日常的・非計画的（インフォーマル）なコミュニケーションに関して従来の電話や会議システムにはアウェアネスの情報を伝達する機能が備えられておらず、遠隔の相手の状況がわからないため話しかけが難しくなるという点にあるということ、最後に解決手段としてアウェアネスの伝達機能を有する超臨場感テレワークシステムの概要について述べた。

## 1.13 本論文の研究目的および章構成

本論文の研究目的は、アウェアネスの情報を効果的に伝達できる諸要素機能を備えた新しいテレワーク支援システムを創出し、同システムを利用することにより、テレワーク環境においても同僚との日常的なコミュニケーションやつながりが失われずに促進される効果を実証的に示すことである。

本論文は、序論である本第1章を含め、全6章で構成される。

第2・3章では、超臨場感テレワークシステムでアウェアネス情報を取得されコミュニケーションの開始を受ける側（話しかけられる側）のユーザーに向けた機能であるアウェアネス通知機能のデザインと評価実験の結果について述

べる。第2章では聴覚的および視覚的な情報提示の基礎について検討し、第3章では応用として視覚的な情報提示の条件をさらに詳細に検討した。

第4章では、超臨場感テレワークシステムでアウェアネス情報を取得しコミュニケーションの開始を行う側（話しかける側）のユーザーに向けたユーザインタフェースの諸要素機能のデザインと評価実験の結果について述べる。具体的には、視点操作ユーザインタフェース“Halo-UI”の提案、複数視点映像の提示効果、ズーム映像の提示効果、接近モード遷移時の映像ズーム速度の要件、テレワーカーの人物映像解像度の要件、感情推定AIの推定情報を人物映像に付帯提示する機能の効果などを評価実験を含め検討した。

第5章では、第2～4章で述べたテレワークシステム用の機能群の要素を統合して搭載させた超臨場感テレワークシステムを実オフィス内に構築し、長期間利用した3種類の実証評価でその有効性を確認した結果について述べる。

第6章では、本論文に記した研究の成果を総括し、今後の課題と展望について述べる。

以上の構成で、超臨場感テレワークシステムによりアウェアネス情報を共有できることで、遠隔会議のようなフォーマル・コミュニケーションではなく、テレワーク環境にある職場の日常におけるコミュニケーション（インフォーマル・コミュニケーション）が促進されるという仮説を本論文で検証する。

## 第2章 テレワークシステムの通知機能Ⅰ：周辺視野への視覚的な動きと音による情報提示が気づきやすさと作業集中性に及ぼす影響

本章は、下記の原著論文を中心に未発表内容を加えて構成したものである。

[50] 深澤伸一, 下村義弘 (2017). 周辺視野への視覚的な動きと音による情報提示が気づきやすさと作業集中性に及ぼす影響, 人間と生活環境, 24(1), pp.1-10.

### 2.1 目的

第1章で述べた通り、本第2章では、超臨場感テレワークシステムでアウェアネス情報を取得されコミュニケーションの開始を受ける側（話しかけられる側）のユーザーに向けた機能であるアウェアネス通知機能のデザインと評価実験の結果について述べる。アウェアネス通知は、アウェアネス情報を取得されている側のユーザーへ同情報の取得が発生した（同情報を取得するユーザーが現れた）ことを通知する機能であり、話しかけられる側のユーザーがコミュニケーションの開始を受ける準備態勢をつくることを企図している（併せて、一方的な閲覧行為によるプライバシー侵害感の低減効果も期待できる）。本章ではその機能仕様の基礎的検討として、聴覚的（報知音）および視覚的（周辺視野での動き情報）の提示方式の効果検証を行った。

### 2.2 背景

現代人は、他者と関わるコミュニケーションに費やす労力と個人で担う作業の遂行に費やす労力のバランスをうまく取ることを、これまでになく求められている。前者のコミュニケーションでは、近年の情報通信技術の発展によるス

スマートフォン等の携帯型情報端末と電子メールや SNS (Social Networking Service) 等のサービスの普及が私たちの生活に常時的なコミュニケーション環境をもたらしたことが、大きな変化要因として挙げられる。後者の個人で担う作業では、ワークライフバランスや労働生産性の観点から、業務作業の精神的集中性を上げる事等による仕事の効率化が社会的に強く求められているという側面がある。たとえば、作業中に中断 (Interruption) が発生する状況は、中断がない条件よりも作業パフォーマンスを有意に低下させ、鬱陶しさや不安感を作業者に与えることが確認されている [51]。

超臨場感テレワークシステムは、離れた協働環境で失われがちなウェアアネス情報を遠隔相互伝達することを特長とし (第 1 章)、多彩な視点映像を用いた遠隔地の相手人物のウェアアネス取得機能 (第 4 章) と、それに対応するウェアアネス通知機能 (第 2・3 章) を備える。通知 (Notification) は、ある作業に取り組んでいるユーザーに付加的な別の情報を提示する機能 [52] である。ウェアアネス取得機能は遠隔地映像のズームや視点切替操作によって話しかけたい相手への仮想的な接近の操作と拡大された映像の取得を行えるが、一方で接近されている相手にも同操作が発生したことをインタラクティブに知らせる必要がある。同室環境において自身へ近づいてくる人物の姿を自然に視認し気づくように、テレワークシステムのウェアアネス通知も仮想的な接近の度合いに応じて提示の気づきやすさ (注意喚起効果) が段階的に高くなるように機能制御されることが望ましい。しかし、ディスプレイ上で通知情報の提示領域とされやすい視野周辺部における気づきやすさの認知特性を、応用的に中心視野で行う作業への影響も含めて体系的に検討した既存知見は少ない。

著者らは上記のウェアアネス通知の設計要件として、ユーザーの周辺視野へ提示することに加え、その動き (アニメーション) の様態を制御することを特長として考えた。提示様態の操作要素として色や形ではなく動きに着目したひとつの理由は、ヒトの視覚特性として周辺視は形や色の知覚能が中心視と比べ

て低い反面、動きの知覚能は周辺視の方が高い[53][54]ためである。もうひとつの理由として、動きは高度な意味伝達性を付与できる可能性を有するためである。Heider et al. (1944) [55]は、単純形状の図形を用いたアニメーション作品によって、動きの要素だけでも社会性などの高度な意味情報を表現できることを示しており、動きをもった通知はその様態のみで意味情報、テレワークシステムであれば相手の仮想的な接近、をユーザーに伝達できる可能性がある。

本研究の関連研究として、周辺視野への視覚的な動き様態を伴う通知情報提示の影響をタスクパフォーマンスの側面から検討したものがあ (Maglio et al., 2000 ; 三好ら、2006 ; McCrickard et al., 2003 ; Somervell et al., 2001 ; 吉田ら、2013) [56][57][58][59][60]。これらの関連研究では、中心視野における継続的な精神作業課題と周辺視野における複数種類の動き様態刺激の断続的な出現への認知課題という二重課題を課し、動き様態の差異と両課題の成績間の関連性を検討している。しかし、これらの研究では実験結果に一貫性のある傾向が見られないという問題がある。たとえば、直線移動という動き様態刺激の効果について、Maglio et al. (2000) では水平方向と垂直方向で異方性は見られなかったが、三好ら (2006) では水平より垂直方向の方が優れた成績を示した。McCrickard et al. (2003) では Maglio ら (2000) で確認された動きの種類による中心視野での作業成績への影響の有意差が見られず、さらに Somervell et al. (2001) は McCrickard et al. (2003) と類似性が高い作業課題を採用したにもかかわらず動きの種類による周辺情報への反応時間の差が有意でなくなった等、従来の研究間で共通・普遍的な法則性が示されていない。当問題の一因として、上記の研究では評価に用いた指標が作業成績という行動指標のみであり、一面的な影響要素しか評価されていない点が懸念される。近年重視されている User Experience の観点からは、心理指標として主観的な効果も併せて評価する必要があるだろう。また、通知の様態として用いられることの多い報知音を加えることによる影響も併せて評価した。複数種類の指標による多面的な評価によ

り、単一指標を用いた従来関連研究の一貫しない結果の要因にも新たな解釈を行える可能性がある。

本研究は、複数種類の動き様態を付与した周辺視野の情報提示への気づきやすさと中心視野での知的作業効率の関係性について、心理指標と行動指標を併せた評価により総合的な検討を行うことを目的とした。心理指標を加えることにより動き様態による意味の伝達性についても評価が可能となり、また、行動指標についても反応時間や閲覧回数等の計測項目を加え関連研究より多様な観点での評価を行うことを特徴とする。

## 2.3 方法

実験参加者に、中心視野で継続的に暗算作業を行うメインタスク（知的作業課題）と周辺視野への動き提示刺激に反応するサブタスク（気づき課題）からなる二重課題を実施させ、動きの種類による効果の違いと相互作用性を心理指標および行動指標により評価した。動き提示刺激は瞬時、透出（フェード）、拡大の3種類とし、音刺激の同時提示の有無を組み合わせた。

### 2.3.1 実験参加者

健常な裸眼または矯正視力（0.7以上）と聴力を有する日本人の大学生9名が実験に参加した。性別は男性3名および女性6名、平均年齢は21.9（±SD 0.6）歳であった。本実験では視覚刺激を周辺視野に提示するため、視力矯正者は視野範囲が制限される眼鏡ではなくコンタクトレンズを着用して実験に参加した。また、本実験参加者は報酬として5,000円が支払われる条件で実験に参加した。

### 2.3.2 実験環境

実験環境の説明図を図2.3.2.1、実験風景の一例を図2.3.2.2に示す。刺激提示装置として2台の液晶ディスプレイとスピーカー、実験参加者の入力装置としてマウスを高さ70cmの机の上に設置した。実験参加者の正面に設置された1台目のメインディスプレイAはノートPCに予め備えられたものであり（12.5 inch、

1366 x 768 px、in ThinkPad X220t)、現代のオフィスワークにおける PC を用いた一般的な VDT 作業環境を模擬したものである。また、実験参加者の右側水平 45 度の方向に設置されたサブディスプレイ B (10.1 inch、1024 x 600 px、CL1012MT) は、テレワークシステムのユーザー端末、または各種の通知情報やオフィスワークに関連する周情的情報を提示するような情報提供端末を想定したものである。外付けのスピーカー (MM-SPU5BK) はサブディスプレイ B の機器上部に取り付け、さらにその上部に、実験参加者のサブディスプレイ B 閲覧の回数 (後述) を計測するためのビデオカメラ (HDC-TM750) を設置した。マウスは有線光学式の汎用的な機器 (IntelliMouse Optical) を使用した。なお、メインディスプレイ A およびサブディスプレイ B の設置位置は、実験参加者の視距離がともに約 50 cm になるように調整された。

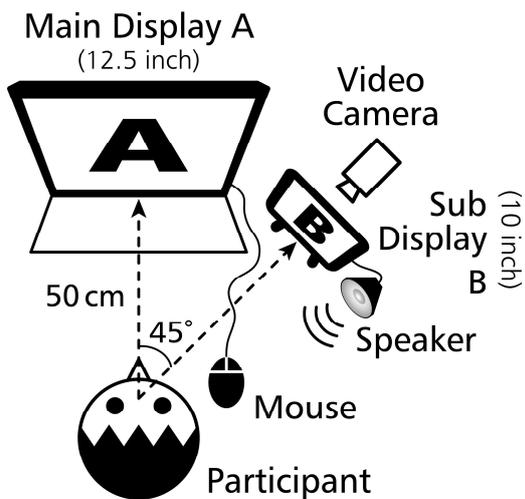


図 2.3.2.1 実験環境

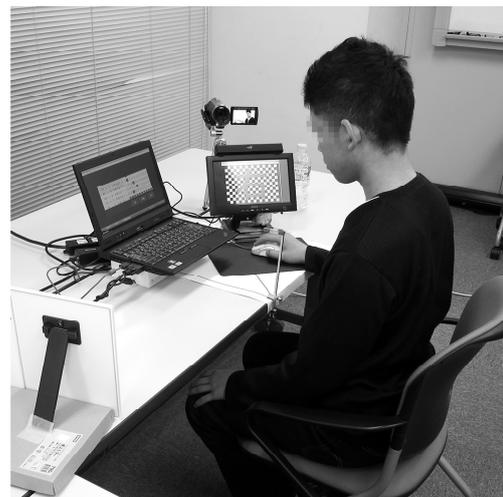


図 2.3.2.2 実験風景

### 2.3.3 実験材料

実験は二重課題で設計され、実験参加者に同時遂行させる以下の 2 種類の作業課題が用意された。

ひとつめの知的作業課題は、メインディスプレイ A の画面下方から上方へ向かって連続してスクロール表示される 2 桁 ÷ 1 桁の数値の除算式について各式

の 1 桁の剰余値を暗算で求め、各式右側の 0~9 の数値ボタンをマウスクリックして回答させるものであった (図 2.3.3.1(a))。除算式のスクロール表示速度は 20 pixels (視角約 0.46 度) / 秒で、ひとつの除算式は現れてから約 17 秒間で画面外へ消失した。暗算がスクロール速度に間に合わない場合は何行か除算式を飛ばして画面下部の式から解き直しても構わないことを実験参加者に教示した。除算式は 1 条件につき計 73 問あり、各除算式の提示順序は実験参加者および後述の実験条件毎にランダムに変更された。

ふたつめの気づき課題は、サブディスプレイ B に表示される白黒の市松模様の背景画像上に、およそ 10 秒間隔で 1 条件につき計 20 回、濃度 50% の灰色で漢字の「左」もしくは「右」のどちらかの動き文字刺激が 3 種類の異なる条件の動き様態を伴って 800 ミリ秒間表示 (図 2.3.3.1(b)) されたことに気づいて視認できた場合に、その表示文字を回答させるものであった。左右文字は、互いに字形が似ており判別のためにはしっかりと視認しないといけないこと、回答ボタンの左右位置と合わせることで刺激反応適合性により回答反応自体の認知負荷を低減する目的で採用した。また、左右文字を白黒市松模様背景上に濃度 50% 灰色で表示することにより、文字出現による画面の平均輝度に変化が起これず動きのみを変動要素に設定できた。3 種類の動き条件は、瞬間的に出現し 800 ミリ秒間同じ表示を続ける「瞬時」条件、出現時に 300 ミリ秒間かけて 0~100% まで徐々に表示濃度が上がり (フェード) その後 500 ミリ秒間同じ表示を続ける「透出」条件、出現時に 300 ミリ秒間かけて 0~100% まで徐々に表示サイズが大きくなりその後 500 ミリ秒間同じ表示を続ける「拡大」条件であった。なお、上記の刺激提示時間は、様々な提示時間長で予備実験を行い、文字表示に気づく確率が 0% もしくは 100% になってしまうことが少なかった条件値として選択した。透出および拡大条件は、被接近感の意味情報の付与、すなわち誰かが近づいてくる感覚を与えるメタファー的表現を企図して条件に設定した。動き文字刺激のサブディスプレイ B 上の表示サイズは約 9 x 9 cm で、視角

にして約 10 度であった。実験参加者は、文字表示の出現に気づくことができ内容を視認できたら、メインディスプレイ A の画面下部に表示された「左」「不明」「右」ボタンのうち対応するものをマウスクリックして回答を行った。「不明」ボタンは、文字の出現には気づいたが内容まで視認できなかった場合に選択回答するように実験参加者に教示した。実験参加者の頭部はあご台等による動作制限は特には設けず、次節で述べるように教示（知的作業課題の方を優先）によって通常は中心視野がメインディスプレイ A、周辺視野がサブディスプレイ B に誘導されるようにし、文字刺激が出現したと思った時のみ視線または頭部を動かして中心視野をサブディスプレイ B へ向けられるようにした。さらに、動き文字刺激の提示に合わせ、文字の出現と同時に音刺激が提示される条件も併せて設けた。音刺激は、報知音に関する日本工業規格 JIS S 0013 (2002) [61] と JIS S 0014 (2003) [62] を参考に作成した周波数 2000 Hz、提示時間 500 ミリ秒間、音圧レベル 60 db(A) の純音であり、動き文字刺激の出現と同時にスピーカーから提示した。上記の作業課題・刺激提示・反応計測用のソフトウェアは Flash Professional CS5.5 を用いて作成され、PC (ThinkPad X220t、Windows7 32bit) 上で実行された。

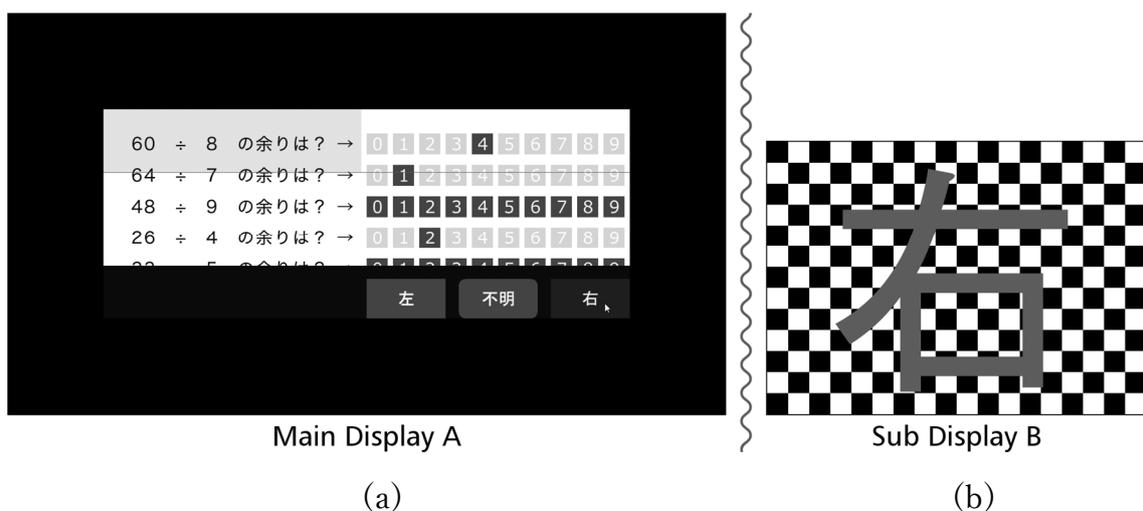


図 2.3.3.1 二重課題中の画面例

#### 2.3.4 実験手続き

本実験は、動き様態 3 条件（瞬時／透出／拡大）の視覚要因と報知音提示有無 2 条件（あり／なし）の聴覚要因による被験者内二要因実験計画でデザインされ、3 x 2 の計 6 条件が設定された。

手順として、実験参加者はまず、実験実施者から実験の内容説明を受け参加の同意を行ったあと、「並行して行うふたつの課題作業のうち、知的作業課題の方が主となるメイン作業であり、視野の中心は基本的にメインディスプレイ A に向けておくこと。ただし、視野の端のサブディスプレイ B に文字が提示されたことに気づいた場合はいったん知的作業課題を中断し、必ず気づき課題への回答を行ってからメインの知的作業課題に戻ること」「サブディスプレイ B に表示される『左』もしくは『右』文字はランダムな時間間隔と順序で提示される」という情報を含む教示を受けた。続けて、実験参加者は上記 6 条件内の複数条件の刺激が含まれた練習試行を行ったあと、休息時間を挟みながら全 6 条件を実施した。6 条件の順序は実験参加者間でカウンタバランスがとられた。各条件の実施に要する時間は約 220 秒間であり、各条件の試行終了毎に 3～5 分間の休息時間を設けその間に実験参加者は直前の条件に対する主観評価を行なった。さらに、全 6 条件の試行終了後、実験実施者により、実験全体の感想について実験参加者に自由回答形式のデプスインタビューが行われた。すべてを通した実験時間は約 1 時間であった。

#### 2.3.5 測定項目と分析方法

前述の視覚要因 3 条件×聴覚要因 2 条件による被験者内二要因計 6 条件（瞬時音無、瞬時音有、透出音無、透出音有、拡大音無、拡大音有）について、以下の項目を測定および算出した。

- ・知的作業課題回答率 [回答数／除算式通過総数]
- ・知的作業課題正答率 [正答数／回答数]
- ・気づき課題認知率 [正答数／動き文字提示総数]

- ・気づき課題反応時間 [動き文字刺激の画面表示開始から実験参加者のボタン正答入力までの時間]
- ・気づき課題無用閲覧回数 [実験参加者が刺激提示のない時にサブディスプレイ B の画面を見た回数 (ビデオカメラ映像を基に閲覧動作回数を算出)]
- ・主観評価 [以下の 6 項目について、項目①は「非常に気づきにくい～非常に気づきやすい」の双極性 6 段階、②～⑥は「全くない～ある」の単極性 4 段階の Likert scale で回答]: ①サブディスプレイの文字提示への気づきやすさは? (以下「気づきやすさ感」) ②サブディスプレイの文字提示は鬱陶しく感じましたか? ③サイン音の提示は鬱陶しく感じましたか? ④メインディスプレイにおける暗算作業への集中しやすさは? (以下「集中しやすさ感」) ⑤文字やサイン音の提示によって「自分に向かって何かが接近してくる感覚」はありましたか? (以下「被接近感」) ⑥暗算作業中に疲労感を感じましたか?

上記項目の測定値について、二元配置反復測定分散分析 (被験者内視覚要因 3 条件×聴覚要因 2 条件) と条件間での多重比較 (Bonferroni 法) を実施し、さらに一部の項目間では相関分析 (Pearson の積率相関) を実施した。なお、 $p < .05$  を統計的に有意、 $p < .10$  を有意傾向ありと判断した。

## 2.4 結果

周辺視野への情報提示における動きの効果について、サブディスプレイでの情報提示への気づきやすさ、メインディスプレイでの作業集中度への影響、気づきやすさと作業集中度間の関係性、意味の伝達性の観点で統計的有意性が認められた結果を以下に示す。

### 2.4.1 気づきやすさ

各条件の気づきやすさについて、図 2.4.1.1 に気づきやすさ感、図 2.4.1.2 に気づき課題認知率の結果を示す。二元配置反復測定分散分析の結果、両項目ともに 1%水準の有意な交互作用が認められた (気づきやすさ感、 $F(2,16) = 10.12$ 、

$p = .001$  ; 気づき課題認知率、 $F(2,16) = 22.18$ 、 $p < .001$ ) ため、単純主効果の検定 (多重比較) を実施した。

まず、気づきやすさ感 (図 2.4.1.1) について、音提示の効果は、瞬時、透出、拡大条件ともに音無と音有条件間で有意な差が認められ (瞬時音無 - 瞬時音有 :  $p < .001$ 、透出音無 - 透出音有 :  $p < .001$ 、拡大音無 - 拡大音有 :  $p = .017$ )、視覚要因の様態にかかわらず音提示があった方が有意に気づきやすさ感が高かった。さらに、気づきやすさ感の音無または音有条件下での比較の結果、瞬時音無および透出音無と拡大音無条件間で有意な差が認められ (瞬時音無 - 拡大音無 :  $p = .024$ 、透出音無 - 拡大音無 :  $p = .024$ )、音無条件下では拡大条件が瞬時および透出条件よりも有意に気づきやすさ感が高く、また拡大条件のみが「気づきやすい」という正方向の主観評価値となった (音無条件下の瞬時および透出条件は気づきにくいという負方向の評価値)。なお、音有条件下では瞬時、透出、拡大条件間に有意な差は認められなかった ( $p > .10$ )。

次に、気づき課題認知率 (図 2.4.1.2) について、音提示の効果は、瞬時と透出条件において音無と音有条件間で有意な差が認められ (瞬時音無 - 瞬時音有 :  $p = .041$ 、透出音無 - 透出音有 :  $p < .001$ )、拡大条件以外の瞬時および透出条件においては音提示があった方が有意に気づきやすさ感が高かった。さらに、気づき課題認知率の音無または音有条件下での比較の結果、瞬時音無および拡大音無と透出音無条件間で有意な差が認められ (瞬時音無 - 透出音無 :  $p = .006$ 、透出音無 - 拡大音無 :  $p < .001$ )、音無条件下では拡大条件と瞬時条件が透出条件よりも有意に気づき課題の正答率が高かった。なお、音有条件下では瞬時、透出、拡大条件間に有意な差は認められなかった ( $p > .10$ )。

上記の気づきやすさ感と気づき課題認知率の間には、相関分析の結果、正の相関関係が認められ ( $r = .64$ 、 $p < .001$ )、気づきやすさに関して心理指標と行動指標の結果間に有意な関連性が認められた。

さらに、時間的な観点での気づきやすさに関して、図 2.4.1.3 に気づき課題反応時間の結果を示す。二元配置反復測定分散分析の結果、1%水準の有意な交互作用が認められた ( $F(2,16) = 10.56$ ,  $p = .001$ ) ため、単純主効果の検定を実施した。音提示の効果は透出音無と透出音有条件間でのみ有意な差が認められ ( $p = .001$ )、透出条件下では音提示がないと回答までの反応時間が有意に 100 ミリ秒以上長くなった。さらに、音無または音有条件下での比較の結果、瞬時音無および拡大音無と透出音無条件間で有意な差が認められ (瞬時音無 - 透出音無 :  $p = .001$ 、透出音無 - 拡大音無 :  $p = .006$ )、音無条件下では透出条件は拡大条件と瞬時条件よりも回答までの反応時間が有意に長くなった。

また、気づき行動の効率性に関して、図 2.4.1.4 に気づき課題無用閲覧回数の結果を示す。二元配置反復測定分散分析の結果、1%水準の有意な交互作用が認められた ( $F(2,16) = 11.88$ ,  $p = .001$ ) ため、単純主効果の検定を実施した。音提示の効果は、瞬時と透出条件において音無と音有条件間で有意な差が認められ (瞬時音無 - 瞬時音有 :  $p = .007$ 、透出音無 - 透出音有 :  $p < .001$ )、拡大条件以外の瞬時および透出条件においては音提示がないと刺激提示がない時にも無用にサブディスプレイ B を閲覧してしまう動作の発生回数が有意に多かった。さらに、音無または音有条件下での比較の結果、透出音無と拡大音無条件間で有意な差が認められ ( $p = .004$ )、音無条件下では拡大条件は透出条件よりも無用にサブディスプレイ B を閲覧してしまう動作の発生回数が有意に少なかった。

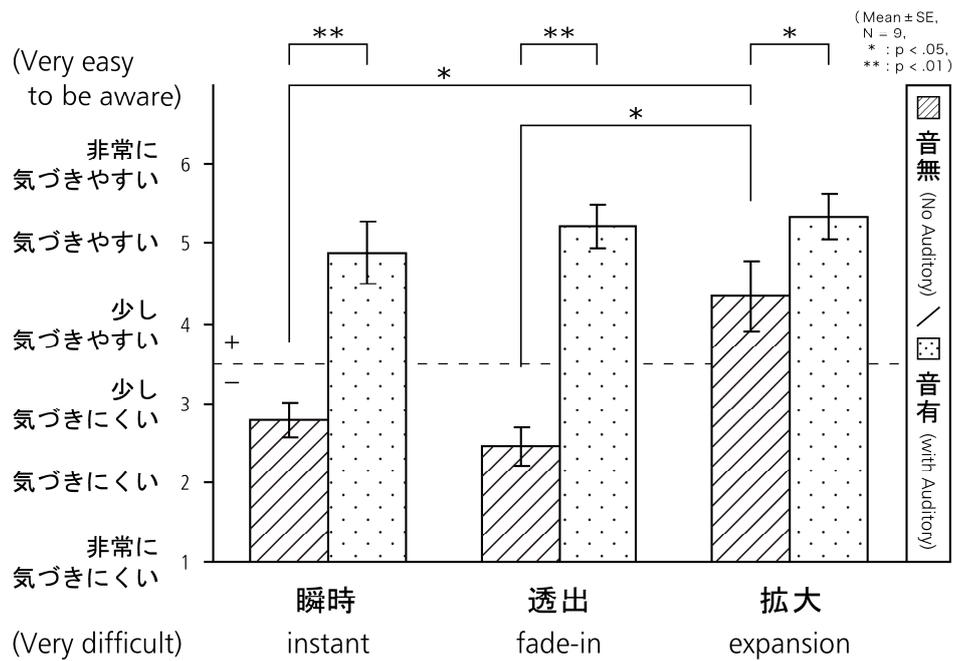


図 2.4.1.1 気づきやすさ感

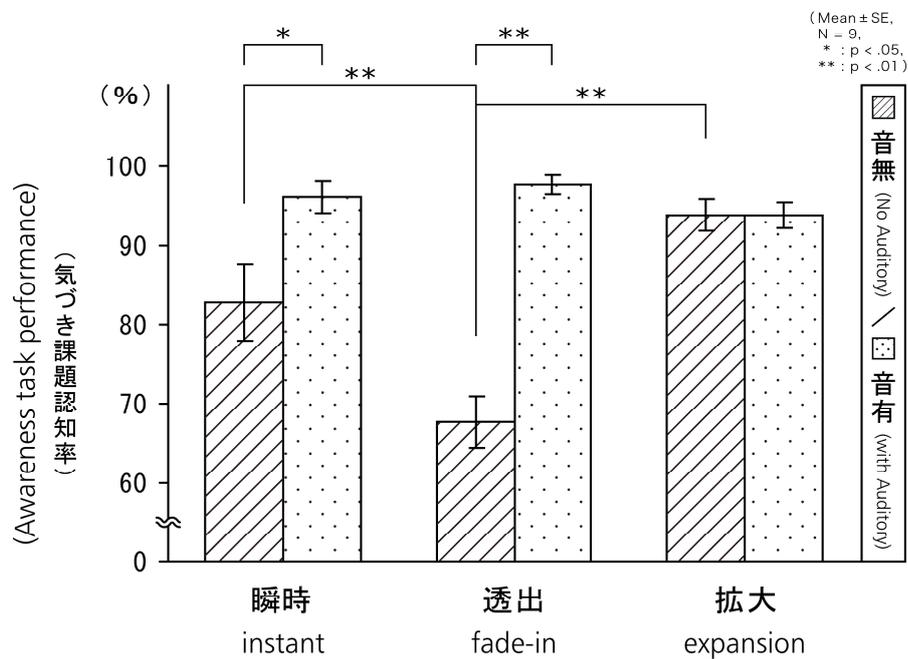


図 2.4.1.2 気づき課題認知率

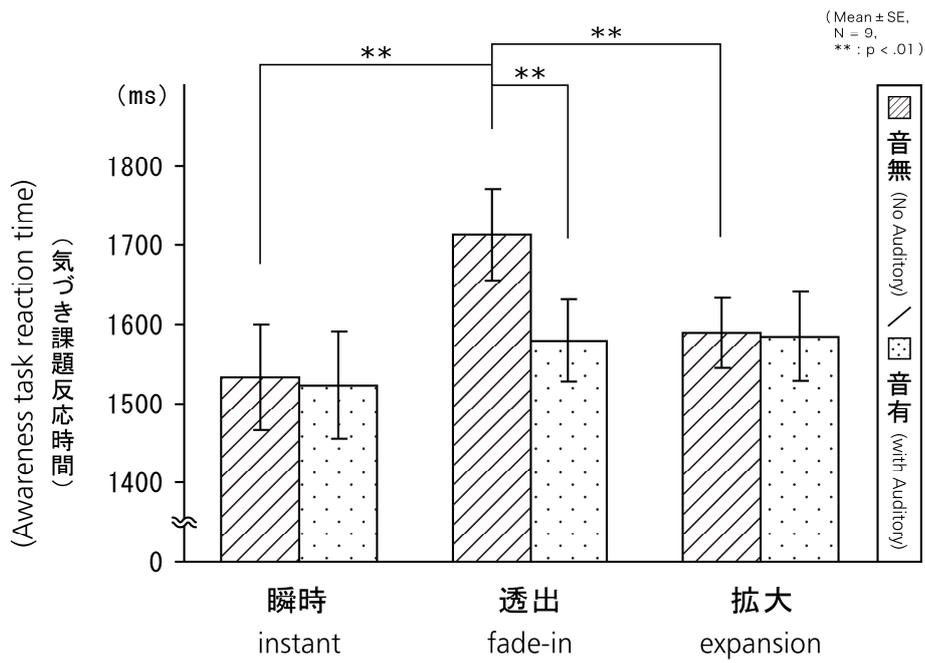


図 2.4.1.3 気づき課題反応時間

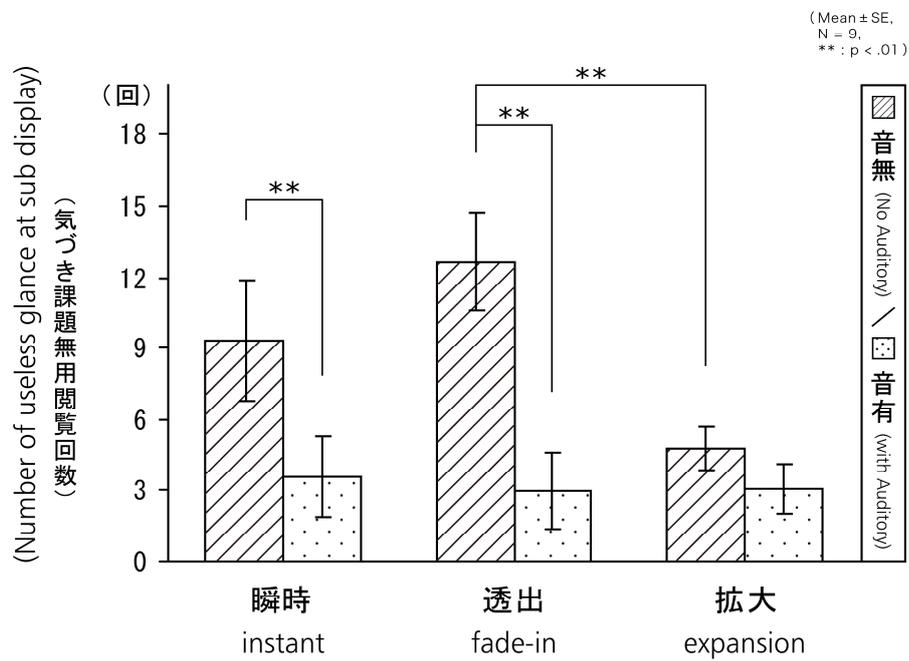


図 2.4.1.4 気づき課題無用閲覧回数

#### 2.4.2 作業集中性

各条件での作業集中性について、図 2.4.2.1 に集中しやすさ感、図 2.4.2.2 に知的作業課題回答率の結果を示す。二元配置反復測定分散分析の結果、集中しやすさ感に有意傾向 ( $F(2,16) = 2.87$ 、 $p = .086$ )、知的作業課題回答率に有意 ( $F(2,16) = 4.29$ 、 $p = .032$ ) の交互作用が認められたため、単純主効果の検定を実施した。

まず、集中しやすさ感 (図 2.4.2.1) について、拡大音無と拡大音有条件間で有意傾向の差が認められ ( $p = .051$ )、拡大条件下でのみ音有は音無よりも集中しやすさ感が小さくなった。

次に、知的作業課題回答率 (図 2.4.2.2) について、音提示の効果は拡大音無と拡大音有条件間でのみ有意な差が認められ ( $p = .008$ )、拡大条件下でのみ音有は音無よりも知的作業課題の回答率が有意に低くなった。さらに、知的作業課題回答率の音無または音有条件下での比較の結果、瞬時音無および拡大音無と透出音無条件間で有意傾向の差が認められ (瞬時音無 - 透出音無 :  $p = .064$ 、透出音無 - 拡大音無 :  $p = .077$ )、音無条件下では拡大条件と瞬時条件が透出条件よりも知的作業課題の正答率が高かった。知的作業課題正答率は、交互作用および主効果とも有意ではなく ( $p > .10$ )、全条件の平均正答率は 92.1 ( $\pm$ SD 7.3) %であった。

なお、②サブディスプレイの文字提示は鬱陶しく感じましたか？③サイン音の提示は鬱陶しく感じましたか？⑥暗算作業中に疲労感を感じましたか？の評定値は、それぞれ二元配置反復測定分散分析の結果、交互作用および主効果ともに有意ではなかった ( $p > .10$ )。

(Able to concentrate)

(Mean ± SE,  
N = 9,  
† : p < .10)

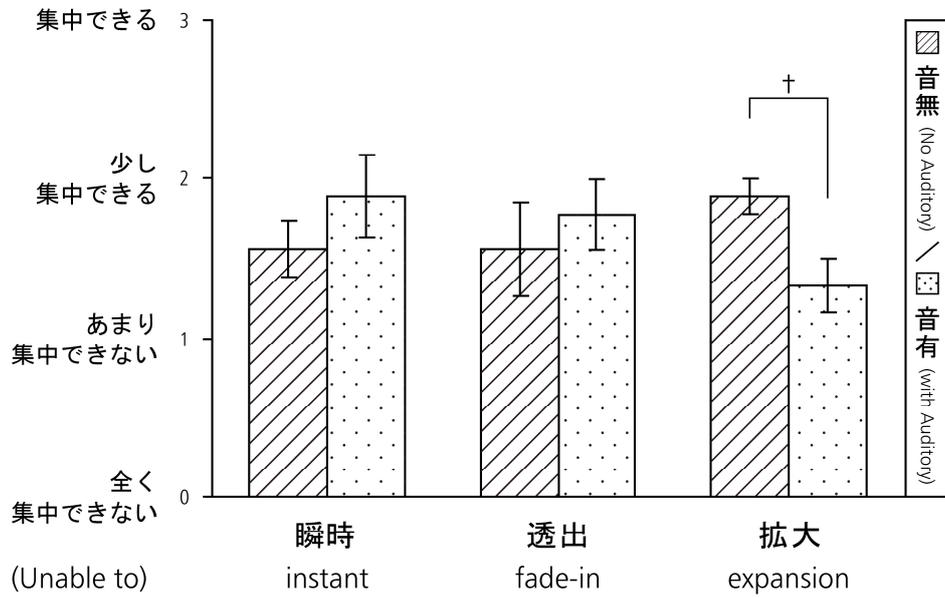


図 2.4.2.1 集中しやすさ感

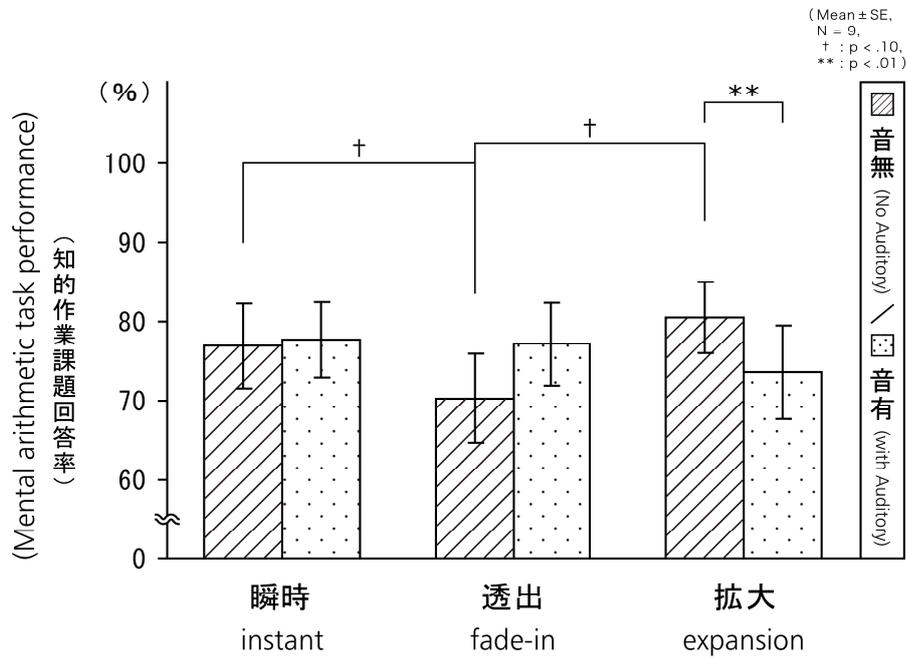


図 2.4.2.2 知的作業課題回答率

### 2.4.3 気づきやすさと作業集中性間の関係性

上述の気づきやすさと作業集中性の結果の関係性について、図 2.4.3 に気づき課題認知率と知的作業課題回答率の関係を示す。両者間の相関分析の結果、弱い正の相関関係が認められた ( $r = .38$ ,  $p = .005$ )。しかしながら、図 2.4.3 のデータ分布を見ると、音無条件群と音有条件群とで分布の傾向が異なる可能性が示唆された。そこで、音無条件群と音有条件群それぞれについて気づき課題認知率と知的作業課題回答率の相関分析を行った結果、音無条件群では有意な正の相関関係が認められた ( $r = .56$ ,  $p = .002$ ) が、音有条件群では有意な相関関係は認められなかった ( $r = .32$ ,  $p = .104$ )。両群の回帰直線 (図 2.4.3) を見ると、音有条件群は気づき課題認知率が知的作業課題回答率の値にかかわらずほとんどが 90 % 以上に分布しており、両項目間の関係性は低かった。一方で、音無条件群では気づき課題認知率が増加するにしたがって知的作業課題回答率も増加していた。さらに、音無条件群における瞬時音無、透音無、拡大音無条件の分布を見ると、気づき課題認知率と知的作業課題回答率両指標とも低い値の領域に透音無条件群、両指標とも中程度の領域に瞬時音無条件群、両指標とも高い値の領域に拡大音無条件群が多く分布しており、視覚的な動き様態の差異によって知的作業課題回答率および気づき課題認知率両者の成績に差が生じることが示唆された。

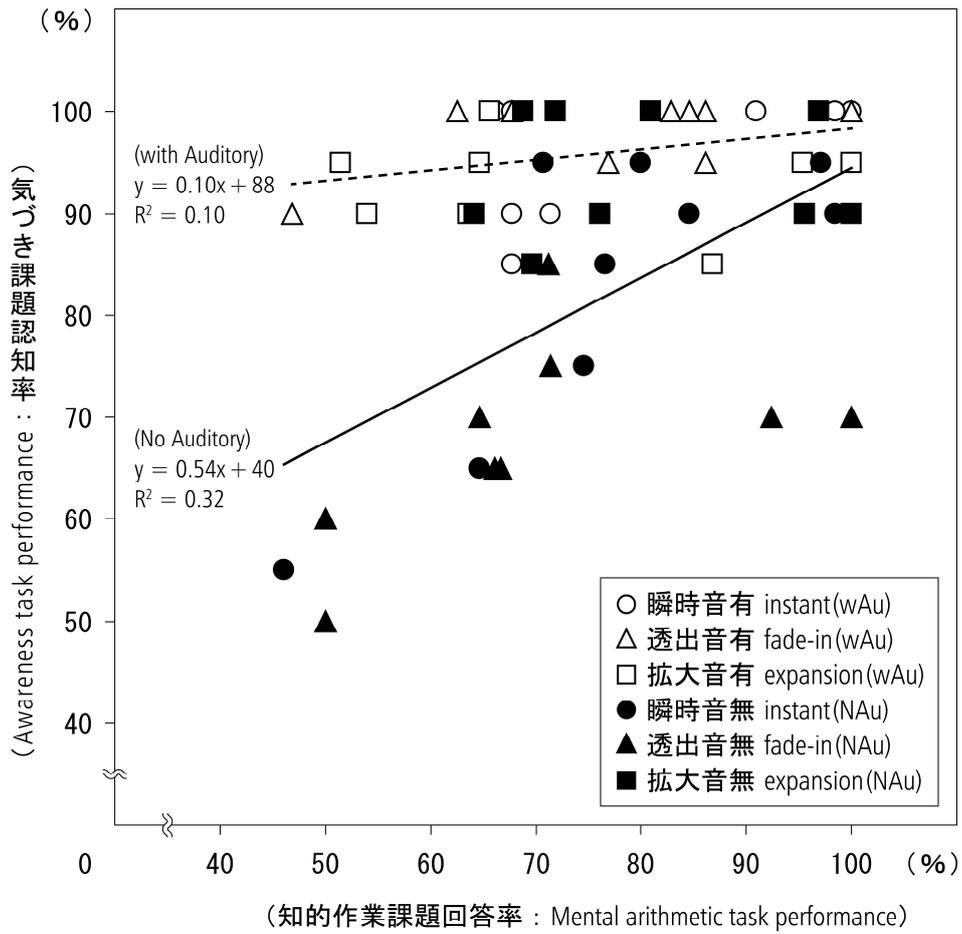


図 2.4.3 知的作業課題回答率と気づき課題認知率の関係性

#### 2.4.4 意味の伝達性

各条件における意味の伝達度合いについて、図2.4.4に被接近感の結果を示す。二元配置反復測定分散分析の結果、交互作用および聴覚要因の主効果は有意ではなく ( $p > .10$ )、視覚要因に有意な主効果が認められた ( $F(2,16) = 6.25$ 、 $p = .010$ ) ため、多重比較を実施した。拡大 (音無と音有) 条件と瞬時 (音無と音有) 条件間で有意な差が認められ ( $p = .021$ )、拡大条件は瞬時条件よりも近づかされている感覚を有意に大きく与えやすいことが明らかになった。

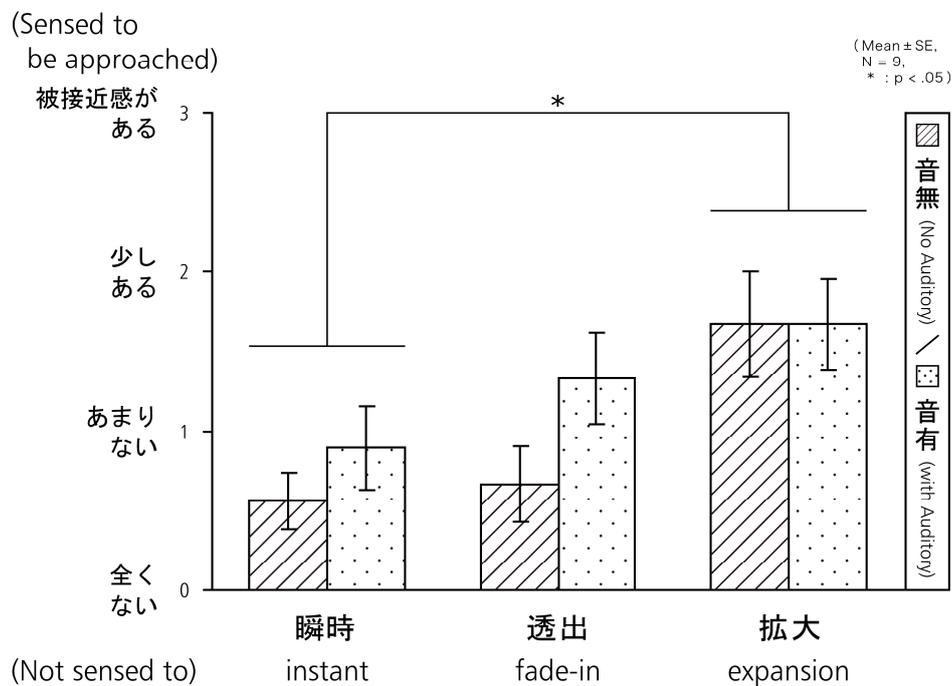


図 2.4.4 被接近感

#### 2.4.5 インタビューの自由回答

インタビューの冒頭では「あなたが体験した複数種類の実験条件の中で、通知情報を受け取りながら知的作業を行う環境として最も好ましいと感じた条件はどれでしたか？」という質問を実験参加者全員に行い、その後その条件を選択した理由を尋ねた。実験参加者の選択は、数の多い順に、拡大音有条件：4名、拡大音無条件：2名、瞬時音有条件：2名、瞬時音無条件：1名であった。最も多く選択された拡大音有条件を選んだ理由としては「通知に最も気づきやすかったため」が主に挙げられた。一方で、拡大音有条件を選択しなかった残りの5名からは理由として「音と拡大の動きはそれぞれ気づきやすいが、両者を併せて提示されると、そんなに多くはいらないと思う（瞬時音有条件選択者）」、「音は否応なしに気づかされるというか、知的作業へ集中していた意識を持っていかれて邪魔される感がある（瞬時音無条件選択者）」、「音は鬱陶しいな、と感じた。拡大の動きの方が提示されていてストレスが少ない感じ（拡大音無条件選択者）」等の意見が挙げられ、拡大音有条件は気づきやすさを利点として挙げる者が多い一方、気づきやすさが過剰となり鬱陶しさや作業妨害性を感じる者も一定数いることがわかった。

また、本実験では動きの種類が複数あることは実験開始前に実験参加者に伝えていたが、具体的にどのような動きがあるかは教えず、実験後の当インタビュー時に「何種類の動きがあったか？」を尋ねた。結果、「瞬時」「拡大」の2種類は9名全員が挙げられたが、透出を挙げられた者はひとりもいなかった（その際に透出条件の表示をあらためて中心視野で見せると「このような表示条件があるのには気づかなかった」と皆答えた）。すなわち、周辺視野では瞬時と拡大表現は意識的にその様態が認知されるが、透出表現は認知されないことが明らかになった。

さらに、図 2.4.5 はある実験参加者が拡大表現の様態をインタビュー中に説明する際の補助として手描きしたスケッチの例である。図の左から順に拡大して

いくプロセスが表されているのだが、その間の変化は「シュワシュワと渦巻きが回転しながら大きくなっていき最後に文字に変わる」と述べた。実際の刺激は渦巻き表現などはなく文字が単純に拡大されていたのであるが、これは拡大表現が中心視とは異なる周辺視独特の認知処理規則で視知覚された可能性を示す興味深いデータといえる。



図 2.4.5 拡大条件刺激の周辺視による認知表象  
を示した実験参加者のスケッチ例

## 2.5 考察

本実験では、周辺視野における複数の動き様態を付与した情報提示の気づきやすさ、中心視野での知的作業効率への影響、気づきやすさと知的作業効率の関係性、動きによる意味の伝達性の効果について検証した。

実験結果より、まず、周辺視野の情報提示への気づきやすさでは、音無条件において拡大条件が気づきやすさ感(心理指標)・気づき課題認知率(行動指標)ともに透出や瞬時条件よりも有意に気づきやすく、心理指標と行動指標間での有意な正の相関関係が認められた。また、音有条件は動きの種類に関係なく非常に高い気づきやすさとなり、聴覚的な情報提示は気づきやすさの点では有効であることが示された。Maglio et al. (2000) [56]では音提示を付与した条件は視覚刺激のみの条件と比較して周辺提示情報への情報認知度に有意な効果は見られなかったが、彼らは周辺情報への気づきやすさを各条件の終了毎に事後記憶回答させるという間接的な計測方法を採用している。この方法では、たとえ提示情報に多く気づいていても、記憶課題における忘却の効果が作用してしま

う可能性が高い。その点で、通知に気づいた時点での即時的な行動反応および条件終了直後に主観的な印象回答を求める本研究の方が直接的な計測となっており、気づきやすさの結果を反映する評価指標としては妥当性が高いと考えられる。McCrickard et al. (2003) [58]や Somervell et al. (2001) [59]の一貫性を欠く結果についても、彼らが実験タスクとして採用した作業課題が数十秒間にも及ぶ長い計測時間の幅であったことが問題の主要因である可能性が高く、本研究で提案した即応的な実験作業課題を用いれば通知の動きの違いによる効果の有意な差を充分検出し得ると考えられる。

音無条件の中でも拡大条件は音有条件に匹敵する高い気づきやすさを示した（気づき課題認知率では同等、気づきやすさ感では瞬時音無と透音無は負方向の評価値だったが拡大音無条件のみ音有条件と同様に正方向の評価値）。気づきやすさの他の側面での比較では、気づき課題反応時間において、透音無条件はその他の条件と比較し有意に反応時間が長く、他の動きと比較して気づきが遅くなってしまふ可能性が示された。また、気づき課題無用閲覧回数において、透音無と瞬時音無条件は情報提示がない時に無駄にサブディスプレイ B の方をチラチラ見る無用閲覧動作の回数が音有条件や拡大音無条件よりも有意に多く、逆にいえば拡大音無条件は周辺視野での気づきやすさが十分に高いため、無駄にサブディスプレイ B の方を直接見て表示の有無を確認する必要がなかったことが伺える。

次に、中心視野での知的作業効率への影響では、特に拡大音有条件での悪影響が確認された。知的作業課題回答率（行動指標）および集中しやすさ感（心理指標）ともに、拡大音有と拡大音無条件間で有意または有意傾向の差が認められ、拡大音有条件では中心視野での知的作業の遂行効率と集中しやすさ感が下がってしまうことが示された。拡大条件と音有条件はそれぞれ非常に気づきやすい条件であることから、それらを組み合わせた拡大音有条件は全条件中最も気づきやすい条件であると考えられるが、拡大音有条件に対するインタビュー

一自由回答結果を参考にすると「過剰に感じた」「鬱陶しい」「意識を必要以上に持っていかれる」などのコメントが複数あり、高過ぎる気づきやすさは負の効果をもたらす可能性もあることが示された。またこの現象は、視覚情報と聴覚情報というモダリティの異なる提示情報が認知過程で加算的に統合され知的作業の資源を奪ったり集中感への妨害に至ったりする可能性を示唆する興味深い内容であり、今後さらなる検証を進める必要があると考えられる。

続いて、気づきやすさと知的作業効率の関係性では、気づき課題認知率（気づきやすさ）と知的作業課題回答率（知的作業効率）について、音無条件群と音有条件群で分布が大きく異なり、音無条件群のみに有意な正の相関関係が認められた。さらに、その音無条件群の分布の中でも、指標値が低い群は透出、中程度の群は瞬時、高い群は拡大という条件による分布範囲の差が確認された。これは、気づきやすさが高く、かつ中心視野での作業効率遂行性も高くなるような周辺視野への情報提示（たとえば拡大表現）が可能であることを示唆する興味深い結果である。Maglio et al. (2000) や三好ら (2006) らが「トレードオフ」という語句で論じたように、従来、周辺視野の情報提示への気づきやすさと中心視野での作業効率とは負の相関関係であるという仮説が主であった。しかしながら、実際は Maglio et al. (2000) や三好ら (2006) の実験結果では両者に負の関係性は見られず、また逆に正の関係性も見られなかった。それは関係性がないということではなく、むしろ従来研究の指標選択や計測法に問題があった可能性を示す原拠のひとつであるともいえる。

動きによる意味の伝達の容易性では、動き様態から受ける被接近感の度合いは拡大条件が最も高かった。実験前の仮説では、透出条件も徐々に表示の度合いが大きくなる提示であることから被接近感を与える可能性があると考えたが、本結果では透出音無条件は瞬時音無条件と同程度の評定値にとどまった。周辺視野への情報提示による被接近感の意味伝達という観点では、透出ではなく拡大表現を用いる方がよいだろう。

総論として、通知として周辺視野に動き様態を付与した情報提示を行う場合は、「拡大」表現が瞬時や透出表現よりも気づきやすさ、作業集中性、意味伝達性のすべての観点から好ましい効果を示した。また、マルチモーダルな情報提示としてさらに音を付与した場合は、気づきやすさは非常に高くなるものの、拡大表現のようにもともと視覚的な気づきやすさが高い様態ではそれらが加算的に作用して過剰になり作業集中性を妨害する可能性が示された。音は情報伝達特性として視覚的提示と比べ空間分解能が低く、たとえばオフィスのように複数人で共同作業を行う環境では自身への音通知が周囲の他者へも提示情報（環境音）となり影響を与えてしまう恐れもあることから、音の付与は非常に緊急性や重要性が高い情報の提示時に限定するなど状況に合わせた適用を考える必要があるだろう。本実験の結果に基づき、テレワークシステムの様子見通知機能の提示様態には音無しの拡大表現を採用した。

## 2.6 第2章のまとめ

本研究では、周辺視野への瞬時、透出（フェード）、拡大の3種類の動き様態による情報提示に報知音提示の有無を組み合わせた場合の気づきやすさと中心視野での知的作業効率の関係性について、心理指標と行動指標を併せた評価により総合的な検討を行った。結果、音提示がない条件では気づきやすさと中心視野での知的作業効率にトレードオフではなく有意な正の相関関係が認められ、気づきやすさ、作業集中性、意味伝達性のすべてで拡大表現が有意に最も優れた値を示した。一方で、気づきやすさの高い拡大表現に音提示を併用した場合には、注意喚起効果の過剰化が要因と考えられる作業集中性の有意な低下が認められた。

今後の発展として、動き様態の種類を増やした比較（たとえば水平移動や縮小表現等を追加）や、生理指標（中枢神経系、自律神経系、内分泌・免疫系等）やアイトラッカーによる視線計測も加えたより総合的な評価により、ヒトの周

辺視による動きの認知に関する体系的な知見を明らかにしたい。また、その知見を基にアプリケーションにおける通知機能のアニメーション設計に関する具体性の高いガイドラインを作成したいと考えている。

なお、本研究では通知音のデザインとして JIS S 0013 と 0014 を参考にシンプルな純音を採用したが、本実験の方法論を踏襲しながら報知音のデザインを複数種類用意し条件間比較を行った応用的研究[63]（本論文著者も共同研究者として関与）も存在する。紙幅の都合上本論文には内容記載しなかったが、当該研究も本研究の関連知見として参考にされたい。

## 第3章 テレワークシステムの通知機能Ⅱ：周辺視野における通知の動きの種類が気づきやすさと作業集中性に及ぼす影響

本章は、下記の原著論文を中心に未発表内容を加えて構成したものである。

[64] 深澤伸一, 下村義弘 (2021). 周辺視野における通知の動きの種類が気づきやすさと作業集中性に及ぼす影響, 人間工学, 57(3), pp.119-128.

### 3.1 目的

第2章で行った実験では、実験時間に伴う総条件数の制約の中で報知音の有無を条件に加えたため、設定できた動きの種類が3条件にとどまったという課題があった。前述の既存研究[56][57][58][59][60]との比較のためにも、直線移動などを含めて、動きの種類数を増やした追加検証が必要である。

そこで本第3章では、音の提示条件を無くし、種類数を増やした動き様態を伴う周辺視野の情報提示への気づきやすさと中心視野での知的作業集中性の関係性について、心理指標と行動指標の両面から総合的な評価を行うことを目的とした。

### 3.2 背景

本第3章の研究背景は第2章と共通であり、3.1節で述べた通り、第2章の実験で評価対象に含めることができなかった動きの種類を実験条件に加えて比較評価を行った。なお、比較のために本第3章の実験の条件には第2章で設定した動き3条件も含まれたため、近年話題になった心理学実験の再現可能性が低い問題[65]についても、参加者の異なる本第3章の実験実施により第2章の実験結果の再現性を検証することができた（後述）。

### 3.3 方法

中心視野で連続した暗算作業を行うメインタスク（知的作業課題）と周辺視野への動き提示刺激に反応するサブタスク（気づき課題）から成る二重課題を実験参加者に実施させ、7種類の動き様態の違いによる影響の差異を心理・行動指標により評価した。

#### 3.3.1 実験参加者

健常な裸眼または矯正視力（0.8 以上）を有する日本人大学生・大学院生 20 名が実験に参加した。性別は男性 10 名と女性 10 名、平均年齢は 22.6（標準偏差 1.0）歳であった。本実験は視覚刺激を周辺視野に提示するため、視力矯正者は視野範囲が制限される眼鏡ではなくコンタクトレンズを着用して参加した。参加者には、事前に文書で実験の目的、手順、危険性、途中棄権できることおよび参加報酬（5,000 円）などについて説明し、書面にて参加の同意を得た。

#### 3.3.2 実験環境

実験環境の説明図を図 3.3.2.1、実験風景の一例を図 3.3.2.2 に示す。刺激提示装置として後述する 2 台の液晶ディスプレイ、実験参加者の入力装置としてマウスを、高さ 70 cm の机の上に設置した。実験参加者の正面に設置された 1 台目のメインディスプレイ A はノート PC に予め備えられたものであり（12.5 inch、1366 x 768 px、Lenovo ThinkPad X220t）、現代のオフィスワークにおける PC を用いた一般的な情報機器作業環境を模擬したものである。また、実験参加者の水平右側 45 度の方向に設置されたサブディスプレイ B（10.1 inch、1024 x 600 px、NEWAY CL1012MT）は、各種の通知情報の提示を想定した周辺的情報提供端末を想定したものである。なお、45 度という設置角は、20 名超が参加した周辺的情報提供端末を使用する実証実験（第 5 章）において、大多数の者が自然と 45 度前後の斜め前に同端末を置いていたことに起因する（45 度以内の正面方向の空間は主作業用のディスプレイやキーボードなどですでに占有されていることが要因として考えられる）。メインディスプレイ A およびサブディスプレ

イ B の机上設置位置は、実験参加者の視距離がともに約 50 cm になるように調整された。画面輝度はメインディスプレイ A およびサブディスプレイ B とともに白色表示部で約 100 cd/m<sup>2</sup>、環境照度は両ディスプレイ設置の机上面で約 40 lx であった。さらに、実験参加者の視野正面をメインディスプレイ A 上に統制するため、実験参加者の頭部はあご載せ台を用いて固定された。

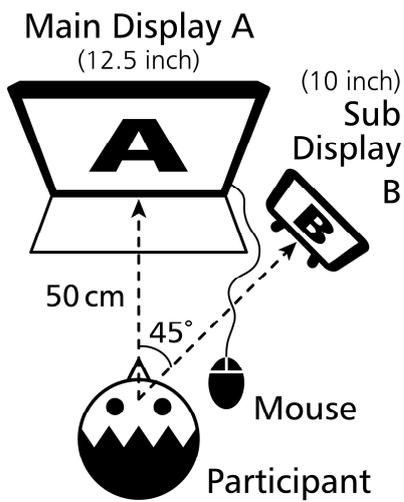


図 3.3.2.1 実験環境



図 3.3.2.2 実験風景

### 3.3.3 実験材料

実験は二重課題で設計され、実験参加者に同時遂行させるタスクとして以下の 2 種類の作業課題が用意された。

第一の知的作業課題は、メインディスプレイ A の画面 (図 3.3.3.1(a)) 下方から上方へ向かって連続してスクロール表示される 2 桁 ÷ 1 桁の数値の除算式について各式の 1 桁の剰余値を暗算で求め、各式右側の 0~9 の数値ボタンをマウスクリックして回答するものであった。除算式のスクロール表示速度は 25 pixels (視角約 0.6 度) / 秒で、各除算式は現れてから約 14 秒間後に画面外へ消失した。暗算がスクロール速度に間に合わない場合は何行か除算式を飛ばして画面下部の式から回答を再開しても構わないことを実験参加者に予め教示し

た。除算式は1条件につき計73問あり、各除算式の提示順序は実験参加者および後述の動き条件毎にランダムに変更された。

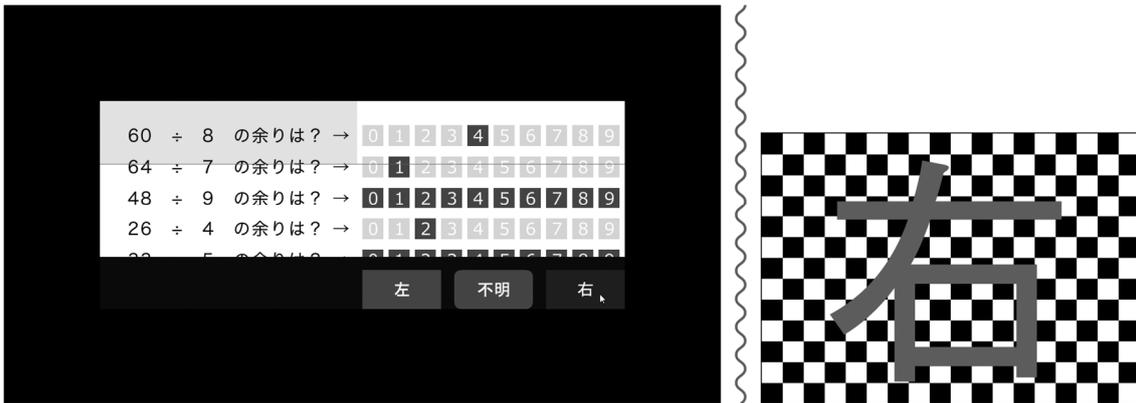
第二の気づき課題は、サブディスプレイBの画面(図3.3.3.1(b))に表示された白黒の市松模様背景画像上に黒色濃度50%の灰色で漢字の「左」もしくは「右」のどちらかの文字刺激が、後述する7種類の異なる条件の動き様態を伴って800ミリ秒間表示されたことに気づいて視認できた場合に、その表示文字を回答させるものであった。動き文字刺激のサブディスプレイB上の表示サイズは約9x9cmで、視角にして約10度であった。また、動き文字刺激の出現間隔は9~13秒間の内のランダムで、1条件につき計20回(左10回と右10回、両者の出現順はランダム)出現した。左右文字を採用した理由は、互いに字形が似ており判別のためにしっかりと視認する必要があること、回答ボタンの左右位置と合わせることで刺激反応適合性により回答反応自体の認知負荷を低減するためである。また、左右文字を白黒市松模様背景上に黒色濃度50%の灰色で表示することにより、文字出現によるサブディスプレイBの画面全体の平均輝度には変化を起さず動きのみを変動要素とした。

7種類の動き条件(図3.3.3.2)は、本研究の追加条件との比較や再現性検証の観点から先行研究[50]で採用された「瞬時」「透入」「拡大」、前述の既存研究や実際のアプリケーションの通知表現でもよく用いられている「水平」「垂直」、ウェブサイトのバナー広告や警告表現などに用いられる「点滅」、先行研究[50]で優れた効果を示した拡大の対照条件として「縮小」を選択した。現実利用されている通知の動き表現の大多数は以上の種類内に含まれていると思われる。各条件の差異は、文字刺激の800ミリ秒間表示のうち前半の300ミリ秒間における動きの部分であり、条件毎に下記の動きをした：

- ・瞬時 (Instant)：瞬間的に出現し、動き無く300ミリ秒間表示が続く
- ・透入 (Fade-in)：表示濃度が0~100%まで徐々に上がる (フェード表現)
- ・拡大 (Expansion)：表示サイズが0~100%まで徐々に大きくなる

- ・縮小 (Contraction) : 表示サイズが 100~0%まで徐々に小さくなる
- ・水平 (Horizontal) : 表示領域内の右から左方向へ等速で移動する (移動速度は 1,500 pixels/秒)
- ・垂直 (Vertical) : 表示領域内の下から上方向へ等速で移動する (移動速度は 1,500 pixels/秒)
- ・点滅 (Blink) : 瞬間的に出現して 150 ミリ秒間表示の後、瞬間的に消失し 150 ミリ秒間消え続ける

上記の前半 300 ミリ秒間の動きの後の後半 500 ミリ秒間の表示は全条件共通で、文字刺激の状態は表示サイズ 100%、黒色濃度 50%の灰色、静止 (動きなし) とした。なお、前述の 300 ミリ秒間の動きと 500 ミリ秒間の静止表示の時間設定は、文字刺激の提示時間長を様々に変えて予備実験を行った結果、文字出現に気づく確率が 0% (床効果) や 100% (天井効果) に至ってしまうことが少なかった条件値として選択した。実験参加者は、文字表示の出現に気づくことができ内容を視認できたら、メインディスプレイ A の画面下部に表示された「左」「不明」「右」ボタンのうち対応するものをマウスクリックして回答を行った。「不明」ボタンは、文字の出現には気づいたが内容まで視認できなかった場合に選択回答するよう教示した。上記の作業課題・刺激提示・反応計測用のソフトウェアは Adobe Flash Professional CS5.5 により Windows 7 OS 上で開発・実行された。



(a)

(b)

図 3.3.3.1 二重課題中の画面の例

(a)メインディスプレイA、(b)サブディスプレイB

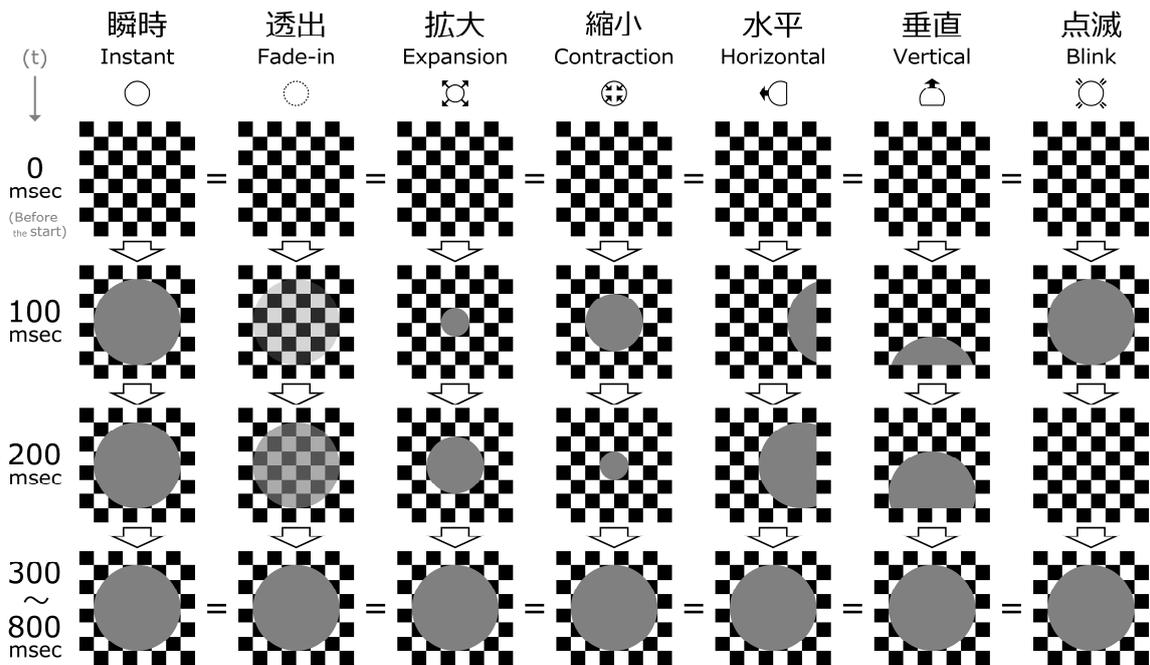


図 3.3.3.2 刺激に付与された7種類の動き条件

### 3.3.4 実験手続き

本実験では、前述の気づき課題の文字刺激の動き 7 条件に、参考条件としての「知的作業課題のみ」（気づき課題は行わない単一課題作業環境）条件を加えた計 8 条件を、各実験参加者は実施した。

手順として、実験参加者はまず実験実施者から実験内容の説明と、特に教示として「並行して行う 2 つの課題作業のうち、知的作業課題の方がメインとなる主作業であり、視野の中心は基本的にメインディスプレイ A に向けておくこと。ただし、視野の端のサブディスプレイ B に文字が提示されたことに気づいた場合はいったん知的作業課題を中断し、気づき課題への回答を行ってからメインの知的作業課題に戻る」とが与えられた。なお、文字刺激の動きが複数種類あることは伝えたが、どのような動きがあるのかは事前に教えなかった。その後実験参加者は、二重課題の練習試行を行ってから、動き 7 条件と知的作業課題のみ条件を実施した。当該計 8 条件の実施順序は実験参加者間でカウンタバランスがとられた。各条件の実施に要する時間は約 230 秒間であり、各条件の試行終了毎には数分間の休息時間が設けられ、その間に実験参加者は直前の条件に対する主観評価を行なった。さらに、全条件終了後、実験全体の感想について実験参加者に自由回答形式のデプスインタビューが実験実施者により行われた。動き 7 条件および知的作業課題のみ条件の課題と間休息の実施にかかった総時間は約 1 時間強であった。

### 3.3.5 測定項目と分析方法

動き要因 7 条件（瞬時、透出、拡大、縮小、水平、垂直、点滅）と知的作業課題のみ条件について、以下の各項目を評価指標として測定・算出した。

- ・ 知的作業課題の正答率（除算式の正答数／回答数）
- ・ 知的作業課題正回答率（正答数／除算式通過総数）
- ・ 気づき課題の正答率（動き刺激の正答数／回答数）
- ・ 気づき課題正回答率（正答数／動き刺激提示総数）

・主観評価（下記7項目について、全くない [0 mm] ～非常にある [100 mm] の Visual Analogue Scale (VAS) で直前実施の条件を評価（丸括弧内は項目説明））：

①気づきやすさ感（動き刺激提示の気づきやすさ）、②集中しやすさ感（暗算作業への集中しやすさ）、③鬱陶しさ感（動き刺激提示に対して感じた鬱陶しさ）、④被接近感（動き刺激提示から感じた自分に対して何かが接近してくる感覚）、⑤妨害感（動き刺激提示によって暗算課題が妨害される感覚）、⑥疲労感（今回の条件作業遂行中に感じた疲労感）、⑦眠さ感（今回の条件作業遂行中に感じた眠さ）。

・気づき課題の無用閲覧回数（実験参加者がサブディスプレイ B の画面を見た回数－気づき課題の正答数；画面を見た回数は、実験参加者の眼球左右近傍に電極を貼付し生体アンプ BIOPAC MP150 を用いて記録した水平眼球電図から求めた。予め計測した眼球電図の校正用データに基づきサブディスプレイ B が設置されていた水平右側 45 度方向に眼球を向けた時を閲覧行動が発生したものとし、動き刺激の提示がない期間中に発生した閲覧の回数を無用閲覧回数として条件毎に集計した）

上記項目の測定・算出値について、一元配置反復測定分散分析（被験者内動き要因 7 条件；ただし、知的作業課題の正答率と正回答率、集中しやすさ感、疲労感、眠さ感については知的作業課題のみ条件を加えた 8 条件）と条件間の多重比較（Holm 法）を実施し、さらに一部の項目間で相関分析（Pearson の積率相関）を実施した。統計解析の結果は、 $p < .05$  を統計的に有意、 $p < .10$  を有意傾向ありと判断した。

## 3.4 結果

### 3.4.1 気づきやすさ（気づき課題の心理・行動評価）

気づき課題における気づきやすさについて、図 3.4.1.1 に気づきやすさ感（心理指標）、図 3.4.1.2 に気づき課題正回答率（行動指標）の結果を示す。一元配置反復測定分散分析の結果、両項目ともに有意な主効果が認められた（気づきやすさ感、 $F(6,114) = 5.39$ 、 $p < .001$ 、 $\eta_p^2 = .221$ ；気づき課題正回答率、 $F(6,114) = 4.54$ 、 $p < .001$ 、 $\eta_p^2 = .193$ ) ため、条件間で多重比較を実施した。

気づきやすさ感の多重比較の結果は、拡大が透出および瞬時よりも有意に高く ( $p = .011$ ； $p = .020$ )、水平が透出よりも有意、瞬時よりも有意傾向で高く ( $p = .008$ ； $p = .097$ )、縮小が透出よりも有意傾向で高かった ( $p = .068$ )。また、気づき課題正回答率の結果は、拡大、水平、縮小が透出よりも有意または有意傾向で高かった ( $p = .045$ ； $p = .044$ ； $p = .059$ )。なお、気づき課題の正答率は、一元配置反復測定分散分析に有意な主効果は認められず ( $F(6,114) = 1.10$ 、 $p = .366$ 、 $\eta_p^2 = .055$ )、7 条件平均値は約 98%であった。さらに、気づきやすさ感と気づき課題正回答率の相関分析の結果、当該心理・行動両指標間に、有意な正の相関関係が認められた ( $r = +.381$ 、 $p < .001$ )。

気づきやすさに関わる別の指標として、図 3.4.1.3 に気づき課題の無用閲覧回数（眼球運動指標）の結果を示す。一元配置反復測定分散分析で有意な主効果が認められた ( $F(6,114) = 4.66$ 、 $p < .001$ 、 $\eta_p^2 = .197$ ) ため、条件間で多重比較を実施した結果、拡大、水平、垂直、点滅が透出よりも有意に低く ( $p < .001$ ； $p = .005$ ； $p = .001$ ； $p = .006$ )、縮小が透出よりも有意傾向で低かった ( $p = .099$ )。

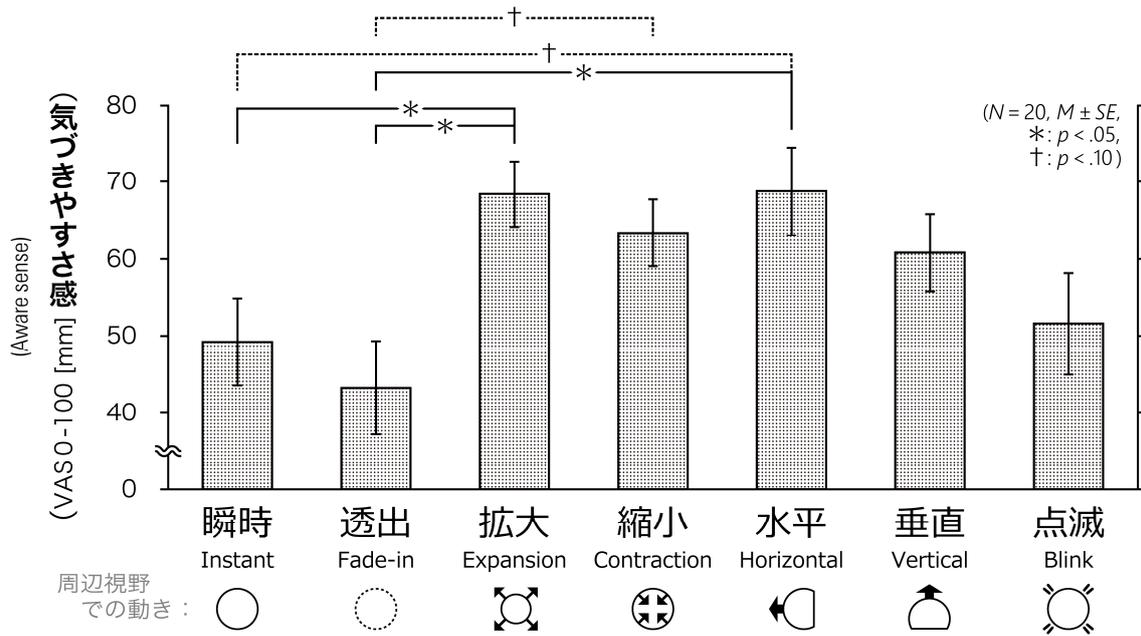


図 3.4.1.1 気づきやすさ感

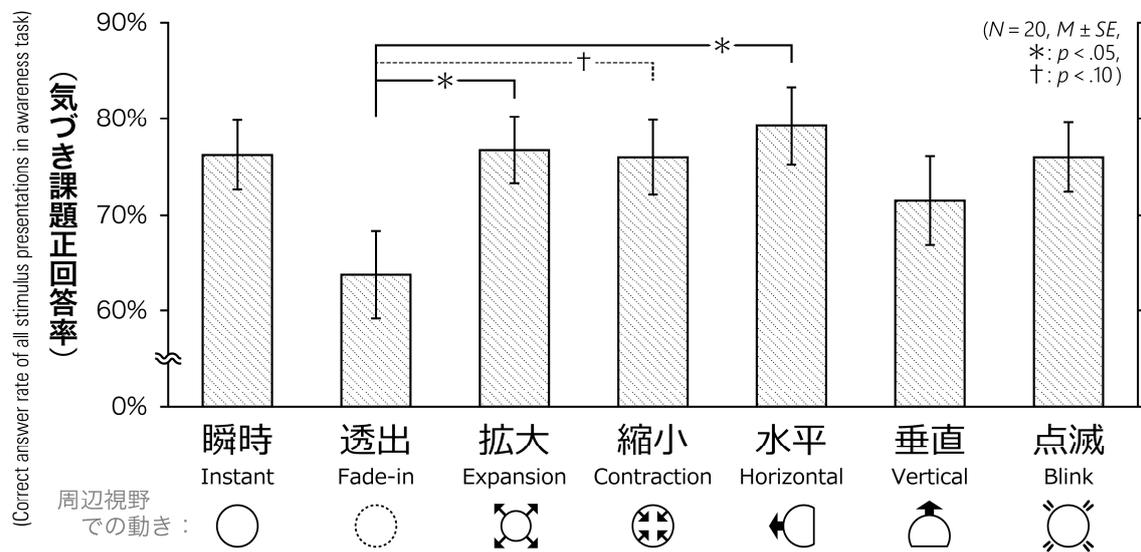


図 3.4.1.2 気づき課題正回答率

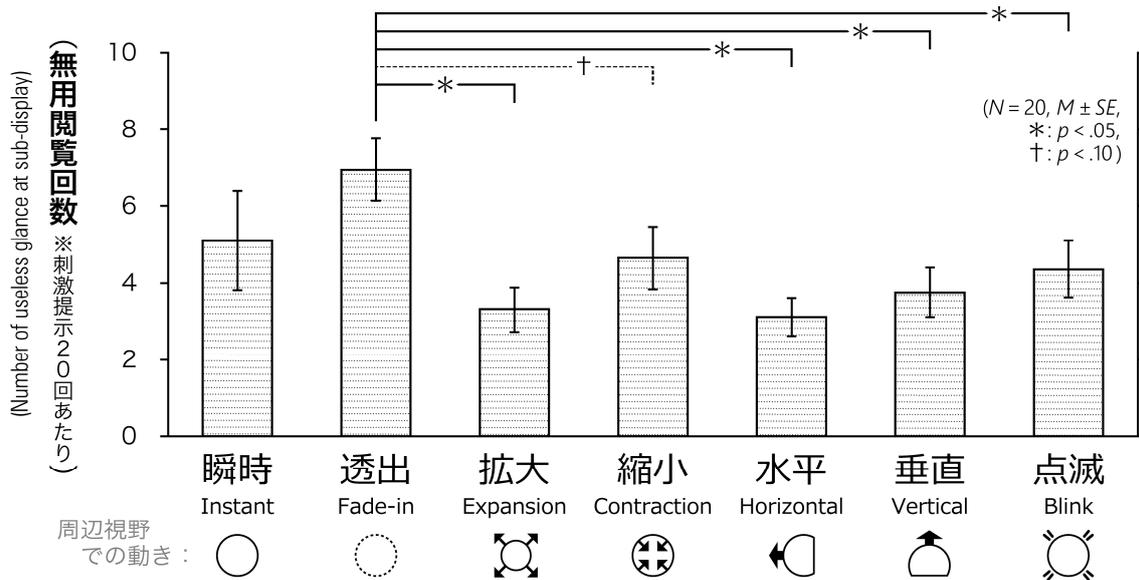


図 3.4.1.3 気づき課題の無用閲覧回数

### 3.4.2 作業集中性（知的作業課題の心理・行動評価）

知的作業課題における作業集中性について、図 3.4.2.1 に集中しやすさ感（心理指標）、図 3.4.2.2 に知的作業課題正回答率（行動指標）の結果を示す（知的作業課題のみ条件は図中「通知なし」と表記）。両項目ともに有意な主効果が認められた（集中しやすさ感、 $F(7,113) = 9.33$ 、 $p < .001$ 、 $\eta_p^2 = .329$ ；知的作業課題正回答率、 $F(7,113) = 7.28$ 、 $p < .001$ 、 $\eta_p^2 = .277$ ）ため、条件間で多重比較を実施した結果、両項目とも知的作業課題のみ条件（図 3.4.2.1、図 3.4.2.2 中では通知なし表記）と動き要因 7 条件間に有意な差が認められたが（ $p < .05$ ）、動き要因 7 条件間には有意な差は認められなかった（すべて  $p > .10$ ）。知的作業課題のみ条件と比べ、動き 7 条件は集中しやすさ感が 4～5 割ほど、知的作業課題正回答率も 7～10%ほど低くなった。なお、知的作業課題の正答率は、一元配置反復測定分散分析に有意な主効果は認められず（ $F(7,113) = 0.92$ 、 $p = .491$ 、 $\eta_p^2 = .046$ ）、8 条件平均値は約 95%であった。さらに、集中しやすさ感と知的作業課題正回答率の相関分析の結果、当該心理・行動両指標間に、有意な正の相関関係が認められた（ $r = +.357$ 、 $p < .001$ ）。

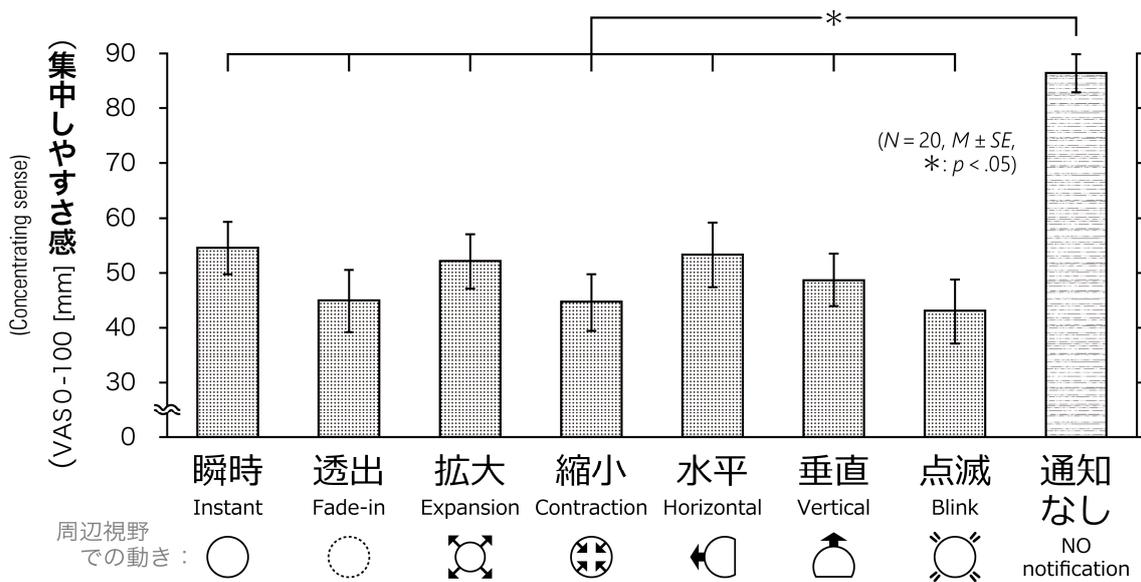


図 3.4.2.1 集中しやすさ感

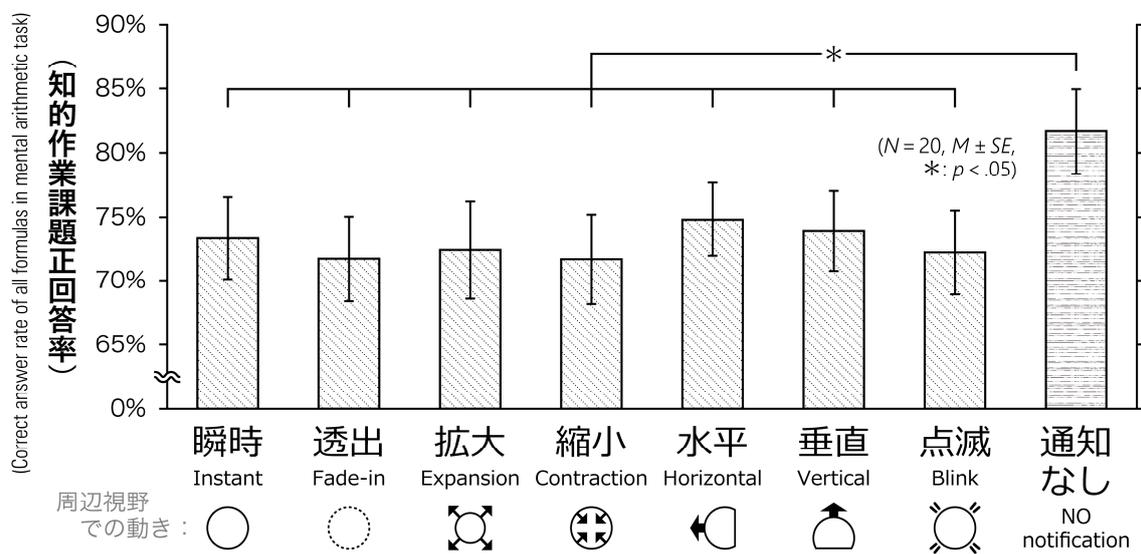


図 3.4.2.2 知的作業課題正回答率

### 3.4.3 気づきやすさと作業集中性の関係性

前述の気づきやすさと作業集中性の関係性を検討するため、対応する行動指標と心理指標それぞれについて相関分析を実施した。まず、行動指標である気づき課題正回答率と知的作業課題正回答率の間には有意な正の相関関係が認められた ( $r = +.365$ 、 $p < .001$  ; 図 3.4.3)。さらに、7 種類の動き条件別に相関分析を実施した結果、水平と瞬時に有意、点滅と拡大に有意傾向の正の相関関係が認められた (表 3.4.3(a))。また、心理指標である気づきやすさ感と集中しやすさ感の間にも同様に有意な正の相関関係が認められ ( $r = +.420$ 、 $p < .001$ )、7 種類の動き条件別に相関分析を実施した結果、拡大、垂直、瞬時、水平、透出に有意な正の相関関係が認められた (表 3.4.3(b))。

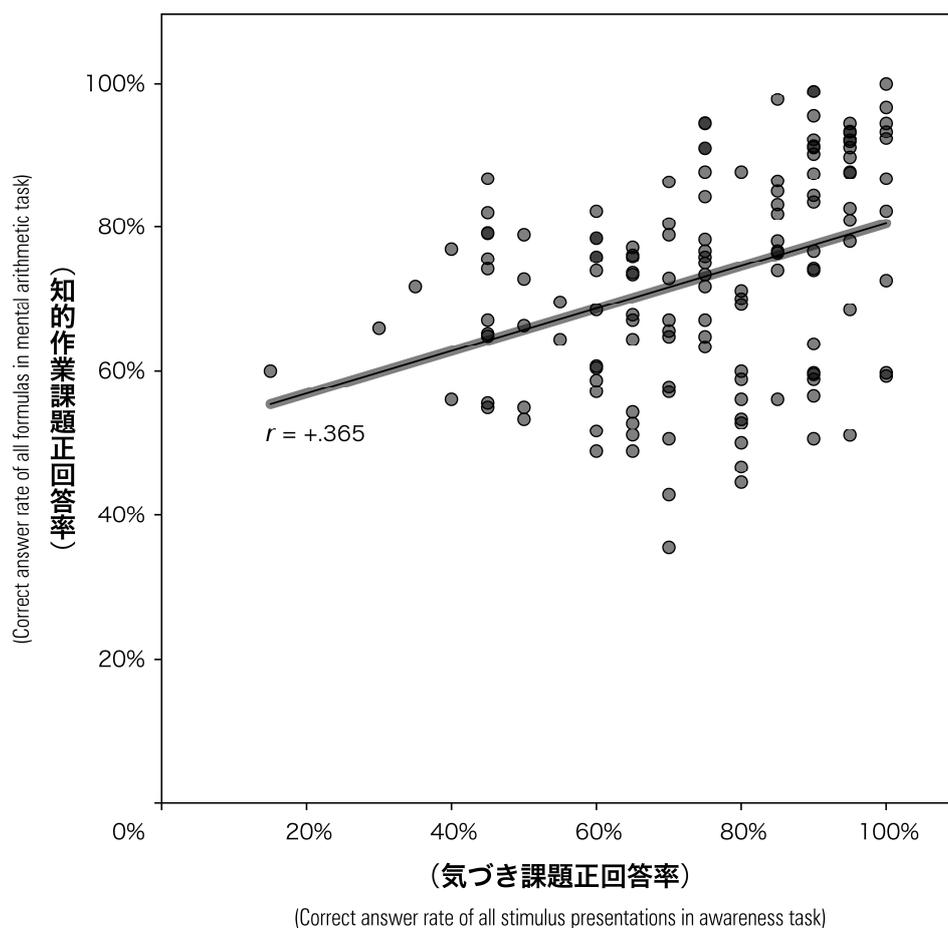


図 3.4.3 気づき課題正回答率と知的作業課題正回答率の関係性

表 3.4.3 気づきやすさと作業集中性の動き条件別の相関関係

(a)行動指標、(b)心理指標

動き条件	(a) 気づき課題正回 答率と知的作業 課題正回答率	(b) 気づきやすさと 集中しやすさ感
	相関係数 $r(p)$	相関係数 $r(p)$
瞬時 (Instant)	+ .447 (.048)*	+ .556 (.011)*
透入 (Fade-in)	+ .227 (.336)	+ .483 (.031)*
拡大 (Expansion)	+ .401 (.080)†	+ .727 (.000)*
縮小 (Contraction)	+ .237 (.314)	-.004 (.987)
水平 (Horizontal)	+ .613 (.004)*	+ .479 (.033)*
垂直 (Vertical)	+ .359 (.120)	+ .728 (.000)*
点滅 (Blink)	+ .416 (.068)†	+ .177 (.455)

\* :  $p < .05$ , † :  $p < .10$

#### 3.4.4 その他の主観評価

鬱陶しさ感（図 3.4.4.1）は、一元配置反復測定分散分析の結果、有意な主効果が認められた（ $F(6,114) = 8.71$ 、 $p < .001$ 、 $\eta_p^2 = .314$ ）。特に縮小と点滅の評定値が高く、多重比較の結果、縮小と点滅は瞬時および透出よりも有意に鬱陶しさ感が高かった（ $p < .05$ ）。

被接近感（図 3.4.4.2）は、一元配置反復測定分散分析の結果、有意な主効果が認められた（ $F(6,114) = 17.34$ 、 $p < .001$ 、 $\eta_p^2 = .477$ ）。特に拡大、水平の評定値が高く、多重比較の結果、拡大はその他 6 条件より、水平は瞬時、透出、点滅より、縮小は瞬時より、有意に被接近感が高かった（ $p < .05$ ）。

妨害感は、一元配置反復測定分散分析の結果、有意な主効果が認められた（ $F(6,114) = 2.58$ 、 $p = .022$ 、 $\eta_p^2 = .119$ ）。しかし、多重比較の結果では、条件間に有意または有意傾向の差は認められなかった（ $p > .10$ ）。妨害感の 7 条件平均値は 42.5（最小値 33.7～最大値 50.7）であった。

疲労感および眠さ感は、一元配置反復測定分散分析の結果、両項目ともに有意な主効果は認められなかった（疲労感、 $F(7,113) = 0.91$ 、 $p = .501$ 、 $\eta_p^2 = .046$ ；眠さ感、 $F(7,113) = 0.70$ 、 $p = .676$ 、 $\eta_p^2 = .035$ ）。疲労感の 8 条件平均値は 29.0（最小値 23.4～最大値 33.2）、眠さ感の 8 条件平均値は 24.2（最小値 20.3～最大値 27.7）であった。

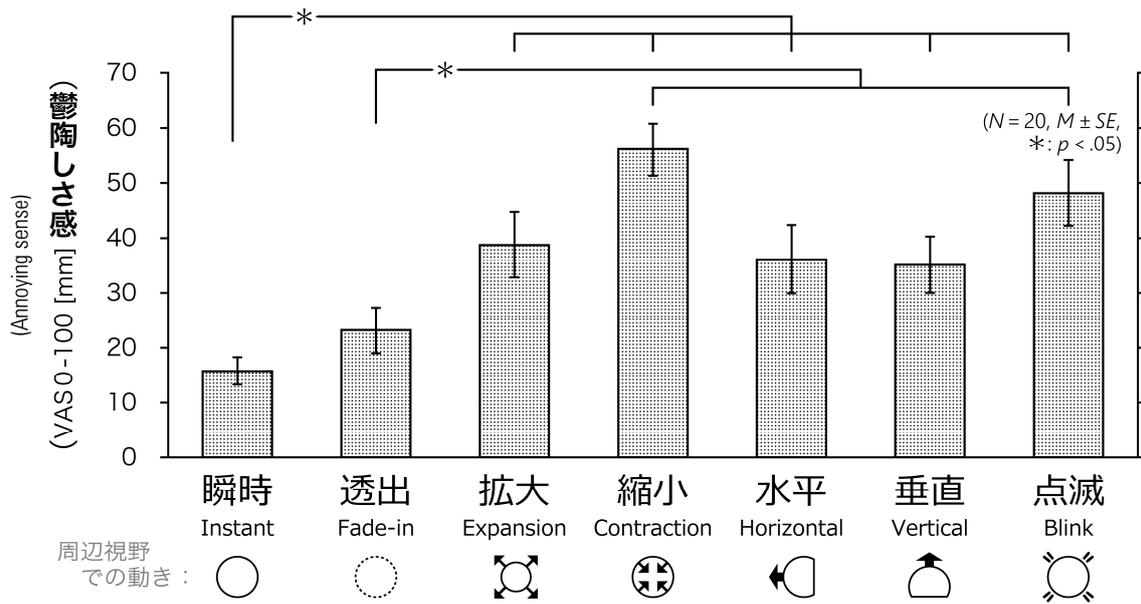


図 3.4.4.1 鬱陶しさ感

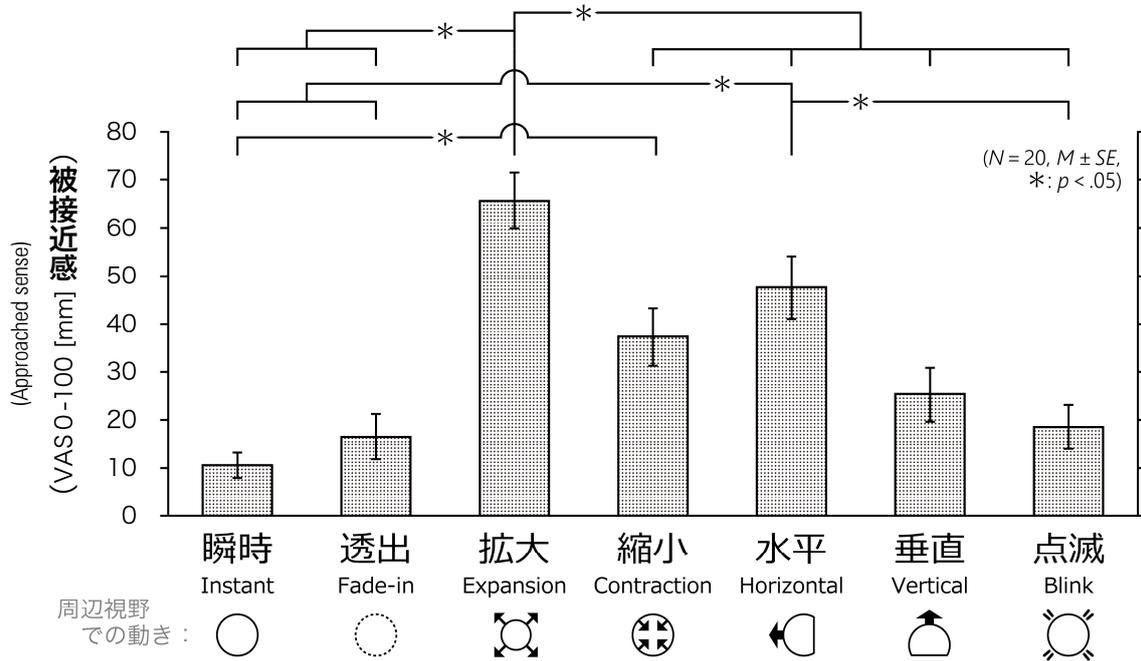


図 3.4.4.2 被接近感

### 3.4.5 通知として良いと感じた動き他

全条件終了後のデプスインタビューにおいて、各実験参加者に「本実験のように知的作業実施中に受ける通知の表現としてあなたが良いと感じた動き」を、最大3条件まで選択させた集計の結果を図3.4.5に示す。なお、参考条件であった知的作業課題のみ（図中表記は「通知なし」）についても「ひとつの作業に没頭できる感覚が良かった」という意見が複数名からあったため、選択の対象に含めてよいこととした。結果、選択票数上位の条件は、1位が水平（12票）、2・3位が同数で拡大と通知なし（10票）で、水平と拡大だけが知的作業課題のみ条件以上の選択票数となった。また、4位の点滅については、選択が7票あった一方で、インタビューにおいて点滅表現への強い嫌悪感を指摘した者が複数名いた（実験実施者は嫌いな条件については尋ねていないため実験参加者の自発的なコメントである）。他に、意味伝達性に関する自発的なコメントが2名からあり、水平を良いと選択した実験参加者から「何か近づいてくるような、『来たな』という感じがあって良かった」、拡大を良いと選択した実験参加者から「メールが来た時が連想されて良かった」という意見が得られた。

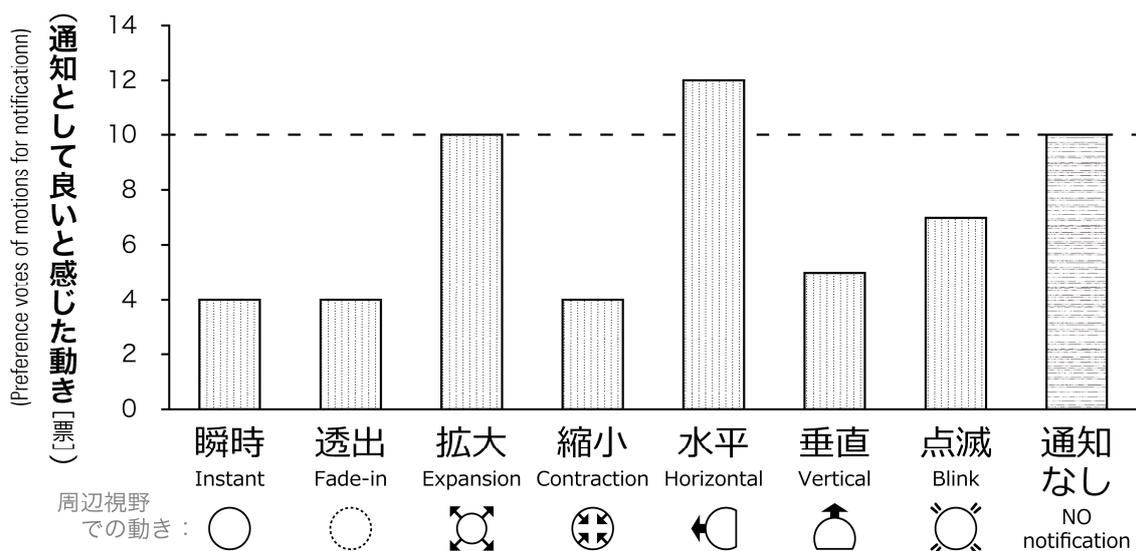


図 3.4.5 通知として良いと感じた動き

### 3.5 考察

本研究は、知的作業中のユーザーの周辺視野に通知型の情報提示を行う環境において、通知の動き様態の種類が気づきやすさと作業集中性に及ぼす影響について、心理指標と行動指標の両面から総合的な評価を行うものであった。特に、先行研究[50]で見られた気づき課題成績と知的作業成績間の正相関が、動きの種類を増やした場合でも認められるのかを含め検証した。

まず、気づきやすさについて、高かった上位 3 位は、心理指標・行動指標ともに、水平、拡大、縮小条件であった。また、無用閲覧回数は少ない方が好ましい指標であるが、少回数だった上位 3 位はほぼ同値で水平、拡大、次いで垂直条件であった。なお、瞬時・透視・拡大の 3 条件は先行研究[50]でも評価された動き条件であるが、同 3 条件の気づきやすさと無用閲覧回数は実験参加者が異なる本研究でも先行研究[50]と同等の結果が示され、本研究でも用いた実験タスクの再現性を確認することができた。

次に、作業集中性について、動き要因に有意な主効果は認められなかった。教示でも二重課題のうち知的作業課題の方を主課題として優先するよう指示したことから、実験参加者の努力により条件による影響が弱まり、前述の気づき課題（気づきやすさ）ほど明瞭な条件間差が表れなかった可能性がある。ただし、次に詳述するように、作業集中性と気づきやすさの間には有意な相関関係があったことから、条件間で有意差がある気づきやすさの大きさに対応する形で作業集中性の大きさも変わるという点には留意が必要であろう。

気づきやすさと作業集中性の関係性は有意な正の相関関係が認められ、動きの種類数を大きく増やした本研究においても先行研究[50]の結果が再現された。これは、気づきやすさが高い通知（周辺視野への情報提示）を用いるほど主作業成績も高いこと、すなわち両立性（compatibility）を示すものといえる。はじめに述べたように、関連する既存研究[56][57][58][59][60]では、通知の気づきやすさと主作業への集中性間にトレードオフ（負の相関）が仮定されながらも

一貫した結果が見られていない、という課題があった。本研究および先行研究[50]で示された両立性の結果は、上記既存研究のように通知の効果にトレードオフという仮定を置くこと自体に疑問を投げかけるもので、今後同様の通知機能の評価研究が行われる際の仮説設定の一助になると考えられる。

その他の主観評価の結果として、被接近感は拡大、水平が高かった。両者の表現様態からも妥当な結果であろう。被接近感は意味の伝達性に関わる項目であり、電子メールやチャットなどのメッセージ情報が自分に向かってくる直観的な印象（情報を受領している感覚）を拡大や水平は与えやすいことが示された（前述のようにデプスインタビューでも意味の伝達性を評価する自発的コメントがこの2条件にだけあった）。また、鬱陶しさ感は点減や縮小が特に高く、これらはVASの評価だけでなく全条件終了後のデプスインタビューにおいても同様の指摘コメントが複数あった。縮小は研究上の対照比較のために加えた条件で実際の通知機能の表現に採用されることはまずないが、点減はウェブサイトのバナー広告などで実際に使われることがある表現であり、本研究結果からは、好む者もいる反面、強く嫌悪する者もいるため使用には注意が必要といえる。

総合的な印象評価となる、通知として良いと感じた動きの結果は、1位が水平、2・3位同数が拡大と知的作業課題のみで、水平だけが知的作業課題のみよりも高い評価であった。マルチタスクに関する関連研究[66]では、ヒトはそもそもマルチタスクが苦手であり、単一作業に集中できる環境の方が好ましいことが実験により示されている。本研究でも、作業集中性の結果において、知的作業課題のみ条件は他の通知あり7条件よりも有意に高い結果を示した。しかし他方で、現代の知的作業の多くは複数名の協力のもとに行われるチームワークである（労働時間の8割は他者とのコミュニケーション行動に費やされているという報告もある[67]）。そこで本研究は、本来マルチタスクが苦手なヒトが、個人作業とコミュニケーションツールの利用を上手く両立できるような通知機能

の設計要件を検討するものであった。そして、本研究でマルチタスク環境体験後の動き通知の最終的な自由選択の結果から、多様な動き種類の中で水平と拡大のみがシングルタスク環境（知的作業課題のみ）以上の評価を得られた（図 13）という新たな知見が示された。

最後に、総括的な観点から、7種類の動き条件について上述の各結果を踏まえた総合考察を行う。まず、動き条件別に相関分析を実施した結果（表 3.4.3）では、水平、拡大、瞬時が行動・心理指標の両面で有意または有意傾向の正の相関を示し、気づきやすさと作業集中性の両立性の効果を特に有していると考えられる。一方で、総合的な印象評価となる通知として良いと感じた動きの結果（図 3.4.5）では、水平、拡大は 1、2 位の選択票数であった（特にこの 2 条件だけがシングルタスク環境である知的作業課題のみ条件以上の選択票数であった）が、瞬時は透出や点滅と並んで最少の選択票数となった。さらに、気づきやすさと作業集中性以外の観点の評価を見ると、意味の伝達性に関わる被接近感の結果（図 3.4.4.2）において、瞬時の評定値は全条件中最小であり、水平、拡大よりも有意に低かった。以上の結果から、中心視野で主作業中のユーザーの周辺視野に通知を情報提示する環境では、好感を優先する場合は「水平」、意味伝達性を優先する場合は「拡大」の動きの情報を通知の設計（デザイン）に取り入れるのが好適であることが示唆された。

### 3.6 第3章のまとめ

本研究では、中心視野で知的作業実施中の実験参加者 20 名の周辺視野に 7 種類の動きを付与した通知型の情報提示を行い、動きの種類が気づきやすさや作業集中性、その双方の関係性に及ぼす影響を心理指標と行動指標の両面から評価した。実験の結果、水平と拡大の動きが実験参加者に与えた気づきやすさや意味伝達性が高く、さらに、最終的な自由選択においても水平と拡大だけが通知のない知的作業課題のみ条件以上の選好票を集めた。そして、気づきやすさ

と作業集中性の関係性はトレードオフではなく、本研究の先行研究の結果を支持する有意な正の相関（両立性）が認められた。

特に、本研究の先行研究で示された気づきやすさと作業集中性間の正の相関関係が、動きの種類を増やし実験参加者も異なった本研究においても再現性を確認できたこと、また、同先行研究でも高評価であった拡大に加え水平の動きの有効性も明らかにできたことは、同様の実験手続きをとった先行および本研究のつながりにより多視的に検証できた面である。そして、気づきやすさと作業集中性の両立性の効果を得ながら、好感を優先する場合は「水平」、意味伝達性を優先する場合は「拡大」の動きの情報を通知のデザインに取り入れることを提案した。

今後の課題として、動きの特性は同等で動きの方向だけが異なる水平と垂直が、本研究の結果では異なる傾向、すなわち異方性を示したことの深掘りが挙げられる。その要因の可能性としては視線の動きの影響が考えられる。具体的には、本研究の課題作業では実験参加者の視線運動は横に並ぶメインディスプレイとサブディスプレイ間を水平方向に行き来した。中心視野の課題作業で除算式が垂直方向にスクロール表示されていたことの影響も含め、課題作業に関わる視線の動きと通知の動きの方向が相互に影響するかの追加的検証が望まれる。また、本研究は動きの質的な違い（種類）の評価を優先し、動きの量的な指標（変化速度など）は統一して比較を行ったが、動きの速度が大きく変わった場合の影響についてはさらなる検証が必要である。他に、本研究は既存研究（たとえば Maglio et al. (2000)）を参考に 10 秒間前後の刺激間時間間隔を設定したが、サブディスプレイの刺激提示間隔が 1 分以上など低頻度になった場合の影響についても今後検証が望まれる。

本研究の知見が今後のコミュニケーションツールが備える通知機能設計の一助になれば幸いである。

## 第4章 テレワークシステムのユーザインタフェースと観る機能

本章は、下記の発表論文を中心に未発表内容を加えて構成したものである。

[68] 深澤伸一, 立澤茂, 山口徳郎, 赤津裕子, 野中雅人 (2016). 複数視点の映像切替支援インタフェース Halo-UI の提案と遠隔オフィスの状況把握効果の評価, HI シンポジウム 2016 論文集, 1A3-1, pp.41-46.

[69] 深澤伸一, 竹内晃一, 細野直恒 (2009). オフィスワーカーの作業多忙度推定のための映像画質要件に関する研究, 日本人間工学会第 50 回記念大会講演集, pp.340-341.

[70] 深澤伸一, 赤津裕子, 田口和佳奈, 高瀬裕, 中野有紀子 (2017). ポジティブ感情の強い相手ほど話しかけやすくなる: 自然表情と同室/遠隔/推定情報支援環境下の比較, HAI シンポジウム 2017 予稿集, P-42, pp.1-6.

[17] Fukasawa, S., Akatsu, H., Taguchi, W., Nihei, F., Nakano, Y. (2019). Presenting low-accuracy information of emotion recognition enhances human awareness performance, Proceedings of HCII '19, LNCS, 11569, pp.415-424.

### 4.1 目的と節構成

ここまでの第2・3章では、超臨場感テレワークシステムでアウェアネス情報を取得されコミュニケーションの開始を受ける側（話しかけられる側）のユーザーに向けた機能であるアウェアネス通知機能のデザインと評価実験の結果について述べた。

本第4章では、超臨場感テレワークシステムでアウェアネス情報を取得しコミュニケーションの開始を行う側（話しかける側）のユーザーに向けたユーザインタフェースの諸要素機能のデザインと評価実験について述べ、テレワークシステム用の新しいユーザインタフェースの提案とその有効性を示すことを目的とした。

遠隔の相手の状況をよく知るためには、相手の姿を複数の方向の視点から観ることができたり、関心のある部分をズームして観ることができたり、そのような多様な観え方の映像情報を簡便な指定操作で得ることができるユーザインタフェースが必要となる（4.2節）。また、前記ズームの速度（4.3節）や、前記映像の解像度（4.4節）について、人間工学的に好適なパラメータ設定が必要であろう。さらに、超臨場感の観点からは、相手の状況をAI推定した情報をAR（Augmented Reality）などで前記ユーザインタフェースと共に提示する機能（4.5節）があると有用なウェアネス伝達につながると考えた。以上の、話しかける側のユーザー向けの遠隔地を観る機能や好適な設定パラメータの提案や評価について本第4章で述べる。

具体的には、視点操作用ユーザインタフェース“Halo-UI”の提案、複数視点映像の提示効果、ズーム映像の提示効果、接近モード遷移時の映像ズーム速度の要件、テレワーカーの人物映像解像度の要件、感情推定AIの推定情報を人物映像に付帯提示する機能の効果などを、評価実験を含め仕様の検討を行った。

## 4.2 テレワークシステムのユーザインタフェース Halo-UI の提案と評価

### 4.2.1 背景

超臨場感テレワークシステムの機能的特徴のひとつとして様子見行動の支援が挙げられる。テレワークシステムは常時接続型であり、遠隔拠点間で高精細映像・立体音響等のマルチメディアデータを常に伝送し情報提示し合って離れたオフィスと日常生活を共有できることで、分散拠点にいる同僚の様子見を自然に行うことができ、互いの状況を把握できる。比較対象として、たとえば従来のテレビ電話では、電話がつながるまでは遠隔地の様子はわからない。円滑なコミュニケーションが開始されるためには、話しかける前に、相手が話しかけても良い状況なのか否か（在席しているか？忙しそうではないか？等；協調

の次元階層モデル[21][22]における Copresence や Awareness 層に対応)をまず把握できることが望ましいと考えられる。

テレワークシステムでは離れた同僚の様子見する行動を支援するために、遠隔オフィスに設置された複数のカメラで取得された多視点映像からユーザーが任意の一視点を選択したり興味のある箇所をズームしたりすることで、多彩な様子見を行うことができる。複数視点の映像を提供することで、従来のテレビ電話やテレビ会議の主流である単一視点型のビデオコミュニケーションツール (Zoom や Microsoft Teams など) と比較して、ユーザーが様子見をより良くできることが期待される。さらに、遠隔空間における映像視点切替は空間認知的混乱 (自分が遠隔空間内のどこから見ているのかわからなくなる現象) をユーザーに生じさせるという課題も従来指摘されている [71] ことから、その対応策として著者らは遠隔地の視点切替行為を支援する新しいユーザインタフェースを設計しテレワークシステムに実装した。また、ズームについては、電話がつながった後の状況を想定し通話中の映像相手に感じる存在感などへの影響を評価した研究 [72][73] があるが、本研究では通話前に相手の状況を様子見する部分に焦点をあて効果を検証する。

本研究では、超臨場感テレワークシステムのような遠隔地の複数視点映像を提供するシステムにおいて、ユーザーの視点選択操作を支援する新しいユーザインタフェース “Halo-UI” (以降の表記では固有名詞を示すダブルクォーテーションマークを省略する) を提案し、当該方式を含めた複数のユーザインタフェース条件を比較した評価実験を実施することを通して、複数視点による様子見の状況把握効果を検証した結果について報告する。

#### 4.2.2 Halo-UI

複数視点映像の切替操作を支援する AR (Augmented Reality) 型の新しいユーザインタフェース Halo-UI を提案する。Halo-UI は、視点切替前に切替後の視点と方向をユーザーに予期させる情報 (後述の ARROW) と、注目している

人物を遠隔空間における存在位置をベースとして強調表示する情報（後述の HALO）をユーザーに提示することで、前述の複数視点映像の切換の際に生じる空間認知的混乱のネガティブな効果を低減させることをひとつの目的とする。Halo-UI は臨場感テレワークシステムに実装され、同システムの数ヵ月間にわたる実証実験において実際にユーザーに長期継続使用された。なお、実装された Halo-UI は、ユーザーが切換先の任意の視点位置を指定する入力操作を支援する機能も有しており、HALO および ARROW を合わせてドラッグすることにより視点方向とズーム率を一回の操作で入力することができる。以下、図 4.2.2 に示す臨場感テレワークシステムに実装された Halo-UI の動作画面の例を参照しながら説明する。

Halo-UI は、HALO と ARROW という 2 つの要素で構成される。HALO は、図 4.2.2 の表示例のように、ユーザーが注目する人物映像の頭上領域に表示される天使の輪のような円環形状の AR オブジェクトである。HALO は映像の視点切換の前後で同じ人物の頭上に表示されるため、視点切換に伴って注目する人物の画面上表示位置や映る身体面の方向が変わっても、切換後の映像内で当該人物を探し同定しやすくなる効果が期待される。ARROW は、映像の視点切換操作の際に HALO の周囲に表示される矢印形状の AR オブジェクトである。矢印の終点位置は HALO、矢印の始点位置は視点映像切換先の候補となるカメラの設置位置であり、矢印中の丸印の位置はズーム倍率に対応する。ARROW を見ることによって視点切換の前にどのような方向の視点に切り換わるかという予期的情報をユーザーが得られ、前述の空間認知的な混乱を抑える効果が期待される。

上記提案の Halo-UI について、テレワークシステムに搭載されている様子見支援機能のひとつであるズーム機能と合わせて、効果検証のためのユーザー評価実験を実施した。その結果を以下に述べる。

HALO ← “Halo-UI” → ARROW

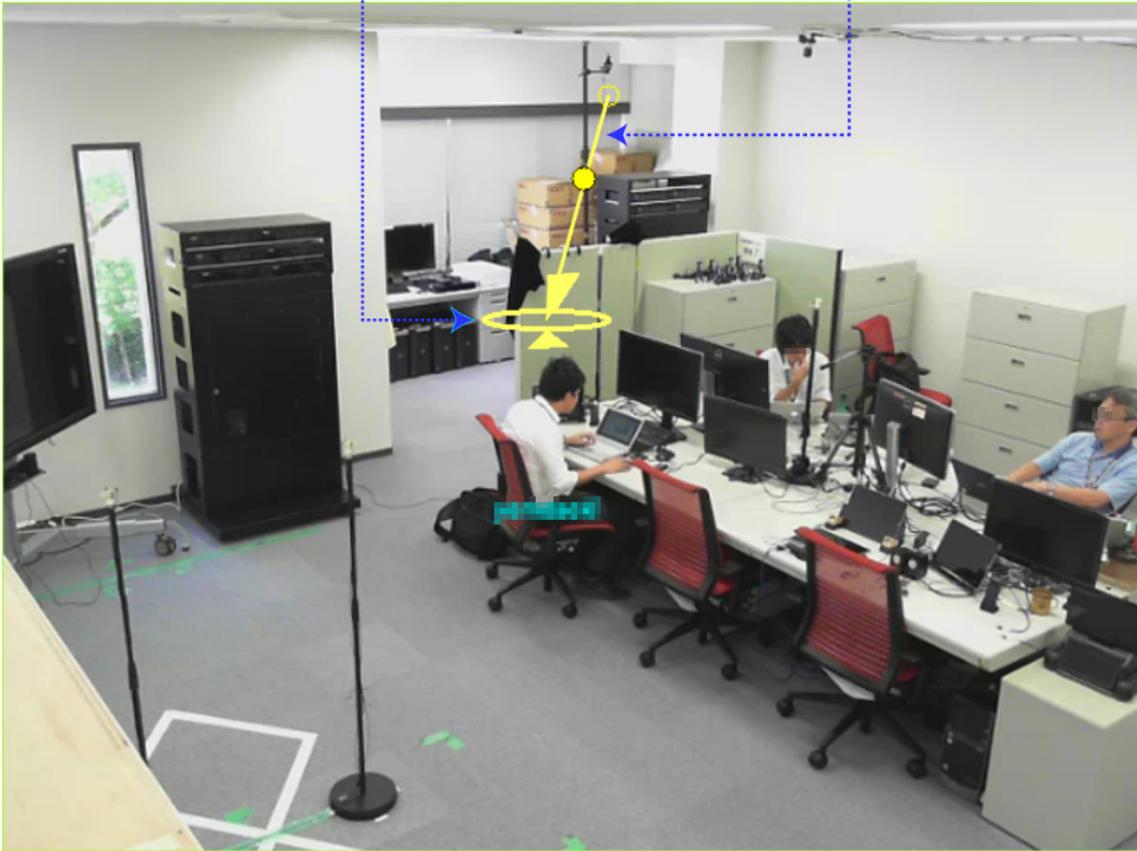


図 4.2.2 Halo-UI の画面表示例

### 4.2.3 評価実験の方法

実験参加者に、Halo-UI を含む支援情報の有無とズームの有無を組み合わせた 4 条件の UI（後述）で複数視点のオフィス俯瞰映像を提示し、同映像内で 3 条件のオフィスワーク（後述）のいずれかを行っている目標人物の探索およびワーク判別タスクを課して、条件間で作業成績および印象評価値を比較した。

#### 4.2.3.1 実験参加者

実験参加者は、裸眼または矯正の健常な視力を有する大学生および社会人 20 名（男性 8 名、女性 12 名）であり、年齢範囲は 20 代～50 代であった。

#### 4.2.3.2 環境

本実験の環境風景を図 4.2.3.2 に示す。刺激となるオフィス俯瞰映像は、ノート PC（DELL Precision M6800）に内蔵された 17.3 インチディスプレイ（画面サイズ約 W38 x H21 cm、画面解像度 1920 x 1080 px）の画面上に表示された（オフィス俯瞰映像の画面上表示領域サイズは約 W34 x H19 cm）。実験参加者の画面視距離は、約 50～60 cm の範囲に収まるように実験開始前に座席位置を調整した。ノート PC は実験参加者が着席する高さ約 70 cm の机上の正面に置かれた高さ約 20 cm の箱の上に設置された。ノート PC にはマウスが接続され、実験参加者はそれを用いてオフィス俯瞰映像内の人物を選択したり主観評価回答用のボタンを押下したりすることが可能であった。また、ノート PC の上部には後述する人物探索タスク用の目標人物の印刷された身体写真が常時掲示された。



図 4.2.3.2 実験環境

#### 4.2.3.3 刺激

本実験に用いた実験プログラムの画面の一例を、図 4.2.3.3.1 に示す。画面の中央には実際のあるオフィスを俯瞰的に撮影した録画映像が表示され、画面左右には人物探索タスク用の 20 秒間カウントダウンタイマ、画面下部にはワーク判別タスク用のワーク内容回答ボタンが表示された。

オフィス俯瞰映像は、実際に日常的に業務が行われているある企業内の居室の一部（12 個の机から成る島が 3 つ程入るおよそ 10 m 四方の空間）を周囲の複数方向（本研究では実験条件数に合わせて 24 の視点方向）から撮影録画したもので、人物探索タスク用の目標人物 1 名を含めおよそ 5~9 名のオフィスワーカーが映像内に映っていた。上記オフィスワーカーは特に本実験のために特別に用意されたわけではなく、当該居室にて自席を有し日常的に業務を行っている者たちであり、目標人物以外は実験に関する統制指示は特に受けず撮影中も日常業務（ほとんどが PC を用いた事務作業）を行っていた。一方、目標人物は上記居室内のひとつの机に着席し、後述する 3 種類のオフィスワークを行った。映像は、デジタルカメラ（Canon PowerShot S100）の動画撮影機能を用いて 24 視点から解像度 1920 x 1080 px、24 fps で撮影され、音声情報の除去と 854 x 480 px、24 fps に解像度変換処理を施したのち、日常業務中に自然発生する離着席や電話を取るなどのオフィスワーカーの瞬時突発的な動作行動が含まれないシーンをそれぞれ 8 秒間切り出して、二周半（20 秒間）反復再生させた。24 視点のカメラ設置位置と目標人物の座席位置を記載したオフィスの平面図を図 4.2.3.3.2 に示す。撮影はオフィスの通常営業日のある平日の午後に半日ほどかけて行われ、デジタルカメラを三脚に取り付けて約 2 m の高さからやや見下ろすように撮影した。カメラの俯角値は厳密には定めず、図 4.2.3.3.2 の各設置位置から撮影対象範囲の空間をできるだけ画角の中央に含むように撮影した。1 視点の撮影（要数分間程度）が終わると次の視点位置にカメラと三脚を順に移動させる形式で半日かけて撮影したため、視点によって一部のオフィスワーカー

ーがいたりいなかったりする録画映像が混在した。これについては、実験開始前の教示で実験参加者に対し「視点切換の前後で一部のオフィスワーカーが映像から消えるケースがあるが、少なくとも目標人物は画角内のどこかに必ずいる」ことを伝えておいた。映像内の目標人物は、実験開始前に実験内容の説明を行う実験実施者と同一人物であった。実験参加者には、本実験に参加するまでは目標人物と面識はなく、また、俯瞰映像の撮影対象になったオフィスの部屋に立ち入ったことがない者を選んだ。

目標人物が行う作業動作として、近年の典型的なオフィスワークを想定して以下の3条件のワークを設定した：

- ・携帯通話条件：右手で携帯電話端末を把持して通話
- ・遅タイプ条件：ノート PC への遅いタイピング速度（約 80KPM (80 打鍵/分)）でのキーボード入力
- ・速タイプ条件：ノート PC への速いタイピング速度（約 300KPM 以上）でのキーボード入力

さらに、オフィス俯瞰映像の閲覧支援用に、以下の4条件のユーザインタフェースが用意された。

- ・支援情報なし&ズームなし（以下「ズームなし条件」）：特に付加機能はなく、実験参加者は視点切換と人物選択操作のみを行うことができる
- ・支援情報なし&ズームあり（以下「ズームあり条件」）：実験参加者が俯瞰映像中の人物をマウスで選択操作するとその人物映像を中心としたズームが行われる
- ・ARROW あり&ズームあり（以下「ARROW あり条件」）：視点切換の直前に次の視点の予期情報を示す ARROW が表示され、選択された人物映像はズームされる

- ・ HALO-ARROW あり & ズームあり（以下「Halo-UI 条件」）：視点切換の直前に ARROW が表示され、さらに視点切換後の映像中の目標人物の頭上には HALO が表示され、加えて選択された人物映像はズームされる

なお、ズームはすべて倍率 2 倍のデジタルズーム画像処理（画素補完なし）で行われ、ユーザーがマウスで選択した人物位置を中心としてズーム表現が行われた。

刺激の提示条件は、前述のユーザインタフェース 4 条件、目標人物のオフィスワーク 3 条件を組み合わせた 4 x 3 の計 12 条件について、それぞれさらに後述の視点切換前映像と視点切換後映像の 2 条件が用意されて、実験参加者内計画の計 24 条件となった。その 24 条件に、24 視点の俯瞰映像を実験参加者毎にランダムな組み合わせで対応させた。



図 4.2.3.3.1 実験プログラムの画面の例

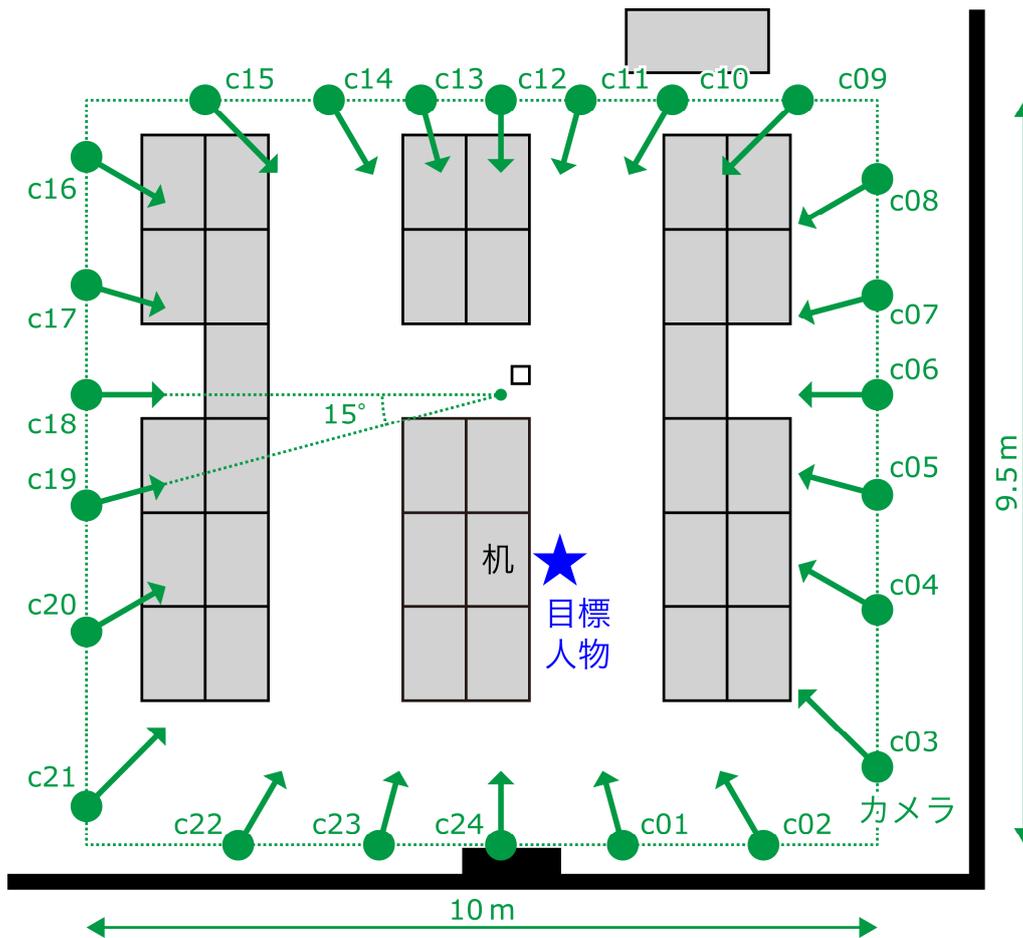


図 4.2.3.3.2 目標人物とカメラの配置

#### 4.2.3.4 手続き

実験参加者には、前述の 24 条件に対応した 24 視点分の映像刺激をランダムな順序で提示し、各条件（視点）について 2 種類の実験タスクおよび主観評価への回答を行わせた。

2 種類の実験タスクは以下の通りである。

- ・人物探索タスク：俯瞰映像中のどこかに映っている目標人物を探し出して人物領域をマウスで選択する
- ・ワーク判別タスク：探し出した目標人物が 3 種類もしくはそれ以外のオフィスワークのどれを行っているかをマウスでボタン選択回答する

実験は、実験実施者から内容説明を受け参加同意のあと、開始された。まず、実験参加者には視点切替前映像としてある視点の俯瞰映像が提示され、実験参加者は上記の人物探索タスクとワーク判別タスクを続けて行ったのち、画面上で主観評価結果を入力した。続けて、視点切替前映像上に「視点切替ボタン」が表示され（図 4.2.3.3.1）、実験参加者がボタンをマウス押下すると、プログラム上で視点切替処理が行われ、視点切替後映像として別の視点の俯瞰映像が提示された。俯瞰映像の切替中の待ち時間（SOA：Stimulus Onset Asynchrony）は 600 ミリ秒に設定した。実験参加者は、提示された視点切替後映像に対して、同様に上記 2 種類タスクと主観評価を行った。

全 24 条件（24 視点）についてタスクと主観評価が完了したあと、実験について自由感想のインタビューを行った。実験に要する時間は約 1 時間であった。

#### 4.2.3.5 解析

以下の行動指標・心理指標を求め、統計解析を行った。

- ・ワーク判別可能率：目標人物が行っている 3 種類のオフィスワークを正しく選択回答できた正答率
- ・主観評価：表 4.2.3.5 に示す 7 項目について、4 段階の単極式リッカートスケールで回答させた値

表 4.2.3.5 主観評価アンケートの項目

切 換 前	Q1	ひとつの視点から目標人物を見て、 作業内容を見分けるのは難しいと感じましたか？
	Q2	ひとつの視点から映像を見て、 あたかもその場所に自分がいるような感覚はありましたか？
切 換 後 映 像	Q3	視点切り換え後の映像から目標人物を探すのに 精神的なストレスを感じましたか？
	Q4	ふたつの視点から目標人物を合わせて見て、 作業内容を見分けるのは難しいと感じましたか？
	Q5	視点切換、ズーム、補助表示を含めて映像を見て、 その場所に自分がいるような感覚はありましたか？
	Q6	ふたつの視点で見られると 相手の作業状況がわかりやすくなると感じましたか？
	Q7	ズームする機能があると 相手の作業状況がわかりやすくなると感じましたか？
(0：まったくなかった ～ 3：非常にあった)		

#### 4.2.4 結果と考察

##### 4.2.4.1 ワーク判別タスク

図 4.2.4.1.1 にワーク判別可能率の結果を示す。3種類のオフィスワークである携帯電話、遅タイプ、速タイプ条件それぞれについて、視点切換前映像もしくは視点切換後映像のどちらかを見た場合の1視点でのワーク判別可能率の平均は、順に79.4、50.0、45.6%であり、視点切換前映像と視点切換後映像の少なくともどちらかで正しく判別できた2視点でのワーク判別可能率の平均は、順に97.5、81.3、78.8%であった。3条件の平均値は、1視点では58.3%、2視点では85.8%であり、対応のあるt検定の結果、両者には0.1%水準で有意な差が認められ ( $t(19)=19.67, p < .001$ )、視点数がひとつから複数化されることで遠隔地の映像からオフィスワーカーの作業内容を判別できる率が3割近く

有意に向上する効果が示された。ワークの条件別で見ると、複数の視点から様子見できることにより、ワーク判別可能率は携帯電話条件では2割弱向上して100%近くになり、遅タイプや速タイプ条件ではさらに向上度合いが大きく、3割強向上して約8割となり、かなり高い確度で作業状況の把握ができるように改善されるといえる。なお、タイプ条件の方が携帯電話条件よりも改善の率が大きい理由としては、タイプは携帯電話と比べて判別のポイントになる身体部位（たとえば前腕部）が低い位置になりがちで、オフィス机の上に置かれたディスプレイやその他物品の陰に隠れて見えなくなることが少なくないが、複数の視点から見られることによってその遮蔽部分が見えるようになることが多いためであると推測される。

さらに、図 4.2.4.1.2 に主観評価・ワーク判別時に感じた難しさ(Q1(1視点)対 Q2(2視点))の結果を示す。本項目は主観的難しさの計測であるため値が低い方が好ましい結果となる。視点切替前映像(1視点)の主観的難しさと視点切替後映像(2視点)の主観的難しさについて対応のある t 検定を行ったところ、両者には 0.1%水準で有意な差が認められ ( $t(19)=4.01, p < .001$ )、視点数が複数になることでワーク判別時に感じる難しさが有意に小さくなる効果が示された。

上記の結果から、遠隔オフィスの人物映像からのワーク判別(作業状況の把握)は、視点数の複数化によって行動指標・心理指標ともに有意に改善される効果があることが明らかになった。

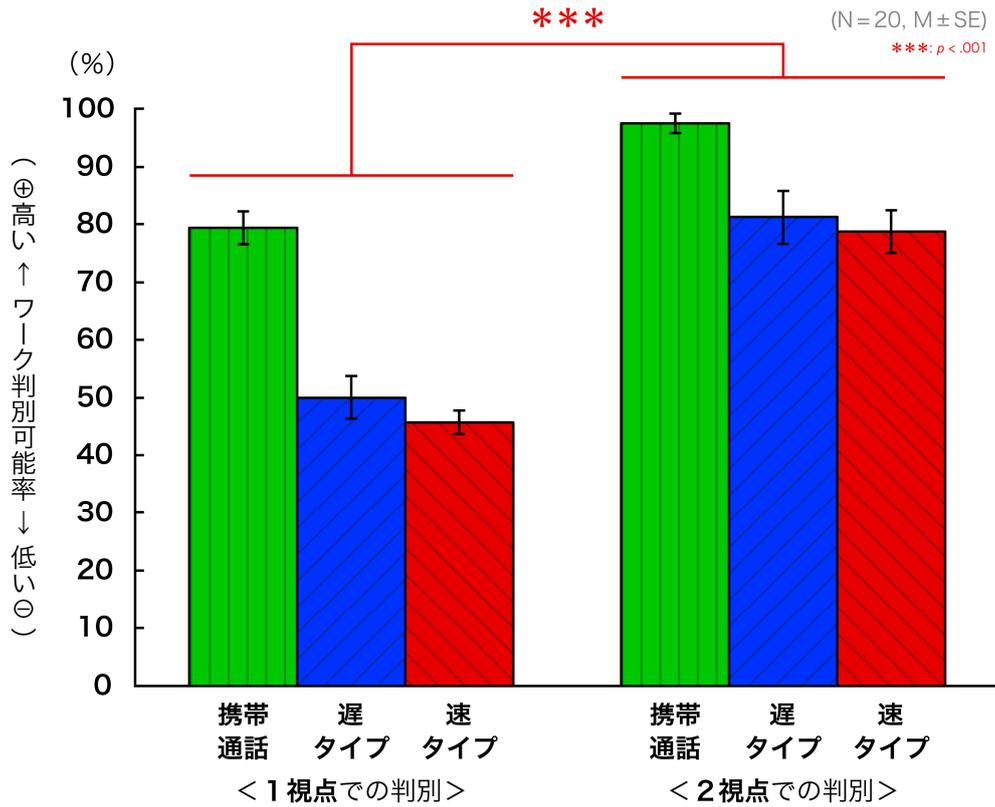


図 4.2.4.1.1 1視点と2視点でのワーク判別可能率

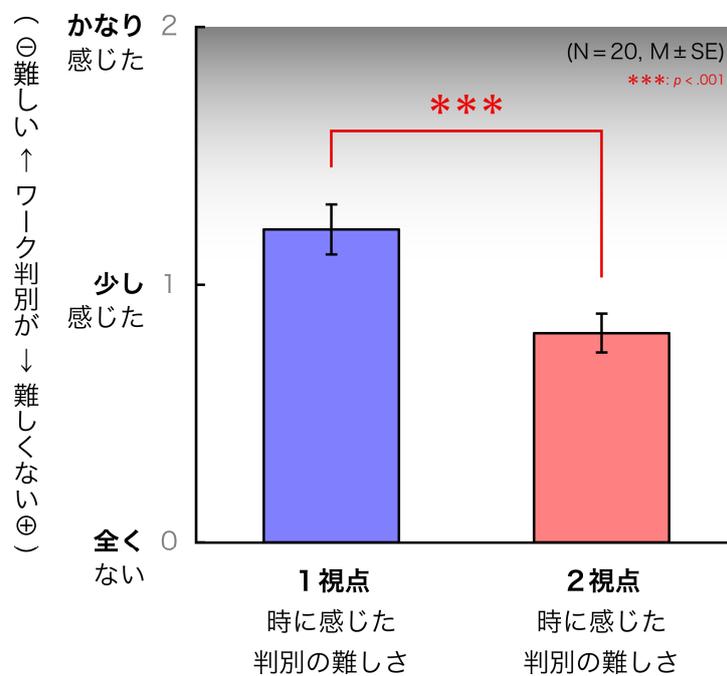


図 4.2.4.1.2 1視点と2視点でのワーク判別の難しさ感

#### 4.2.4.2 デジタルズーム機能の有効性

図 4.2.4.2.1 にズームなし条件とズームあり条件それぞれのワーク判別可能率（3種類のオフィスワーク平均）の結果を示す。対応のある t 検定を実施した結果、両条件間に有意な差は認められなかった ( $t(19)=0.16, p = .874$ )。前述の通り本実験のズームはデジタルズームであり、表示拡大はされるものの人物映像の情報量（実質的な映像解像度）自体は増えていないことから、デジタルズーム機能の利用ではワーク判別可能率が向上しなかったという上記の結果は順当のように思われる。

しかし一方で、実験後のインタビューにおいて、本実験で用いられた複数視点、Halo-UI、ズーム等の機能について様子見にどれが有効だと感じたかを尋ねたところ、「特にズーム機能に有効性を感じた」という旨のコメントが 4 割弱の実験参加者から挙がった。さらに、図 4.2.4.2.2 に主観評価・ズーム機能による相手の作業状況理解の向上感 (Q7) の結果を示す。ズーム機能による状況理解の向上感について、1 標本の t 検定 (0 (全くない) との比較) を行ったところ、0.1 %水準で有意な差が認められ ( $t(19)=9.19, p < .001$ )、本実験参加者が人物映像のデジタルズーム機能に有効性を感じたことが示された。これは、上記インタビューの結果とも整合する。この心理的有効性の一要因として、デジタルズームにより画面内の人物映像の表示領域が増加し、逆に人物映像以外の背景映像（ワーク判別に寄与しないノイズ的な情報）の表示領域は減少することから、人物映像の内容を観察し易くなる（観察の負荷が減る）といった要素が考えられる。今回の実験ではそのような観点からの評価項目は設定していなかったことから当該要因のさらなる深掘りや検証はできず、今後の課題としたい。

以上のように、デジタルズーム機能について、本実験の行動指標（ワーク判別可能率）では有効性は認められなかったが、心理指標（インタビューおよび主観評価 Q7）において有効性が示唆された。

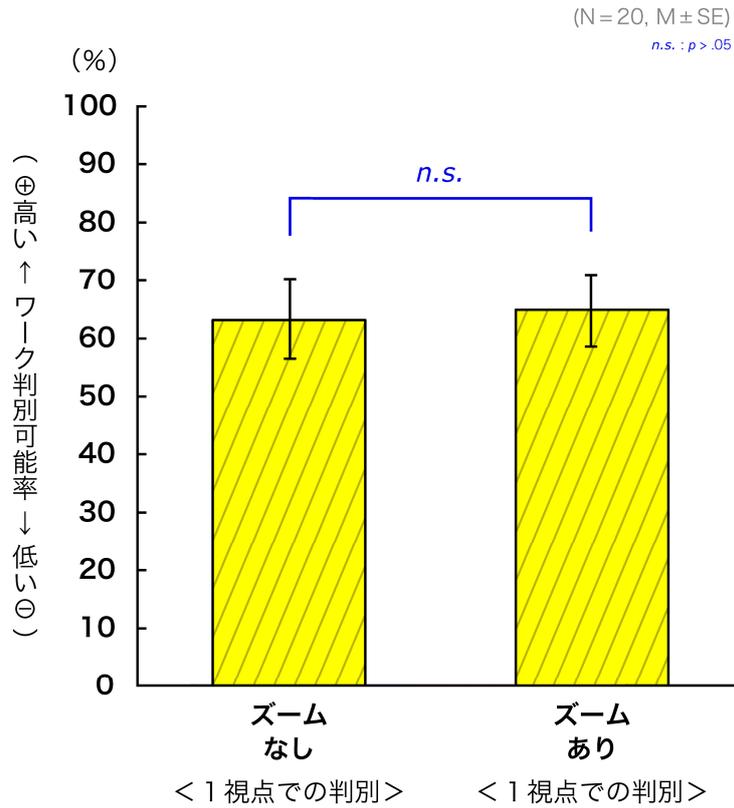


図 4.2.4.2.1 ズームなしとズームありでのワーク判別可能率

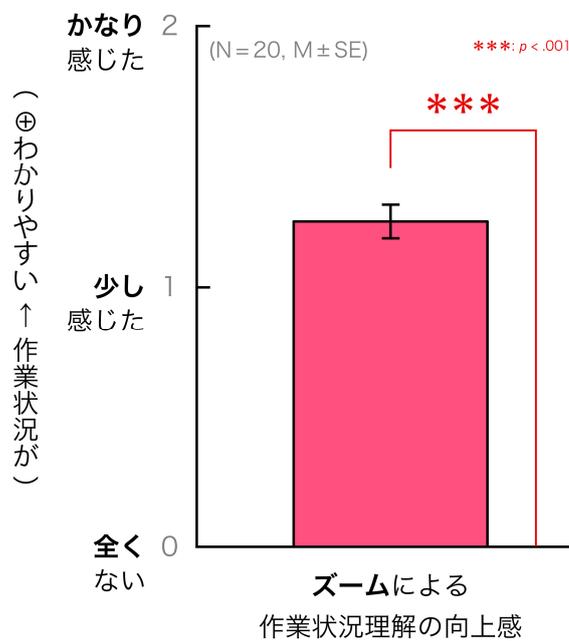


図 4.2.4.2.2 ズームによる作業状況理解の向上感

#### 4.2.5 まとめ

本研究では、遠隔オフィスの複数視点映像の切替操作を支援する新しいユーザインタフェース Halo-UI を提案した。さらに、Halo-UI を組み込んだ複数視点映像を提供するテレワークシステムの有効性を確認する評価実験を実施した。結果、映像の視点が複数になると人物映像からの3種類のオフィスワークの判別可能率が約58%から86%へと有意に3割弱向上し、判別の際に感じる難しさも有意に減少すること、デジタルズームであってもズーム機能は状況把握の有効性を感じさせることが明らかになった。

遠隔地の映像や音声を提供するマルチメディア通信システムにおいて、様子見という観点から複数視点機能やズーム機能の効果を実際のオフィス環境で検証した例はこれまでほとんどなく、また、それらの機能を有効に利用できるようなユーザインタフェースの提案も少なかった。そのような状況において、本研究は限定的ながらも一定の知見を提供するものである。

### 4.3 接近モード遷移時の映像ズーム速度の要件

#### 4.3.1 背景

4.2節で有効性が示された人物映像のズーム機能について、設定すべきパラメータとしてズーム速度がある。本研究では、超臨場感テレワークシステムにおいて、俯瞰モードから接近モードへ遷移する時のズームの速度をどの程度に設定するとよいかを明らかにすることを目的とする。

#### 4.3.2 方法

##### 4.3.2.1 実験参加者

実験参加者は電機メーカーに勤務する年齢20～50歳代の社員19名であった。

##### 4.3.2.2 提示刺激

2名の人物が対面会話をしている映像をデジタルズーム処理したズーム映像(図4.3.2.2)を4種類のズーム速度で作成し、評価対象刺激として用いた。4

種類のズーム映像は、ズーム率は同じで、ズーム速度としてズームの開始から終了までにかかる時間をそれぞれ「2000 ミリ秒」「1500 ミリ秒」「1000 ミリ秒」「500 ミリ秒」（後者ほどズームが速い）の4条件に設定して作成した。刺激の撮像に用いたカメラ（Logicool WebCAM Pro 9000）は床から220 cmの高さに設置し、カメラから2名の被写体人物までの距離は550 cmとした。



図 4.3.2.2 刺激のズーム映像（左から順にズーム率増加）

#### 4.4.2.3 手続きと測定項目

実験参加者が評価を行った環境を図 4.3.2.3.1 に、評価を行ったディスプレイの画面を図 4.3.2.3.2 に示す。実験参加者は前記4種類の速度のズーム映像をすべて閲覧し（実験参加者自身の操作で任意の順番で何度も閲覧可能とした）、下記の3項目の質問についてそれぞれ最も当てはまると感じた速度のズーム映像を選び回答した。

- (Q1) 映像内対象2名へのズーム速度として4条件の中で一番好きな条件
- (Q2) 映像内対象2名へのズーム速度として4条件の中で一番嫌いな条件
- (Q3) 人間が自然な感じで近づいていっている感覚に一番近いと感じた条件

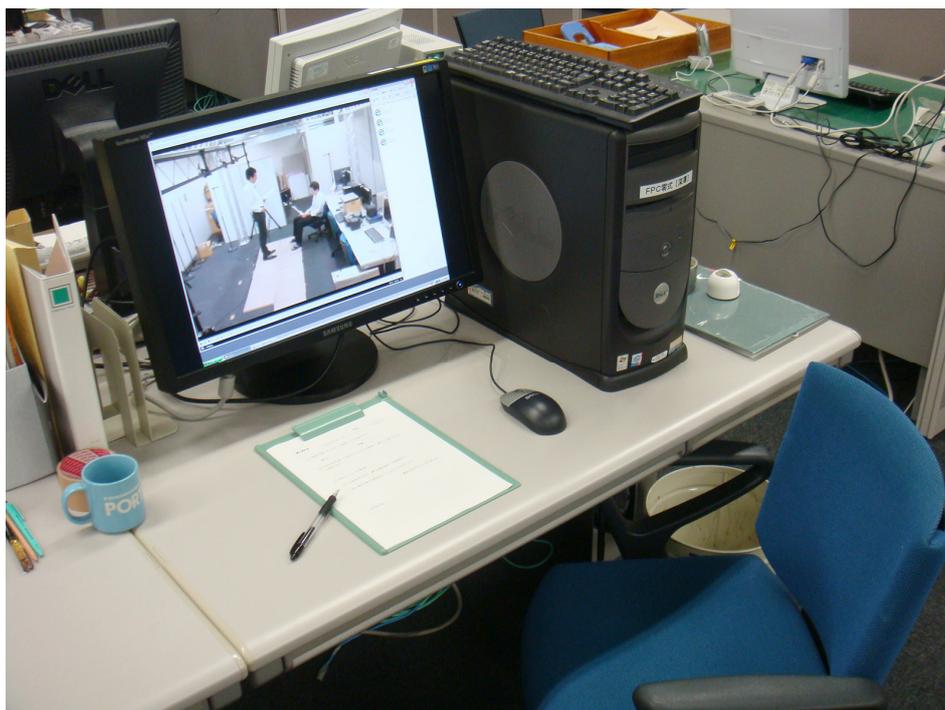


図 4.3.2.3.1 評価実施環境

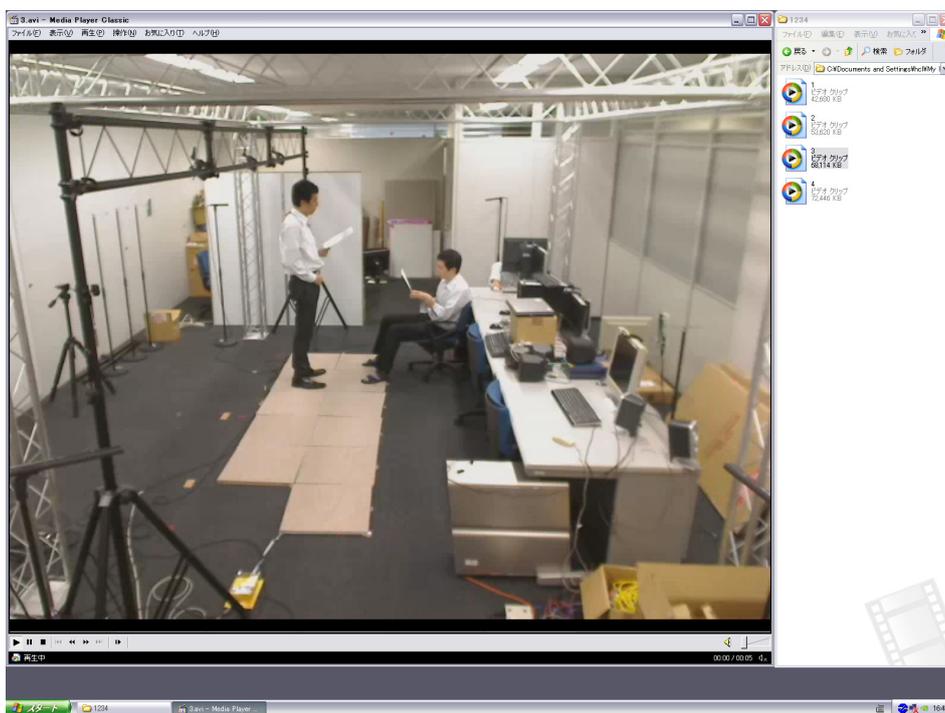


図 4.3.2.3.2 評価を行ったディスプレイの画面表示例

#### 4.4.3 結果と考察

##### 4.4.3.1 好きなズーム速度 (Q1)

映像内対象 2 名へのズーム速度として 4 条件の中で一番好きな条件の選択結果を図 4.4.3.1 に示す。結果は、ズーム速度の 4 条件それぞれにほぼ均等に選択が分散した。ズームの好きな速度の印象は個人のばらつきが大きいことが示唆された。

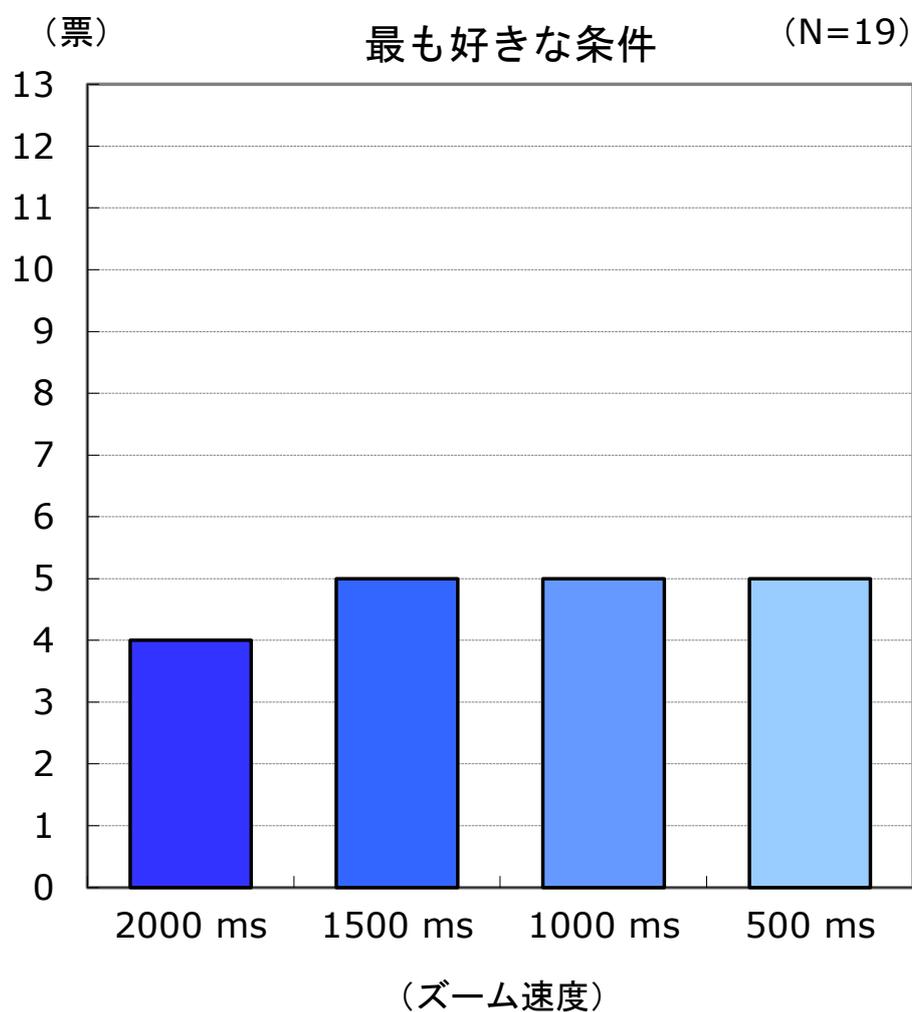


図 4.4.3.1 最も好きなズーム速度

#### 4.4.3.2 嫌いなズーム速度 (Q2)

映像内対象 2 名へのズーム速度として 4 条件の中で一番嫌いな条件の選択結果を図 4.4.3.2 に示す。結果は、2000 ミリ秒条件と 500 ミリ秒条件に回答が 2 分された。実験後の自由インタビューの結果を加味すると、2000 ミリ秒条件選択者はズームに時間がかかるのが鬱陶しいと感じており、500 ミリ秒条件選択者は逆に速すぎるズームに嫌悪感を覚えたようだった。

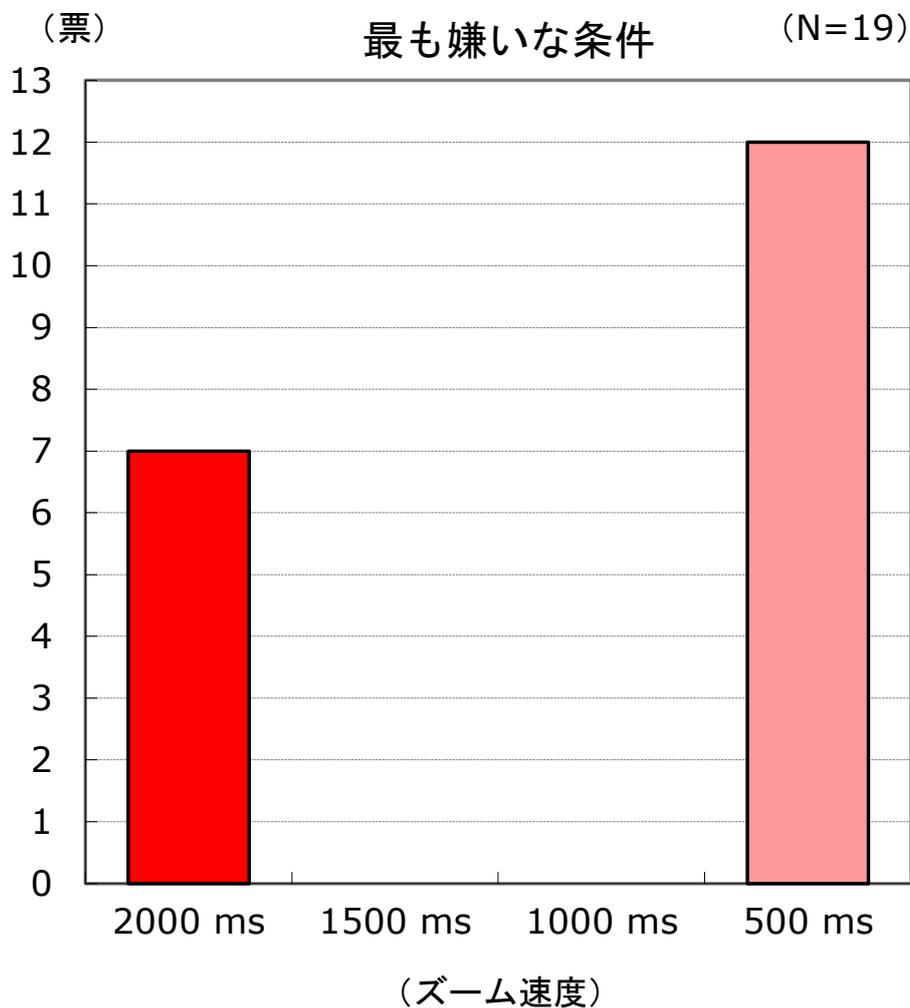


図 4.4.3.2 最も嫌いなズーム速度

#### 4.4.3.3 自然に感じるズーム速度 (Q3)

人間が自然な感じで近づいていっている感覚に一番近いと感じた条件の選択結果を図 4.4.3.3 に示す。特に 1500 ミリ秒と 2000 ミリ秒条件に選択が集中した。

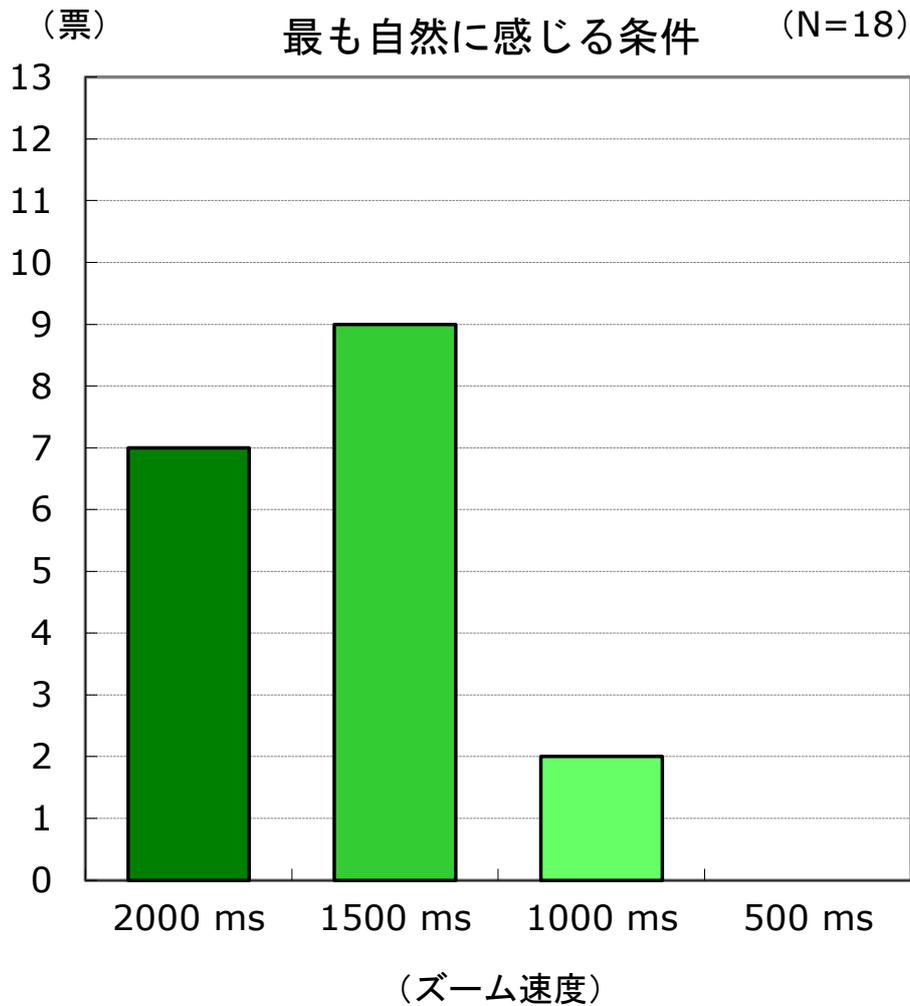


図 4.4.3.3 最も自然に感じるズーム速度

#### 4.4.3.4 総合的に最も好適なズーム速度

自然に感じるズーム速度 (図 4.4.3.3) は 1500 ミリ秒と 2000 ミリ秒が多かったが、2000 ミリ秒条件は嫌いという選択も少なからずあったため (図 4.4.3.2)、両項目の結果を総合し「1500 ミリ秒」のズーム速度が最も好適と判断した。

#### 4.4.4 まとめ

超臨場感テレワークシステムの、俯瞰モードから接近モードへ遷移する時の人物映像に対するズーム速度について、4種類のズーム速度の映像刺激を19名の実験参加者に比較評価させた結果、自然感と嫌悪感の印象評価を総合して「1500ミリ秒」のズーム速度が最も好適な条件であることが示された。以降、この結果に沿うように超臨場感テレワークシステムのズーム処理のパラメータを設定した。

### 4.4 テレワーカーの人物映像解像度の要件

#### 4.4.1 背景

コミュニケーションの主要要素の一つである会話について、そのきっかけとなる話しかけの際、相手の状況の推察、すなわち、相手は現在話しかけてもよい状況であるか、忙しそうではないか、の判断が通常行われている。遠隔コミュニケーション環境においてもそのような多忙度の推定が同室内の場合と同様に可能であるか、またそのためのシステム要件について検討することは、今後さらなる広まりが予測されるテレワークの支援システムの研究開発上も意義がある。キーボードを用いたPC入力作業は現代のオフィスワーカーの業務内主要行動の一つであり、先行研究においても主観的忙しさとの関連性が認められている[74]。我々は、ウェアネス情報をユーザーの直観的な知覚により伝達させたいという設計意図により、キーボードへの電子的な入力量を数値として情報提示するのではなく、ユーザーが観ることによる主観的な推定行動の可能性について研究を進めている。

以上を受け、本研究では、ユーザーが動画像を介して遠隔地にいる作業者のキー入力速度の推定を行う時、どの程度の画面解像度があれば十分な精度で推定ができるかを明らかにすることを目的とする。

#### 4.4.2 方法

#### 4.4.2.1 実験参加者

実験参加者は大学生 68 名であった。性別は男性 22 名、女性 46 名で、平均年齢は  $20 \pm 1$  歳、平均視力（自己申告式、矯正後値）は  $1.0 \pm 0.4$  であった。

#### 4.4.2.2 提示刺激

PC キーボードによるキー入力作業を行っている人物 1 名を左側方から撮影した動画像を刺激として用いた（図 4.4.2.2）。作業者は 40 代技術職の男性で、PC の使用経験は 20 年以上あった。作業は、PC モニタ上部に一定時間間隔で表示されるかな文字文章を同画面内下部のテキストエディタにキー入力転写する、というものであった。作業風景は、HDD ビデオカメラを用いフレームレート 30 fps、音なしで記録した。そのビデオデータを元に、表 4.4.2.2 に示される入力速度 3 条件、画面解像度 3 条件の組み合わせで計 9 条件の映像刺激を作成した。映像の時間長は 1 条件につき 6 秒間で、9 条件の映像刺激の提示順序はカウンタバランスをとり決定された。また、入力速度推定の際の相対化の基準として全力速度入力条件の映像を作成した（表 4.4.2.2）。



図 4.4.2.2 提示刺激映像の例

表 4.4.2.2 刺激のキー入力速度と画面解像度の条件

< 入力速度 >		< 画面解像度 >	
「速」条件	1かな文字 / 500 ms	「粗」条件	48 × 36 pixel
「普」条件	1かな文字 / 1500 ms	「中」条件	96 × 72 pixel
「遅」条件	1かな文字 / 3000 ms	「詳」条件	192 × 144 pixel
「全力速度入力」条件	1かな文字 / 420 ms		640 × 480 pixel

#### 4.4.2.3 手続き

最初に実験者から実験内容の説明と評価練習の後、全力速度入力条件に続けて9条件の映像刺激が提示された。映像刺激1条件提示毎後には14秒間の主観評価記入時間が設けられた。映像刺激は、プロジェクタを用い実験会場（広さ：約11×11 m）前方のスクリーンに約2.4×1.8 mの画面サイズで投影された（図4.4.2.3）。実験参加者には、各条件の映像刺激について「映像内作業者のキー入力速度はその人の全力入力時の何%くらいの速度だと思いますか？」、「上記であなたが推定した速度はどのくらい正確である自信がありますか？」という2つの質問で、映像内作業者の推定相対入力速度の推定およびその速度推定自信度について、0%～100%を両端とする10%間隔のスケールに記入評価させた。



図 4.4.2.3 評価の実施環境

#### 4.4.2.4 統計解析

推定相対入力速度および速度推定自信度それぞれの回答データについて、入力速度、画面解像度（ともに3水準）を2要因とする二元配置反復測定分散分析を行った。

#### 4.4.3 結果と考察

推定相対入力速度の結果を図 4.4.3.1、速度推定自信度の結果を図 4.4.3.2 に示す。両者ともに 1%水準の有意な交互作用が見られたため（推定相対入力速度、 $F(4,268) = 21.89$ 、 $p < .001$ ；速度推定自信度、 $F(4,268) = 12.76$ 、 $p < .001$ ）、単純主効果の検定（Bonferroni の方法）を行った。

##### 4.4.3.1 推定相対入力速度

図 4.4.3.1 より、キー入力速度の推定において、「普」および「速」入力速度条件では画面解像度条件の違いによる有意な差はほとんど見られないが、「遅」条件では全水準間で 1%水準の有意差が認められた。また、作業者の相対キー打鍵数（入力速度 3 条件／全力速度入力条件）の条件ごとの値は「遅」：13.8%、「普」：25.3%、「速」：78.2%で、「詳」条件の平均推定結果値とほぼ等しく、「詳」条件の推定は非常に正確に行われたことがわかった。さらに、「遅」条件は、業務内で PC を日常的に使用しているオフィスワーカーでは通常起こり難い打鍵速度であるため、解釈対象を「普」および「速」条件に絞り上記の結果を総合すると、今回の条件中最も低い「粗」条件程度の画面解像度でも、非常に精度の高いキー入力速度推定が可能であるといえる。

##### 4.4.3.2 速度推定自信度

図 4.4.3.2 より、画面解像度が高いほど推定に対する自信度が上昇すること、また、入力速度が大きいほど自信度も高くなることがわかった。ここで、3.1 と同様「遅」条件の結果を解釈対象から除くと、「普」および「速」条件ともに、「粗」 - 「中」水準間は 1%水準の有意差が見られたが、「中」 - 「詳」水準間には有意な差は認められなかったことから、キー入力速度推定の際の推定者の自信度に関しては「中」条件の画面解像度があればよいといえる。

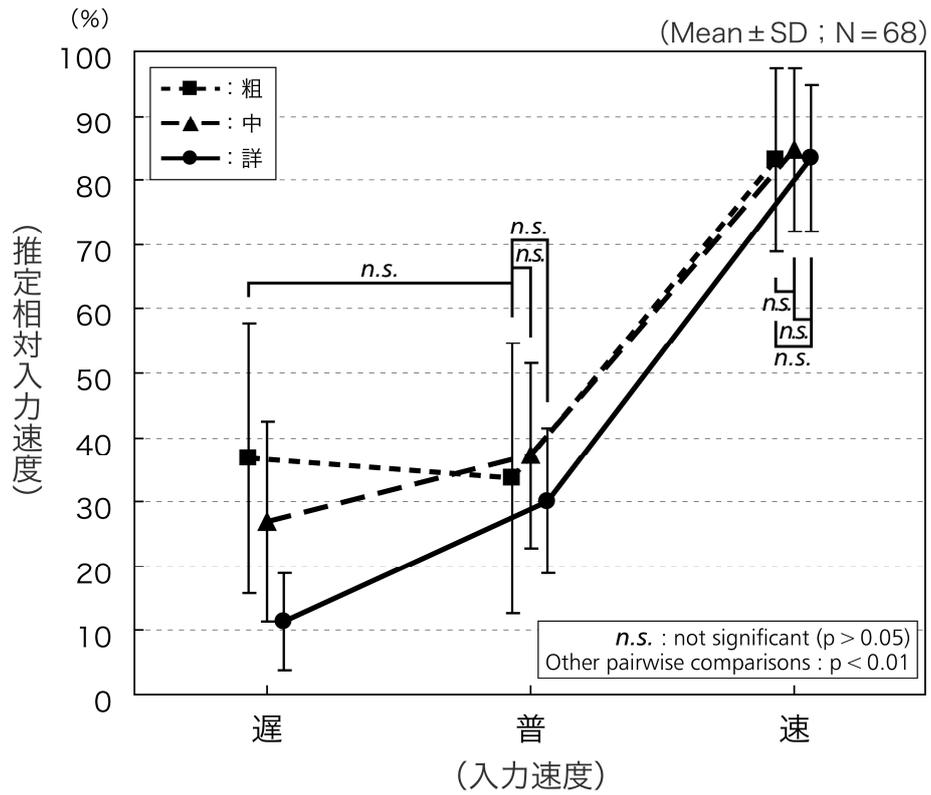


図 4.4.3.1 推定相対入力速度

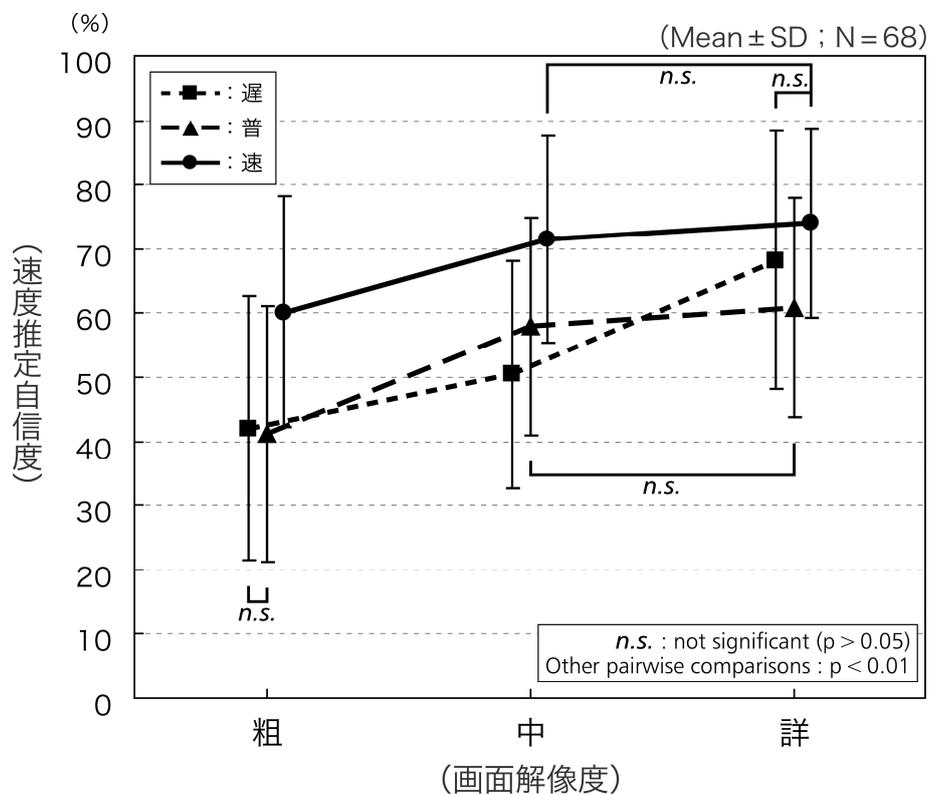


図 4.4.3.2 速度推定自信度

#### 4.4.3.3 視距離の影響

映像刺激までの視距離が推定に与える影響を検討するため、刺激投影スクリーンの直前に位置した 14 名（平均視距離約 5 m）と会場最後方にいた 14 名（同約 9 m）の実験参加者データについて対応のない t 検定を行った。結果、推定相対入力速度は  $p = .79$ 、速度推定自信度は  $p = .27$  で、ともに有意な差は認められなかった。これにより、本研究の実験参加者の推定が刺激までの視距離条件の違いに影響された可能性は低いことが示された。

#### 4.4.4 総合評価と応用提案

上記の結果を総合し、映像内作業者のキー入力速度を正確かつ高自信度で推定するためには「中」条件レベルの画面解像度（ $96 \times 72$  pixels）があれば十分であることが示された。

本研究の成果知見をより汎用的・応用的に利用する方法の例として、映像内作業者の身体部位を基準に解像度設定をする方法を提案する。身体部位とはたとえば、オフィス映像内でも机などの什器に遮蔽されることの少ない頭部である。図 4.4.4 に本研究の中条件レベルの画面解像度（ $96 \times 72$  pixels）の本研究提示刺激の例を示す。この時、映像内作業者の頭部高の解像度はおよそ「20 pixels」である。そこで、オフィス映像内の被写体人物画像の頭部領域を自動検出し、頭部領域の高さが 20 pixels 以上ある場合は、当該被写体人物画像領域の解像度を頭部領域の高さが 20 pixels 程度になるように変更処理する機能を提案する。当該機能により、オフィス映像内に被写体人物が複数名おり、各人のカメラからの距離や身体サイズが異なっている場合でも、本研究の知見を利用することができる。



図 4.4.4 中画面解像度条件の提示刺激映像の例

## 4.5 感情推定 AI の推定情報を人物映像に付帯提示する機能の効果

### 4.5.1 背景

ワークライフバランスの改善、省エネルギー、事業継続計画等の観点から、チームのメンバー同士が離れた場所で共に働くテレワークが注目されている。しかし、互いに同じ室内にいる環境（以下、同室環境）と比較して、離れている環境（以下、遠隔環境）では他のチームメンバーの感情状態や状況、雰囲気等がわかり難いと感じられる可能性がある。感情の中でも快度の高さに対応する「ポジティブ感情」[75][76]は他者への援助行動傾向を高めること[77]、オフィスチームのポジティブな感情（雰囲気）の強さはチームの業績と正の相関を示したという研究結果もあり[78]、ポジティブ感情の強さはチームメンバーとの関係性を深める行動、すなわちコミュニケーション行動の促進が期待できる。反面、もしテレワークに感情伝達の面で課題があれば、メンバー間のコミュニケーションに支障をもたらし、テレワークの導入・普及の障壁になる恐れがある。

これに対し、カメラ、マイク、ウェアラブルデバイス等による、ユーザーが表出する行動の各種センサデータに基づき、ユーザーの心的状態、特に感情を

推定する技術が存在する[79]。ユーザーの感情を推定し、その感情推定情報を遠隔地の別のユーザーに提供することにより、前述の、離れたメンバーの状態や状況がわかり難いというテレワークの課題を解決できる可能性がある。テレワークの実施を支援するため、遠隔地の映像、音声、その他各種のセンサ情報を伝える超臨場感テレワークシステム感情推定および推定情報伝達機能を加えることも有効であろう。

ところで、いわゆるセンサデータからの確率的な推定技術は、一般的に 100% 完全な推定精度性能になることはなく、ある程度の確率で誤推定が発生する。特に、技術開発が進み近年では 9 割以上の精度も珍しくない音声認識などと比較して、人間の感情の推定は難しく、たとえば快感情 (Valence) [80] の推定技術は 6~7 割程度の推定精度性能にとどまっている[81]。精度が低いと知られた推定情報はユーザーに提示されても参考にされず支援効果が低くなるかもしれない等、精度情報自体も情報提示の効果に影響を与える可能性がある。しかし、推定情報の提示機能において、推定結果だけでなくその推定精度の情報を提示することが推定情報を提示される者へ及ぼす影響を検証した研究はほとんどない。関連研究として、機械の動作状況に関する警報システムを想定し、その確率的な誤警報の出方を操作してユーザー行動への影響を評価した研究[82]や、機械が有する性能の低さをあえて表現することがそれを見たユーザーの行動に及ぼす影響に着目した研究[83]等があるが、推定の対象種やユーザーの状況が異なり、感情推定情報とその推定精度情報の提示機能への知見の応用は難しい。

以上を踏まえ、本研究は、感情の推定内容情報を、どの程度の認識率であるかという推定精度情報と併せてユーザーに提示した場合に、遠隔の映像・音声通信環境下で感情の伝達性が向上するかどうかを明らかにすることを目的とした。感情推定および推定情報伝達機能を効果的に組み込んだ、新しい遠隔コミュニケーション支援システムへの知見応用を目指す。そのため、以下 2 つの仮説を検証する評価実験を実施した。

H1：遠隔環境は同室環境よりも感情の伝達性が低下するが、感情の推定情報が支援提示されると伝達性の向上効果が生じその低下度合いが小さくなる

H2：感情の推定情報の上記支援提示効果の大きさは、併せて提示される推定の精度情報の精度の大きさに応じて変わる

#### 4.5.2 方法

同室環境下の「同室」条件、遠隔環境下で感情推定情報が提示されない「遠隔なし」条件、遠隔環境下で精度 70%もしくは 90%を示す感情推定情報が支援提示される「遠隔 70%」条件と「遠隔 90%」条件の 4 種類いずれかの条件にある実験参加者に、快／中性／不快いずれかの感情に誘導された実験協力者を観察させてその感情を推測させ、感情の伝達度や観察時間を条件間比較した。

##### 4.5.2.1 実験参加者

健常な視力（矯正後 0.7 以上）と聴力を有する日本人大学生 16 名が実験に参加した。性別は男性 9 名と女性 7 名、年齢は平均 22.3（±SD 1.3）歳であった。

##### 4.5.2.2 実験環境

実験環境の説明図を図 4.5.2.1、実験風景の例を図 4.5.2.2 に示す。実験室として、後述の感情誘導される実験協力者がいる同室部屋と、実験協力者の映像と音声をリアルタイムに伝送し実験参加者へ提示する遠隔部屋の 2 部屋が用意された。同室部屋には、遠隔部屋へ送る実験協力者の身体映像を取得するビデオカメラ（HDR-CX900）、発話音声を取得するマイク（ECM-66B）、実験協力者へ後述の感情誘導刺激を提示するノート PC（dynabook R82）、刺激提示間の時間帯に実験協力者の姿を隠すカーテンが設置された。遠隔部屋には、実験協力者の身体映像を映す 70 インチフル HD ディスプレイ（PN-R703）、実験協力者の発話音声を出力するスピーカー（X-240）、実験協力者の感情の推定内容情報と推定精度情報を提示する 21 インチフル HD サブディスプレイ（FlexScan EV2116W）2 台が設置された。当該サブディスプレイには偏光フィルタ（EF-PFS215W）が取り付けられ、遠隔 70%と遠隔 90%条件の座席（図 1 の③

／④席)のみから推定情報の画面表示を見ることができるようにした。同室部屋において実験参加者とビデオカメラは実験協力者から約2m離れ、遠隔部屋においても実験参加者はディスプレイから同様に約2m離れた位置で着座した(70インチディスプレイ画面上の実験協力者の投影サイズは実体の約8割の大きさであった)。

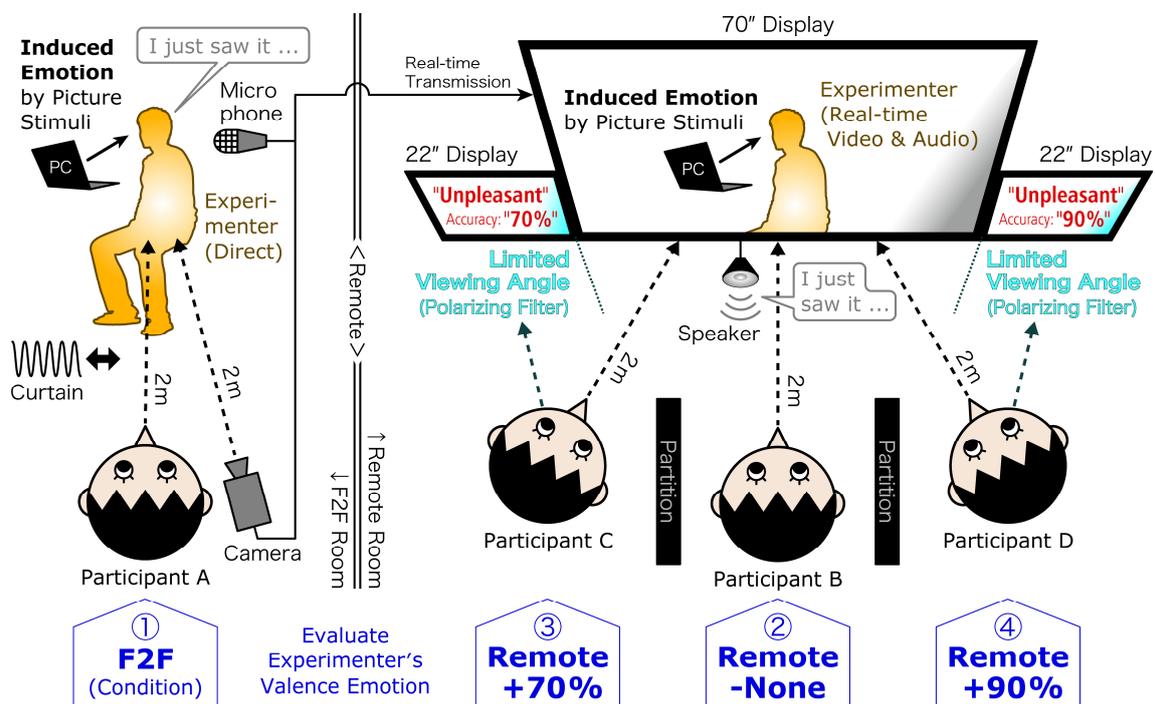


図 4.5.2.1 実験環境

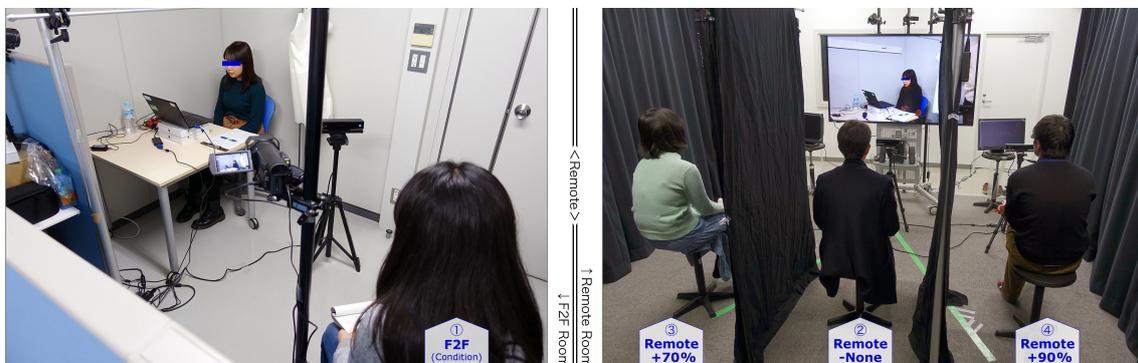


図 4.5.2.2 実験風景

#### 4.5.2.3 提示刺激

実験参加者は、感情誘導された実験協力者の身体像と発話音声を刺激として、その時点の実験協力者の感情を推測し印象評定した。実験協力者は椅坐位姿勢で感情誘導標準画像刺激セット“GAPED”[84]をノート PC から 1 刺激につき 45 秒間画面提示され、試行毎に「快」「中性」「不快」のいずれかの感情に誘導された。実験協力者には、大げさな表情や発話をする必要はなく、提示画像を見て自然な反応をすればよいと教示した。試行数は 1 条件につき 7 試行であり、快 3 試行（赤ちゃん画像[GAPED:P035]、子犬群画像[P114]、自然風景画像[P070]）、中性 1 試行（電球画像[N061]）、不快 3 試行（土葬死人画像[H074]、動物屠殺画像[A075]、蜘蛛画像[Sp136]）が条件毎にランダム順で実験協力者へ提示された。実験協力者は、実験参加者との面識がほとんどない者で、かつ、性別による感情表出特性の差異を考慮して 30 代男性と 20 代女性 1 名ずつを用意し、両者を実験参加者毎にカウンタバランスを取った順番で入れ替え感情推測の対象とした。

さらに、遠隔 70%および遠隔 90%条件では、GAPED の快度タグ情報を基に「快」「中性」「不快」のいずれか、および「精度 70%」「精度 90%」のどちらかを組み合わせた文字列（たとえば「快：推定精度 70%」）が推測の支援情報として試行毎にサブディスプレイ上に提示された。そして、精度情報に合わせ実際に誤推定を発生させるため、快 3 試行中の 1 試行と不快 3 試行中の 1 試行では逆の感情推定情報（たとえば、感情誘導刺激が快画像の場合に不快という文字列）を提示した。

#### 4.5.2.4 測定指標

実験参加者は、各試行毎に質問紙により、観て推測される実験協力者のポジティブ感情強度（快度 SAM 尺度[85]：非常に不快～非常に快の双極 Likert 9 段階）と推定情報参考度「感情推定情報を推測の参考にしましたか？」（単極 Likert 4 段階）の評定を行った。さらに、実験協力者も各試行毎に自身のポジティブ感

情強度（快度 SAM 尺度）を評定した。そして、実験参加者の快度 SAM 評定値（推測値）と実験協力者の快度 SAM 評定値（正解値）の適合率（快／中性／不快の一致率）を感情伝達度として算出した。また、話しかけやすさの指標として「対象人物へ雑談の話しかけを行うと想定して、話しかけやすい状態だと感じましたか？」（単極 VAS：0～100%）も評定させた。さらに、実験参加者が実験協力者の観察を開始（後述するカーテンが開かれた瞬間）してから質問紙に視線を移して評定の記入を始めるまでの時間を観察時間として計測した（なお、観察時間は実験参加者を撮影したビデオ映像の分析に基づいて計測したが、ビデオ撮影できたのは実験後半の 8 名分の遠隔 3 条件に対してのみであり、かつ 1 名分のデータは不適で除いたため、観察時間のみデータ n 数は 7 である）。また、実験協力者男女計 2 名に対する評定値・測定値は合わせて平均化された。

#### 4.5.2.5 手続きと実験計画

各試行開始時には実験協力者はカーテンの後ろに隠れていた。試行開始と共にノート PC から実験協力者へ感情誘導刺激の提示が開始され、同時にカーテンが開かれて実験協力者の姿が見えるようになり、実験参加者は実験協力者の感情を後述の質問紙を用いて評定した。実験協力者はノート PC 上の感情誘導刺激を見ながら 45 秒間の間に「私はそれを先ほど見ました」と 5 回復唱した。45 秒間が経過するとカーテンが閉じられ、次の試行開始まで 1 分間前後の間隔が取られた。その間隔中に実験協力者は自己の感情について評定を行い、評定完了後に感情をリセットするための中性刺激（電灯画像[N091]）が 15 秒間提示され、その後次の試行が開始（次の画像刺激が提示）された。1 試行の長さは約 90～120 秒間程度、試行数は前述のように 1 条件につき 7 試行、推測を行う環境 4 条件を実験協力者 2 名分で計 56 試行であった。

前節で述べた各測定値について、実験協力者の誘導感情要因（快／中性／不快の被検者内 3 条件）と実験参加者の推測環境要因（同室：F2F／遠隔なし：Remote-None／遠隔 70%：Remote+70%／遠隔 90%：Remote+90%、の被検者

内4条件)に対する一元配置反復測定分散分析と多重比較(Bonferroni法)を実施した。各条件の実施順は実験参加者間でカウンタバランスを取った。

### 4.5.3 結果

#### 4.5.3.1 感情誘導の確認

図4.5.3.1に感情誘導刺激の快感タグ情報(快/中性/不快)別の快感SAM尺度評定値の結果を示す。推測環境要因4条件すべてにおいて、一元配置反復測定分散分析の有意な主効果( $F(2,30) = 966.1, p < .01$ )およびすべての快感タグ情報間に有意な差( $p < .01$ )が認められ、本実験の刺激(GAPED)によって実験協力者の感情誘導を目的通りに行えたことが確認された。

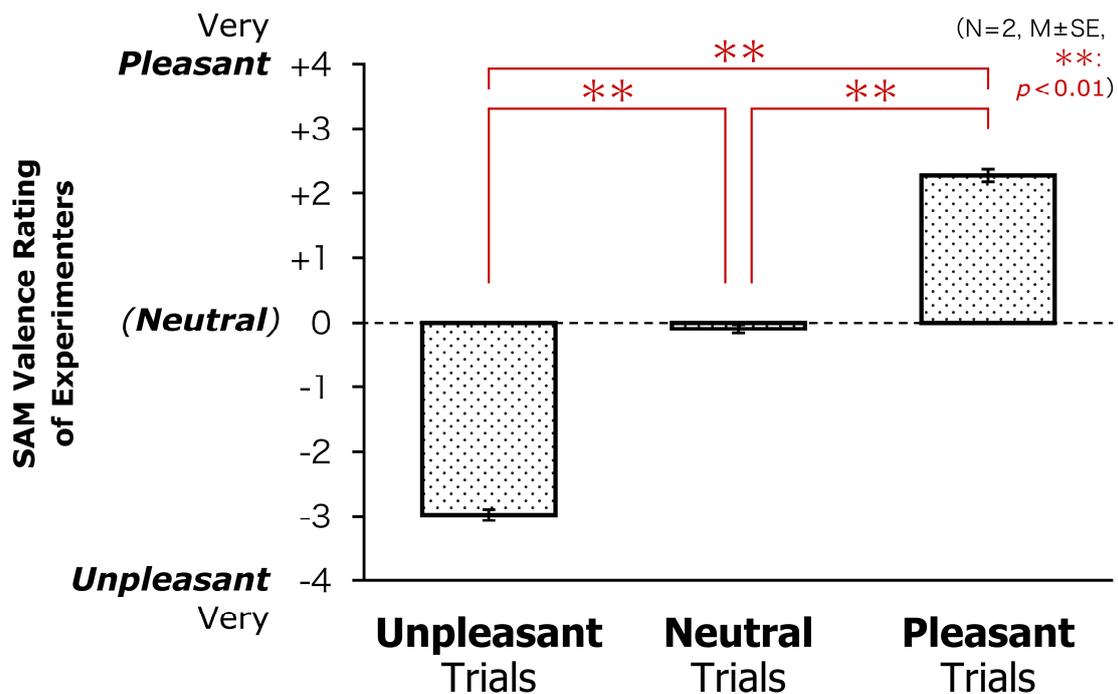


図 4.5.3.1 実験協力者の快感情誘導結果

#### 4.5.3.2 感情伝達度

図 4.5.3.2 に感情伝達度の結果を示す。一元配置反復測定分散分析の有意な主効果が認められ ( $F(3,45) = 3.92$ 、 $p = .014$ )、多重比較の結果、遠隔 70%条件が他の3条件（同室、遠隔なし、遠隔 90%）よりも有意に感情伝達度が高かった ( $p < .05$ )。

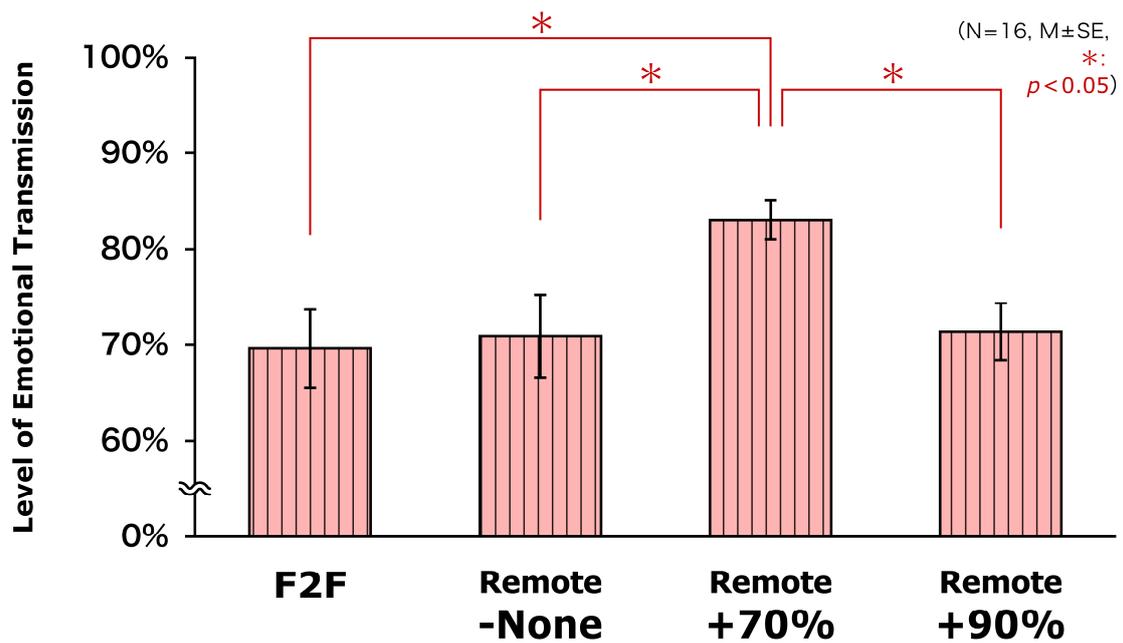


図 4.5.3.2 感情伝達度

#### 4.5.3.3 観察時間

図 4.5.3.3 に観察時間の結果を示す（前述のように観察時間は遠隔 3 条件でのみ測定された）。一元配置反復測定分散分析の有意な主効果が認められ ( $F(2,12) = 5.36$ 、 $p = .022$ )、多重比較の結果、遠隔なし条件は遠隔 70%条件よりも有意に観察時間が長かった ( $p < .05$ )。

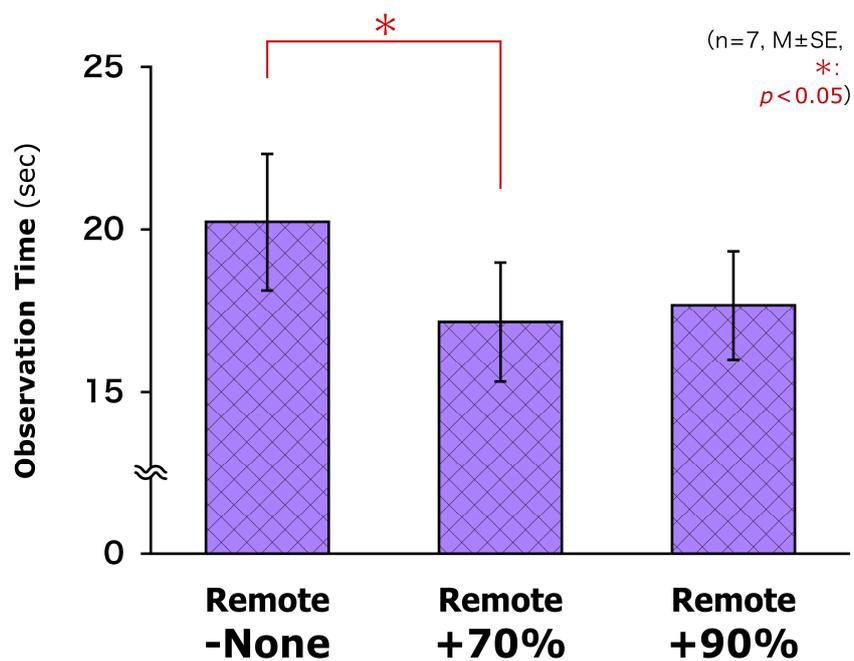


図 4.5.3.3 観察時間

#### 4.5.3.4 推定情報参考度

図 4.5.3.4 に推定情報参考度の結果を示す（推定情報参考度は推定情報が提示される遠隔 70%と遠隔 90%条件でのみ評定された）。対応のある t 検定の結果、遠隔 70%と遠隔 90%条件間で有意な差は認められなかった ( $t(15)=1.31$ ,  $p = .210$ )。

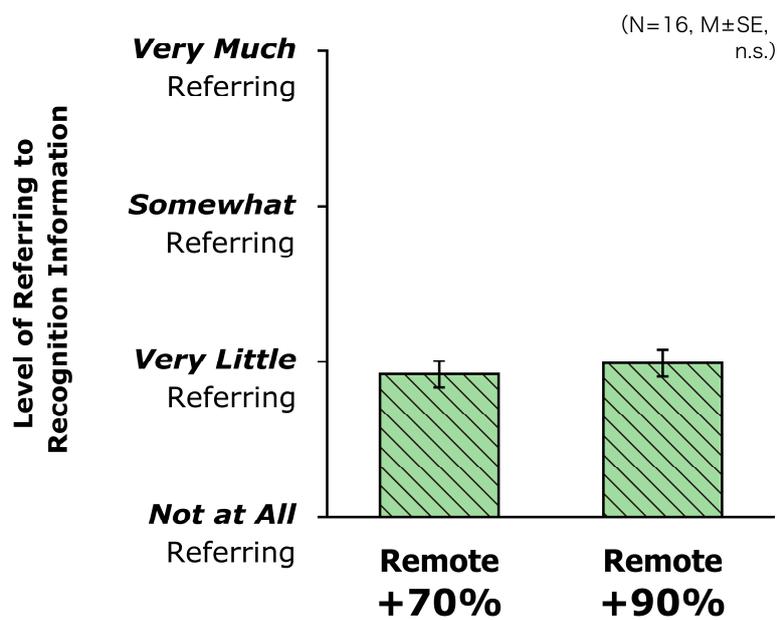


図 4.5.3.4 推定情報参考度

#### 4.5.3.5 話しかけやすさ

図 4.5.3.5 に実験参加者が感情誘導された実験協力者を観て評定した話しかけやすさ感の結果を示す。二元配置反復測定分散分析の結果有意な交互作用が認められた ( $F(6,90) = 2.64, p = .021$ ) ため、単純主効果の検定 (Bonferroni 法) を行った。単純主効果検定の結果、誘導感情要因では、同室および遠隔なし条件において、快条件が中性と不快条件より、中性が不快条件よりもそれぞれ有意に話しかけやすさ感が高かった ( $p < .05$ )。また、遠隔 70% および遠隔 90% において、快条件と中性条件が不快条件よりもそれぞれ有意に話しかけやすさ感が高かった ( $p < .05$ ) が、快条件と中性条件間に有意な差は認められなかった ( $p > .05$ )。一方、単純主効果検定の結果、推測環境要因では快/中性/不快すべての条件において、同室/遠隔なし/遠隔 70%/遠隔 90% 条件間に有意な差は認められなかった ( $p > .05$ )。

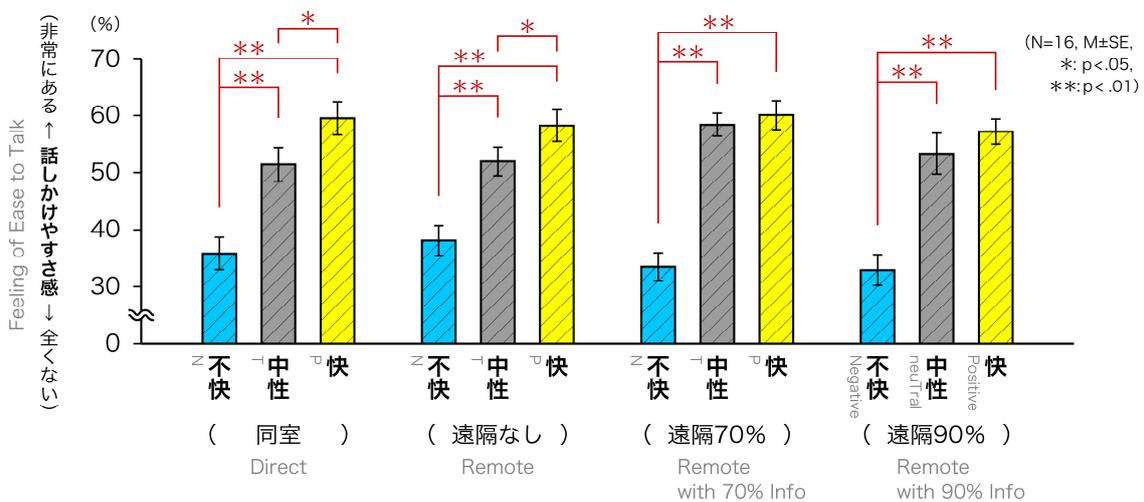
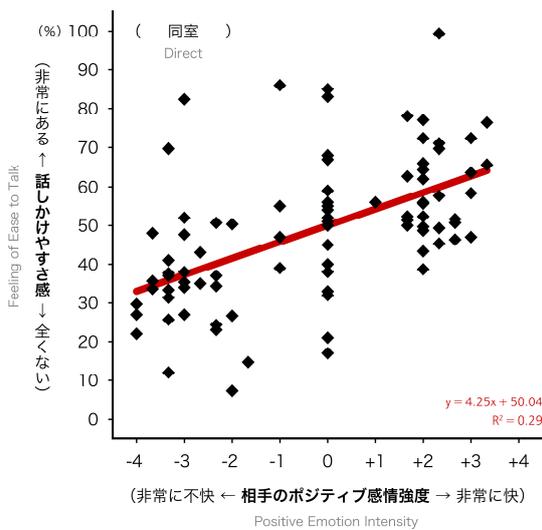


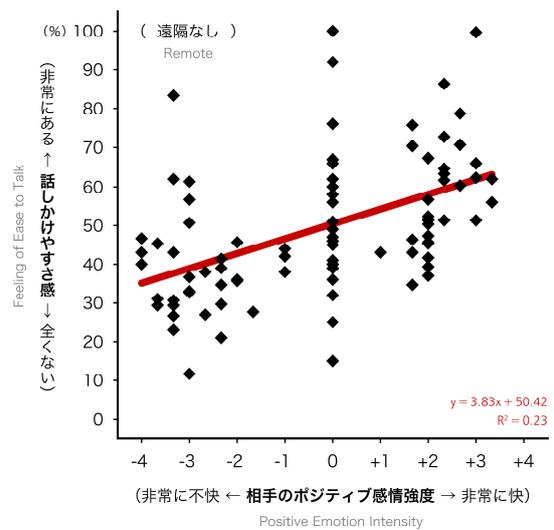
図 4.5.3.5 相手(実験協力者)への話しかけやすさ感

#### 4.5.3.6 ポジティブ感情強度と話しかけやすさの関係性

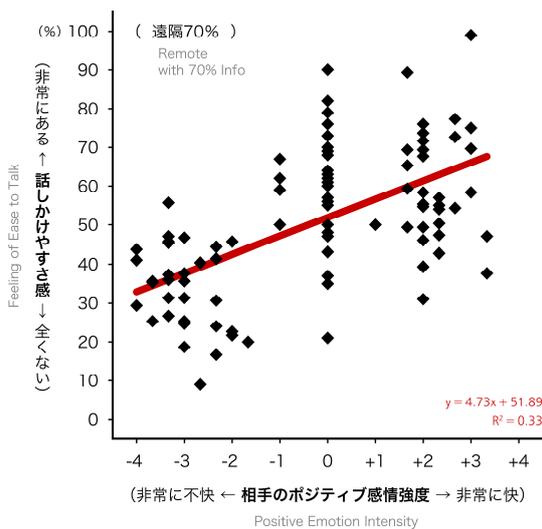
ポジティブ感情強度と話しかけやすさ感の関係について、推測環境要因4条件それぞれで両者間の相関分析を実施した結果、全条件において  $r = .4$  以上の有意な正の相関関係が認められた（同室： $r = .535$ 、遠隔なし： $r = .485$ 、遠隔70%： $r = .578$ 、遠隔90%： $r = .556$ ；すべて  $p < .01$ ；図 4.5.3.6(a)-(d)）。



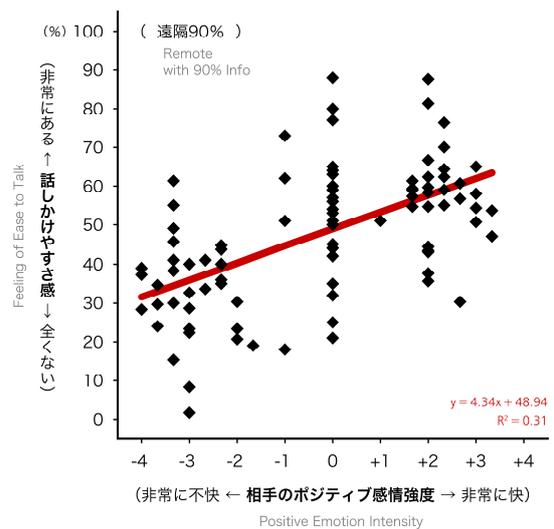
(a)同室条件



(b)遠隔なし条件



(c)遠隔70%条件



(d)遠隔90%条件

図 4.5.3.6 相手のポジティブ感情強度と話しかけやすさの関係性

#### 4.5.4 考察

本研究の目的は、感情の推定内容情報と推定精度情報を併せてユーザーに支援提示した場合に、遠隔環境下で感情の伝達性が向上するかどうかを明らかにすることであった。実験により、本研究の仮説は以下の結果となった。

H1：一部採択、遠隔環境と同室環境間で感情伝達度に有意な差は認められなかったが、感情推定情報を支援提示することで感情伝達度が有意に向上した

H2：採択、推定精度 70%の情報提示条件の方が精度 90%の情報提示条件よりも感情伝達度が有意に高かった

まず感情伝達度の結果から、そもそも同室条件と比較して遠隔なし条件の感情伝達度は損なわれておらず同等（約 7 割）であった。関連研究[86]においても、感情伝達に関する同室と遠隔環境の比較において、主観評価アンケートでは同室よりも遠隔環境の方が有意に伝達感の評価が低かったものの、実際の互いの快感情評定の伝達度（相関係数）を比較すると同室と遠隔環境間に有意な差は認められなかった。すなわち、テレワークで感じられる感情伝達での課題は、感情伝達度が遠隔環境で実際に劣化するわけではなく、心理的にそう感じられているという問題であることが示唆された。

そして、本研究では、精度 70%という情報を開示しながら感情推定情報を支援提示した遠隔 70%条件において、感情伝達度が有意に 10%以上向上し 8 割以上になった。遠隔 90%条件ではこのような向上は見られなかったことから、ただ感情推定情報を支援提示することが有効なのではなく、推定の精度情報と、それが高くないということを開示することが、この感情伝達度の向上効果の発揮に必要だといえる。実験後にすべての実験参加者に対して行ったインタビューでは、一部の参加者から「遠隔 70%では情報を信頼し過ぎずに相手の感情を推測したが、遠隔 90%ではあまり考えなくなってしまった」「遠隔 70%では三分の一は間違っているの、推定情報に自分の推測判断があまり影響されないようにした」等の自由コメントがあったことから、精度が低いと意識される推

定情報が提示されることにより、相手の感情を正確に推測しようとするより注意深い観察行動が誘発された可能性がある。

観察時間の結果からは、感情推定情報を支援提示すると、支援提示のない条件と比較してより短い観察時間で相手の感情を推測できる可能性が示された。これも感情推定情報提示機能の効果のひとつと言え、感情推定情報が提示されることにより推測の判断が促進されるのかもしれない。しかしながら、前述のように感情伝達度が向上したのは遠隔 70%条件の方のみであり、やはり推定内容情報だけでなく精度情報を併せて提示することが本研究からは最も有効であると言える。

また、話しかけやすさ感の結果は、推測環境要因の 4 条件すべてで「不快条件<中性条件<快条件」となる傾向が見られ、どの環境においても快条件は不快条件よりも有意に相手に話しかけやすいと感じられた。特に、同室と遠隔なし条件は類似した傾向を示し、本研究においては遠隔環境が同室環境よりも感情の Awareness 情報が伝わりづらくなるという現象は確認されなかった。

本研究の課題として、ひとつは、今回の測定指標のデータだけからでは感情伝達度が遠隔 70%条件で向上した条件の深掘りに限界があるということである。追加の指標として、視線計測により、実験協力者の映像や感情推定情報をどのような順番・空間・時間分布で観察したのか、また、脳波等の計測により観察中の集中度を計測できれば、感情伝達度の向上に必要な要因や支援機能としての要件をさらに明らかにすることができるだろう。また、感情推定感情の提示方法（ユーザインタフェースデザイン）についても、本研究では最も基礎的な検討として単純な文字列表示による情報提示を行ったが、グラフや色彩等によるグラフィカルな表現や、エージェントやロボットであれば精度が低い時は自信なげな非言語情報表現をするなど、応用的な情報提示方法にした場合の効果も検討したい。最後に、感情種について、本研究ではビジネス応用を考慮し快

感情に着目したが、それ以外、覚醒度や6種の基本感情、その他の応用感情の場合でも本研究と同様の結果となるのかの検討が必要であろう。

#### 4.5.5 まとめ

映像・音声を伝達する遠隔コミュニケーションシステムにおいて、感情の推定情報とその精度情報を支援提示する機能の効果を検証することを目的とした評価実験を行い、同室／遠隔なし／遠隔70％／遠隔90％条件間で比較評価した結果、遠隔70％条件が有意に短い観察時間で、有意に最も高い感情伝達度であった。統計的な推定機能の精度性能が高くない場合、推定精度の低さを隠すのではなくむしろユーザーに正直に情報開示することが、ユーザーの推測能力を引き出し、結果として遠隔地の他者の状態や状況をより正確に把握できるようになる可能性がある。本研究により、映像・音声のマルチメディア情報に加え、感情推定情報とその精度情報を提示する機能が、テレワークや遠隔コミュニケーション支援に有効であることが初めて示された。

## 4.6 第4章のまとめ

本章では、超臨場感テレワークシステムでアウェアネス情報を取得しコミュニケーションの開始を行う側（話しかける側）のユーザーに向けたユーザインタフェースの諸要素機能のデザインと評価実験について述べた。具体的には、テレワークシステム用の新しいユーザインタフェース Halo-UI を提案し、実際に開発を行って超臨場感テレワークシステムに機能搭載した。また、複数視点映像の提示効果、ズーム映像の提示効果、映像ズーム速度の要件などについてもそれぞれ評価実験を行い、得られた知見を超臨場感テレワークシステムの設計仕様に反映させた。

## 第5章 テレワークシステムの実証評価

本章は、下記の発表論文を中心に未発表内容を加えて構成したものである。

[87] 深澤伸一, 山根大明, 山口徳郎, 立澤茂 (2017). 超臨場感テレワークシステムの実証評価, OKI テクニカルレビュー, 84(1), pp.36-39.

### 5.1 目的

本第5章では、第2～4章で述べたテレワークシステム用の諸要素機能のデザインと評価実験の結果を受け、それらを搭載させ開発した超臨場感テレワークシステムの全体について、実オフィス内で長期間利用する3種類の実証評価を行い、その有効性を確認した結果について述べる。

### 5.2 開発した超臨場感テレワークシステムと実証評価の環境

第2～4章で述べたテレワークシステム用の機能群の要素（アウェアネス通知、Halo-UI、複数視点切替可能なオフィス映像、接近モード時に好適なズーム速度で提示されるズーム映像など）に加え、テレワークシステムを使用しているユーザーのキーボードやマウスの入力、アプリケーションの使用状況などの情報に基づいて各ユーザーの忙しさの度合い（割込拒否度）を推定しオフィス映像内の各ユーザーの人物映像近傍に重畳表示する機能[88]を搭載させユーザーインタフェースに統合した超臨場感テレワークシステムを開発した。

図 5.2.1 に、超臨場感テレワークシステムのユーザー端末の(1)キャプチャ画面例と(2)ユーザーインタフェースの主な構成（要素機能配置）を示す。

第1章で述べた、アウェアネス情報を共有できることで、（遠隔会議中ではなく）テレワーク環境にある職場の日常におけるコミュニケーション活動が促進されるという仮説を検証するために、著者らの研究グループは実際のオフィス内に超臨場感テレワークシステムの利用環境を構築した。

実証評価の環境として、関東にあるセンターオフィスに 16 名、関西にあるサテライトオフィスに 4 名、在宅に 2 名の、計 3 拠点で研究開発業務に携わる計 22 名のオフィスワーカーで構成される実際のテレワークオフィス環境 (図 5.2.2) を構築した。オフィスワーカーには、超臨場感テレワークシステムのユーザー端末 (図 5.2.3) が 1 人 1 台配布され、同端末は画面が業務作業中のオフィスワーカーの視野の端に入るように机上の業務用 PC の脇に設置された。ユーザー端末は 12 インチのタッチパネルディスプレイとハンドセット装置を備え、相手を選択 (ユーザー端末画面のオフィス映像やプレゼンスマップ上に表示された各オフィスワーカーの画像やアイコンをタッチして相手を選択できる) して通話コミュニケーションを行うことができた。センサーとしてセンターオフィスにはカメラ 7 台とマイク 6 台、サテライトオフィスにはカメラ 2 台とマイク 2 台を設置し、コミュニケーション端末上で映像視点や收音領域を切替操作できるようにすることで、端末利用者が遠隔オフィス内の多様な仮想的な位置から様子見 (状況把握) をできるようにした。



図 5.2.1 超臨場感テレワークシステムのユーザー  
インタフェース画面(1)と要素情報の主構成(2)

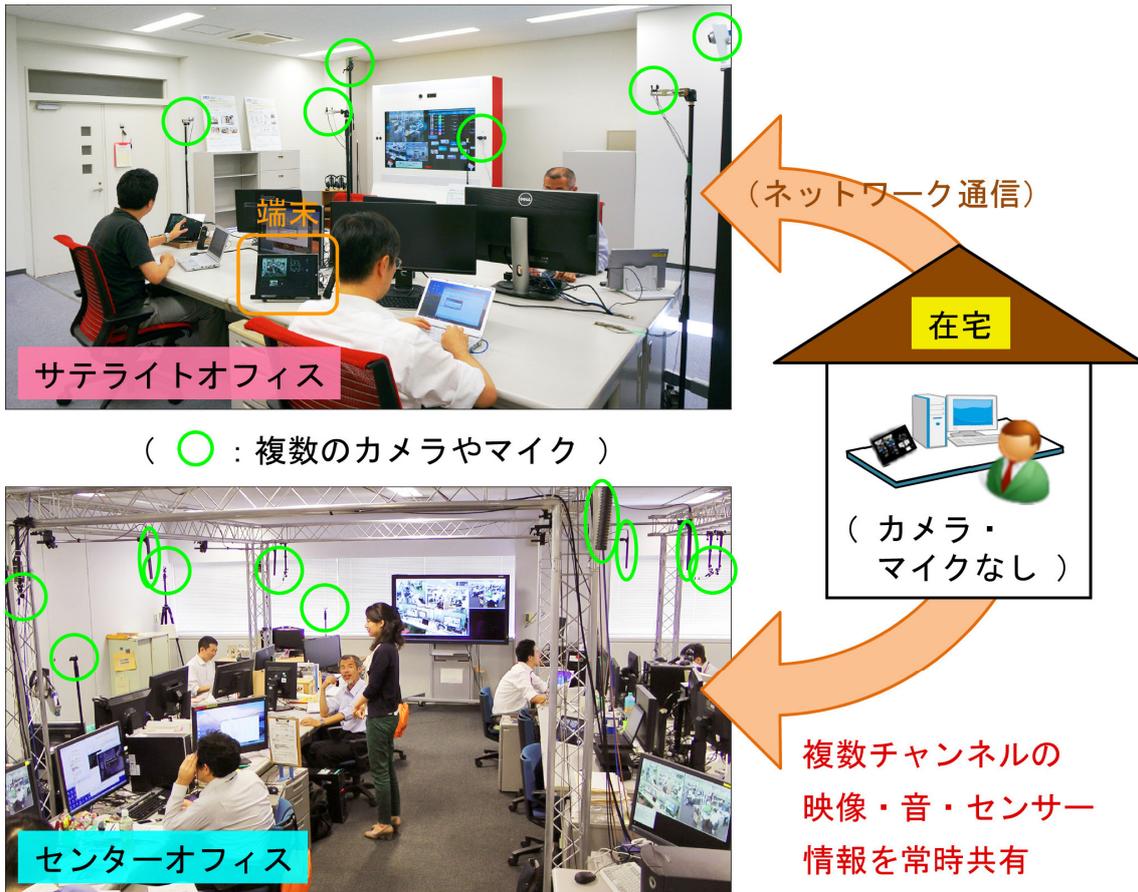


図 5.2.2 実証評価を行ったテレワークオフィス環境



図 5.2.3 超臨場感テレワークシステムのユーザー端末

### 5.3 テレワークシステムの実証評価 (1) : コミュニケーション頻度の増加

第 1 の実証実験として、5.2 節で述べた実際のテレワークオフィス環境下で、前記オフィスワーカー 22 名の日常業務中の超臨場感テレワークシステム使用ログデータを約 3 ヶ月間にわたって記録し、そこから遠隔の通話コミュニケーション量を算出した。具体的には下記 3 条件 (図 5.3.1) にそれぞれ設定した超臨場感テレワークシステムの通話回数を指標として条件間比較した。下記(1)~(3)の後者になるほどウェアネス情報をより豊かに遠隔伝達できる条件となる：

- (1)離在席のみ条件：従来のプレゼンス機能付き通話アプリケーションを想定し、超臨場感テレワークシステムの映像と音情報をオフにして各同僚の離在席情報のみを提示する条件
- (2)映像あり条件：超臨場感テレワークシステムの音情報をオフにし離在席情報に加えオフィスの俯瞰映像を提示する条件
- (3)映像・音あり条件：超臨場感テレワークシステムによる俯瞰映像、環境音、離在席のすべてのメディア情報を提示する条件

上記(1)~(3)の 3 条件を 2015 年にそれぞれ等しく 1 ヶ月間ずつ実施した。また、前述 22 名の実験参加者は電機メーカーの研究開発部門に勤務し、同じ部に所属する同僚であった。

図 5.3.2 に、(1)~(3)の 3 条件における個人 1 時間あたりの平均通話回数の結果を示す。多重比較 (Ryan 法) の結果、(1)-(2)間は有意傾向 ( $p < .10$ )、(1)-(3)間は有意 ( $p < .05$ ) に、(1)離在席のみ条件よりも(2)映像あり条件や(3)映像・音あり条件の方が平均通話回数が多かった (図 4(a))。また、俯瞰映像の視点切替操作の回数を算出すると、条件(2)と(3)では平均して通話 1 回あたり約 3~5 回程度の視点切替操作が行われており、通話の前に複数の視点から様子見が行われたことが示唆された。さらに詳細に時間帯別の平均通話回数 (図 4(b)) を見ると、平均通話回数の差は全時間帯で一律に生じているわけではなく、特に 18:00 頃の夕方の時間帯で顕著であり、単純な全体的増減ではなく要素的な変化

(すなわち質的变化)が生じたと考えられる。参加者に実験後インタビューを行った結果、「午前には個人的な集中作業を行い、同僚への相談や頼みごとは午後に行うことが多い」「オフィスの映像があると話しかけやすい」などの意見が得られた。以上の結果により、複数視点の遠隔オフィス映像が提供され様子見(状況把握)ができることで、実際のオフィス環境におけるコミュニケーションの量(時間あたりの通話回数、すなわち通話頻度)が有意に増加することが実証的に示された。



図 5.3.1 実証評価(1)で比較したアウェアネス情報の3条件

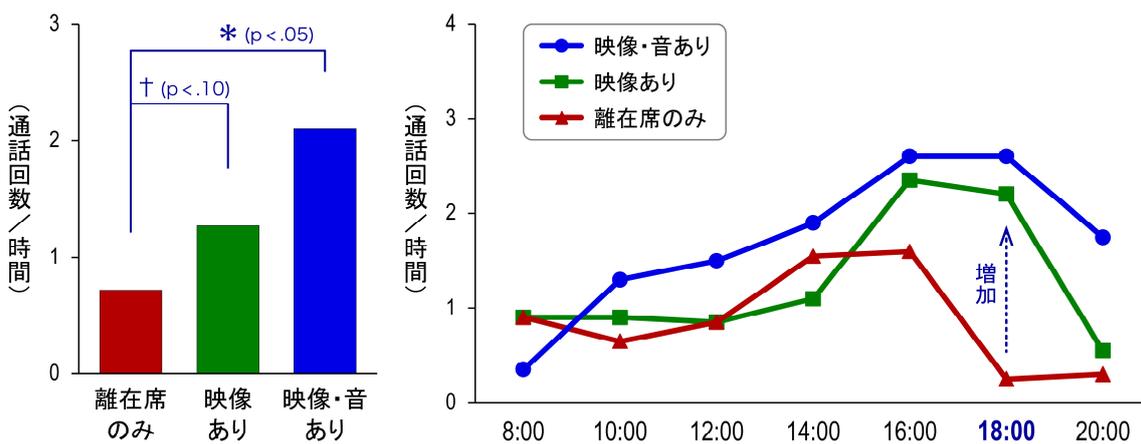


図 5.3.2 超臨場感テレワークシステムの一時間あたりの平均通話回数(左)と時間帯毎に示した平均通話回数(右)

#### 5.4 テレワークシステムの実証評価（2）：離れていてもつながりを醸成

第2の実証評価では、超臨場感テレワークシステムを利用できるオフィスワーカーのグループと利用できないグループ間でシステムの効果を比較した。実験参加者は、超臨場感テレワークシステムを利用できるか否か、また、チームのメンバーが普段遠隔（テレワーク）環境か同室環境かを2要因とする後述の4条件のいずれかに該当するオフィスワーカーとした。評価指標は、2010年9月の評価開始時と同年12月の評価終了時に、過去3ヵ月間でコミュニケーションを行ったグループ（チーム）内の同僚およびその手段を質問紙（図5.4.1）で回答させ、つながりの量としてグループ単位で社会ネットワーク次数（ある人物がコミュニケーションを取った相手の数）[89]を計測し、その変化を検証した。

実験参加者は電機メーカーの研究開発部門に勤務する8チーム計32名のオフィスワーカーで、遠隔&（テレワーク）システムなし条件10名、遠隔&システムあり条件6名、同室&システムなし条件5名、同室&システムあり条件11名の4条件でグループ分けされ、上記実験期間中も通常通り日常業務を行った。

図5.4.2に、3ヵ月間の評価期間前後の、4条件グループそれぞれの社会ネットワーク次数の変化を示す。各グループの人数の差などにより次数の絶対数をグループ間比較することは適切ではないため、評価開始時の社会ネットワーク次数の量を100%とし、評価終了時の次数との変化の相対率（%）を算出して、条件毎に示した。評価期間前後の社会ネットワーク次数の変化は、遠隔&システムなし条件では17%減少したのに対し、遠隔&システムあり条件では44%増加した。遠隔&システムなし条件の評価前と評価後、遠隔&システムあり条件の評価前と評価後の次数についてフィッシャーの正確確率検定の結果は  $p < .001$  で、テレワークシステムの有無により評価期間前後で社会ネットワーク次数（つながりの量）の変化率が有意に異なることが確認された。なお、参考条件として計測した、同室&システムなし条件は1%の変化、同室&システムあり条件は変化なし（0%）であり、2条件とも同様の横ばい傾向を示した。同僚

が同室にいる環境ではテレワークシステムの有無に関係なくアウェアネスの自然な伝達や対面コミュニケーションができることから、テレワークシステムの有無は影響しなかったと考えられる。

以上の第2の実証評価の結果をまとめると、3ヵ月間の評価期間前後で社会ネットワーク次数（つながりの量）が変わらなかった同室2条件を基準として比較すると、遠隔環境すなわちテレワークになる（遠隔&システムなし条件）と社会ネットワーク次数が減少しチームのつながりが棄損されるが、遠隔環境でも超臨場感テレワークシステムが利用できアウェアネス情報を得られる（遠隔&システムあり条件）と社会ネットワーク次数が増加しチームのつながりが醸成されることが示された。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	3. グループ内のコミュニケーション・ネットワークに関する質問票								
2	あなたの、グループ内の人とのコミュニケーションについて教えてください。								
3	あなたは、グループ内の人との程度コミュニケーションをしましたか？								
4	記入された相手に対する過去3ヵ月間の平均のコミュニケーション頻度について、相手別、ツール別に教えてください。								
5	(あなたから取ったコミュニケーションだけでなく、相手からのコミュニケーションも区別せず回答ください)								
6	回答は、記入しようとする欄をクリックして右側に現れる▼を押して、プルダウンのリストから選択してください。								
7									
8	名前	会議 (対面式)	会議 (TV、音声)	会議以外の 対面	電話	メール	その他	「その他」のツールを 教えてください	
9	例：田中 花子	週2、3回	週1回	月2、3回	1日1回	1日数回以上	まったく無い	社内SNS	
10	A 部長					1日数回以上			
11	B 課長					1日1回			
12	C さん					週2、3回			
13	D さん					週1回			
14	E さん					月2、3回			
15	F さん					月1回			
16	G さん					まったく無い			
17	H さん								
18									
19									

図 5.4.1 コミュニケーション・ネットワークに関する質問票

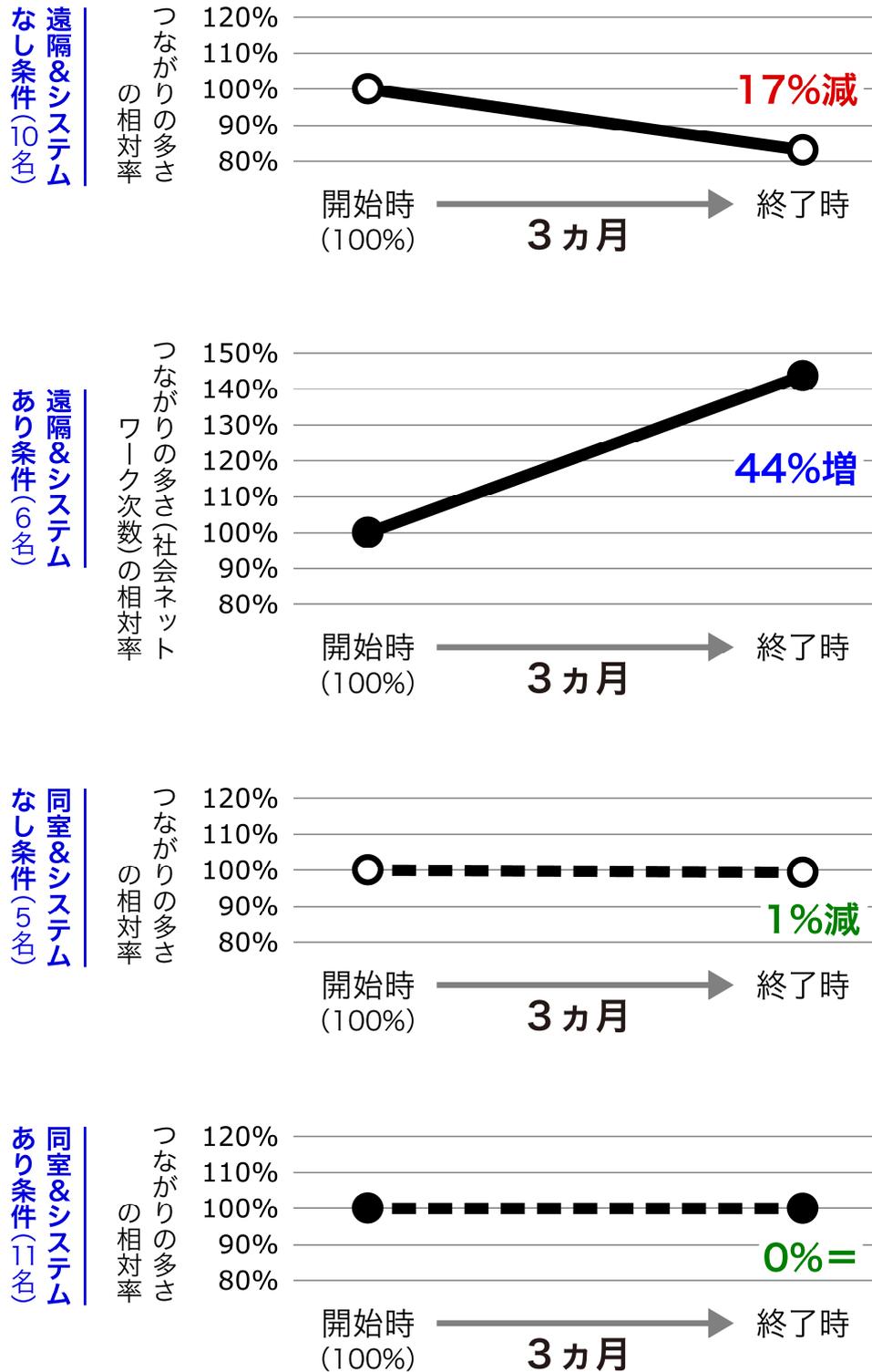


図 5.4.2 第 2 の実証評価における 4 条件の社会ネットワーク回数の相対変化

## 5.5 テレワークシステムの実証評価（3）：インフォーマルなつながりを醸成

第3の実証評価では、第2の実証評価の内容を踏襲しつつも新たな試みとして、会議などの形式的なフォーマル・コミュニケーションによるつながりと、スケジュール、参加者、議題などがあらかじめ決まっていなかった突発的なインフォーマル・コミュニケーション[90]によるつながりを分けて計測し、超臨場感テレワークシステムの利用効果をより詳細に評価した。

実験参加者は電機メーカーの研究開発部門に勤務する1チーム8名のオフィスワーカーで、評価開始時には遠隔&システムなし条件であり、開始直後に超臨場感テレワークシステムを導入して利用を開始、評価終了時に遠隔&システムあり条件として評価を行った。評価に用いた質問紙は、第2の実証評価（5.4節）をベースに、仕事に関するコミュニケーション（フォーマル・コミュニケーション）と仕事以外の雑談（インフォーマル・コミュニケーション）の2種類を分けて、2015年10月の評価開始時と2016年2月の評価終了時に参加者に回答させた。

図5.5に、3ヵ月間の評価期間前後の、フォーマル・コミュニケーションとインフォーマル・コミュニケーションそれぞれの社会ネットワーク次数の変化を示す。評価期間前後の社会ネットワーク次数の変化は、フォーマル・コミュニケーションでは9%の増加に対し、インフォーマル・コミュニケーションでは89%と大きく増加した。フォーマル・コミュニケーションの評価前と評価後、インフォーマル・コミュニケーションの評価前と評価後の次数についてフィッシャーの正確確率検定の結果は $p = .047$ で、超臨場感テレワークシステムの利用効果はフォーマル／インフォーマルのコミュニケーションの種類によって有意に異なることが確認された。

以上の第3の実証評価の結果をまとめると、超臨場感テレワークシステムが利用できアウェアネス情報を得られると、前節で述べた第2の実証評価の結果を再現するように社会ネットワーク次数が増加しチームのつながりが醸成され

たが、それは特にインフォーマル・コミュニケーションをベースとしたつながりの量が増えることによって醸成されることが明らかになった。

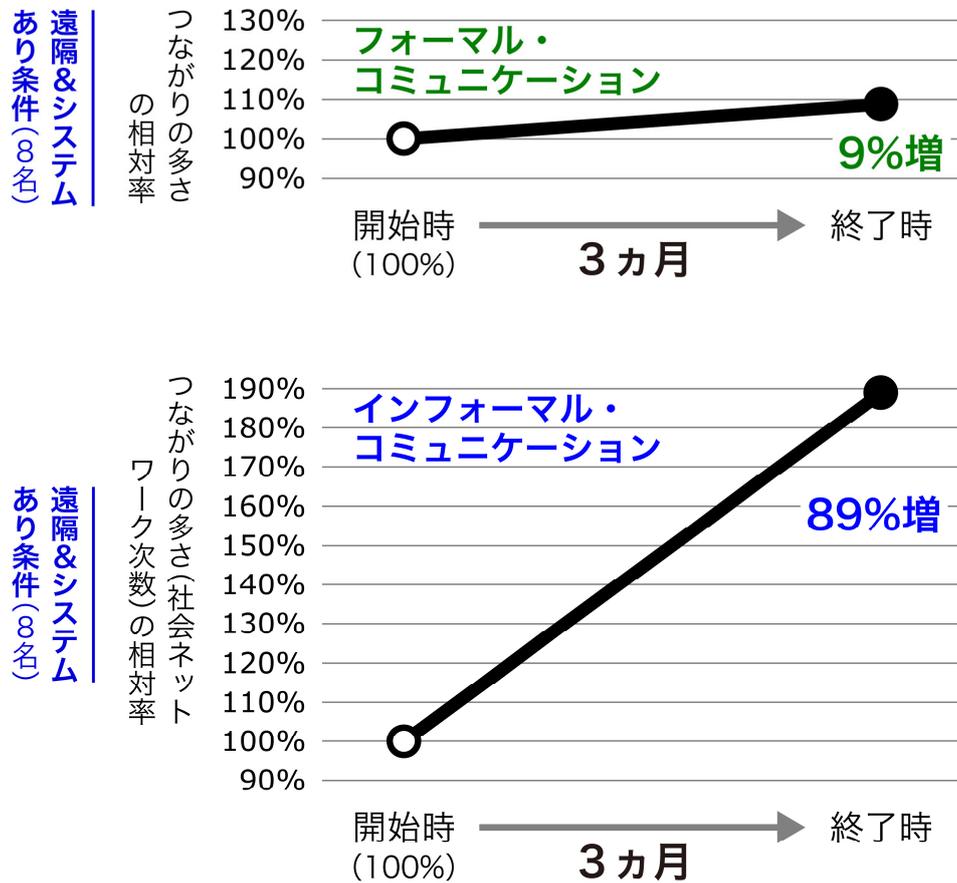


図 5.5 第 3 の実証評価におけるフォーマル・コミュニケーションとインフォーマル・コミュニケーションの社会ネットワーク次数の相対変化

## 5.6 第5章のまとめ

本第5章では、第2～4章で述べた諸要素機能を搭載させ開発した超臨場感テレワークシステムの全体について、実オフィス内で長期間利用する3種類の実証評価を行い、その有効性を確認した結果について述べた。

第1の実証評価では、超臨場感テレワークシステムの利用において、離在席のみ条件、映像あり条件、映像・音あり条件とテレワークシステムが伝達するアウェアネス情報が豊かになる条件ほど、コミュニケーション通話頻度が有意に増加していくことを確認した。第2の実証評価では、同室環境では評価期間前後で変わらなかったつながりの量が、遠隔環境でテレワークシステムがない条件では減少し、逆に遠隔環境でテレワークシステムがある条件では増加したことから、超臨場感テレワークシステムの利用によるテレワーカー間のつながりの醸成効果を確認した。第3の実証評価では、コミュニケーションの種類別につなかりの量を計測し、テレワークシステムの利用によるテレワーカー間のつながりの醸成は、特にインフォーマル・コミュニケーションをベースとしたつながりの醸成であることを確認した

以上の結果を総合し、第1章で述べた、超臨場感テレワークシステムによりアウェアネス情報を共有できることで、遠隔会議のようなフォーマル・コミュニケーションではなく、テレワーク環境にある職場の日常におけるコミュニケーション（インフォーマル・コミュニケーション）が促進されるという仮説は採択された。

## 第6章 結論

### 6.1 本論文のまとめ

本論文は、テレワークの実施を支援する新しい遠隔コミュニケーションシステムを実現させるための人間工学的研究の成果をまとめたものである。以下に各章の実施概要を実験の成果を中心にして述べる。

第1章では、本研究の背景として、まず COVID-19 下で普及が促進されたテレワークに関する多くの社会調査においてコミュニケーションが上位課題になっていること、次にその課題の主要因は遠隔会議の情報伝達性が対面環境よりも劣ることではなく、会議以外の日常的・非計画的（インフォーマル）なコミュニケーションにおいて従来の電話やビデオ会議システムではアウェアネス情報の遠隔伝達がサポートされていない点にあるということ、最後に解決手段としてアウェアネス情報の遠隔伝達支援機能を有する超臨場感テレワークシステムの概要について述べた。

第2章では、テレワークシステムでアウェアネス情報を取得されコミュニケーションの開始を受ける側（話しかけられる側）のユーザーに向けた機能であるアウェアネス通知機能の基本的なデザインと評価実験の結果について述べた。通知の様態として報知音および基本的な3種類の動きの設計と、評価実験の結果、音提示がない条件では気づきやすさと中心視野での知的作業効率にトレードオフではなく有意な正の相関関係が認められ、気づきやすさ、作業集中性、意味伝達性のすべてで拡大表現が有意に最も優れた効果を示した。また、注意喚起効果の過剰化は作業集中性の有意な低下を引き起こす恐れが示唆され、報知音を用いた聴覚的な通知は注意喚起効果が高すぎることで、また、報知音による情報提示は空間解像度が低いため近隣席に座るテレワーカーにも影響を与えてしまう恐れがあることから採用を取りやめ、視覚的な拡大の動きの情報をアウェアネス通知に取り入れることを提案した。

第3章では、アウェアネス通知機能の応用的なデザインと評価実験の結果について述べた。設定条件数の制約により第2章の実験では評価対象に含めることができなかった動きの種類を実験条件に加え、通知の様態として7種類の動きの設計と、実験参加者数を第2章の実験の2倍以上に増やした評価実験を行った。その結果、水平と拡大の動きが実験参加者に与えた気づきやすさや意味伝達性が高く、さらに、最終的な自由選択においても水平と拡大だけが通知のない知的作業課題のみ条件以上の選好票を集めた。そして、第2章の実験で示された気づきやすさと作業集中性の有意な正の相関（両立性）の結果が第3章の実験でも同様に再現された。第2・3章の研究で得られた知見を総合し、好感を優先する場合は水平、意味伝達性を優先する場合は拡大の動きの情報をアウェアネス通知のデザインに取り入れることを提案した。

第4章では、テレワークシステムでアウェアネス情報を取得しコミュニケーションの開始を行う側（話しかける側）のユーザーに向けたユーザインタフェースの諸要素機能のデザインと評価実験について述べた。具体的には、テレワークシステム用の新しいユーザインタフェース Halo-UI を提案し、実際に開発を行って超臨場感テレワークシステムに機能搭載した。また、複数視点映像の提示効果（人物映像からの3種類のオフィスワークの判別可能率が有意に3割弱向上）、ズーム映像の提示効果（状況理解の向上感が有意に向上）、映像ズーム速度の要件（ズーム表現時間1500ミリ秒が最も高い自然感）などについてもそれぞれ評価実験から得られた成果知見をテレワークシステムの設計仕様に反映させた。

第5章では、第2～4章で述べたテレワークシステム用の機能群の要素を搭載させユーザインタフェースで統合した超臨場感テレワークシステムを実オフィス内に構築し、長期間利用した3種類の実証評価を行ってその有効性を確認した結果について述べた。3種類の実証評価により、伝達するアウェアネス情報が豊かになる条件ほどテレワークシステムの利用によりコミュニケーション通

話頻度が有意に増加していくこと、同僚間のつながりは従来のテレワーク環境では棄損されるがテレワークシステムの利用により逆につながりが醸成されること、さらに、その醸成は特に従来のテレワークで失われがちであったインフォーマル・コミュニケーションに基づくつながりであることが示された。

以上を総合し、第1章の序論で述べた、テレワーク環境でも日常的なアウェアネス情報を共有できる超臨場感テレワークシステムを開発し、それを実オフィス内で利用した実証評価により、遠隔会議のようなフォーマル・コミュニケーションではなく、テレワーク環境にある職場の日常におけるインフォーマル・コミュニケーションが促進されるという仮説が最終的に採択されたことを、本「状況伝達機能を有する遠隔コミュニケーションシステムの人間工学的研究」の結論としてここに報告する。

## 6.2 今後の課題

本研究は、テレワークに関する従来の遠隔コミュニケーション研究の多くが対話や会議などにおけるコミュニケーション開始後のシーンを想定した情報伝達性に着目していたことに対し、コミュニケーション開始前のアウェアネス情報の伝達・共有こそがテレワーク下のコミュニケーションにおいて重要であることに焦点を当て、それを新しいシステムの開発と複数の実験により実証したものである。

上記の前提により、本研究ではアウェアネス（状況）の伝達的手段と評価に注力し、その後のコミュニケーションの段階における評価については通話頻度やつながりの量、フォーマル／インフォーマル・コミュニケーションに分けての検証など基礎的な指標の採用に留めた。今後は組織心理学分野などの研究で用いられているより多様な指標を用いた応用的評価も行いたい。また、従来の遠隔コミュニケーション研究のようにコミュニケーションの段階だけに着目するのではなく、アウェアネスとコミュニケーションのプロセスの連続性や相互

作用性に注目し、アウェアネスの段階の伝達性を制御要素として設定した場合にその後のコミュニケーションの部分がどのような影響を受けるのか、という観点でコミュニケーションの段階の評価を行う人間工学的な研究が今後は求められていく可能性がある。

さらに別の観点の課題として、在宅勤務型のテレワークへのシステム対応が挙げられる。第5章の実証評価の環境で示したように、超臨場感テレワークシステムは主に分散オフィス拠点間型のテレワークを想定して企画・設計が進められた。しかし、COVID-19 下の三密回避推奨のようにオフィスへの出社自体が非推奨の状況になった場合には、在宅勤務型のテレワークを選択せざるを得ないこともある。この場合、アウェアネス情報の日常共有を目的とした勤務風景、すなわち自宅内の映像や環境音を日中常時撮影や収録され同僚に提供されることは、分散オフィス拠点間型のテレワークと比べプライバシー面での抵抗感が大きいと予想される。対策として、たとえば人物画像以外の背景領域の画像の情報量を下げる機能や、環境音を直接遠隔伝達するのではなく重要な意味性のある音のみ AI が選別して伝達する機能などがシステムの要件として新たに求められる可能性があり、それらの機能を追加したテレワークシステムの有効性は在宅環境下で再度実証評価する必要があるだろう。

### 6.3 今後の展望

2020 年の COVID-19 という望まざる外部的要因で結果的に普及促進されたテレワークであるが、序論で挙げた大規模調査における「テレワーク経験者の今後の（テレワーク継続）利用希望」者の希望率は8割を超えており[8]、今後 COVID-19 が収束した後の世界においてもテレワークの普及は続いていくと考えられる。本研究の成果知見が、そのようなテレワーク普及の障害となる遠隔コミュニケーションの課題を解決する一助になれば幸いである。

さらなる将来的な展望として、本研究では開発した超臨場感テレワークシステムの利用による遠隔コミュニケーションの頻度やつながりの増加効果までを確認したが、より高次の概念である信頼[91]、ソーシャル・キャピタル（人と人との関係性の中で構築される、利益を生む活動を行う元となるリソース）[92]、心理的安全性（安心して自らの意見を述べ表現できる環境について社員間で共有される信念）[93]などを醸成する効果を有するような次々世代のテレワーク支援システムが実現されることが、真に場所や時間にとらわれない柔軟な働き方を皆が選択できる未来のテレワーク社会につながるであろう。

## 謝辞

本博士論文は、著者が沖電気工業株式会社および千葉大学大学院工学研究科博士後期課程（人間生活工学研究室）に社会人在籍中の研究成果をまとめたものです。本論文をまとめるにあたり多くの方々に多大なご支援を賜りましたことをここに心より感謝申し上げますとともに、以下に記させていただきます。

まず、千葉大学において、主任研究指導教員としてご指導いただきました下村義弘教授には、博士後期課程入学後のご指導・ご鞭撻はもちろんのこと、沖電気工業株式会社との共同研究においても大変お世話になりました。本博士論文審査委員の岩永光一教授、日比野治雄教授、兪文偉教授には、拙稿や発表に大変有益な助言やご指導をいただきました。そして元より、著者が就職前の千葉大学工学部～博士前期課程時代に、人間生活工学研究室で勝浦哲夫先生（当時教授、現名誉教授）、岩永光一先生（当時助教授、現教授）、下村義弘先生（当時助手、現教授）が人間工学の確固たる基礎力を授けてくださったことがその後の私の仕事や本博士研究の礎になっています。さらに千葉大学共同研究時の担当学生であった衛門愛子さん、秘書の石橋直子さん、そして人間生活工学研究室に関わるすべての方々に感謝いたします。

続けて、著者の勤務先である沖電気工業株式会社の関係者各位に御礼を申し上げます。金丸利文さんは、私の博士後期課程入学検討時の上司であり、背中を押して進学のきっかけをつくっていただきました。細野直恒さんには、人間工学研究者および社会人博士号取得の先輩として研究論文への助言や校正を何度もいただきました。赤津裕子さんは、私の博士後期課程在籍後半時の上司であり、やはり社会人博士号取得の先輩として数々のご支援をいただきました。その他、沖電気工業株式会社研究開発センターの同僚・上司であった野中雅人さん、竹内晃一さん、鳥越真さん、徳満昌之さん、立澤茂さん、山口徳郎さん、鈴木雄介さん、山根大明さん、山崎粹織さん他関係者各位のご支援に感謝いたします。

さらに、本博士研究に関わる共同研究やその他のご支援でお世話になった方々にも御礼を申し上げます（以下記載の所属・役職名は共同研究実施当時のものです）。東京工業大学の比嘉邦彦教授、大塚絵理さん、新西誠人さん他。東京農工大学の藤田欣也教授、田中貴紘助教他。成蹊大学の中野有紀子教授、二瓶英巳雄さん、田口和佳奈さん他。芝浦工業大学の吉武良治教授。名古屋市立大学の榎原毅准教授。立教大学の芳賀繁名誉教授。千葉工業大学の安藤昌也教授。そして情報通信研究機構の委託研究である革新的な三次元映像による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発プロジェクトにおいてご協力をいただいた方々。紙幅の都合上記載できなかつた他の方々も含め、ここに感謝の意を表します。

最後に、本研究の困難な遂行に日常的な協力をくれた、妻と二人の幼子に感謝します。今後も、本研究で得た知見・経験を糧に社会の発展に帰するよう努めます。

2022年2月 深澤 伸一

## 参考文献

- [1] 深澤伸一 (2021). 遠隔コミュニケーションシステムの人間工学：  
COVID-19 によるテレワークは何を失わせたのか，日本人間工学会第 62  
回大会 理事会企画シンポジウム 講演，報告：榎原毅，深澤伸一，松崎一平，  
青木宏文，下村義弘 (2021). JES62 大会企画報告：パンデミックは私たち  
の労働・生活様式をどのように変え，人間工学はどのような貢献ができる  
のか？，人間工学 57(6), pp.341-344.
- [2] 日本経済新聞社 (2020). テレワーク導入 6 割 1 カ月で 2.6 倍に，日本経済  
新聞，2020 年 5 月 13 日朝刊，15 面.
- [3] 日本人間工学会，榎原毅，松田文子(編訳) (2020). タブレット・スマートフ  
ォンなどを用いて在宅ワーク/在宅学習を行う際に実践したい 7 つの人間  
工学ヒント，The IEA Press.
- [4] 総務省 (2008). テレワーク運用ガイド：企業のマネージャー向け導入ガイ  
ド.
- [5] 総務省 (2018). 情報通信白書：平成 30 年版，第 4 章，第 4 節.
- [6] 国土交通省 (2021). テレワーク人口実態調査：令和 2 年度調査結果(全体)，  
2-6.
- [7] 日本経済新聞社 (2020). サテライト拠点、投資 3 年で回収，日本経済新聞，  
2020 年 7 月 7 日朝刊，7 面.
- [8] 内閣府 (2020). 第 2 回新型コロナウイルス感染症の影響下における生活意  
識・行動の変化に関する調査.
- [9] 日本経済新聞社 (2020). 長きテレワーク、同僚が遠い人に，日経産業新聞，  
2020 年 12 月 21 日，12 面.
- [10] パーソル総合研究所 (2020). 新型コロナウイルス対策によるテレワーク  
への影響に関する緊急調査，

<https://rc.persol-group.co.jp/thinktank/research/activity/data/telework.html>, 2021年7月22日アクセス.

- [11] 辻大介, 是永論, 関谷直也 (2014), コミュニケーション論をつかむ, 有斐閣, 第1章.
- [12] 深田博己 (1998). 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, 第1章.
- [13] 石井敏 (1993). コミュニケーション論入門, 桐原書店, 第1章.
- [14] 杉谷陽子 (2008). 電子メディアによる情報伝達の研究: コミュニケーションにおける非言語的手がかりの役割, 一橋大学博士論文.
- [15] 糸川萌, 寺田朱緒, 大久保雅史 (2017). 対面コミュニケーションにおける視覚的なノンバーバル情報が伝達度・伝達感に及ぼす影響, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, 19(2), pp.231-236.
- [16] 有本泰子 (2015). コミュニケーション場面におけるリアルな感情表出の分析, 日本音響学会 2015 年秋季研究発表会講演論文集, pp.1317-1320.
- [17] Fukasawa, S., Akatsu, H., Taguchi, W., Nihei, F., Nakano, Y. (2019). Presenting low-accuracy information of emotion recognition enhances human awareness performance, Proceedings of HCII '19, LNCS, 11569, pp.415-424.
- [18] Derks, D., Fischer, A. H., Bos, A. E. R. (2008). The role of emotion in computer-mediated communication: A review, Computers in Human Behavior, 24(3), pp.766-785.
- [19] 筑波大学 働く人への心理支援開発研究センター (2020). 「テレワークによる社内コミュニケーションの変化」に関する調査結果 (速報) .
- [20] Kraut, R. E., Fish, R. S., Root, R. W., Chalfonte, B. L. (1990). Informal communication in organizations: Form, function, and technology, People's

Reactions to Technology, Oskamp, S., Spacapan, S. (Eds), Sage Publications, pp.145-199.

- [21] 岡田謙一, 松下温 (1993). 協調の次元階層モデルとグループウェアへの適用, 情報処理学会研究報告, GN, 4, pp.87-94.
- [22] 岡田謙一, 松下温 (1995). 人間のかかわりをいかにモデル化するか, 情報処理学会研究報告, GN, 14, pp.25-30.
- [23] Dourish, P., Bly, S. (1992). Portholes: Supporting awareness in a distributed work group, Proceedings of CHI '92, pp.541-547.
- [24] Tomasello, M. (2008). Origins of human communication, MIT Press.
- [25] Grice, H. P. (1957). Meaning, Philosophical Review, 66(3), pp.377-388.
- [26] Clark, H. H. (1996). Using language, Cambridge University Press.
- [27] 武田実亜, 沼崎誠 (2007). 共通基盤の想定が透明性の錯覚に及ぼす効果, 対人社会心理学研究, 7, pp.11-19.
- [28] Gilby, I. C. (2006). Meat sharing among the Gombe chimpanzees: harassment and reciprocal exchange, Animal Behaviour, 71(4), pp.953-963.
- [29] Bullinger, A. F., Melis, A. P., Tomasello, M. (2011). Chimpanzees, Pan troglodytes, prefer individual over collaborative strategies towards goals, Animal Behaviour, 82(5), pp.1135-1141.
- [30] Gurven, M. (2004). Reciprocal altruism and food sharing decisions among Hiwi and Ache hunter-gatherers, Behavioral Ecology and Sociobiology, 56(4), pp.366-380.
- [31] 平田聡 (2009). 総説 チンパンジーの協力行動, 霊長類研究, 25(2), pp.55-66.

- [32] 山極寿一 (2014). 人間性の起源を探求する重要性, *Anthropological Science*, 122(1), pp.76-81.
- [33] Dunbar, R. I. M. (1992). Neocortex size as a constraint on group size in primates, *Journal of Human Evolution*, 22(6), pp.469-493.
- [34] 滝沢龍, 笠井清登, 福田正人 (2012). ヒト前頭前野の発達と進化, *日本生物学的精神医学会誌*, 23(1), pp.41-46.
- [35] Kobayashi, H., Kohshima, S. (1997). Unique morphology of the human eye, *Nature*, 387, pp.767-768.
- [36] 大沼沙樹 (2017). チーム・メンタルモデルが組織成果に及ぼす影響：対面コミュニケーション, 他部門のメンバーが持つ知識に着目して, *日本経営学会誌*, 38, pp.29-41.
- [37] DeChurch, L. A., Mesmer-Magnus, J. R. (2010). Measuring shared team mental models: A meta-analysis, *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice*, 14(1), pp.1-14.
- [38] Allen, T. J. (1977). *Managing the flow of technology*, MIT Press.
- [39] Waber, B., Magnolfi, J., Greg, L. (2014). Workspaces that move people, *Harvard Business Review*, October 2014.
- [40] 榎並和雅, 岸野文郎 (2010). 今後の超臨場感にかかわる研究はどこを指すべきか, *電子情報通信学会誌*, 93(5), pp.363-367.
- [41] 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム超臨場感テレワーク WG (2010). 超臨場感テレワークの将来像実現イメージビデオ, <http://www.fujitaken.org/urcf/URCFTW/senario.html>, 2021年7月22日アクセス.
- [42] 金丸利文 (2011). テレワークシステム, *映像情報メディア学会誌*, 65(5), pp.615-619.

- [43] 金丸利文, 永井博, 吉田敏之 (2015). 特許第 5692204 号 (特開 2014-099041) : 情報処理装置、プログラム及び情報処理方法.
- [44] 徳満昌之, 野中雅人 (2017). 超臨場感テレワークシステムの開発, OKI テクニカルレビュー, 84(1), pp.32-35.
- [45] 垂水浩幸 (2000), グループウェアとその応用, 共立出版, 第 2 章.
- [46] ソニー (2020). テレプレゼンスシステム“窓”,  
<https://www.sony.com/ja/SonyInfo/technology/activities/mado-project/>,  
2021 年 12 月 20 日アクセス.
- [47] 榊原憲, 加藤政美, 田處善久, 宮崎貴識 (2002). メディア空間による分散勤務者のコミュニケーション支援システム「e-office」, 情報処理学会論文誌, 43(8), pp.2821-2831.
- [48] Shuzo, M., Shimura, M., Delaunay, J. J., Yamada, I. (2009). SHOJI: A communication terminal for sending and receiving ambient information, Proceedings of ASME '09, pp.881-888.
- [49] 長谷川大喜, 廣居遥, 松本裕司, 仲隆介 (2013). テレワークにおける気配のウェアネス支援ツール“tele plant”の開発, 建築計画 '13, pp.77-78.
- [50] 深澤伸一, 下村義弘 (2017). 周辺視野への視覚的な動きと音による情報提示が気づきやすさと作業集中性に及ぼす影響, 人間と生活環境, 24(1), pp.1-10.
- [51] Bailey, B. P., Konstan, J. A., Carlis, J. V. (2001). The effects of interruptions on task performance, annoyance, and anxiety in the user interface, Proceedings of INTERACT '01, pp.593-601.
- [52] McCrickard, D. S., Chewar, C. M. (2003). Attuning notification design to user goals and attention costs, Communications of the ACM, 46(3), pp.67-72.

- [53] Hartmann, E., Lachenmayr, B., Brettel, H. (1979). The peripheral critical flicker frequency, *Vision Research*, 19(9), pp.1019-1023.
- [54] 福田忠彦 (1979). 運動知覚における中心視と周辺視の機能差, *テレビジョン学会誌*, 33(6), pp.479-484.
- [55] Heider, F., Simmel, M. (1944). An experimental study of apparent behavior, *The American Journal of Psychology*, 57, pp.243-259.
- [56] Maglio, P. P., Campbell, C. S. (2000). Tradeoffs in displaying peripheral information, *Proceedings of CHI '00*, pp.241-248.
- [57] 三好史隆, 倉本到, 渋谷雄, 辻野嘉宏 (2006). タスク集中度と認知時間を指標とした周辺表示法の評価, *電子情報通信学会論文誌 A*, J89-A(10), pp.831-839.
- [58] Somervell, J., Srinivasan, R., Woods, K., Vasnaik, O. (2001). Measuring distraction and awareness caused by graphical and textual displays in the periphery, *Proceedings of the 39th Annual ACM Southeast Conference*.
- [59] McCrickard, D. S., Catrambone, R., Chewar, C. M., Stasko J. T. (2003). Establishing tradeoffs that leverage attention for utility: Empirically evaluating information display in notification systems, *International Journal of Human-Computer Studies*, 8(5), pp.547-582.
- [60] 吉田悠, 池上輝哉, 福住伸一 (2013). 作業パフォーマンスに影響する情報表示パラメータに関する一考察, *信学技報*, 112(455), pp.125-130.
- [61] 日本規格協会 (2002). JIS S 0013 : 高齢者・障害者配慮設計指針—消費生活製品の報知音.
- [62] 日本規格協会 (2003). JIS S 0014 : 高齢者・障害者配慮設計指針—消費生活活用製品の報知音—妨害音及び聴覚の加齢変化を考慮した音圧レベル.

- [63] 衛門愛子 (2013). 知的作業下で気づきやすい聴覚通知方法に関する基礎的検討, 千葉大学工学部デザイン学科 2012 年度卒業論文.
- [64] 深澤伸一, 下村義弘 (2021). 周辺視野における通知の動きの種類が気づきやすさと作業集中性に及ぼす影響, 人間工学, 57(3), pp.119-128.
- [65] 友永雅己, 三浦麻子, 針生悦子 (2016) 心理学の再現可能性: 我々はどこから来たのか 我々は何者か 我々はどこへ行くのか, 心理学評論, 59(1), pp.1-2.
- [66] Ophir, E., Nass, C., Wagner, A. D. (2009). Cognitive control in media multitaskers, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(37), pp.15583-15587.
- [67] Cross, R., Rebele, R., Grant, A. (2016). Collaborative overload, *Harvard Business Review*, January–February 2016.
- [68] 深澤伸一, 立澤茂, 山口徳郎, 赤津裕子, 野中雅人 (2016). 複数視点の映像切替支援インタフェース Halo-UI の提案と遠隔オフィスの状況把握効果の評価, HI シンポジウム 2016 論文集, 1A3-1, pp.41-46.
- [69] 深澤伸一, 竹内晃一, 細野直恒 (2009). オフィスワークの作業多忙度推定のための映像画質要件に関する研究, 日本人間工学会第 50 回記念大会講演集, pp.340-341.
- [70] 深澤伸一, 赤津裕子, 田口和佳奈, 高瀬裕, 中野有紀子 (2017). ポジティブ感情の強い相手ほど話しかけやすくなる: 自然表情と同室/遠隔/推定情報支援環境下の比較, HAI シンポジウム 2017 予稿集, P-42, pp.1-6.
- [71] Gaver, W., Sellen, A., Heath, C., Luff, P. (1993). One is not enough: Multiple views in a media space, *Proceedings of INTERCHI '93*, pp.335-341.

- [72] 田中一晶, 加藤慶, 中西英之, 石黒浩 (2012). 人の移動の表現方法:ズームカメラと移動ディスプレイによる社会的テレプレゼンスの向上, 情報処理学会論文誌, 53(4), pp.1393-1400.
- [73] 川路崇博, 坂本竜基 (2014). 擬似的な前後方向の運動視差付き映像が社会的テレプレゼンスに及ぼす影響の評価, 情報処理学会論文誌, 55(5), pp.1509-1517.
- [74] 水口充, 竹内友則, 倉本到, 渋谷雄, 辻野嘉宏 (2004). デスクワークにおける忙しさの自動推定, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 6(1), pp.69-74.
- [75] Watson, D., Tellegen, A. (1985). Toward a consensual structure of mood, *Psychological Bulletin*, 98(2), pp.219-235.
- [76] 山崎勝之 (2006). ポジティブ感情の役割: その現象と機序, *パーソナリティ研究*, 14(3), pp.305-321.
- [77] Isen, A. M. (1987). Positive affect, cognitive processes, and social behavior, *Advances in Experimental Social Psychology*, 20, pp.203-253.
- [78] Pirola-Merlo, A., Hartel, C., Mann, L., Hirst, G. (2002). How leaders influence the impact of affective events on team climate and performance in R&D teams, *The Leadership Quarterly*, 13(5), pp.561-581.
- [79] Picard, R. W. (1997). *Affective computing*, MIT Press.
- [80] Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect, *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), pp.1161-1178.
- [81] Valstar, M., Gratch, J., Schuller, B., Ringeval, F., et al. (2016). Depression, mood, and emotion recognition workshop and challenge, *Proceedings of AVEC '16*, pp. 3-10.

- [82] Dixon, S. R., Wickens, C. D., McCarley, J. S. (2007). On the independence of compliance and reli-ance: Are automation false alarms worse than misses?, *Human Factors*, 49(4), pp.564-572.
- [83] Yamaji, Y., Miyake, T., Yoshiike, Y., Ravindra, P., et al. (2011). STB: Child-dependent sociable trash box, *International Journal of Social Robotics*, 3(4), pp.359-370.
- [84] Dan-Glauser, E. S., Scherer, K. R. (2011). The Geneva affective picture database (GAPED): A new 730-picture database focusing on valence and normative significance, *Behavior Research Methods*, 43, pp. 268-277.
- [85] Bradley, M. M., Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential, *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), pp.49-59.
- [86] Arimoto, Y., Okanoya, K. (2016). Comparison of emotional understanding in modality-controlled environments using multimodal online emotional communication corpus, *Proceedings of LREC '16*, pp.2162-2167.
- [87] 深澤伸一, 山根大明, 山口徳郎, 立澤茂 (2017). 超臨場感テレワークシステムの実証評価, *OKI テクニカルレビュー*, 84(1), pp.36-39.
- [88] 田中貴紘, 深澤伸一, 竹内晃一, 野中雅人, 藤田欣也 (2012). 業務従事者を対象とした PC 作業時の割り込み拒否度推定可能性の検討, *情報処理学会論文誌*, 53(1), pp.126-137.
- [89] 安田雪 (1997). ネットワーク分析：何が行為を決定するか, 新曜社, 第 5 章.
- [90] Fish, R. S., Kraut, R. E., Chalfonte, B. L. (1990). The VideoWindow system in informal communications, *Proceedings of CSCW '90*, pp.1-11.

- [91] 新西誠人, 比嘉邦彦, 金丸利文, 深澤伸一 (2015). 仮想チームにおける様子見行動の信頼構築への効果, 日本テレワーク学会第 17 回研究発表大会予稿集, pp.9-14.
- [92] 大塚絵理, 吉井亜沙, 比嘉邦彦, 金丸利文, 渡邊尚洋 (2010). 分散環境下でのコミュニケーション・ツールによるソーシャル・キャピタル醸成効果の計測, 日本テレワーク学会第 12 回研究発表大会予稿集, pp.89-94.
- [93] Edmondson, A. C. (1999). Psychological safety and learning behavior in work teams, *Administrative Science Quarterly*, 44, pp.350–383.