

生態心理学的分析を用いた災害避難所におけるレジリエンスデザイン方法の構築

西村, 英伍

<https://doi.org/10.15017/4060178>

出版情報 : Kyushu University, 2019, 博士 (芸術工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

生態心理学的分析を用いた
災害避難所におけるレジリエンスデザイン方法の構築

Development of a Resilience Design Method at Evacuation Shelters Using Ecological
Psychological Analysis

西村英伍
Eigo Nishimura
2020年3月

目次

第1章 序論	1
1.1 背景	1
1.1.1 レジリエンス	1
1.1.2 デザイン	4
1.1.3 レジリエンスデザイン	7
1.1.4 地区防災計画制度	9
1.1.5 災害避難所	10
1.1.6 課題	14
1.2 目的	15
1.3 本論文の構成	16
第2章 先行研究	19
2.1 Thoughtless Acts	19
2.1.1 アフォーダンス理論と生態心理学	19
2.1.2 貼り紙観察	20
2.1.3 アメリカ社会学	24
2.1.4 プロクセミクス	24
2.1.5 f-Formation	29
2.1.6 生態心理学的分析の課題	31
2.2 動画解析	32
2.2.1 動画からの物体追跡技術	32
2.2.2 深層学習による画像からの物体検出技術	33
2.2.3 空間確保距離	36
2.2.4 応用と課題	37
2.3 生理指標と心理尺度	39
2.3.1 心拍	39
2.3.2 性格特性	42
2.3.3 応用と課題	44
第3章 方法	45
3.1 深層学習による物体追跡アプリケーション開発と評価	45
3.1.1 目的	45
3.1.2 アプリケーション	46
3.1.3 方法	48
3.1.4 結果	53
3.1.5 考察	59
3.2 空間確保行動の量化の方法検討	61

3.2.1 目的.....	61
3.2.2 防災教育活動.....	61
3.2.3 方法.....	62
3.2.4 結果.....	66
3.2.5 考察.....	72
3.3 行動-生理指標-心理尺度の相関把握のための実験設計.....	78
3.3.1 目的.....	78
3.3.2 ストレス.....	78
3.3.3 方法.....	78
3.3.4 結果.....	85
第4章 結果と考察.....	92
4.1 実験室実験に対する考察.....	92
4.1.1 リミテーションと今後の課題.....	92
4.1.2 空間確保距離.....	93
4.2 実装の検討.....	93
4.2.1 防災教育活動の設計検討.....	93
4.2.2 実験の設計検討.....	96
4.2.3 レジリエンスアシストサービスの設計検討.....	97
第5章 総括.....	99
参考文献.....	101
謝辞.....	105
付録1.....	106
付録2.....	108

第1章 序論

1.1 背景

本節では、はじめにレジリエンスとデザインの歴史的概要を記述し、その意味するところを確認した上でレジリエンスデザインの事例を紹介する。つづいて本研究におけるレジリエンスデザイン方法と関連のある、地区防災計画制度と災害避難所について記述する。

1.1.1 レジリエンス

レジリエンス(resilience)はラテン語のresilireを語源に持ち、後ろへ跳び退く(leaping back)という意味から転じて、変形を受けた物体が元の形状に戻る(recoil or spring back)性質を意味するようになった^[1]。

学術的な用語としては、1970年代にHollingにより生態学において、生態系が攪乱を吸収し元の機能と構造を維持する能力という意味でレジリエンスの語が使用された^[2]のはじまりとされている。

石原によると、心理学や精神医学の領域では、1970年代に重篤な障害を抱えた患者や不利な状況に置かれた子供がよい適応を示す現象を指してレジリエンスという言葉が使用されはじめ、1990年代になってレジリエンス研究として定義等が検討されるようになった^[3]。なお佐藤によると、心理学の分野で多く引用されている定義はMastenの「困難で脅威的な状況にもかかわらず、うまく適応する過程・能力・結果」である^[4]。

組織運営に関する研究においてHorneは、レジリエンスを、期待に反する重大な変化に対し生産的に反応する能力であるとしている。Horneは組織やコミュニティのレジリエンスの要素として、価値観や使命の共有(Community)、内的/外的要求に適合した個々の能力(Competence)、各成員間またはチーム間の連絡経路の充実(Connections)、信頼と善意を維持するための努力(Commitment)、意味のある情報の共有(Communication)、成員の労力の効果的な集結(Coordination)、組織の成員に対する配慮(Consideration)を挙げている^[5]。

このように、生態学ではシステムを対象とするため「元の機能と構造を維持する」と表現しているところを、心理学ではより個に注目して「うまく適応する」と表現している。また組織運営においては「生産的に反応する」と表現しており、それぞれ着目している対象によってニュアンスが異なるが、単に元の状態に復帰するだけでなく、以前よりも好ましい状態に変化するという意味合いを含んでいる。

このほかに、レジリエンスをより工学的に捉えた研究として、Bruneauによる研究が挙げられる。Bruneauは、レジリエンスが高いシステムは素早い意思決定や十分な復旧のための資源により、被災から回復までの時間が短いことを指摘している。図1において、時刻 t_0 における発災により被害を受けたインフラのレジリエンスは、元の質に戻るまでにかかった時間 $(t_1 - t_0)$ と低下した質の程度で説明できる^[6]。

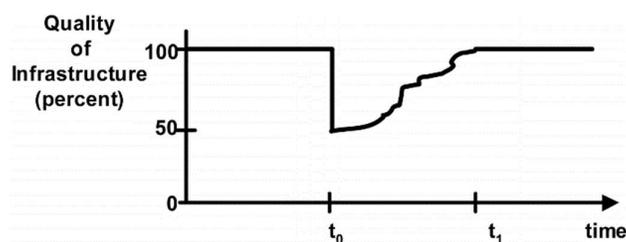


図1 Bruneauによるresilience triangle^[6]

一藤はWeb予約データを使用して、2011年3月の東日本大震災前後の宿泊施設と新幹線の予約状況の推移からそれぞれの復興状況の推測を行い、図2のように、両者で回復の傾向が異なることを示した^[7]。

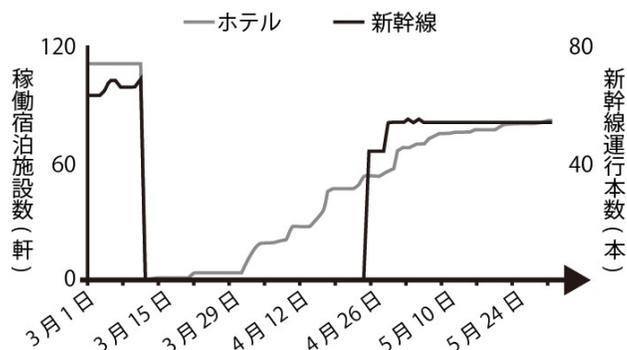


図2 宿泊施設と新幹線のレジリエンストライアングル

我が国においては、2013年に重要政策の一つとして掲げられた「国土強靱化」に対してnational resilience (ナショナル・レジリエンス) という英訳が当てられたことを契機に、学術的分野に留まらず社会一般、とりわけ土木や通信をはじめとする社会インフラの領域を中心にレジリエンスの語が積極的に使用されることとなった。

同政策は、2011年3月11日の東日本大震災から間もない同月23日に執り行われた参議院予算委員会の公聴会において、藤井聡氏によって提言された「列島強靱化」が発端となっている。なおレジリエンスの語については、翌2012年2月に藤井氏によって「救国のレジリエンス」という題名の著書が出されている。同年、当時野党であった自由民主党によって「国土強靱化基本法案」が提出され、2012年12月の政権交代を経て、2013年3月に自由民主党政権下の内閣官房によって第一回目の「ナショナル・レジリエンス(防災・減災)懇談会」が開催された。

同懇談会の第一回資料では米国と英国での事例が取り上げられている^[8]。事例のうち、2007年に英国で発生した洪水の翌年に英国政府に提出されたPitt卿による報告書(Pitt Review)においてレジリエンスの語が使用されており、その意味するところは「コミュニティやサービス、地域、社会基盤が危難に耐える(withstand)能力」としている。またその対象は地域コミュニティやサービス、社会インフラにまで拡張されている。報告書

内では重要インフラのレジリエンスの他に個人、企業、地域コミュニティのレジリエンスについても1章分が割かれており、英国政府に対して、個人や地域コミュニティに対して災害への備えと自立を支援奨励するためのプログラムを確立することを提言している^[9]

なお、懇談会の座長を務めた藤井氏は自身の著書において地域コミュニティのレジリエンスにも言及しているが、2013年に議決された「強くしなやかな国民生活の実現を図るための防災・減災等に資する国土強靱化基本法」の条文には地域コミュニティに関する具体的な言及は見られない。しかし我が国においては、レジリエンスの人間的な観点が土木的な観点ほどには浸透していないと考えられる。

地域コミュニティのレジリエンスについては、Norrisによると、1996年にBrownによって発表されたものが最も初期のものであるとしている。また、2008年までのレジリエンス研究を整理したうえで、レジリエンスに重要なものとして経済開発、ソーシャルキャピタル、情報とコミュニケーション、コミュニティコンピテンスの4つを挙げている。ここでソーシャルキャピタルとはコミュニティ内における共助の土壌やリーダーシップを有した成員の存在などを指す。コミュニティコンピテンスとは、得た情報を集団内で批判的に検討し、柔軟かつ創造的に協力して問題を解決する能力を指す^[10]。

Norrisによる資料に基づく、各領域におけるレジリエンスの語の発生時期を時系列に並べ、国土強靱化政策を加えたものを図3に示す。はじめは生態学においてHollingにより提唱されたレジリエンスという概念が後に心理学の領域で用いられるようになり、次いで様々な領域に展開していったと考えられる。

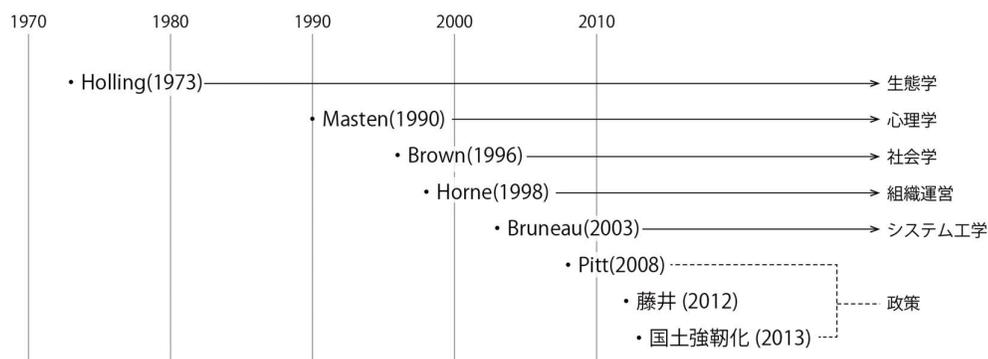


図3 各領域における「レジリエンス」の語の発生時期

レジリエンスという言葉が想起する性質は分野や文脈、問題意識によって少しずつ異なり、重要な概念であると同時に捉えどころのない印象を受ける。レジリエンスという語の意味の広さを過度に狭めることなく説明を試みたもののひとつとして、国連国際防災戦略事務局(UNISDR)によるレジリエンスの定義を紹介する。UNISDRではレジリエンスを「なんらかの力に曝された人間・システム・コミュニティが、基本的な機構及び機能を保持・回復することなどを通じて、ハザードからの悪影響に対し、適切なタイム

グと効果的な方法で抵抗、吸収、適応、受容し、回復する能力」としている^[11]。

最後にZolliによる著書を挙げる。Zolliはレジリエンスと意味が近い頑強性、冗長性、回復といった言葉を引き合いに出し相違点を表 1に示すとおり指摘したうえで、レジリエンスの「純粋な意味」を「絶えず変化する環境に合わせて流動的に自らの姿を変えつつ、目的を達成する」性質としている。Zolliはまた、生態学におけるレジリエンスの概念と心理学におけるレジリエンスの概念について、それぞれ事例を挙げながら説明し、企業や地域コミュニティのレジリエンスにも言及している。Zolliは「個人、集団、コミュニティが適度な接続性、協調体制、多様性を保つことによって優れたレジリエンスが発揮」されると述べている^[12]。

表 1 Zolli(2012) によるレジリエンスに似た語とレジリエンスの相違点

語	レジリエンスとの違い
頑強性	システムの長所を強化することによって得られる → ひとたび破壊されたら自力で元の状態に戻ることはできない
冗長性	システムの主要な要素やサブシステムのバックアップを保持する → 状況が大幅に変化すると有効性をまったく失う可能性をはらんでいる
回復	周囲の環境の破壊や激変を経験しても、きっちりとベースラインまで回復する → 戻るべきベースラインが存在しないこともめづらしくない

1.1.2 デザイン

デザイン方法論とは、デザインの方法を研究対象とした領域である。Crossによると、1962年9月にロンドンで開催された会議¹が、学術的領域としてのデザイン方法論(design methodology)のはじまりとされている。当初のデザイン方法論は、設計計画を効率的に行うために対象を分解することで単純化し、分業により専門化することが目的とされていた。第二次世界大戦後と冷戦による社会構造の変化や科学技術の進展を背景に、科学的な手法を工業の分野にも適用することに注目が集まり、設計手法に関する著書が当時多く出版された^[13]。この時期に考案された手法や概念は1970年にJonesによってまとめられており、1973年に池邊によって邦訳されている。Jonesは「手工芸的発展と図面によるデザインから開放されてきた」当時の新たな設計手法を紹介する中で、「複雑化の方向にある世界のプランニングと発展に避けることのできないものとして考察される」新しい方法の実例と、適用や習得、コストについての利点と課題を指摘した。当時の潮流を知るための具体的な事例として同書からAIDA(Analysis of Interconnected Decision Areas、相互に関係し合う決定領域の分析)を紹介する。AIDAは「デザインに関係する二次的な解のすべての適合性ある組み合わせを評価し、見極めることを目的とした手法」である。

¹ Conference on design methods : Papers presented at the Conference on systematic and intuitive methods in engineering, industrial design, architecture and communications

AIDAによるインク筆記具のデザイン^[14]

AIDAにおいて、まずデザイン対象の選択可能で実行可能な選択肢を見出すことがはじめのステップである。インク筆記具のデザインを演習的例として挙げると、たとえばその選択肢は表2のようになる。

つづいて決定領域内の組み合わせを全通り検討し、対立すると仮定される組み合わせを列挙する。たとえば、 a_1 と d_2 は、「ポケットにあるとき、先を下げてしまわれるとペン先から漏れる」という対立が仮定される。全通りの組み合わせから、対立が仮定された組み合わせを取り除いた表3に示す4通りが、採用される選択肢の候補となる。

表2 選択と実行が可能な選択肢

項目	決定領域	選択肢1	選択肢2
a	転移	ペン先(a_1)	ボールポイント(a_2)
b	補給	吸い上げ式補給(b_1)	取り換え可能なタンク(b_2)
c	保護	取り外せるカバー(c_1)	ポイントの引き込み(c_2)
d	保持	先を上にして(d_1)	先を下にして(d_2)

表3 対立のない組み合わせ

対立のない組み合わせ	名称
$a_2 b_2 c_1 d_1$	とりはずせるカバー付ボールポイント
$a_2 b_2 c_1 d_2$	可能な新しいタイプのボールペン
$a_2 b_2 c_2 d_1$	可能な新しいタイプのボールペン
$a_2 b_2 c_2 d_2$	引き込み式ボールペン

最後に、対立のない組み合わせから「製造コスト」のように比較可能な基準によって、選択肢を絞り込むことで最適なデザインが可能になるというものである。

選択肢が多くなると組み合わせの数は大きくなるが、当時はコンピューターが設計に利用され始めた背景もあり、ある程度の規模まではこの方式が適用できると考えられた。

水野は、設計における芸術家的職人の経験や勘に依らない科学的な分析がこの時期に成立したと指摘している^[15]。またこの他にも、同時期の欧州における人間工学(ergonomics)の領域では、労働者の生体負担の測定を客観化することを目指した研究が盛んに行われた^[16]。

しかしながら、製品設計への科学的手法の導入として始まったデザイン方法論は、1960年代後半から行き詰まりを見せはじめた。これはデザイン方法論の目的が先のAIDAに見られるような製品の効率的な設計から、より複雑で社会的な問題の解決を対象が移り変わったことが一因している。

1973年にはRittelが、デザイン方法論を「第一世代」と「第二世代」に分けることを提言した。第一世代では構造が比較的単純で完全な解決と検証が可能な問題(tame

problems)を取り扱っていたのに対し、第二世代では構造が複雑で完全な解決と検証が不可能な問題(wicked problems)を取り扱うと規定した^[17]。Rittelはwicked problemsについて以下に示すとおり、10の特長を挙げている。

1. 問題解決を定式化することはできない

問題構造を事前に完全に理解し、そのうえで解決方法を定式化するという手順を踏むことはできない。問題解決の計画を立て、実行に移すと、計画の時点では知りえなかった新しい問題解決のための手掛かりが見えてくるのが第二世代の問題の特徴のひとつである。

2. 問題解決の実行に終わりはない

問題解決の計画には終わりはあるが、ひとたび実行に移すとどこで終わりにすればよいかを判断する明確な基準が存在しない。これは上記1にあるとおり、問題解決を実行することで新しい問題解決の手掛かりが次々と明らかになるためである。

3. 問題解決に正解はなく、良かったか否かのみが分かる

問題解決の手段が正しかったかを判定するには明確な判定基準が必要であるが、現実には判定者の価値観や立場によって基準が異なるため、実行後に彼らにとって「良かったか」あるいは「満足のいくものか」が分かるに留まる。

4. 問題解決は即座に検証はできない、また完全な検証もできない

問題解決を実行した後に、その影響を検証することは可能であるが結果をすぐに知ることはできない。これは実際の社会で問題解決が及ぼす影響を観察し続けなければならないためである。また、すべての影響を観察することも不可能である。

5. 問題解決は「一発勝負」である

実行した問題解決の結果が満足のいかないものであったとしても、その方法を修正して再び試行することはできない。それは、問題解決をひとたび実行に移せばその影響により問題の性質が変化してしまうためである。

6. 問題解決案が十分に検討されたかを評価することはできない

問題解決を実行に移す前に、考える全ての方法を十分に吟味したか、またあらゆる影響が考慮されているかを評価することはできない。一見不合理に思える解決方法であっても、良好な結果をもたらす可能性がある。

7. 同じ問題は存在しない

過去にある問題をよく解決した方法があったとして、別のよく似た問題に同じように適用できるとは限らない。これは、双方がよく似た問題に見えたとしても実際には重大な相違点が必ず存在するためである。

8. 解決しようとしている問題は別の問題がもたらしている症状のひとつかもしれない

大抵の場合、解決しようとしている問題は複数の問題が複合しているため、ある問題をよく解決したところで、次の新たな問題が見えてくる。したがって、結局のところその解決方法が良かったのか否かを判断する論理的な基準は存在しない。

9. 問題の原因の候補は無数にあり、どれを選択するかで解決方法が変わる

問題構造はいかようにも説明することができ、またどのような説明にも反論が可能である。これは、問題に関わる事実のどれを取り上げるのが最も妥当であるかを検証することができないためである。

10. 問題解決に失敗は許されない

科学の世界において、仮説に至るプロセスに不正や誤りが無ければ、後年その仮説が間違っていたと発覚しても提唱者が非難されることはない。しかしながら、問題解決にあたって立案者は実行の結果に責任を負う。

上記は問題に対する分析の困難さ(1, 7, 9)、計画の困難さ(2, 5, 6, 8)、評価の困難さ(3, 4, 10)を指摘している。単に問題構造が複雑なだけであれば試行錯誤によって少しずつ状況を改善することが可能であるが、実際には試行錯誤するうちに問題構造そのものが変質してゆくことがある。それでも評価が可能である限りいつかは問題が解決するかもしれないが、状況が時間とともに常に変化することに加え、その問題が解決されたか否かの判断には恣意性が含まれ、誰が判断しても必ずしも同じ結論にはならない。

Crossはこれを機に問題所有者(problem owners)を巻き込んだ参加型プロセスが、デザイン方法に積極的に導入されるようになった^[13]と指摘している。参加型プロセスとは具体的には、問題の分析のために問題所有者あるいはユーザーに対してインタビューやディスカッション、あるいは観察を行うことによって、納得のいく解決方法を協力して計画するプロセスである。なお本稿ではデザイン方法のうち、特に観察や観察による問題の理解、課題抽出に注目している。

1.1.3 レジリエンスデザイン

本項では九州大学におけるレジリエンスデザインに関する研究や実践的事例を挙げながら、レジリエンスデザインのこれまでの成果や課題について記述する。

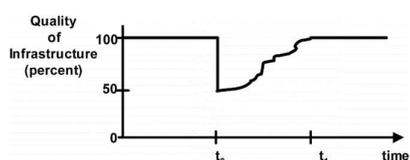
はじめに綿貫によるレジリエンスアシストサービスに関する可能性調査(feasibility study、以降FS)を事例として挙げる。FSでは、レジリエンスを「急性および慢性ストレスに対抗し、生体を守る生理的・心理的抵抗力」とし、急性ストレスや慢性ストレスの原因となりえるストレスの特定と除去から被災者のレジリエンスを支えるサービスの可能性を実験やアンケートにより調査した。FSの結果として、避難所での生活における急性ストレスを引き起こす要因には、音、臭い、乾燥、暗さ、気温といった物理的環境の悪影響が大きいこと、避難所で寝床として使用されているダンボールに対して利用者

からの不快感が高く評価されたことを報告している。また慢性ストレスを引き起こす要因としては、周りの被災者に迷惑をかけないように気を配り、自由を制限して我慢をしないといけないこと、多くの人で込み合い、うるさく、人間関係の対立が起きるといった混乱状況であることという2側面から理解できることを報告している^[18]。同調査は生理指標による裏付けによってレジリエンスの量化を図っている。レジリエンスが測定可能になることで、レジリエンスの向上の比較や再現性の確認が可能になるため、生理指標の活用は重要であると考えられる。

続いてレジリエンスデザインのより実践的な事例を挙げる。尾方による事例の紹介から引用すると、災害避難所での洗濯機に関する観察を基にした、藤山による「屋外の洗濯機」の提案が挙げられる。この事例では、通常洗濯機は屋内で使用されるものであるが、災害時には屋外で使用されることとその使用形態が観察から明らかになったことから、「雨水が溜まらない」、「最小限の設置面・安定する形状」の両立や、「衣服の取り扱い」と「給水・排水ホースを隠す」ことを要件とした、「バッテリーを使用するコードレス洗濯機」が提案された。興味深い点として、災害避難所での洗濯機の使用から設定された要件や提案が、結果的に通常の洗濯機からは連想し難いものとなり、にもかかわらず、途上国での洗濯機の使用といった異なる文脈への転用を想起させるものとなったことを尾方は指摘している。この他には、インターネット上の仮設住宅内での生活が写された映像を収集し、仮設住宅内の掃除行為を分析した事例が挙げられる。同事例では仮設住宅内で使用されている道具や家財のレイアウト、掃除の際の導線を記述し、課題の抽出が試みられた^[19]。インダストリアルデザインの領域では、個々の実践的デザイン事例を「特殊解」として整理し、「一般解化」することでデザイン方法化する手法が試みられており、一連の取り組みは、レジリエンスデザインにおいてもインダストリアルデザインの手法が転用可能であることを示唆している^[20]。

次に、レジリエンスデザインにおける理論的検討の事例を挙げる。図4はレジリエンスデザインを説明するために、Bruneauによるresilience triangle²の一部を尾方らが改変したものである^[21]。図中の θ は回復までの速さを指している。レジリエンスデザインにおいては、図中のR(resilience triangle)の面積を小さくするだけでなく、回復後のさらなる質の向上によりSの面積を大きくすることが重要である。このような創造的復興は、被災による様々な経験を通して得られた知見や教訓、人間関係や行動変容によって得られるもので、デザインが支えるべきものである。また同時に、平時からの活動によって発災時の被害を少なくする、防災も重要である。防災は図中の h_1 に対応する。さらに、発災時の活動によって被害を最小限に抑える、減災も重要である。減災は図中の h_2 に対応

² 1.1.1 より



する。地域コミュニティのレジリエンスに関連する防災には、地域での防災訓練や次節で挙げる地区防災計画制度のような、平時からの地域コミュニティにおける交流が重要であると考えられる。減災については、被災地におけるコミュニケーション行動を支援することが重要であると考えられる。

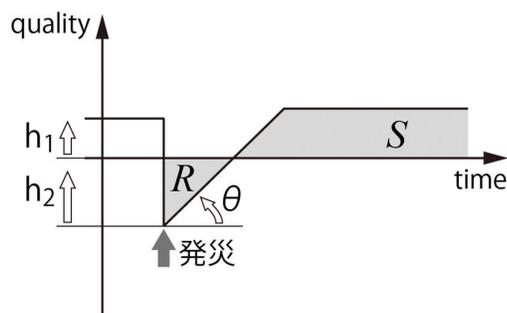


図4 レジリエンスデザインの概念図(尾方引用)

以上のようにレジリエンスデザインは幅広い領域で展開が進んでおり、本研究もこの文脈に含まれる。ただし本研究では、特に地域コミュニティのレジリエンスに着目する。本研究におけるレジリエンスデザインとはZolliの言葉を引用すると、個人、集団、コミュニティが適度な接続性、協調体制、多様性を保つことを促すためのモノや仕組みのデザインとすることができる。

1.1.4 地区防災計画制度

本項では地域コミュニティのレジリエンスを要請する我が国の制度について記述する。

2019年の南海トラフ地震防災対策推進基本計画が「平常時からの地域コミュニティの再生」を防災対策のひとつに挙げている^[22]ように、地域コミュニティによる共助が期待されている。より関連が深い政策としては地区防災計画制度が挙げられる。従来のトップダウン式に作成された防災計画では網羅できない部分を補完するために、2013年の災害対策基本法改正の際に地区防災計画制度が新たに創設された^[23]。同制度は各地域コミュニティによる共助を促進するために、地域コミュニティが自主的に地区の防災計画をボトムアップ式に作成することを推奨している³。

西澤は2016年の熊本地震における被災者のインタビュー調査において、熊本県の地域防災計画は実際におきた震災よりも大きな被害を想定していたにもかかわらず、被災経験に乏しかった現地の行政や住民が防災計画に応じてとるべき対策をとっていなかった点と、熊本県をはじめ九州は震災経験が乏しく、地区防災計画制度がほとんど普及して

³ 地域コミュニティによる共助は、行政による公助にとって代わるものではないこと、またレジリエンスに対する理解が立場や個人によって異なるため、共助に対する共通認識が築かれていないことが指摘されている^[20]。地域コミュニティのレジリエンスを高めることは行政の責務でもある一方で、レジリエンスを政策にまで昇華させるには学術的研究の充実が不可欠であると考えられる。

いなかった点を指摘している。一方で、耐震基準を満たしたマンションに居住していた住人のインタビュー結果を挙げている。110世帯の規模を有し、また自主防災組織や防災計画の取り決め等はされていないものの、日頃からマンション内での交流があった住民は熊本地震の際にも落ち着いて行動し、被害を最小限に抑えることができたことを報告している^[24]。

普段から住民間の交流がある地域コミュニティにおいては、平時からの取り決めや体制整備が不十分であってもZolliが言うところの適度な接続性、協調体制、多様性が保たれている、すなわち高いレジリエンスを備えているために、被災後にも効果的な共助が期待できると考える。地区防災計画制度の普及によって、平時から災害を想定した取り決めや体制整備が進むだけでなく、地域コミュニティの交流が加速することが期待される。一方で、レジリエンスが低い地域、すなわち普段からの住民間の交流が乏しく、発災時に効果的な共助が期待しにくいコミュニティをどのように支えるべきかということが問題になると考える。

1.1.5 災害避難所

本研究では、地域コミュニティのレジリエンスを支える場として災害避難所を想定する。普段は防災や地域コミュニティへの関心が薄い人であっても、ひとたび被災すれば災害避難所を利用することになり、そこで同じ境遇の人々と出会うことになる。

災害避難所とは、発災時に住民が避難するための施設を指す。わが国の災害対策基本法では、住民等の生命の安全を確保することを目的とした指定緊急避難場所、避難した住民等を一時的に滞在させることを目的とした指定避難所あるいは指定福祉避難所が、各市町村で指定されている。指定にあたって、「避難所における良好な生活環境の確保に向けた取組指針」では、避難所として指定する施設について、「耐震性、耐火性の確保に加え、天井等の非構造部材の耐震対策を図り、災害により重大な被害が及ばないことが望ましいこと。また、生活面を考慮し、バリアフリー化された学校、公民館等の集会施設、福祉センター、スポーツセンター、図書館等の公共施設とすることが望ましい」とある。ただし図5に示すように、指定避難所以外の施設に住民が避難するケースや、ショッピングモールのような民間の施設や住宅に避難するケースもある。たとえば、避難所として指定されていた施設が施錠されていて利用できなかった場合や、指定避難所の周知が行き届いていなかった事例等が過去の事例として報告されている^[25]。このような場合、被災者はやむを得ず、あるいは自覚なく指定避難所以外の施設に避難するといったことが考えられる。特に防災に対する備えが十分でない地域コミュニティにおいては、指定避難所の場所を知らずに近くの施設へ向かうケースが考えられる。このような施設については市町村に情報共有が義務付けられていないため、支援が遅れたり、支援が得られない場合がある。しかしながらそういった場所においても被災者の生活が営まれている以上はデザインの対象であることから、本研究では、災害によって一定期間の集団生活が発生する環境を総合して災害避難所と呼ぶこととする。

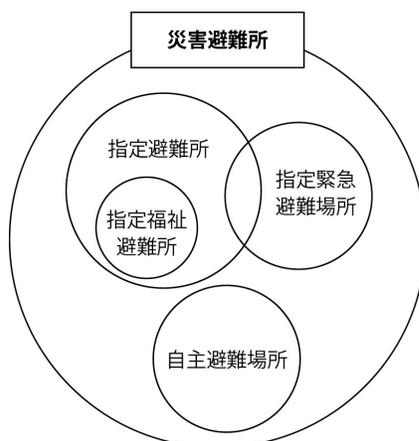


図5 災害避難所の種類

つづいて、特に震災において、その発災から復興までの経過を調査した先行研究から災害避難所の役割について記述する。木村は阪神淡路大震災と新潟県中越地震での被災者に対する調査研究に基づき、被災から復興に至るまでのプロセスを5段階に分類した^[26]。ここでは、木村による災害発生からの生活再建過程を用いる。災害過程における5つの段階を図6に示す。

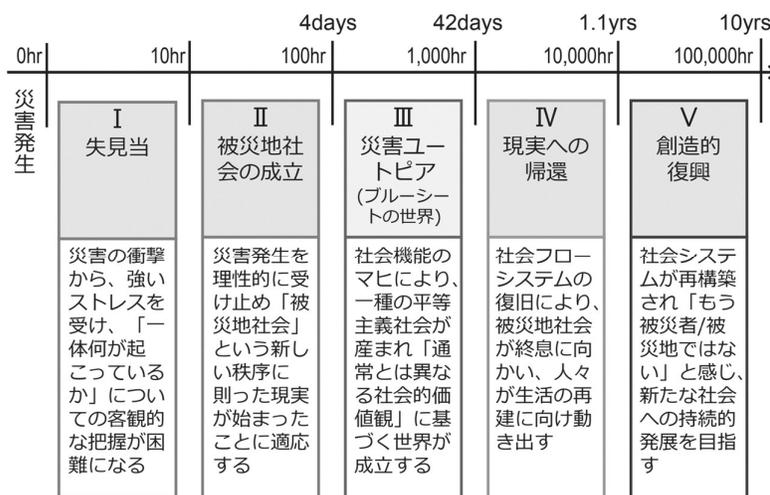


図6 災害過程における5つの段階^[28]

木村は各段階の発生時期は概ね常用対数軸的時間スケール(発災から10時間後、100時間後、1,000時間後、10,000時間後、100,000時間後)で表現できるとしている⁴が、実際に

⁴ 木村による5段階の分類とタイムスケールは普遍的なものではなく、たとえば医療救護活動等では異なる段階の分類とタイムスケールが用いられる。医療救護活動においては、発生直後(発災～6時間)、超急性期(6～72時間)、急性期(72時間～1週間)、亜急性期(1週間～1ヵ月)、慢性期(1～3ヵ月)、中長期(3ヵ月)という分類が用いられる^[25]。

第1章

は災害の規模等によって各段階が発生する時期は異なるため、阪神淡路大震災と他の震災を比較するための指標として使用することに意義があるとも提言している。本稿においても、あくまで目安として木村による時間スケールを用いる。

1. 失見当

発災直後からはじめの10時間までの段階は「失見当」の段階とよばれる。被災者は「災害の衝撃から強いストレスを受けて、自分の身のまわり一体何が起きているかを客観的に把握することが難しくなり、視野が狭くなる段階」である。この段階においては多くの人は何が起きているかを把握することが困難で、身動きが取れない状態にあるとされている。

2. 被災地社会の成立

つぎの100時間までの段階は「被災地社会の成立」の段階とよばれる。失見当の状態をある程度克服し、「危険な場所からの避難」「安否確認」「救助救出」と事態が進み、「被害の全体像が明らかになるにつれて、震災によるダメージを理性的に受け止め、被災地社会という新しい秩序に則った現実が始まったことに適応する」段階である。

3. 災害ユートピア

1,000時間までの段階は「災害ユートピア（ブルーシートの世界）」の段階とよばれる。「社会基盤の物理的破壊やライフラインの途絶など従来の社会機能がマヒすることにより、一種の平等主義社会が生まれて、通常とは異なる社会的価値観に基づく世界が成立する」段階である。災害ユートピアの段階では、平時には交流のない人々が災害をきっかけに交流を持ち一時的な平等社会の中で助け合いのコミュニティが形成されると考えられる。その期間の長さは災害の規模や発災地域の特性等によって異なるが、災害発生から水道ガス等のライフラインが復旧し、次の生活の場が確保され始めるまでの期間で、木村によると「100時間(4日目)から1,000時間(2ヵ月)」とされる。

4. 現実への帰還

災害ユートピアの段階から10,000時間までの段階は「現実への帰還」の段階とよばれる。「ライフラインの中でも比較的復旧が遅い上下水道やガスなどの導管系のライフラインが戻ってくる」「社会フローシステムの復旧により、被災地社会が終息に向かい、人々が生活の再建に向け動き出す」段階である。仮設住宅や復興公営住宅への入居もこの段階で始まる。

5. 創造的復興

最後の100,000時間までの段階は「創造的復興」の段階とよばれる。「道路、鉄道、港、空港などの、新しい社会基盤の整備も進み」「新たな社会への持続的発展を目

指して、10年間の長期復興計画などで都市再建、経済再建、生活再建という3つの再建に向けて進んで」いく段階である。

災害ユートピアとはSolnitの著書”A Paradise Built in Hell”の邦題である。同書においてSolnitは、米国を中心に災害や大規模テロ発生後の被災地で見られた自生的な秩序の事例を挙げ、人は災害に直面したとき、パニックになるのではなく、むしろ互いに同情的、協力的になり、ユートピアのような共同体が一時的に作られるということを主張している^[29]。Raphaelはこのような現象を被災者のこころの復興過程における「ハネムーン期」とよび、「多くの愛他的行動が生まれ、人々は一致団結してことにあたる」と表現している^[30]。このことから、災害ユートピアはコミュニティのレジリエンスというよりは、多くの個人に備わっているレジリエンスによってもたらされていると考えられる。

災害避難所は、個人のレジリエンスがコミュニティのレジリエンスに成長する機会として位置づけられる可能性がある。Norrisの言葉を引用するとコミュニティコンピテンス、Zolliの言葉を引用すると適度な接続性、協調体制を引き出すため災害避難所でのコミュニケーションのデザインによって、平時に世帯間の交流が少ない地域コミュニティであってもレジリエンスを高めることが可能になるのではないかと考える。被災地で見られる一時的な平等社会と他愛行動をはじめとする、災害避難所での問題を解決するための無自覚な行動はレジリエンスと関係していると考えられる。本研究ではこのような行動をレジリエンス行動と呼ぶこととする。

一方で、災害避難所内のコミュニケーションが円滑に交わされているかを把握することは容易ではない。また避難所の職員は、救援物資の配布、避難所内外の情報の整理と連絡、衛生管理、防犯対策、急病人対応等の業務を少人数で行うため、利用者同士の交流の状態や問題点を把握することは困難である。

避難所職員の負担^[28]

木村の報告から、阪神淡路大震災における神戸市内の避難所となった小学校の事例を挙げる。「震災当日に出勤できた職員は17名で、その中には、自らも被災し自宅が半壊の職員も含まれます。続々と集まる避難者に部屋の割り当てをする男性教師。ひっきりなしに親戚や知人の安否を問う電話に対応する女性教師。それらの対応の合間に、面会者に必要な事項を聞き、呼び出し放送を交代で1人二役、三役をこなします。」「午後10時過ぎにやっとおにぎりやパンが届きました。毛布は翌日未明です。1,200人の避難者が配給場所に殺到し、職員たちは必死に配布します。渡らなかつた避難者から不満の声が挙がります。」「トイレも惨憺（さんたん）たる状況で、水が出ない上に次々に使用され、盛り上がっています。近くの池⁵からポリボックスに水をくんで、その水で流し、詰まれば、ひしゃくで汚物をくみ出します。それをいちごっこのように繰り返します。それも教師の役割です」。

⁵ 引用元では「観察池」

阪神淡路大震災以降に状況は幾分改善されているとしても、依然として職員の負担は大きいと考える。このような災害避難所の状況において観察を実施することは困難であり、現地にデザイナーを派遣する際にはそこで生活する人に最大限の配慮が必要となる。そのためレジリエンスデザインにおいては、現地に負担をかけない、低侵襲な観察方法を構築することが重要であると言える。

災害避難所は地域コミュニティのレジリエンス向上にとって重要な場であると同時に、プライバシーやコミュニケーション等の問題を抱えた場でもある。ここでコミュニケーションの問題とは、特定の避難所利用者が疎外感をおぼえたり、あるいは当人の意思に反して過剰にコミュニティに関わってしまうことがストレスとなり、避難所生活の中で誰にも気づかれないうちに蓄積していく状態を指す。コミュニケーションの問題は地域コミュニティのレジリエンス向上を阻害する恐れがあることから、避難所運営にあたっては利用者間のコミュニケーションから課題を抽出し、都度適度なコミュニケーションを促す仕組みをデザインすることが重要であると考えられる。

1.1.6 課題

ここまで、本研究の学術的社会的位置づけを示すためにレジリエンスとデザインという概念について概観し、地区防災計画制度、災害避難所について触れてきた。近年の我が国の防災政策では地域コミュニティでの共助が重視されているものの、コミュニティのレジリエンスが高くない地域においては高い効果を期待することが難しい。一方で、災害避難所で見られるレジリエンス行動は地域コミュニティのレジリエンス向上を促す機会になり得る。しかしながら、災害避難所において全ての利用者が地域との円滑なコミュニケーションを実現できるとは限らず、また避難所を運営する職員にも利用者同士のコミュニケーションを調整するような余裕はない。そこで、レジリエンス行動と言えるようなコミュニケーション中の行動を低侵襲な方法で抽出することが重要であると考えられる。

人の行動の観察は実践的デザインにおいても活用されているが、今後、方法論として確立するためには、行動を量化し、比較や再現が可能な記述を実現することが不可欠となる。先に挙げた藤山による洗濯機の提案（1.1.3 節）は、災害避難所に設置された洗濯機の場所やレイアウト、貼り紙の内容等から、洗濯機が避難所においてどのような使われ方をしていたかをする中で、被災地という特殊な環境下で洗濯機の使い方が無自覚な行動によって最適化されているという感覚的な洞察に基づいたものである。この洞察を「一般解化」するには、行動の記述方法を一般化することが重要となる。

人々の無自覚な行動の存在は、デザインの実践的立場から指摘されてきた。たとえば図 7のように、人は順番を待つ際に、無自覚のうちに他者に対して一定の空間を確保する行動をとる。Janeはこのような行動をThoughtless Actsと呼んだ^[31]。Thoughtless Actsは個別の事例ごとには感覚的に理解できるものの、客観性の高い記述が困難である点が課題であると考えられる。



図7 無自覚に等しい間隔で整列する人^[31]

Thoughtless Actsに着目することで課題を解決した事例として、デザインコンサルタント会社アイデオ(IDEO)における自転車レース用のウォーターボトルの事例を挙げる。

ウォーターボトルの観察^[32]

Kelleyによると、ウォーターボトルを使用するバイカーの観察によりバイカーとウォーターボトルの相互作用に関する3点の課題が抽出された。ひとつは、バイカーが自転車の運転中にボトルをボトルケージに戻す際の行動において見られた。バイカーは前方の道路を見ながら走行するため、ボトルとボトルケージの位置関係を手探りで確認しながらケージに戻す必要があり、したがってボトルに戻す際に苦勞することがあるというものである。もうひとつは、ボトルをつかんだ後、バイカーは片手でハンドルを握っているため歯を使ってノズルを引き出して飲む必要があるという点。またボトルが砂埃や泥で汚れている場合はノズルを拭うか、そのまま口を付けざるを得ないという課題も明らかになった。

なお、これらの問題はそれぞれ、ボトルの底を細くすること、切込みを入れたゴムの膜を使用し口を付けずにボトルを握るだけで水が飲める構造を採用することで解決が図られた。

このように、バイカーの観察からThoughtless Actsと呼べる行動を洞察することで課題を抽出することは可能であるが、肝心の洞察は観察者やデザイナーの感性に委ねられている。

1.2 目的

本研究では人の行動に着目し、地域コミュニティのレジリエンス向上のため、生態心理学的分析を用いた災害避難所でのレジリエンスデザイン方法の構築を目的とする。生態心理学とは、Thoughtless Actsの理論的背景のひとつであるアフォーダンス理論を提唱した心理学の領域のひとつである。生態心理学とアフォーダンス理論については第2章で詳述する。先の小括の中で述べたように、レジリエンスに関わるThoughtless Actsを量化することが重要である。Thoughtless Actsを量化することによって、生理指標や心理尺

度との関連を調査することが可能となり、より客観的な行動の理解に基づいた問題解決の計画が可能になると考える。また本研究ではThoughtless Actsの量化を行うための、動画解析技術を用いた行動の測定方法の構築と、実験設計方法の構築も目的とする。さらに、本研究プロセスに基づいた実装の検討を行い、レジリエンスデザイン方法としての提案を目指す。災害避難所に設置された防犯カメラ⁶で撮影した動画の解析によりThoughtless Actsを量化する分析方法を、生態心理学的分析と呼ぶこととする。

1.3 本論文の構成

本論文では、第1章においてレジデンスとデザイン、レジリエンスデザインに関する課題と本研究の目的について記述した。つづく第2章では先行事例として、Thoughtless Acts、動画解析技術、生理指標、心理尺度に関する既往研究について記述する。第3章では動画解析技術を用いた行動の測定方法の提案について記述したのちに、量化された行動と、生理指標、心理尺度の相関を把握するための実験設計方法について記述する。第4章では実験設計方法に対する考察を行ったのち、第3章でのプロセスを政策や社会活動に実装することを検討したうえで、第5章で総括を行う。

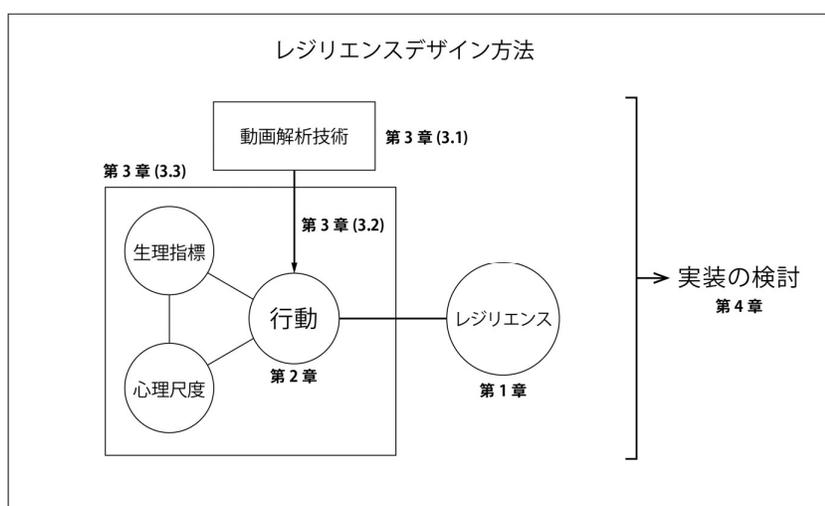


図8 本論文の構成

基礎論文と本稿の対応を表4に示す。

⁶ 電気の復旧はライフラインの中でも比較的早く、阪神淡路大震災、新潟中越沖地震、東日本大震災、熊本地震いずれにおいても一週間程度で全域の90%以上の応急送電が完了または復旧している^{[33][34][35]}。指定避難所に定められた施設にカメラを設置することで、避難所利用者の行動の分析が可能であると考えられる。施設に設置されるカメラのうち代表的なものが防犯用途のカメラである。防犯カメラは従来目視により不審者の侵入、盗難、その他トラブルの発見や検証を行うためのものであったが、動画解析技術の発達に伴いその作業を自動化し、近年では交通量推定等にも利用されるなど用途の幅が広がってきている。

表 4 論文と本稿との対応

論文タイトル (査読有り)	発行年	対応する章
被災地におけるレジリエンスデザインに関する研究 ：熊本地震避難所における貼り紙の分析, 西村英伍, 李東海, 尾方義人, 地区防災計画学会誌, 13, pp.51-65	2017	第1章
機械学習を用いた動画解析による生体情報の自動追跡技術 ：臉裂幅計測に用いた一例, 西村英伍, 元村祐貴, 勝沼るり, 吉村道孝, 三島和夫, 尾方義人, 日本生理人類学会誌24(1), pp.35-45	2018	第3章
行動と性格特性に着目したレジリエンスデザイン方法の構築 ：避難所での活動を想定した共同作業中の人の位置関係・心拍変動・性格特性の相関解析, 西村英伍, 岸田文, 藤智亮, 綿貫茂喜, 尾方義人, 九州大学大学院芸術工学研究院紀要 芸術工学研究, 31, pp.1-7	2019	第3章
災害避難所運営を想定した性格・行動・ストレスモデルの構築のための実験系設計, 西村英伍, 岸田文, 藤智亮, 綿貫茂喜, 尾方義人, 産業応用工学会論文誌, 8(1), pp.1-9 (i.p.)	2020	第3章

また、その他研究発表と本稿の対応を表5に示す。

表 5 発表と本稿との対応

発表タイトル (査読無し)	発表日	対応する章
画像処理を用いた被災者のレジリエンス行動の生態学的観察 西村英伍 九州大学教育改革シンポジウム2017,九州大学 伊都キャンパス	2017.07.10	第3章
動画と位置情報を用いた人のレジリエンス行動の生態心理学的観察 ：アフォーダンスとプロクセミクスのアプローチから, 西村英伍, 藤田萌花, 尾方義人, 日本デザイン学会第5支部 平成29年度研究発表会	2017.10.22	第2章

第1章

<p>未来の安心のための災害避難所に関するレジリエンスアシストサービス実装の可能性調査, 西村英伍, 辻本寛治, 藤田萌花, 江頭優佳, 中島孝明, 能登裕子, 大草孝介, 長津結一郎, 縄田健悟, 小崎智照, 藤智亮, 中村美亜, 尾方義人, 前田享史, 綿貫茂喜, 九州大学高等研究院・九州先端科学技術研究所 研究交流会,九州大学 伊都キャンパス</p>	2018.01.29	第4章
<p>機械学習によるレジリエンス行動の抽出方法の研究, 西村英伍, 辻本寛治, 藤田萌花, 中島孝明, 江頭優佳, 能登裕子, 藤智亮, 尾方義人, 綿貫茂喜, 平成29年度日本生理人類学会研究奨励発表会 (九州地区)</p>	2018.02.03	第3章
<p>災害対策における実務担当者としての保健師のレジリエンス行動の抽出, 西村英伍, 近藤聖樹, 柴田英俊, 九州大学応用生理人類学研究センター レジリエンスデザイン研究特別講演会 防災研究事例検討発表会</p>	2018.03.06	第3章
<p>機械学習を用いた動画からの生体情報抽出技術の開発 : 上眼瞼の動き検出に用いた一例, 西村英伍, 元村祐貴, 尾方義人, 勝沼るり, 吉村道孝, 三島和夫, 日本生理人類学会第77回大会</p>	2018.06.17	第3章
<p>プロクセミクスとF陣形に基づく集団内の成員のレジリエンス指標の検討 : 段ボールベッド組立て作業の動画を事例として, 西村英伍, 尾方義人, 日本デザイン学会第5支部 平成30年度研究発表会</p>	2018.10.13	第2章

第2章 先行研究

2.1 Thoughtless Acts

2.1.1 アフォーダンス理論と生態心理学

第1章で述べたとおり、デザインの領域では当事者を巻き込んだ様々な調査方法や観察手法が研究されてきた。Thoughtless Actsはデザインの実践的領域から提唱された概念であるが、理論的な説明も試みられてきた。そのひとつが、Norman^[36]やKrippendorff^[37]によって導入されたアフォーダンス(Affordance)理論である。

アフォーダンス理論とは、Gibsonによって提唱された生態心理学(Ecological psychology)において用いられた言葉である。生理心理学が感覚、認知、記憶などを支える脳神経系の基礎的なメカニズムの理解を、集団心理学が対人関係での心の過程や、集団や文化が人に及ぼす影響の理解を目指している^[38]のに対し、生態心理学では人の行動と環境の相互作用からの知覚認知の理解を目指している。Lombardoによると、Gibsonの生態心理学の根幹をなす洞察は生物と環境の相互依存にあり、生物の知覚は、環境なくして説明することはできないとしている^[39]。地面や床は、生物が移動するが故に存在する概念であり、我々は「地面」や「床」を目で見て知覚した後に「ここを歩くことができる」と認識してから歩き始めるのではなく、「体重を支えるに十分な強度と広さを有する安定した水平面」という行動に直結する視覚情報を、周囲の環境からピックアップしているという考え方をするのが生態心理学の特徴のひとつである。ここで、人が環境からピックアップする行動と直結する視覚情報をアフォーダンスと呼ぶ。さらにLombardoの言葉を引用すると「知覚や行動を心の事実としてではなく、生態系の実事として記述」することが生態心理学の特徴である^[39]。

Krippendorffによると、アフォーダンスは「インタフェースを構成するものの中で最も信頼できる構成単位」である一方で「アフォーダンスを知覚することは、必ずしもそれを分類したり名指したりすることではない」^[37]すなわち、当の本人が、アフォーダンスを知覚したことを自覚して他者に適切に説明できるとは限らないことを指摘している。

デザインにおける観察とは、ユーザーと環境の相互作用から、ユーザーが環境からどのようなアフォーダンスをピックアップしているか、ユーザーが環境に対してどのような理解をしたかを見抜く取り組みであると言える。このようなデザイン領域における理論面の発展により、デザイナーの感性的な洞察が質的に説明できるようになった。一方で、質的な概念であるThoughtless Actsはデザイン方法として発想を得る手掛かりとはなるが、再現が可能な概念とは言い難く、近年理論的な進展はほとんど見られない。そこで今後は、より量的な理解に基づく、より再現性が高い方法へと発展させることが重要であると考えられる。

2.1.2 貼り紙観察

複雑な問題に取り組む際の観察方法として、エスノグラフィー(ethnography)とよばれる観察手法が挙げられる。エスノグラフィーは文化人類学等で用いられてきた質的研究手法で、観察対象となる民族と共に中長期間生活をし、その文化や行動様式を観察記述することを指す。なお、デザインの領域においては観察対象の文化や行動様式を理解することに加えて、問題の構造を推測して課題を抽出することも目的としている。Krippendorffはエスノグラフィーについて「その環境に居住する人々の視点から、人々や彼らの人工物、文化的慣行、環境を説明すること」「人々が進んで放棄するのは何か、新しさの機会が存在するのはどこか、克服する必要がある抵抗はどれか、またどのように克服するか、ということ調査することである」と述べている^[37]。

災害避難所においては低侵襲な観察方法を構築することが重要であることは第1章で述べたとおりである。貼り紙観察は、被災地の住民への直接的なインタビューや観察を行わない点で、低侵襲な観察の一例であると言える。

また、エスノグラフィーは質的研究において用いられてきたことから、量化を目的とした観察を行うには工夫が必要となる。ここでは、災害避難所で実施したThoughtless Actsの量化を試みた事例として、熊本地震での災害避難所における貼り紙観察の事例を挙げる^[21]。

熊本地震の後に実施された尾方らによる災害避難所の調査において、各避難所に多くの貼り紙が掲示されていたことが確認された。貼り紙が特殊な状況下でのコミュニケーションの痕跡となっており、またその枚数によって量化が可能である点に着目し、貼り紙観察と位置付けて調査を実施した。

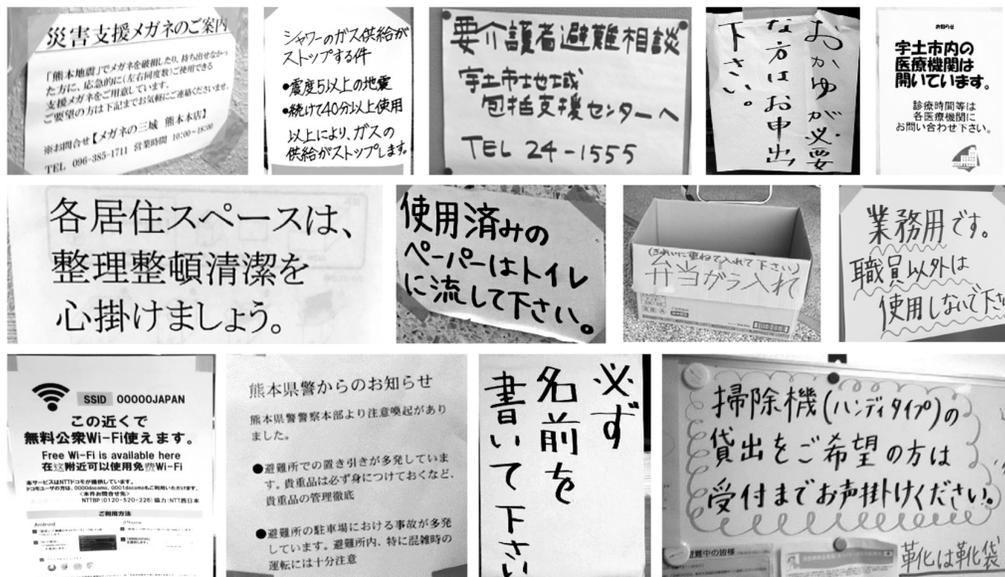


図9 災害避難所内に掲示された貼り紙の一部

同研究では、熊本地震発災後の避難所5箇所に掲示された総数861枚の貼り紙を収集し、分類と集計を実施した。

表 6 観察対象と収集した貼り紙の枚数

場所		日付	枚数	
避難所	くまもと森都心プラザ	5月25日	64	
	花園総合出張所	5月25日	54	
	サンライフ熊本	5月25日	78	
	宇土東小学校	5月30日	124	
	富合雁回館		6月7日	171
			8月4日	176
			8月10日	180
			11月15日	14
合計			861	

貼り紙は意味構成や機能構成によって分類することができた。熊本地震における災害避難所の貼り紙は、その意味構成により「管理・運営」「支援」「健康・病気」「ごみ処理」「サービス」「食事」「衛生」「物資」「安全・犯罪」「トイレ」に分類した。また機能構成により「お知らせ」「説明」「注意」「案内」「命令」「連絡先」「禁止」「激励」に分類した。

たとえば図 10に貼り紙の一例を挙げる。左図の「業務用です。職員以外は使用しないでください」という貼り紙は「管理・運営」に関する「禁止」の貼り紙である。また右図の「り災証明受付場所は隣の建物アスパル富合⁷です」という貼り紙は「管理・運営」に関する「案内」の貼り紙である。ここで「管理・運営」に関する「禁止」の貼り紙は、利用者がその環境でしてしまう行為を反映している。また、「案内」の貼り紙は利用者が探しているサービスを反映している。このように、避難所内での運営者と利用者のコミュニケーションから、利用者が避難所に対してどのような理解あるいは期待を有していたかを推定することができた。

⁷ 富合: とみあい

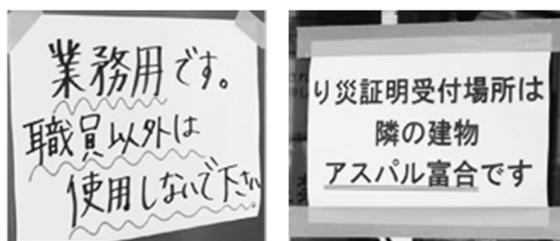


図 10 災害避難所の貼り紙^[21]

また量化によって、図 11に示すように、避難所における「禁止」や「案内」の貼り紙の枚数を比較することが可能となった。

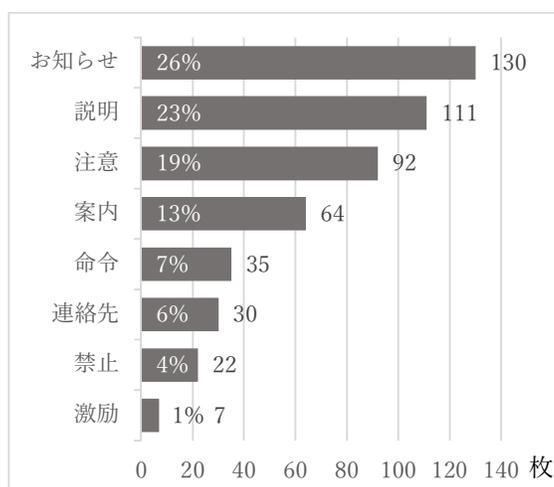


図 11 機能構成による貼り紙の分類と枚数比較

このほかにも、避難所一箇所については6月7日、8月4日、8月10の3回にわたって貼り紙観察を実施しており、時系列での傾向比較を検討した。富合雁回館では表 7のように、お知らせが増加し、注意や案内が減少する傾向が見られた。

表 7 富合雁回館における時期別の貼り紙構成

機能	6月7日	8月4日	8月10日
お知らせ	35.7%	38.6%	40.0%
説明	18.7%	23.3%	22.8%
注意	18.1%	13.1%	12.2%
案内	13.5%	9.1%	9.4%
命令	5.8%	6.8%	6.7%
連絡先	5.8%	6.8%	6.7%
禁止	2.3%	2.3%	2.2%
激励	0.0%	0.0%	0.0%
合計枚数	(171枚)	(176枚)	(180枚)

また観察対象の避難所は規模がそれぞれ異なるものであった。規模は最大収容人数で量化することができるため、規模と貼り紙の枚数を比較することができた。図 12 のように、貼り紙の枚数は避難所の規模に比例して増加する傾向が見られた。

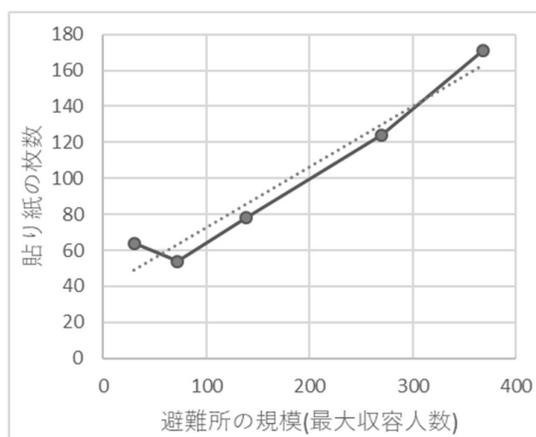


図 12 避難所の規模と貼り紙の枚数比較

このように、観察の対象を工夫することによって Thoughtless Acts と言えるような行動を量化することが可能である。一方で、観察は一定の訓練を受けた観察者の目視によって行われる必要があることから、観察結果を整理し、問題の構造を明らかにするまでに多少の時間を要する。また、一人の観察者が同時に観察できる現場は大抵一つである。

そこで本研究では社会学や非言語的コミュニケーションの領域における既往研究から、固定カメラで撮影した動画の解析によって量化が可能な Thoughtless Acts を調査した。

2.1.3 アメリカ社会学

アメリカにおいて、1865年の南北戦争終結と西部開拓による経済発展や生活様式の多様化が進む中、1892年に社会学の専門教育を行う世界で初めての大学院がシカゴ大学に創設された。アメリカ思想の主流である実用主義的な社会学は20世紀初頭に多くの成果を挙げ、研究者が政策決定に関与することもあった。犬田は、アメリカの海軍研究局が、異なる諸文化の比較研究や、思想、政策、価値のコミュニケーションの問題等に関する研究計画を1946年という早い時期に作成していたことを指摘している^[40]。このような当時のアメリカ海軍研究局の問題意識は現在の災害避難所にも通じる点があると考えられる。

アメリカは伝統的に移民を受け入れてきた国家であったことから、様々な習慣や価値観を持つ人が集まり、組織やコミュニティを形成する状況が多く見られた。また1989年には、Oldenburgが家庭や職場のいずれとも異なる社交の場を「サードプレイス(third place)」と位置づけ、そういった場が社会的信頼の構築に寄与し、民主主義の基盤としても重要であることを指摘した^[41]。

アメリカの社会学は、実用主義的、他文化的性格のほかに、自然科学的手法を取り入れる考え方が根強いことが指摘されている。1950年代には、社会や人間のメカニズムを行動の側面から研究する考え方がMillerらによって提唱された。行動は測定が可能であることから、これまで社会学や心理学で扱われていた問題を自然科学的アプローチで研究する行動科学という言葉が生まれた。次節からは、このようなアメリカ社会学のコンテキストにある、行動の量化や客観化を試みた研究事例について記述する。

2.1.4 プロクセミクス

1960年代の米国内で文化的、民族的多元主義が台頭する中、人同士の距離に対する感覚が民族や文化によって異なることに着目した研究がHallによって行われた。Hallは人対人の距離や向きといった空間定位的行動が持つ意味を取り扱う学問的枠組みをプロクセミクス(proxemics、近接学)とよんだ^[42]。

Hallによると、以前より動物行動学においては個体間の距離に関する研究は行われており、捕食者から身を守るため、あるいは群れの中の社会的順位を示すために仲間同士の距離を保とうとする行動が確認されている。その距離は多くの場合身体的要因から決まっており、個体の大きさだけでなく四肢の長さや鳴き声の大きさ、視覚や嗅覚の能力等によって異なることが指摘されている。また、ネズミを小屋の中で増やし続けたときに、巣造り、求愛、繁殖、および社会組織の崩壊といえるような行動(behavioral sink)を取り始めるというCalhounによる実験の事例や、島で増えすぎたシカの副腎が肥大していた事例等を紹介し、十分な空間を確保できない環境にいる動物はストレスを抱え、集団の中に病理的な状態が生じることを指摘した^[42]。

さらにHallはヒトの視覚に関するGibsonの洞察を紹介し、視覚による遠近感や立体感とは両目の視差よりも、その包囲光配列、すなわち形状の歪みやパターンによって知覚さ

れることを紹介している^[42]。なおGibsonは生態心理学（2.1.1 節）の提唱者であり、Hallは生態心理学の考え方に興味を持っていたことがうかがえる。

Hallは、以上の先行研究や事例を挙げた上で、対人距離をその意味によって密接距離、個体距離、社会距離、公衆距離に分類し、さらに各距離を近接相と遠方相に細分した。各距離における、Hallによる定義を以下に示す。ただしこれらの分類と距離は、当時の米国の北東沿岸生れの人々の観察と面接に基づいたもので、対象者には専門職の者、知識人の分類に入る人も多いことをHall自ら指摘している。以下にHallによる記述を紹介する。なお各距離についてHallによる定義と、メートル法換算、あるいは日本人の体格に換算した値を記す。体格による換算は、相手をつかまえたり触れたりする行為に着目したHallの記述を参考に、日本人と米国人の指極長(50パーセントイル値で日本人は1655mm、米国人は1810mm^[43])に基づいてやや短く補正した。またHallは日本人の特徴について「独りを好まず」「混んでいるのを好む」と指摘しており^[42]、下に記載した換算値よりもさらに短い距離を補正值として用いることが妥当である可能性がある。また、この後に記述するパーソナルスペース研究において、人の向き等が距離に影響を及ぼすことが指摘されている^[44]ため、以下の数値はあくまで感覚的にHallによる距離分類を理解するための目安として付記することとする。

1. 密接距離の近接相

愛撫、格闘、慰め、保護の距離である。身体的接触もしくは身体的なインヴォルブメントの可能性の大きいことが、双方の意識の最上層にある。嗅覚と放射熱の感覚が鋭敏になる。輪郭以外ははっきりとは見えない。

2. 密接距離の遠方相（距離6-18インチ）（メートル法換算で約0.15-0.45m）

頭、腿、腰等が簡単に触れ合うことはないが、手で相手の手に触れたり握ったりすることはできる。視界の明瞭な部分(15°)は顔の上または下半分を含み、これは拡大されて見える。視界の周辺部(30~180°)は頭部の輪郭、肩、そしてしばしば手を含む。アメリカ人は、混んだ地下鉄の乗客は公共交通機関内の親密な空間から、真の親密さを取除くために、できるだけ動かない、胴体の一部や手足が他の人に触れたときはできれば引っ込めるといった防御手段を講じる。

3. 個体距離の近接相（距離1.5-2.5フィート）（日本人の体格で約0.45-0.7m）

相手を抱いたりつかまえたりできる。15°の視角の中に相手の顔の上半分もしくは下半分が入り、しかもきわめて明瞭に見える。互いにどのような位置に立っているかで、彼らの関係や、または彼らが互いに抱き合う感情が分かる。

4. 個体距離の遠方相（距離2.5-4フィート）（日本人の体格で約0.7-1.1m）

片方が手を伸ばせばすぐに触れる距離のすぐ外から、両方が腕を伸ばせば指が触れ合う。相手の表情はこまかいところまではっきりと見てとることができる。15°

の視角の中には顔の上または下半分が含まれ、180°の周辺視界には手と座位の身体部分が含まれる。手の動きは分かるが指を数えることはできない。個人的な関心や関係を議論することができる。

5. 社会距離の近接相（距離4-7フィート）（日本人の体格で約1.1-2.0m）

特別な努力をせずには相手に触れたり触れようとしたりできない。4フィート離れると60°の視角内に頭、肩、上体が入る。7フィートになると体全体がこのの中に入る。個人的でない要件はこの距離でおこなわれる。遠方相よりもより入り組んだ用事が行われる。ちょっとした社交上の集まりに出ている人も普通この距離をとる。

6. 社会距離の遠方相（距離7-12フィート）（メートル法換算で約2.0-3.7m）

顔の細部は見えなくなるが、肌、髪、歯の状態、衣服の状態などは全てたやすく見える。体全体が十分なゆとりをもって60°の視角の中に含まれる。12フィート離れると、顔全体を見てとるために視線を移動させる必要はない。ある程度の長さをもった会話の行われている間、視覚的接触を保っておくことは、この距離においては他のもっと近い距離よりも重要である。この距離をとると、人の前で仕事をつづけても失礼に見えない。

7. 公衆距離の近接相（距離12-25フィート）（メートル法換算で約3.7-7.6m）

敏捷な者は脅かされたとき逃げるか防ぐことができる。会話中の文章の語句の注意深い選択や文法的シンタクスの変化はこの距離でおこる。もっとも明瞭に見える視角(1°)に顔全体が入る。

8. 公衆距離の遠方相（距離25フィート以上）（メートル法換算で約7.6m以上）

公的に重要な人物のまわりには自動的に30フィート以上の隔てが置かれる。普通の声で話される意味のこまかいニュアンスや、顔のこまかい表情や動きも感じとれなくなる。声その他あらゆるものを誇張もしくは増幅する必要がある。人がアリのように見えてくるこの距離で、彼らとの人間としての接触は急速に褪せてゆく。

以上のように、また図13のように、Hallは各距離を、相手に触れることができるか、相手がどのように見えるか、どのようなコミュニケーションが交わされるかに特に着目して分類している。この観点は、他者との距離によって人がどのような行為や行動がアフォードされるかに注目しているという点で、生態心理学的であるといえる。

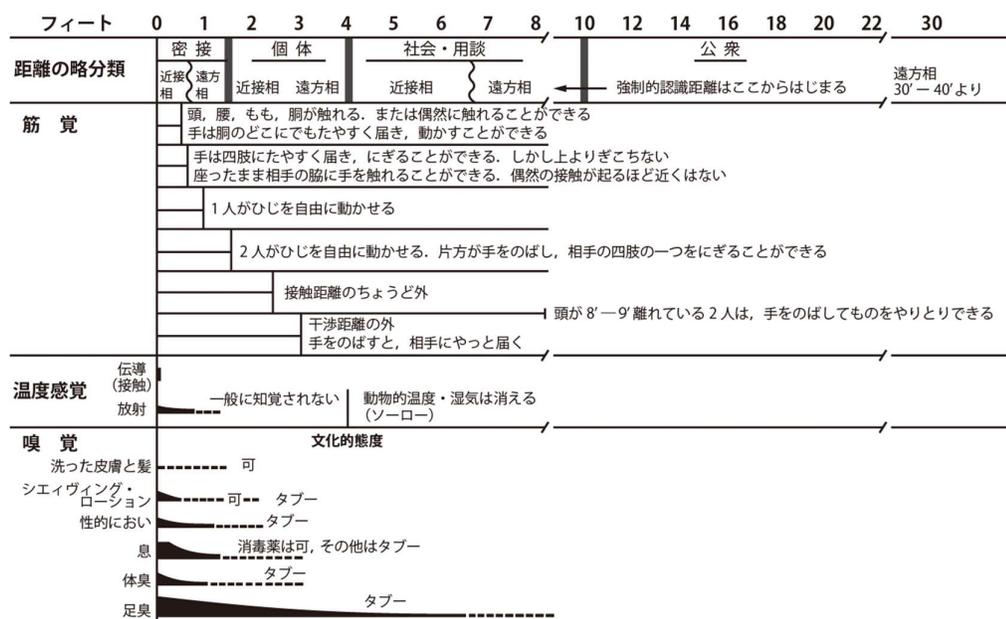


図 13 Hallによる距離と知覚の関係^[42]

Hallによる距離分類の中で災害避難所において多く見られるのは社会距離の近接相、次いで個体距離の遠方相であると想定される。社会距離の近接相では、面識の乏しい避難所利用者同士が共同作業を行う場合等、個体距離の遠方相では、より面識があり親しい者同士が個人的な会話を行う場合等に使用されると考えられる^[42]。

Hallによると、社会距離の近接相はおよそ1.2～2.1m、個体距離の遠方相はおよそ0.8～1.2mの範囲にあり、社会距離の近接相と個体距離の遠方相の境界は1.2m付近にあるといえる。一方でHallは個体距離の遠方相を「片方が手を伸ばせばすぐにさわれる距離のすぐ外から、両方が腕を伸ばせば指が触合う距離までの範囲である」、また社会距離の近接相は「特別な努力をせずには相手に触れたり触れようとしたりできない」距離であるとしている。指極長を基準に「腕を伸ばせば指が触合う距離」を見積もると、社会距離の近接相と個体距離の遠方相の境界は1.7m付近にあるとも考えられる。

プロクセミクスに関する研究のうち、個体距離や社会距離に相当する範囲についてはパーソナルスペース研究として複数の分野で実験が行われてきた。たとえば、建築や都市計画の分野において住空間の設計への応用を目的とした高橋による一連の研究がある。高橋は静止した被験者に実験者を少しずつ接近させ、主観申告により「このままでよい、しばらくこのままでよい、すぐに離れたい」距離の範囲を調査しており、たとえば図14に示すように、立位男性の被験者に対し正面から他者が接近した場合、「しばらくこのままでよい」から「すぐに離れたい」に遷移する境界は1.5m付近に存在する^[44]。この他の実験によると、被験者が複数人固まっているとき、座位のとき、壁を背にしているときなどでこの距離は変化する。以上より様々な要因から個体距離と社会距離の境界が決まるためその範囲には幅があるものの、概ね1～2mであると考えられる。

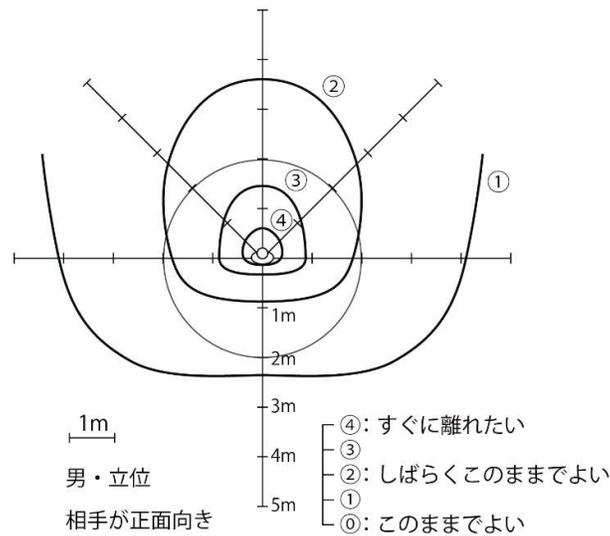
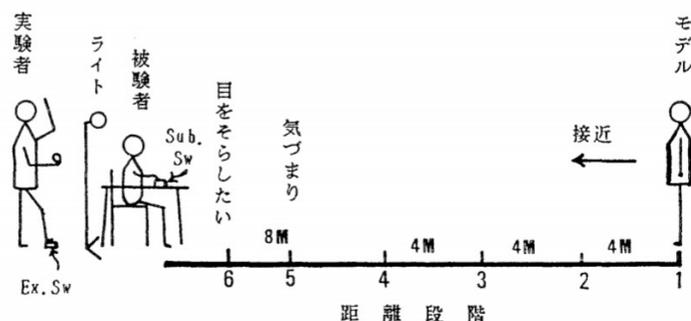


図 14 立位男性のパーソナルスペース^[44]

Haydukはパーソナルスペースの測定方法をその技法から自然観察法、質問紙法、停止距離法、椅子配置法、影絵投影法の5つに分類した。Hallによる考察は主として自然観察によるものであり、高橋の実験は質問紙法に該当する。停止距離法とは実験者が被験者に向かって少しずつ接近し、これ以上接近してほしくないとき被験者が申告した時点での距離を計測する方法で、Haydukによると最も信頼性の高い方法とされている。椅子配置法とは、被験者に着席する椅子や椅子の位置を選ばせる方法、影絵投影法とは、人形やシルエット等の代用物を用いて実験する方法である。椅子配置法と影絵投影法は、パーソナルスペースを測定する方法としては間接的な要素が多く、あまり採用されていない。質問紙法と停止距離法は定量化が可能であるため比較的多くの実験で採用されているが、停止条件や質問紙の解釈が被験者によって異なる可能性があり、方法として信用性が十分であるか議論の余地がある。

パーソナルスペース研究と生理指標^[45]

また、生理指標や性格特性を用いた実験も少数ながら行われた。ここでは吉田による実験事例を挙げる。吉田による実験では質問紙法、停止距離法と並行して、生理指標には心拍数と瞬目の回数が、性格特性には神経質傾向が用いられた。実験は被験者の慣れの過程を調査したもので、図 15示すようにモデルの接近に対して被験者がスイッチを押す、距離段階1~4までは4m区間、5と6は被験者がスイッチを押した距離によって決まる。

図 15 吉田による実験^[46]

技術的に興味深いのはその実験手続きと実験系である。吉田による実験では、心拍数と距離段階を同期するためにストップウォッチで時間を計測し、モデルは各距離段階で15秒間、心拍数を集計するために静止することとなっている。実験者とモデルは、心拍計の時刻とストップウォッチによる実時刻がずれないように、また被験者が押すスイッチにも注意を払いながら実験を進める必要がある。

なお実験の結果としては、心拍数は距離段階1～3までの間で減少し、距離段階5において有意に上昇し、6で再び減少した、また繰り返しにより、距離段階5での有意な上昇が見られなくなったと報告している。また、神経質傾向の高い群では低い群に対して慣れの効果が顕著でないと報告している。瞬きについては、距離段階1～5では比較的安定した値を示したが、距離段階6において有意に増加した、繰り返しによっても同様の傾向が見られたと報告している

2.1.5 f-Formation

集団内の人々が互いに確保しあう位置関係にはコミュニケーション上の意味や理由があるとされている。f-Formation (F陣形、KendonはF-formationと) とは複数人が会話または共同作業を行うときに多く見られる形態で、全員が互いに向き合って (face to face) いるフォーメーションを指す。このフォーメーションの外にいる人は空間を共有していない、すなわちその集団の一員でないことを意味する。f-Formationの概念はKendonまたはSchefflenによって提唱された^[46]。図 16に示すように、f-Formationの周囲の空間はr空間(regionより、r-space)とよばれ、集団とその外の境界に相当する。f-Formationを構成する成員によって占められる空間はp空間(participantより、p-space)とよばれる。成員が向いている中央の空間はo空間(orientより、o-space)とよばれ、集団の注目の対象となる。このように集団のフォーメーションは、集団内の成員や周囲の人に参加や回避といった行動をアフォードする。

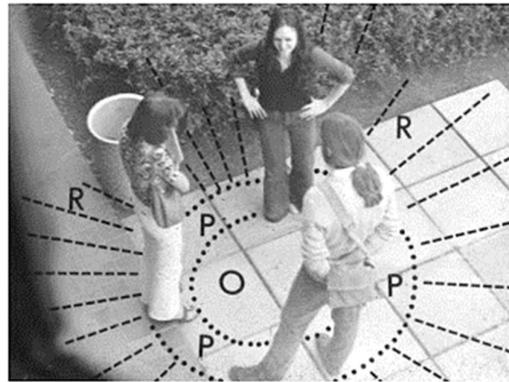


図 16 f-Formation System^[46]

このような研究は、パーソナルスペース研究ほどではないが一時期に活発に行われ、より詳細な考察を試みた研究も存在する。Schefflenによる洞察を事例として挙げる。Schefflenは「最も単純な三つのフォーメーション」として図 17のような3種類のフォーメーションに対して、それぞれ左からエレメント(element、e-Formationとも)、フェース・フォーメーション(face formation)、ギャザリング(gathering、g-Formationとも)と名付けた。

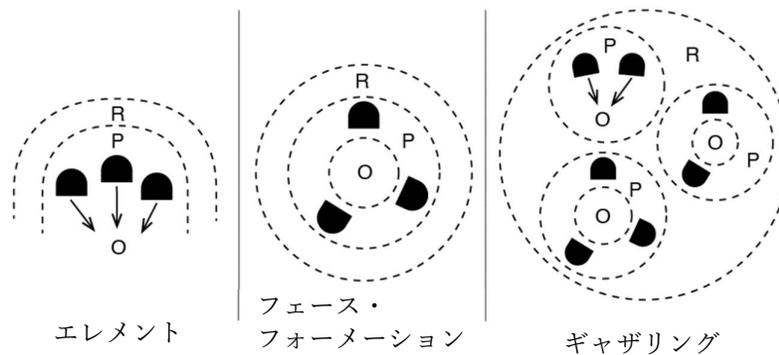


図 17 単純な三つのフォーメーション^[47]

各フォーメーションについて詳述する。人の集まりはお互いが関わりあっている状態と、関わりあっていない状態の2種類に分かれる。Schefflenによると、お互いが関わりあっている人々は集団として何か共通の対象を向いており、そのフォーメーションをエレメントと名付けている。集団内の人々がお互いの顔を見るように向き合ったとき、そのフォーメーションをフェース・フォーメーションと呼ぶ。人々が関わりあうとき、集団のフォーメーションは大別するとエレメントかフェース・フォーメーションのどちらかである。なお偶然同じ対象を向いているだけで実際には関わりあっていない状況も考え得る、そのときは人々の仕草や視線等から判断することが可能であるとしている。集団内の人数が増えるといくつかの小さな集団に分裂することがある。空間内に複数のエ

レメントやフェース・フォーメーションが独立して存在している状態をギャザリングと呼ぶ。

Schefflenによると、いずれのフォーメーションにおいても、参加者たちの向き(orientation)によって要求されるo空間、参加者によって保持されるp空間、その後ろや回りに生じる、通りすがりの人々と新来者によって尊重されるr空間が形成される。

2.1.6 生態心理学的分析の課題

災害避難所では、1.1.3 節に挙げたレジリエンスアシストサービスに関する可能性調査において人間関係の問題が慢性ストレスの原因として指摘されていること^[18]から、コミュニケーションに関する問題が生じやすいと考えた。本研究では災害避難所を利用する人々の生態心理学的分析の対象として、人対人の距離やフォーメーションに関する知見に着目した。人対人の距離や向きは表情や細かい仕草と異なり遠方から観察することが比較的容易であり、災害避難所での観察対象に適していると考えられる。

プロクセミクスやf-Formationに関する研究は多く存在するものの、これらの知見だけで人対人コミュニケーションの状態、あるいはその人自身の状態を推定する事例はほとんど見られない。コミュニケーションの観察には、より多くの情報が含まれる発話や視線、表情を記録する方法が多くみられる。ただし発話や表情は、固定された俯瞰カメラから常に取得できるとは限らないという、より困難な問題がある。したがって、吉田^[45]による実験(2.1.4 節)のように生理指標や性格特性を同時に計測することが望ましい。

また、先のHallによる各距離は自然観察によって導かれた距離であるのに対し、その後の一連のパーソナルスペース研究は実験によって導かれたものということである。質的研究はプロセスの評価は可能であっても結果の評価が困難な場合が多いものの、応用のためにはHallが試みたように数値化することが重要である。一方、実験による量的研究では数値化が可能で結果の検証も可能になる反面、実験環境は必ずしも自然なコミュニケーションの状態とは言い難い。実験条件の統制や心拍計測のための静止は避けられないにせよ、距離計測については被験者が意識することなく実施されることが望ましい。

災害避難所では、普段から交流のない人同士が未経験の作業を共同で行う場面が想定される。その際に形成されたf-Formationとその周辺の位置関係はストレスの原因になり得ると考えられる。たとえば、f-Formationを構成する集団の外から新参者が接近してきたとき、新参者はf-Formationへの参加を希望しているのか、参加を受け入れるべきか、さらにはf-Formationの全員が参加を歓迎しているのかを、メンバーたちは言葉を交わすことなく短時間で判断する必要に迫られる。

プロクセミクス、パーソナルスペース研究においては接近される被験者と接近する実験者の間にコンテキストが存在しなかったとしても、あるいは、実験のために人が接近してくるだけで攻撃や干渉の意図がないことを被験者が知っていたとしても、先に挙げた先行研究の事例のように、主観申告や生理値計測によって他者の接近に対する不快感や気づまりが認められた。f-Formationにおいても同様に、上記のような新参者を受け入

れるか否かの判断が迫られるようなコンテキストが存在しなかったとしても、 r 空間に人がいるだけで p 空間の人が何らかの生理的反応を示す可能性があると考えられる。

2.2 動画解析

近年は動画解析技術の発達により、人の姿勢や表情、位置の時間的変化を自動的に数値化することが一般的になってきた。従来、動画解析を含む画像処理技術は本質的に撮影条件と検出精度がトレードオフの関係にあり、撮影条件が整っていない中で行動を詳細に分析することは困難であった。一方で計算機の性能向上を土台とした機械学習アルゴリズムの発達により、画像から統計的に目的の物体を推定する技術の精度が近年著しく向上した。

2.2.1 動画からの物体追跡技術

物体追跡 (object tracking) 技術は、動画内のあるフレームで指示した物体の像が次のフレームでは少し移動した位置に存在していることを前提として、動画内の特定の物体を同定し続けることを目指す技術を指す。類似した技術に物体検出(object detection)が挙げられるが、これは画像から目的の物体の像を検出する技術を指し、動画内の各フレームで検出した物体の像が同じ物体であるかは関知しない。

物体追跡技術は様々な方式が提案されており、様々な長所と短所があるため対象となる動画の特徴によって使い分けることが求められているが、多くの方式は一度追跡対象を見失うと復帰が困難という問題を有しており、長時間の追跡に適さない。比較的新しい方式としてはGOTURN Trackerが挙げられる^[49]。同方式は、事前にニューラルネットワークにより学習しておいたデータを用いて各フレームで目的の像を検出しながら追跡するものである。なおこの方式には複数の物体を同時に追跡できない、また図 18に示すようなオクルージョン(occlusion)に対応していないといった短所がある。

一例として、左側のフレームの矩形領域にある頭の追跡を試みた場合に、手前の人物によって追跡対象が隠れるような状況をオクルージョンという。ヒトは周囲の状況や前後の状況から、隠れている物体の位置を予測することが可能であるが、多くの画像処理技術では困難な課題となる。

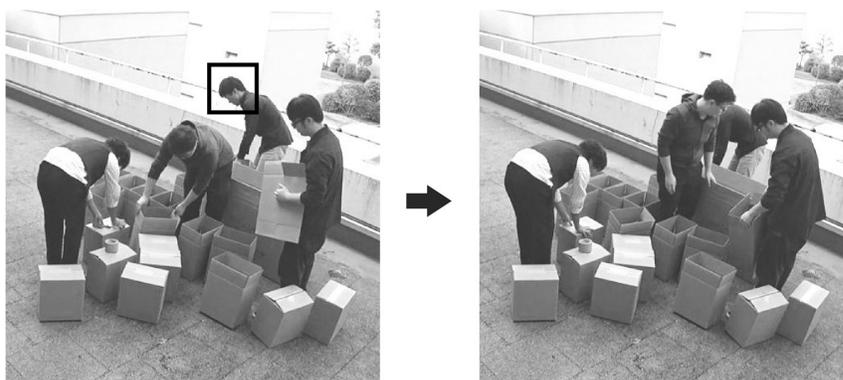


図 18 オクルージョン

2.2.2 深層学習による画像からの物体検出技術

ニューラルネットワークを多層化し機械学習精度を向上させる技術は深層学習(deep learning)とよばれ、近年では特に画像処理の分野において画像の分類や物体検出の精度を飛躍的に向上させた技術として知られており、現在も日々新しい手法が提案されその精度や計算速度は向上し続けている。人の行動を測定するために必要な検出精度と計算速度は、現時点で既にある程度実用的な水準に達していると考えられる。同分野の検出技術は、前項でも触れたとおりGOTURN Trackerのような物体追跡技術にも影響を与えており。物体検出と物体追跡を分けて論じることが将来意味を有さなくなる可能性もある。

深層学習による物体検出までの手続き

ここで、深層学習を使用するにあたっての具体的な手続きについて詳述する。例として、図 19のような動画から4人の頭部を個別に検出することを想定する。動画は、複数枚の連続する静止画(フレーム)によって構成されているため、仮に動画内の全てのフレームにおいて4人の頭部を検出することができれば、個人を追跡できたことになる。多層のニューラルネットワーク等で構成される深層学習モデルは、検出対象の名称を予め登録しておくことで、入力画像における対象物の位置座標を予測することができる。予測精度については、各ニューラルネットワークのweight values(重み)が適切であればあるほど高い精度が得られる。



図 19 事例としての検出対象動画

適切なweight valuesを得るには、学習を実施する必要がある。はじめに、動画内の1フレームに対し、図 20のように各人物の頭部を囲む矩形の左上と右下の座標を指定する。このような作業をアノテーションと呼び、アノテーションによって得られる画像と、画像における対象物の名称、対象を囲う長方形の左上の座標、と右下の座標のセットは教師データと呼ばれる。



名称,	左上 x,	左上 y,	右下 x,	右下 y
Ito,	110,	142,	156,	200
Tanaka,	188,	128,	246,	182
Suzuki,	252,	74,	296,	118
Yamada,	338,	98,	390,	154

図 20 アノテーション

図 20は、1セット分の教師データである。深層学習における妥当な教師データ数に明確な基準はないが、数千セット程度の規模で用意することが多い。ここでは説明のため、図 21のように3セットの教師データを作成したとする。

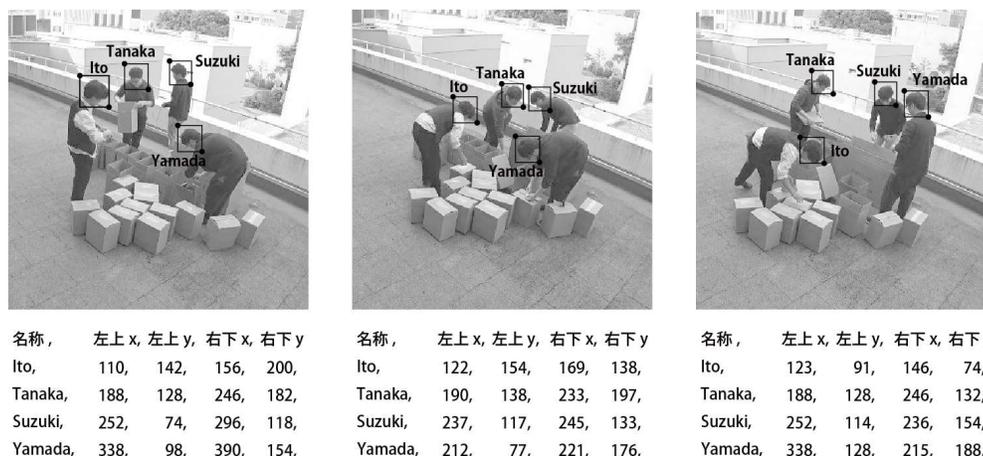


図 21 教師データ

教師データを用いて学習を実行するプロセスを図 22 に示す。深層学習モデルに教師データの片割れである画像を入力すると、4人の座標の予測値が得られる。はじめは、教師データのもう片割れである4人の実際の座標と予測値は大きく異なるため、weight valuesの値を少しづらして更新し、精度を改善する。これを繰り返す、3セットの教師データについて十分に実際の座標に近い予測値を得られるようになったとき、そのweight valuesは他の似たような画像についても4人を検出できることが期待される。

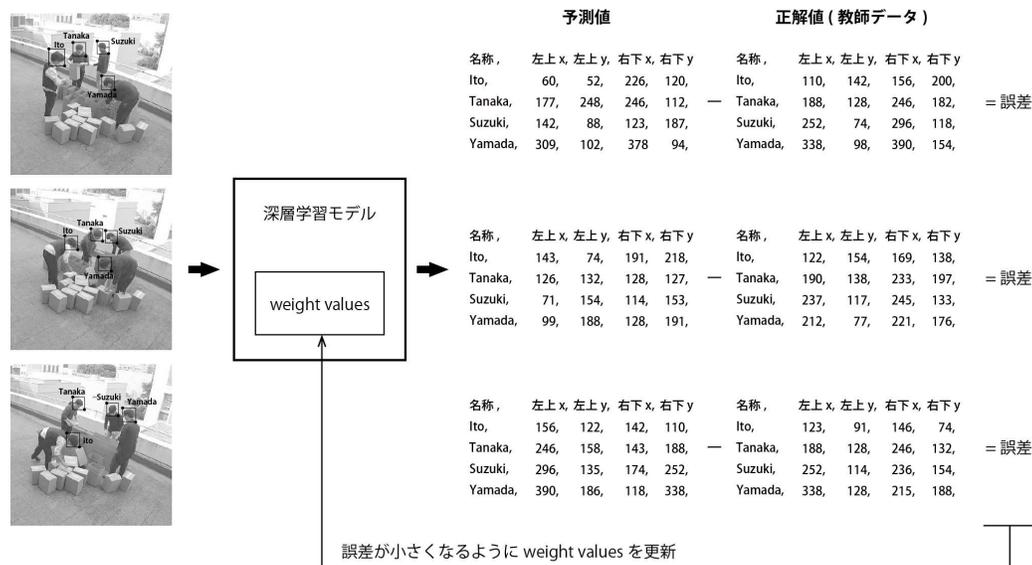


図 22 深層学習プロセス

本項では執筆時点で最新の技術動向を概観する。深層学習による物体検出方式の中で最も有力なものは、SSD(Single-Stage Detector)と呼ばれる方式である。従来深層学習による物体検出は、まず画像から対象物とおぼしき物体の座標を検出し、そののちに検出

した物体が何であるかを分類する二段階の処理が採られていた。この二段階の処理を、一段のニューラルネットワークで同時に行うものをSSDと呼ぶ。SSDの中でも種々の手法が提案されており、手法間ではニューラルネットワークの形状や、物体の座標情報の保持の仕方等が異なる。その中でもYOLOv3は比較的少ない計算量で高精度な物体検出を実現している手法のひとつである^[50]。

YOLOv3の速度性能と検出精度について、他の方式との比較結果を図 23に示す。推論時間(inference time)が他の方式と比較して短いこと、ただし平均適合率(AP: Average Precision)は他の方式と同等であることが分かる。ここで適合率とは、検出結果の領域のうち、正解領域と重なる領域の割合を指す。平均適合率とは、複数枚のテスト用画像における適合率の平均値である。なお計算機科学の分野においては、物体検出手法の性能を公平に比較するため、COCOのように公開されている共通した教師データが使用される^[51]。

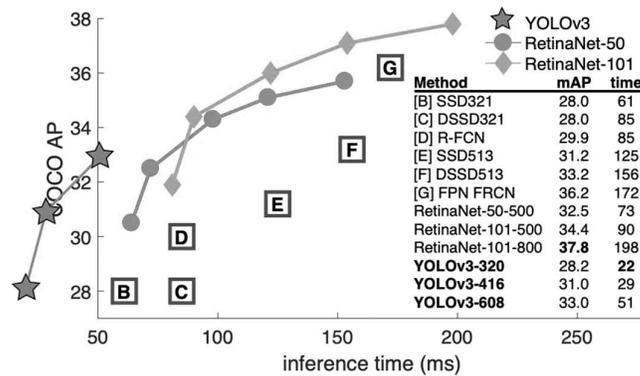


図 23 YOLOv3と他の方式の適合率と推論時間の比較^[50]

深層学習の精度を決定する重要な要素として、ニューラルネットワークの形状の他に教師データの数と質が挙げられる。物体検出技術を応用する場合には、独自に教師データを作成することが望ましい。

2.2.3 空間確保距離

Thoughtless Actsやアフォーダンス理論といった概念は、これまでデザイナーの感性による洞察に質的な説明を与える事に成功した。また、先の2.1.4 節と2.1.5 節で挙げたプロクセミクスやf-Formationといった知見は、Thoughtless Actsと言えるような行動のうち一部について、客観的な事実に基づく分類に成功した事例であると言える。本研究においては、プロクセミクスやf-Formationにおいて論じられる、他者や集団に対して一定の距離や位置関係を使用する行動を動物行動学におけるspacingから「空間確保行動」と呼ぶこととする。また、パーソナルスペース研究において計測されている距離は、実験者条件として強制的に決められる距離であるのに対して、空間確保行動はその人が自由に(ただし無自覚に)確保する距離であるという点を重要視している。また、空間確保行

動の結果生じた他者や集団との距離を「空間確保距離(spacing distance)」と呼ぶこととする。

2.2.4 応用と課題

深層学習を応用した物体検出技術または物体追跡技術を応用するにあたって、大量の教師データを用意し、その教師データによる物体追跡の精度がどの程度であるかを評価することが重要である。限られた人員と時間で教師データを揃えるには、効率的にアノテーションを行うためのアプリケーションが必要となる。上記の課題はいずれも実務的なものではあるが、深層学習を応用する上で避けて通れないものである。

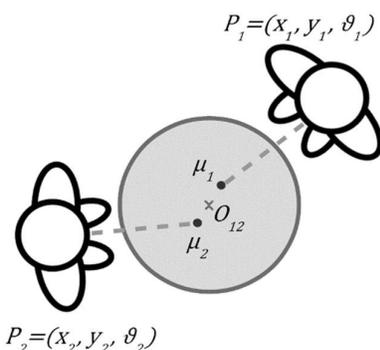
深層学習における検出精度は、YOLOv3の事例で述べたように、検出対象の領域に対する適合率で評価される場合が多い。対して、物体を追跡することが目的である場合は図 24に示すように、その物体の特徴的な一点（たとえば重心）の精度が重要であると考えられる。



図 24 物体検出における精度(適合率)と物体追跡における精度

深層学習においては図 24左のように、検出した領域における正解と重なる領域(斜線部の領域)を適合率として検出精度の評価に用いられるが、物体追跡の場合は図 24右のように、正解と検出結果の座標の距離で精度することが望ましいと考えられる。

また、単に動画フレーム中または実空間中の座標集合に投射しただけでは行動を数値化したとは言い難く、数値に対する解釈を行うための知見が必要となる。物体追跡結果を解釈し、ストレス推定と関係がある数値に変換することで新しい価値が生まれると考えられる。ここで、f-Formationを画像処理により検出することを試みたSettの研究を事例として挙げる。Settiは静止画からf-Formationを検出するまでの画像処理プロセスを以下の手順で説明している。はじめに、静止画内の人の向きを検出する。f-Formationにおいてはつま先の向きを検出するのが理想であるが、他の人等の遮蔽物によって隠れる事が多いため、隠れる事が少ない頭部からの方向推定を採用した。つづいて人の向きからo空間の位置を算出する。図 25に示すように、位置と向きが既知の P_1 と P_2 について、その注視先の座標を μ_1 と μ_2 の中点をo空間の重心座標とする。ここで P_1 と μ_1 （または P_2 と μ_2 ）の距離は、別途何らかの方法で定める固定値としている。

図 25 o空間の位置の算出^[48]

ただし図中の O_{12} が実際のo空間の重心であるとは限らないため、Settiはグラフカット法を用いてより確実なo空間を推定することを提案している。なお、この方式だけではr空間にいる人とp空間にいる人を識別できず、それによってo空間の推定位置に誤差が生じるため、r空間にいる人を除去する処理が加えられている。検出精度は図 26に示すような画像が使用され、俯瞰的な画像であるほど検出精度が高いという結果になった。

図 26 f-Formation検出対象の静止画^[48]

このように画像中の人の位置と方向の情報をf-Formationとして解釈することで、空間内のコミュニケーションの発生を検出するといった価値を提供できるようになると考える。

なおSettiによる画像処理方式は、画像処理によって各人の位置と方向を検出した後に、二次元平面上の問題に変換してo空間の位置推定を行い、再度画像処理によって誤差の補償を行っている。後述する深層学習等によってf-Formationを直接検出することもおそらく可能ではあるが、その場合f-Formation検出しかできない方式となってしまう、他の知見から分析を行いたい場合にはその都度教師データを作成する必要性が生じてしまう。したがって、人の位置と向きを検出した後に二次元平面上の問題に変換することは、将来的な展開を考慮すると有効な方式であると言える。



図 27 f-Formation検出に対する2種類のアプローチ

たとえば図 27のような場面にに対しf-Formationを検出するには、左のようにf-Formationの模様を教師データとして直接機械学習することが可能である。しかしながら、このあと他のフォーメーションの検出を行う必要が生じた場合には、また新たにそのフォーメーションを検出するための教師データを作成する必要が生じる。対して、右のように各個人の位置と方向を検出する方式としておけば、個人の位置と方向から二次元平面上の問題を解くことで、任意のフォーメーションを検出できる。

2.3 生理指標と心理尺度

俯瞰カメラによる生態心理学的分析によって行動が量化されたことで、生理指標や心理的尺度による評価が可能となる。これまでに生理学や心理学の領域において、人の状態や特性を尺度や量によって推定する様々な手法が開発されてきた。本研究では、災害避難所でのコミュニケーションにおけるストレスと関連があると考えられる、心拍と性格特性検査に着目した。

2.3.1 心拍

人の自律神経は交感神経と副交感神経とで成り立っており、交感神経系は危急事態に対峙するため、副交感神経系は休息や休養のために活動している。交感神経と副交感神経は心臓をはじめとする様々な臓器を拮抗的に支配していることから、臓器の状態から交感神経と副交感神経のどちらが優位かを調査することによって、ストレス反応を推定することが可能である。たとえば心臓と心臓による血液循環の状態は、心拍や血圧、脈波、血流量によって計測することができる。

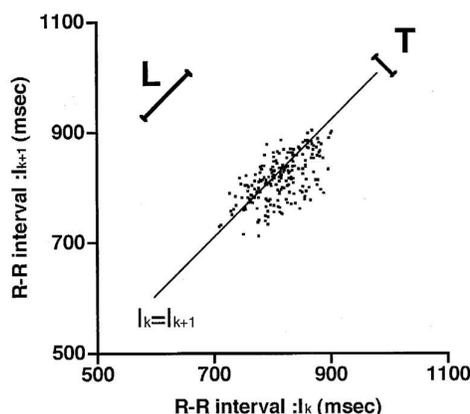
心拍の評価方法には、心拍数を用いる方法と、心拍変動(HRV: Heart Rate Variability)を用いる方法がある。心拍は、右心房にある洞結筋から始まる電気的な興奮を体外から心電として観測することができる。心電図は図 28のような波形をしており、電位のピークをR波と呼ぶ。心拍数(HR)を評価に用いる際は、単位時間(多くの場合1分間)あたりのR波の回数を用いる。



図 28 心電図の模式図

R波同士の間隔を間の時間をRRI (R-R Interval)とよぶ。RRIは常に一定ではなく変動している。HRV計測には心電のRRIの周波数解析を用いる方法が広く認められている。周波数解析においては、計測した時間内におけるRRIのスペクトルを算出し、0.15~0.5Hzの高周波成分 (HF: Hi Frequency)と、0.04~0.15Hzの低周波成分(LF: Low Frequency)の比LF/HFを用いる。交感神経が相対的に優位にあるときLF/HFの値が大きくなる^[56]。

HRVの分析手法として用いられている周波数解析は使用できるデータ数等に制約があり、解析手続きが複雑という実務上の課題もある。そこで、周波数解析よりも簡便な解析手法が検討されている。そのうちのひとつとして、RRIに対するローレンツプロット (LP: Lorenz Plot、ポアンカレプロットともよばれる)法が挙げられる。LP法を用いた解析は、周波数解析に近い結果が得られるとの報告がある^[52]。

図 29 ローレンツプロット^[52]

LP法とは、x軸にRRI(k)の値を、y軸にRRI(k+1)の値をとって得られた散布図からHRVを評価する方法である。得られる散布図は $y=x$ の直線を長軸とした楕円状となる。このとき長軸方向は心拍数を反映しており、プロットが原点に近いと心拍数が高く、原点から遠いと心拍数が低いと読むことができる。短軸方向は前後のRRIの差を反映しており、 $y=x$ 直線から遠いと前後のRRIの差が大きいと読むことができる。Toichiによると、得られた楕円状の分布に対する長軸(図中L)と短軸(図中T)の長さ(4σ)の積と比によって交感神経が優位か、または副交感神経が優位かを推定することができ、積 $\log_{10}(L \times T)$ が副交感神経の活動(CVI: Cardiac Vagal Index)を、比 L/T が交感神経の活動(CSI: Cardiac Sympathetic Index)と関係している。

また豊福は、同じく得られた楕円状の分布に対する長軸と短軸（長さ 2σ ）による楕円の面積と重心の原点からの距離によって自律神経系の状態を推定することができるとしている^[53]。豊福による方法では、楕円重心の重心からの距離をHRV指標の一つしているが、これは平均心拍数の逆数に等しい。解析データ長としては、Toichiは300秒間のRRIデータを使用しているのに対して、豊福は100秒間のデータを使用している。また、わずかに1分間のデータでToichiの方法を使用している事例も見られる^[54]。

心拍は計測が容易で、かつ自律神経系の状態を推定するための有力な生理指標の候補のひとつである。一方で、HayanoらはHRVが自律神経系以外の影響を受けることを軽視した研究が少なからず見られることを指摘している^[57]。たとえば、RRIは呼気時に延長し、吸気時に短縮すると言われている^[58]。また、30歳以下の健常者では姿勢を仰臥位から立位に変化させるとHF成分が減少すると言われている。さらに、運動によってHF成分が減少すると言われている^[58]。このほかにもHRVについては様々な生理現象と相互作用的に関係していることが指摘されている^[59]。本研究では以上を踏まえた上で、心拍に着目することとした。

HRVとパーソナルスペース研究

ここで本研究と関連が比較的近い、パーソナルスペースとHRVの知見が用いられた事例を紹介する。石田は、歩行空間において車いす使用者が歩行者交通量や歩行者とのすれ違い等の影響により被る精神的なストレスを評価した。健常者の22歳男子3名を被験者に、車いすで歩行空間を移動する際の心拍を心拍計により計測した。歩行空間には一般の歩行者がおり、各条件でそれぞれ1分あたり13人、24人、47人、55人であった。実験者は車いす移動時の計測風景を後部からビデオカメラで撮影し、被験者の移動空間の環境変化について記録した。歩行者は図30に示すように被験者のパーソナルスペースに侵入することがあった。実験者は、パーソナルスペースに侵入した歩行者の人数と滞留時間を、動画からの目視により算出した。HRV指標についてはRRIのLPの面積を用いた方法(豊福の方法)と、周波数解析による方法により解析した^[55]。

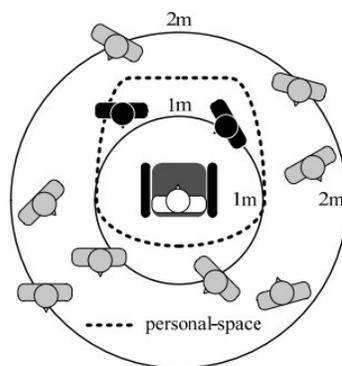


図 30 車いすのパーソナルスペースに侵入する歩行者^[55]

この事例が従来のパーソナルスペース研究での実験方法と異なる点は、停止距離法や質問紙法を廃することで連続的な実験を実現しているという点である。従来は実験中に都度距離や被験者の印象を計測する必要があったが、HRVとビデオ撮影によって実験後に解析することが可能となっている。ただし、ビデオによるパーソナルスペースへの侵入を目視で行う必要がある等解析のためのコストが大きく、手法としては改良の余地があると考えられる。

なお結果としては、歩行者交通量の少ない条件ではストレスが小さく、歩行者交通量の多い条件ではストレスが大きく推定されるような結果となり、また同時に実施した周波数解析により、パーソナルスペースに侵入した累積人数の増加に伴いストレスが大きくなる傾向を示す結果となったと報告している。

2.3.2 性格特性

全く同じストレッサーに曝されたとしても、その人の性格によってストレス反応は異なる可能性がある。たとえば性格が外向的な人と、内向的な人とは同じコミュニケーションに対するストレス反応は異なると考えられる。

人の性格に対する考え方には大きく2種類があり、ひとつは人をいくつかの性格に分類することで性格を捉えようとする類型論である。もうひとつは複数の構成単位の大小で性格を捉えようとする特性論である。類型論ではたとえば5種類の性格に人を分類した場合、中間の性格を記述することが困難であるが、特性論ではより連続的に記述することができる。

提唱されている性格特性の尺度には様々なものがあり、有名なものとして後述のBigFive (主要5因子性格検査)が挙げられる。このほかには、たとえばBIS/BAS (Behavioral Inhibition System/Behavioral Activation System、行動抑制系・行動賦活系)とよばれる尺度がある。これは得られる報酬を行動の動機とする性格特性か、与えられる罰を行動の動機とする性格特性かを評価する尺度である。この尺度は脳内システムのモデルを背景に考案されたもので、脳活動を計測する実験との相性が良いと考えられている^[60]。

同じ尺度に対しても複数の検査方法、すなわち、質問項目の内容や数が異なる場合がある。特性論のうち代表的なモデルの一つであるBigFiveに基づく検査を例に挙げる。BigFiveは「外向性」「誠実性」「開放性」「調和性」「情緒不安定性」の5つの性格特性のそれぞれの尺度を質問紙回答によって推定する手法である。5つの因子の名称と日本語訳について村上によって整理されたものを表8に示す^[61]。

表8 BigFiveの各名称^[61]

Investigator (s)	I	II	III	IV	V
Fiske (1949)	Social Adaptability	Conformity	Conscientiousness	Emotional Control	Inquiring Intellect
Tupes and Christal (1961)	Surgency	Agreeableness	Dependability	Emotional Stability	Culture
Norman (1963)	Surgency	Agreeableness	Conscientiousness	Emotional Stability	Culture
Norman and Goldberg (1966)	Surgency	Agreeableness	Dependability	Emotional Stability	Culture
Borgatta (1964)	Assertiveness	Likeability	Task Interest	Emotionality	Intelligence
Digman and Takemoto-Chock (1981)	Extraversion	Agreeableness	Conscientiousness	Neuroticism	Openness to Experience
McCrae and Costa (1985)	Extraversion	Agreeableness	Conscientiousness	Neuroticism	Openness to Experience
Conley (1985)	Social Extraversion	Agreeableness	Impulse Control	Neuroticism	Intellectual Interests
De Raad et al. (1988)	Extraversion	Agreeableness	Conscientiousness	Emotional Instability	Culture
Botwin and Buss(1989)	Extraverted	Agreeable-Stable	Conscientiousness	Dominant-Assured	Intellectance-Culture
Peabody and Goldberg (1989)	Power	Love	Work	Affect	Intellect
Goldberg (1990, 1992)	Surgency	Agreeableness	Conscientiousness	Emotional Stability	Intellect
辻(1993)	外向性	受容性	勤勉性	情緒不安定性	遊戯性
柏木・和田・青木(1993)	外向性	同調性	誠実性	情緒不安定性	知性
和田(1996)	外向性	調和性	誠実性	神経症傾向	開放性
柏木(1996)	外向性	協調性	勤勉性	情緒不安定性	経験への開放性
本研究	外向性	協調性	勤勉性	情緒安定性	知性

日本語に翻訳された質問紙としては、村上による主要5因子性格検査、和田によるBigFive尺度、並川によるBigFive尺度短縮版^[62]などが挙げられる。並川によると、この中で多く用いられているのが形容詞によって構成されている和田のBigFive尺度であるが、項目数が60とやや多く回答者の負担が大きいため、項目数を29項目に減らしたBigFive尺度短縮版が開発された。また、項目を小学生用に調整した小学生用主要5因子性格検査も考案されている。

また本研究ではBigFiveの他に、ストレスと関連がある不安に関する検査にも着目する。人の不安を推定する尺度としてはSTAI(State-Trait Anxiety Inventory)が挙げられる。日本語では特性・状態不安と翻訳され、特性不安はすなわち不安を感じやすい性格特性を有しているか、状態不安は質問紙に回答した時点における不安の程度を推定することを目的としている^[64]。

BigFiveとSTAIはいずれも広く用いられる手法で、パーソナルスペース研究においても用いられている。性格特性に関しては、たとえばDuffyは、93名の男女大学生の被験者に対して椅子配置法（ここでは、実験者のテーブルから3フィート間隔で並べられた椅子のいずれかを選ばせる方法）を用いて、Eysenckの神経質傾向(neuroticism)との関連を調査した。結果としては、神経質傾向の高い被験者は実験者から離れた距離にある椅子を有意に選択する結果となった^[65]。このことから、実験と似た状況において、選択する座席の位置から神経質傾向を推定できる可能性はある。

つづいて特性不安に関しては、たとえば児玉は、200名の男女大学生の被験者に対して投影法（ここでは、質問紙上で自らの「それ以上近づいてもらいたくない」と思われ

る距離を線でカットさせる方法)を用いて、特性不安尺度との関連を調査した。結果としては、特性不安が高い群で距離は広く、低い群で距離は狭い結果となった^[66]。

2.3.3 応用と課題

近年計測機器の小型化や無線化が進んでおり、技術的には簡便にHRVを計測することが可能になったとすることができる。一方で、心拍はそのメカニズムの解明の途中にあり、デリケートな指標でもあるため、計測機器の性能に関わらず測定条件は統制されている必要がある。このことから、実際の災害避難所で避難所利用者に計測機器を取り付けて直接ストレス推定を行うことは、機器のコストや性能とは無関係に推定精度の点で困難である。したがってHRV指標によりストレスを推定する場合は、ある程度統制された条件下で実験を行い、行動-生理指標-心理尺度に関する基礎データを蓄積しておき、災害避難所で得た観察の結果や性格特性から間接的に推定する方法が有効であると考えられる。

しかしながら、目的の現象を推定するために、複数の間接的な測定方法を組み合わせることは基礎的な研究においては望ましいとされないことから、上記のような研究事例は少ない。

第3章 方法

3.1 深層学習による物体追跡アプリケーション開発と評価

3.1.1 目的

災害避難所での生態心理学的分析のためには、動画内の人を追跡する技術が必要となる。物体追跡技術は実験で得た動画から行動を解析する際にも活用することができる。本研究における物体追跡技術の位置づけを図31に示す。

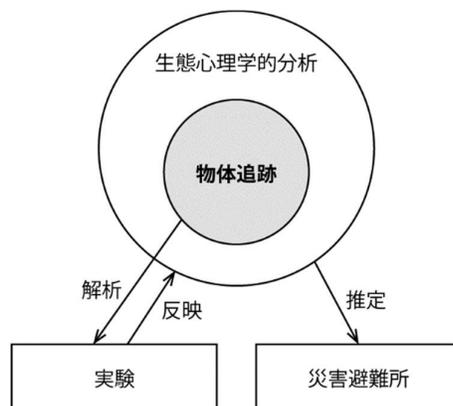


図31 本研究における物体追跡技術の位置づけ

本節では、深層学習を使用した任意物体の高精度物体追跡を行うためのアプリケーションを開発しその精度を評価した。2.2.2 節で述べたとおり、物体検出・追跡技術を応用するにあたっては教師データを作成し学習結果の精度を検証するための作業コストが課題となる。本研究では物体検出技術としてYOLOv3を採用し、物体追跡に特化したGUI(Graphical User Interface)付きアプリケーションを開発した。また教師データを作成の作業コストを軽減するために、アノテーション機能をアプリケーションに実装した。

本研究は人の空間確保行動が想定する解析対象であるが、人の形状は複雑であり、遠近補正等の付随的課題も考慮する必要があるためアプリケーション自体の説明や評価にはやや適さない。そこで、より単純な追跡対象として眼瞼運動を採用した。実際に空間確保行動に応用した結果は次節以降に記述する。生態心理学的分析にとどまらず、例えば生理指標の測定においても、動画解析を用いることでより低侵襲、低負担に測定することが可能になる。ただし、動画解析による測定の実現には生理測定による裏付けが必要となる。例えば瞬目は様々な生理現象と関係していると言われており、眼瞼運動を詳細に追跡することで生理現象を推定できる可能性がある。

3.1.2 アプリケーション

開発したアプリケーションのソフトウェア構成を図 32に示す。アプリケーションはWindowsとLinux上で動作し、全てOSS(Open Source Software)で構成されている。

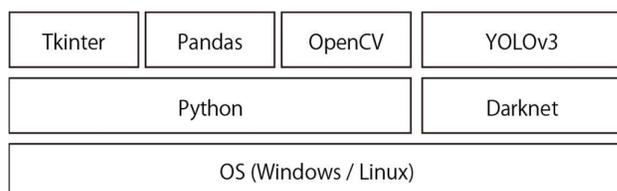


図 32 アプリケーションのソフトウェア構成

図中の「Python」はプログラミング言語のひとつで、行列計算や画像処理といった外部ライブラリが充実していることから今回採用した。「Tkinter」はGUIを提供するためのライブラリ、「Pandas」データ解析支援ライブラリ、「OpenCV」は画像処理ライブラリで、いずれもPythonにおいて多く使用されるライブラリである。「Darknet」はYOLOv3の考案者が開発した深層学習用フレームワークである。Python上で動作するTensorFlow等の深層学習用ライブラリが利用されることも多いが、開発効率の点から本研究ではDarknetを採用した。

つづいてアプリケーションの外観を図 33に示す。機能として、教師データをアンテーションにより作成(ManualTrack)する機能、教師データを用いて機械学習を実行(Train)する機能、動画に対する自動物体追跡を実行(AutoTrack)する機能、追跡結果を描画(Play)する機能、精度を評価(Validate)する機能を備えている。また、どのような教師データが自動物体追跡精度に影響するかを調べるために、複数条件の教師データとその学習結果を管理する機能を有している。

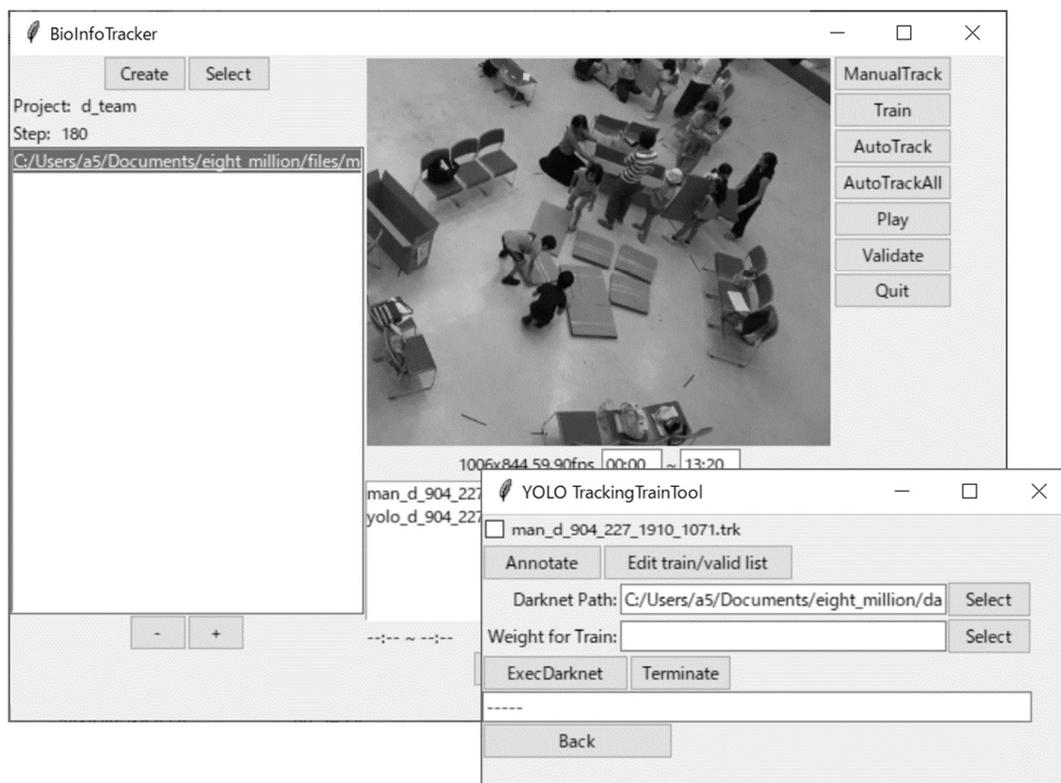


図 33 アプリケーションの外観

本アプリケーションを用いた教師データ作成時(ManualTrackボタンをクリック後)のアクティビティ図を図 34に示す。本アプリケーションは動画中の複数の物体の追跡を行うことが前提となるため、左手側の4つのキー入力で座標登録とフレーム送りの操作(座標の一次記録の実行、オクルージョンのための記録をしない操作、記録の終了、記録の破棄)を行い、マウスクリックで座標を入力する仕様とした。また、通常アノテーションを行う場合は、検出対象となる物体を囲む長方形を指定するために2点の座標を入力する必要があり、事前に行った試作において操作ミスが相次いだため、本アプリケーションでは長方形の中心1点をまず入力させ、長方形の範囲の情報は後ほど機械学習時(Trainボタンクリック時)にまとめて指定させる方式とすることで、教師データ作成のためのマウスクリック操作を単純化した。

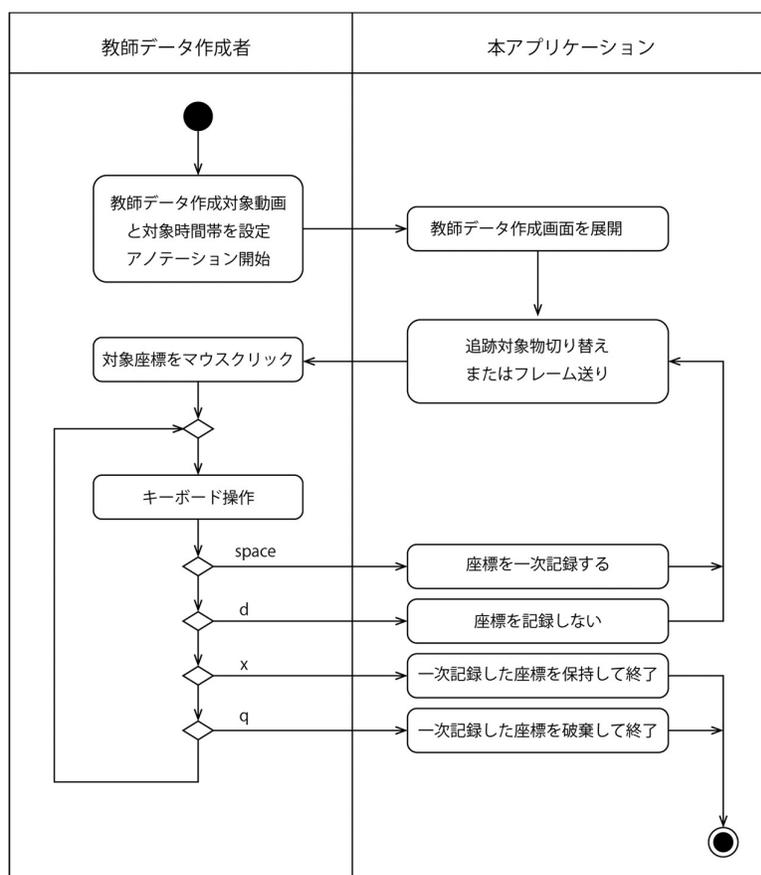


図 34 教師データ作成(アノテーション)時のアクティビティ図

3.1.3 方法

3.1.3.1 対象動画データ

対象の動画データには、機能的MRI内で撮影された実験被験者18名のうち、閉眼して眼瞼運動が見られない、あるいは目が写っていない等の動画を除いた14名分の動画20本を使用した⁸。動画の解像度は幅が764px、高さが570px、フレームレートは30fps、グレースケールで記録されており、被写体距離はすべての動画で等しい。図 35に示すように、動画には被験者の片目と実験装置の一部が写っている。本報告では、精度評価のために各動画から5秒間に相当する150フレームを抽出した。動画から抽出した150フレームの中には必ず開眼状態と閉眼状態のフレームの両方が含まれるようにした。追跡対象である眼瞼の画像的欠損が精度に影響を及ぼす可能性があるため、本報告では目の全体が写っている (図 35左) 動画10本と、目の一部が隠れている (図 35右) 動画10本

⁸ これらの動画データは、慢性的な睡眠不足時(Sleep Debt: SD, 睡眠負債)の脳活動を通常時と比較した元村の研究^[67]において、9時間睡眠を2日続けた日と3時間睡眠を2日続けた日のそれぞれ最終日に機能的MRIにて脳活動の測定を受けた被験者が、MRIの中で覚醒しているか (つまり測定中に眠っていないか) を確認するために撮影されたものである。

の2種類に分けて学習と評価を行うこととした。以降、前者を正常条件、後者を隠目条件と呼ぶ。

なお、動画は同一人物を別の日に撮影したものを含んでおり、6名が2回ずつ使用されている。その内訳として、正常条件では3人、隠目条件では2人がそれぞれ2回ずつ使用されている。また1人が正常・隠目の両条件で1回ずつ使用されている。被験者と動画の対応を表1に示す。

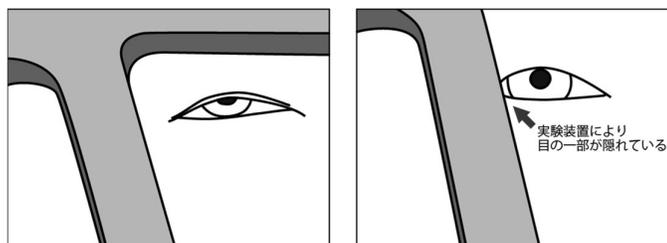


図 35 使用動画データのイメージ図

左：目の全体が写っている動画(正常条件)

右：目の一部が隠れている動画(隠目条件)

プライバシー保護のため実際の画像の掲載を控えた

表 9 被験者番号と動画番号の対応

動画番号	被験者番号	動画番号	被験者番号
正常①	No.1	隠目①	No.9
正常②	No.1	隠目②	No.9
正常③	No.2	隠目③	No.10
正常④	No.3	隠目④	No.11
正常⑤	No.3	隠目⑤	No.12
正常⑥	No.4	隠目⑥	No.12
正常⑦	No.5	隠目⑦	No.13
正常⑧	No.6	隠目⑧	No.14
正常⑨	No.7	隠目⑨	No.14
正常⑩	No.8	隠目⑩	No.8

3.1.3.2 教師データ

教師データは各動画のフレームに対して、図 36のように上眼瞼(top)、下眼瞼(btm)、閉眼状態(close)の3クラスをあらかじめ定義し手入力マーキング（アノテーション）することで作成した。手入力マーキングはアプリケーションの機能を使用しマウス操作によって行った。つづいて、マーキング箇所を中心とした長方形領域を同じくマウス操作によって指定した。

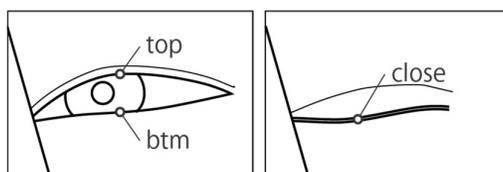


図 36 マーキング定義

手入力マーキングした点を中心とする領域をYOLOv3により学習させる

top: 上眼瞼の中央、眼球との輪郭上

btm: 下眼瞼の中央、眼球との輪郭上

close: 閉眼時の眼瞼の中央

評価のための教師データ作成にあたっては、動画1本を分割単位とした10分割のクロスバリデーション法を用いた。図 37に示すとおり、たとえば、動画①を抜いた②～⑩だけで教師データを作成すれば、動画①の情報が含まれない重み付けデータを得ることができる。このようにして作成した重み付けデータは、動画①に対する追跡精度の評価に使用される。なお、正常条件と隠目条件を入れ替えた場合の精度評価を行なうために、図 38のとおり①～⑩全ての動画を含めた教師データも作成した。

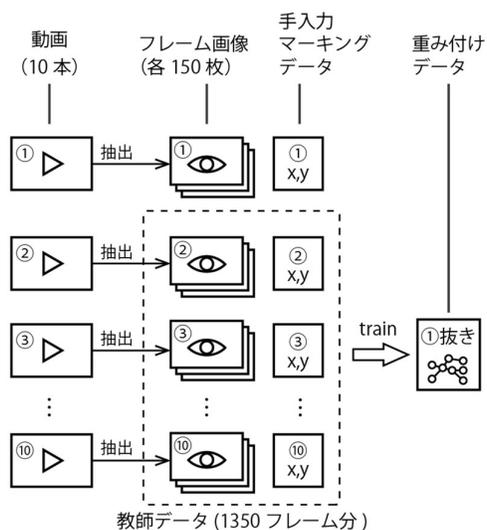


図 37 9動画を使用した教師データの作成手順

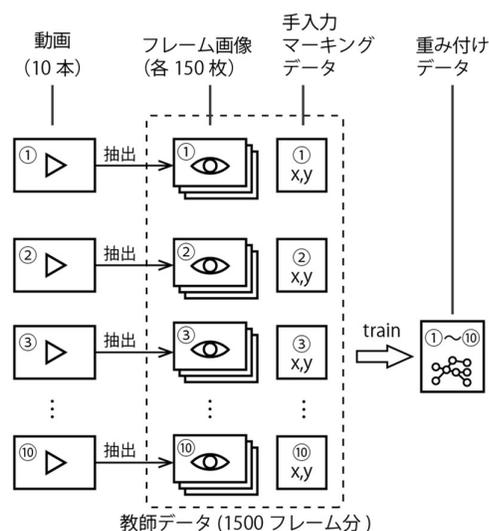


図 38 10動画をを使用した教師データの作成手順

3.1.3.3 機械学習方法

作成した教師データを用いてYOLOv3による機械学習を実行した。本報告では、各教師データ間の学習結果の教師データに対する精度を可能な限り揃える目的で、学習回数は13000回とし、学習回数11000回までの学習率は0.001、12000回までの学習率は0.0001、13000回までの学習率は0.00001とした。学習率とは機械学習を1回行うたびに入力値をどの程度変化させるかを指定するハイパーパラメータのひとつで、一般に学習率が小さいと結果の発散を防げるが収束が遅くなるため、本報告では初めは大きな学習率で学習させ、終盤で学習率を小さくするという通例に倣っている。なお学習の結果、YOLOv3において教師データに対する誤差の割合を示すFocal Loss^[69]はいずれの教師データにおいても0.1~0.2程度に収束した。

つづいて学習によって得られた重み付けデータを用いて、同じくYOLOv3により自動追跡を実行した。1つのフレーム内で同じ対象物が複数検出された場合は、信頼度が最大のものを採用することとした。1つのフレームから何も検出しなかった場合は自動追跡に失敗したフレームとして、その回数を別途集計した。

3.1.3.4 精度評価方法

精度評価にあたっては、手入力マーキングによって得られた瞼裂幅 E_m と、自動追跡によって得られた瞼裂幅 E_a の差 $\delta = |E_m - E_a|$ によって評価することとした。瞼裂幅 E は、手入力マーキングと自動追跡で得られたそれぞれの上眼瞼 (x_{top}, y_{top}) と下眼瞼 (x_{btm}, y_{btm}) より y 座標の差 $(E = y_{btm} - y_{top})$ とした。また δ に加えて、瞬目の検出回数を精度評価項目とした。瞬目は0.2秒(動画中の6フレーム)未満の閉眼の回数とした。

隠目条件の動画は正常条件の動画と比較して自動追跡の難易度が高いため、本報告では正常条件と隠目条件での追跡精度をそれぞれ比較する。また、教師データによって追

跡精度に違いが生じるかを確認するため、教師データも正常条件と隠目条件で分けて作成した。

本報告では、正常条件の教師データを用いて正常条件の動画に対し自動追跡を行った場合（教師：正常→追跡：正常）、隠目条件の教師データを用いて隠目条件の動画に対し自動追跡を行った場合（教師：隠目→追跡：隠目）、正常条件の教師データを用いて隠目条件の動画に対し自動追跡を行った場合（教師：正常→追跡：隠目）、隠目条件の教師データを用いて正常条件の動画に対し自動追跡を行った場合（教師：隠目→追跡：正常）の4種類の組み合わせについて追跡精度の評価を行った。

精度評価の目安として、本報告で使用した動画において±25pxまでを許容誤差とした。また個別の動画に対して、誤差の90%ile値が25px以内であった場合は実用的な精度で計測ができたと判断することとした。参考までに本報告で使用した動画データにおける25pxのスケールを図39に示す。なお眼瞼の自動追跡に失敗し瞼裂幅の計測ができなかったフレームは、誤差が25pxよりも大きいフレームとして扱った。

$$\text{追跡成功率} = \frac{|\delta| \leq 25\text{px} \text{ のフレーム数}}{\text{全フレーム数}}$$

もうひとつの目安として、手入力マーキングによる瞼裂幅を横軸、自動追跡による瞼裂幅を縦軸として回帰直線を求めた。自動追跡による瞼裂幅の計測結果が手入力マーキングと完全に等しいときには、傾き1、切片0の正の相関が得られる。ここで傾きの誤差はゲイン誤差、切片の誤差はオフセット誤差に相当する。

瞼裂幅の誤差とは別に、瞬目を自動追跡できているかについても確認した。各瞬目において、瞼裂幅が0pxとなる瞬間を追跡できていれば成功と見なした。なお瞬目と言える0.2秒未満の閉眼は、正常条件の動画では10本の動画で20回、隠目条件の動画では19回見られた。

$$\text{瞬目検出成功率} = \frac{\text{検出に成功した瞬目数}}{\text{全瞬目回数}}$$

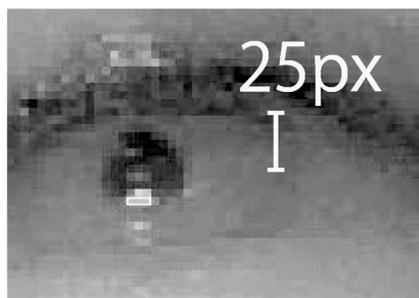


図39 フレームにおける25pxのスケール

実際の動画から眼瞼部を抜粋しコントラストを調整している。

3.1.4 結果

3.1.4.1 教師:正常→追跡:正常の条件

教師:正常→追跡:正常の条件における瞼裂幅プロットの一部を図 40a、誤差ヒストグラムを図 40b、動画ごとの精度を図 40cに示す。誤差が $\pm 25\text{px}$ 以内であったフレームの数は1484となり全体の98.9%が許容誤差内に収まった。眼瞼の検出に失敗したフレーム数は6となり、全体の0.4%であった。また個別の動画については、誤差の90%ileが $\pm 25\text{px}$ を上回った動画数は0本であった。誤差の傾向は図 40dに示すとおりとなり、回帰直線の傾きは0.963,切片は1.300であった。瞬目の検出には20回中18回成功した。

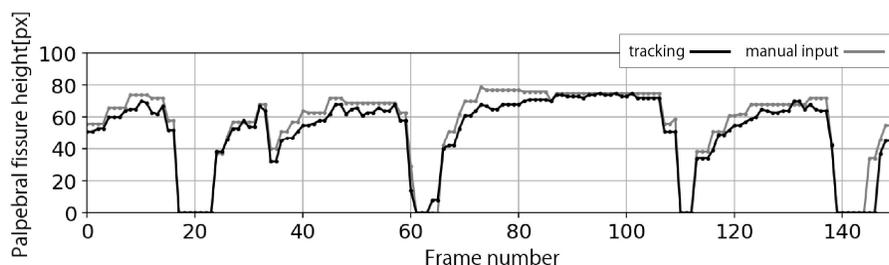


図 40a 教師:正常→追跡:正常の条件における瞼裂幅プロットの一部

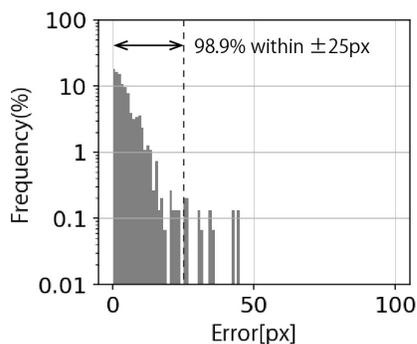


図 40b 教師:正常→追跡:正常の条件における誤差ヒストグラム

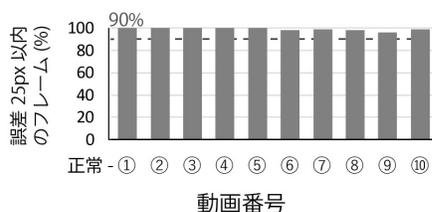


図 40c 教師:正常→追跡:正常の条件における動画ごとの精度

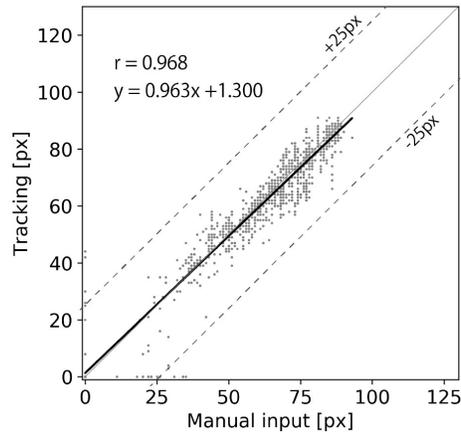


図 40d 教師:正常→追跡:正常の条件における誤差の傾向

3.1.4.2 教師:隠目→追跡:隠目の条件

教師:隠目→追跡:隠目の条件における瞼裂幅プロットの一部を図 41a、誤差ヒストグラムを図 41b、動画ごとの精度を図 41cに示す。誤差が ± 25 px以内であったフレームの数は1423となり全体の94.9%が許容誤差内に収まった。眼瞼の検出に失敗したフレーム数は34となり、全体の2.3%であった。また個別の動画については、誤差の90%ileが ± 25 pxを上回った動画数は1本であった。この1本は、多くのフレームで眼瞼の検出自体に失敗していた。誤差の傾向は図 41dに示すとおりとなり、回帰直線の傾きは0.946, 切片は1.013であった。瞬目の検出には19回中19回成功した。

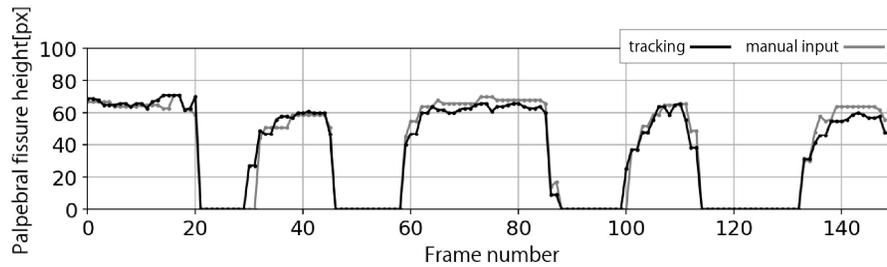


図 41a 教師:隠目→追跡:隠目の条件における瞼裂幅プロットの一部

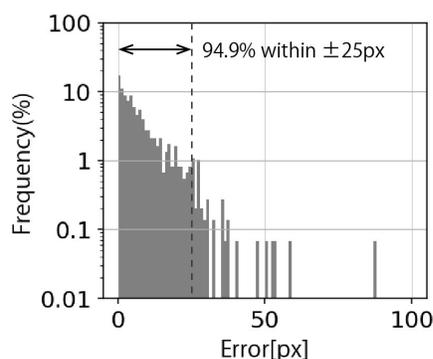


図 41b 教師:隠目→追跡:隠目の条件における誤差ヒストグラム

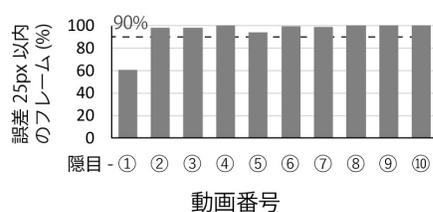


図 41c 教師:隠目→追跡:隠目の条件における動画ごとの精度

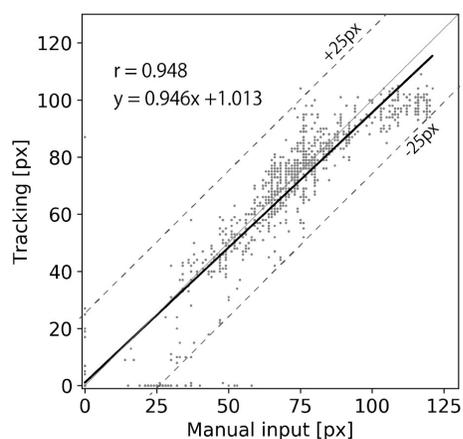


図 41d 教師:隠目→追跡:隠目の条件における誤差の傾向

3.1.4.3 教師:正常→追跡:隠目の条件

教師:正常→追跡:隠目の条件における眼裂幅プロットの一部を図 42a、誤差ヒストグラムを図 42b、動画ごとの精度を図 42cに示す。誤差が±25px以内であったフレームの数は1065となり全体の71.0%が許容誤差内に収まった。眼瞼の検出に失敗したフレーム数は371となり、全体の24.7%であった。また個別の動画については、誤差の90%ileが±25pxを上回った動画数は5本、うち眼瞼の検出自体に失敗した動画数は2本であった。誤差の傾向は図 42dに示すとおりとなり、回帰直線の傾きは0.758, 切片は9.535であった。

瞬目の検出には19回中12回成功した。

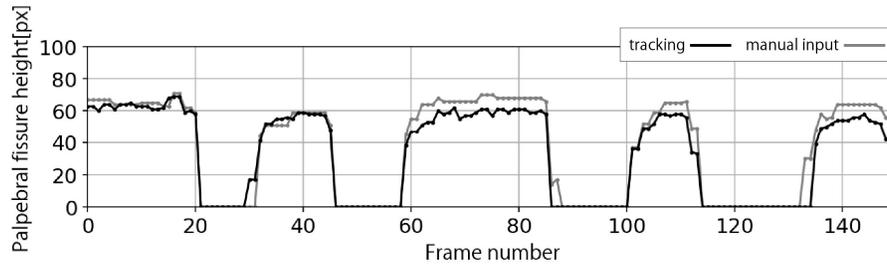


図 42a 教師:正常→追跡:隠目の条件における瞼裂幅プロットの一部

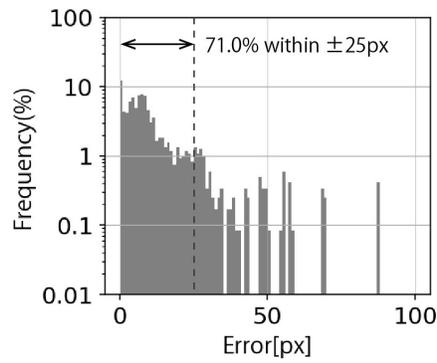


図 42b 教師:正常→追跡:隠目の条件における誤差ヒストグラム

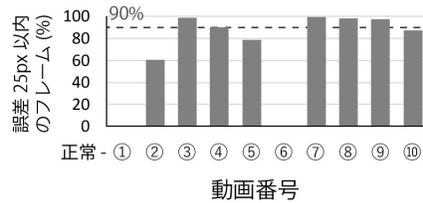


図 42c 教師:正常→追跡:隠目の条件における動画ごとの精度

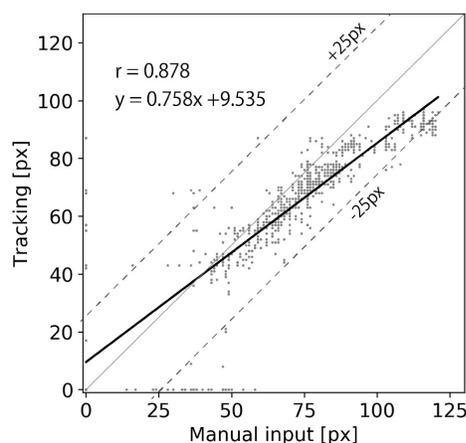


図 42d 教師:正常→追跡:隠目の条件における誤差の傾向

3.1.4.4 教師:隠目→追跡:正常の条件

教師:隠目→追跡:正常の条件における瞼裂幅プロットの一部を図 43a、誤差ヒストグラムを図 43b、動画ごとの精度を図 43cに示す。誤差が±25px以内であったフレームの数は1466となり全体の97.7%が許容誤差内に収まった。眼瞼の検出に失敗したフレーム数は18となり、全体の1.2%であった。また個別の動画については、誤差の90%ileが±25pxを上回った動画数は0本であった。誤差の傾向は図 43dに示すとおりとなり、回帰直線の傾きは0.932、切片は9.368であった。瞬目の検出には20回中16回成功した。4回の失敗はいずれも瞬目の見逃し(偽陰性エラー)で、瞬目の誤検出(擬陽性エラー)は発生しなかった。

本報告における各評価目安の結果を表 10にまとめた。

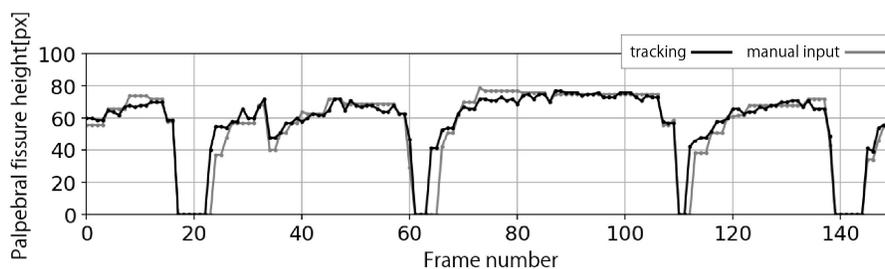


図 43a 教師:隠目→追跡:正常の条件における瞼裂幅プロットの一部

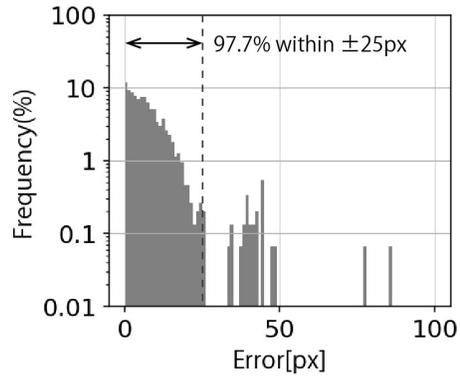


図 43b 教師: 隠目→追跡: 正常の条件における誤差ヒストグラム

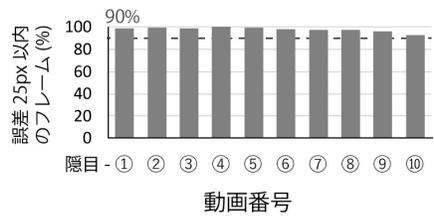


図 43c 教師: 隠目→追跡: 正常の条件における動画ごとの精度

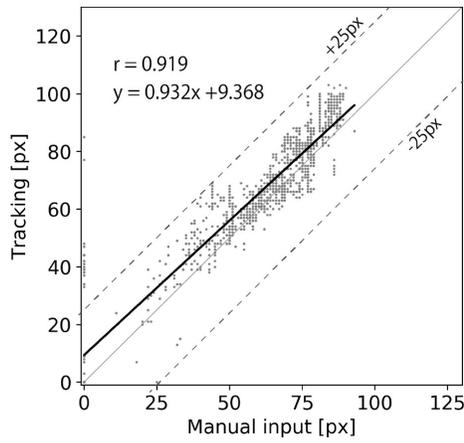


図 43d 教師: 隠目→追跡: 正常の条件における誤差の傾向

表 10 各条件の精度

項目	教師データ	正常	正常	隠目	隠目
	追跡対象	正常	隠目	隠目	正常
追跡成功率		98.9%	71.0%	94.9%	97.7%
誤差の90%ile値が±25pxを上回った動画数		0	5	1	0
眼瞼検出に失敗したフレーム数の全1500フレームに対する割合		0.4%	24.7%	2.3%	1.2%
眼瞼検出に30フレーム以上失敗した動画数		0	2	1	0
回帰直線の傾き		0.963	0.758	0.946	0.932
回帰直線の切片		1.300	9.535	1.013	9.368
瞬目検出成功率		90%	60%	100%	84%

3.1.5 考察

3.1.5.1 追跡精度

4条件中、教師データに正常条件を用いて、追跡対象が隠目条件だった場合に他の条件に対して低い精度となった。一方で、隠目条件が教師データで追跡対象が正常条件だった場合は制度の低下が見られなかった。これは、正常条件を用いた教師データが眼瞼の全体を手掛かりに検出を行う学習となったのに対して、隠目条件を用いた教師データでは眼瞼の一部分を手掛かりに検出を行う学習となったことが理由と推測される。

なお、特に正常条件の動画のように目の全体が写っている動画が追跡対象の場合は、すなわちオクルージョンが無い場合は、教師データの内容に左右されることなく実用的な精度で自動追跡が可能と考えられる。

3.1.5.2 瞬目検出成功率

瞬目の検出成功率を見ると、追跡精度が高かった3条件内でも84～100%と差が大きかったことから原因の考察が必要である。瞬目見逃しが発生した事例を取り上げながら考察する。

図 44aに瞬目を見逃した事例の一部を示す。いずれの事例においても前後の開眼状態の眼瞼は追跡できているが、閉眼時の状態と、瞼裂幅が小さいときの眼瞼を見逃している。つづいて正常条件と隠目条件における瞼裂幅の分布を図 44bに示す。どちらの条件においても瞼裂幅が60～80pxの割合が多く、次いで閉眼状態を意味する0px付近が多い。したがって、教師データには10～60pxのデータが比較的少ない。閉眼状態の教師データは「close」と定義され、開眼状態の教師データ「top」「btm」と区別されているため、教師データ数としては少ない。このように、教師データ数が相対的に少ないことが、瞬目中の追跡精度が低い原因になっていると考えられる。

このような現象については、教師データが少ない間は効果的な教師データを都度追加することが必要であることを示唆している。

3.1.5.3 教師データと精度の関係

隠目条件を教師データに含めた場合の方が、正常条件と比べて精度が高くなりやすいことを示唆する結果を得たことについて考察する。一般に機械学習において、教師データにノイズを加えることは精度向上に寄与するとされている。精度低下の原因として、正常条件のみを使用した教師データが、隠目条件では隠れてしまう領域の特徴を重視してしまったことが考えられる。逆に、隠目条件のみを使用した教師データは、隠れていない領域を重視したため、正常条件と隠目条件の追跡精度が同等になったと考えられる。これは教師データにノイズを加えることで、検出の手がかりとなる特徴に関する weights(2.2.2 節)が分散するためである。

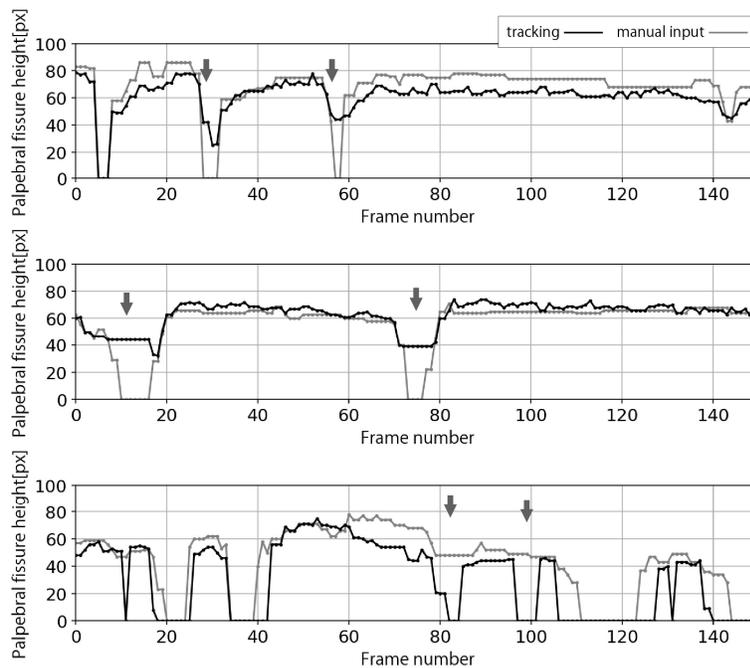


図 44a 瞬目見逃しの事例

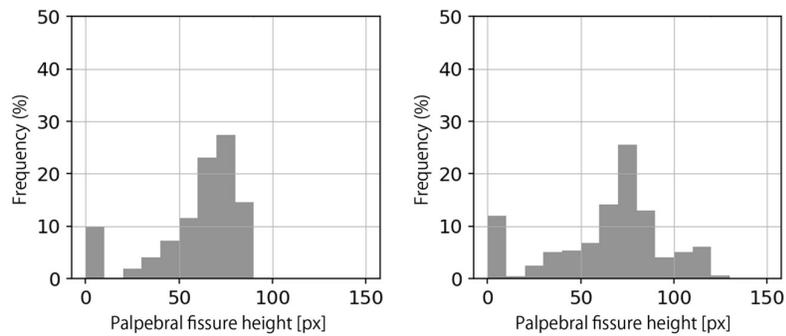


図 44b 正常条件と隠目条件における瞼裂幅の分布

左：正常条件、右：隠目条件

3.1.5.4 アプリケーションとしての有用性

ここまで、機械学習アルゴリズムの一種であるYOLOv3を活用して瞼裂幅の計測を行い、その実用的可能性を示した。また用意すべき教師データ数のひとつの目安として、10本の動画から各150フレーム程度を使用することで眼瞼運動については実用的な精度が期待できることが分かった。さらに、教師データにはオクルージョン等のノイズを含むフレームを含めることで、また可能な限り瞬目活動中のフレームをなるべく多く含めることでさらなる精度向上が期待できることが示唆された。今後は得られた知見を元により効果的な教師データの作成手法を洗練させる必要がある。

本章では眼瞼幅を計測するために上眼瞼と下眼瞼を自動追跡し、その点間距離を計算した。このように、自動追跡によって得られた点の座標に対して適切な知見に基づいて位置関係を解釈することで、座標集合を意味のあるデータに変換することが可能となる。

3.2 空間確保行動の量化の方法検討

3.2.1 目的

3.1 節において深層学習による動画解析の性能の評価を行い、教師データを独自に作成することで一定の追跡精度が得られることを確認した。本節では動画解析技術による生態心理学的分析方法を構築するために動画解析結果からの行動の量化を行った。また、複数の量を比較するプロセスの検討を目的として、心理尺度との相関分析を試験的に実施した。

3.2.2 防災教育活動

防災教育活動とは、地区防災計画制度における防災マップ制作や、防災訓練、ワークショップ等の、地域で開催される公的な催しを指す。たとえば福岡市では、地域防災力の向上を目的に2018年度は約5千万円の予算を組み、防災キャンプの実施や避難所運営ワークショップの開催等を推進している^[71]。また、防災に関する実証実験と課題把握を目的とした防災共創プラットフォームの構築を進めている。平時からの防災教育活動は1.1.3 節でも述べたように、直接的に防災に関する備えになるだけでなく、地域コミュニティの交流を促す機会ともなる。

生態学的分析を用いたレジリエンスデザイン方法を構築するにあたり、分析の対象者や実験の被験者を集める必要がある。レジリエンスデザイン方法においては、被験者を集める方法も検討の対象に含まれる。防災教育活動では、知識や情報、交流を目的に地域の人が集まる。本検討では防災教育活動を実験や分析によるデータ蓄積の機会ととらえ、2018年8月に本学で開催された防災に関するワークショップを活用して分析を実施することとした。

3.2.3 方法

3.2.3.1 対象動画データと教師データ

本検討で使用する動画は、2018年8月に実施した親子同伴のワークショップ中に実施したダンボールベッド組立作業の一部始終を、事前に同意を得た上で撮影したものである。なお同ワークショップは、地域の親子を対象に、避難経路確認や非常食を体験することを目的に実施されたものである。参加者を5つのチームに分け、うち4チームの撮影を実施した。各チームにおける参加者の構成は表 11のとおりであった。

表 11 分析対象者

	大人	子供	作業時間
Aチーム	女性4名(年齢: 40～49歳)	男女5名	11分
Bチーム	女性4名(年齢: 38～39歳)	男女4名	8分
Cチーム	女性4名(年齢: 38～45歳)	男女4名	11分
Dチーム	女性4名(年齢: 41～47歳)	男女6名	13分

なお子供は原則として親1名に対し1名ずつ、小学4～5年生が参加したが、その他にも兄弟が参加したため、子供が5名以上のチームがあった。Aチームのダンボールベッド組立作業中の俯瞰動画の一部を示す。



図 45 作業中の俯瞰動画(Aチーム)

ダンボールベッド

ダンボールベッドとは、災害避難所での使用を想定して販売されている組立式の簡易ベッドである。2015年の内閣府の調査によると、簡易ベッドは調査対象の520自治体のうち108の自治体で備蓄されており^[70]、同じく内閣府による2016年の避難所運営ガイドラインでは簡易ベッドの備蓄を呼びかけている^[74]。ダンボールベッドは図46のように、小さな箱を土台として並べて上に床板となるダンボールを敷いて組み立てて使用する。

ダンボールベッド組み立て作業は、災害避難所において面識の乏しい複数の人の協調的行動が生じやすく、Zolliによるレジリエンスの要件のひとつである、適度な協調体制と関連のある状況であると考えた。また事前調査では、ダンボールベッド組立作業中は人が適度に移動し、協調作業やそれに伴うf-Formationの発生が時折見られた。このことからダンボールベッド組立作業は、災害避難所において空間確保行動が発生しやすい事例の一つであると考えられる。



図46 ダンボールベッド(左)と組立作業(右)

本検討における追跡対象は参加者のうち母親(各チームに4名)の頭部とした。教師データは、3秒間隔で動画から1フレームずつ抽出して手入力により作成し、残りのフレームを深層学習による自動追跡によって補完した。したがって本検討においては、対象の半自動追跡を実施したということになる。評価は目視によって行い、

3.2.3.2 行動の量化と解釈

上記の手順で得られたワークショップ中の4チーム各4名の位置座標を用いて、各参加者の速さと加速度の時系列データ計算を実施した。さらに、空間確保行動の計算と、f-Formationの量化を併せて試みた。図47のように $n=4$ 名の集団において、量化の対象とする任意の成員 d の座標を (x,y) 、他の成員 a,b,c の座標を (x_i,y_i) としたときの各計算手順を表12に記述する。なお単位時間(ここでは1秒)の x,y の移動量をそれぞれ Δx , Δy とする。

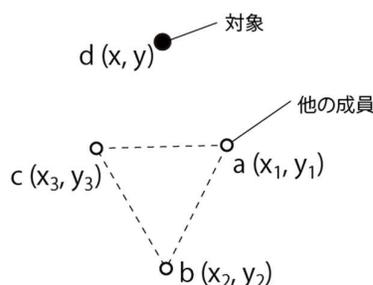


図47 各成員の座標

表 12 空間確保行動の量化

項目	式	内容
個人相対距離	$d_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}$ $d_2 = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2}$ $d_3 = \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2}$	対象と他の各参加者との距離
平均相対距離	$d_m = \frac{\sum d_i}{n - 1}$ $(n = 4)$	他の成員との距離の平均
集団相対距離	$d_G = \sqrt{(x - x_G)^2 + (y - y_G)^2}$ $x_G = \frac{\sum x_i}{n - 1}$ $y_G = \frac{\sum y_i}{n - 1}$ $(n = 4)$	他の成員が作るn-1角形の重心との距離(図 48)
対集団角度	$\theta_G = 2\pi - \theta_{max} - \theta_{min} $ $\theta_{max} \text{と } \theta_{min} \text{は以下から最大値と最小値}$ $\theta_1 = \tan^{-1} \frac{(x - x_1)}{(y - y_1)}$ $\theta_2 = \tan^{-1} \frac{(x - x_2)}{(y - y_2)}$ $\theta_3 = \tan^{-1} \frac{(x - x_3)}{(y - y_3)}$	全成員が作る多角形の外角のうち、対象が頂点となる角度(図 48)

以上の値は、いずれも動画解析によって自動追跡することで得られた座標から算出することができる量である。なお、ここで集団相対距離 d_G ならびに、対集団角度 θ_d における θ_{max} と θ_{min} の関係は図 48のとおりである。集団への接近により d_G は小さくなり、 θ_G は大きくなる。

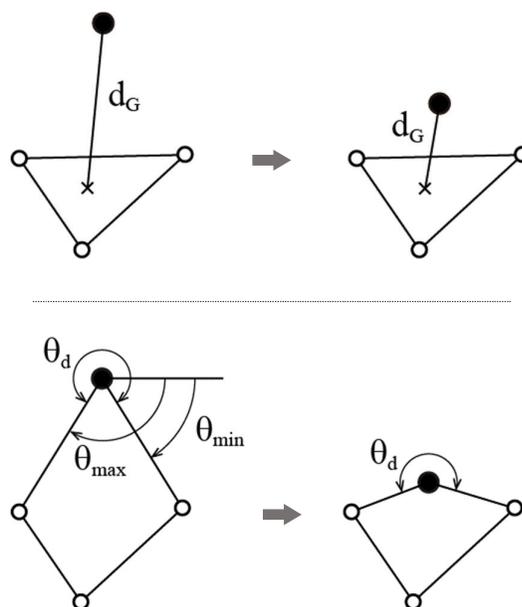


図 48 集団相対距離(上)と対集団角度(下)

3.2.3.3 時系列データとヒストグラムによる傾向比較

行動を量化することで集計や比較が可能となる。本検討においては、4チームの中から1チーム(Aチーム、図 49)の1人(成員d)に対して、作業中の速さ、加速度、個人相対距離、平均相対距離、集団相対距離、対集団角度の計算を実施しその時系列変化を描画した。また、Aチームにおける全員(成員a～d)について傾向をヒストグラムで描画し、視覚的に比較が可能かを検討した。

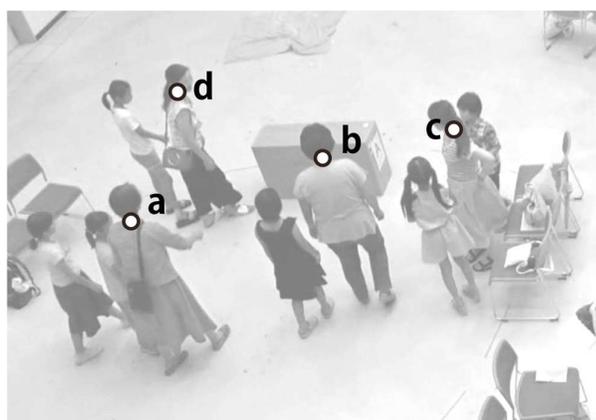


図 49 Aチームの4人の成員

なお本検討においては、各量は連続値であるためヒストグラムのビン数を15とした。また全体の傾向を見るために特別な観点を設けないため階級幅は均等とした。

3.2.3.4 性格特性質問紙検査

本検討においては、撮影した参加者16名に対し性格特性質問紙検査を実施した。検査項目はBigFive尺度短縮版^[62]を使用し、得られた各性格特性の尺度と、量化した行動の作業中の平均値との相関分析を行った。

3.2.4 結果

3.2.4.1 時系列変化

Aチームのひとりの成員(dとする)に対して量化を行った結果、以下のような時系列データのグラフを得た。

速さと加速度の時系列データは図 50のとおりとなり、開始5分を境に静止している時間が減少している傾向が見られた。

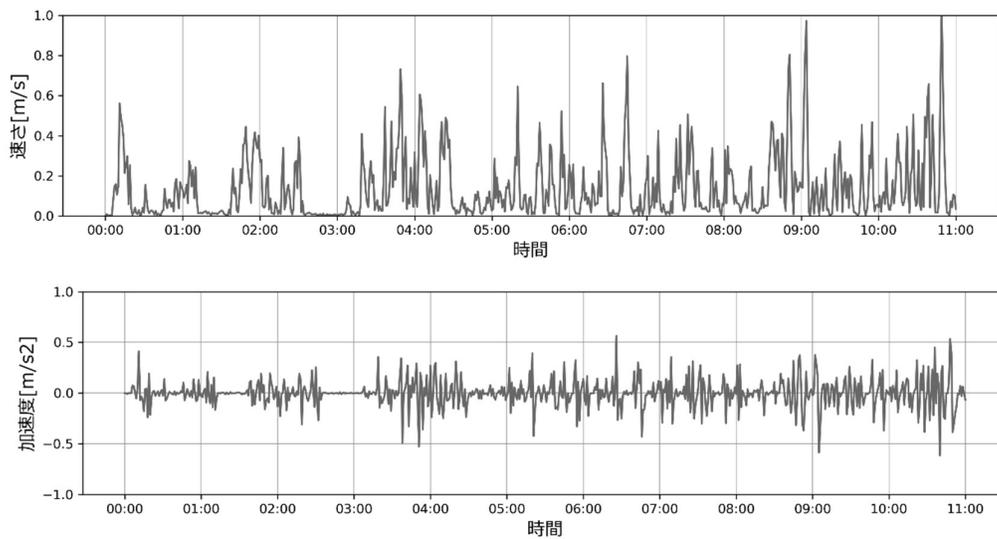


図 50 速さと加速度の時系列データ

他の成員との相対距離と平均相対距離は図 51のとおりとなり、作業の序盤と終盤で他の成員との距離が縮まる傾向が見られた。また、成員aと成員bとは一時的に離れてまた接近する状況が見られた（図中矢印）のに対して、成員cとは作業時間中にわたり、空間を確保している傾向が見られた。

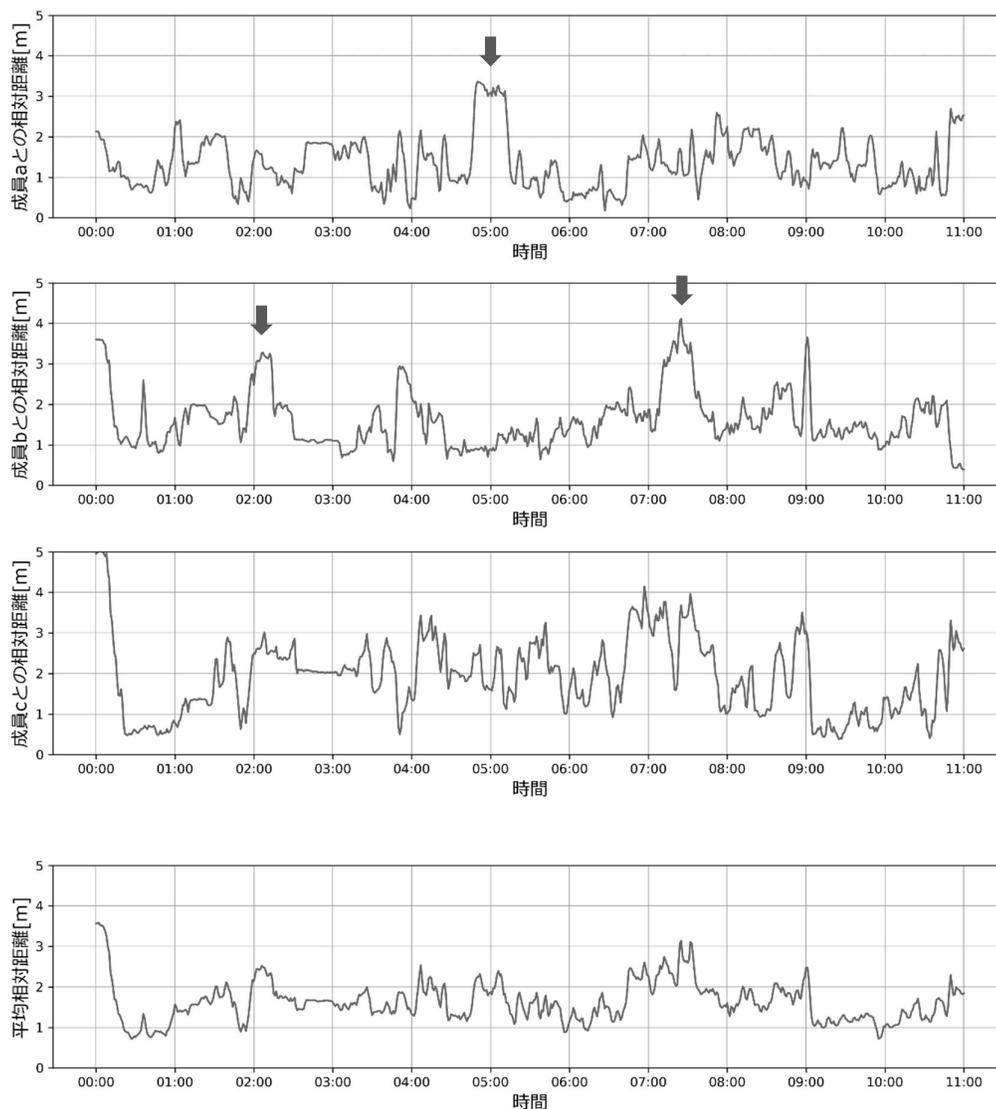


図 51 成員dの各相対距離と平均相対距離の時系列データ

第3章

集団相対距離は、対象以外の3人の成員がつくる三角形の重心との距離である。図 52 のとおり、全体的な傾向は平均相対距離と類似した結果となった。また、対集団角度は図 53 のとおり、同じく平均相対距離と類似した結果となった。

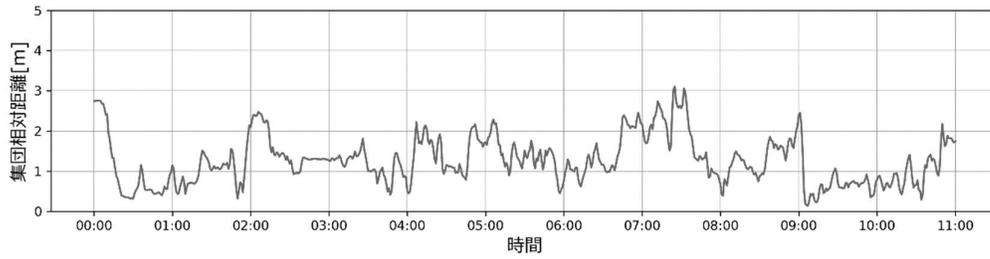


図 52 成員dの集団相対距離の時系列データ

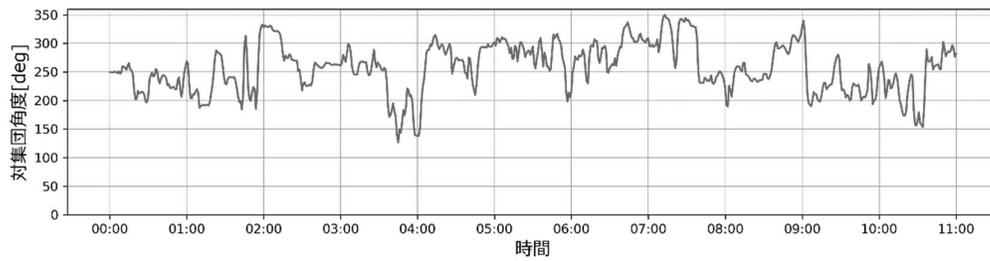


図 53 成員dの対集団角度の時系列データ

3.2.4.2 各成員間の傾向比較

Aチームの4人の成員(a、b、c、d)について、作業時間中の行動について量化した結果のヒストグラムを作成した。速さと加速度のヒストグラムは図 54のとおりとなり、明確な違いは見られなかった。

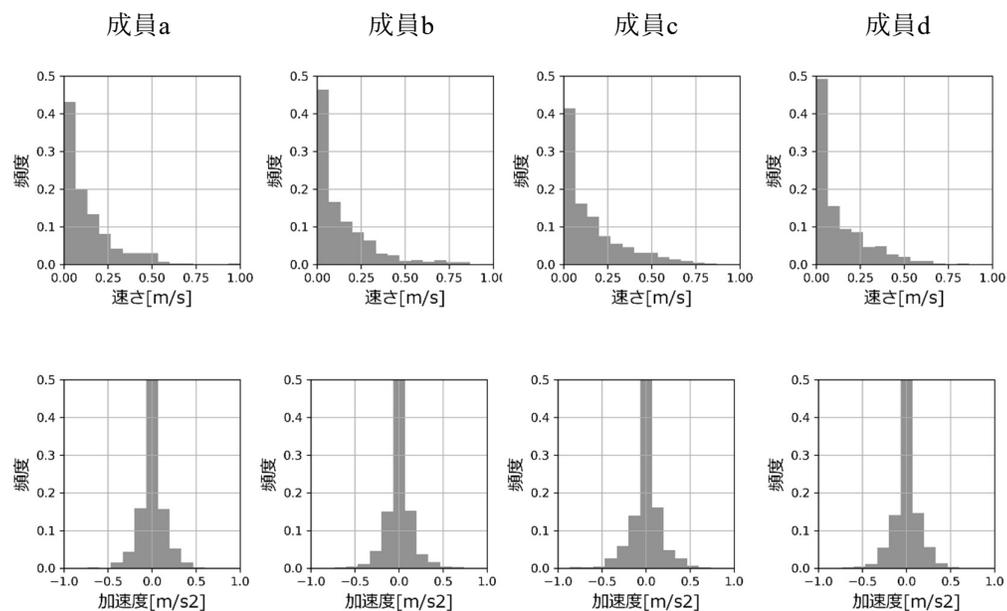


図 54 速さと加速度のヒストグラム

相対距離のヒストグラムは図 55 のとおりとなり、ヒストグラムから、成員 a は成員 b、c と比べて、成員 d にやや近い傾向が見られた。

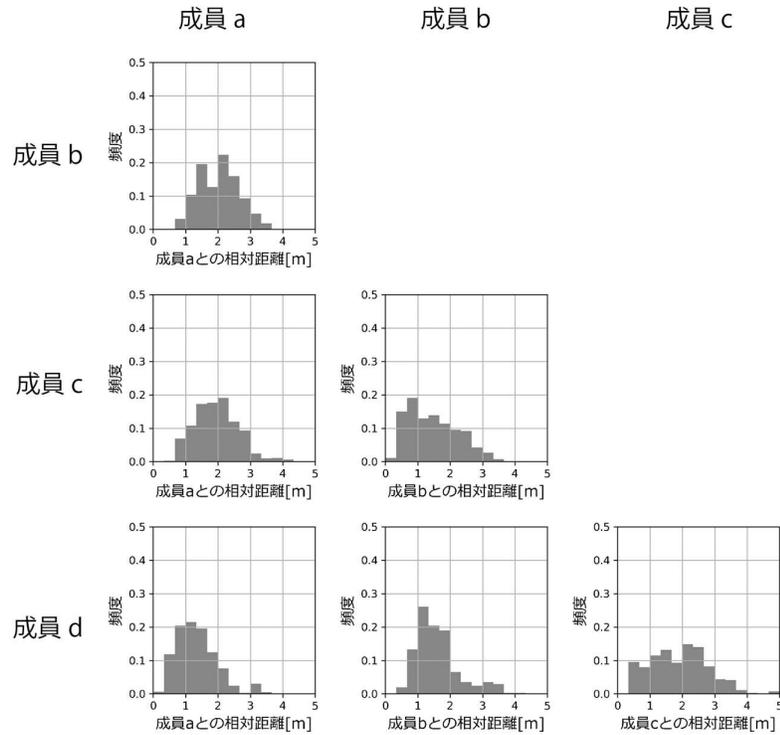


図 55 個人相対距離のヒストグラム

平均相対距離のヒストグラムは図 56 のとおりとなり、成員 b、d は成員 a、c と比べて 2m 以上の空間を確保していない傾向が見られた。

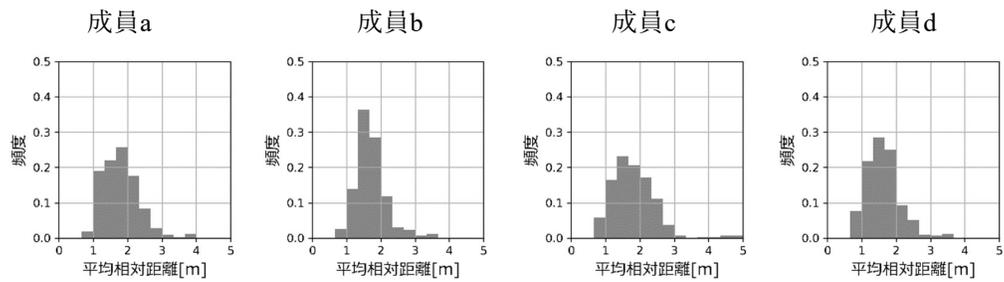


図 56 平均相対距離のヒストグラム

集団相対距離のヒストグラムは図 57のとおりとなり、成員bは他の成員と比較して、集団に対して1~2mの距離をよく使用する傾向が見られた。また、対集団角度のヒストグラムは図 58のとおりとなり、成員bと成員d、成員aと成員cにはそれぞれ似た傾向が見られた。

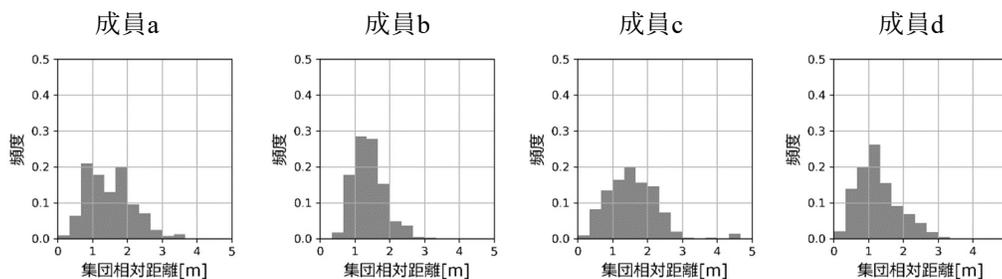


図 57 集団相対距離のヒストグラム

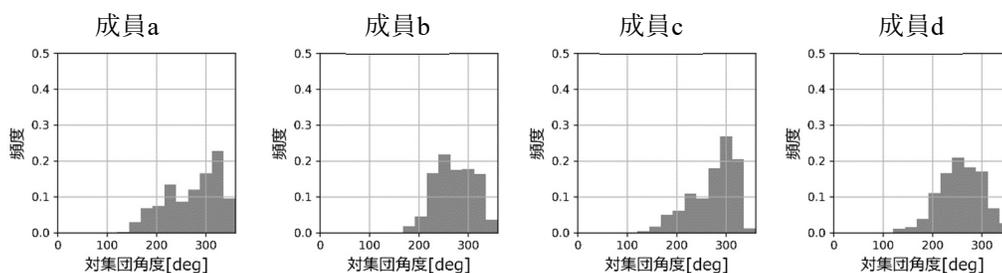


図 58 対集団角度のヒストグラム

3.2.4.3 心理尺度との相関

参加者16名における、各量と性格特性の相関を表 13に示す。

表 13 量化した行動と性格特性の相関

性格特性		速さ	平均 相対距離	集団 相対距離	対集団 角度
BigFive	外向性	0.34	0.23	0.20	-0.18
	誠実性	0.13	0.09	0.01	-0.45
	開放性	0.31	0.00	-0.11	-0.36
	調和性	-0.01	-0.53	-0.56	-0.08
	情緒不安定性	-0.24	0.04	0.12	0.04

3.2.5 考察

3.2.5.1 量の意味

量化によって得られたデータは、最終的には統計的に有意であるかを含めて比較が行われるべきである。しかし統計的な妥当性以前に、本研究では各量が空間確保行動としてどのような意味を持つかに着目する。

表 12の式により量化した行動のうち、平均相対距離 d_m 、集団相対距離 d_G 、対集団角度 θ_G はいずれも他者や集団との距離や位置関係を反映していることから、空間確保距離を反映していると考えられる。各量の違いについては図 51、図 52、図 53のグラフを見る限り正の相関があると思われる。しかしながら、 d_m 、 d_G 、 θ_G はその意味するところが異なる量である。たとえば、図 59の2つの状態において平均相対距離 d_m (d_1 、 d_2 、 d_3 の平均)の値はほとんど変わらないのに対し、 d_G と θ_G の値は小さくなる。図 59の2つの状態は空間確保行動の観点からは明らかに異なる状況であり、左は集団を構成する輪の一部(f-Formationにおけるp空間)となっているのに対して、右は集団の輪の中(o空間)に入って成員に取り囲まれている。

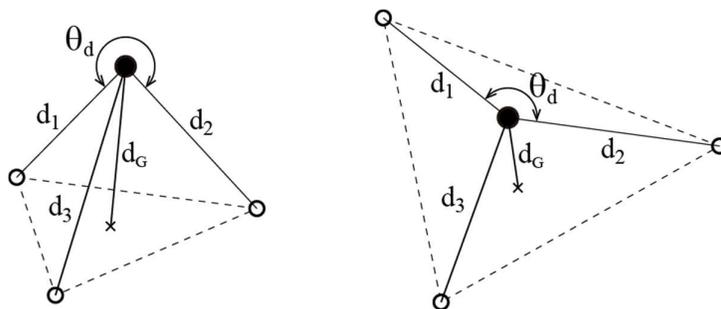
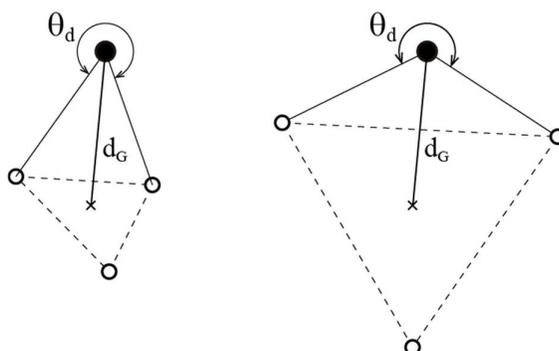


図 59 d_m が等しく d_G と θ_G が異なる位置と距離の関係

また、図 60の2つの状態において d_G の値はほとんど変わらないのに対し、 θ_G の値は小さくなる。このように、 d_m 、 d_G 、 θ_G は、いずれも空間を確保しようとする値が大きくなる量であるが、その意味するところは異なるため、生態学的分析においてはいずれの値も尊重されるべきであると考えられる。なお d_m は個々の成員との間に確保された距離、 d_G は集団総体との間に確保された距離、 θ_G は他の成員との位置関係を反映していると言える。

図 60 d_G が等しく θ_G が異なる位置と距離の関係

3.2.5.2 空間確保距離の算出方法の検討

3つの値 d_m 、 d_G 、 θ_G はそれぞれ独立した値であるが、実装にあたっては集団における分析対象者の状態を直感的に伝える必要があることから、空間確保距離として1つの値に統合することが重要であると考えられる。統合の方法として、 d_m 、 d_G 、 θ_G の積($d_m \times d_G \times \theta_G$)と和($d_m + d_G + \theta_G$)による方法が挙げられる。図 61に積と和による空間確保距離の時系列データを示す。積の計算にあたっては計算後に全成員分の最小値と最大値によって正規化してプロットした。和の計算にあたっては、 θ_G が角度であることから、先に全成員分の d_m 、 d_G 、 θ_G の正規化を行ったうえで加算し、3で平均してプロットした。

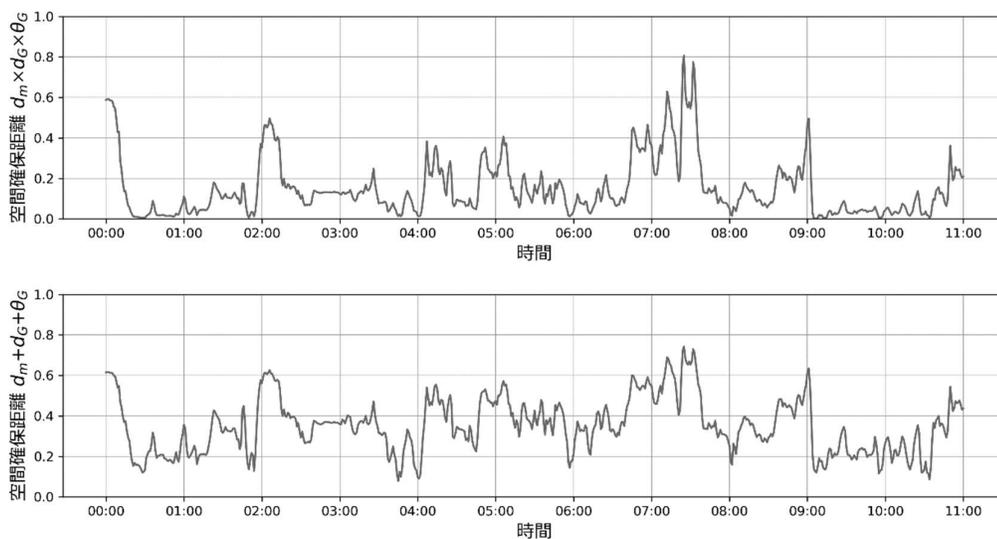


図 61 積と和による空間確保距離の時系列データ

積($d_m \times d_G \times \theta_G$)と和($d_m + d_G + \theta_G$)による時系列データは、視覚的に類似したグラフの形状となった。

つづいて、積と和のほかに、除算も算出方法として考えられる。 d_G は0となる場合が

第3章

あるため、分母に置くことは望ましくないことを考慮し、空間確保距離 $d_m \times d_G / \theta_G$ 、 $\theta_G \times d_G / d_m$ 、 $d_G / (\theta_G \times d_m)$ を算出した。なお分母と分子を入れ替えた組み合わせは、視覚的にはピークが上下反転したものになることから本検討においては除外した。

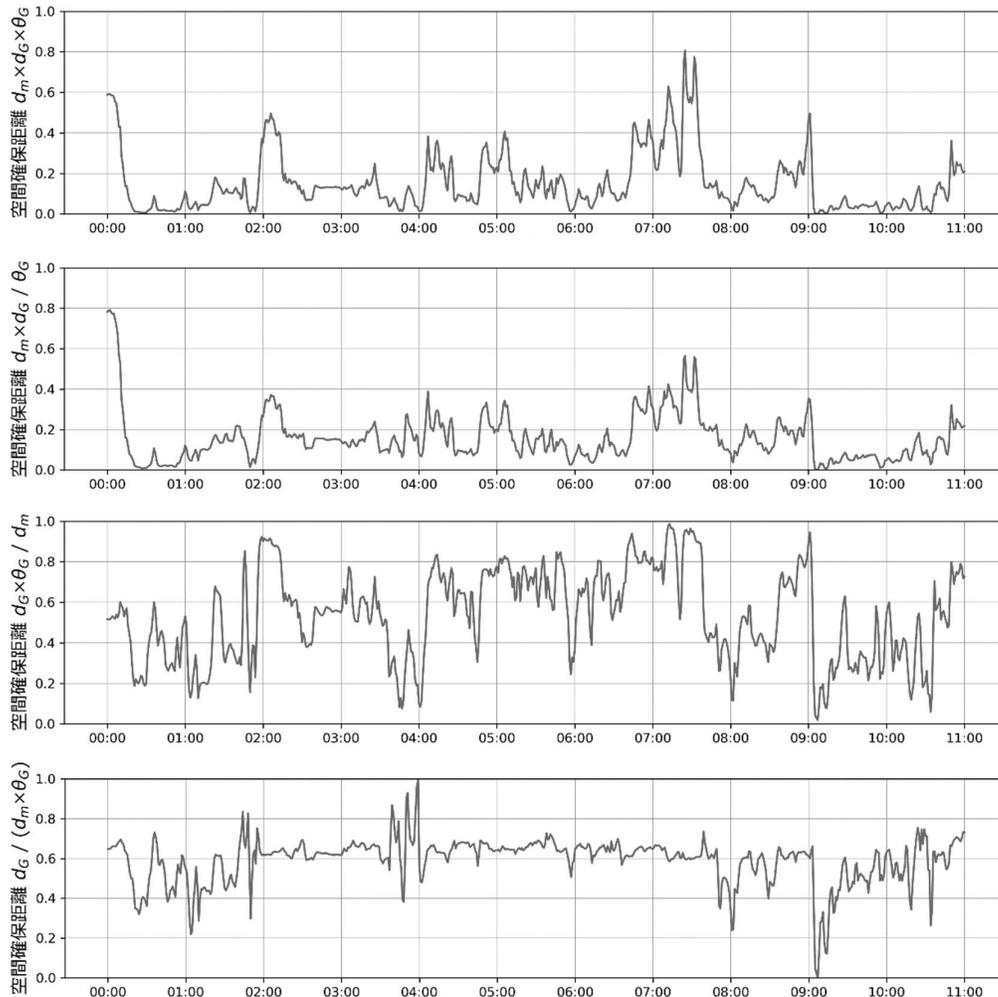


図 62 徐算による空間確保距離の算出方法の検討

積による空間確保距離の時系列データ(図 62中最上段)と比較して、 $d_m \times d_G / \theta_G$ はグラフの形状が視覚的に類似していた。また、 $\theta_G \times d_G / d_m$ は、積によるデータとピークの位置は類似していたが、全体の振幅が大きくなる結果となった。 $d_G / (\theta_G \times d_m)$ は、積によるデータとグラフの形状が視覚的に大きく異なった。

除算の意味としては、 d_G / d_m は成員が広い範囲に散在しており、かつ他の成員に取り囲まれているときは小さな値をとる。 d_G / θ_G は、直線状に成員が並んだ時に小さな値をとる。このことから、どの徐算を採用するかはどのような集団のフォーメーションに着目するかによって使い分けることができると考えられる。 $d_m \times d_G / \theta_G$ が席によるデータ

と類似しているのは、直線状に成員が並んだ状況が多くなかったためと考えられる。また特定の集団のフォーメーションに着目しない場合は積による算出方法が適していると考えられるが、算出方法については今後も検討していく余地が残されている。

3.2.5.3 空間確保行動の量化

d_m 、 d_G 、 θ_G の積($d_m \times d_G \times \theta_G$)について、時系列データとヒストグラムによる視覚的比較を検討した。

図 63は成員dの時系列データである図 64は各成員のヒストグラムである。

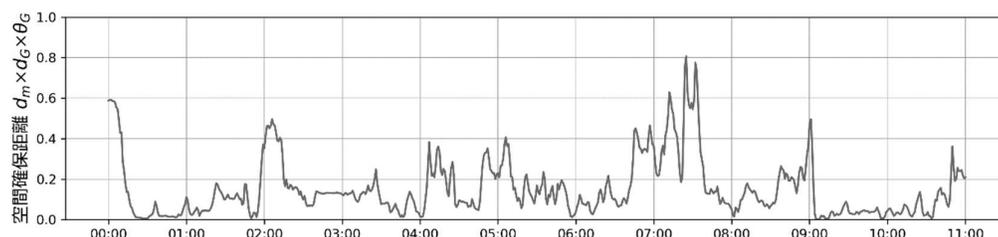


図 63 成員dの空間確保距離(d_m 、 d_G 、 θ_G の積)の時系列データ

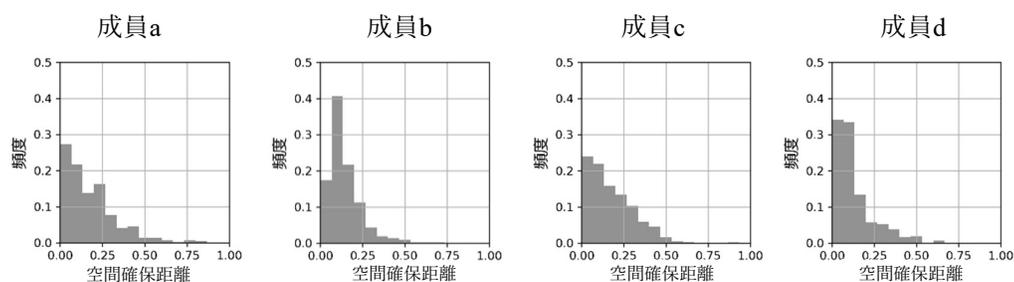


図 64 空間確保距離(d_m 、 d_G 、 θ_G の積)のヒストグラム

つづいて、図 63の時系列データから特徴的な状況を幾つか挙げ、実際の動画の内容を比較する。また、対象者が動いていたかを確認するために加速度のデータを付加した。図中の①において、空間確保距離が一時的に大きくなっている。その後②の30秒以上にわたって、空間確保距離がほとんど変化していない。③は空間確保距離が最も大きくなり、④は空間確保距離が60秒以上にわたり小さな値が続いた。

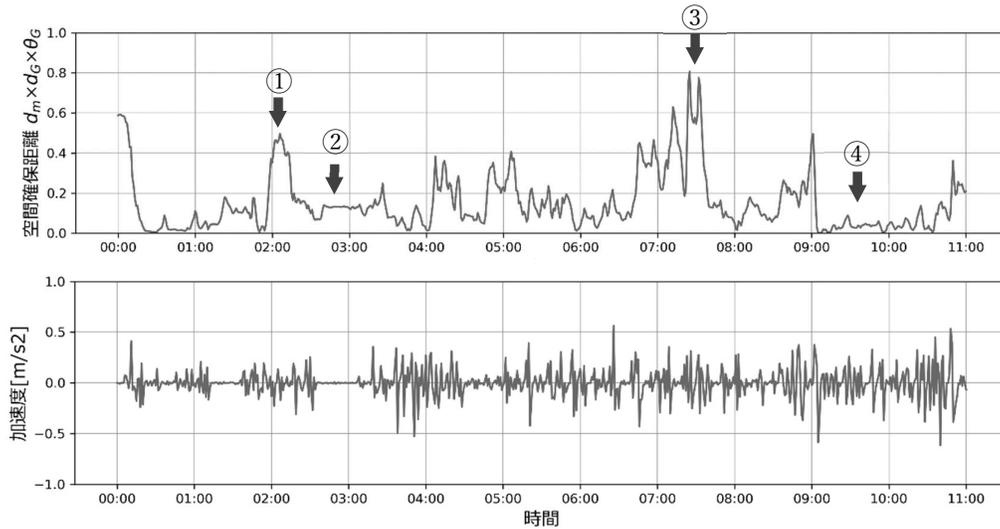


図 65 時系列データ中の特徴的な状況と加速度の時系列データ

各状況に対応した動画の場面を図 66 に示す。図中矢印が対象の成員である。動画をみると①の状況ではスマートフォンでダンボールベッドの部品を撮影していた。②の状況ではダンボールベッドの部品の紐を解く作業をしていた。③の状況では、スマートフォンで作業の様子を撮影していた。④の状況では、ダンボールベッドの組立手順が書かれた説明書を読んでいた。加速度との対応については、②において加速度は小さかったが、同様に空間確保距離に大きな変化が見られない④においては加速度が変化していた。

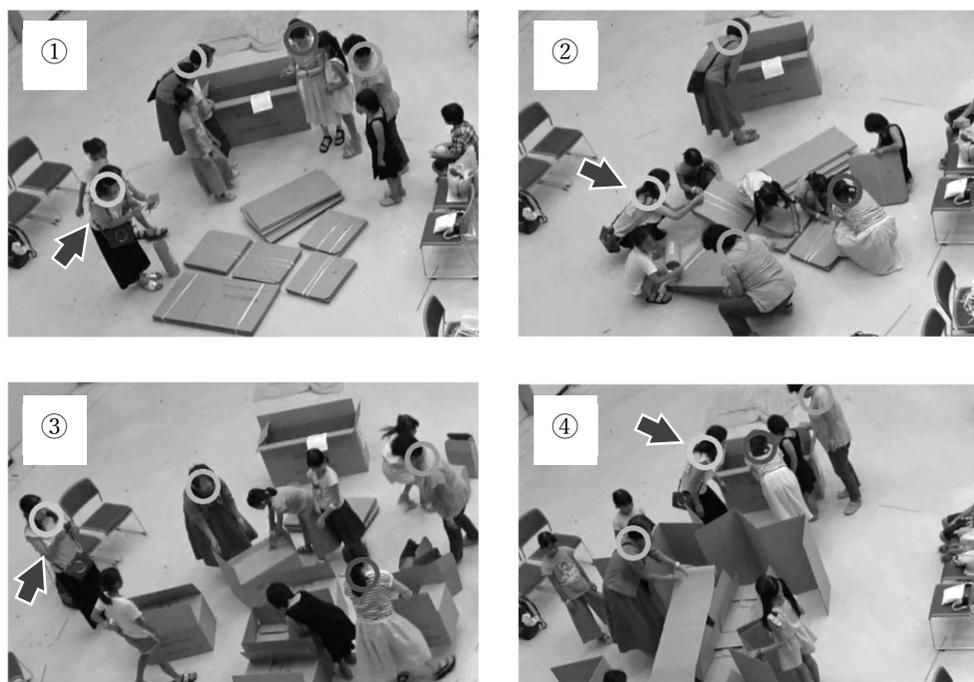


図 66 空間確保距離に特徴が見られた動画の場面

①と③においては、スマートフォンによる撮影のために集団から離れていたことが分かった。また②においては、作業のために空間確保距離が変化せず、また加速度も小さかったことが分かった。④においては、ダンボールベッド組立作業の最終工程において、他の成員と共に説明書の内容を確認しながら作業を進めていたため空間確保距離が小さく、また加速度が大きくなっていたことが分かった。

このように、 d_m 、 d_G 、 θ_G の積によって作られた空間確保距離は、実際の作業中の行動や工程をある程度反映したものとなっていた。

3.2.5.4 課題

本検討では、動画解析結果を空間確保行動の観点から解釈し、時系列データとヒストグラムから空間確保行動の量的な比較考察プロセスを辿ることでその実用可能性を検討した。検討において、成員の行動や集団作業における工程をある程度反映した量を得ることができたが、生態学的分析としての実用的な水準には程遠いと考える。これは、今回対象とした動画の内容が複雑であったことと、各状況においてチーム内の成員がどう感じていたかが分からないことが理由として挙げられる。

今後は、より単純化された状況において解析を行うことで、状況と d_m 、 d_G 、 θ_G の対応を調査する必要がある。また、生理指標との対応を見ることによって、各状況でどう感じたかという量的なデータとの比較が可能になると考える。

3.3 行動-生理指標-心理尺度の相関把握のための実験設計

3.3.1 目的

ここまで、3.1 節において深層学習を用いた動画解析によって行動を測定、量化する方法を構築し、さらに3.2 節ではその成果を用いて行動の量化方法を検討した。本節ではここまでの成果と検討結果を踏まえ、量化された行動と生理指標、心理尺度との相関等の関係を把握するための実験設計方法の構築を目的とする。

自然科学における実験においては、着目した因子による現象への影響を正確に観測または測定するために、統制された環境を構築することが実験設計において重要視される。たとえば、ある刺激が自律神経系に及ぼす影響を調査するために心拍を使用する場合、心拍に影響を及ぼす他の因子(2.3.1 節)は、できる限り取り除かれる。

一方で、応用的な領域においては、実際の生活環境や作業の状況そのものを複合的な因子と見なすため、統制と同等に実際の環境や状況を再現することを尊重する。たとえば、1.1.3 節でも言及したレジリエンスアシストサービスの可能性調査(FS)においては、避難所内の空気室が避難所利用者に及ぼす影響を測定するために、室内の温湿度を統制しつつ複数の被験者を同じ空間に入れ、自由な行動や会話を許可した上で、その会話量や行動量の計測と、唾液中のコルチゾールの測定を行った^[18]。応用的な研究における実験では、結果が多くの因子の影響を受けているため、被験者個人毎に実験を行った結果を被験者毎に正規化した上で、回帰的に因子の影響を評価する方法が採られる^{[77][78]}。ただし信頼性の高い結論を得るには多くの被験者によるデータの蓄積が必要となるため、1回あたりの実験コストを小さくすることが重要となる。そこで、実験コストを小さくするためにコミュニケーションの状況を単純化する必要がある。

3.3.2 ストレス

本研究では、災害避難所におけるコミュニケーションに関わるストレスを推定することを目的に、心拍の測定と心拍数(HR)による評価を実施した。

レジリエンスアシストサービスの可能性調査(FS)では、被災によるストレスを、被災による急激な環境の変化によってもたらされる急性ストレスと、災害避難所での生活によってもたらされる慢性ストレスに分類したうえで、それぞれのストレスを軽減するための方針が提案されている^[18]。本研究ではこのうち慢性ストレス、とりわけ、避難所での人間関係によってもたらされるストレスに着目した。コミュニケーション支援によって促進される災害避難所における助け合いのコミュニティ(1.1.5 節)の形成は、慢性ストレスの軽減に寄与すると考えられる。

3.3.3 方法

3.3.3.1 状況の単純化

実験設計にあたっては、実際の災害避難所で生じ得る状況を想定したものであること、被験者にThoughtless Actsが生じる余地を残すこと、心拍測定のために静止する条件を設けることを設計要件とした。ただし3.2 節のワークショップのように、あまりに自然な

行動は状況を過剰に複雑にし、実験コストも大きくなるため一定の単純化が必要である。ただし、パーソナルスペース研究における停止距離法のような、遠方から人が少しずつ真正面から接近して来る状況は避難所生活においてはあまり想定できない。そこで本研究では、ダンボールベッド組立作業中に起き得る状況を単純化した行動を実験に導入することとした。実験では図 67のように、f-Formationで静止する3人の被験者と、その周囲でダンボールベッドの部品を運ぶ被験者の行動とHRV指標を解析することとした。

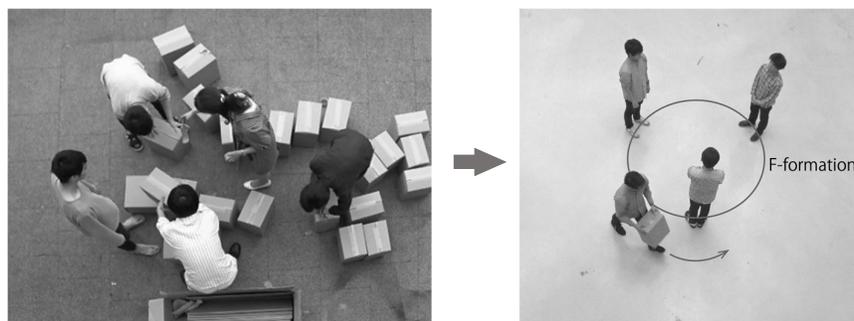


図 67 ダンボールベッド組立作業の単純化

なお、ダンボールベッド組立作業においては、実際にはf-Formation以外のフォーメーションも発生する。あるいはお互いが全く関わりあわず、フォーメーションが形成されることなく個別に作業を進める可能性もある。2.1.5 で紹介したエレメントやギャザリングを実験に導入することも選択肢として考えられるが、エレメントにおいては偶然同じ対象を向いているだけで実際には関わりあっていない状況が発生しやすい。また、ギャザリングは多くの人の参加が必要となるため実験には不向きと考え、本研究ではf-Formationに着目することとした。

3.3.3.2 実験手順

本実験は九州大学大学院芸術工学研究院の実験倫理委員会により承認（承認番号317, 令和元年5月29日承認）を得た上で、事前に実験同意を得た健康な男子大学生、大学院生6名(年齢: 20～23歳、身長: 165.5～178cm、前日飲酒を制限)を対象に実施した。1回の実験には4人が参加し、うち1名は被験者への教示を補助するための実験協力者とした。

本実験では図 68のように、3名が形成したf-Formationに対して4人目の被験者(以降は移動者とよぶ)がr空間内を空のダンボール箱(310×220×350mm、280g)を持って各地点で箱を置いて1分間立位静止しながら移動し、最後にo空間に進入する課題を設定した。

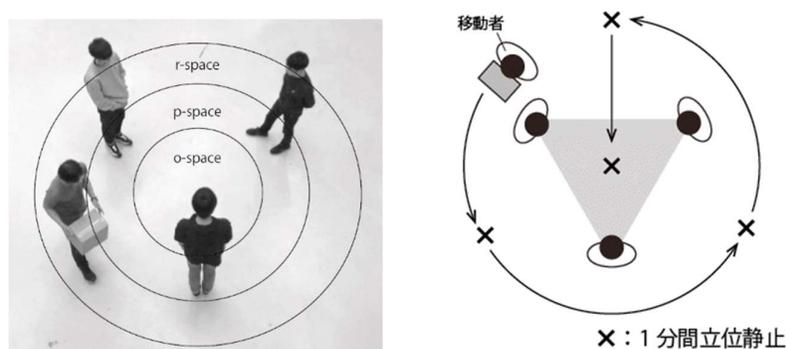


図 68 f-Formationの3つのスペースと被験者の経路

RRIは全被験者について、歩行移動中や休憩時間も含め連続的に測定した。測定にはPolar社製H10のRRI測定モードを使用し、データ記録にはPolar社製V800を使用した。解析にあたっては、被験者の静止中のデータを抽出した。解析対象の条件は、移動者がr空間で立位静止するr条件、移動者が対面にいるp(対面)条件、移動者が横並びにいるp(横並び)条件、移動者がo空間で立位静止するo条件の4条件とした。

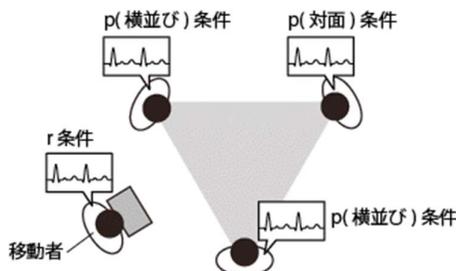


図 69 測定条件

図 70に実験見取り図を示す。本実験の実施にあたり、事前に、被検者にf-Formationの立ち位置を指示するためのマーキング(A, B, C)を行った。ABC点間距離は、日本人の成人2人が同時に腕を伸ばしたときに手が触れ合う限界の距離を想定し、日本人の指極長^[43]から1.8mに設定した。これは2.1.4で紹介したHallによる個体距離の遠方相と社会距離の近接相の境界の定義に基づいており、社交的な会話や共同作業に用いられる距離である^[42]。また実験空間として6m四方の正方形内に物が置かれないようマーキングを行った。この距離は、被験者の歩行移動に支障なくかつ俯瞰撮影が可能な範囲から設定した。

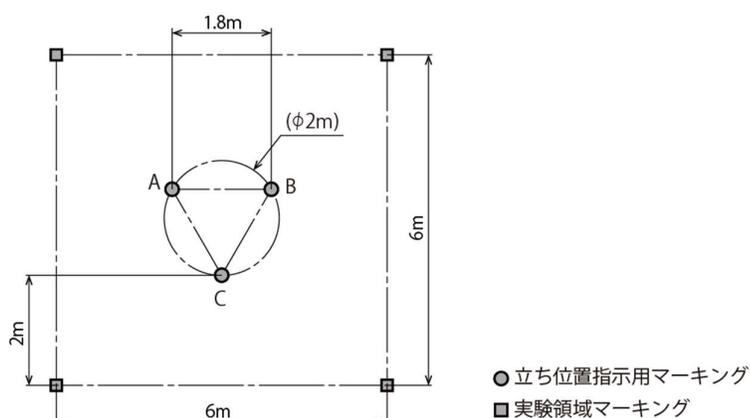


図 70 実験見取り図^[72]

図 71 に実験プロトコルを示す。本実験では各被験者が周囲を歩行移動する役を交代しながら順番にタームを実施し、全員が周囲の移動を2回ずつ実施した。課題(練習)とは、実験協力者による課題の実施である。実験協力者は予め内密に実験プロトコルの詳細な説明をうけ、被験者3人に対する手本として最初のタームで周囲を移動した。被験者が箱を置く位置が実験協力者の影響を受けることを想定して、1回目のタームでは空間のなるべく外側に、2回目のタームでは空間のなるべく内側で静止するように指示した。

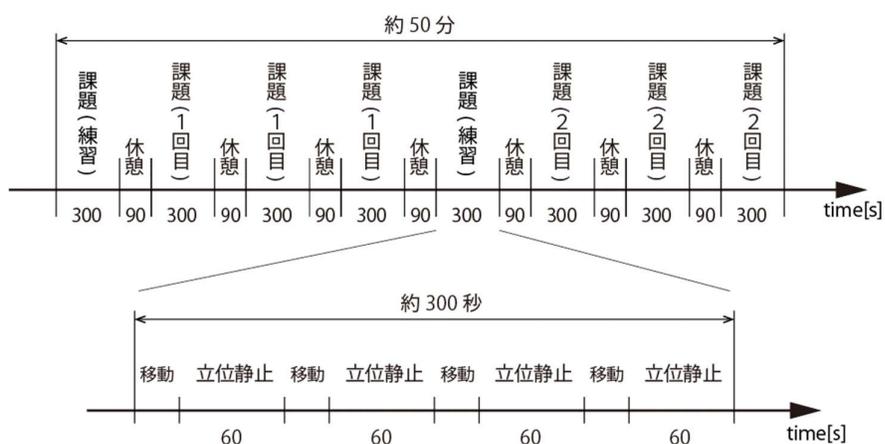


図 71 被験者の立ち位置・経路と実験プロトコル

歩行移動の距離は、被験者の空間確保距離によって前後するがおよそ3m程度である。また静止時間については実際のコミュニケーションの状況を尊重し、移動者が立位静止の前にダンボール箱を床に置き、立ち上がって完全に静止してから1分間の立位静止を開始し、1分間が経過した後に箱を持ちあげて移動を開始した。解析にあたっては前後3秒間を除外し、54秒間のデータを使用したため、心拍数(HR)を指標として用いることとした。ただし本研究では試験的に、RRIのLFが0.04~0.15Hz(25~7秒周期)であることを念頭に置き、LPによるHRV指標の算出も実施し、結果を付録に掲載することとした。

3.3.3.3 性格特性質問紙検査

質問紙検査は実験同意書の記入後、教示前に実施した。検査項目はBigFive尺度短縮版^[62]と状態・特性不安検査(STAI)^[64]を使用し、さらに事前期待に関するアンケートを実施した。アンケートはサービス品質を測定するために開発された尺度であるSERVQUAL^[75]を参考に作成した。本実験ではサービスの授受は発生しないが、他の実験参加者の自身への態度に対する期待として、本実験ではSERVQUALにおける5つの項目のうち確信性(Assuarance)と共感性(Empathy)に対応する質問項目を独自に設定した。回答は、1：まったくそう思わない～4：どちらでもない～7：強くそう思う の7段階で得た。事前期待の質問項目を表 14に示す。

表 14 事前期待の質問項目

No.	項目	分類
1.	ほかの実験参加者はあなたに注意を払ってくれる	共感性
2.	あなたはほかの実験参加者に興味を持つようになる	共感性
3.	ほかの実験参加者はあなたの意図を理解してくれる	共感性
4.	ほかの実験参加者は困ったとき助けてくれる	共感性
5.	ほかの実験参加者はお互いに誠実である	確信性
6.	ほかの実験参加者は頼りになる	確信性
7.	ほかの実験参加者は礼儀正しい	確信性
8.	ほかの実験参加者とは安心して接することができる	確信性

また、過去に同様の実験を経験しているか、今回の実験参加者の中に友人や知り合いがいるか、初対面の人と会話をする頻度、普段の運動習慣等について回答を得た。

3.3.3.4 空間確保距離測定

空間確保距離の測定手順を図 72に示す。本実験では、3.2節における $d_m \times d_G \times \theta_G$ を空間確保距離とみなした。移動する被験者の座標を取得するために、3.1節と3.2節にひきつづきアプリケーションを使用して足元(左右の足の間中点)を自動追跡した。ただし静止している3人の中心座標は自動追跡が不要であるため手入力による固定値を使用した。

動画から距離を計測するにあたり、実験領域マーキングを目印に補正後のフレームが1200px四方となるよう透視投影変換により補正した。マーキングの距離は6mであるため、1pxはおおよそ5mmとなる。本実験では社会距離の近接層を想定しており、被験者自身の足長等によって手入力によるマーキングにも誤差が生じるため、本実験における空間確保距離の自動追跡の許容誤差は30px(0.15m相当)未満とした。精度評価については、各被験者6名の歩行移動中のフレームから均等に1秒間隔で抜き出した354枚を対象とし、その90%ile値が誤差0.15m未満のフレームであることを基準とした。

撮影にはSONY社製FDR-X3000を使用した。透視投影変換は次の式で表され、変換前

後の4点の x, y 座標の対応が既知のとき、透視変換行列の8つの未知数が求められる。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = s \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

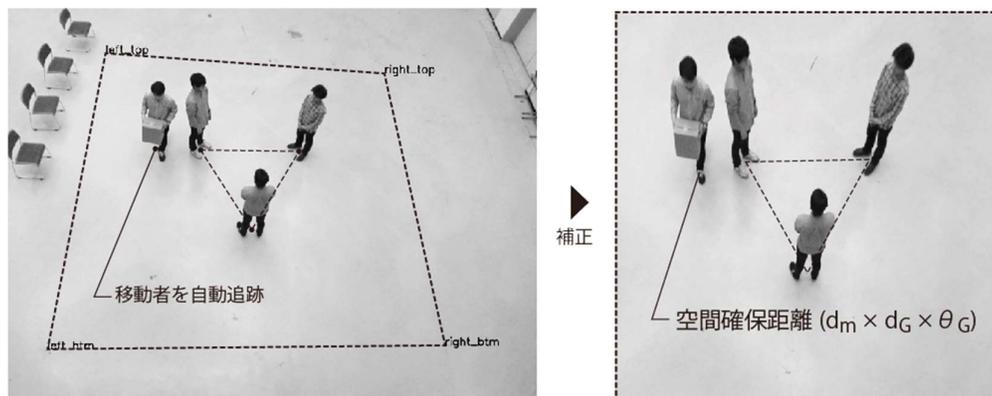


図 72 遠近補正と空間確保距離^[73]

3.3.3.5 相関分析

本研究では、多くの因子（性格特性や $r \sim o$ 条件）から将来有望そうな因子の候補を検討することと、第4章で後述する将来的な実験方法に繋げることを意図して、正規化と回帰による方法を採用することとし、試験的に6名の被験者のHRとHRV指標を正規化し、回帰（単回帰）によって性格特性や行動との比較を行った。

本研究では、実験で得たRRIの逆数をHRとした。HRに対し、 o 条件、 p 条件（対面）、 p 条件（横並び）、 r 条件すべてのHRの平均が0、分散が1となるように正規化を行い、残差の絶対値が標準偏差の1.5倍以上となる結果は外れ値として解析の対象から除外した。

また本研究ではHRのほかに、HRV指標についても算出を行った。HRV指標は、ToichiによるCSI（交感神経活動指標）とCVI（副交感神経活動指標）、豊福によるS（楕円の面積）と m （楕円の重心）を用いた。HRV指標についても同様に、各指標の平均が0、分散が1となるように正規化を行った。

各実験参加者のHRV指標と性格特性、空間確保行動の相関分析を行った。相関分析の組み合わせを表15と表16に示す。

なお質問紙検査結果に対してその値の分布の範囲が1.00以下だった項目については、相関検討が困難であるため比較対象から除外することとした。

表 15 相関分析の組み合わせ(f-Formation)

		o条件		p対面条件		p横並び条件		r条件	
		HR	HRV指標	HR	HRV指標	HR	HRV指標	HR	HRV指標
BigFive	外向性	<p style="text-align: center;">解析方法</p> <p>実験により得られたデータ(n=6)に対し、各条件におけるHRとHRV指標（豊福のS, mとToichiのCSI, CVI）と性格特性の単相関分析（スピアマンの順位相関係数ρ）</p>							
	誠実性								
	開放性								
	調和性								
STAI	状態不安								
	特性不安								
事前期待	事前期待(共感性)								
	事前期待(確信性)								

表 16 相関分析の組み合わせ(空間確保距離)

		空間確保距離							
		生理指標 (r条件)	HR	<p style="text-align: center;">解析方法</p> <p>実験により得られたデータ(n=6)に対し、空間確保距離とHR、HRV指標（豊福のS, mとToichiのCSI, CVI）、また同じく空間確保距離と性格特性の単相関分析（スピアマンの順位相関係数ρ）</p>					
BigFive	HRV指標								
	外向性								
	誠実性								
	開放性								
STAI	調和性								
	状態不安								
事前期待	特性不安								
	事前期待(共感性)								
	事前期待(確信性)								

3.3.4 結果

3.3.4.1 質問紙回答

性格質問紙検査結果を表 17に示す。得られた回答のうち実験参加者間で分布の範囲が1.00以下の項目は、確信性に対する事前期待と状態不安の2項目であった。

表 17 質問紙検査結果

項目	平均	最小	最大	分布範囲
誠実性	3.50	1.71	4.86	3.15
開放性	4.64	3.83	5.17	1.34
調和性	4.25	3.00	5.50	2.50
外向性	4.40	3.00	6.20	3.20
情緒不安定性	4.63	3.00	5.80	2.80
状態不安	1.58	1.45	1.85	0.40
特性不安	1.91	1.40	2.80	1.40
事前期待(共感性)	4.51	3.75	5.50	1.75
事前期待(確信性)	5.35	4.75	5.75	1.00

また性格特性質問紙検査と同時に実施したアンケートの結果を表 18に示す。本実験においては、被験者同士で面識があった者と、誰とも面識がなかった者が混在していた。また、普段見知らぬ人と会話をする機会についてもまちまちであった。また日歩行または同等の身体活動を1日1時間以上実施している者としていないものは混在していた。

表 18 アンケート回答結果

	大学の実験に被検者として参加するのは初めてですか？	今回の実験のように、複数人が同時に参加する実験は初めてですか？	本日はあなたの他に3名の実験参加者がいます、この中に友人や知り合いはいますか？	現在、講義やアルバイト、サークル活動等で見知らぬ人と会話をする機会がありますか？
1A	過去1年以内に参加したことがある	はじめて	いない	ほとんどない
1B	はじめて	はじめて	2人いる	頻繁にある
1C	はじめて	はじめて	2人いる	毎日のようにある
2A	はじめて	はじめて	1人いる	頻繁にある
2B	過去1年以内に参加したことがある	過去1年以内に参加したことがある	2人いる	頻繁にある
2C	はじめて	はじめて	いない	たまにある

	1回30分以上の軽く汗をかく運動を週2回以上、1年以上実施していますか？	日常生活において歩行または同等の身体活動を1日1時間以上実施していますか？
1A	していない	していない
1B	している	している
1C	していない	していない
2A	していない	していない
2B	していない	している
2C	していない	している

3.3.4.2 空間確保距離の精度

歩行移動役の被験者を自動追跡した際の誤差分布を図 73に示す。縦軸は精度評価対象のフレーム354枚に占める割合で、対数軸となっている。0.15m未満の誤差は全体の92.9%であった。

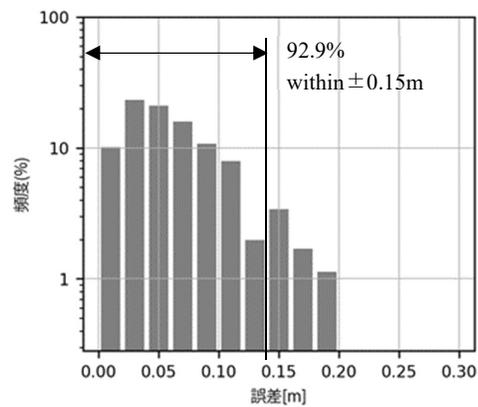


図 73 歩行移動中の空間確保距離自動追跡精度^[73]

3.3.4.3 移動中と静止中の空間確保距離の傾向

また、各被験者の歩行中と静止中の空間確保距離 $d_m \times d_G \times \theta_G$ を比較した。比較にあたっては、全成員の静止中と移動中の空間確保距離の最小値と最大値で正規化した。図 74のとおり移動中の空間確保距離は静止中よりも大きくなる結果となった。

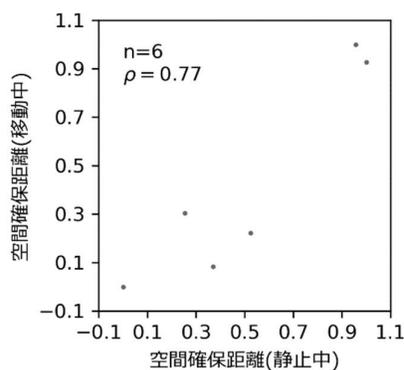
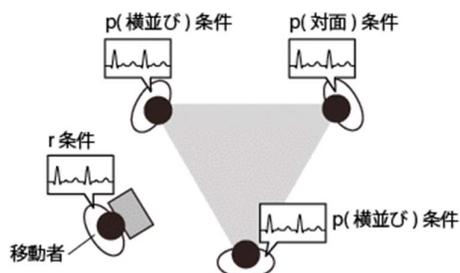


図 74 移動中と静止中の空間確保距離^[73]

3.3.4.4 HRの正規化

各被験者のHRの正規化と外れ値除外後の各条件⁹における箱ひげ図を図 75に示す。なお、本研究においては解析データ長を54秒としたことから、HRのみを考察の対象とする。HRVの結果については付録に掲載することとする。

⁹ r条件、p(対面)条件、p(横並び)条件、r条件



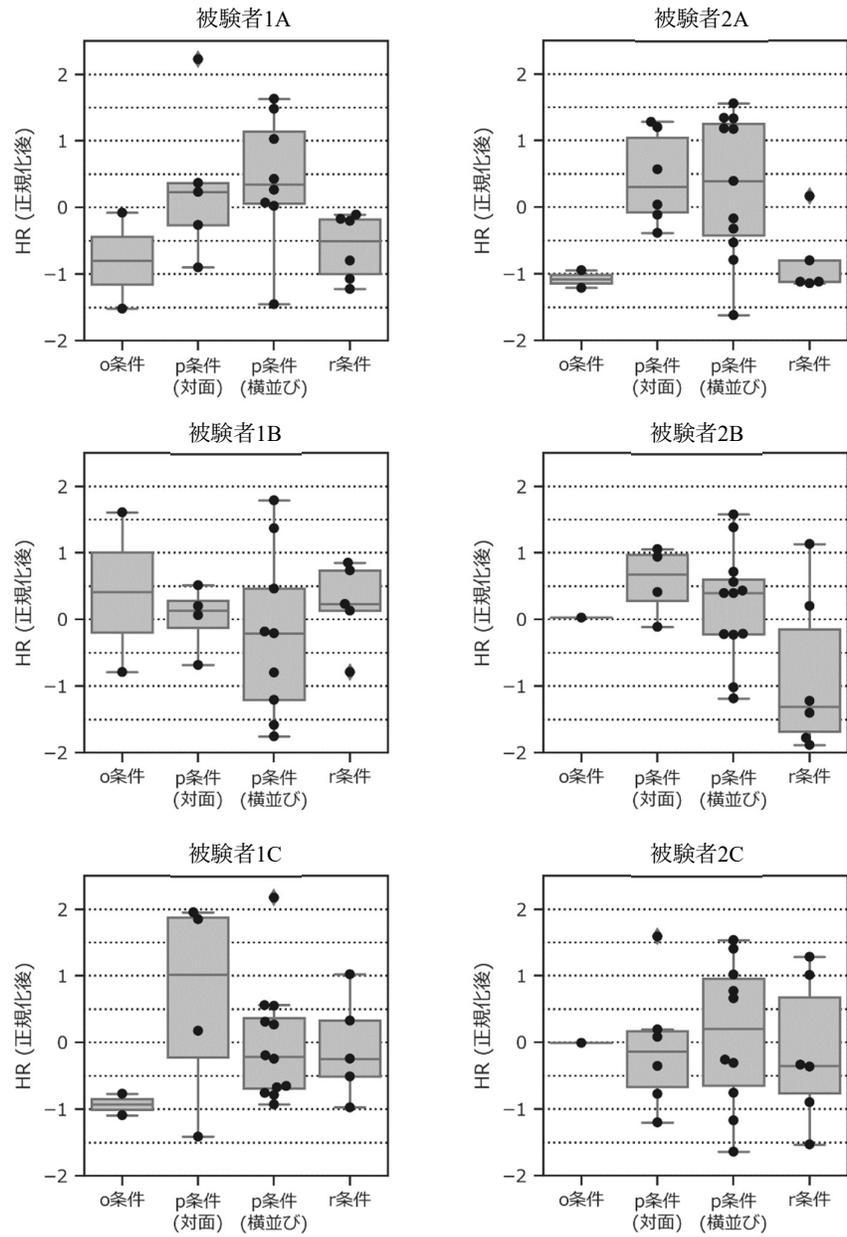


図 75 各被験者のHR(正規化後)

6名の被験者の正規化後HRをまとめた条件毎の箱ひげ図を図 76に示す。

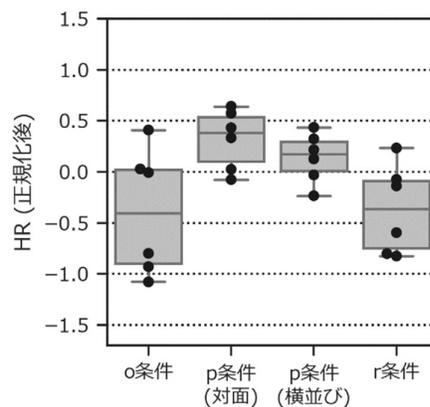


図 76 被験者6名の各条件におけるHR

3.3.4.5 相関分析

HRと各性格特性との相関分析結果を表 19に示す。HRV指標との相関については、付録に掲載することとする。

表 19 HR(正規化後)と各性格特性の相関係数

		o条件	p条件 (対面)	p条件 (横並び)	r条件
BigFive	外向性	-0.64	0.38	-0.06	0.23
	誠実性	-0.58	0.93	-0.00	-0.17
	開放性	-0.03	-0.35	-0.20	-0.03
	調和性	0.49	-0.03	0.43	-0.54
	情緒不安定性	0.03	-0.09	-0.09	-0.37
STAI	状態不安	-0.66	-0.14	0.26	-0.14
	特性不安	0.14	-0.43	0.37	-0.60
事前期待	事前期待(共感性)	0.66	-0.09	-0.49	-0.09
	事前期待(確信性)	0.06	-0.55	-0.49	0.38

参考までに、相関係数が比較的高かったp条件(対面)におけるHRと誠実性の散布図を図 77に示す。

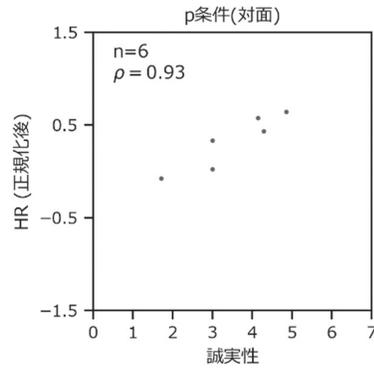


図 77 p(対面)条件におけるHRと誠実性の相関

r条件における空間確保距離と、HRならびに性格特性の相関分析結果を表 20に示す。

表 20 空間確保距離とHRならびに性格特性との相関係数

		空間確保距離との相関
生理指標	HR	-0.71
BigFive	外向性	-0.46
	誠実性	-0.06
	開放性	0.20
	調和性	0.09
	情緒不安定性	0.89
STAI	状態不安	0.43
	特性不安	0.77
事前期待	事前期待(共感性)	0.60
	事前期待(確信性)	0.12

参考までに、相関係数が比較的高かったp条件(対面)におけるHRと誠実性の散布図を図 78に示す。

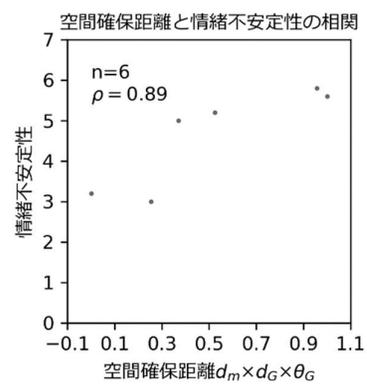


図 78 空間確保距離と情緒不安定性の相関

第4章 結果と考察

4.1 実験室実験に対する考察

第3章では、3.1節と3.2節において動画解析による行動の量化を行い、一定の精度と実用性で目標を自動追跡し、行動を量化できることを確認した。また3.3節において、生理指標と心理尺度による裏付けを行うための実験設計方法を検討した。本節では今後の実装検討に反映するために、実験のリミテーションと今後の実験設計における課題について整理する。

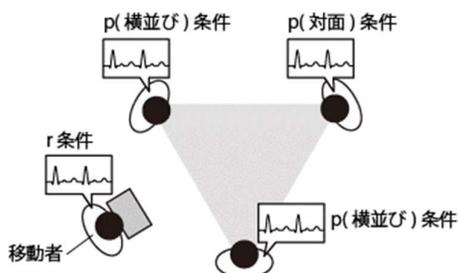
4.1.1 リミテーションと今後の課題

本実験では実際のコミュニケーションの状況の再現を尊重した結果、HRV指標の計算に必要な測定データ長を確保していない点と、被験者が移動等の運動を行っているという点でリミテーションが存在する。このほかに、HRV指標に影響を及ぼすと言われている呼吸や姿勢等の統制を行っていない。今後は実験設計を洗練させていく中で、行動のための条件と心拍測定のための条件の両立を図っていく必要がある。

また本実験では、被験者内の面識の有無や、外見的特徴に関する統制が取られていなかった。パーソナルスペース研究においては、親しい人や魅力的な他者に対するパーソナルスペースは狭くなると言われていることから^{[79][80]}、実験参加者同士の親密さや、外見的な魅力は結果に影響を及ぼす可能性がある。今後は、1名の被験者に対し残りの実験参加者を固定するか、被験者全員が初対面となるように実験条件の設定を検討する必要がある。また、人対人のコミュニケーションにおいて、相手が魅力的、威圧的外見のどちらであってもストレス反応が生じる可能性がある。そこで、2.3.2で挙げたBIS/BAS尺度のような、条件と関連がありそうな性格特性を調査に加えることも検討に値すると考える。

本研究では6名を対象に実験を実施した。今後は実験の改良を重ね、得られた結果から行動-心拍-性格特性に関連が見られる因子を検討した上で、よりリミテーションの少ない実験の設計が可能になると考える。たとえば、本実験ではp条件(対面)¹⁰におけるHRと誠実性の間に相関が見られる。さらに付録に掲載のHRV指標においても相関が見られたデータがいくつかあるため、実験設計を改良する際の参考とすることができると

¹⁰ 本実験における移動者と各条件は次のとおり



考える。また、本研究では心拍数を正規化した上で評価を実施したが、心拍数の絶対値も重要である。そのためには座位安静時等のコントロール条件を設け、各被験者の心拍数の変化量を評価する必要がある。

このほかに、急性ストレスの程度によって慢性ストレスの傾向が異なる可能性も考えられる。これらの問題については、まずは平時における慢性ストレスの知見を蓄積したうえで、急性ストレスとの関係を検討することが重要であると考えられる。

4.1.2 空間確保距離

生理指標の評価のほかに、本実験で測定した空間確保距離について考察を行う。はじめに、実験結果として得た空間確保距離1.5~1.9mの分布が、想定する母集団に対してどのあたりに位置しているかを先行研究と比較する。先行研究によると、3人の内側を向き合った集団に人が接近するとき、接近者がしばらくはこのままでよいと感じる距離の範囲は椅座位において3~4mと報告されている^[76]。これは立位の場合椅座位よりもパーソナルスペースが小さいことを考慮に入れても、実験結果の空間確保距離やや小さい範囲に分布したと言える。考えられる理由として、本実験では集団の周囲を移動するというタスクの性質上、あまり集団から離れすぎると移動距離が長くなるため空間確保距離は比較的集団に近い範囲に引き寄せられていた可能性がある。また、本実験では実験領域が6m四方であったため、3m以上の空間確保距離を取ることに抵抗を感じ得るといふ実験環境の制約も一因していると考えられる。

なお、対象を集団ではなく個々の成員に対するパーソナルスペースとして注目したとき、しばらくはこのままでよいと感じる距離の範囲は相手が後ろ向きときは立位にて1~2mと報告されている。本実験での最も近い成員との距離は1.3~1.6mの範囲であり、先行研究の範囲と一致した^[44]。このことから、本実験では周囲を移動していた被験者が対集団としての空間確保をおこなっていなかった可能性も考えられる。これは、本実験系において中央の3人の集団に排他的な性質を与えていなかったこと、たとえば、集団内で会話をさせるなどのコミュニケーションがなかったことが原因と考えられる。

以上より、実験系で考慮すべき点を整理すると、①実験ターム開始時は集団から離れたところから歩行を開始させる等の、空間確保距離が小さくまとまらないようにする工夫が必要であり、またそのためにも②実験領域は8m四方以上確保することが望ましい。③つづいて、中央の3人には何か課題を与え、集団がより排他的な性質を帯びるよう工夫することも検討するべきである。

4.2 実装の検討

4.2.1 防災教育活動の設計検討

本節では、本研究においてここまで実施した調査や検討の結果をもとに、レジリエンスデザイン方法における実装の検討を行う。実装の対象として、はじめに地域コミュニティの交流の場であり、基礎データを収集する機会でもある防災教育活動に着目する。

防災教育活動と実験や分析による基礎データ収集、地域住民との関係を図 79に示す。防災教育活動を活用して実験や分析を行い、データを蓄積することで、地域住民はレジリエンスアシストサービスを受けることができるようになる。また、参加者は防災教育活動に参加することで知識や情報、交流の他にも、基礎データ収集へ協力することによる地域貢献も可能となる。

3.2 節で実施したワークショップ中の行動の量化方法検討はその一例となるが、ここでは改めて基礎データ収集を念頭に置いた防災教育活動の設計プロセスを検討する。

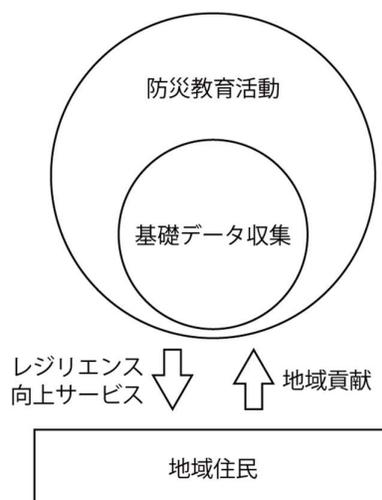


図 79 防災教育活動と基礎データ収集

ここでは、仮に表 21のような防災教育活動を企画することとし、設計要件について記述する。

表 21 防災教育活動の内容

項目	内容
主催	塩原公民館
日時	2020年2月×日 日曜日 12:00～14:00
行事名	災害現場で頼られる 非常食の選び方
対象者	塩原校区住民（高校生以上）
人数	16～20名程度
講師	九州大学〇〇研究室
アンケート	住所氏名・年齢 BigFive・STAI・BIS/BAS

1. 主催

防災教育活動は、地域コミュニティの交流を促す効果も期待されている（1.1.4節と3.2.2節）。したがって参加者はできる限り狭い範囲から募ることが望ましい。一方で、普段から交流がある人同士が集まるのでは交流の効果が見込めないため、特定のコミュニティを抱える学校や団体よりも、公民館のような機関が相応しいと考えられる。また、公民館は指定避難所（1.1.5節）であることが多いため、発災時の避難先を住民が知る機会にもなる。

2. 行事名

大学生や会社員、単身者、外国人のように、地域との交流の機会が比較的少ない人であっても、被災時には避難所を利用する可能性は他の住民と変わらない（1.1.5節）。したがって、そのような人が参加しやすい実施内容を検討することが重要であると考えられる。ここでは「頼られる」「非常食」というキーワードを入れることで、被災時における社会的な役割を想起させる行事名を想定した。

3. 対象者の年齢

基礎データ収集を目的のひとつとする場合、アンケートに回答する際の語彙（2.3.2節）や、心身が発達途上にある子供は対象者として適さない。また、子供がいることで大人の行動も大きく影響を受け得る（3.2節）ことから、可能な限り一定以上の年齢から募集を行うことが望ましいと考える。また、心拍測定を実施する場合は30歳（2.3.1節）を超えない年齢の住民が多く参加できるよう配慮することも重要であると考えられる。

4. 講師

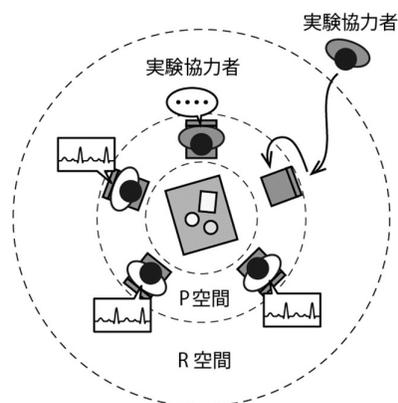
講師は大学が講師を務めることは、問題所有者を巻き込んだ参加型プロセス（1.1.2節）としてのデザインによる大学の社会貢献として位置づけることができる。また基礎データ収集を実施するにあたっては大学が企画と進行を担当することが実務的にも適当であると考えられる。

5. アンケート

アンケートの実施により、行動や生理指標と、性格特性との相関を把握することが可能となる、また、コミュニケーションにおける面識の統制（4.1.1節）を行う場合に住所は手がかりとなる。なお、たとえば東京都荒川区では、発災時の混乱を軽減するために、事前に災害避難所の受付表を書いておく取り組みがある。このような取り組みは混乱を軽減するだけでなく、地域住民に最寄りの指定避難所を知らせることもつながる。

4.2.2 実験の設計検討

本節では、企画した防災教育活動の中での実験設計について検討する。上述の企画に一定の参加者が集まったと仮定して、図 80に示す手順の実験を想定した。企画では18人が集まったため、図のようなグループが6つ形成したこととする。健康状態や実験同意等によって参加者のうち全員が被験者になることはないものの、一度の行事で多くの被験者を集めることができる（3.2.2節）点はこの方法の特徴と言える。



- ① 講師（実験協力者）が指定した位置に被験者が着席
 - ② 講師（実験協力者）が5分間程度スピーチにより注目を集める
 - ③ スピーチ中に実験協力者がR空間に接近し、空席に座ろうとする
- ※ この間の被験者のHRV反応を調査
- ④ 実験結果の解析+保管

図 80 実験手順の概要

この実験では、f-Formationで着座した被験者が外部からの新参者を見たときの反応を調査することを目的とする。3.3節で実施した実験において、p空間で静止している被験者がr空間に立つ人の位置によって異なる反応を示し得るという結果から着想したものである。実験手順の要件を以下に示す。

1. 講師（実験協力者）が指定した位置に被験者が着席

第3章では災害避難所での状況を想定したダンボールベッド組立作業（3.1.1節）を対象に実験を設計したが、ここでは被験者が座位でいられることを優先（4.1.1節）し、非常食を題材にした企画としている。非常食が中央の小さな机に置かれ、f-Formation（2.1.5節）で座る状況を設定した。講師が着席位置を指定することで、被験者間で面識（4.1.1節）がないグループを構成することができる。

2. 講師（実験協力者）が5分間程度スピーチにより注目を集める

第3章での実験では、長時間の静止時間を自然な状況で発生させることが困難であった（4.1.1 節）。ここでは、講師がワークショップの冒頭の挨拶として5分間程度のスピーチを行うことで、自然に被験者を静止させることができる。ただし、安静座位とは言えないため比較対象としての安静条件は別途必要となる。

3. スピーチ中に実験協力者がR空間に接近し、空席に座ろうとする

スピーチ中の5分間に、R空間（2.1.5 節）で実験協力者が静止、あるいは近くを歩きまわる。この際に実験協力者は被験者に接近しすぎないように注意が必要である。着座しているためHallによる分類はそのまま当てはまらないが、1.1m以上（2.1.4 節）の空間を確保することが望ましい。

4. 実験結果の解析+保管

この実験において、動画撮影と解析は不要に思われるが、撮影と自動追跡を行うことで実験の解析コストを低減させることが可能となる。HRまたはHRV指標を解析する際、測定開始から何分経過したところで実験協力者がスピーチを開始したかを把握する必要がある。実験室実験では測定系の同期が可能であるが、公民館のような場所で同時に多人数を対象に測定する場合は心拍測定に使用できる機材も制限を受ける。そこで、実験協力者の着座時刻から解析対象の時刻を算出することに着目する。実際に、3.3 節で実施した実験では、その方法により解析対象の時刻を算出している。また、このとき撮影した動画は人物追跡のための教師データ（2.2.2 節）として活用することが可能である。

4.2.3 レジリエンスアシストサービスの設計検討

ここまでの検討により、災害避難所でのコミュニケーションを支援するための基礎データ収集が実現したと仮定して、発災時における災害避難所でのレジリエンスアシストサービスの設計について検討する。

警固断層帯南東部を震源とする地震が発生した場合、塩原公民館の付近一帯における震度は6強に至ると予測されている。本研究で仮定されている塩原公民館では、平時からの防災教育活動によって塩原公民館が指定避難所であることを知っていた住民が早い段階で塩原公民館を訪れた。一方で熊本地震の際にも指摘された（1.1.4 節）ように、九州地方は地震が少ないために、防災対策が万全でなく中長期にわたり自宅での生活が困難になる世帯も多いと考えられる。

レジリエンスアシストサービスは次のように運用される。以下はあくまでも仮定に基づく運用の想定である。

1. 避難所利用者の受付

指定避難所となっている塩原公民館では、物資配分や安否確認等の目的で避難者名簿^[74]が作成される。レジリエンスアシストサービスでは、避難者名簿への記載時に性格特性質問紙への回答と、防犯カメラによる個人識別情報のデータベース登録を行う。ただし利用者が平時の防災教育活動に参加していた場合は既に情報が記録されているため、手続きなしで避難所を利用することができる。これらの情報は同様のシステムを備えた近隣の塩原小学校や宮竹中学校とも共有されているため、防災教育活動の参加対象でなかった子供の情報も短時間で取得が可能となっている。

2. コミュニケーションモニタリング

災害避難所での生活が始まると、施設内に設置された防犯カメラに接続されたシステムはコミュニケーションの単位としてf-Formationを探索（2.2.4 節）し、f-Formation内の人の出入りを記録する。システムは各成員の性格特性を参照することができ、f-Formationとその付近の人の行動から、ストレスを感じる状況を検出することが可能である。このような高精度な個人追跡は、平時に実施していた基礎データ蓄積における豊富な教師データを用いた深層学習によって実現されている。

3. 行動のリアルタイム分析

今しがた避難者名簿への登録を済ませた避難者利用者A氏が、ダンボールベッドの組立て作業に参加しようと集団へ接近する。一方ダンボールベッドの組立てに従事していた参加者の一人であるB氏が、こちらに近づいてくるA氏に気づく。レジリエンスアシストサービスはB氏が気づくよりも前にこの状況をモニタリングしており、B氏の性格特性に基づいて推定ストレスを加算する。

4. 支援通知

A氏がなかなか作業に参加できず、B氏もA氏に声をかけられないような状況が継続した場合、レジリエンスアシストサービスがB氏の推定ストレスを評価し、事態の打開を避難所の運営者等に提案する。このように、災害避難所におけるコミュニケーションを円滑化し、被災地のコミュニティ形成を支援することでレジリエンスの向上を実現する。

実際には、動画データの個人情報保護対策や、防犯カメラの設置等実務的な課題が残されている。本研究では自動追跡のための深層学習を実施するアプリケーション(3.1 節)と、行動解析や生理指標、心理尺度との相関を計算するソフトウェアを開発した。

第5章 総括

第1章では、はじめにレジリエンスとデザインの歴史的概要を記述し、その意味するところを確認した上でレジリエンスデザインの事例を紹介した。つづいて、地区防災計画制度、災害避難所についてそれぞれ事例を交えながら詳述し、生態心理学的分析の意義を説明した。また、レジリエンスデザイン方法の構築のために、行動-生理指標-心理尺度の相関等の関係を把握する必要があることを述べた。

本研究では主として地震災害における避難所を想定してきた。地震災害では避難所内での生活が問題となる場合が多いが、たとえば台風による風水害においては、避難行動の遅れが問題として指摘されている^[81]。今後、防災教育活動中の行動や性格特性から避難行動に対する意識を推定することが可能になると、将来の応用範囲が拡張されると考えられる。

第2章では、デザインにおけるThoughtless Actsという概念の登場とアフォーダンス理論の導入によるデザイン方法論の進展について述べた後、心拍の測定と分析、性格特性、動画解析技術の既往研究事例と各領域の課題について記述した。

本研究では天井に設置した俯瞰カメラを想定し、空間確保行動に着目したが、センシングデバイスの進歩によって、人々のより細かい仕草や視線を測定できるようになる可能性がある。コミュニケーション行動は人対人の位置距離関係だけでなく、肘をつく、足を組むと言った個人の仕草をも含んだ概念であるため、このような測定手段の充実によって今後研究領域が拡大すると考える。

第3章では動画から物体を自動で追跡するためのアプリケーション開発とその評価を、眼瞼運動の動画を使用して行い、行動の量化にも応用した。行動の量化にあたっては動画解析によって得た人の座標データに対し、距離や位置関係を表現する数値に変換する計算式を用いて時系列データ等によって視覚的に比較するプロセスを検討した。さらに、生理指標の計測を取り入れた実験を計画実施し、デザイン方法としての実験プロセスを検討した。

第4章では実験におけるリミテーションを中心に今後の課題について整理を行ったうえで、一連の調査検討や実験によって得られた知見に基づき、平時からの防災教育活動やその中での実験、発災後のレジリエンスアシストサービスの運用について検討を行った。

本研究は対象に災害避難所を想定しているが、今後研究がさらに進むことで得られる成果は、避難所に留まらず平時の生活にも転用が可能であると考えられる。たとえば災害避難所は、平時には公民館や学校である場合が多い。学校での学童や生徒、学生のコミュニケーション行動は、災害避難所におけるそれと慎重に比較する必要はあるが、本質的には空間確保行動やf-Formationのような概念で説明が可能なものと考えられる。

このように、本研究の発展に加え、今後想定される関連研究の進歩や技術的な進歩により、本研究におけるレジリエンスデザイン方法はその応用の範囲を拡大させることが

第5章

できると考える。

参考文献

見出しは初出の章

第1章

- [1] Oxford University Press (1998), “The New Oxford Dictionary of English”
- [2] C.S.Holling (1973) “Resilience and Stability of Ecological Systems”, *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol.4, pp.1-23
- [3] 石原由紀子, 中丸澄子 (2007) 「レジリエンスについて：その概念, 研究の歴史と展望」, *広島文教女子大学紀要*, Vol.42, pp.53-81
- [4] 佐藤暁子, 金井篤子 (2017) 「レジリエンス研究の動向・課題・展望—変化するレジリエンス概念の活用に向けて—」, *名古屋大学大学院教育発達科学研究科紀要*, Vol.64, pp.111-117
- [5] Horne, J.F., III, Orr, J.E. (1998) “Assessing behaviors that’s create resilient organizations”, *Employment Relations Today*, Vol.24, No.4, pp.29-39
- [6] M.Bruneau, S.E.Chang, R.T.Eguchi, G.C.Lee, T.D.O’Rourke, A.M.Reinhorn, M.Shinozuka, K.Tierney, W.A.Wallace, D.von.Winterfeldt (2003) “A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities” *Earthquake Spectra*, Vol.19, No.4, pp. 733-752.
- [7] 一藤裕, 曾根原登, (2012) 「Webデータ駆動型の社会システムレジリエンス評価のための可視化手法」, *電子情報通信学会論文誌D*, Vol.95, No.5, pp.1100-1109
- [8] 内閣官房 (2013) 「英国・米国における「強靱化（レジリエンス）」に向けた取り組み」, *ナショナル・レジリエンス(防災・減災) 第1回懇談会 配布資料3*
- [9] Sir Michael Pitt (2008) “Learning lessons from the 2007 floods”, *The Pitt Review*
- [10] Fran H. Norris, Susan P. Stevens, Betty Pfefferbaum, Karen F. Wyche, Rose L. Pfefferbaum (2008) “Community Resilience as a Metaphor, Theory, Set of Capacities, and Strategy for Disaster Readiness”, *Am J Community Psychol*, Vol.41, No.1-2, pp.127-150
- [11] UN Office for Disaster Risk Reduction (2017) “UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction”
- [12] A.ゾッリ, A.M.ヒーリー, 訳: 須川綾子 (2013) 「レジリエンス 復活力—あらゆるシステムの破綻と回復を分けるものは何か—」, *ダイヤモンド社*
(A.Zolli and A.M.Healy (2012) “RESILIENCE: Why Things Bounce Back”, Free Press)
- [13] Cross, N. (1993) "A History Of Design Methodology", in de Vries, J., N. Cross and D. P. Grant (eds.), *Design Methodology and Relationships with Science*, The Netherlands. Springer, Dordrecht, Vol.71, pp.15-27
- [14] J.Christopher Jones, 訳: 池邊陽 (1973) *デザインの手法: 人間未来への手がかり*, 丸善株式会社, pp.310-315
- [15] 水野大二郎 (2014) 「学際的領域としての実践的デザインリサーチ: デザインの、デザインによる、デザインを通じた研究とは」, *KEIO SFC JOURNAL*, Vol.14, No.1, pp.62-80
- [16] 小木和孝 (1970) 「ヨーロッパにみる人間工学の動向」, *人間工学*, Vol.6, No.4, pp.167-173
- [17] Horst W.J.Rittel, Melvin M. Webber (1973) “Dilemmas in a General Theory of Planning”, *Policy Sciences*, Vol.4, No.2, pp.155-169
- [18] 綿貫茂喜, 藤智亮, 尾方義人, 山田クリス孝介, 大草孝介, 能登裕子, 縄田健悟 (2017) 「未来の安心のための災害避難所に関するレジリエンスアシストサービス実装の可能性調査」, *問題解決型サービス科学研究開発プログラム 未来を共創するサービス研究開発の可能性調査 終了報告書*
- [19] 尾方義人, 西村英伍, 江頭優佳, 藤智亮 (2018) 「レジリエンスデザイン方法試論: これまでのレジリエンス研究の実績に基づいた方法論の構築に向けて」, *九州大学大学院芸術工学研究院紀要 芸術工学研究*, Vol.26, pp.15-18
- [20] 尾方義人, 劉瑾, 末村裕子 (2015) 「レジリエンスデザイン試論」, *九州大学大学院芸術工学研究院紀要 芸術工学研究*, Vol.23, pp.59-63
- [21] 西村英伍, 李東海, 尾方義人 (2018) 「被災地におけるレジリエンスデザインに関する研究—熊本地震避難所における貼紙の分析—」, *地区防災計画学会誌*, Vol.13, pp.51-65
- [22] 中央防災会議 (2019) 「南海トラフ地震防災対策推進基本計画」
- [23] 内閣府 (2014) 「平成26年版防災白書」

- [24] 西澤雅道, 金思穎, 筒井智士 (2016) 「熊本地震及び地区防災計画に関する社会的・行政学的考察」, 福岡大學法學論叢, Vol.61, No.1-2, pp.31-64
- [25] 内閣府 (2017) 「平成28年度避難所における被災者支援に関する事例等報告書」
- [26] 木村玲欧, 田村圭子, 井ノ口宗成, 林春男, 浦田康幸 (2010) 「災害からの被災者行動・生活再建過程の一般化の試み—阪神・淡路大震災、中越地震、中越沖地震復興調査結果討究—」, 地域安全学会論文集, Vol.13, pp.175-185
- [27] 山本保博 (1995) 「災害医学 と災害医療」, 日本救急医学会雑誌, Vol.6, pp.295-308
- [28] 木村玲欧 (2015) 「災害・防災の心理学 教訓を未来につなぐ防災教育の最前線」, 北樹出版
- [29] レベッカ・ソルニット, 訳: 高月園子 (2010) 「災害ユートピア—なぜそのとき特別な共同体が立ち上がるのか」, 亜紀書房
(Solnit, Rebecca (2009) "A Paradise Built in Hell: The Extraordinary Communities That Arise in Disasters." New York: Viking.)
- [30] ビヴァリー・ラファエル, 訳: 石丸正 (1989) 「災害の襲うとき」, みすず書房
- [31] ジェーン・フルトン・スーリ, IDEO, 訳: 森博嗣 (2009) 「考えなしの行動?」, 太田出版, p.137
- [32] トム・ケリー, ジョナサン・リットマン, 訳: 鈴木主税, 秀岡尚子 (2002) 「発想する会社! 世界最高のデザイン・ファームIDEOに学ぶイノベーションの技法」, 早川書房, pp.57-58
- [33] 能島暢呂 (1996) 「阪神・淡路大震災における電力・ガス施設の被害と復旧」, 安全工学, Vol.35, No.1, pp.50-56
- [34] 多々納裕一, 梶谷義雄, 土屋哲 (2005) 「新潟中越地震の社会経済的影響」, 京都大学防災研究所年報, Vol.48(A), pp. 191-202
- [35] 総務省 (2017) 「平成29年版情報通信白書」
- [36] D.A.ノーマン, 訳: 野島久雄 (1990) 「誰のためのデザイン? 認知科学者のデザイン原論」, 新曜社, pp.14-16
- [37] クラウス・クリッペンドルフ, 訳: 小林昭世, 川間哲夫, 國澤好衛, 小口裕史, 蓮池公威, 西澤弘行, 氏家良樹(2009), 「意味論的転回 デザインの新しい基礎理論」, 星雲社, pp.127-131
- [38] 日本学術会議 教育学委員会 (2017) 「提言 心理学教育のあるべき姿と公認心理師養成」, p.12
- [39] トマス・J・ロンバード, 訳: 古崎敬, 境敦史, 河野哲也 (2000) 「ギブソンの生態学的心理学 その哲学的・科学的背景」, 勁草書房

第2章

- [40] 南博, 犬田充, 他 (1970) 「行動の科学」, 至文堂, pp.11-12
- [41] レイ・オルデンバーク, 訳: 忠平美幸 (2013) 「サードプレイス コミュニティの核になる『とびきり居心地よい場所』」, みすず書房
- [42] エドワード・ホール, 訳: 日高敏隆, 佐藤信行 (1970) 「かくれた次元」, みすず書房, pp.165-181
(E.T. Hall (1966) "The Hidden Dimension", New York: Doubleday)
- [43] Pheasant (1986) "Bodyspace: anthropometry, ergonomics and design", Taylor & Francis
- [44] 高橋 鷹志, 高橋 公子, 初見 学, 西出 和彦, 川嶋 玄 (1981) 「空間における人間集合の研究: その4 Personal Spaceと壁がそれに与える影響」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1229-1230
- [45] 吉田富二雄, 小玉正博 (1987) 「生理反応・心理評定によるパーソナル・スペースの検討—慣れの過程の分析を通して—」, 心理学研究, Vol.58, No.1, pp.35-41
- [46] Kendon A (1990) "Conducting interaction: Patterns of behavior in focused encounters", Cambridge: Cambridge University Press
- [47] アルバート E. シェフレン, 訳: 桃木暁子, 竹内久美子, 日高敏隆 (1989) 「ヒューマン・テリトリー インテリア—都市の人間心理」, 産業図書, pp.141-146
(Albert E. Scheflen, Norman Ashcraft (1976) "Human Territories — how we behave in space-time", Oxford, England: Prentice-Hall)
- [48] Setti F., Russell C., Bassetti C., Cristani M. (2015) "F-Formation Detection: Individuating Free-Standing

- Conversational Groups in Images.”, PLoS ONE, Vol.10, No.5
- [49] David Held, Sebastian Thrun, Silvio Savarese (2016) “Learning to Track at 100 FPS with Deep Regression Networks”, ECCV 2016: Computer Vision – ECCV 2016 pp 749-765
- [50] Redmon J., Farhadi A. (2018) “YOLOv3: An incremental improvement.”, arXiv, 1804.02767
- [51] Lin T, Maire M, Belongie S, Bourdev L, Girshick R, Hays J, Perona P, Ramanan D, Zitnick XL, Dollár P (2014) “Microsoft COCO: Common objects in context.” ECCV: 740-755
- [52] M.Toichi, T.Sugiura, T.Murai & A.Sengoku (1997) “A new method assessing cardiac autonomic function and its comparison with spectral analysis and coefficient of variation of R-R interval”, Journal of the Autonomic Nervous System, Vol.62, pp.79-84
- [53] 豊福史, 山口和彦, 萩原啓 (2007) 「心電図RR間隔のローレンツプロットによる副交感神経活動の簡易推定法の開発」, 人間工学, Vol.43, No.4, pp.185-192
- [54] 百々尚美 (2012) 「音のテンポが自律神経系機能へ及ぼす影響」, 北海道医療大学心理科学部研究紀要 No.8, pp.7-13
- [55] 石田真二, 鹿島茂 (2016) 「心拍変動を用いた車いす使用者のストレス計測に関する研究」, 福祉のまちづくり研究, Vol.18, No.2, pp.1-9
- [56] 日本自律神経学会 (2000) 「自律神経機能検査 第3版」, 文光堂, pp.140-147
- [57] Junichiro Hayano, Emi Yuda (2019) “Pitfalls of assessment of autonomic function by heart rate variability”, Journal of Physiological Anthropology volume, Vol.38, No.3
- [58] 早野順一郎, 岡田暁宣, 安間文彦 (1996) 「心拍のゆらぎ: そのメカニズムと意義」, 人工臓器, Vol.25, No.5, pp.870-880
- [59] Adina E. Draghici1, J. Andrew Taylor (2016) “The physiological basis and measurement of heart rate variability in humans”, J Physiol Anthropol, Vol.35, No.22
- [60] Midori Motoi, Yuka Egashira, Takayuki Nishimura, Damee Choi, Riko Matsumoto, Shigeki Watanuki (2014) “Time window for cognitive activity involved in emotional processing”, Journal of Physiological Anthropology, Vol.33, No.1 :21
- [61] 村上 宣寛, 村上 千恵子 (1997) 「主要5因子性格検査の尺度構成」, 性格心理学研究, Vol.6, No.1, pp.29-39
- [62] 並川努, 谷伊織, 脇田貴文, 熊谷龍一, 中根愛, 野口裕之 (2012) 「BigFive尺度短縮版の開発と信頼性と妥当性の検討」, 心理学研究, Vol.83, No.2, pp.91-99
- [63] 村上宣寛, 畑山奈津子 (2010) 「小学生用主要5因子性格検査の作成」, 行動計量学, Vol.37, No.1, pp.93-104
- [64] 清水秀美, 今栄国晴 (1981) 「STATE-TRAIT ANXIETY INVENTORYの日本語版(大学生用)の作成」, 教育心理学研究, Vol.29, No.4, pp.62-67
- [65] De Julio S, Duffy K. (1977) “Neuroticism and proxemic behavior”, Perceptual and Motor Skills, Vol.45, No.1:51-55.
- [66] 児玉昌久, 進藤由美 (1995) 「パーソナルスペースに及ぼす特性不安の影響」, 早稲田大学人間科学研究, Vol.8, No.1, pp.15-24

第3章

- [67] 西村英伍, 元村祐貴, 勝沼り, 吉村道孝, 三島和夫, 尾方義人 (2018) 「機械学習を用いた動画解析による生体情報の自動追跡技術: 臉裂幅計測に用いた一例」, 日本生理人類学会誌, Vol.24, No.1, pp.35-45
- [68] Yuki Motomura, Ruri Katsunuma, Michitaka Yoshimura, Kazuo Mishima (2017) “Two Days' Sleep Debt Causes Mood Decline During Resting State Via Diminished Amygdala-Prefrontal Connectivity.”, Sleep, Vol.40, No.10
- [69] Lin T, Goyal P, Girshick R, He K, Dollár P (2017) “Focal loss for dense object detection.”, ICCV
- [70] 内閣府 (防災担当) (2015) 「避難所の運営等に関する実態調査 (市区町村アンケート調査) 調査報告書」
- [71] 福岡市 (市民局) (2018) 「平成30年度当初予算案等説明資料」, p.11
- [72] 西村英伍, 岸田文, 藤智亮, 綿貫茂喜, 尾方義人 (2019) 「行動と性格特性に着目したレジリエンスデザイン方法の構築—避難所での活動を想定した共同作業中の人の位置関係・心拍変動・性格特性の相関解析—」, 九州大学大学院芸術工学研究院紀要 芸術工学研究, Vol.31, pp.1-7
- [73] 西村英伍, 岸田文, 藤智亮, 綿貫茂喜, 尾方義人 (2020 i.p.) 「災害避難所運営を想定した性格・行動・ストレスモデルの構築のための実験系設計」, 産業応用工学会, Vol.8, No.1, pp.1-9
- [74] 内閣府 (防災担当) (2016) 「避難所運営ガイドライン」

- [75] Parasuraman, V.A. Zeithaml, L.L. Berry (1988) “SERVQUAL: A Multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality”, *Journal of Retailing*, Vol.64, No.1, pp.12-40
- [76] 高橋 鷹志,高橋 公子,初見 学,西出 和彦,荻谷 哲朗 (1980) 「空間における人間集合の研究: その2 集団の Personal Space」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1189-1190
- [77] 角田啓介, 千葉昭宏, 千明裕, 浦哲也, 渡部智樹, 水野理 (2016) 「心拍変動を用いた認知能力変化の推定」
情報処理学会論文誌, Vol.57, No.8, pp.1835-1844
- [78] 隅田麻由, 水本旭洋, 安本慶一 (2014) 「スマートフォンを用いた歩行時心拍数推定法」, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.1, pp.399-412

第4章

- [79] Robert Gifford (1982) “Projected Interpersonal Distance and Orientation Choices: Personality, Sex, and Social Situation.”, *Social Psychology Quarterly*, Vol.45, No.3, pp.145-152.
- [80] 野瀬出, 雨森雄哉, 中尾彩子, 松尾千尋, 山岡淳 (2005) 「パーソナルスペースへの侵入に対する心理・生理的反応 —接近者の印象による影響—」, 文京学院大学研究紀要, Vol.7, No.1, pp.263-273

第5章

- [81] 木下猛, 青柳泰夫, 伊藤孝司, 平川了治, 伊藤誠記, 安仁屋勉, 山本昌 (2010) 「風水害における避難行動に関する心理学的プロセスについての一考察」, 砂防学会誌, Vol.63, No.4, pp.4-15

謝辞

本稿は筆者が九州大学大学院芸術工学府芸術工学専攻博士後期課程に在籍中の研究成果をまとめたものです。本稿の執筆に際しご指導、ご支援、ご厚意をいただいた方々に感謝の意を表します。

本研究を進めるにあたり終始あたたかいご指導と激励を賜りました九州大学准教授尾方義人先生に心より感謝申し上げます。また同教授 綿貫茂喜先生、同教授 樋口重和先生におかれましても論文の執筆にあたりご指導ご鞭撻をいただき深く感謝申し上げます。同准教授 藤智亮先生、同助教 元村祐貴先生にも研究に関して多大なるご指導をいただきましたことを深く感謝いたします。

第1章における貼り紙調査研究では李東海氏に、第3章における研究では三島和夫先生、勝沼り先生、吉村道孝先生に、第4章における研究では岸田文氏に有益なご助言を戴きましたことに感謝いたします。また各実験、調査、解析にあたってご助言、ご協力をいただきました江頭優佳先生、藤田萌花氏、中村奈桜子氏、末吉孝氏にも深謝いたします。

私の博士課程への進学を承認、応援くださいましたサイエンスパーク株式会社の小路幸市郎氏（最高経営責任者）、川出智幸氏(最高執行責任者/最高技術責任者)、原仁俊氏(プラットフォーム開発部 リーダー)、安原彬裕氏(画像システム課 リーダー)にも心よりお礼申し上げます。第3章ならびに第4章で開発・使用したアプリケーションほか解析スクリプトの開発、作成スキルは、同社での社内教育と開発経験によって培われたものです。

さいごに、博士課程への進学と本稿の執筆にあたってご理解、応援くださいました西村亜留美氏ならびに西村每都氏に深く感謝いたします。

付録1

捕捉的資料として、3.3 節で使用した質問紙を掲載する。

今回の実験にあたり、一緒に実験に参加する実験参加者に対するイメージについて該当する番号を○でかこんで下さい。

	1 まった くそう 思わな い	2 そう思わ ない	3 あまり そう思わ ない	4 どちら でもな い	5 やや そう思 う	6 そう思 う	7 強くそ う思 う	
1	ほかの実験参加者はあなたに注意を払ってくれる	1	2	3	4	5	6	7
2	あなたはほかの実験参加者に興味を持つようになる	1	2	3	4	5	6	7
3	ほかの実験参加者はあなたの意図を理解してくれる	1	2	3	4	5	6	7
4	ほかの実験参加者は困ったとき助けてくれる	1	2	3	4	5	6	7
5	ほかの実験参加者はお互いに誠実である	1	2	3	4	5	6	7
6	ほかの実験参加者は頼りになる	1	2	3	4	5	6	7
7	ほかの実験参加者は礼儀正しい	1	2	3	4	5	6	7
8	ほかの実験参加者とは安心して接することができる	1	2	3	4	5	6	7

以下の(ア)~(カ)について該当する番号を○でかこんで下さい。

(ア) 大学の実験に被検者として参加するのは初めてですか？

1. はじめて 2. 過去1年以内に参加したことがある 3. 過去3年以内に参加したことがある

(イ) 今回の実験のように、複数人が同時に参加する実験は初めてですか？

1. はじめて 2. 過去1年以内に参加したことがある 3. 過去3年以内に参加したことがある

(ウ) 本日はあなたの他に3名の実験参加者がいます、この中に友人や知り合いはいますか？

1. 1人いる 2. 2人いる 3. 3人いる 4. いない

(エ) 現在、講義やアルバイト、サークル活動等で見知らぬ人と会話をする機会がありますか？

1. 毎日のようにある 2. 頻繁にある 3. たまにある 4. ほとんどない 5. まったくない

(オ) 1回30分以上の軽く汗をかく運動を週2回以上、1年以上実施していますか？

1. している 2. していない

(カ) 日常生活において歩行または同等の身体活動を1日1時間以上実施していますか？

- 1.** している **2.** していない

最後に、あなたの身長を記入してください。

_____cm

付録2

捕捉的資料として、3.3 節における各被験者の各性格特性と、o条件、p対面条件、p横並び条件、r条件のHRV指標値を以下に示す。

Table 1 各被験者の性格特性

被験者	BigFive					STAI		事前期待	
	外向性	誠実性	開放性	調和性	情緒不安定性	状態不安	特性不安	共感性	確信性
1A	3.60	3.00	3.83	4.83	3.00	1.55	1.50	3.75	4.75
1B	4.60	3.00	5.00	4.67	3.20	1.35	1.45	4.50	5.50
1C	6.00	4.86	4.17	3.00	5.00	1.60	1.40	4.33	5.33
2A	6.20	4.29	5.17	4.33	5.20	1.65	2.05	4.00	5.50
2B	3.00	4.14	4.67	5.50	5.60	1.45	2.25	5.50	5.25
2C	3.00	1.71	5.00	3.17	5.80	1.85	2.80	5.00	5.75

各被験者のHRV指標の箱ひげ図を以下に示す。正規化にあたっては平均が0、分散が1となるように計算した。その際、残差の絶対値が標準偏差の1.5倍以上となる結果は外れ値として除外した。

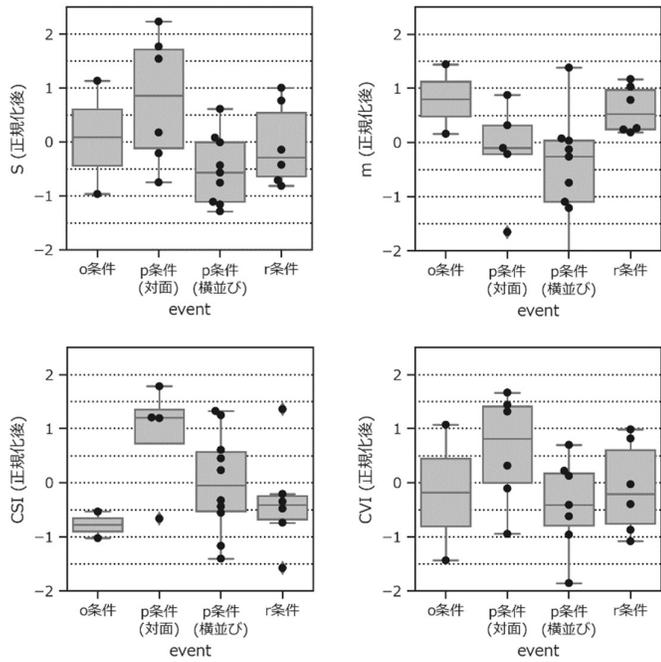


Figure 1 被験者1AのHRV指標

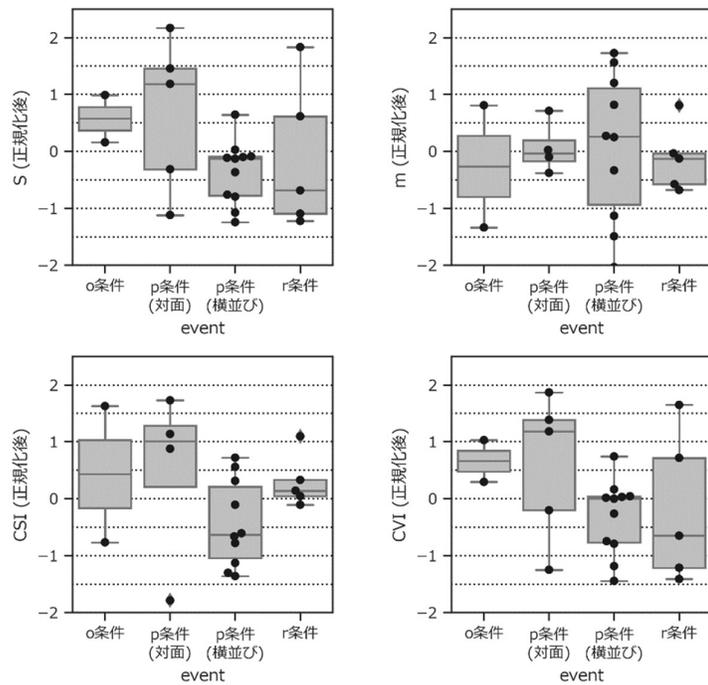


Figure 2 被験者1BのHRV指標

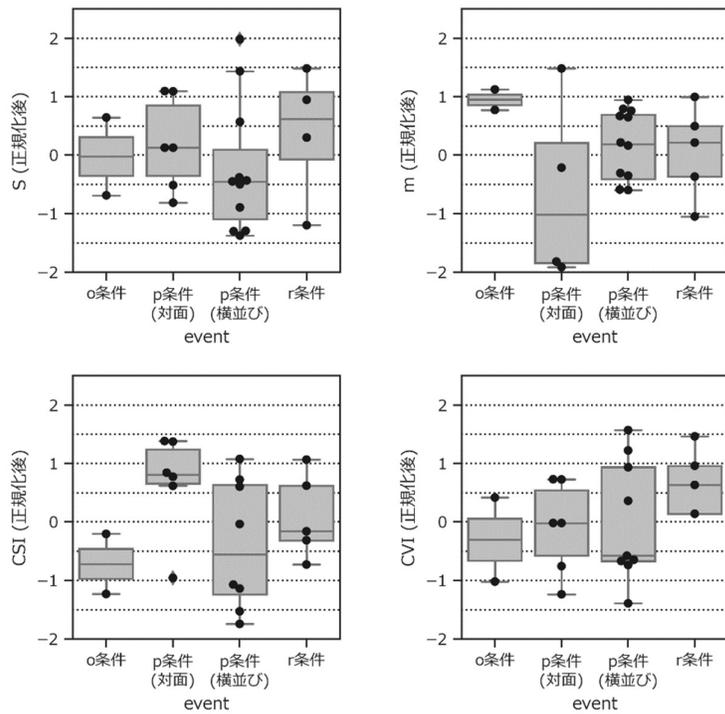


Figure 3 被験者1CのHRV指標

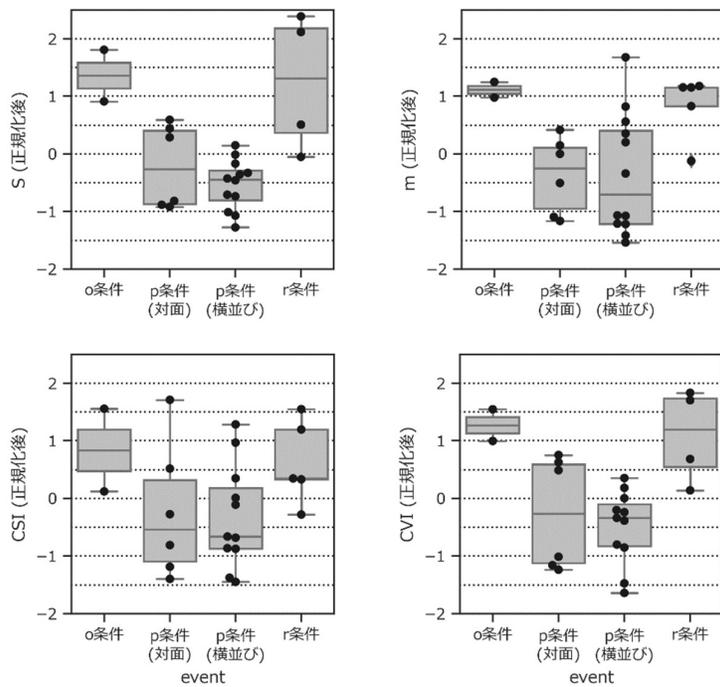


Figure 4 被験者2AのHRV指標

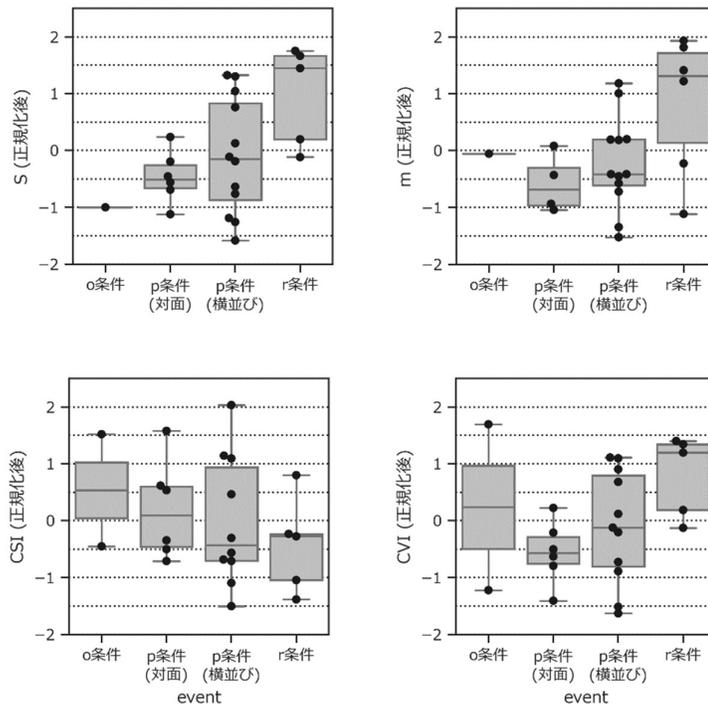


Figure 5 被験者2BのHRV指標

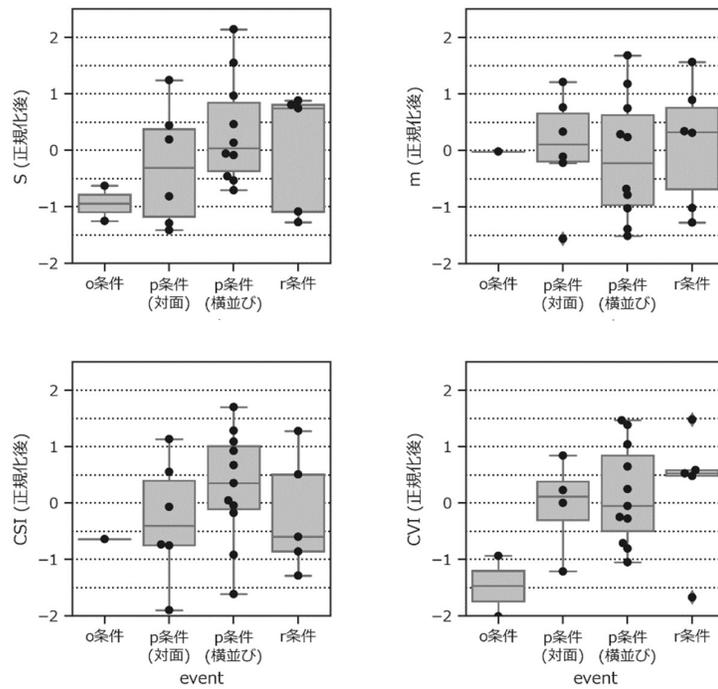


Figure 6 被験者2CのHRV指標

被験者平均を集計したHRV指標を以下に示す。

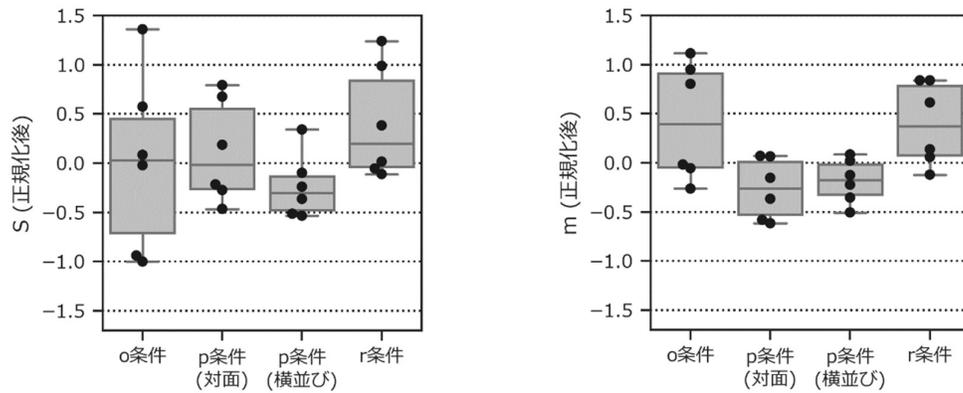


Figure 7 f-Formationの各条件におけるHRV分析(S, m)[72]

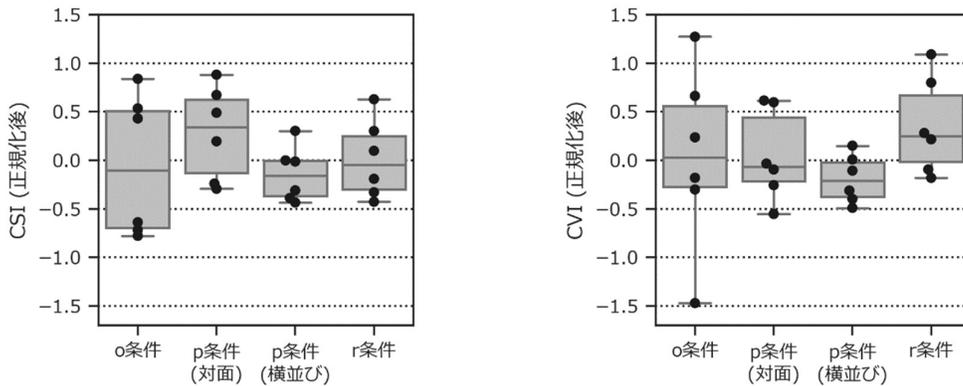


Figure 8 f-Formationの各条件におけるHRV分析(CSI, CVI)

HRV指標と性格特性の相関係数を以下に示す。

Table 2 HRV指標(S)と各性格特性の相関係数

		O条件	P条件 (対面)	P条件 (横並び)	R条件
BigFive	外向性	0.81	0.41	-0.75	0.26
	誠実性	0.17	-0.06	-0.35	0.64
	開放性	0.41	-0.41	-0.12	0.32
	調和性	-0.14	-0.03	-0.14	-0.09
	情緒不安定性	-0.54	-0.94	0.66	0.54
STAI	状態不安	-0.03	-0.31	0.14	0.43
	特性不安	-0.43	-0.71	0.43	0.31
事前期待	事前期待(共感性)	-0.71	-0.77	0.83	0.09
	事前期待(確信性)	0.17	-0.32	0.26	0.00

Table 3 HRV指標(m)と各性格特性の相関係数

		O条件	P条件 (対面)	P条件 (横並び)	R条件
BigFive	外向性	0.64	-0.38	0.06	-0.23
	誠実性	0.58	-0.93	0.00	0.17
	開放性	0.03	0.35	0.20	0.03
	調和性	-0.49	0.03	-0.43	0.54
	情緒不安定性	-0.03	0.09	0.09	0.37
STAI	状態不安	0.66	0.14	-0.26	0.14
	特性不安	-0.14	0.43	-0.37	0.60
事前期待	事前期待(共感性)	-0.66	0.09	0.49	0.09
	事前期待(確信性)	-0.06	0.55	0.49	-0.38

Table 4 HRV指標(CSI)と各性格特性の相関係数

		O条件	P条件 (対面)	P条件 (横並び)	R条件
BigFive	外向性	0.20	0.20	-0.67	0.84
	誠実性	0.23	0.26	-0.55	0.29
	開放性	0.81	-0.81	-0.17	0.67
	調和性	0.20	0.20	0.14	-0.54
	情緒不安定性	0.49	-0.89	0.43	-0.14
STAI	状態不安	-0.03	-0.54	0.54	0.20
	特性不安	0.37	-0.77	0.77	-0.37
事前期待	事前期待(共感性)	0.37	-0.54	0.09	-0.37
	事前期待(確信性)	0.38	-0.78	-0.03	0.58

Table 5 HRV指標(CVI)と各性格特性の相関係数

		O条件	P条件 (対面)	P条件 (横並び)	R条件
BigFive	外向性	0.52	-0.06	-0.55	0.06
	誠実性	0.32	-0.58	-0.23	0.35
	開放性	0.49	-0.35	-0.17	0.46
	調和性	0.43	-0.03	-0.43	-0.03
	情緒不安定性	-0.26	-0.66	0.54	0.71
STAI	状態不安	-0.43	-0.14	0.26	0.54
	特性不安	-0.14	-0.31	0.20	0.60
事前期待	事前期待(共感性)	-0.20	-0.49	0.66	0.20
	事前期待(確信性)	-0.06	-0.06	0.32	0.17