



生活支援のための認知的傾向を考慮した情報提示技術に関する研究

双見, 京介

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2018-03-25

(Date of Publication)

2019-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第7181号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1007181>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博 士 論 文

生活支援のための
認知的傾向を考慮した情報提示技術に関する研究

平成 30 年 1 月

神戸大学大学院工学研究科

双見 京介

内容梗概

本研究では、人の生活や心身の様々な面にコンピュータがより深く入り込む現実をこれから向かえるにあたって、そのシステム設計においては人の性質をより深く考慮すべきという理念に基づき、複数の研究課題においてユーザ支援のための情報提示システムの開発を行った。そして、本理念に基づいたコンピュータシステムが、人の外的な作業支援を向上させ、さらには、人の内的なより深い面を個人特性に合わせて支援する役割を担える可能性、すなわち、コンピュータのユーザ支援が人の心身のより深く細かい面にまで至る可能性を示した。そして、ユーザ支援のための情報提示システムの観点から、コンピュータシステムおよび人の今後について論じた。

近年の工学的な技術発展に伴い、情報提示技術を利用したユーザ支援システムは社会のあらゆる場面に浸透している。計算機の小型化や軽量化、ネットワークの高度化は、コンピュータのウェアラブル化やユビキタス化に代表されるような、コンピュータをいつでもどこでも利用できる環境を実現した。従来では例えば卓上の事務作業のような特定の環境・目的・ユーザにだけ使用されてきたコンピュータは、このような技術発展に伴って生活のほとんど全ての面においてユーザを支援する道具として普及し、使用される環境、状況、文脈、対象者、時間、頻度、目的などのあらゆる条件がこれまでと比べ物にならないほど増加・多様化している。

ユーザとコンピュータの接触箇所である提示情報やインターフェースの設計において、人の心身の性質の考慮性を向上させることは、ユーザ支援システムが支援目的を理想通りに達成するために重要である。しかしながら、これまで行われてきた認知負荷の観点のみの考慮性の向上は、卓上の事務作業支援といった限定的な利用条件への対応を主に想定したものといえ、ユビキタスコンピュータやウェアラブルコンピュータにおいて実現されるであろう、これまでになかった多様な条件(例: 環境、状況、文脈、対象者、時間、頻度、目的)において支援目的を理想通りに達成するには不十分であった。

そこで、本研究では、この課題解決に資することを目指し、複数の場面におけるユーザの自己管理支援システムの設計を通して、対象場面ごとに考慮が必要な認知的傾向に基づいた情報提示手法を確立する。具体的には、3つの研究課題において容姿、健康、精神の自己管理支援システムの設計を行い、それぞれの対象場面において身体動

作、意志、メンタル機能(調子)に関わる認知的傾向を考慮した情報提示手法を確立する。本研究でいうところの認知的傾向を考慮した設計とは、対象場面において支援目的を理想通りに達成するために考慮が必要な認知的傾向に基づいた設計であり、対象場面において認知的傾向が心身の各要素に起こす無意識的な変化の有無や傾向を意図して制御できる設計を指す。

本論文は5章から構成され、その内容は次の通りである。

第1章では、本研究の背景と目的、及び本論文の構成を述べた。

第2章では、容姿の自己管理であるセルフヘアカットという頭の散髪作業の支援システムの設計を通して、身だしなみ管理作業において要求される類の身体動作を満足に行うための自己動作閲覧用システムを、身体動作に関わる認知的傾向を考慮して設計する手法について述べた。本研究では、予備調査において自己動作閲覧用の2つの環境として複数枚の鏡を用いた環境とカメラ付き電子ディスプレイを用いた環境を使用した模擬散髪実験を行い、セルフヘアカットの身体動作が行いやすい環境を調査した。そして、鏡の映像についての経験知(暗黙知)による身体動作への弊害を特定条件下で確認したことから、電子ディスプレイと自走型カメラ付きロボットを用いた自己動作閲覧システムを設計し、加えてユーザが散髪したい部分の映像を自動提示するといったセルフヘアカット用の支援機能を実装することで、セルフヘアカットのために満足な身体動作が行える情報提示システムを確立した。模擬セルフヘアカットの実験で、提案システムの有効性を示した。

第3章では、運動量の自己管理支援のための歩数ログ提示システムの設計を通して、モチベーションに関わる認知的傾向を考慮した情報提示手法について述べた。従来手法が提示情報による心理的影響の考慮が不十分な故にモチベーションへの悪い効果を起こしていたのに対して、提案手法は、提示情報において心理的影響を変化させる要素を考慮して情報の見せ方を操作することで、モチベーションの低下を軽減して向上を積極的に引き出すことを狙う。本研究課題ではデータ改変を用いた2つの手法を提案した。1つ目は、競争情報の改変フィードバック手法で、競争相手との差の程度や順位変動などにデータ改変を交えて情報をフィードバックする。2つ目は、自己達成程度ログの改変フィードバック手法で、自己の過去の達成程度にデータ改変を交えてフィードバックする。提案手法を歩行モチベーション向上のための歩数ログ提示システムに適用し、提示情報による歩数の変化からその有効性を示した。

第4章では、スポーツ分野でメンタル機能と呼ばれる精神機能の自己管理支援シス

テムの設計を通して、メンタル機能に関わる認知的傾向を考慮した情報提示手法について述べた。本研究課題の対象とするメンタル機能(調子)は緊張が伴う本番の場面での実力発揮程度に関わる人の重要な要素であるが、その自己管理を工学的に支援する手法はこれまでになく、また、同様の支援を狙って提案されているスポーツ心理学におけるメンタル機能制御手法は一般人には習得及び利用の難度の高いものであった。これに対して、提案手法は、無意識的な学習原理である古典的条件づけによる心身の変容をウェアラブルシステムで自動的に起こすことで、ユーザがメンタル機能の変容及び向上を簡易に行うための情報提示手法であり、具体的には、成功などの特定の良い体験時の心身と刺激を条件づける学習を自動で行い、その学習された刺激の提示によって心身を変容させ、条件づけが行われた際の良い体験を起こすこと狙ったものである。ダーツ競技を対象にして聴覚刺激を自動提示するプロトタイプシステムを実装し、提案手法によって競技パフォーマンスを向上させるメンタル機能の変容ができるかを検証し、その有効性を示した。加えて、個人ごとに効果的な情報提示を行うための提示情報効果の予測手法について述べた。提案手法は、提示情報による心理的影響が性格に依存する性質を利用し、提示情報の個人ごとの効果を性格に基づいて予測するものである。メンタル機能を変容させる前者の手法を対象にしてその有効性を検証し、その有効性を示した。

第5章では、本論文を通して得られた結果をまとめ、本論文で提案した手法の応用先や今後の展望について述べた。

目次

1	序章	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究目的	3
1.3	本論文の構成	5
2	容姿の自己管理支援システム	
	セルフヘアカット支援のための情報提示システム	8
2.1	まえがき	8
2.2	関連研究	9
2.3	提案手法	9
2.3.1	予備実験	10
2.3.2	システム設計	12
2.3.3	移動型カメラのハードウェア	13
2.3.4	移動型カメラの動作制御機能	13
2.4	システムの実装	16
2.4.1	移動型カメラの実装	17
2.4.2	アプリケーションの実装	18
2.5	評価実験	20
2.5.1	実験1: 撮影距離の維持性能の評価	21
2.5.2	実験2: 自動操作の評価	22
2.5.3	実験3: 実践的な課題でのシステムの評価	24
2.6	まとめと今後の課題	29
3	健康の自己管理支援システム	
	モチベーション向上支援のための歩数ログ提示システム	31
3.1	まえがき	31
3.2	競争情報の改変フィードバック手法	31
3.3	関連研究	32
3.4	提案手法	35

3.4.1	競争情報の設計要件	36
3.4.2	競争情報の設計: 努力の考慮手法と成績差の考慮手法	37
3.4.3	競争情報の設計: 競争人数の考慮手法	41
3.4.4	プロトタイプシステム	41
3.5	評価実験	45
3.5.1	実験1: 努力に対する結果の考慮の評価	46
3.5.2	実験2: 競争相手との差の考慮の評価	48
3.5.3	実験3: 競争人数の考慮の評価	50
3.5.4	補足指標	53
3.5.5	総合考察: 今後の課題	54
3.6	自己達成程度ログの改変フィードバック手法	55
3.7	関連研究	56
3.8	提案手法	57
3.9	評価実験	60
3.9.1	実験1: 自己歩数ログの気持ちへの影響評価	60
3.9.2	実験2: 自己歩数ログ改変の実歩数への影響評価	62
3.10	まとめ	66
4	精神の自己管理支援システム	
	メンタル機能向上支援のための情報提示システム	69
4.1	まえがき	69
4.2	関連研究	70
4.3	提案手法: Success Imprinter	71
4.4	評価実験	73
4.4.1	本実験: 条件付け刺激の影響評価	74
4.4.2	対照実験: 条件付け無しの刺激の影響評価	79
4.4.3	総合考察	82
4.5	性格に基づいたシステム効果予測手法	84
4.6	評価実験	85
4.7	実装	89
4.8	まとめ	90

5 結論	93
5.1 本論文のまとめ	93
5.2 今後の課題と展望	94
 謝辞	 98
 参考文献	 100

1 序章

1.1 研究の背景

近年の工学的な技術発展に伴い、情報提示技術を利用したユーザ支援システムは社会のあらゆる場面に浸透している。計算機の小型化や軽量化、ネットワークの高度化は、コンピュータのウェアラブル化やユビキタス化に代表されるような、コンピュータをいつでもどこでも利用できる環境を実現した。従来では例えば卓上の事務作業のような特定の環境・目的・ユーザにだけ使用されてきたコンピュータは、このような技術発展に伴って生活のほとんど全ての面においてユーザを支援する道具として普及し、使用される環境、状況、文脈、対象者、時間、頻度、目的などのあらゆる条件がこれまでと比べ物にならないほど増加・多様化している。

ユーザとコンピュータの接触箇所である提示情報やインターフェースの設計において、人の心身の性質の考慮性の向上は重要であり、これまでこの考慮性の向上は主に認知負荷の観点から行われてきた。認知負荷は脳が情報を処理する上でかかる負荷であり、情報の記憶や処理に関わる認知システムの特性を理解するための認知負荷理論 [52] などで追及されている。このような理論を基にして、ユーザの提示情報理解やインターフェース操作における認知負荷を下げ、利用性能を高めることが、これまでの支援目的を効果的に達成することに直結した。このような認知負荷の観点での考慮性の向上手法は、個々の事例の蓄積によって体系化されているものが多く、例えば視線移動の傾向に基づいた設計手法や、形状や視覚効果の観点でのアフォーダンスの理解に基づいた設計手法が挙げられる。

しかしながら、これまで行われてきた認知負荷の観点のみの考慮性の向上は、卓上の事務作業支援といった限定的な利用条件への対応を主に想定したものといえ、ユビキタスコンピュータやウェアラブルコンピュータにおいて実現されるであろう、これまでになかった多様な条件 (例: 環境、状況、文脈、対象者、時間、頻度、目的) のなかで利用されるコンピュータおよびそのサービスの設計には不十分である。このような指摘や事例は近年示され始めている。例えば、心身のセンシング技術を利用したサービスが普及するにあたっては、人が感じる気持ちの定量評価値のログやそのフィードバックのサービスによって、支援目的や人の幸せが本当に達成されるのかという指摘がある [16]。また、多様な場面でコンピュータが利用されるに伴い、そこで生じる心身

への想定外の影響の事例も報告されている。例えば、自身のログのフィードバックによって心身に想定外の歪ともいえる変化が生じた報告として、心拍値閲覧が有益と想定されるスポーツなどの場面において心拍値フィードバックシステムを運用した際に、フィードバックされた心拍値を見ることで実際の心拍値が無意識的に変化した現象が報告されている [62]。その他にも、頭部装着型ディスプレイの実運用時に、閲覧情報内の視覚的なアイコンの種類が実世界においてユーザの注視対象を無意識的に変化させる現象 [63] や、観光案内アプリ内の提示情報である地図の経路や店のランキングの見せ方によってユーザの心理や思考が無意識的に変化することがルートや店の実際の選択の変化によって示されている。これらを踏まえると、現状では、あらゆる場面でコンピュータを利用するための性能向上やサービスコンテンツ開発は十分に行われているが、様々な場面にコンピュータを持ちこんで支援目的を理想通りに達成するうえで必要となる心身の性質の理解やその考慮性が不十分であるといえる。

この現状の課題解決のためには、支援目的を理想通りに達成するための考慮すべき心身の性質を踏まえたシステム設計を行うことが必要であり、このような事例を多くの場面で蓄積させることが、結果としてシステム設計における心身の性質の考慮性の向上に資する、すなわち、支援目的を理想通りに達成できるユーザ支援システムの設計手法確立に資すると考える。

この背景から、本研究では、複数の場面におけるユーザの自己管理支援システムの設計を通して、対象場面ごとに考慮が必要な認知的傾向に基づいた情報提示手法を提案する。ここでいう認知とは、目や耳などの感覚器官からの情報の知覚を受けて心身の各要素に指令を出す存在を指し、認知的傾向とは、認知に後続する心身の各要素、例えば思考や心理や神経系や身体動作、に一定の変化を無意識的に起こす存在を指す。このような認知的傾向は心理効果や非合理的行動の要因として、心理学や行動経済学、認知科学などで近年モデル化が進んでいる。自己管理を対象にしたユーザ支援システムはユビキタスやウェアラブルのコンピュータを利用した主要サービスのひとつであり、自力では達成困難な自身のマネジメントを効果的かつ効率的に達成させるための支援システムがヘルスケア領域をはじめとして様々な場面において提案されている。

本研究でいうところの対象場面ごとの認知的傾向を考慮した設計とは、対象場面において支援目的を理想通りに達成するために考慮が必要な認知的傾向に基づいた設計であり、対象場面において認知的傾向が心身の各要素に起こす無意識的な変化の有無や傾向を意図して制御できる設計を指す。それは例えば、認知負荷の考慮を達成した

設計によってユーザの情報理解速度を正方向にも負方向にも意図的に変化できるように、特定の認知的傾向の考慮を達成した設計によってそれと関わる心身の各要素を一切変化させないことを含めて正方向にも負方向にも意図的に変化できるといった具合である。

1.2 研究目的

ユビキタスやウェアラブルのユーザ支援システムが多様な場面に普及して支援目的を理想通りに達するために、人の心身の性質の考慮性の向上はシステム設計において重要な課題である。本研究では、これに資する手法確立を目指し、複数の場面におけるユーザの自己管理支援システムの設計を通して、対象場面ごとに考慮が必要な認知的傾向に基づいた情報提示手法の確立を目的とする。具体的には、3つの研究課題において容姿、健康、精神の自己管理支援システムの設計を行い、それぞれの対象場面において身体動作、意志、メンタル機能(調子)に関わる認知的傾向を考慮した情報提示手法を確立する。

本研究でいうところの認知的傾向を考慮した設計とは、対象場面において支援目的を理想通りに達成するために考慮が必要な認知的傾向に基づいた設計であり、対象場面において認知的傾向が心身の各要素に起こす無意識的な変化の有無や傾向を意図して制御できる設計を指す。本研究でいう認知的傾向とは、認知に後続する心身の各要素、例えば思考や心理や神経系や身体動作、に一定の変化を無意識的に起こす存在を指す。

本研究における個別の研究課題は以下である。

- 研究課題 1: 容姿の自己管理支援システム

本研究課題では、容姿の自己管理であるセルフヘアカットという頭の散髪作業の支援システムの設計を通して、頭髪などの身だしなみ管理作業において要求される類の身体動作を満足に行うための自己動作閲覧用システムを、身体動作に関わる認知的傾向を考慮して確立する。セルフヘアカットのような身だしなみ管理作業では、自身を多方面から見ながら所望の自由動作を行う必要があり、これは所定の動作型の練習作業(例: ダンスのフォーム練習)とは異なる。本研究課題で対象とするこのような場面における支援システムとして、複数枚の鏡を用いた環境が普及してきたが、鏡の反射を繰り返した映像を見ながら身体動作を行った際に

は、鏡の映像への経験知(暗黙知)が特定条件下で身体動作機能に弊害を起こす点に課題があった。これに対して提案手法では、電子ディスプレイと自走型カメラ付きロボットを用いた自己動作閲覧システムを設計し、加えてセルフヘアカット用の支援機能を実装することで、セルフヘアカットのために満足な身体動作が行える情報提示システムを確立する。

- **研究課題 2: 健康の自己管理支援システム**

本研究課題では、運動量の自己管理支援のための歩数ログ提示システムの設計を通して、モチベーションに関わる認知的傾向を考慮した情報提示手法を確立する。ここでいうモチベーションとは、意欲とも呼ばれるもので、標的行動達成のための意志機能である。モチベーション向上を支援目的とした情報提示手法は多くの分野で提案されているが、それら既存手法は提示情報による心理的影響の考慮が不十分な故に、モチベーションへの良い効果だけではなく悪い効果をも起こしている点に課題があった。この課題解決のために、本研究課題では、競争情報の改変フィードバック手法と、自己達成程度ログの改変フィードバック手法のという、データ改変を軸にした2つの手法を提案する。提案手法は、提示情報において心理的影響を変化させる要素を考慮して情報の見せ方を操作することで、モチベーションの低下を軽減して向上を積極的に引き出すことを狙う。

- **研究課題 3: 精神の自己管理支援システム**

本研究課題では、スポーツ分野でメンタル機能と呼ばれる精神機能の自己管理支援システムの設計を通して、メンタル機能に関わる認知的傾向を考慮した情報提示手法を確立する。ここでいうメンタル機能とは、調子とも呼ばれるもので、緊張が伴う本番の場面での実力発揮程度に関わるものである。本研究課題の対象とするメンタル機能の自己管理を工学的に支援する手法はこれまでになく、また、同様の支援を狙って提案されているスポーツ心理学におけるメンタル機能制御手法は一般人には習得及び利用の難度の高いものであった。これに対して、提案手法では、無意識的な学習原理である古典的条件づけによる心身の変容をウェアラブルシステムで自動的に起こすことで、ユーザがメンタル機能の変容及び向上を簡易に行うための情報提示手法を確立する。古典的条件づけとは無意識的な学習原理が生む心理現象であり、イワンパブロフの犬の実験で知られる。また、本研究課題では、個人ごとに効果的な情報提示を行うための提示情報効果の予測手法

も確立する。情報提示サービスにおいて提示情報による効果の有無や傾向が個人ごとに異なることは知られていたが、例えば医療分野における投薬効果予測手法のような、提示情報効果の予測手法がこれまでなかった。これに対して、提案手法では、提示情報による心理的影響が性格に依存する性質を利用し、性格に基づいた提示情報効果の予測手法を確立する。これによって、個人ごとに適した情報提示を行う。

1.3 本論文の構成

本論文は全5章から構成される。以下に各章の概要を述べる。第1章では、本研究の背景と目的、及び本論文の構成を述べた。

第2章では、容姿の自己管理であるセルフヘアカットという頭の散髪作業の支援システムの設計を通して、身だしなみ管理作業において要求される類の身体動作を満足に行うための自己動作閲覧用システムを、身体動作に関わる認知的傾向を考慮して設計する手法について述べる。本研究では、予備調査において自己動作閲覧用の環境として複数枚の鏡を用いた環境とカメラ付き電子ディスプレイを用いた環境を使用した模擬散髪実験を行い、身体動作が行いやすい環境を調査する。そして、鏡の映像についての経験知(暗黙知)による身体動作機能への弊害を特定条件下で確認したことから、電子ディスプレイと自走型カメラ付きロボットを用いた自己動作閲覧システムを設計し、加えてユーザが散髪したい部分の映像を自動提示するといったセルフヘアカット用の支援機能を実装することで、セルフヘアカットのために満足な身体動作が行える情報提示システムを確立する。模擬セルフヘアカットの実験から、提案システムの有効性を評価する。

第3章では、運動量の自己管理支援のための歩数ログ提示システムの設計を通して、モチベーションに関わる認知的傾向を考慮した情報提示手法について述べる。従来手法が提示情報による心理的影響の考慮が不十分な故にモチベーションへの悪い効果を起こしていたのに対して、提案手法は、提示情報において心理的影響を変化させる要素を考慮して情報の見せ方を操作することで、モチベーションの低下を軽減して向上を積極的に引き出すことを狙う。本研究課題ではデータ改変を軸とした2つの手法を提案する。1つ目は、競争情報の改変フィードバック手法で、競争相手との差の程度や順位変動などにデータ改変を交えて情報をフィードバックする。2つ目は、自己達成程度ログの改変フィードバック手法で、自己の過去の達成程度にデータ改変を交えてフィー

ドバックする。提案手法を歩行モチベーション向上のための歩数ログ提示システムに適用し、その有効性を評価する。

第4章では、スポーツ分野でメンタル機能と呼ばれる精神機能の自己管理支援システムの設計を通して、メンタル機能に関わる認知的傾向を考慮した情報提示手法について述べる。本研究課題の対象とするメンタル機能(調子)は緊張が伴う本番の場面での実力発揮程度に関わる人の重要な要素であるが、その自己管理を工学的に支援する手法はこれまでになく、また、同様の支援を狙って提案されているスポーツ心理学におけるメンタル機能制御手法は一般人には習得及び利用の難度の高いものであった。これに対して、提案手法は、無意識的な学習原理である古典的条件づけによる心身の変容をウェアラブルシステムで自動的に起こすことで、ユーザがメンタル機能の変容及び向上を簡易に行うための情報提示手法であり、具体的には、成功などの特定の良い体験時の心身と刺激を条件づける学習を自動で行い、その学習された刺激の提示によって心身を変容させ、条件づけが行われた際の良い体験を起こすこと狙ったものである。ダーツ競技を対象にして聴覚刺激を自動提示するプロトタイプシステムを実装し、提案手法によって競技パフォーマンスを向上させるメンタル機能の変容ができるかを検証する。加えて、個人ごとに効果的な情報提示を行うための提示情報効果の予測手法について述べる。提案手法は、提示情報による心理的影響が性格に依存する性質を利用し、提示情報の個人ごとの効果を性格に基づいて予測するものである。メンタル機能を変容させる前者の手法を対象にしてその有効性を検証する。

第5章では、本論文の成果を要約したのち、今後の研究課題について述べ、本論文のまとめとする。

なお、第2章は、文献[74, 75, 76, 77, 78, 79]で公表した結果に基づき論述する。第3章は、文献[80, 81]で公表した結果に基づき論述する。第4章は、文献[82, 83, 84, 85, 86]で公表した結果に基づき論述する。

2 容姿の自己管理支援システム セルフヘアカット支援のための情報提示システム

2.1 まえがき

明治4年の散髪脱刀令によって髪型を自由に整える風潮が日本で公となった。以来、髪型が現代人の関心事及びファッションの一部になっていることは、多様な整髪手段や髪型の普及、そして、平成24年に13,543名を対象に行われたインターネット調査[1]で約4割が髪型及び髪に関することに気をつかうと回答したことなどからもわかる。

整髪手段のひとつである散髪は、容姿を整えるため、健康や衛生を維持するために重要なものとなった。この散髪を自分で行うことはセルフヘアカットと呼ばれ、個人用の整髪手段である整髪剤、ヘアドライヤ、ヘアアイロンなどと同様に自己表現の幅を拓げるものと期待されている。セルフヘアカットに至る動機のひとつである理想の髪型の追及は、理美容室で髪型の理想や悩みが正確に伝わらずに望む髪型が得られない経験などから生まれる。その他にもお金の節約の動機があり、日本人の約6割が散髪を含む髪へのケアへの出費を減らしたいことが2013年のThe Boston Consulting Groupの調査[2]で示されている。こういった動機によるセルフヘアカット者の増加から、セルフヘアカットのメディア露出は近年増えており、個人のセルフヘアカット活動を集めた記事やテレビ番組、自己流のセルフヘアカットの投稿動画などもある。このセルフヘアカット者を対象にした支援道具も販売されており、例えば専用のハサミや鏡、毛束の長さの測定道具に固定道具、ケープなどの掃除の負担軽減道具などがある。

セルフヘアカット時には、カットする部分などを見るために自身を多方面から見ながら散髪をする必要がある。このような場面における支援システムとして、複数枚の鏡を用いた環境が普及してきたが、散髪がしやすい映像が得られないという問題や、道具の使用による負担が散髪を妨げるという問題が起これ、結果として満足な散髪ができず満足な髪型を得られない。

そこで、本研究では、視点移動が可能な移動型カメラを用いたセルフヘアカットのための情報提示システムを提案する。提案システムにおいてユーザは、移動型カメラで撮影した自身の映像をディスプレイ上で見ながらセルフヘアカットを行う。セルフ

ヘアカット用の支援機能として、移動型カメラが自走することでユーザが散髪したい部分の映像を自動提示する機能などを提案システムは有し、これによってセルフヘアカットのための身体動作をユーザが満足に行えるように支援する。

2.2 関連研究

特定の場面でのユーザの姿を第三者視点で見るためのシステムは多くあり、場面や作業ごとに様々なものが開発されている。美容作業のためのシステムとしては、岩淵ら [3] のメイクアップ支援のための電脳化粧鏡がある。このシステムでは、カメラ・センサ付きディスプレイからメイク時の身体的負担軽減や仕上がり向上のための支援を提供し、例えば、アイメイク時に目を鏡に近づける動作の負担軽減のために、マーカ付き道具から認識したメイク箇所のズーム映像を提示する機能が実装されている。また、長嶋ら [4] は、高さが固定されたカメラ付きロボットアームを用いて、ユーザが自身を同一の高さで全方向から見られるシステム、Satellite Eyes を提案しており、その使用場面としてはフィッティングルームや化粧室、また洗面所などの狭い空間における容姿全般の身支度時が想定されている。富永ら [5] は自走型ロボットを用いてランニング時のフォームをユーザにリアルタイムで提示するシステムを開発した。このシステムの自走型ロボットは、ユーザの胸に装着されたマーカを画像認識することで、ユーザ前方を一定距離を空けて自走し、ユーザのランニングフォームをロボットのディスプレイから提示する。樋口らの Flying Eyes [6] は、自律飛行ヘリコプタによる空中自由視点からユーザを自動で追跡撮影するシステムを開発しており、スポーツなどの様々な場面での自己動作閲覧への応用が想定されている。また、山本ら [7] は旅を使用場面として、カメラ付の風船を用いて自身を三人称視点から写真撮影するためのシステム、プカプカメラを開発している。こういった様々な三人称視点映像フィードバックシステムがある中で、提案システムの特徴はセルフヘアカットを対象にしている点にある。

2.3 提案手法

本研究では、容姿の自己管理であるセルフヘアカットの支援システムを設計する。セルフヘアカットのような身だしなみ管理作業では、自身を多方面から見ながら所望の自由動作を行う必要があり、これは所定の動作型の練習作業(例: ダンスのフォーム練習)とは異なる。このようなセルフヘアカットのための身体動作を満足に行える環境の構築を目指す。

表 1: 被験者の情報

被験者	A	B	C	D	E	F
性別	男	男	男	男	女	男
セルフヘアカット経験内容	2	1	2	2	2	3
セルフヘアカット経験年数	5	0	6	2	8	10



図 1: キャップ装着例 背面



図 2: キャップ装着例 側面

2.3.1 予備実験

一般的な道具を用いたセルフヘアカットで生じる問題を調査した。被験者の情報を表 1 に示す。表の意味について、セルフヘアカットの経験内容は 3 段階で、1 は未経験者、2 は 1 枚の鏡で見える範囲のみ散髪経験がある者、3 は 1 枚の鏡では見えない範囲の散髪や全体の散髪経験がある者を示す。

実験では全被験者がカツラを被って模擬セルフヘアカットを行い、さらにその内 1 名は実際のセルフヘアカットも行い、不自由に感じた点を自由記述のアンケートで回答した。また、日頃のセルフヘアカットの経験も踏まえて回答させた。模擬セルフヘアカットでは、髪の毛を模した約 15cm の麻素材の紐付きキャップを図 1 と図 2 のように被らせ、根元から伸ばした紐の長さを全て 3cm 程カットさせた。事前に 3cm の紐を定規に添えて見せている。実際のセルフヘアカットでは自由に散髪させた。紐の直径は約 3mm である。使用道具はハサミ、クシ、鏡を用意し、鏡は壁張り鏡、鏡の角度を調整できる手持ち鏡と置き鏡を用意した。

予備実験の結果

被験者は自身の頭部を見るために次のようにした。顔の正面を見るためには鏡を自身の正面に置いた。側面や背面などの「鏡1枚では見えない範囲」を見るためには鏡を2枚以上使用し、例えば、2枚の鏡で背面を見る場合、右手に持った「見る用の鏡」の位置と角度を調整して、背面にある「反射用の鏡」に映した背面を見た。このとき、「見る用の鏡」を手を持つ場合と、机に置くことで両手を自由に使おうとする場合があった。なお、ヘアリングからは紐と髪の違いによる違和感などは報告されなかったため、紐を髪として扱うことに問題はないと考えられる。

アンケートと観察の結果から、セルフヘアカットを妨げる問題として、以下の3種類を確認した。

● 取得映像の問題

散髪のしづらい映像しか得られないという意見があり、具体的には、カットしたい部分を正面近くの方角や近い距離で見られない、一切見ることのできない部分がある、鏡及びその鏡を扱う体の影が見たい部分を見えにくくしたとという意見があった。これらの主な原因は2つ考えられる。1つ目は鏡の利用にあり、鏡や全身をいくら動かしても任意の部分を散髪のしやすい正面近くの方角から見ることは無理な場合が多く、また、反射の距離だけ対象は遠く投影されるため対象を近くで見ることでもできなかったと考えられる。2つ目は映像が提示される位置と方向にあり、「見る用の鏡」が自分の前の位置で正面を向いていないため、映像はより見づらかったと考えられる。

● 身体的な負担の問題

身体的な負担のせいで散髪がしづらいという意見があった。観察結果と意見をまとめると、鏡の反射を利用して任意の部分を映し出す作業(以降、映し出し作業と呼ぶ)と、見えにくい位置にある「見る用の鏡」を見ようとする作業の2つを原因として、鏡と全身の位置・方向の調整、鏡と散髪道具の頻繁な持ち替え、全身の不自然な状態での維持という3つの身体的な制限・負担が生じた。そして、これらのせいで、散髪が中断される、散髪だけのために全身を自由に使えない、映像を見ることと散髪が同時にできない、散髪に集中できない、という問題が生じた。なお、ここでの全身とは手や腕、顔、足などの他に目線や姿勢も指し、散髪とは、髪を見てカット部分を決定して毛の束をといで長さを決定してカットす

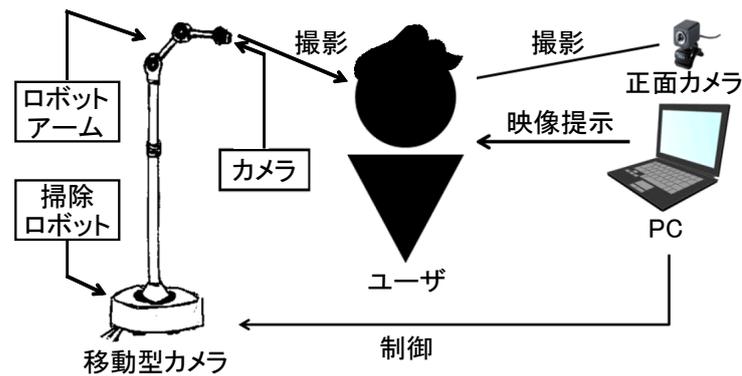


図 3: システム構成

るという一連の作業を指す。この問題の原因は、映し出し作業と、取得映像の問題で前述した「見る用の鏡」の位置・方向の2つと考えられる。

- 認知的な負担の問題

認知的な負担が散髪を妨げたことに繋がる2種類の意見が挙げられた。1つ目は映し出し作業の難しさで、鏡と全身をどう動かせば任意の部分が見れるのかが不明という意見があった。2つ目は合わせ鏡の映像を見ながらの作業の難しさで、合わせ鏡の反射を繰り返した映像を見ながらの作業では映像中と実際の腕の動きの対応がわからない時があって腕を逆方向に動かしてしまうという意見があった。具体的には、正面鏡に背面鏡の反射で映る後頭部の毛束にハサミを近づける際に前後左右に関して逆方向にハサミを移動させる混乱が起こり、その際の手の移動時には映像を見ずに目を閉じた方が容易という意見があった。これらの原因としては、映し出し作業が直観的にできないことと、鏡の映像への経験知(暗黙知)の2つが考えられる。後者の仮説としては、鏡の映像自体に「映像が左右反転する」という無意識的な認識があるせいで、2枚の鏡の反射で2回左右反転した映像(反転していない映像)を見ているにも関わらず、1回左右反転した映像に対する反応を被験者がしてしまったことが混乱時の逆方向の動作と考えられる。

2.3.2 システム設計

予備実験で確認した問題を解決するために、視点移動が可能なカメラで撮影した頭部の映像を、ディスプレイ上で見ながらセルフヘアカットをするシステムを構築する。

システム構成を図3に示す。システムはフロントカメラ、情報提示用のディスプレイとなるPC、移動型カメラで構成される。PC 上部に取り付けたフロントカメラでユーザの正面を撮影し、移動型カメラでユーザの正面以外を撮影する。撮影映像やその他必要情報はユーザ正面のディスプレイから提示する。ユーザはディスプレイ上の映像を見ながらセルフヘアカットをする。移動型カメラは、撮影映像からユーザの散髪動作を認識してユーザの見たい部分を自動追跡するが、フットスイッチによる手動操作にも対応する。このようにして、散髪したい部分の正面方向かつ近い距離からの映像を、ユーザの正面から提示することで、ユーザに散髪を妨げる負担無しで、散髪のしやすい映像を見ながらの散髪をさせる。また、電子ディスプレイからカメラ映像を提示することで、鏡の反射を利用した際の混乱の改善を狙う。

2.3.3 移動型カメラのハードウェア

図3の左に示すように、移動型カメラにはその全体の土台に掃除ロボットを使用し、胴体の上にロボットアームを固定し、アーム先端にカメラを付ける。これとは別に、定点設置型カメラをユーザの前後左右に多数設置するタイプも検討したが、移動型カメラの採用理由は次の4つである。1つ目は、定点設置カメラの方は視点の切り替えによって提示映像の内容把握ができない混乱が起こり得る報告[12]があったからである。2つ目は、移動型カメラの方が任意の視点の実現しやすく、視点移動が目で見える感覚に近いと考えられたからである。視点移動可能なカメラが目で見える感覚の再現や対象把握に有効な可能性は例えば遠隔教育システムなどでも示唆されている[8]。3つ目は、本研究における簡易な映像比較実験から移動型カメラの映像の方が有意に髪型を把握しやすいと確認したからである。4つ目は、カメラ付きロボットが自走して雑用(例:掃除)をする可能性を考慮したからである。

2.3.4 移動型カメラの動作制御機能

移動型カメラを自動制御するために、セルフヘアカットならではの動作特徴から散髪動作を認識して、ユーザのカットしたい部分が映像の中心に映るように移動型カメラを制御する機能を実装する。以降、この機能をカット部分追跡機能と呼ぶ。本機能のように、特定の作業時の動作状態を画像認識する例としては、関連研究で述べた例のほかに、「食材が変化する際は調理者の手が食材に接触する」という調理時の特徴を調理台真上の固定カメラ映像で撮影して調理工程を認識する技術[9]がある。

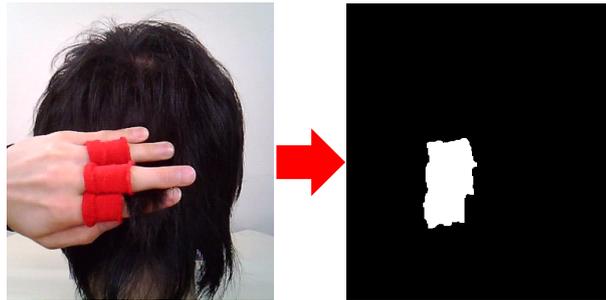


図 4: マーカ認識の様子

ユーザのカットしたい部分の認識方法について述べる。セルフヘアカット動作の一連の流れは次のようになる。

1. カット位置の選択と決定
2. カット長さの選択と決定
3. カットして (1) か (2) に戻る

この流れのうち、ハサミ等の道具を使用しない非利き手は (1) の「カット位置の選択と決定」において、カット位置の選択中に動き、決定時に毛束を指で固定して停止する。つまり、非利き手の停止位置がカットしたい部分となる。この動きの認識のために、ユーザの非利き手の指にカラーマーカを装着させ、カメラ映像からその色を認識し、認識部分が映像中心に映るように移動型カメラを制御した。

非利き手の動きと、カラーマーカの採用理由は次の通りである。認識対象には毛束を指で固定する手の「形」も考えられ、Convex Hull[10] による形状認識を試したが、手や指の扱い方がユーザによって異なり上手くいかなかったため採用しなかった。対象の認識には、例えば人を外見の色から追跡するロボット [11] のように対象の色も利用できたが、非利き手は同色の利き手や顔、首などとの区別が難しかったのでマーカを採用した。また、動きの情報は加速度センサから得てもよかったが、本研究では後にカットの動作状態をハサミから認識するといった画像からの状態認識が有効な場面を想定したので画像認識を採用した。

移動型カメラの映像からマーカ部分を色認識した 2 値化画像を図 4 に示す。このとき、色認識のために HSV 色空間を利用し、色の誤認識で発生したノイズ除去のために、収縮・膨張処理をした。マーカの数値は現在の画像フレームとその前の画像フレー

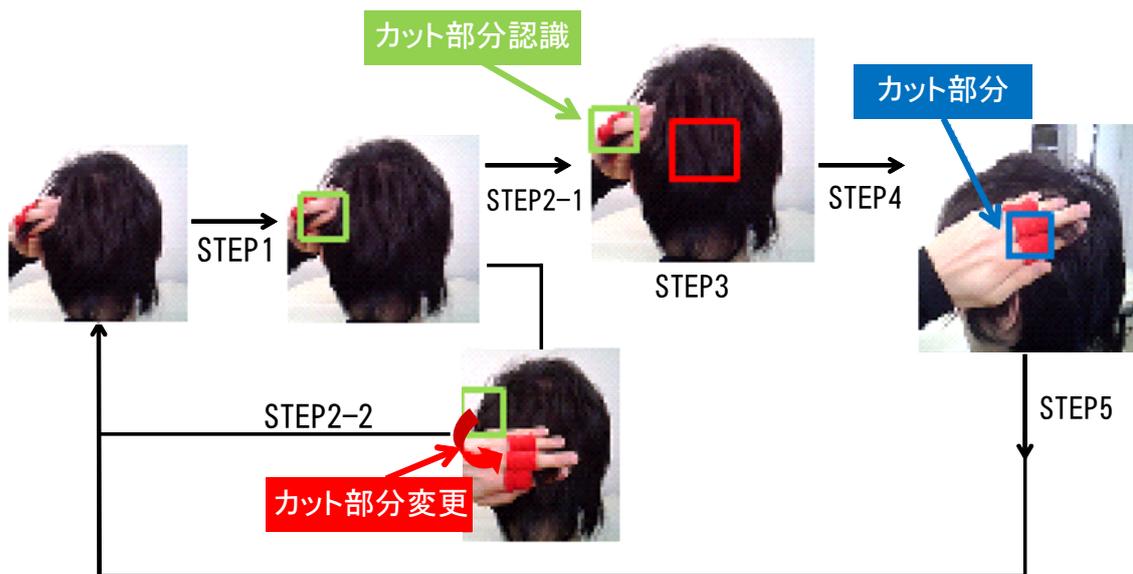


図 5: 対象追跡の流れ

ムのマーカ重心位置の差とし、その速度値の差を加速度値とした。速度と加速度の値は画像の縦軸 (Y 軸) と横軸 (X 軸) の 2 次元の情報である。

この機能使用時にはマーカの認識状況と非認識状況が存在する。以下にそれぞれの対象追跡の流れを示す。

マーカ認識状況での対象追跡の流れ

カット部分の認識は図 5 に示す 5 ステップから成る。

STEP1: マーカの重心位置が一定範囲内に一定時間とどまれば、その位置をカット部分候補と認識する。この際、重心位置を中心とした緑四角形を表示して認識位置をユーザに知らせる。

STEP2-1: マーカの重心位置が緑四角形内でさらに一定時間とどまれば、その位置をカット部分と認識する。

STEP2-2: マーカの重心位置が緑四角形内から一定時間経過する前に出たら、カット部分変更として STEP1 に戻る。緑四角形も同時に消す。

STEP3: マーカの重心位置が画面中心に表示された赤四角形に入るように移動型カメラが動く。赤四角形によって移動型カメラが移動中であることと、カット部分の画面内での移動先をユーザに知らせる。

STEP4: 赤四角形内にマーカの重心位置が入れば移動型カメラが止まる。この際、重心位置を中心とした青四角形を表示し、移動完了およびカット部分の認識位置をユー

ザに知らせる。

STEP5: マーカの重心位置が青四角形から出たら、カット部分変更としてSTEP1に戻る。

なお、機能理解のための表示図形は非表示にもできる。

マーカ非認識状況での対象追跡の流れ

マーカの非認識状況には、散髪自体をやめている状況と、散髪動作をしているがカメラ映像にマーカが映っていない状況の2つがある。今回は前者の動作を認識することで後者の状況にも対処した。前者で散髪をやめる際は手を肩よりも低い位置に下ろすが、後者では同じ頭部上の次のカット位置へ思考しながら慎重に手を運ぶ。これらから、非利き手は、前者の方が遠くて低い位置に脱力的に向かうため、画像からマーカが見切れるまでの速度値、加速度値、それらの下方向成分が大きいと考えられ、個人ごとに閾値を設定することで前者の状況が認識できると考えられる。よって、以下の条件を満たせば前者の状況とした。

- マーカ消失直前の速度値が閾値より大きい。
- マーカ消失直前までの加速度値が連続で増加している。
- マーカが画面下方向に見切れる。

これらを満たせばその時の対象追跡の流れをリセットして移動型カメラは停止する。そして、次に散髪動作が開始されてマーカが映像内に映ったときに対象追跡が再び開始される。これらの条件を満たさずにマーカが認識できない場合は、後者の状況と判断し、この際、マーカが認識できていないことをユーザに提示し、ユーザはマーカが映像に映るように手を動かすか移動型カメラを手動操作するか、移動型カメラに自動でマーカを探索させるための4.2節で後述する機能の使用で対処する。

2.4 システムの実装

以降ではカメラ付きロボットである移動型カメラと、システムアプリケーションの実装について述べる。



図 6: 移動型カメラの外観

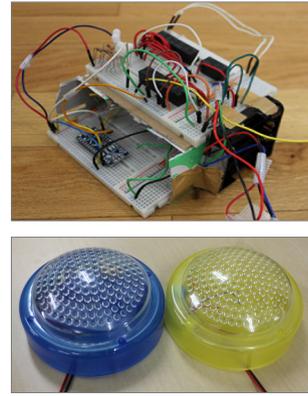


図 7: 上図: 移動型カメラの制御基盤, 下図: フットスイッチ

2.4.1 移動型カメラの実装

移動型カメラを2台実装した。その外観と制御基盤、フットスイッチを図6、7に示す。移動型カメラは掃除ロボットであるiRobot社製ルンバ780、ELEKIT製ロボットアームMR-999、無線カメラ(USWIRWRD, サンコー), その他の固定用材料で構成した。解像度は 320×240 ピクセルである。掃除ロボットを土台にし、その上にアルミ製の筒状の胴体を積み、胴体の上にロボットアームを乗せ、その先端にカメラを取り付けた。そして、移動時の揺れの軽減のために補助輪を側面に、重しを土台位置に付けた。制御基板とフットスイッチはマイクロプロセッサであるArduino nano, 無線通信モジュールであるXBee, その他の材料で構成した。

掃除ロボットはユーザの位置を中心として半径60cm程度の円運動を行なう。速度は200mm/sを基準とし、半径60cm時には180度を約10秒で動く。ロボットアームは肘の関節1つを地面と垂直な方向に動かす。図8は撮影映像例を示し、左図と右図は視点の横移動時と縦移動時をそれぞれ示す。マーカは赤色とした。対象追跡時にカット部分の一定範囲とする正四角形の一辺の長さは画面縦幅の15~20%の間とし、カット部分決定までの時間を3秒とした。掃除ロボットとロボットアームは対象追跡時には同時に動く。マーカ消失直前の速度の大体の閾値は顔の縦幅である約24cmを0.3秒以内に通る速度とした。これは、撮影距離が60cm時には円軌道の中心位置から垂直な直線が約30cm映ることから、画面縦幅のピクセル数を0.38s以内で通る速度程度である。映

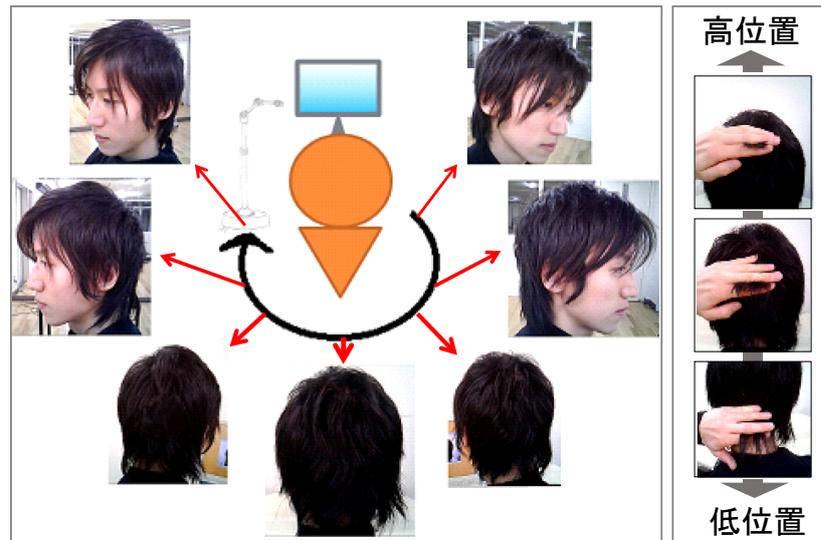


図 8: 左右方向と上下方向の視点移動時の映像例

像の縦と横の比は 3:4 で、撮影距離が 60cm 時には頭部はカメラ映像の約 4 割を占める。

提案システムの使用に必要な平面スペースは半径 90cm 程度の円の平面を想定しており、この円の半径は、移動型カメラの移動半径約 60cm と本体半径約 15cm と適当な予備の幅 15cm の合計である。また、使用場所としては自宅などの個人のみで使用する場所や、セルフヘアカット室といった美容室のように共有で使用する場所を想定する。

2.4.2 アプリケーションの実装

アプリケーションの実装には Microsoft Visual C++ と、画像処理用ライブラリの OpenCV を用いた。

システムの操作状態は 3 つある。1 つ目の自動状態は、カット部分追跡機能によって移動型カメラが自動操作されている状態で、マーカの認識状況と非認識状況の両方がこの状態である。2 つ目の手動状態は、フットスイッチで移動型カメラの手動操作をしている状態である。3 つ目の休止状態は、どの動作もしていない状態で初期設定である。休止状態への手動状態からの移行は手動操作が終わり次第行われ、自動状態からの移行は休止スイッチで行われる。

実装した機能と説明を表 2 に示す。一時停止 (ホールド) 機能では、スイッチを押している間移動型カメラの動作を停止させ、離すと元の状態に戻す。用途としてはカット部分追跡機能使用時に一時的に移動型カメラを停止させたい場合に使用する。撮影距

表 2: 機能説明

機能名称	説明
カット部分追跡	移動型カメラにカット部分を追跡させる
休止	休止状態にする
一時停止 (ホールド)	一時的に休止状態にする
視点右移動	移動型カメラを右に進める
視点左移動	移動型カメラを左に進める
視点上移動	ロボットアームの肘を上げる
視点下移動	ロボットアームの肘を下げる
撮影距離変更	移動型カメラの移動半径を変更する
映像フリップ	フロントカメラの映像を左右反転させる
写真撮影	カメラ映像をキャプチャする
移動型カメラマップ表示	移動型カメラの現在位置を表示する
掃除	移動型カメラに掃除をさせる
カット部分探索	移動型カメラにカラーマーカを探させる

離変更機能は、撮影距離を変えたい場合に移動型カメラの円軌道半径を 50cm～80cm までで 10cm 間隔で変更する機能である。フリップ機能は正面カメラ映像を左右反転させ、他人が見ている自分を確認するために使う。写真撮影機能では、フロントカメラや移動型カメラの映像をキャプチャしてフォルダに保存する。また、キャプチャ画像は画面に表示でき、表示枚数は 1, 2, 3 からテンキー入力で選べる。表示画像は撮影毎に更新される。これらを利用することで、キャプチャ画像を表示させながら移動型カメラを動かして髪型を複数角度から見たり、髪型の画像保存ができる。移動型カメラマップ表示機能では、移動型カメラの移動距離をもとに、その現在位置を表示する。用途としては、撮影対象とカメラの位置を画面で確認することで、撮影映像がどの視点から自分を見たものかわからない混乱を防ぐ。掃除機能では移動型カメラは掃除しながら円運動を行ない、元いた位置に戻る。これは掃除の負担を減らすために使う。

カメラ映像や実装機能の情報はそれぞれがウィンドウとして画面表示され、ユーザはそれらの位置を自由に変更する。図 9 に 4 つのウィンドウを含んだ使用例を示す。左上と右上のウィンドウはそれぞれ移動型カメラの映像と移動型カメラマップ表示機能のウィンドウで、左下と右下のウィンドウは写真撮影機能でキャプチャした画像である。移動型カメラマップ表示機能のウィンドウは、ユーザの真上から見下ろした視点の画で、画の真上方向をユーザの正面としている。そして、画内では小さい円で表される移動型カメラが、ユーザを中心かつ撮影距離を半径とした大きな円の線上を動く。なお、図 10 に示すように 2 台の移動型カメラを同時に利用できるが、自動状態になるのは 1 台で、すれ違う機能は未実装である。

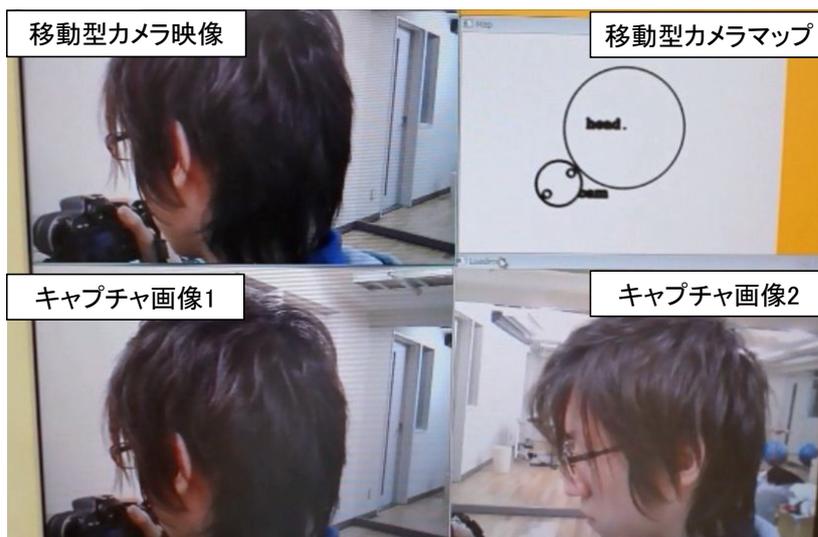


図 9: 画面例



図 10: 2 台のロボットを同時に使用している様子

2.5 評価実験

実装した提案システムの有効性を評価するための複数の実験を行った。

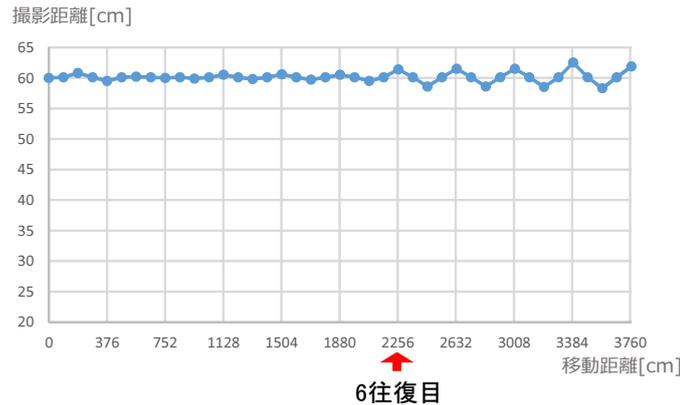


図 11: 移動距離による移動型カメラの撮影距離の推移

2.5.1 実験 1: 撮影距離の維持性能の評価

本節では、移動型カメラがユーザと一定距離を保つ性能が十分かを 2 つの実験で評価した。まず、移動型カメラにユーザの真右から真左の 180 度間を旋回半径 60cm で 10 往復させ、真右側面、真背面、真左側面の 3 点においてユーザとロボット間の距離を測定した。片道約 188cm で総距離は約 3768cm となる。この往復数は、髪型完成に必要なものとして散髪専門雑誌 [13] を基に決定した。

図 11 に移動型カメラの撮影距離の推移を示す。縦軸は移動型カメラとユーザの間の直線距離を表し、横軸は移動型カメラの移動距離を表す。結果から、撮影距離の初期状態からの変化は、左右共に 6 往復までは約 1cm、それ以降は約 2cm とわかる。

次に、この撮影距離のズレが散髪結果に与える影響を評価した。具体的に、被験者は左右一方の側面に約 15cm の紐 8 本付きかつらを被って紐を 1cm カットする作業を、撮影距離の異なる環境で行う。撮影距離は 3 つで、基準距離となる直線 60cm、65cm、70cm である。実験実施時には、これら 3 つの撮影距離の順はランダム、1cm の紐を定規に添えて事前に見せ、時間無制限とした。

図 12 はカットした紐の結果を示す。分散値は一定の長さのカットを維持できたかを表し、この値が小さいほど良い結果となる。平均値は目標値に近い長さのカットを維持できたかを表し、今回だと目標値である 1cm に近いほど良い結果となる。なお、分散値は個人ごとに計算されているので、分散値における平均値は個人ごとに定義されており、分散値の意味は個人のデータ内における個人の平均値からのばらつきである。検定には、Bonferroni 補正とウィルコクソンの符号付順位検定による多重比較検定

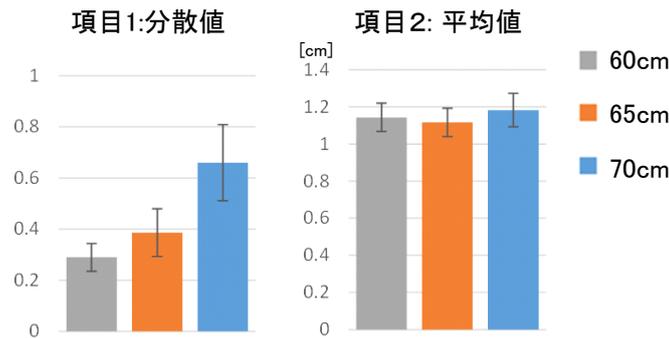


図 12: 撮影距離の違いによる散髪への影響の結果

と、ANOVA(Analysis of Variance)による分散分析と Bonferroni 補正を用いた多重比較検定を、等分散性と正規性を基に選択した。項目 1 には Bonferroni 補正とウィルコクソンの符号付順位検定による多重比較検定を用いて、項目 2 には ANOVA による分散分析と Bonferroni 補正を用いた多重比較検定を用いて、その結果、撮影距離の違いで散髪結果に有意な差は表れなかった。よって、提案システムの撮影距離のズレは散髪結果に悪影響を及ぼさない程度と考えられる。

以上から、移動型カメラがユーザと一定距離を保つ性能は十分と確認した。ただし、カットのばらつきと撮影距離のズレは比例して増加するようにみとれるため、撮影距離の大きなズレは散髪精度を低下させると考えられる。よって今後は、随時自動で撮影距離を補正する機能の実装を検討する。なお、ここでの散髪精度とは、例えば一定の長さのカットを維持できたかや目標値に近い長さのカットを維持できたかといった、カットした紐の分散値や平均値からわかる散髪作業の精密さの度合いを意味する。

2.5.2 実験 2: 自動操作の評価

提案システムが予備実験で確認した問題解決に有効かを評価した。予備実験と同じ被験者 6 名が予備実験と同じ内容で模擬セルフヘアカットを行なった。実験ではカット部分追跡機能を事前に理解させて使わせ、実験後に以下の質問をした。図 13 に実験風景を示す。なお、予備実験の環境も随時確認できるように、同時に提供した。

質問 1 取得映像の評価: 散髪のしやすい映像が得られたかの 5 段階評価。取得映像が予備実験環境と比べて、とても散髪がしづらければ 1、変わらなければ 3、とても散髪がしやすければ 5 である。

質問 2 システム利用の負担の評価: 身体的や認知的な負担を予備実験環境と比べて自



図 13: 評価実験の様子

表 3: 質問 1 の結果

被験者	A	B	C	D	E	F	平均
回答	5	4	4	4	4	5	4.3

由にコメントする。

質問 3 その他: その他, 自由にコメントをする。

結果と考察

表 3 の質問 1 の結果から, 予備実験時よりも散髪のしやすい映像を得られたとわかる。カット部分を散髪のしやすい正面近くの方から, 近い距離で, 影などの障害無しで見られたこと, そして映像が前方から正面を向いて提示されたことが, 予備実験時の取得映像の問題改善に繋がったと考えられる。

質問 2 では身体的な負担に関して, 散髪を妨げる身体的な負担や制限無しで散髪したい部分を見られたので散髪に集中できた, 全身を楽な状態で散髪だけに使えた, 映像を見ることと散髪が同時にできたという意見を得た。散髪部分を見るために, 手を含めて全身を使う必要や不自然な状態にする必要が無かったことが, 予備実験時の身体的な負担を改善させたと考えられる。また, 認知的な負担に関しては, 散髪したい部分を映すための思考が必要なくて楽で集中できた, 鏡の反射を繰り返した映像を見ている際の混乱が起きなかったという意見を得た。映像による混乱は混乱動作が観察可能な者だけにはその場で予備実験環境も再度体験させ, 鏡の映像で確認された混乱動作が提案システムでは起こらないことを観察した。この混乱の原因は「鏡の映像は

左右反転する」という経験的に身についた認識にあると考えられ、この特殊な認識のせいで、2回の反射によって実際は左右反転していない映像に対しても、1回左右反転した映像に対する反応を無意識にしてしまったようにみとれた。一方、カメラで撮影したディスプレイからの映像にはそういった特殊な認識が無かったので、混乱が起これなかったと考えられる。これらから予備実験時の混乱を含め認知的な負担の改善を確認したが、今後は定量的な評価のために、それらによる影響が散髪時間や散髪精度に表れるとして間接的に評価する。この間接的な定量評価の理由は、混乱や認知的負担の観察・自己報告が直接的にはできない場合があるから、例えば一瞬混乱して自己解決して混乱動作が表れないなどがあるからである。

質問3では、移動型カメラがカット部分に至るまでを遅く感じる場面があるという意見があった。実験時には、カット部分認識までに時間がかかった場面があり、カット部分を誤認識しないようにプログラムをしたことが原因だと考えられる。また、若干左右に視点をずらしてカット部分を確認するといったように、左右方向の視点移動を自分の判断で適宜したい場面があるという意見があった。これらに対して手動と自動の併用操作を考えており、システムのカット部分認識から決定までの時間短縮のために、カット部分をユーザのスイッチングで決定することや、左右方向移動はフットスイッチ操作にすることも考えられる。

実験中に散髪動作を止めた際に移動型カメラが移動し続けることは無く、マーカ非認識状況でのプログラムがうまく動作したと考えられる。また、その他の機能の要望として、カットする瞬間はカットする部分のズーム映像が見たいという意見が挙げられ、今後はこの機能実装のためにハサミなどの道具からカット動作を認識することを検討する。

2.5.3 実験3: 実践的な課題でのシステムの評価

本節では実シナリオに沿った実践的な課題で提案システムを評価した。実験参加者は12名で、男性10名と女性2名、年齢は21~26才、セルフヘアカット経験は0~8年である。実験では指定された模擬セルフヘアカットのシナリオを3つの環境で行う。シナリオは1つのヘアスタイルを完成させる工程の一部を専門雑誌[13]から抜粋したもので、具体的には、ミディアムヘアの一種の散髪工程のうち、頭部下側領域の左側面から右側面までの髪を真下に伸ばして切り口を直線的にカットする工程と、頭部中段領域の左側面から右側面までの髪を床に平行に伸ばして切り口を直線的にカットする工

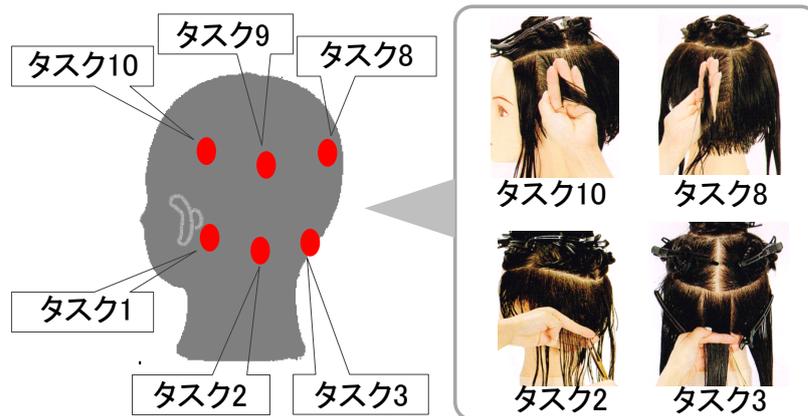


図 14: 実験シナリオのタスクの位置と手本画像の一部。図中にないタスク 4~7 は後頭部右半面に同様に位置する。

程である。このシナリオは 10 のタスクから構成され、タスク 1 つにつき視点移動、毛束の把持と特定方向への引っ張り、長さの測定とカットがある。図 14 はシナリオの一部で、実施環境は次の 3 つである。

提案環境: 提案システムを用いて自身をセルフヘアカット。

従来環境: 予備実験と同様に鏡を用いて自身をセルフヘアカット。

他者散髪環境: 美容師のように他者を散髪。セルフヘアカットではない。この環境が最も散髪がしやすいと想定でき、予備的な比較対象とする。

実験では、被験者は紐束付きかつらを被り、タスクの手順画像どおりに散髪する。紐束は 10 箇所、紐は丁度 10cm で 1 箇所 8 本で、カットする長さは 1cm である。事前に 1cm の紐を定規に添えて見せ、シナリオの練習を全環境で 1 回ずつさせた。紐の太さは直径約 1mm のものである。各環境の実施順番は、他者散髪環境を始めにし、残り 2 つはランダムとする。実験時間は約 30 分である。提案システムは前節を踏まえて自動と手動を組み合わせた併用操作を使い、左右方向は両足前の 2 つのフットスイッチでの手動操作、上下方向を自動操作に割り当てた。この理由は、左右方向の視点移動は操作する動作方向と対応しているため、例えば右方向への視点移動は右足でスイッチを押すといった直観的で容易な操作ができるからである。この実験の使用カメラは Microsoft 社の LifeCam Cinema で、その解像度は 1280 × 720 ピクセルである。

評価項目は以下で、これ以外に自由コメントも求めた。

項目 1: NEM の結果: NEM (Novice Expert ratio Method) はシステムのユーザビリティ評価方法 [14] で、複数タスクを含むシナリオのシステム操作時間を被験者と熟練

表 4: 実験 3 の結果

被験者	シナリオ所要時間 [分]			80本の紐の分散値			80本の紐の平均値 [cm]			取得映像について			負担について		
	他者	提案	従来	他者	提案	従来	他者	提案	従来	他者	提案	従来	他者	提案	従来
H	3:13	6:30	8:40	0.39	0.25	1.69	1.20	0.97	1.32	5	3	2	0	1	3
I	1:07	2:01	3:41	0.33	0.34	1.42	1.02	0.98	1.28	5	4	1	0	1	5
J	0:56	2:07	1:56	0.78	0.57	0.90	1.54	1.18	1.41	5	4	3	0	2	3
K	1:08	2:23	2:49	0.17	0.59	1.22	0.86	0.72	0.92	5	3	1	0	0	3
L	1:30	2:11	3:21	0.43	1.31	0.71	1.60	1.65	1.68	5	4	2	0	1	2
M	1:27	2:40	3:23	0.36	0.48	0.49	0.74	0.69	0.36	5	5	2	2	1	4
N	1:11	2:38	3:28	0.16	0.09	0.16	1.14	1.13	1.36	5	4	2	0	0	4
O	0:52	1:52	2:06	0.16	0.20	0.14	1.25	1.42	1.29	5	4	1	0	2	4
P	1:10	1:57	2:39	0.07	0.07	0.09	0.98	0.94	1.00	5	5	3	3	2	4
Q	1:11	2:38	3:28	0.23	0.33	0.23	1.01	1.17	1.16	5	3	2	0	0	2
R	0:59	2:08	2:11	0.07	0.18	0.55	1.45	1.33	1.32	5	4	2	1	0	5
S	1:00	2:06	2:10	0.33	0.23	0.32	0.92	1.21	1.09	5	4	1	0	0	5

者となるシステム開発者の両者が測定し、両者の時間比 (NE 比) で評価する。

項目 2: シナリオの所要時間: 作業所要時間の評価。

項目 3: 紐の分散値: 一定の長さのカットを維持できたかの評価。5.1 節と同じである。

項目 4: 紐の平均値: 目標値に近い長さのカットを維持できたかの評価。5.1 節と同じである。

項目 5: 取得映像の評価: 散髪のしやすい映像が得られたかの 5 段階評価。とても散髪のしづらい映像であれば 1、とても散髪のしやすい映像であれば 5 とする。

項目 6: 負担の評価: 実験時に感じた負担の 5 段階評価。全く負担が無ければ 1、大きく負担があれば 5 とする。

結果と考察

評価項目の元データを表 4 に示し、各項目ごとに結果と考察を述べる。まず、項目 1 の NEM の結果を図 15 に示す。左軸と棒グラフは NE 比とよばれる被験者と開発者の所要時間の比を表し、右軸と折れ線グラフはタスクごとの所要時間 [秒] を表す。設計者の値は 3 回分の平均値で、棒グラフが小さくて 2 本の折れ線グラフの差が小さいほど良い結果となる。結果から、NE 比は最大で約 2、全体の平均は約 1.53 とわかり、NE 比は 4.5 以上で操作性に問題があるとされていることから [15]、提案システムの操作性に問題はないと考えられる。

残りの結果を図 16 に示す。検定には、Bonferroni 補正とウィルコクソンの符号付順位検定による多重比較検定と、ANOVA による分散分析と Bonferroni 補正を用いた多重比較検定を、等分散性と正規性を基に選択した。項目 2 の所要時間について、Bonferroni

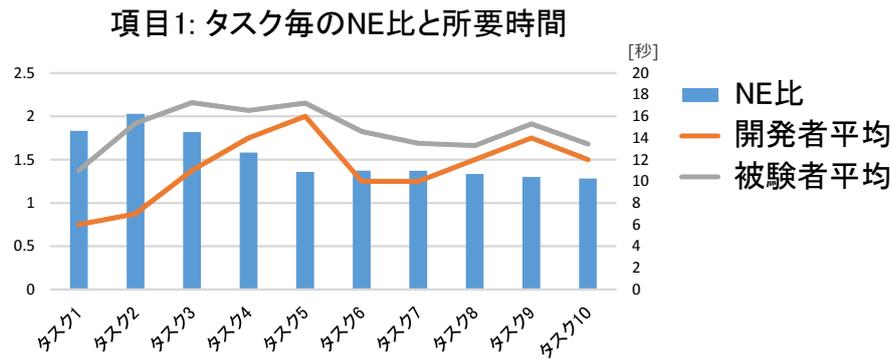


図 15: 項目1のNEMの結果

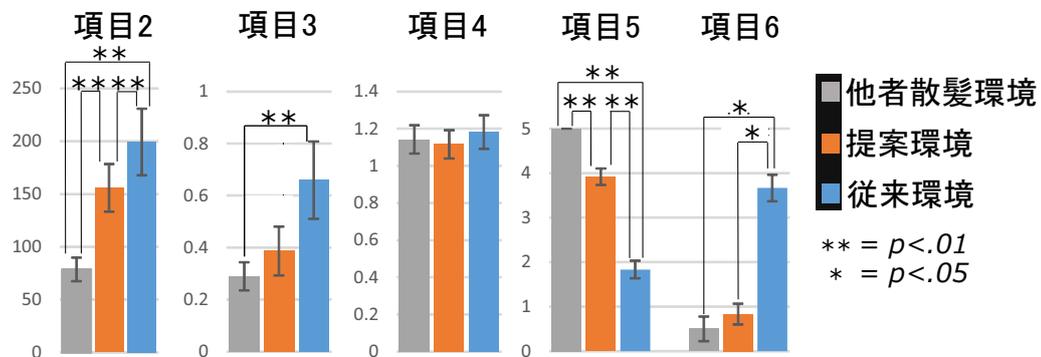


図 16: 項目2, 3, 4, 5, 6の結果

補正とウィルコクソンの符号付順位検定を用いた多重比較検定の結果、全環境間の所要時間に有意差があり、所要時間の少ない順に他者散髪環境(1分18秒)、提案環境(2分53秒)、従来環境(3分19秒)となった。以上から、提案環境が従来環境に比べて作業時間短縮に有効と確認した。後述する項目6の結果から提案環境の負担は少ないとわかるので、他者散髪環境に比べて所要時間がかかったことも問題は無いと考えられ、また、慣れによって時間短縮されると考えられる。

項目3, 4の散髪精度の結果を図16に示す。5.1節と同様で、分散値が小さく、平均値が目標値の1cmに近いほど結果が良い。項目3の紐の分散値は、Bonferroni補正とウィルコクソンの符号付順位検定を用いた多重比較検定では、他者散髪環境と提案環境の間に有意な差はなかったが、従来環境は他者散髪環境より分散値が有意に大きかった。これらから、提案環境の散髪精度は他者散髪環境と同等で従来環境よりも良いとわかる。一方、項目4の紐の平均値は、ANOVAによる分散分析で環境間に有意差はな

かったが、平均値の目標値への近さの順は提案環境，他者散髪環境，従来環境となった。提案環境が他者散髪環境と同等以上の結果だったのは，他者散髪環境では目線を毛束に近づける中腰ぎみの姿勢が必要とされたが，提案環境では必要な視点が常に楽に得られたからと考えられる。以上から，散髪精度に影響する散髪のしやすさに関しても提案環境が従来環境と他者散髪環境に比べて有効な点があると確認した。

項目5の取得映像の結果を図16に示す。これは，スコアが高いほうが良い。Bonferroni補正とウィルコクソンの符号付順位検定を用いた多重比較検定の結果，全環境間に有意差があり，スコアが高い順に他者散髪環境，提案環境，従来環境となった。結果から，5.3節と同様に，提案環境は従来環境よりも散髪のしやすい映像が提示できたとわかる。一方で，他者散髪環境の奥行きを感じ方が良いので散髪をしやすいと意見があったため，今後はカメラの複眼化による奥行の再現を検討する。

項目6の負担の結果を図16に示す。これは，スコアが低いほうが良い。ANOVAによる分散分析の結果，所要時間の差は有意であった($F(11,2)=46.12, p < 0.01$)。Bonferroni補正を用いた多重比較検定では提案環境と他者散髪環境の両方が従来環境よりも有意に負担が小さかった。これらから，提案環境は従来環境より負担が少なく，スコアの低さから負担自体も少ないとわかる。提案環境においては，他者散髪環境で観察された負担である，視点の位置を一定に保つための動作や体勢なども少ないと考えられる。

所要時間や散髪精度において，提案環境が従来環境より良かったことから，提案環境によって鏡特有の混乱は軽減されたと考えられ，このことから，1枚の鏡では見られない自身の範囲を見る場合には，複数の鏡の反射の利用よりも提案システムを利用の方が適切であることを示す結果を得た。また，鏡のような使い慣れた道具を一般的な形式と異なる方法で利用する場合，過去の経験が悪影響を起こす可能性があり，そのような悪影響は汎用的な機器を介することで排除されることが示唆された。また，情報提示システムの設計では，提示機器によって意図せぬ影響が生じることも考慮すべきという示唆にもなった。

これらの結果から，散髪したい部分を負担なく見ながら散髪するために提案システムが有効であることを確認した。他の併用操作方法としては，今回の併用操作に左右方向の自動移動を追加することも考えられ，フットスイッチ操作をし忘れていて自動で作動するなど有効に機能すると考えられる。

2.6 まとめと今後の課題

本研究では、視点移動が可能な移動型カメラを用いてセルフヘアカットを支援するための情報提示システムを提案した。そして、セルフヘアカットの支援機能として、ユーザがカットしたい部分を移動型カメラが自動で追跡撮影する機能などを実装した。評価実験から、提案システムによって快適にセルフヘアカットができることを確認した。今後は、技術習得に関する支援を検討しており、動作状態に適した指示や髪型完成までの手順の提示などを想定している。また、電子ディスプレイとカメラを用いたシステムがあらゆる場面の鏡の代替となり得ることを踏まえて、鏡の反射映像と電子ディスプレイ上のカメラ映像による認知的・身体的な影響の調査も検討する。

3 健康の自己管理支援システム モチベーション向上支援のための歩数ログ提示 システム

3.1 まえがき

コンピューティング技術の発展は、ユーザのモチベーションを高める機会を様々な場面にもたらした [16, 17]. これは、小型のセンサや情報提示機器があらゆる場面でのデータ取得と情報提示に向き、モチベーション向上支援への活用に適しているからである. 望ましい行動形成のためのモチベーション向上が自力で困難なことは、健康をはじめとする様々な分野での社会問題が示しており、このことは、コンピューティング技術を用いたモチベーション向上支援手法が今後も様々な場面で重要になることを示唆している.

本研究課題では、モチベーション向上の支援のための情報提示手法として、データ改変を軸とした2つの手法を提案する. 1つ目は競争情報の改変フィードバック手法、2つ目は自己達成程度ログの改変フィードバック手法である. 以降では、それぞれについて述べる.

3.2 競争情報の改変フィードバック手法

まず、競争情報の改変フィードバック手法について述べる.

競争などの他者との相対比較を利用したモチベーション向上支援は、これまで様々なシステムやイベントで多用されてきた [19, 36, 41]. 競争は動物の普遍的で根源的な欲求に働きかけるため [24], ランキングなどの競争情報は多くの人にとって理解しやすい様々な場面に適用しやすい. このことから、競争を用いたモチベーション向上支援は今後も多くの人に関わっていくと考えられる.

しかしながら、既存手法は競争による心理的影響の考慮が不十分な故に、競争による良い効果だけではなく悪い効果をも起こしている点に課題があった. 競争によるモチベーションへの影響を変化させる要素は明らかにされており、その要素として例えば、努力量に対する報酬 (努力量に対する競争結果)[32], 競争相手との成績差の程度 [33], 競争参加人数 [34] が示されている. これらが示すのは、競争相手との兼ね合いで自分の

努力が報われない状況や、競争相手が自分より格上になってしまう状況、また競争人数が多すぎる状況は、モチベーションに悪い効果を与え得ることである。このような競争による影響を左右する要因が明らかにされているにもかかわらず、競争によるモチベーションの低下を軽減して向上を積極的に引き出すことを狙った手法はこれまで提案されてこなかった。

そこで、本研究では、競争による心理的影響を変化させる要因を考慮し、競争情報の見せ方をデータ改変を交えて操作することで、競争によるモチベーションの低下を軽減して向上を積極的に引き出すことを狙った手法を提案する。提案手法では、努力量に対する競争結果、競争相手との成績差、競争参加人数の3つの要因において、モチベーションに良い効果が出るように、競争相手データの改変を用いて競争情報の見せ方を操作する。本研究では、まずは日常の運動モチベーション向上を対象とした歩数ログ競争システムに提案手法を適用し、活動量計から得た歩数を基にして競争情報を生成してウェブアプリケーションからフィードバックするシステムを開発する。そして、合計82名の6週間にわたる3種類の実験から提案手法の有効性を確認する。

3.3 関連研究

モチベーションに影響する要因

本研究では、モチベーションに影響する次の3つの要因を考慮する。

投資努力量に対する報われる量の程度はモチベーションに影響することが明らかにされている。期待理論では、努力量に応じた報酬を得ることで、次の報酬獲得や目標達成への期待が高まり、モチベーションの表れである次の投資努力量が増すとされている [32]。期待理論は、モチベーション誘発のプロセスやメカニズムを追及する過程理論に属するモチベーション理論である。この理論は、人を功利主義的と仮定してモチベーション喚起プロセスの要に達成経験をおく点に特徴があり、1970年代初頭に完成された後、現在においても経営学などで最も有名な理論のひとつとなっている。基礎的なモデルでは、報酬獲得期待(目標達成期待)と報酬価値の掛け算によってモチベーション(投入努力量)が決定され、投入努力と報酬の間の適切なフィードバックループが重要とされている。努力量に応じた報酬の程度は自己効力感という行動遂行の自信を養うためにも必要と行動変容の理論においてもモデル化されている [29]。これらは、努力量に応じた報酬獲得や目標達成の経験がモチベーション向上に重要なことを示している。

能力や成績などに関する競争相手との差の程度がモチベーションに影響することが明らかになっている。N. Triplett が競争による努力量の向上を 1930 年代に報告して以来、競争者同士が影響しあう現象が様々な条件で調査されてきた。その一つに、競争相手との差がある。スコット・カレルら [33] は、競争相手との差による影響の調査として、米国空軍学校の士官候補生を対象に実験を行い、成績下位の者は上位の者に混じることで落第率が高まり、成績中位の者が大半を占めるクラスでは全体の成績が向上したことから、同格の競争者からは良い影響を受けて格上の競争相手からは悪い影響を受け得ることを示している。他者との相対比較についての動物の欲求を追及した社会的比較理論においても、競争する比較他者として見出されるのは属性と格が同程度の者と示されている [30]。これらは、競争相手との差の程度がモチベーション向上に重要なことを示している。

競争の参加人数がモチベーションに影響することが明らかになっている。Stephen ら [34] は、競争参加人数が多いほど努力量が低下する心理現象を、人数を N として N 効果と呼んでいる。この現象は、SAT(大学進学適性試験) のスコアと会場の受験者数の間に負の相関があることや、認知能力テストにおいても競争相手を少なく伝えられていた群の方が多く伝えられていた群よりも、スコアからわかる努力量が高かったことから示されている。この原因としては、人数増加に伴う勝率の期待の低下が挙げられる。また、報酬の価値の低下も挙げられ、人が相対的にモノの価値を見積もるせいで、1つの順位変動の価値が参加人数の増加に伴って低下する。この類似現象として、協力の参加人数の増加で努力量が低下する現象がリングelman現象や社会的な手抜きとして知られている [31]。これらは、競争の参加人数がモチベーションに重要なことを示している。

歩数を用いた運動モチベーション向上支援システム

運動不足が起す肥満や疾患は深刻な健康上の問題に繋がる。この予防や改善に単純な歩数増加が効果的であるという医学的根拠に基づいて、運動モチベーション向上を支援するための歩数ログ提示システムは多く提案されている。現在ではターゲットユーザの細分化も進んでおり、例えば高齢者向け [38] にアンビエントに歩数を可視化するものや、10代女子向け [39] に食事のカロリー計算機能を付加したものが提案されている。また、大規模なヘルスケアプログラムも実施されており、例えば不活発な成人を対象にしたウォーキングプログラム [40] や自治体ごとの歩数ログを用いた健康増

進イベント [35, 36] が実施されている。この運動モチベーション向上という目的において、競争心を生むような仕組みは多くのシステムに付随されており、例えば、仲間同士で歩数目標への進行具合を共有するモバイルアプリ [21] や歩数でバーチャルペットの育成を楽しむシステム [37]、既製のアプリケーション (例: Withings[41], Fitbit[42], Fitocracy[43])、活動量計を用いた健康増進イベント [36] などに競争を促す仕組みが付加されている。本研究の提案手法はこれら既存のシステムと同じ目的に貢献するものであり、また、これら既存のシステムやイベントに適用できるものである。

心理的影響を考慮したシステム設計

提案手法のようにユーザの心理や行動の変容を狙ったコンピューティング技術がヘルスケアや教育など様々な領域で提案されてきた [16, 17]。モチベーション向上支援を狙った手法に関しては、様々な要素が利用されており、達成度合いなどの自己の情報だけを利用する手法 [18] をはじめ、競争心と協力心を利用した手法 [19]、自分の怠惰でパートナーに罰が与えられるといった仲間間の利害関係を利用した手法 [20] や他者との社会的なつながりを利用した手法 [21, 22]、予測値を利用した手法 [23] などがある。

また、提案手法は提示情報による心理的影響を考慮して競争情報の見せ方を変えるものである。すなわち、競争が真に支援目的を達成しているかを十分に考慮した設計を目指している。類似する設計が提案されており、例えば、自己の食事内容のログに他者評価が付くソーシャル・ネットワークキング・サービスのシステムにおいては、健康的な食事内容をユーザに好んで食べさせるために、健康的な食事内容への他者評価を高評価に改変してからフィードバックする手法が提案されている [45]。このような研究は、本研究の必要性や実現可能性を支持する例である

他者との相対比較

競争を含めて他者と相対比較したがる根源的で普遍的な欲求については社会的比較理論で追及されている [24]。このような欲求としては、例えば、周囲の世界における自己評価を知りたいという欲求があり、これは生物として適応的で安全に生きるための資源獲得保持能力 [25] を養うためのものである。その他にも、能力の向上のための自己改善の欲求 [26] や、心地よさを得るための自己高揚の欲求 [27] など、複数の欲求が指摘されている。他者との相対比較が生じる機会は情報化技術の発展に伴ってこれま

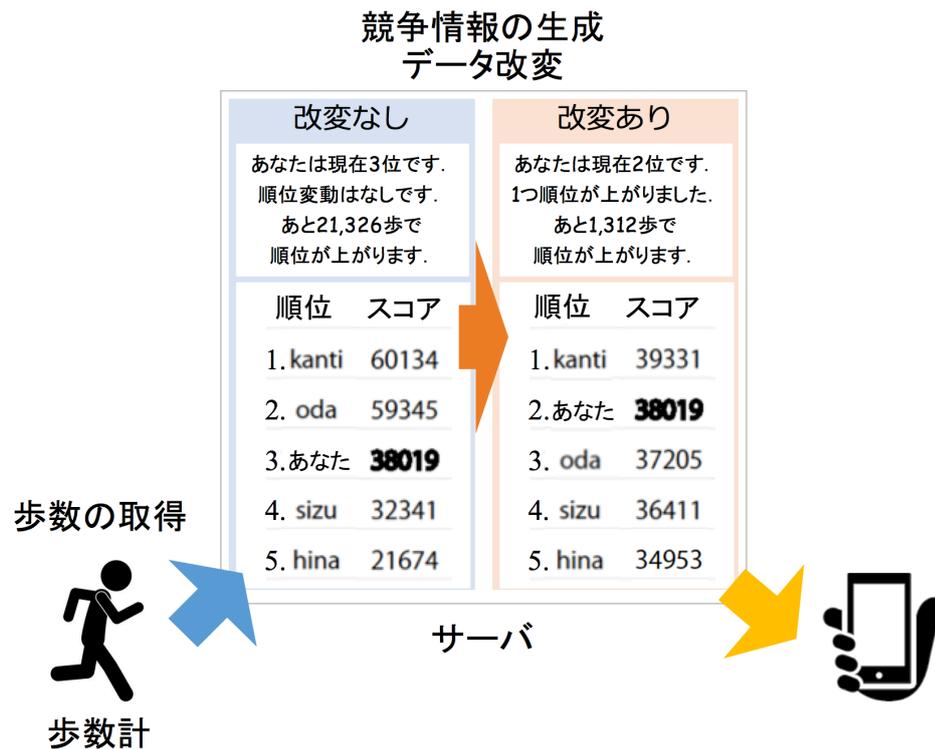


図 17: 心理的影響を考慮した競争情報のフィードバック

でよりも増加していることから、そのような機会から悪い影響を防止して良い影響だけを引き出そうとする本研究のような技術の必要性は増すと考えている。

3.4 提案手法

提案手法は、競争による心理的影響を変化させる要因を考慮して競争情報の見せ方を操作する。競争情報の見せ方の操作は、競争相手との差の程度や順位変動などのデータ改変を交えて行う。このデータ改変のおかげで、モチベーションが向上する状況を積極的に増やし、モチベーションが低下する状況を減らす。モチベーションが低下する状況とは、例えば努力したのに報われない状況や、競争相手と大差がつく状況である。本研究では、まずは日常の運動モチベーション向上を対象とし、提案手法を歩数ログ競争システムに適用させる。図 17 に示すように、提案システムは歩数を活動量計から取得し、サーバで競争情報をデータ改変を交えて生成して、その競争情報をウェブアプリケーション経由で提示する。

3.4.1 競争情報の設計要件

提案システムでは、次の3つの要因において、モチベーションに良い影響を与えるように競争情報を生成する。

要因1: 努力に対する報いの程度

努力に対する報いの程度はモチベーションに影響する。努力量に応じて報酬を得ることで、報酬獲得や目標達成への期待が高まり、次の投入努力量(モチベーション)が向上する[32]。逆に、努力が報われない経験はモチベーションを低下させてしまう。この要因への考慮がない既存のアプリケーションやイベントでは努力が報われない経験がしばしば起こる。

要素2: 競争相手との差の程度

競争相手との差の程度はモチベーションに影響する。競争相手は自身と同格の者から見出されるため[30]、モチベーションは競争相手との差が大きいと低下し、僅差であれば向上する[33]。したがって、モチベーションに良い効果を与えるためには、適切な競争相手との差の提供が必要である。特に、今回のような累積値の競争では、1日当たりの小さい差が一定期間後には大差になり、一度大差になると簡単に僅差にはならないので、差の操作は必須である。この要因への考慮がない既存のアプリケーションやイベントでは競争相手との差がユーザの許容範囲を超える場面がしばしば起こる。

要素3: 競争相手の人数

競争人数はモチベーションに影響する。競争人数の増加は努力量の無意識的な低下を招く[34]。したがって、ユーザには少ない競争相手や小規模な競争を意識させる必要がある。特に大人数を前提とした競争では、嘘で参加人数を10人程度などと少なく伝えられないため、競争人数による影響の考慮は必須である。大人数を前提とした競争とは、例えば県主催の歩数競争イベントやある学校内の定期試験などの、参加者も競争者が多いと理解している競争を指す。この要因への考慮がないある大規模な歩数ログを用いたイベント[35]では「あなたの歩数ランキングは42082人中24064位です」と伝えており、この要因において良い効果を得るユーザが少ないと想定できる。

表 5: プレイヤーの定義

名前	説明
P[改変可]	データ改変可能プレイヤー: ターゲットユーザのモチベーション向上のために競争結果を改変可能なプレイヤーのことを指す. 架空のプレイヤー, もしくは実在のプレイヤーであってもユーザと競争情報を共有し得ない者である.
P[改変不可]	データ改変不可能プレイヤー: 競争結果を改変不可能なプレイヤーを指す. ユーザと競争の情報を共有し得るために改変が知れたら都合が悪い者で, 主に実在の者が想定される.

3.4.2 競争情報の設計: 努力の考慮手法と成績差の考慮手法

ここでは, 要因1(努力に対する報いの程度)と要因2(競争相手との差の程度)を考慮して, 順位変動や歩数スコアを改変する方法について述べる. ユーザ以外の競争参加者は表5に示すように, データを改変可能なプレイヤー(P[改変可])と改変不可能なプレイヤー(P[改変不可])の2種類で定義され, P[改変可]のデータを改変することで, 対象とするユーザのモチベーション向上を狙う. このデータの改変は, 表6に示す変数のうち, 順位変動を起こすための必要努力量 NE と, 競争相手である P[改変可] とのスコアの基本差 BD の2つの設定に基づいて行う.

データ改変方法は2パターンあり, 同一競争内に, P[改変可]だけの場合のパターン1と, P[改変不可]が複数存在する場合のパターン2がある. これらはそれぞれ次のようになる.

パターン1: ユーザ以外のプレイヤーがデータ改変可能プレイヤーだけの場合

このパターンではすべての競争相手がP[改変可]である. 競争スタート時には, 初期の順位とスコアを設定する. まずは, ターゲットユーザの順位を全体の中位程度には設定し, P[改変可]が上位と下位にまんべんなく存在できるようにする. 次に, P[改変可]の順位をターゲットユーザの初期順位以外に割り当て, P[改変可]のスコアを次の3つの構成要素の合計値に設定する. その構成要素はターゲットユーザのスコア, 基本差要素, そしてランダム要素である. 基本差要素は $BD \times n$ で, n はターゲットユーザとの順位距離である. ランダム要素は $\pm(BD \times l)$ 間のランダム値で定義され, l は0~1の範囲で適当に調整し, 例えば0.3程度にする. この際, P[改変可]のスコアは上位から順に設定し, 1つ上位の競争者のスコアを越えないようにする. ターゲットユーザの初期の順位やP[改変可]の参加人数については, 使用状況に応じて自由に設定する.

競争スタート時以降には, 順位とスコアが更新される. まず, ターゲットユーザの

表 6: 変数の定義

種類	説明
S	歩数 (Step): 1日当たりの歩数とする.
B	基準値 (Baseline): ユーザごとの1日当たりの努力量を測る基準値. この B は一定期間内における歩数 S の平均値とする.
E	努力量 (Effort): 基準値からの歩数の増減量を努力量とする. この E は $S - B$ で定義される.
NE	必要努力量 (Necessary Effort): 順位変動を操作する変数であり, 1つの順位変動に必要な努力量である. 例えば, NE が 1000 歩のとき, ターゲットユーザの順位は E が 1000 増加 (減少) するごとに 1つ上がる (下がる).
BD	基本差 (Basic Difference): P[改変可] のスコアを操作する変数であり, データ改変後の競争相手のスコアとターゲットユーザのスコアの差の程度である. 例えば, BD が 1000 歩のとき, 1つ上位の競争相手とのスコアの差は約 1000 歩で, 2つ上位の競争相手とのスコアの差は約 2000 歩となる.
RF	順位変動 (Rank Fluctuation): 努力量に応じた然るべき順位変動の数である. この RF は $E \div NE$ の整数部分で定義され, ターゲットユーザの順位変動数は次の3種類で決定される. 1つ目の $RF > 0$ のとき, 順位は上がり, 2つ目の $RF = 0$ のとき, 順位変動はなしで, 3つ目の $RF < 0$ のとき, 順位は下がる. 例えば設定した NE が 1000 歩でターゲットユーザの E が 2500 歩のとき, RF は 2 になるのでターゲットユーザの順位は 2つ上がる.

順位は, 前の順位に, 順位変動数 RF を加算した値とする. RF は努力量 E と必要努力量 NE から計算される. 次に, P[改変可] の順位は, 前のランキングで上位だった P[改変可] から順に, ターゲットユーザを除いた残りの順位の上位から割り当てられる. ここの P[改変可] のスコアは次の4つの構成要素の合計値で, その構成要素はターゲットユーザのスコア, 基本差要素, ランダム要素, そして努力要素である. 基本差要素とランダム要素は前の段落のスタート時と同様である. 努力要素はターゲットユーザに達成期待をもたせるために, 必要努力量 NE に至らなかった努力量 E を結果に反映させるものである. 例えば, NE が 1000 でターゲットユーザの E が 800 のとき, ターゲットユーザの順位は上がらないが努力要素の作用によって上位の競争相手に近づけたように見える. 努力要素は, $-(E \text{ の符号}) \times (BD \times m) \times (E \div NE \text{ の小数部分})$ で定義され, m で努力要素の大きさを調整し, 例えば 0.7 程度にすると基本差要素の約 7 割に努力が反映される. 以上のアルゴリズムに加えて, 順位変動を常に起こる状態に保つための表 7 の機能も動作する.

このパターン 1 の使用場面は競争者間の接触がない競争である. このような機会はコンピュータ及びネットワークとデジタルデータの普及に伴って様々な場面に増加しており, オンラインアプリケーションをはじめとして, オフラインにもある. 例えば,

表 7: データ改変可能プレイヤーに関する機能

No.	名称: 説明
1	上位配置機能: これは、ターゲットユーザの上位に常に P[改変可] を配置するための機能である。この説明におけるターゲットユーザは P[改変不可] も含む。システムでは、努力したときに報われる達成経験の提供が必要である。よって、ユーザの上位に順位上昇を提供できる P[改変可] がいないときにはユーザの努力量にかかわらず、P[改変可] はユーザの上位に積極的に配置される。具体的には、 RF で導出した然るべき順位変動数がプラス以外であれば、すなわち然るべき順位変動が順位変化無しと順位下降のどちらかと決定されれば、ユーザの1つ下位の P[改変可] はユーザを抜いて上位に配置されるようにする。このとき、 $RF = 0$ で順位が下降するターゲットユーザへの配慮として、ユーザを抜いて上位に配置される P[改変可] のスコアを、ユーザスコアと基本差要素とランダム要素と努力要素の4つの合計値とする。基本差要素は $(BD \div 2)$ 、努力要素は $(BD \div 2) \times (-E \div NE)$ とする。
2	下位配置機能: これは、ターゲットユーザの下位に常に P[改変可] を配置するための機能である。この説明におけるターゲットユーザは P[改変不可] も含む。この機能の趣旨は上位配置機能の逆で、努力量低下時の罰の提供である。具体的には、ターゲットユーザの下位にターゲットユーザに順位下降を提供できる P[改変可] がいないときには、 RF で導出した然るべき順位変動数がマイナス以外であれば、すなわち然るべき順位変動が順位変化無しと順位上昇のどちらかと決定されれば、ターゲットユーザの1つ上位の P[改変可] はターゲットユーザを抜いて下位に配置されるようにする。このとき、 $RF = 0$ で順位上昇してしまうターゲットユーザへの配慮として、ターゲットユーザを抜いて上位に配置される P[改変可] のスコアを、ターゲットユーザスコアから、基本差要素と努力要素の2つを減算した値とする。基本差要素は $(BD \div 2)$ 、努力要素は $(BD \div 2) \times (E \div NE)$ とする。
3	適度順位変動機能: これは、ターゲットユーザの順位付近にいないターゲットユーザの関わらない P[改変可] 同士が適当なタイミングで順位変動をする機能である。この説明におけるターゲットユーザは P[改変不可] も含む。

スポーツジムにおけるトレーニング器具の使用者記録表示機能などもこれにあたる。

パターン 2: ユーザ以外のプレイヤーにデータ改変不可能プレイヤーが存在する場合

このパターンでは、ターゲットユーザ以外にもデータ改変が不可能なプレイヤーである P[改変不可] がいる。ここでは、ターゲットユーザも P[改変不可] と呼ぶ。以降では、P[改変不可] と P[改変可] の比率が1対2の場合を説明する。P[改変不可] の順位を上下に変動できるように、P[改変不可] らは2名の P[改変可] に上位と下位からサポートされる。P[改変不可] を上位からサポートする P[改変可] を上位サポータ P[改変可]、下位からサポートする P[改変可] を下位サポータ P[改変可] と呼ぶ。

競争スタート時には、それぞれの P[改変不可] に対して上位サポータ P[改変可] と下位サポータ P[改変可] が設定される。そして、全 P[改変可] の初期順位が P[改変不可]

らのスコアを基に設定される。スコアとは歩数である。上位サポータ P[改変可] と下位サポータ P[改変可] の順位はそれぞれのサポート対象である P[改変不可] の1つ上位と下位である。上位サポータ P[改変可] と下位サポータ P[改変可] のスコアは、前述したパターン1の競争スタート時と同様の3つの構成要素の合計値であり、その構成要素はサポート対象の P[改変不可] のスコア、基本差要素、そしてランダム要素である。基本差要素は $(BD \times n)$ で、 n はサポート対象の P[改変不可] との順位距離である。

競争スタート時以降には、P[改変不可] 間で生じた意図しない順位変動数 (以降では $RF2$ と呼ぶ) と然るべき順位変動数 RF とのギャップを相殺しながら改変が行われる。このギャップがパターン2ならではの問題である。ここでいうギャップの相殺とは、例えば、順位変動なしであるべき P[改変不可]₁ が自分より下位の P[改変不可]₂ に抜かれて順位下降してしまった場合に、P[改変不可]₁ の上位サポータ P[改変可] が P[改変不可]₁ より下位になることで P[改変不可]₁ を順位変動なしにさせる、というものである。この相殺は、競争に存在する P[改変可] が多いほど完全なものとなる。

競争スタート時以降では、前述のギャップを相殺しながら順位とスコアが更新される。まず、 $RF2$ が P[改変不可] らのスコアから計算される。P[改変不可] 間で順位変動がなければ $RF2 = 0$ 、他の P[改変不可] によって順位が n 個上がれば $RF2 = +n$ 、下がれば $RF2 = -n$ である。そして、相殺すべきギャップを RF から $RF2$ を減算して求め、次の3種類に応じて対応する。1つ目の $RF - RF2 = 0$ の場合、サポート対象の P[改変不可] のあるべき順位変動数が P[改変不可] 同士の順位変動によって満たされている。この場合には、サポータ P[改変可] 達はサポート対象の P[改変不可] をそれ以上順位変動させないように、サポート対象の P[改変不可] と前と同じ順位距離になる順位に配置される。2つ目の $RF - RF2 > 0$ の場合、サポート対象の P[改変不可] の順位があるべき順位より下がっている。この場合には、サポート対象の P[改変不可] の順位を上げるために、上位サポータ P[改変可] の順位をサポート対象の P[改変不可] より下位にする。3つ目の $RF - RF2 < 0$ の場合、サポート対象の P[改変不可] の順位があるべき順位より上がっている。この場合には、サポート対象の P[改変不可] の順位を下げるために、下位サポータ P[改変可] の順位をサポート対象の P[改変不可] より上位にする。以上の3つの場合のサポータ P[改変可] のスコアは次の4つの構成要素の合計値であり、その構成要素はサポート対象の P[改変不可] のスコア、基本差要素、ランダム要素、そして努力要素である。基本差要素はスタート時と同じで、ランダム要素と努力要素はパターン1と同じである。また、サポータ P[改変可] は移動後には、対象 P[改変

不可]に対する自身の定位置に積極的に戻るための表7の機能が働く。具体的には、上位サポータ P[改変可]であればサポート対象 P[改変不可]の1つ上位に積極的に戻るために上位配置機能が働き、下位サポータ P[改変可]であれば下位配置機能が働く。また、サポータ P[改変可]がサポート対象の P[改変不可]より上位か下位のどちらかだけにいた場合には、ギャップの改善に必要なだけ移動が行われる。

3.4.3 競争情報の設計: 競争人数の考慮手法

ここでは、要因3(競争相手の人数)を考慮して競争情報を生成する手法について述べる。本手法では前述した要因1と要因2の考慮手法も利用される。大人数が前提の競争の場合には、少数の同レベルの競争相手との小規模な競争を意識させる必要がある。本手法は次のようになる。まず、全競争参加者の少人数ごとのグルーピングを、競争相手として意識させたい競争人数(例: 10人)ごとに行う。次に、要因1と要因2の考慮手法を適用して、競争者間の差の程度などを操作し、同レベルの競争相手に見せる。そして、ターゲットユーザの属する小グループの競争結果を提示する。以上のように、自身と同格の少人数との小規模な競争を意識させ、また、1つの順位変動の価値をN人の時程度に高めることを狙う。グループ変更は順位変動ごとに行われ、例えば全100人で41~50位のグループに属する者は、40位以上になることで上位のグループに変更され、51位以下になることで下位のグループに変更される。ユーザが属する小グループ以外の相手の順位や成績といった全体の競争結果については、知らせる必要がないという方針であれば見せず、知らせる必要があるという方針であれば、グルーピングを無くした全体のランキングやN人ずつの全小グループのランキングを提示する。

3.4.4 プロトタイプシステム

プロトタイプシステムでは活動量計から得た歩数データの保存および競争情報生成はサーバ上で行われ、競争情報はウェブアプリケーション経由で提示される。ユーザはスマートフォンなどの情報提示機器から情報を閲覧する。活動量計にはWithings社のPulse O2を用いて、ウェブアプリ開発にはHTMLやphpなどを用いた。また、競争情報通知用アプリケーションをコミュニケーションツールであるLINE社のLINEbotを利用して開発した。

図18にアプリケーション画面を示す。左図の競争情報画面は3要素で構成される。部分1はコメント部分で、競争情報の重要な概要をキャラクターがコメントし、情報



図 18: 競争情報提示アプリ画面と情報通知アプリ画面

読解の手間の解消および注目させたい情報への誘導を狙う. コメント内容は現在順位や前回からの順位変動, 1つ上位の競争相手との差などである. 部分2はランキング部分で, 順位とスコアとなる累積歩数を表示する. 部分3は自己情報部分で, ユーザに関する詳細な情報として, 日ごとの歩数推移や順位変動履歴を表示する. 右図に LINEbot の情報通知画面を示す. これにより情報閲覧を促す.

モチベーション向上を狙った初期設定における, 必要努力量 NE と基本差 BD と小グループ人数 N の3つは次のようになる. 必要努力量 NE と基本差 BD は1000である. つまり, ユーザの順位は努力量 E が +1000 で1つ上昇して -1000 で1つ下降する. 10分程度の歩行量である約1000歩は, 僅差と感じる適度な程度であり, 厚生労働省が意味のある歩数増加の目標として約1000~1500歩と設定していることから [44], 適当な設定である. N は10であり, 競争人数による悪影響排除に適切である [34].



図 19: 相手との差を改変した競争結果

従来手法と提案手法の競争情報の差は次のようになる。ここでの従来手法の競争情報は実イベント [35, 36] を基に再現した。図 19 は競争参加者が 10 人の競争情報を示す。左図のランキングは従来の競争情報を再現したもので、全参加者の累積歩数の羅列であり、これらは競争者間の差の程度を大きく放置しているため、競争者間の競争が成立していないといえる。対して右図は、左図に改変をした提案手法の競争情報であり、競争者間のスコア差を小さくすることで競争者を同レベルの者にみせて競争が成立するようにしている。図 20 は 100 人の大規模な競争の競争情報である。左図は従来の競争情報の再現であり、全競争者のスコアを羅列し、且つスコア差を大きく放置している。対して右図は、左図に改変をした提案手法の競争情報で、最初に小規模な同レベルの競争者との結果を示すことで、ユーザに小規模な競争を意識させている。部分 1 で

表 8: 運動量増加意欲の段階

段階	名前: 説明
1	無関心期: 現状より運動量を増やそうと思っていない
2	関心期: 運動量を増やしたいと思っており, そのうち (6ヶ月以内) に行動を変えようと思っているが, まだ, 実行してはいない.
3	準備期: 運動量を増やすために, 今後1ヶ月以内 (すぐ) に行動を変える計画をしている.
4	実行期: 実際に計画通り運動量・行動を変えて, 現在6ヶ月未満である.
5	維持期: 実際に行動を変えて6ヶ月以上すぎた.

参加者のスコアを羅列したランキングを表示する. なお, スコア差の改変は同グループ以外の参加者全体にも適用される. このようにして最初に小グループでの競争結果を伝え, ユーザが見たければ全参加者のスコアを見られるようにする.

3.5 評価実験

提案システムの有効性を評価する3種類の実験に合計82名が参加した. 実験期間は42日間の6週間で, 実験では提示情報による歩数への効果を評価する.

手順

実験は介入前期間, 介入期間, 介入後期間の3つで構成される. それぞれの期間は2週間である. 1つ目の介入前期間は, 基準歩数 B と現状の運動意欲の段階の2つを測定する. 基準歩数 B は日常の自然な歩行量を意味し, この期間の平均歩数とする. 現状の運動意欲の段階は行動変容ステージモデル (Transtheoretical Model: TTM)[28] を基に作成した表8に示す5段階で回答させる. この回答スコアは現状で運動の取り組みをしていない者ほど低くなる. 2つ目の介入期間は, 3種類の実験に被験者を分け, 競争情報の閲覧による歩数への効果を測定する. 競争情報の閲覧は毎日させ, その情報は2日間隔で更新される. ここでの各実験への被験者の振り分けには差がないように, 前に測定した基準歩数と運動意欲の段階を基に行う. 3つ目の介入後期間は, 競争情報の閲覧を停止させて, 介入停止後への効果を測定する. ここでの初日に, 介入期間に関するアンケートに回答する. アンケート内容は競争への主観参加度の5段階評価 (1: 全く参加していない, 5: とても参加した) である. 実験期間は長すぎると季節などの様々な要因が運動量に影響するせいで介入の効果を測定しづらくなるため, 今回の設定が適当と考えた.

被験者の状態

被験者は平均年齢が 23.1 歳 (標準誤差は 0.2), 男性 70 名と女性 12 名である。状態は次のようになっている。1. 歩数の競争情報閲覧の実験への参加を了解している。2. 実験では競争情報閲覧の義務はあるが, 歩数増加の努力の義務は一切ないと理解している。そのため, 介入期間以降の歩数は競争に参加して増えるか参加せずに変化しないかのどちらかである。介入前の日常の自然な歩数から介入期間以降に歩数をわざわざ減らすことはない想定される。3. 運動意欲の段階は平均 2.1 (標準誤差は 0.1) であり, 運動意欲が高い集団ではない。現状で特別な取り組みをしておらず, その点で歩数増加の余地がある集団といえる。4. 活動量計に慣れている。これは, 活動量計を持つことによる歩数変動の可能性の排除のために, 介入前期間も含めて最低 2 か月間は活動量計を持っていたからである。

3.5.1 実験 1: 努力に対する結果の考慮の評価

提案システムを用いた努力に対する結果の考慮がモチベーション向上に効果的かを評価した。30 名の被験者が 3 つの条件に 10 人ずつ分かれ, それぞれの競争情報を介入期間で閲覧する。

条件は次の 3 つで, 条件間では必要努力量 NE が異なる。被験者は, 条件 [努力考慮 (有)] では努力量に応じて報われ, 条件 [努力考慮 (無)] では努力しても一切報われず, 条件 [努力考慮 (無)₂] では努力しなくても報われる。具体的な NE の値は次のようになる。条件 [努力考慮 (有)] では NE は 1000 で, これに応じて順位が変動する。努力量が 1000 歩増減すると順位が変動するため努力へのフィードバックが提供されやすい。条件 [努力考慮 (無)] では NE は ∞ で, 努力しても順位が変動しない。条件 [努力考慮 (無)₂] では NE は 0 で, 9 割の確率で順位が上昇する。つまりは, 条件 [努力考慮 (有)] が心理的影響を考慮した提案手法にあたり, それ以外は従来手法の再現である。

同じ条件の被験者に同じような体験をさせるために, 次のように設定した。それぞれの被験者は 9 人の他の被験者と競争する。他の被験者は全て P[改変可] として扱われる。よって, それぞれの被験者の競争は独立している。スタート時において, 被験者の初期順位は 6 位から, そして初期スコアは介入期間の約 2 日前からの累積として 10000 歩程度に揃えた。競争相手との基本差 BD は 1000 とした。運動意欲の段階の平均値は条件 [努力考慮 (有)], 条件 [努力考慮 (無)], 条件 [努力考慮 (無)₂] の順に, 1.75, 1.66, 1.9 で, 有意差はない。また, 介入前期間の基準歩数にも有意差はない。

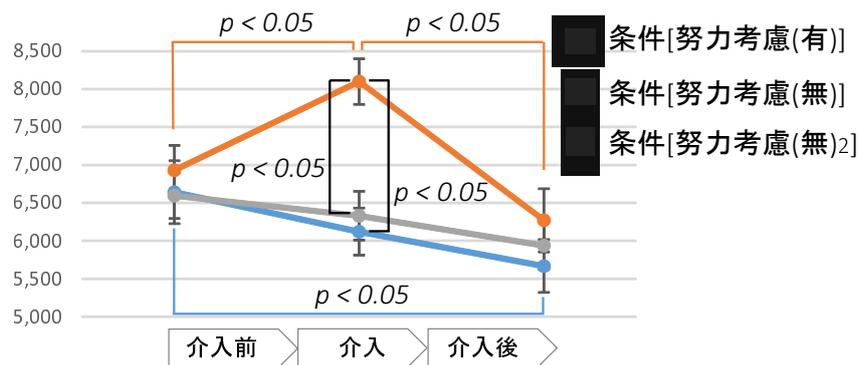


図 21: 実験 1 における各条件の時期別の平均歩数

結果

図 21 は各条件の時期別の平均歩数である。図 22 は各条件の歩数の推移とその近似曲線を示す。エラーバーは標準誤差を表す。2 要因分散分析の結果、手法の主効果が有意であり ($F(2,417)=5.1, p < 0.01$), 時期の主効果が有意であり ($F(2,420)=7.1, p < 0.01$), 交互作用が有意であった ($F(2,420)=2.6, p < 0.01$)。交互作用の単純主効果に関しては次のようになった。まず、手法の単純主効果は、介入期間のみで有意であり ($F(2,417)=12.2, p < 0.01$), 多重比較検定の結果、提案手法である条件 [努力考慮 (有)] の歩数が条件 [努力考慮 (無)], 条件 [努力考慮 (無)₂] の歩数よりも有意に多かった ($p < 0.05$)。次に、時期の単純主効果は、条件 [努力考慮 (有)] で有意であり ($F(2,834)=8.8, p < 0.01$), 多重比較検定の結果、介入期間の歩数が介入前期間と介入後期間の両方の歩数よりも有意に多かった (両方とも $p < 0.05$)。また、時期の単純主効果は条件 [努力考慮 (無)] でも有意であり ($F(2,834)=12.2, p < 0.1$), 多重比較検定の結果、介入後期間の歩数が介入前期間の歩数よりも有意に減った ($p < 0.05$)。なお、多重比較検定には Bonferroni 法を用いた。

議論

条件 [努力考慮 (有)] では、介入前期間よりも介入期間で歩数が有意に増加し、加えて、他条件と比べても介入期間の歩数が有意に多いとわかる。これらは、努力量に応じたフィードバックがモチベーション向上に効果的なことを示している。この結果から、条件 [努力考慮 (有)] とその他の条件の被験者のモチベーションの差は、順位とスコアが努力への効果的なフィードバックになったか否かであると考えられる。努力に対す

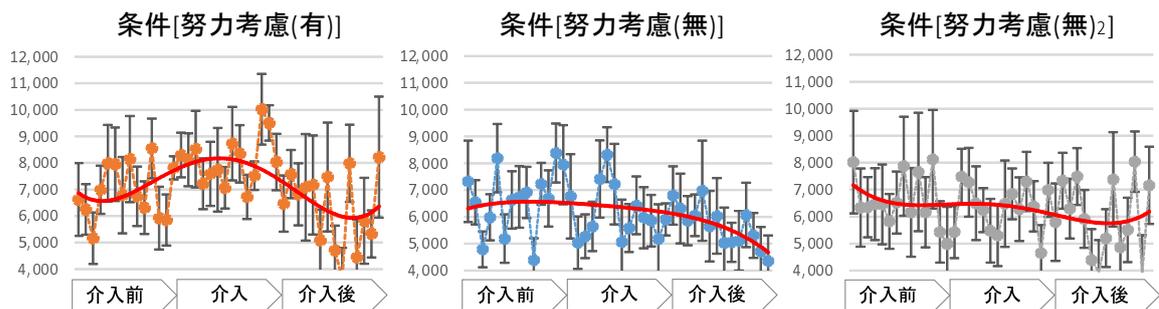


図 22: 実験 1 における各条件の歩数の 1 日ごとの推移

るフィードバックのおかげで、条件 [努力考慮 (有)] の被験者は達成期待や、達成に必要な投資努力を得られたが、他の条件の被験者は、努力へのフィードバックが無かったせいで、それらが得られなかったと考えられる。

以上から、努力量に対する結果の考慮が、競争におけるモチベーション向上に効果的なことを確認した。

3.5.2 実験 2: 競争相手との差の考慮の評価

提案システムを用いた競争相手との差の考慮がモチベーション向上に効果的かを評価する。22 名の被験者が 2 つの条件に 11 人ずつ分かれ、それぞれの競争情報を介入期間で閲覧する。

条件は次の 2 つで、条件間では基本差 BD が異なる。被験者は、条件 [差考慮 (有)] では同レベルの競争者と競争し、条件 [努力考慮 (無)] ではレベルの違う競争者と競争する。具体的な BD の値は次のようになる。条件 [差考慮 (有)] では NE は 1000 で、競争者間のスコア差を小さく維持する。条件 [差考慮 (無)] では NE は 8000 で、競争者間のスコア差を大きく維持する。つまりは、条件 [差考慮 (有)] が心理的影響を考慮した提案手法にあたり、条件 [差考慮 (無)] は従来手法の再現である。

同じ条件の被験者に同じような体験をさせるために、次のように設定した。実験 1 と同じで、それぞれの被験者は 9 人の他の被験者と競争する。他の被験者は全て P[改変可] として扱われる。よって、それぞれの被験者の競争は独立している。スタート時において、被験者の初期順位は 6 位から、そして初期スコアは介入期間の約 6 日前からの累積として 35000 歩程度に揃えた。必要努力量 NE は BD と同じとした。よって、この実験は努力に対する結果の考慮も含まれているといえる。運動意欲の段階の平均

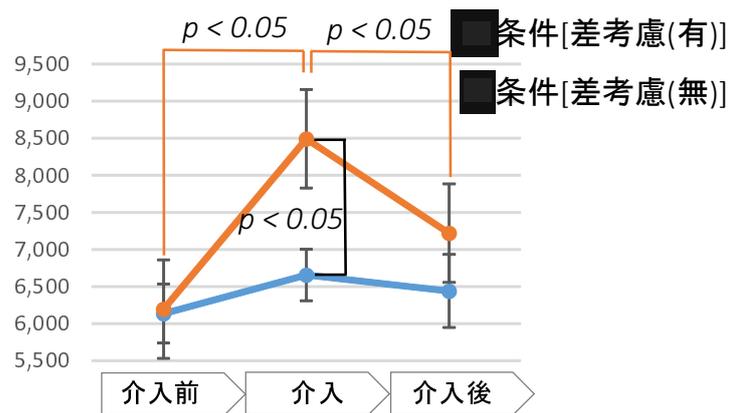


図 23: 実験 2 における各条件の期間別の平均歩数.

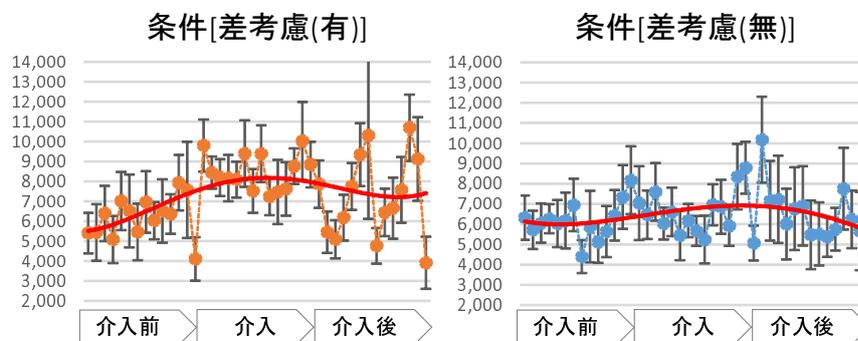


図 24: 実験 2 における各条件の歩数の 1 日ごとの推移

値は条件 [差考慮 (有)], 条件 [差考慮 (無)] の順に, 2.1, 2.0 で有意差はなく, 介入前期間の基準歩数にも有意差はない.

結果

図 23 は条件ごとの時期別の歩数を示し, 図 24 は各条件の歩数の 1 日ごとの推移とその近似曲線を示す. エラーバーは標準誤差を表す. 2 要因分散分析の結果, 手法の主効果が有意であり ($F(1,306)=5.2, p < 0.05$), 時期の主効果が有意であり ($F(2,621)=7.7, p < 0.01$), 交互作用が有意であった ($F(2,621)=3.1, p < 0.05$). 交互作用の単純主効果に関しては次のようになった. まず, 手法の単純主効果は, 介入期間のみで有意であり ($F(1,306)=14.4, p < 0.01$), 多重比較検定の結果, 提案手法である条件 [差考慮 (有)] の歩数が条件 [差考慮 (無)] の歩数よりも有意に多かった ($p < 0.05$). 次に, 時期の単純

主効果は、条件 [差考慮 (有)] で有意であり ($F(2,612)=10.2, p < 0.01$)、多重比較検定の結果、介入期間の歩数が介入前期間の歩数よりも有意に多く ($p < 0.05$)、また介入後期間の歩数よりも有意に多かった ($p < 0.05$)。なお、多重比較検定には Bonferroni 法を用いた。

議論

条件 [差考慮 (有)] では、介入前期間よりも介入期間で歩数が有意に増加しており、他条件と比べても介入期間の歩数が有意に多いとわかる。これらは、競争相手と僅差に保つことが、モチベーション向上に効果的なことを示しており、同レベルの競争者の存在が条件 [差考慮 (有)] の被験者のモチベーションを向上させたと考えられる。条件 [差考慮 (有)] の被験者は、競争相手と僅差だったおかげで、順位上昇に必要な努力量が達成可能な範囲であるという見積りや順位下降に関する見積りももてたが、条件 [差考慮 (無)] の被験者は、競争相手との差が大きかったため、それができなかったと考えられる。今回は試さなかったが、大差の程度を6桁以上などの個人の許容範囲を超えるものにすれば、条件 [差考慮 (無)] の被験者のほとんどの歩数が増加しない状況になったと考えられる。

以上から、競争相手との差の考慮がモチベーション向上に効果的なことを確認した。

3.5.3 実験3: 競争人数の考慮の評価

提案システムを用いた競争人数の考慮がモチベーション向上に効果的かを評価する。30名の被験者が3つの条件に10人ずつ分かれ、それぞれの競争情報を介入期間で閲覧する。ここでの競争人数は100人である。

全条件で競争人数は100人であり、全条件で大人数の競争結果は提示されるが、条件 [人数考慮 (有)] のみが同格の10人の少人数グループでの競争結果も提示する。具体的な条件は次のようになる。1つ目の条件 [人数考慮 (有)] は、競争人数、努力に対する結果、競争相手との差、の3つの考慮を含んでいる。この条件は、100人の競争結果に加えて、自分を含めて10人の同レベルの競争者との小グループの競争結果も提示する。 NE と BD は1000である。よって、詳細には、条件 [人数考慮 (有), 努力考慮 (有), 差考慮 (有)] といえる。2つ目の条件 [人数考慮 (無)] は、努力に対する結果、競争相手との差、の2つの考慮を含んでいる。この条件は、100人の競争結果のみを提示する。 NE と BD は1000である。よって、詳細には、条件 [人数考慮 (無), 努力考慮 (有), 差考

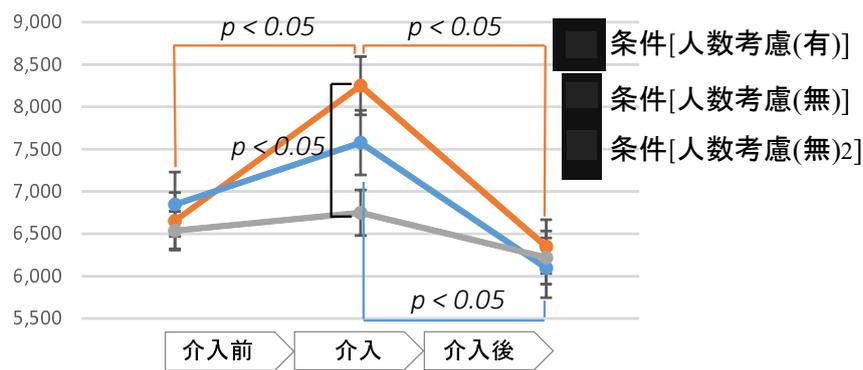


図 25: 実験 3 における各条件の期間別の平均歩数

慮(有)]といえる。3つ目の条件[人数考慮(無)₂]は何の考慮もしない。この条件の被験者はレベルが大きく違う大勢の競争相手と競争することになる。NEとBDは8000である。よって、詳細には、条件[人数考慮(無)、努力考慮(無)、差考慮(無)]といえる。つまりは、条件[人数考慮(有)]が心理的影響を考慮した提案手法にあたり、他条件は従来手法の再現である。

同じ条件の被験者に同じような体験をさせるために、次のように設定した。それぞれの被験者は他の被験者 29 人を含む 99 人の相手と競争する。他の被験者は全て P[改変可]として扱われる。よって、それぞれの被験者の競争は独立している。スタート時において、被験者の初期順位は 66 位から、そして初期スコアは介入期間の約 50 日前からの累積として 300000 歩程度に揃えた。運動意欲の段階の平均値は条件[人数考慮(有)]、条件[人数考慮(無)]、条件[人数考慮(無)₂]の順に、2.5、2.2、2.2 で有意差はなく、介入前期間の基準歩数にも有意差はない。

結果

図 25 は条件ごとの時期別の歩数である。図 26 は条件ごとの歩数の日ごとの推移とその近似曲線を示す。エラーバーは標準誤差を表す。2 要因分散分析の結果、時期の主効果が有意であり ($F(2,834)=15.3, p < 0.01$)、交互作用が有意傾向であった ($F(4,834)=2.05, p < 0.1$)。交互作用の単純主効果に関しては次のようになった。まず、手法の単純主効果は、介入期間のみで有意であり ($F(2,417)=5.0, p < 0.01$)、多重比較検定の結果、提案手法である条件[人数考慮(有)]の歩数が条件[人数考慮(無)₂]の歩数よりも有意に多かった ($p < 0.05$)。次に、時期の単純主効果は、条件[人数考慮(有)]で有意であり

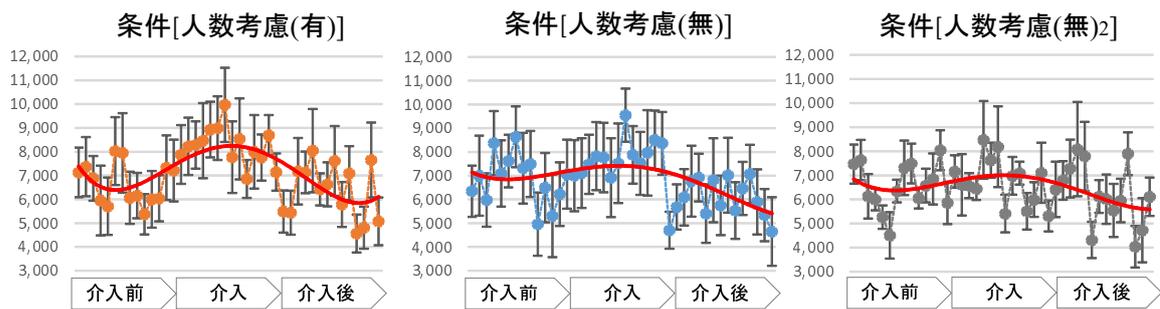


図 26: 実験 3 における各条件の 1 日ごとの歩数推移

($F(2,834)=12.2, p < 0.01$), 多重比較検定の結果, 介入期間の歩数が介入前期間と介入後期間の歩数よりも多かった (両方とも $p < 0.05$). また, 時期の単純主効果は条件 [人数考慮 (無)] でも有意であり ($F(2,834)=6.4, p < 0.01$), 多重比較検定の結果, 介入期間が介入後期間よりも有意に多かった ($p < 0.05$). なお, 多重比較検定には Bonferroni 法を用いた.

考察

条件 [人数考慮 (有)] では, 介入前期間よりも介入期間で歩数が有意に増加しており, また, 介入期間の歩数が条件 [人数考慮 (無)₂] よりも有意に高かった. これは, 同格の相手との小規模な競争を意識させることがモチベーション向上に効果的なことを示している. これらから, 条件 [人数考慮 (有)] とその他の条件の被験者のモチベーションの差は, 意識した競争相手によって生まれたと考えられる. 例えば, 全体 66 位からの 5 位順位を上昇できそうな状況を想定する. このとき, 条件 [人数考慮 (無)] や [人数考慮 (無)₂] のように全体の上位にいる相手との差を意識させられると, 全体 66 位から全体 61 位になるという些細で達成した気になれない経験が想定され得るが, 条件 [人数考慮 (有)] のように同格の少人数との競争を意識させられると, グループ内で 6 位から 1 位になるという達成した気になれる経験も想定されたのではないかと考えられる.

以上から, 競争人数による影響の考慮がモチベーション向上に効果的なことを確認した. また一方で, 有意差はないが条件 [人数考慮 (無)] の方が条件 [人数考慮 (無)₂] よりも介入期間の歩数が多かったことから, 大人数の競争においても努力量に応じた結果の提供と相手と僅差に保つことの 2 点はモチベーション向上に効果的と考えられる.

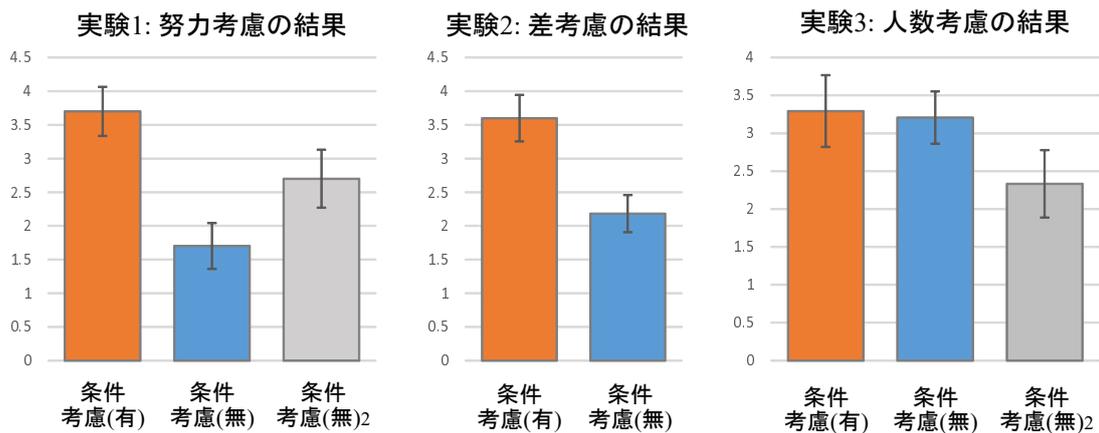


図 27: 競争への主観参加度の結果

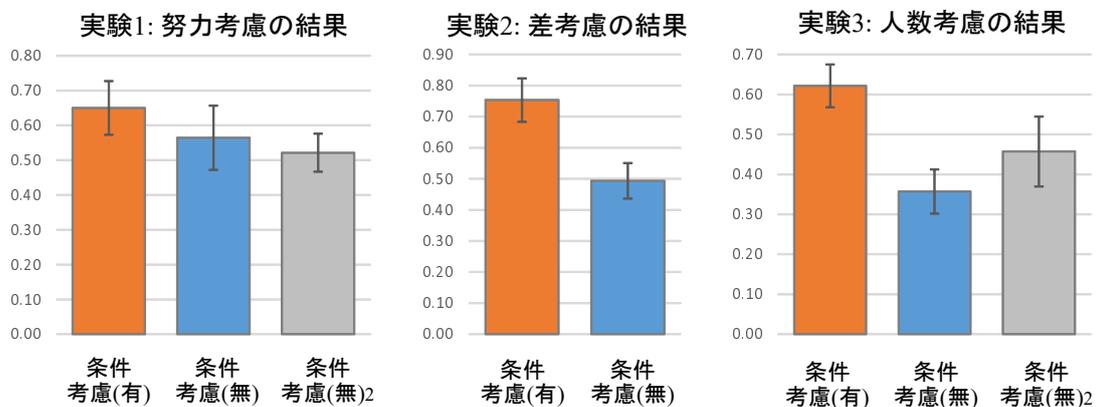


図 28: 介入期間における基準歩数以上の日数の割合の結果

3.5.4 補足指標

図 27 に各条件の被験者の競争への主観参加度の結果を示し、図 28 に介入期間において基準歩数 B (介入前の歩数の平均) 以上の歩数だった日数の割合を示す。エラーバーは標準誤差である。歩数の結果と同じで、各要因に対して考慮(有)の提案手法にあたる条件が各実験の中で最も高い値で良い結果となっている。このことから、競争参加意欲向上のために、また常に基準歩数以上の歩行量を維持させるために、努力量に応じた結果のフィードバックや、僅差に相手がいること、そして少人数を意識した競争が効果的だったとわかる。

3.5.5 総合考察: 今後の課題

実験全体を通して、競争の各要素の考慮がモチベーション向上に効果的なことが確認できた。ここでは、実験全体に共通する議論および今後の課題の議論を行う。

実験結果はユーザ自身が自律してモチベーションを養い向上させるための工夫の必要性を示したと考えられる。各要因に対して考慮(有)の条件において、介入後期間の歩数が介入期間の歩数よりも有意に低下していることは介入の効果があったことを示したが、一方で、モチベーション支援システムの目標の1つは、介入であるシステム使用を減らした後や無くした後でも効果を持続させることと考えている。つまり、自律したモチベーション制御能力の増進ができれば理想的と考えている。したがって、今後は介入後期間も効果を持続させる方法、もしくは介入の頻度を減少させても効果を持続させる方法、例えば運動自体に楽しみを見出す方法、について検討と検証をする。

今回の結果からは、従来の競争情報がモチベーションに良い効果を与えない状況も確認した。競争の効果を左右する要因を考慮しないこと、例えば本研究における努力量に応じた結果、相手との差、競争人数、これらによる影響への配慮がない競争情報は良い効果を与えないことを踏まえる必要がある。このような競争情報はモチベーション向上を妨げるだけでなく、低下さえ招いた可能性もある。例えば、今回の手順とは違って被験者の努力量がプラスの状態になった後に、努力が報われない状況や、競争相手との差が個人の許容範囲を超える状況になれば、モチベーションの有意な低下が起こったと考えられる。このような競争情報による悪い効果は、競争情報閲覧システムの使用で注意したい点の1つであるため、今後は競争情報による介入がユーザのモチベーションに悪い効果を与える状況の検証も行っていく。

今後は個人ごとの特性に応じて効果的な情報提示を行うための手法についても検討する。本研究では、一般的なユーザに共通し得る理論を利用して、全ユーザに効果的な設計を行ったが、競争情報による影響は個人ごとの性格や標的行動への気持ちなどで変化し得るものと考えられる。よって今後は、これらを考慮した手法の検討も行っていく。

今回の実験では、各条件において同一程度と分類できる状況を連続して再現することでその状況の効果を評価している。ただし、ランダムな変動はあるので全く同一ではない。この方法以外にも、自然に任せて競争をさせて、本研究で良い効果や悪い効果と想定している競争情報が提示された日のみを抜粋して評価することも考えられるが、提示情報による効果が表れるのが即日か数日後なのかは不明なため、今回の方法

に至った。今回の実験で良い効果だった情報や悪い効果だった情報は、連続で提示される状況だけでなく、様々な情報に混在することでも同じ効果を与えると仮定し、本稿では議論している。

3.6 自己達成程度ログの改変フィードバック手法

次に、自己達成程度ログの改変フィードバック手法について述べる。

モチベーション向上支援手法のひとつとして、ライフログを用いた過去の達成程度の提示によってユーザの自己改善を支援するものがある。これは、標的行動についての過去の達成程度の提示によって自己改善の欲求を触発し、自発的な自己改善を促すものである。これまでに様々な場面を対象にしたサービスが提案されており、例えば、歩数増加が健康増進に効果的なことから歩数増加支援のための歩数ログフィードバックサービスは既に普及しており、その他にも、食生活改善 [45] や仕事効率改善を対象にしたサービスなどがある。

しかしながら、心理的影響を考慮せずにありのままのログを提示する既存手法には、自己改善を促すうえでの良い効果を必ずしもユーザに与えていない点に課題がある。例えば、心理学においては、行動や判断の基準が事前に提示された情報に近づく現象がアンカリング効果として明らかにされており、この心理現象が極めて頑健で解消困難なことが示されている [46, 47, 48, 49, 50]。これを踏まえると、標的行動についてのユーザの達成基準は閲覧した過去の達成程度に意図せず近づいてしまうため、その達成基準が向上する場合もあれば、逆に低下する場合もあり得るとわかる。したがって、ライフログにおける過去の達成程度の提示によって自己改善の支援を行うためには、このような心理的影響を考慮したうえで情報提示を行う必要がある。近年、このような心理的影響が、本来意図する支援とは異なる方向にユーザの思考や行動を誘導する例が情報提示サービスの利用において報告されており、そういった影響を踏まえたシステム設計の必要性が示されている [62, 16, 51]。

そこで、本研究では、歩数のライフログを用いた歩行モチベーション支援を目的として、自己の過去の達成程度を示す歩数ログの改変フィードバック手法を提案する。提案手法は、1日単位の歩数ログを曜日別で提示するという一般的な仕様において、過去の達成程度を示す歩数ログを曜日ごとに提示する際に、歩数についてのユーザの達成基準が閲覧した過去の達成程度につられることを踏まえた2つのデータ改変を行う。ひとつは達成基準の向上を促進するために提示する歩数ログを正方向に増加させるデー

タ改変で、もうひとつはユーザの達成基準の低下を防止するために提示する歩数ログの負方向の低下を軽減するデータ改変である。これによって無意識的な歩行モチベーション増加を狙う。評価実験を歩数ログフィードバック用のウェブアプリケーションを用いて行い、提示情報による気持ち及び実歩数への効果から提案手法の有効性を評価する。

3.7 関連研究

自己の達成基準に影響する要因

提案手法では、アンカリング効果を踏まえて歩数ログを改変する。アンカリング効果は、行動や判断の基準が事前に提示された情報に近づく現象である。この原因としては、先行する情報を始点として認知活動の調整を行なうこと [46] や、先行する情報を補強する情報を無意識に収集すること [47] が挙げられている。この現象が頑健で解消困難なことは、対象への専門知識 (例: 不動産業者の不動産価値の知識)[48]、事前の警告 (例: 心理現象の説明)[49]、報酬 (例: 判断の正確程度で報酬提供)[50] といった条件によっても、この効果を解消できなかったことから示されている。これらは、歩数のログを提示することによってユーザの歩数への達成基準の操作を行う提案手法の実現可能性を支持するものである。

心理的影響を考慮したインターフェース設計

近年、情報提示サービスにおける提示情報がユーザに与える心理的影響は多く報告されている。本研究のように自身に関するログのフィードバックによって生じる心理的影響も報告されている。例えば、プラセボ（偽薬）効果に似た現象として、センシング機器から自身の心拍値として提示された値に実際の心拍値がつかれて変化してしまう現象が報告されている [62]。また、閲覧情報の一部によって生じる心理的影響も報告されており、例えば、先行して提示された情報を連想しやすくなるプライミング効果に近い現象として、頭部装着型ディスプレイの閲覧情報内の視覚的なアイコンの種類が、実世界においてユーザが気づきやすい対象を変化させる現象 [51] が報告されている。こういった人の心理的特性を考慮したうえでシステム設計をする必要性も示されている [16]。そのなかで本研究のようにフィードバックするログを改変する手法が提案されている。例えば、心拍値をフィードバックするシステムにおいては、ユーザ

の心拍値を下げるために、実際の心拍値よりも低く改変された値をフィードバックする手法が提案されている [62]。また、自己の食事内容のログに他者評価が付くソーシャル・ネットワーキング・サービスのシステムにおいては、ユーザに健康的な食事内容を好ませるために、健康的な食事内容への他者評価を高評価に改変してからフィードバックする手法が提案されている [45]。これらは、本研究の必要性や実現可能性を支持する例である。

3.8 提案手法

本研究では、歩数のライフログを用いた歩行モチベーション向上支援を目的として、自己の過去の達成程度を示す歩数ログを改変して提示する手法を提案する。提案手法は、1日単位の歩数ログを曜日別で提示するという一般的な仕様において、過去の達成程度を示す歩数ログを曜日ごとに提示する際に、歩数についてのユーザの達成基準が閲覧した過去の達成程度につられることを踏まえ、ユーザの達成基準を歩数増加の方向に誘導するためのデータ改変を行う。

行動や判断の自己内の基準が事前の提示情報につられるアンカリング効果は提示情報の根拠に関わらず生じ、頑健で解消困難なことが明らかにされている。この心理効果によって、歩数の自己内の達成基準は過去の達成程度として提示された歩数ログにつられるため、歩数増加支援という目的においては2つのデータ改変が必要と考えられる。1つ目は、自己内の歩数の達成基準の向上を促進する改変であり、例えば提示する歩数ログを徐々に上げることが必要である。2つ目は、歩数の達成基準の低下を防止する改変であり、例えば提示する歩数ログの負方向の大きな低下の軽減が必要である。自己改善の心理を触発する上で比べるものは、現状より下の方のものではなく [27]、上の方のものが良いとされている [26]。

プロトタイプシステムではサーバ上で改変された歩数ログをウェブアプリケーション経由でフィードバックする。歩数の取得には2つの仕組みを利用し、1つ目は既存の歩数取得スマートフォンアプリと Nokia 歩数管理アプリ Health Mate を連携した仕組みで、2つ目は活動量計 Withings 社 PulseO2 を用いる仕組みである。ウェブアプリの実装には HTML, php, JavaScript を用いた。図 29 にアプリケーション画面を示す。アプリケーション画面は2要素で構成される。画面上部は歩数ログ提示部分であり、過去の達成程度を示す歩数ログが曜日ごとに灰色の棒グラフで提示される。実歩数は灰色の歩数ログより少なければ青色棒グラフ、多ければ赤色棒グラフで提示される。画面

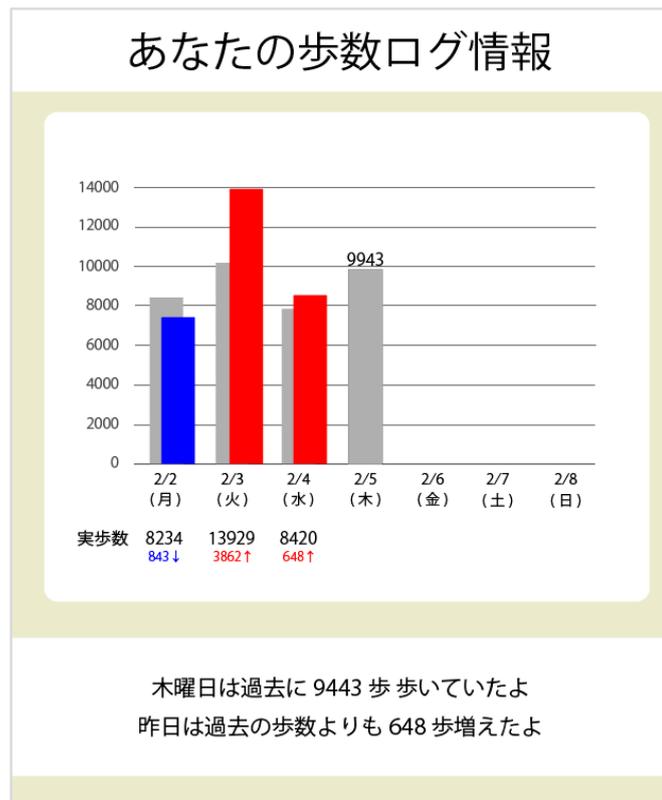


図 29: 歩数ログの提示画面: 過去達成程度の提示

下部では意識させたい情報へ誘導するための言語的説明部分である。内容は2つあり、ひとつは今日意識させたい過去の達成程度である灰色の歩数ログの数値である。もうひとつは前日における実歩数が過去の達成程度と比べて上回ったか下回ったかである。

図 30 に、過去の達成程度として提示される歩数ログ (以降では提示ログと呼ぶ) の改変例を示す。図中では3種類の提示ログを示している。黒枠の棒グラフは改変なしの提示ログを表し、同一の曜日の歩数の平均値である。赤枠の棒グラフは正方向の改変 (以降では正改変と呼ぶ) を施した提示ログを表し、改変なしの提示ログよりも値が大きい。青枠の棒グラフは負方向の改変 (以降では負改変と呼ぶ) を施した提示ログを表し、改変なしの提示ログよりも値が小さい。

正改変は2種類の仕組みから成る。1つ目はユーザの歩数の達成基準の向上を促進するための改変である。これは、改変なしの提示ログに改変値を加算してユーザの達成基準のつり上げを狙うものであり、今回の改変値は、500を初期値として50~100の間のランダム値を日ごとに累積した値で、その最大値を1500とした。この仕組みによって、提示ログは改変なしの提示ログよりも常に高くなる。2つ目はユーザの歩数の達成

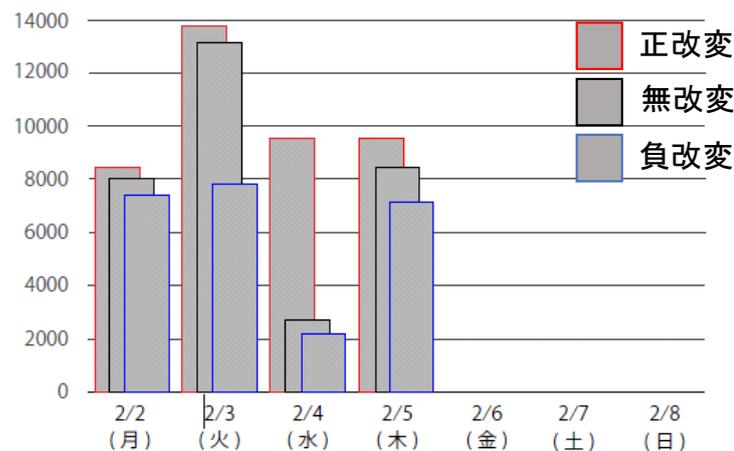


図 30: 歩数ログの提示画面

基準の低下を防止するための改変である。これは、曜日ごとの連続した提示ログが負方向に著しく低下した際の軽減策であり、今回は、今日の提示ログが1～n日前までの提示ログの加重平均値よりも少ない場合は、その加重平均値にランダム値を加算した値を今日の提示ログとした。nは3とし、ランダム値は± 200の間とした。この仕組みによって、図中の2月4日のように、改変なしの提示ログの急激な低下が軽減される。負改変はこの正改変を負方向にしたものであり、これにより、提示ログは改変なしの提示ログよりも常に低くなり、また、図中の2月3日のように改変なしの提示ログの大幅な上昇は阻害される。

アルゴリズムにおける設定値は次の考えから決定した。まず、ユーザの歩数の達成基準の向上の促進のための改変について述べる。初期値を+500にした理由は2つあり、1つ目は、被験者に過去の歩数を超えようとする行動を持続させるためには、介入期間の最初は、過去の歩数を超えるという達成体験を簡単に得られる程度に正改変の値を設定することが適切と考えたからで、2つ目は、一般的な1日の歩数が主として4桁と考え、まずは上1桁目が同じかわる程度、例えば6000歩の6の数字が6のままか7に変わる程度の正の改変が、最初は適切と筆者らの感覚から考えたからである。最大値を+1500にした理由は2つあり、1つ目は、厚生労働省で健康増進に効果的とされている「現状から+1000歩程度多く歩くこと」をユーザに促すために、正改変の程度を最終的には+1000以上にする必要があると考えたからで、2つ目は、歩数が4桁の際に上1桁目が最大でも2つ変わる程度、例えば6000歩の6の数字が最大でも8に変わ

表 9: 実験1のアンケート内容

	説明
Q1	過去と比べた歩行量の増減は気になりますか？ 回答は5段階評価 (1: 全く気にならない, 3: どちらでもない, 5: とても気になる)
Q2	実際の歩数が, 過去の達成程度として提示された歩数ログよりも「少ない」場面で感じる気持ちは次のどれにあてはまりますか？ 回答は5段階評価 (1: とても歩数を減少させたい, 3: どちらでもない, 5: とても歩数を増加させたい)
Q3	実際の歩数が, 過去の達成程度として提示された歩数ログよりも「多い」場面で感じる気持ちは次のどれにあてはまりますか？ 回答は5段階評価 (1: とても歩数を減少させたい, 3: どちらでもない, 5: とても歩数を増加させたい)

る程度の正の改変が, 達成範囲内と感じられる程度と筆者らの感覚から考えたからである。日ごとに加算した正改変の程度を「+ 50~+ 100 の間のランダム値」とした理由は次のようになる。ランダム値が正規分布すると考えると, 正改変の加算値は n 日後が $500 + 75n$ になる。この設定において, ランダム値をプラスの値のみにした理由は, マイナスの値を含んだ場合には, 後の評価実験の被験者によっては正改変の程度が小さすぎる状況になりえたからであり, また, 正改変の加算値の程度を 75 にした理由は, 正改変の値を徐々に釣り上げるという趣旨のために, 最大と設定した+1500 に後の評価実験における介入期間 14 日で段階的に到達するように, $(1500-500) \div 14$ 程度の値と設定したからである。次に, ユーザの歩数の達成基準の低下防止のための改変について述べる。このアルゴリズムの趣旨は極端に低いログ値を提示することを避けるためのもので, 徐々に歩数を釣り上げるという役割はもたない。3 日前からの加重平均値は, 極端に低いログ値の代替値をおおまかに導出するために採用し, ランダム値 ± 200 は軽微なランダム性を持たせるために採用した。

3.9 評価実験

提案手法の有効性を評価するための2つの実験を行った。

3.9.1 実験1: 自己歩数ログの気持ちへの影響評価

提案手法の利用においてはアンカリング効果とは別に, 提示ログ(ここでは, 過去の達成程度として提示される歩数ログを指す)と実歩数の差による心理的影響が生じると考えられる。そこで, この実験では提示ログと実歩数の差による心理的影響について調査した。実験では, 被験者は表9のアンケートに回答した。この際, 質問項目に相

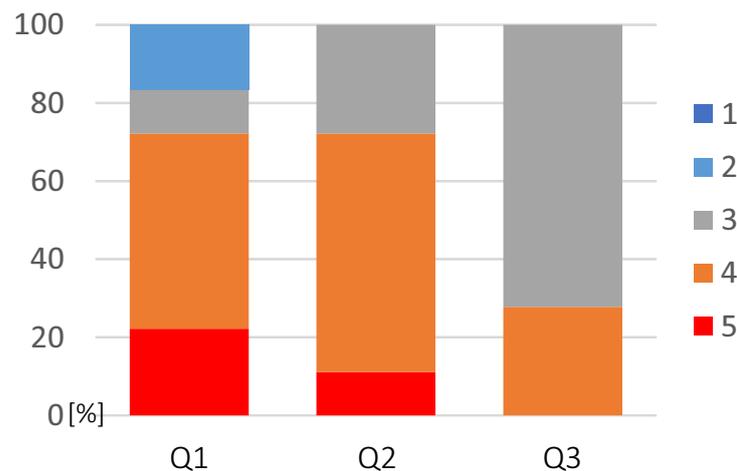


図 31: 実験 1 のアンケート結果

当する歩数ログアプリの画面例として、実歩数が提示ログよりも多いパターンの画像と低いパターンの画像を複数枚見せた。被験者は 16 名の神戸大学の大学生で男 14 名と女 2 名である。

実験 1 の結果と考察

結果を図 31 に示す。これは、質問項目ごとに回答の割合をまとめたものである。質問ごとの全体の傾向としては、Q1 においては約 70 %の被験者が提示ログと比べた実歩数の差は気になると回答した。次に、Q2 においては約 70 %の被験者が、実歩数が提示ログより少なかった場合には歩数を増やしたい気持ちになると回答した。次に、Q3 においては約 70 %の被験者が、特に何も感じないと回答した。

Q1 からは、提示ログが実歩数の達成基準として意識され得るものであるとわかる。このような過去の達成程度への興味は自己改善の心理によるものと考えられる。また、このように注目されることでアンカリング効果が生じ得ることも推測できる。そして、Q2 の結果からは、提示ログを実歩数が下回ることが不快であり、その不快の解消のために歩数増加が起り得ることが推測できる。一方 Q3 からは、提示ログを実歩数が上回った際には、特に行動が促されないことが推測できる。以上から、提示ログと実歩数の差によって生じる気持ちと、それによって促され得る行動を確認した。

表 10: 運動量増加意欲の段階

段階	名前: 説明
1	無関心期: 現状より運動量を増やそうと思っていない
2	関心期: 運動量を増やしたいと思っており, そのうち(6ヶ月以内)に行動を変えようと思っていが, まだ, 実行してはいない.
3	準備期: 運動量を増やすために, 今後1ヶ月以内(すぐ)に行動を変える計画をしている.
4	実行期: 実際に計画通り運動量・行動を変えて, 現在6ヶ月未満である.
5	維持期: 実際に行動を変えて6ヶ月以上すぎた.

3.9.2 実験 2: 自己歩数ログ改変の実歩数への影響評価

本実験では, 提案手法による実歩数への影響を 19 名を対象に評価した. 具体的には, 提示ログ(ここでは, 過去の達成程度として提示される歩数ログを指す)を閲覧する 2 週間において, 正改変された提示ログを閲覧する者と負改変された提示ログを閲覧する者の間で, 実歩数が変化するかを評価した.

手順

実験は介入前期間, 介入期間, 介入後期間の 3 つで構成される. それぞれの期間は 2 週間である. 1 つ目の介入前期間は, 基準歩数と現状の運動意欲の段階の 2 つを測定する. 基準歩数は日常の自然な歩行量で, この期間の平均歩数とする. 現状の運動意欲の段階は行動変容ステージモデル [28] を基に作成した表 10 に示す 5 段階で回答させる. 現状で歩数増加への取り組みを行っている程度が高くなると, この回答スコアも高くなる. 2 つ目の介入期間では実験条件ごとの提示情報による実歩数への効果を測定する. 被験者は, 正改変された提示ログを閲覧する条件 [正] と負改変された提示ログを閲覧する条件 [負] に分かれ, 1 日間隔で更新される提示情報を毎日閲覧した. 用いた歩数データは介入前期間を含めて約 2 か月前までのものであった. ここでの各実験への被験者の振り分けには差がないように, 前に測定した基準歩数と運動意欲の段階を基に行う. 3 つ目の介入後期間は, 情報の閲覧を停止させて, 介入停止後への効果を測定する. 実験期間は長すぎると季節などの様々な要因が運動量に影響するせいで介入の効果を測定しづらくなるため, 今回の設定が適切と考えた.

被験者は平均年齢が 23.4 歳, 男性 16 名と女性 3 名であった. 被験者は神戸大学の学生であった. 被験者は実験 1 の者とは異なる. 被験者は提示情報の閲覧義務があり, 歩数増加の努力の義務はないと理解していた. 彼らは提示ログが改変されていることは

表 11: 実験 2 の結果

	介入前	介入	介入後
sub1 (条件 [正])	6615	5716	6631
sub2 (条件 [正])	3314	3890	3034
sub3 (条件 [正])	6941	8467	8661
sub4 (条件 [正])	5969	5787	6107
sub5 (条件 [正])	6549	7464	8555
sub6 (条件 [正])	7545	7918	7312
sub7 (条件 [正])	4285	5127	3175
sub8 (条件 [正])	9735	9688	7977
sub9 (条件 [正])	7096	8467	8661
sub10 (条件 [正])	5091	6482	5661
sub11 (条件 [負])	5236	5268	5736
sub12 (条件 [負])	6197	5986	5519
sub13 (条件 [負])	8192	9239	8189
sub14 (条件 [負])	7047	6454	7469
sub15 (条件 [負])	4461	4495	4659
sub16 (条件 [負])	4142	3810	6324
sub17 (条件 [負])	5317	5306	6617
sub18 (条件 [負])	6764	5276	5755
sub19 (条件 [負])	7943	7343	7371

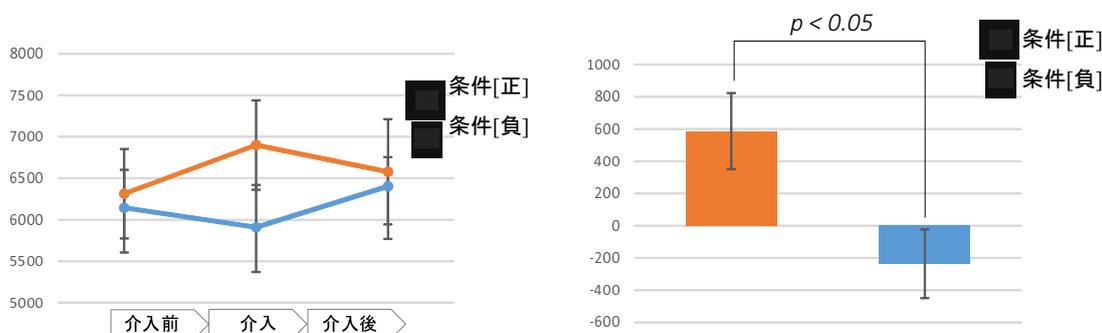


図 32: 期間別の平均歩数の結果. 左図は全期間を表し, 右図は介入期間のみを表す.

知らず, 提示ログは同一曜日から適当に抜粋したものの平均と知らされた. 彼らの歩数増加への現状の取り組みの段階は平均 1.9(標準誤差は 0.3)であった. 彼らは活動量計に慣れていて, これは, 活動量計を持つことによる歩数変動の可能性の排除のために, 介入前期間も含めて最低 2 か月間は活動量計か歩数測定用のスマートフォンを持っていたからである.

実験 2 の結果と考察

表 11 に被験者ごとの結果を示す. 図 32 の左図に各条件の期間別の平均歩数の結果を示す. 3つの期間と 2つの実験条件に対して, 2 要因分散分析をした結果, 有意差はなかった. 2 要因分散分析で有意差が表れなかったが, グラフからは介入前から介入期間にかけての歩数の変化が条件間であるように見てとれたことから, 図 32 の右図に示

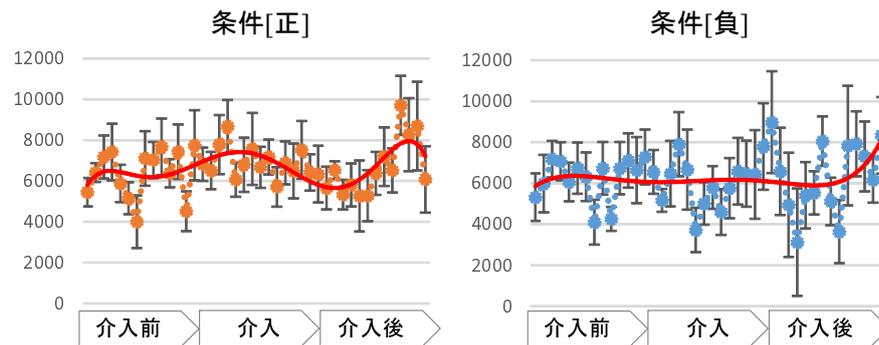


図 33: 各条件の1日ごとの歩数推移

すように介入期間の歩数の変化のみの検定を行った。具体的には、介入期間の歩数の基準歩数からの変化量を算出し、条件間でt検定を行ったところ、条件間の実歩数の間に有意差が認められ、条件[正]の群の実歩数の方が条件[負]のものよりも有意に多かった。(p < 0.05)。図33は実歩数の1日ごとの推移とその近似曲線を示す。なお、以上の図中のエラーバーは標準誤差を表す。

結果から、条件[正]の群は、介入期間の正改変の提示ログによって実歩数が増加したとわかる。これは正改変によって歩数増加が促進できることを示すと考える。この原因は2つ考えられる。1つ目は、アンカリング効果による影響である。これによって、閲覧した提示ログの数値に自己内の達成基準がつけられたと考えられる。これは、実験1のQ1の結果からも伺える。2つ目は、提示ログと実歩数の差による心理的影響である。実験1のQ2の結果を踏まえると、提示ログを実歩数が下回る状況を不快に感じた場合に、歩数増加につながる行動が促されたと考えられる。このような場面としては、例えば、今日において提示ログを実歩数が下回った場面や、今日において昨日を振り返った際に昨日の提示ログを昨日の実歩数が下回っていた場面が想定され、このような場面の頻度は正改変を行う条件[正]には多かったと考えられる。このような理由から、実歩数が基準歩数よりも増加したと考えられる。補足資料である歩数の日ごとの推移である図33からは、介入前期間に見られた歩数の急な低下が、介入期間で軽減されているように見受けられ、正改変された提示ログが実歩数の減少を軽減したことが全体としての歩数増加につながったと考えられる。

一方で、負改変をした提示ログを閲覧した条件[負]の群の実歩数が、介入前と比べて介入期間において有意に低下しなかった。この理由は、2つ考えられる。1つ目は、提示ログと実歩数の差による心理的影響が行動を促さなかったことが考えられる。具

体的には、条件 [負] において提示ログを実歩数が上回る状況は、実験 1 の Q3 の結果からも推測できるように、行動を促し得る気持ちを生まなかったと考えられる。2 つ目は、標的行動の指標である歩数がそもそも減りにくかったことが考えられる。具体的には、日常の自然な歩数である基準歩数からわざわざ歩数を減らす努力をすることが無かったと想像できる。このような理由から、実歩数が基準歩数よりも減少したがその程度は小さくなったと考えられる。

今回の実験結果の一因として、対象とした被験者の特性も働いたと考えられる。まず、今回の被験者は神戸大学の学生であり、自身の過去の達成程度よりも現状が低いことを改善したい無意識的な傾向は、一般の水準以上と考えられ、これは条件 [正] の群の歩数増加の一因になったと考えられる。次に、介入前に測定した被験者の歩数増加への現状の取り組みの段階は平均 1.9 であったことから、被験者は特別な歩数増加の取り組みを現状でしていない状態であった。このように被験者に歩数増加の余地があったことも、条件 [正] の群の歩数増加の一因になったと考えられ、また、歩数低下の余地がなかったことは、条件 [負] の群の歩数が介入期間において介入前と比べて低下しなかった一因になったと考えられる。今回の歩数変化の一因であるアンカリング効果は一般にあてはまる理論であることから、どのようなユーザにも今回と似た効果をもたらすと考えられるが、一方で、今回の被験者と特性が異なるユーザは今回の実験結果と異なる効果を得る可能性も否定できないため、ユーザの特性が今回と異なる場合、例えば高齢者や現状で運動をしている者を対象にする場合などには、再度対象者ごとに検証をする必要があると考えられる。

健康増進に効果的な歩数増加量の目安として約 1000 歩が日本の厚生労働省によって挙げられており、今後はこれを介入期間全体にわたって維持させる方法についても検討する。また、今後は、システム利用無しで自発的に自己改善をできるようにさせる支援も目指し、提案手法の利用停止後や利用頻度低下後に歩数増加が維持されている状態を達成するための方法についても検討する。また、性格などの個人特性によって提示情報による影響が異なる例が別の研究で報告されており、これを踏まえると、今回の提示情報による効果の程度や傾向には個人差があると考えられる。例えば、実験 1 の Q3 の回答として全体とは傾向の異なる一部の者がいるとわかる。よって、今後は、個人の属性ごとに適した情報提示を行う方法も検討する。

今回の実験で提示ログによる歩数変化が起きたことから、標的行動の過去の達成程度を提示するようなサービスにおいては、自己改善の心理に意図しない影響を与える

可能性を想定する必要があるとわかる。この解決手法としてデータ改変を行ったが、今後は他の手法、例えば情報の見せる見せないを動的に変更するという手法など、も検討する。また、今回標的とした歩数においては悪い効果の程度は小さかったが、標的行動の種類によっては影響の程度が大きい場合もあると考えられ、そのような影響の程度に関わる標的行動の区分けなども今後行うことを検討する。また、より一般的な議論をするためにも、実験人数および被験者の特性を今回よりも増加させた実験を今後行うことを検討する。また、今回の実験において常に同じ方向の改変をする状況を再現した理由は、例えば改変方向の異なる条件を混ぜた場合には、提示情報による効果が表れるのが即日か数日後なのかが判断できないためであり、このせいで影響が検出できなかった例が予測値改変フィードバック手法の実験で報告されていた。よって、今回の実験方法に至った。

3.10 まとめ

本研究課題では、モチベーション向上の支援のための情報提示手法として、競争情報の改変フィードバック手法と、自己歩数ログの改変フィードバック手法の2つの手法を提案した。

競争情報の改変フィードバック手法においては、競争による心理的影響を変化させる要因を考慮し、競争情報の見せ方をデータ改変を交えて操作することで、競争によるモチベーションの低下を軽減して向上を積極的に引き出すことを狙った手法を提案した。提案手法では、努力量に対する競争結果、競争相手との成績差、競争参加人数の3つの要因を考慮した。本稿では、まずは日常の運動モチベーション向上を対象とした歩数ログ競争システムに提案手法を適用し、活動量計から得た歩数を基に競争情報を生成してウェブアプリケーションからフィードバックするシステムを開発した。そして、6週間にわたる3種類の実験から提案手法の有効性を確認した。提案手法は、競争が活用される様々な場面に汎用的に適用され、競争による悪い効果を排除して良い効果を引き出すものになると考える。

自己歩数ログの改変フィードバック手法においては、歩数のライフログを用いた歩数増加支援を目的として、自己の過去の達成程度を示す歩数ログを改変して提示する手法を提案した。提案手法は、1日単位の歩数ログを曜日別で提示するという一般的な仕様において、過去の達成程度を示す歩数ログを曜日ごとに提示する際に、歩数についてのユーザの達成基準が閲覧した過去の達成程度につられることを踏まえ、データ

改変を行った。そして無意識的な歩数増加を狙った。評価実験を歩数ログフィードバック用のウェブアプリケーションを実装して行い、提示情報による気持ち及び実歩数への効果から提案手法の有効性を評価し、結果から、提示される歩数ログを改変する方向につられて実歩数が変化することを確認し、また、歩数増加支援への提案手法の有効性を確認した。

4 精神の自己管理支援システム

メンタル機能向上支援のための情報提示システム

4.1 まえがき

重要な場面において、実力を最大限に発揮することは容易ではない。これは様々な場面に共通し、例えばスポーツ、演奏や演技、交渉やプレゼンテーション、そして人生におけるその他の重要な場面が挙げられる。こういった場面では、技(例: 課題への技術・知識・経験)と体(例: 基礎体力)だけではなく、メンタル機能(調子)も満足な状態にする必要があるが、メンタル機能の制御は困難なうえに技と体にも影響し[53]、そのせいで実力を最大限発揮するどころか、普段できることすらできなくなることもある。

このメンタル機能の工学的な支援手法はこれまでになかったが、メンタル機能制御のための様々なスキルやそのトレーニングは1950年代から確立され始めたとき、例えば、パターン化した一連の作業を行うプリパフォーマンスルーティン(PPR: Pre Performance Routine)[54]、心身の安定を得るために集中する瞑想[55]、自分に俯瞰的に語りかけるセルフトーク[56]、イメージトレーニング[57]などが挙げられる。

これらの手法の有効性は確認されているが、アスリートなどのプロフェッショナルではない一般人、つまりは心身制御能力が普通の人にとっては課題がある。1つ目は、メンタル機能制御スキルの習得と活用のための労力・時間・資金が足りないことである。スキル習得のためには時間と労力をかけた意識的で能動的な作業が必要であり、得たスキルの本番での活用時にも同様である。例えば、ラグビー日本代表選手である五郎丸歩選手はプレースキック前のPPR完成のために2年以上にわたってPPRの評価という継続的な作業をし、また、そのPPRを本番で活用する際には、心身の負荷の大きい場面で時間と労力をかけてPPRを精密にこなしている。また、プロトレーナーの雇用にはお金がかかる。2つ目は、スキルの習得のための難度の高さである。メンタル機能制御スキルは特定の競技や演奏の技術などと同じく、能力不足のせいで習得すらできない場合や、習得できても本番で活用できない場合もある。例えばイメージトレーニングにはイメージ力が、PPRには練習と本番でルーティンを精密にこなせる精神と身体的能力が要求される。

一方で、心身の無意識的な変容に関する知見がある。心理学の分野ではパブロフの犬の実験で有名な学習原理の一つ、レスポナント条件付けという現象が存在し、入力となる刺激と出力となる反応との間に連合が形成された場合に、その刺激によって反応が引き起こされることが知られている。この現象を踏まえると、成功体験時に繰り返し知覚した刺激は、成功時と同じ心身の状態や良い結果を誘発させる可能性があり、メンタル機能とさらには競技結果にまで好影響を与えることが期待できる。

そこで、本研究ではレスポナント条件付けの枠組みを情報提示システムに適用し、成功体験だけと条件付けた知覚刺激を用いて、本番時のメンタル機能補強を行うシステムの構築を目指す。本稿ではスポーツにおけるメンタル機能を対象にして聴覚刺激を提示するシステムを実装し、条件付け刺激がメンタル機能に与える影響をダーツゲームの競技結果で評価する。さらに、提案システムによるメンタル機能への影響を個人の性格から予測する手法も検討する。

ここで、PPRと本研究の違いは、PPRの刺激(例: 動作)が本番試行前に必ず行われるため良悪の両結果が刺激に関連づく学習が起こり得るが、提案手法では良い結果時のみ刺激を与えることで良い結果のみを刺激と関連づける学習をさせる点である。また、学習時に試行後に与えた刺激を本番時には試行前に与える点も違いである。

4.2 関連研究

本研究の趣旨に近い情報提示システムの例として、伴ら [61] のバーチャル時計システムは、虚偽時間を提示して個人の時間感覚に影響を与えることで、作業効率(単位時間当たりの成果量)向上を狙っており、これを時間的な圧による集中力の補強と捉えるならばメンタル機能補強例と解釈できる。また、中村ら [62] のプラセボ効果を利用した心拍制御システムでは、心拍の実測値を加工した虚偽の値を提示して心身に影響を与えることで、心拍などの生体情報の意図的な操作を狙っており、これを心拍制御による緊張制御と捉えるならばメンタル機能補強例と解釈できる。これらの先行研究の主目的は本研究とは異なり、前者は作業効率向上で後者は心拍制御なのに対し、本研究はメンタル機能を通じた競技結果の質の向上である。また、扱う情報の特性も異なっており、これらの先行研究は虚偽情報かつメンタル機能に負荷を与え得る情報を扱っているが、本研究では想定場面が既に心身に負担がかかる場面のため、ユーザに何らかの負荷がかかり得る類の情報は扱わない。また、扱う情報のもつ意味の時間幅も異なり、これらの先行研究は常に閲覧することで効果が得られるような意味の時間幅が

長く連続的な情報 (例: 時間や心拍の推移・変化) を扱っているが、本研究では一時的で単発的な取得で効果が得られるような時間幅が短い情報を扱う。

気持ちの操作を目的とした情報提示システムは多数ある。吉田ら [64] は、鏡を模したディスプレイ上の自身の表情をポジティブに変化させることで感情を向上させるシステムを提案しており、感情を操作している。また、鳴海ら [65] は、食事対象のサイズを視覚的に変化させることで食事摂取量を削減するための情報提示システムを提案しており、食欲や満腹感という気持ちを操作している。

メンタル機能制御スキルの研究で、パフォーマンスへの効果を評価した例としては、リラクセスとストレス管理に有効とされる ACEM 瞑想の7週間にわたる指導の効果を一流射手の射撃結果で評価した研究 [55] や、イメージトレーニングとフィジカルトレーニングの習熟度の違いを3ヶ月にわたる実験室課題で評価した研究 [57] などがある。その他としては、理論や研究結果を基にしたスポーツ選手への PPR の開発及び指導法についての研究 [54] や、テニスのボレースキルを向上させるセルフトーク開発の研究 [56] などがある。既存の研究とはメンタル機能補強を促す情報を生成してそれを自身に与えるという点で共通しているが、本研究では主に一般人を対象にした低コストで簡便なメンタル機能制御の実現を狙っている点が異なる。

提案手法で用いるレスポンド条件付けは、犬の唾液がエサと時間的に接近して提示された刺激によって誘発された現象が基になった学習理論で [58]、条件付けられた聴覚刺激 [59] や視覚刺激 [60]、その他の刺激 (例: 場所, 状況) による [?] いる。その例としては唾液分泌や内臓運動などの自律反応, 感情, 評価, 筋運動などの誘発が挙げられる。本研究はこれらを踏まえて、提示刺激が良い体験・メンタル機能と条件づくことを期待している。条件付けは数回程度 (例: 7回 [60], 10回 [66]) で成立するとされ、結果認識時に刺激を提示する時間的布置は、同時条件付け [66] や逆行条件付け [67] となる。これらの実験では動物が主に扱われており、人がスポーツをする本研究はやや複雑な要因が含まれる実験となる。

4.3 提案手法: Success Imprinter

提案手法である Success Imprinter はシステムもしくはユーザがメンタル機能補強が必要と認識した時に、メンタル機能補強のための情報を提示する。提案システムからの刺激を得るだけでユーザはメンタル機能補強を簡易に行える。

図 34 に示すように、システム利用の流れは学習段階と実践段階から成る。学習段階

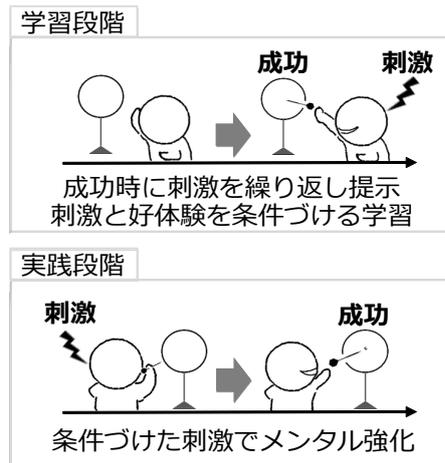


図 34: 提案手法の流れ

では、成功といった良い体験時に画像や音声などの特定の知覚刺激を提示し、良い体験・メンタル機能とだけ条件づいた刺激を生成する。この段階が刺激と条件付ける体験の質を決定する。実践段階では、学習段階で生成した刺激を競技の試行前に提示してメンタル機能を補強する。PPRと異なる点は、刺激を良い体験とだけ条件付けることでより強く良い体験と条件づいた刺激を生成する点と、学習段階で試行後に提示したその刺激を実践段階では試行前に提示する点である。なお、本システムでは成功と条件付けたポジティブな刺激(以降ではP刺激)によって好影響を与えられると想定しているが、失敗と条件付けたネガティブな刺激(以降ではN刺激)の方で好影響を得るタイプのユーザがいた場合には、N刺激を与えることも想定する。

システム例として、対象競技をダーツゲームとして聴覚刺激を自動提示するシステム構成を図35に示す。認識箇所は2つあり、学習段階の条件付け時は電子ダーツボードを用いて競技結果から認識し、実践段階のメンタル機能補強時は手首装着型機器を用いて投矢などの特定動作から認識する。これら2箇所の認識にはその他の表出情報も利用でき、例えば、心拍や、精神性発汗を表す皮膚電気活動、悪いメンタル機能を表すなだめ動作(例: 顔を触る)や震えが挙げられる。刺激提示はスピーカで行うが、ディスプレイなどを用いてもよい。

システムの仕様は手動であればユーザの要求に特化し、自動であれば汎用的になる。例えば、学習段階で条件付ける体験の質や、実践段階における情報提示のタイミングは、手動であれば詳細な選択ができるが、自動であれば特定の閾値以上が選択される。したがって、刺激提示の手動化と自動化は、ユーザの要求(例: 確実性、労力)や競技



図 35: ダーツゲームを競技としたシステム構成

に応じて決定する必要がある。

4.4 評価実験

本章では，提案システムによって条件付けた刺激がメンタル機能を通して競技結果にまで影響するかを評価する．評価はダーツゲームで行い，指標はボード中心を狙った際の中心から矢の命中位置までの直線距離（以降では R ）とする．ダーツはメンタル機能への影響評価に用いられており [68]，今回の実験にも適切である．

プロトタイプシステム

図 35 のプロトタイプシステムを実装した．システムは，命中位置が認識できるダーツボード（エポック社の PC-DARTS），リストバンドと加速度センサ（ATR-Promotions 社の WAA-010），据え置き型スピーカから成る．アプリケーションは Visual Studio C# で作成した．実験では，実際のシステム利用時に相当するデータ取得法として扱われている Wizard-of-Oz 法 [69] を用いて実験者が手動で刺激提示をする．この理由は，実験に適切と考え成功率 5 割を狙い設定した閾値 (R が 7cm) がボードのパネル区分と一致せず，条件付け時の自動認識ができないからである．

実験手順

実験は 3 段階で，準備段階，練習のゲーム（以降では練習ゲーム）で条件付けをする学習段階，本番のゲーム（以降では本番ゲーム）で刺激による影響評価をする実践段階から成る．まず，準備段階では，実験中の実力変動を無くすために，一般的な矢の持ち方や投矢フォームをプロの投矢動画や説明書を見ながら最大 30 分程度練習する．次に，

学習段階では練習ゲームをする。練習ゲームはボード中心を狙って全 18 試行で得点を競うもので、得点には R が 7cm 以内を成功として 10 点、その他は失敗として 0 点が加算される。実験群にはこの際に条件付けとして、成功でチャイム音、失敗でブザー音が提示され、それぞれが P 刺激と N 刺激となる。対照群はここでは条件付けをせずに練習ゲームをする。音の提示は結果認識後 0.2~0.5 秒で、音源は 1 秒未満である。音の選択に関しては、完全な中性音の選択が困難であり、システム実用時に使用する音は体験と条件付けやすく且つ体験を喚起しやすいものが適切と考えて今回の選択に至った。最後に、実践段階では本番ゲームを行う。本番ゲームは練習ゲーム同様に 1 ゲーム 18 試行であるが、ゲーム数は評価する提示刺激ごとに必要なだけ行われる。刺激提示は投矢動作認識時で矢を目線で止めるエイム動作の直前である。本番ゲームでは競争相手、得点配分、報酬と罰の設定によって本番意識(例：成功したい・失敗したくない気持ち)を全投矢にもたせており、具体的には、得点配分は練習ゲームと異なり、1~15 投は成功で 10 点、失敗で 0 点とし、最後 3 投の 16~18 投は成功で 20 点、失敗で -20 点とした。そして、総得点が練習時の得点を超えれば報酬 1 つ、以下ならば罰 1 つを与える。加えて、最後 3 投は 3 投成功で報酬 2 つ、2 投成功で報酬 1 つ、0 投成功で罰 1 つを与えるとした。報酬はお菓子、罰は鈍痛を生む電気ショックで、罰は本番前に体験させて嫌なものとして理解させた。そして、得点のみのフィードバックによって R をブラインドの指標としている。時間的なスケジュールは、投矢間隔 30 秒、ゲーム間隔 2 分を基準に適度にずらし、厳密な時間間隔が刺激になる時間的条件付けの現象を防いだ。ダーツボードまでの距離・高さは公式ルールと同じである。

本番ゲームの得点配分の設定理由は詳細には次の通りである。今回の成功の閾値は成功率 50%を狙っており競争相手は平均して 90 点と想定する。競争相手を超えると競争や本番の意識が無くなると仮定すると、勝敗が決まらずに 18 投目までさせるのが理想である。この理想を満たすために、最後 3 投の配点配分によって、15 投目までに想定する競争得点 90 点を超えてもなお点数をより多くとる必要を生じさせ、また、15 投目までに成功数が 3~15 本の範囲で変動した場合でも、16 投目以降も想定する競争得点 90 点を超えるか否かの勝負を持続させることを狙っている。

4.4.1 本実験：条件付け刺激の影響評価

本節の本実験では、提案システムによって試行結果を向上させるメンタル機能補強が可能かを評価する。本実験の被験者は学習段階の練習ゲームで条件付けをさせる実

表 12: 本実験における提示刺激ごとの結果. 矢の命中位置である R について.

参加者	R の平均値 [cm]						条件付けた回数	
	練習	刺激無	連続 P	連続 N	適度 P	適度 N	成功と	失敗と
1	5.78	7.47	6.39	5.89	8.28	6.67	9	9
2	7.78	7.81	10.13	7.64	11.06	10.17	8	10
3	13.39	13.42	8.08	8.39	8.50	10.28	2	16
4	11.44	11.02	7.75	9.75	5.72	12.17	7	11
5	7.22	7.08	8.58	9.44	8.06	11.56	8	10
6	9.06	7.69	8.75	7.33	5.50	8.11	9	9
7	7.04	5.44	6.50	5.92	4.17	5.78	14	4
8	6.39	7.89	7.06	8.75	5.44	5.50	7	11
9	8.56	6.64	6.22	8.47	9.28	8.67	9	9
10	7.33	6.77	6.06	12.03	7.39	11.44	9	9
11	7.72	7.67	5.92	6.67	7.67	5.39	9	9
12	7.72	6.53	8.53	7.06	6.72	8.22	9	9
13	5.61	7.42	8.67	9.78	5.61	9.22	9	9
14	8.17	8.03	6.97	11.31	6.06	6.83	8	10
15	7.94	9.39	11.25	9.25	9.00	8.00	6	12
16	9.11	9.97	9.86	7.97	7.22	8.44	5	13
17	10.50	9.92	9.08	8.97	9.50	7.04	4	14
18	8.17	7.47	6.75	6.97	7.67	5.94	8	10
19	13.16	10.00	6.20	9.70	6.10	11.10	6	12
20	9.88	8.40	5.10	8.40	8.30	7.50	10	8
21	9.42	6.10	6.80	6.50	5.60	9.10	13	5
22	7.95	5.30	6.10	7.80	5.20	7.70	12	6
23	13.89	7.30	7.30	9.00	6.10	9.20	7	11
24	11.38	8.80	10.20	7.40	12.70	7.50	8	10
25	8.85	8.80	8.80	7.00	12.10	8.50	5	13
26	13.16	9.90	6.70	7.40	8.10	13.10	5	13
27	8.25	7.10	6.50	7.10	6.50	7.30	11	7
28	5.41	5.20	5.70	6.20	5.80	5.50	14	4
29	10.58	7.10	8.10	6.60	6.40	7.70	11	7
30	13.70	12.90	11.80	12.40	7.80	7.00	4	14

験群である。ここでは、P 刺激と N 刺激の 2 種類の条件付け刺激と、連続提示と適度提示という 2 種類の提示間隔を組み合わせた 4 種類の刺激による影響を評価する。連続提示と適度提示とは、同一の条件付け刺激の連続した提示と適度な間隔の提示をそれぞれ意味し、一定の時間内・試行数内での同一刺激の提示量が異なる。まとめると 4 種類の刺激は、連続提示の P 刺激と連続提示の N 刺激、適度提示の P 刺激と適度提示の N 刺激 (以降では連続 P 刺激と連続 N 刺激、適度 P 刺激と適度 N 刺激) である。これらの評価のために実践段階の本番ゲームでは、試行前に常に P 刺激を提示するゲーム、試行前に常に N 刺激を提示するゲーム、試行前に P 刺激と N 刺激を 9 試行ずつランダムで提示するゲーム、提示なし (以降では刺激無し) のゲームを行う。被験者はダーツの素人 30 名で、男性 26 名、女性 4 名で、ダーツ歴 8 年以下の 21 才～26 才である。

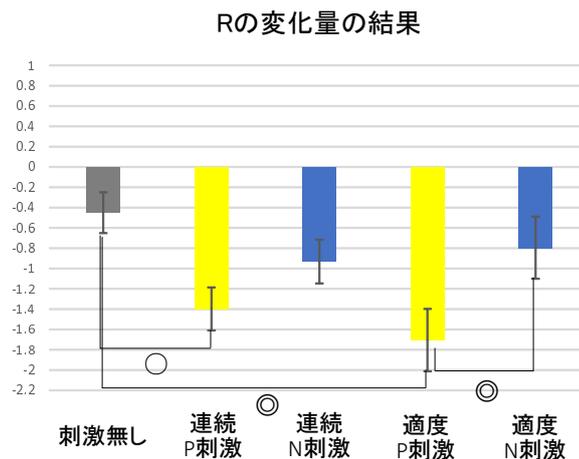


図 36: 本実験における提示刺激ごとの結果. R の変化量の結果について.

本実験の結果と考察

R の結果を表 12 に示す. 練習の欄は学習段階の練習ゲームの R の平均値でこれをベースライン (実力の平均値) として扱う. R の平均値は 0 に近いほど結果が良い. 成功数と失敗数は学習段階の練習ゲームで条件付けた成功と失敗の回数を示す.

提示刺激ごとの R の変化量の結果を図 36 に示す. R の変化量は, 試行ごとの R の結果からベースラインを引いたものである. このベースラインを基準にした処理は実力の個人差を補正するためのもので, 例えばベースラインが 7cm で P 刺激の結果が 5cm の場合とベースラインが 9cm で P 刺激の結果が 7cm の場合は両方とも同じ変化量で -2cm となる. エラーバーは標準誤差を表し, 図中の◎は $p < 0.01$, ○は $p < 0.05$ を表す. 検定では分散分析に ANOVA (Analysis of Variance), 多重比較検定に Bonferroni-Holm 補正と Mann-Whitney U test を用いた. 検定の標本は, 各刺激の全試行の変化量としており, 例えば刺激無しの標本数は全被験者で合計 540 試行分となる. 分散分析の結果, 刺激の効果は有意であった ($F(4,2155)=4.1, p < 0.01$). 多重比較検定の結果, 3 つの組み合わせに有意差が確認され, 連続 P 刺激は刺激無しの時よりも結果が有意に良く ($p < 0.05$), 適度 P 刺激は刺激無しの時よりも結果が有意に良く ($p < 0.01$) さらに適度 N 刺激よりも結果が有意に良かった ($p < 0.01$). これらの結果は, 条件付けた刺激によってメンタル機能を通して試行結果に影響が出たことと, 試行結果を有意に操作できることを示しており, 連続の P 刺激か適度の P 刺激によって刺激無しの時より試行結果を有意に良くできるとわかる. 検定においては標本数が多くなると大して意味の無い

表 13: 本実験における実験群の結果. 矢の命中位置を一般化した指標について.

参加者	ハイパフォーマンス率 [%]					成功率 [%]				
	刺激無	連続 P	連続 N	適度 P	適度 N	刺激無	連続 P	連続 N	適度 P	適度 N
1	44	44	72	33	44	50	50	72	44	44
2	56	39	50	33	44	44	17	28	11	44
3	39	89	89	78	67	11	33	22	33	33
4	61	78	61	100	56	39	50	28	67	33
5	50	50	33	67	22	44	44	28	67	11
6	72	50	72	100	44	50	39	44	78	44
7	83	61	78	100	78	78	56	72	100	78
8	33	44	39	78	67	39	50	39	78	78
9	67	83	61	44	56	50	56	33	22	22
10	50	67	11	33	22	50	67	11	11	33
11	61	67	72	56	78	50	67	56	44	56
12	61	50	67	56	33	50	44	61	44	22
13	44	28	28	78	22	50	39	39	78	22
14	50	61	39	78	89	44	61	33	67	56
15	44	28	39	44	56	33	28	28	33	44
16	50	50	67	78	78	28	44	33	44	44
17	50	72	56	67	89	22	33	44	44	78
18	56	72	56	67	89	44	56	44	67	56
19	67	89	83	100	78	33	61	28	67	33
20	56	94	67	78	78	56	94	39	33	44
21	61	78	83	67	67	72	44	61	67	44
22	56	78	61	89	67	67	67	44	89	56
23	61	94	89	78	78	39	44	39	67	33
24	61	67	78	33	78	44	17	39	22	56
25	61	56	78	11	56	28	56	61	11	33
26	67	89	94	78	56	28	67	56	56	22
27	83	61	61	89	67	61	50	56	89	44
28	39	56	44	44	44	78	67	72	44	78
29	67	89	89	89	78	61	44	67	56	33
30	50	61	61	89	89	22	33	22	33	56

程度の差でも検出するという場合があるが、今回の適度 P 刺激は刺激無しの時よりも命中位置が 1.25cm 狙い通りの良い方向に変化しており、これはダーツにおいて意味のある変化量と考えられる。N 刺激は刺激無しの時よりも結果が良くなったように見てとれるが、検定結果を踏まえると N 刺激は刺激無しの時よりも結果を有意に良くも悪くもさせないと考えられる。

以上から、提案システムによって試行結果を刺激無しの時よりも有意に良くさせるメンタル機能補強ができることを確認した。

補足結果: 一般化指標への影響

前節からは、最も根本的な指標である R の素の値への影響を確認できたが、その影響が一般的にどれほど意味のあるものかが R の素の値だけでは把握しづらい。そこで、

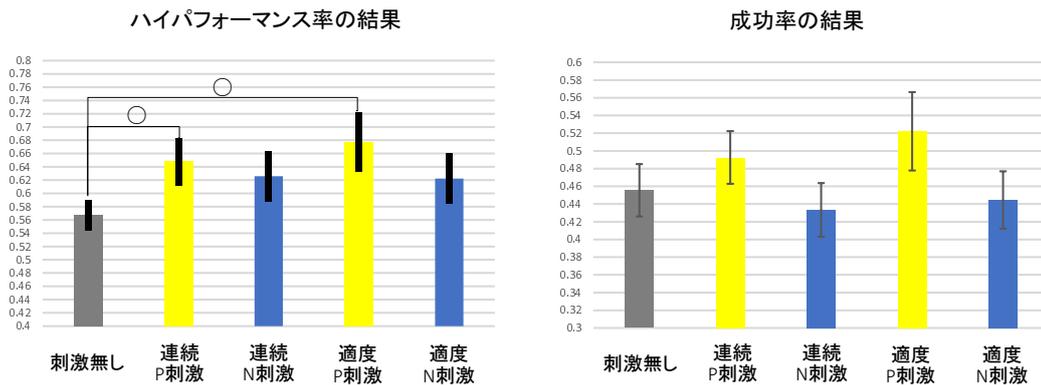


図 37: 本実験における提示刺激ごとの結果. 一般化指標の結果について.

ここでは試行結果をより一般的な感覚で捉えるために、R の値を抽象的にしたハイパフォーマンス率と成功率の指標で評価する。

表 13 と図 37 にハイパフォーマンス率と成功率の結果を示す。ハイパフォーマンス率はベースライン以上のパフォーマンスをした試行回数の割合を表し、成功率は本実験で設定した成功を達成した試行回数の割合を表す。例えば、連続 P 刺激でのハイパフォーマンス率の 50% は、連続 P 刺激のゲームでベースライン以上の試行回数が 18 試行中 9 試行であったことを示す。エラーバーは標準誤差を表し、○は $p < 0.05$ を表す。検定では分散分析に ANOVA、多重比較検定に LSD 方法を用いた。検定の標本数は、被験者 1 人につき 1 つで、刺激ごとに全被験者で合計 30 である。まず、ハイパフォーマンス率に関して、分散分析の結果、刺激の効果は有意傾向であった ($F(4,116)=2.05$, $p < 0.1$)。多重比較検定の結果、連続 P 刺激と適度 P 刺激の双方が刺激無しの時よりも結果が有意に良かった (両方とも $p < 0.05$)。特に適度 P 刺激によって刺激無しの時よりもハイパフォーマンス率が約 20% 向上しており、これは 100 回の試行のうちベースライン以上のパフォーマンスをする試行数が約 20 回程度増加することを表しており、一般的に意味のある試行結果の向上だと考えられる。次に、成功率に関しては有意差はなかった。ハイパフォーマンス率と違って成功率を有意に変化できなかった原因は、ベースラインは個人ごとに設定された閾値だったのに対して、成功は実験者が勝手に決めた閾値であったため、被験者によってはベースライン以上のパフォーマンスをしても成功の閾値を超えるには至らなかったと考えられる。しかしながら、P 刺激による成功率は R とハイパフォーマンス率の向上に伴って上昇しており、P 刺激によって試行結果が成功に近づいているとわかる。

表 14: 対照実験における提示刺激ごとの結果. 矢の命中位置である R について.

参加者	R の平均値 [cm]					
	練習	刺激無	連続 P	連続 N	適度 P	適度 N
31	8.30	8.46	7.70	8.83	5.90	8.20
32	4.71	4.69	4.91	5.23	5.90	5.50
33	9.92	8.73	6.87	7.95	7.90	10.10
34	9.79	10.27	7.72	6.82	5.00	9.50
35	9.88	9.18	8.75	8.44	9.30	8.50
36	6.33	5.60	6.10	6.36	7.30	10.10
37	8.43	10.24	7.53	9.54	7.30	7.60
38	5.82	6.20	6.87	7.30	8.80	10.30
39	6.04	7.48	10.58	8.94	7.30	9.50
40	3.98	5.17	5.07	3.91	4.90	6.80
41	9.51	8.23	5.64	5.37	5.50	8.90
42	7.92	7.18	7.26	6.25	7.60	4.60
43	9.14	8.28	7.35	7.93	7.60	9.00
44	11.03	10.64	9.66	10.85	11.60	12.00
45	7.22	7.64	6.83	8.94	7.89	7.56
46	8.33	7.75	8.15	6.47	6.61	9.28
47	5.44	5.22	5.18	4.64	5.83	4.50
48	4.06	5.31	6.78	6.14	9.33	6.06
49	10.17	9.47	7.69	6.17	7.44	8.22
50	7.72	7.94	7.14	9.61	9.72	13.28
51	5.56	5.86	7.11	5.89	8.33	8.17
52	11.17	10.89	8.86	9.31	9.61	9.28
53	10.50	8.42	6.69	7.69	8.00	10.78
54	9.11	8.39	8.78	9.14	6.33	7.72
55	10.78	9.17	8.06	6.42	7.11	9.06
56	8.39	10.56	11.25	9.20	11.72	10.72
57	8.50	7.44	8.36	9.03	7.00	8.22
58	8.61	9.22	9.31	9.76	7.33	10.17
59	11.11	10.19	8.45	8.47	7.56	9.33
60	7.06	6.17	7.67	7.20	5.67	5.89

以上から、提案システムによってベースライン以上の試行結果を刺激無しの時よりも有意に多くできることを確認した。また、試行結果を成功に近づけられる可能性を確認した。

4.4.2 対照実験: 条件付け無しの刺激の影響評価

前節の本実験では、条件付けた刺激による影響を評価した。本節の対照実験では、条件付けをしない刺激で試行結果を向上させるメンタル機能補強が可能かを評価する。この対照実験の被験者は条件付けをさせない対照群である。実験では、学習段階の練習ゲームを条件付け無しで行い、前節と同じチャイム音とブザー音を条件付け無しの P 刺激と N 刺激として、前節と同じ実践段階の本番ゲームを行う。被験者は本実験とは別のダーツの素人 30 名で、男性 26 名、女性 4 名で、ダーツ歴 8 年以下の 21 才~26 才である。

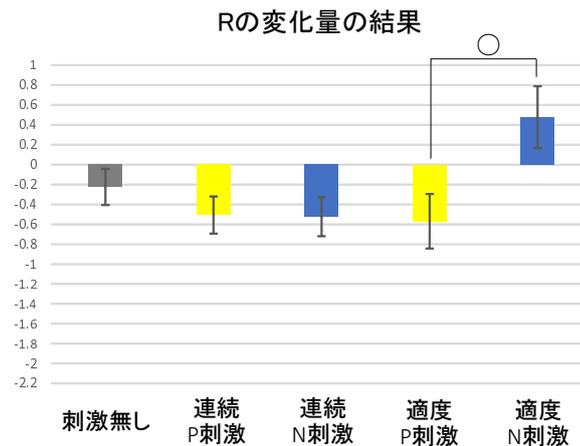


図 38: 対照実験における提示刺激ごとの結果. R の変化量の結果について.

対照実験の結果と考察

Rの結果を表 14 に示す. 見方は本実験と同じである. R の変化量の結果を図 38 に示す. 図のスケールは実験群と揃えている. エラーバーは標準誤差を表し, ○は $p < 0.05$ を表す. 検定では分散分析に ANOVA, 多重比較検定に多重比較検定に Bonferroni-Holm 補正と Mann-Whitney U test を用いた. 分散分析の結果, 刺激の効果は有意であった ($F(4,116)=4.1, p < 0.05$). 多重比較検定の結果, 1つの組み合わせに有意差が確認され, 適度 P 刺激の方が適度 N 刺激よりも結果が有意に良かった ($p < 0.05$). これらは, 条件付けをしていない刺激でも, 一般的にポジティブかネガティブの認識があるだけで, 試行結果を有意に操作できることを示している. しかし一方で, 試行結果の操作はあくまで適度 P 刺激と適度 N 刺激の間での範囲であり, 刺激無しの時より試行結果を有意に良くはできなかつた.

以上から, 条件付けをしていない刺激でも試行結果を有意に操作できるが, 刺激無しの時より試行結果を有意に良くするという本研究の趣旨に沿うメンタル機能補強はできないことを確認した.

補足結果: 一般化指標への影響

ハイパフォーマンス率と成功率の結果を表 15 と図 39 にそれぞれ示す. エラーバーは標準誤差を表し, ○は $p < 0.05$ を表す. 検定では分散分析に ANOVA, 多重比較検定に LSD 方法を用いた. 検定の標本数は刺激ごとに 30 である. まず, ハイパフォー

表 15: 対照実験における提示刺激ごとの結果. 矢の命中位置を一般化した指標について.

参加者	ハイパフォーマンス率 [%]					成功率 [%]				
	刺激無	連続 P	連続 N	適度 P	適度 N	刺激無	連続 P	連続 N	適度 P	適度 N
31	72	61	56	78	67	50	39	44	67	44
32	44	56	39	44	44	83	78	83	67	78
33	67	78	61	78	44	33	61	56	67	44
34	44	78	78	100	67	22	50	50	89	11
35	56	67	67	56	78	44	22	56	33	44
36	56	56	56	56	22	67	61	67	67	22
37	61	39	44	67	67	56	22	22	56	44
38	56	44	33	11	11	67	50	44	22	22
39	44	22	28	56	22	50	39	33	56	33
40	33	33	50	33	11	72	72	94	78	67
41	78	89	94	89	67	44	67	67	67	22
42	67	67	61	44	89	56	56	56	44	89
43	67	67	67	78	56	44	56	50	33	11
44	56	72	56	56	44	33	17	39	22	11
45	56	56	50	67	22	50	50	39	56	22
46	61	72	72	78	67	56	44	56	67	67
47	56	61	56	44	56	83	83	83	67	78
48	50	39	17	22	44	72	50	67	33	56
49	56	67	94	67	56	33	44	61	44	56
50	56	56	28	56	22	44	50	17	44	22
51	44	28	50	33	33	50	33	72	44	44
52	67	78	78	78	89	22	33	17	22	11
53	56	83	78	89	67	44	61	33	11	22
54	67	61	44	78	67	50	50	33	67	67
55	67	94	89	67	67	33	28	56	67	44
56	33	44	50	56	44	17	28	33	22	11
57	72	56	50	89	67	33	44	39	56	56
58	50	56	39	67	44	33	17	17	44	11
59	78	61	83	67	67	11	39	44	67	44
60	61	44	67	78	67	50	39	50	78	67

パフォーマンス率に関して, 分散分析の結果, 刺激の効果は有意であった ($F(4,116)=2.73, p < 0.05$). 多重比較検定の結果, 適度 P 刺激が適度 N 刺激よりも結果が有意に良かった ($p < 0.05$). しかしながら, R の変化量と同様に, 刺激無しの時より試行結果を有意に向上させるものはなかった. 次に, 成功率に関しては, 分散分析の結果, 刺激の効果は有意であった ($F(4,116)=2.39, p < 0.1$). 多重比較検定の結果, 連続 N 刺激と適度 P 刺激が適度 N 刺激よりも有意に成功率が高かった ($p < 0.05$). しかしながら, 刺激無しの時よりも試行結果を有意に向上させるものはなかった.

以上から, 条件付けをしていない刺激でベースライン以上の試行結果をする割合と成功する割合を有意に操作できるが, 刺激無しの時より有意に良くするという本研究の趣旨に沿うメンタル機能補強はできないと確認した.

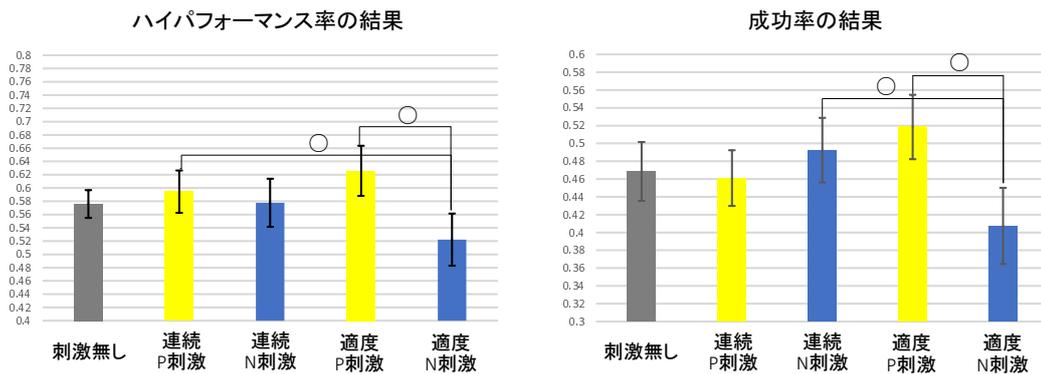


図 39: 対照実験における提示刺激ごとの結果。一般化指標の結果について。

4.4.3 総合考察

本節では、条件付け有りの本実験と条件付け無しの対照実験の2つを踏まえた考察をする。注意されたいのは、ここでの本実験と対照実験の比較に関する考察は、前節までの両実験の結果を用いた推論という点である。

提案システムにおける条件付けの段階はメンタル機能補強用の刺激生成のために有効だとわかった。両実験において、提示刺激は試行結果を有意に変化させたが、試行結果を刺激無しの時よりも向上させるという本論分の趣旨に沿う結果は、条件付けをした本実験のみであった。これを示す結果は、刺激無しの時よりも試行結果を有意に向上させることが、本実験では提示間隔によらずP刺激によってできたのに対して、対照実験ではできなかった点である。

条件付けの段階によって刺激の影響の程度は強くなったと考えられる。これを示す結果は、対照実験で有意差の無かった複数の刺激間に本実験では有意差が確認された点と、両実験において最も好影響であった適度P刺激が刺激無しの時よりも試行結果を向上させた程度が本実験の方が大きい点である。具体的に、刺激無しを基準にした適度P刺激の結果の向上量は、Rの変化量では対照実験が0.34cm向上なのに対して本実験ではその約4倍の1.25cm向上、ハイパフォーマンス率では対照実験が約5%向上なのに対して本実験ではその約2倍の約11%向上、成功率では対照実験が約5%向上なのに対して本実験では約7%向上した。

P刺激とN刺激による影響の相対的なバランスは、P刺激の方がN刺激より良いという順方向に一貫した傾向があると考えられる。これを示す結果は、両実験において提示間隔によらずP刺激の方がN刺激よりも試行結果が良かった点である。

失敗体験と条件付けた N 刺激は好影響を与えたように見えるが、現時点では刺激無しの時よりも試行結果を有意に良くも悪くもしないという判断になる。負の刺激が生物のパフォーマンスを高める例として、死などの身の危険といった負の状況が、逃走や戦闘ために必要な生物の一部の機能(例: 瞬発力, 筋力)を高めることが知られていることから、今後は状況やタスクによって N 刺激をメンタル機能補強のために使える可能性も調査していく。

本実験での学習段階の条件付けの成立には、条件付けの先行研究と同様で、結果に応じた刺激が鳴っているという程度の認識が必要である。また、実践段階でのメンタル機能補強の成立には、試行前に刺激が鳴っているという程度の認識が必要である。そして、これらからは学習段階の条件付けと実践段階でのメンタル機能補強が、意識的で積極的な努力をほとんど要せず成立するとわかり、提案手法は少なくともルーティンを含む既存のメンタル機能制御手法以下の簡便さであると考えられる。

提案システム実用時の効果は今回の本実験より大きい可能性がある。この理由は、実用時のユーザの状態は提案手法の意図と有効性を理解するため、刺激や条件付けに興味を見出す積極性は今回より高くなり、心理学におけるプラセボ効果も働き得るからである。また、今回実験者が勝手に決めた条件付ける成功の質の閾値や条件付けの回数も個人ごとに満足のいくものを設定することになるからである。

今回の本実験では、条件付けに用いる体験と刺激はポジティブとネガティブの方向を揃えた組み合わせを、試行結果を良くさせる刺激生成のために効率が良いと考えて採用し、その結果、P 刺激のようなポジティブな方向同士の条件付けでは同一方向に影響が強くなるとわかった。一方で、悪い方向の影響をよい方向にするといったように、影響を逆方向に操作できれば効果的な場面はあるので、今後は様々な条件付ける組み合わせを試して影響の方向がどう変わるかも調査する。なお、N 刺激のようなネガティブの方向同士の条件付けでは刺激を良い方向に強めたように見えるが、現時点では確かな結果はないため、この判断のためにも様々な条件付ける組み合わせを試す必要がある。

同じ刺激を提示する際、連続ではなく適度な間隔を空けた方が効果が得やすいと考えられる。結果からは、両実験で適度 P 刺激による試行結果が最も良く、連続提示の方が明瞭な効果が出ていると解釈できる。連続提示よりも適度提示の方が効果が得やすかった理由としては、連続では刺激量が多すぎたために刺激への慣れが生じたため、適度よりも効果が弱くなったと考えられる。よって、システム仕様としては、手動に

よる刺激提示によってユーザの好きなタイミングで適度提示ができるようにする。なお、本実験における適度とは、回数で見ると平均して試行2回に1回で、時間で見ると、1試行が30秒程度だったので、平均して60秒に1回である。

対照実験からは、単にポジティブやネガティブな認識の音が鳴った程度で、試行結果が有意に変動するとわかる。これを踏まえると、個人所持物から環境設置物までの身の回りの様々な電子機器から日常で知らずに心身に影響を受けている可能性があると考えられる。したがって、情報提示システムの設計者やユーザは、目や耳に入る刺激による影響が今回のダーツのような試行結果だけでなくその他広範囲に及んでいる可能性を理解して考慮することが必要と考えられる。

両実験の結果は次の2つの現象を示唆すると考える。1つ目は、刺激のもつ効果が時間変化し得ることで、これは条件付けによって刺激の影響が変化したことによる示唆である。2つ目は、条件付けられた刺激によって条件付けられた事象や結果が誘発されることで、これは本実験の結果を成功体験と条件付けられた刺激によって成功に近い事象や結果が誘発されたことと捉えることによる示唆である。本実験のように特定の体験やイベントと知覚刺激が繰り返された程度で条件付けが起こるとすれば、上記の2点の現象を提案システム以外の場面や目的に有効利用した情報提示システムが開発できると考えられる。その一方で、刺激が設計意図に無い効果をもつことや設計意図に無い現象を誘発するなど、望ましくない想定への考慮や対処がほとんどの情報提示システムに必要と考えられる。この理由は、提案システムのように提示刺激に何らかの学習をさせるシステムでなくても、使用状況に周期性があったり特定のイベント時に特定の刺激を提示する仕様があれば、システム使用間に同じ状況で同じ情報が繰り返し提示されて条件付けが起こり得るからである。こういった望ましくない条件付けを防ぐために、同一情報の使用頻度を制限するなどの汎用的な対処方法の設計を今後の課題とする。

4.5 性格に基づいたシステム効果予測手法

これまでの実験では提案システムの効果が全体に一貫したものと確認したため、P刺激を提示することでほとんどすべてのユーザの試行結果の向上ができると考えられる。一方で、こういった心理的な影響の操作を狙ったシステムでは効果に個人差がある報告 [62] もあり、提案システムによる効果にも個人差がある可能性がある。自分への効果は実際にシステムを試せば把握できるが、事前に認識できる方が望ましい。そ

ここで、本章ではユーザが提案システムから受ける効果をユーザの性格から予測する手法を構築する。

医療分野では薬の効果に個人差があると知られている。例えば一般的な内服薬の効果は、個人がもつ薬の代謝機能と排出機能に左右されることが知られており、具体的には肝臓の代謝機能や腎臓に問題があると薬の効果が強まり、小腸に障害があると薬の効果が弱まる。また、薬を分解するための酵素の遺伝子レベルでの個人差や、日常のアルコール摂取量や喫煙量といった生活習慣の個人差も、薬の効果を左右すると知られている。薬の効果の個人差の予測は死活問題に関わらない病気であれば一般的にされていないが、抗がん剤治療などでは近年、患者に合う効果的な薬の遺伝子検査による事前調査が重要視されて行われている。

このような効果の事前調査は、個人ごとに効果的な投薬を行うためには必要である。

本手法は、この薬の効果の個人差の事前調査の概念を、心理的な影響を狙った情報提示システムに適用させたものである。そして、効果の個人差の原因の一部が性格によるものと仮定している。性格は、遺伝子の要因と後天的な環境の要因から構成されるものである。この機能はシステム使用前に取得したユーザの性格測定値から、ユーザへのシステムの効果を判定するものである。このような予測手法は本研究以外になく、情報提示機器に汎用的に活用できる手法となることが期待できる。

4.6 評価実験

本節では、ダーツの実験結果から被験者への提案システムの効果を分類して正解データを作り、その被験者ごとの効果を性格測定アンケートの結果から分類する精度を評価する。

性格測定

4.1 節の本実験の被験者に、性格測定のアンケートをさせた。性格測定には、国際的な性格測定4つと提案システムに関するオリジナルのもの1つを採用した。複数選択の理由は、性格質問紙ごとに捉えられる性格指標が異なり、提案システムに適したものを採用する必要があるからである。FFQP-50[70]は、ビッグファイブ理論に基づいた5因子の人格診断法で、50の質問から成る。ビッグファイブ理論は国際的に最も有名な総合性格測定の1つである。日本版同調志向尺度[71]は1尺度で外的情報への同調傾向を理解するもので、23の質問から成る。日本版 Brief Core Schema Scale(JBCSS)[72]

表 16: 提案システムについてのオリジナルの質問

	質問	回答
Q1	提示音によるゲーム結果への影響はあると思いますか？	3段階 (1: ほとんど変化しない, 2: 変化する, 3: 有意に変化する)
Q2	P刺激による結果の変化はあると思いますか？	5段階 (-2: 有意に下がる, 0: 変化なし, 2: 有意に上がる)
Q3	N刺激による結果の変化はあると思いますか？	5段階 (-2: 有意に下がる, 0: 変化なし, 2: 有意に上がる)
Q4	本システムを利用してダーツゲームをあなたが10回繰り返し行った場合, 何回 (%) ゲーム結果に変化が起きると思いますか？	5段階 (1: 0回 (0%), 3: 5回 (50%), 5: 10回 (100%))
Q5	本システムを利用してダーツゲームを100人が1回行った場合, 何人 (%) のゲーム結果に変化が起きると思いますか？	5段階 (1: 0人 (0%), 3: 50人 (50%), 5: 100人 (100%))

は、4尺度で自身の外と内の情報(以降では外的情報と内的情報)をポジティブ・ネガティブに捉える傾向を理解するもので、26の質問から成る。東大式エゴグラム [73] は、交流分析理論に基づいた5因子の人格診断法で、53の質問から成る。オリジナル質問紙は本論文のために作成したもので、表3に示す3つの質問(Q1, Q4, Q5)で提示刺激の影響力を信じる程度を測定し、2つの質問(Q2, Q3)で提示刺激をポジティブかネガティブのどちらに捉えるかを測定する。なお、今回の実験でのオリジナル質問紙は自身のダーツ実験の体験を振りかえるという形式で質問をした。

効果の分類

提案システムによる個人ごとの効果をみるために、Rの変化量の個人ごとの検定を本実験の被験者にこれまでと同様の方法で行った。検定の結果から、順反応、逆反応、無反応の3種類に分類できた。順反応とはP刺激で最も好影響を受けるため、N刺激よりもP刺激を与えるべき人である。この反応は検定結果から、P刺激の結果がN刺激もしくは刺激無しの結果よりも有意に良かった人である。逆反応とはN刺激で最も好影響を受けるため、P刺激よりもN刺激を与えるべき人である。この反応は検定結果から、N刺激の結果がP刺激もしくは刺激無しの結果よりも有意に良かった人である。無反応とは検定結果から、有意差のなかった人である。ここでのP刺激は連続と適度の両方のP刺激を指し、N刺激は連続と適度の両方のN刺激を指す。各タイプの人数は、順反応、無反応、逆反応の順に、7人、20人、3人となり、被験者との対応を表17と表18のタイプ欄に示す。なお、P刺激とN刺激によって刺激なしの時よりも有意に結果が悪くなる者はおらず、その点は全体への検定結果と同じであった。した

表 17: 性格測定のアナケート結果 1

被験者	タイプ	オリジナル					FFQP					同調性
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	情動性	外向性	統制制	愛着製	遊戯性	同調性
1	無	1	3	3	1	1	-4	5	-5	-2	-5	-10
2	無	1	3	3	2	2	-9	0	-10	14	14	-7
3	順	2	4	2	2	3	-6	-2	-1	6	11	4
4	無	1	3	3	2	3	-8	-8	-1	6	13	-10
5	無	2	4	2	3	2	5	-3	-4	-1	11	2
6	無	2	2	2	4	3	-10	1	-8	-2	10	-6
7	無	1	3	3	4	2	-4	4	6	4	-4	13
8	無	2	4	4	4	4	-1	-3	0	6	10	-2
9	無	2	4	3	2	2	7	4	12	4	16	1
10	順	2	3	1	4	3	4	-3	7	5	0	9
11	無	1	3	3	2	2	11	-2	1	7	1	11
12	無	1	3	3	2	2	-5	2	-4	7	3	1
13	無	2	2	2	2	2	0	-9	9	-8	-3	-1
14	順	3	4	2	3	2	4	4	-5	1	7	-7
15	無	2	2	4	3	2	14	-9	-11	-8	1	-9
16	無	1	3	3	1	2	-6	-7	6	4	7	-14
17	無	2	2	4	4	4	10	-11	10	-4	9	16
18	無	2	4	2	3	3	9	3	14	0	18	2
19	順	1	1	0	3	4	-13	8	-17	8	-5	-4
20	順	1	0	0	2	2	-6	13	5	9	10	-12
21	無	1	0	1	2	4	-14	13	-3	12	-2	-9
22	無	1	1	0	4	3	-11	2	-9	12	-6	10
23	順	0	0	0	2	2	9	-15	11	-10	-4	9
24	逆	0	0	-1	2	3	4	-1	-3	1	5	4
25	逆	0	-1	-1	1	2	3	3	-2	0	-2	-7
26	順	2	1	-1	2	3	1	11	-6	5	4	8
27	無	0	0	0	2	2	-12	-3	7	12	-1	6
28	無	0	-1	1	2	2	10	-7	7	4	3	-2
29	無	1	-1	-1	2	4	-9	3	-4	-6	11	-4
30	逆	1	1	0	2	4	-9	4	0	6	6	-5

がって、順反応にはN刺激を与えていけないわけではなく、逆反応にもP刺激を与えていけないわけではなく、無反応に刺激を与えていけないわけではない。また、この個人内の検定は、全体の検定に比べて少ない試行数なので、有意差が表れた人は効き目が強い人と解釈できる。この解釈と全体で順方向に有意差があったことを踏まえると、無反応と識別された者は効果がない人と効果が弱い人の両方を含んでいると考えられる。

結果と考察

表 17 と表 18 に性格の測定値を示す。そして表 19 に予測精度を示す。機械学習アルゴリズムの分類器に、ランダムフォレストと最近傍法を採用した。分類器の評価には leave-one-out 交差検証を用いており、最近傍法の特徴量には性格測定値のユークリッド距離を用いた。表中の適合率は予測間違いが影響する予測精度を表し、再現率は予

表 18: 性格測定アンケート結果 2

被験者	タイプ	JBCSS				エゴグラム				
		他者ネガ	他者ポジ	自己ネガ	自己ポジ	CP	NP	A	FC	AC
1	無	1	5	0	16	36	29	43	36	32
2	無	1	5	5	5	35	36	33	36	21
3	順	1	7	3	11	34	46	33	38	39
4	無	2	6	3	8	34	37	41	32	23
5	無	7	5	7	4	33	30	41	31	40
6	無	0	12	5	4	40	31	47	38	30
7	無	9	14	11	9	35	35	28	32	38
8	無	1	12	3	12	30	33	41	35	33
9	無	4	4	5	5	35	36	41	32	31
10	順	5	5	6	8	34	43	39	26	46
11	無	8	10	8	6	38	40	42	34	42
12	無	3	16	4	4	40	41	31	37	33
13	無	6	4	10	1	19	25	24	24	37
14	順	0	9	2	7	41	37	42	37	35
15	無	0	3	5	3	36	27	37	19	30
16	無	2	7	4	12	30	33	38	27	16
17	無	7	4	17	0	21	16	21	19	34
18	無	0	11	10	8	39	32	39	44	34
19	順	1	13	3	3	36	36	29	41	31
20	順	0	15	8	5	33	41	49	43	29
21	無	6	9	10	4	38	32	31	32	33
22	無	0	9	2	4	36	45	44	31	40
23	順	5	10	13	2	25	26	28	15	26
24	逆	1	6	7	4	34	33	41	29	41
25	逆	8	3	1	9	33	24	39	29	25
26	順	2	7	3	4	37	38	45	40	31
27	無	1	1	0	0	22	45	34	36	21
28	無	3	12	15	2	20	32	33	29	41
29	無	7	7	6	1	43	30	43	37	33
30	逆	4	12	2	8	39	35	38	37	32

表 19: ランダムフォレスト (RF) と最近傍法 (NN) の予測精度の結果。

		オリジナル			JBCSS			FFQP			エゴグラム			同調		
		適合	再現	F 値	適合	再現	F 値	適合	再現	F 値	適合	再現	F 値	適合	再現	F 値
RF	加重平均	0.67	0.67	0.67	0.57	0.53	0.55	0.59	0.63	0.61	0.73	0.77	0.71	0.59	0.60	0.60
	順反応	0.38	0.43	0.40	0.30	0.43	0.35	0.40	0.29	0.33	1.00	0.43	0.60	0.50	0.43	0.46
	無反応	0.80	0.80	0.80	0.71	0.60	0.65	0.74	0.85	0.79	1.00	0.43	0.60	0.71	0.75	0.73
	逆反応	0.50	0.33	0.40	0.33	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NN	加重平均	0.54	0.60	0.57	0.41	0.37	0.39	0.51	0.43	0.46	0.61	0.63	0.61	0.61	0.63	0.62
	順反応	0.33	0.29	0.31	0.09	0.14	0.11	0.18	0.29	0.22	0.50	0.29	0.36	0.43	0.43	0.43
	無反応	0.70	0.80	0.74	0.59	0.50	0.54	0.67	0.50	0.57	0.74	0.85	0.79	0.76	0.80	0.78
	逆反応	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.33	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

測間違いが影響しない予測精度を表し、F 値は適合率と再現率の調和平均を表し総合的な評価に使う。また、結果は全タイプの加重平均とタイプ1つごとの結果を示す。

F 値が一般に予測の評価指標として用いられるので、全タイプの加重平均の F 値から評価する。結果から、予測精度はエゴグラムとランダムフォレストの組み合わせが 71%で最も良く、次いでオリジナルとランダムフォレストの組み合わせが 67%と良かつ

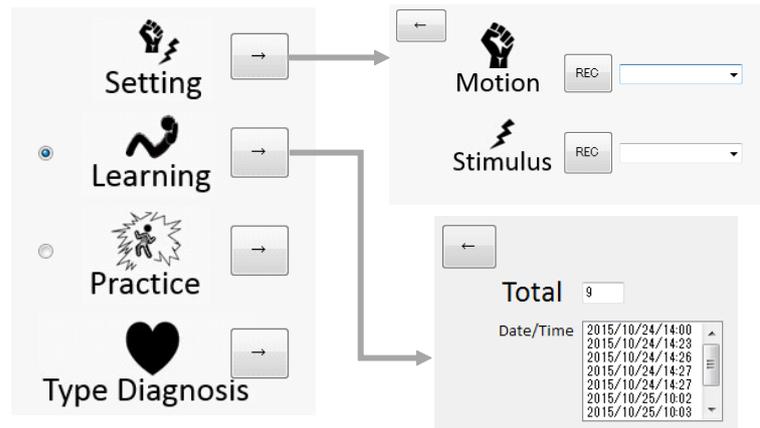


図 40: アプリケーション画面

た。これら2つの組み合わせの全タイプの加重平均に大きな差はないため、全タイプをまんべんなく予測できた後者を今回は採用する。

実用できる予測精度の基準はないが、現時点での予測精度は提案システムのユーザビリティを高める補助としての位置づけであれば実用できる精度だと考えている。現時点の精度では予測ミスもあり得るが、予測機能を自身が受ける効果の見当を付ける程度の目的で使用してもらい、その際には現時点の予測精度と一度効果を試す指示も提示することで、予測ミスによる問題は概ね防げると考えられる。刺激を試すことについても、提案システムではどの刺激によっても悪影響は確認していないため、問題はない。また、無反応の人については効果が弱いもしくは無い可能性があることを認識してもらった後、システムを利用する場合にはP刺激を用いてもらうことで対処する。効果予測機能のない従来システムのように自分への効果が不明な状況よりも効果の見当が付くだけで快適になるユーザはいると考えられ、そういったユーザが予測機能を好んで使うことを想定する。なお、コンピュータからの診断が暗示になって予測の結果通りの効果を受けてしまうことも想定されるので、今後は予測の結果と実際に受ける効果についても調査していく。また、この手法が他のシステムにも汎用的に適用できるかも今後検証していく。

4.7 実装

実験で手動での刺激提示が有効な場面を確認したことから、手首装着型の手動システムのプロトタイプを実装した。図40にシステム画面を示す。システム利用の流れは

4段階から成り、まず、TypeDiagnosis項目では効果の予測機能からユーザへのシステムの効果を判定する。次に、登録段階では刺激音源とそれを提示するトリガ動作を設定する。音源はStimulus項目にある成功音・失敗音の他に、Recボタンを押して録音した音源も採用できる。トリガ動作はSetting項目でRecボタンを押しながら実際に動作を行って記録し、マイク録音した音源もトリガに採用できる。次に、学習段階ではLearning項目にチェックを入れ、条件付けたい時にトリガ動作を行い、刺激を提示する。最後に、実践段階ではPractice項目にチェックを入れ、メンタル機能補強必要時にトリガ動作を行い、刺激を提示する。Learning項目Practice項目共に試行の回数と日付が記録される。動作の認識には、3軸加速度角速度センサ値から抽出した複数の特徴量および、時系列データから特徴を見つけるDTWを用いた。

トリガ動作の例としては、自信溢れる力強いポーズ(例:ガッツポーズ)と、悪いメンタル機能を表すなだめ動作(例:顔を触る)が挙げられる。前者は意図的に行うだけでメンタル機能に好影響を与えるホルモンが働くと近年社会心理学で示されており、音と動作を合わせた効果が期待できる。後者は悪いメンタル機能時に自動で刺激を得ることが期待できる。手動システムは場面を問わずに使えるので特定の体験(例:ダーツ)で条件付けた刺激を他の本番に使う例も考えられる。

4.8 まとめ

本研究では、レスポナント条件付けの枠組みを情報提示システムに適用し、メンタル機能補強を情報提示のみで行うためのシステムを構築し、ダーツゲームを対象にしてその効果を検証した。実験群と対照群で合計60名の4320試行の実験結果から、提案システムによって試行結果を通常時よりも有意に良くできることを確認した。具体的には、成功と条件付けた刺激によって、刺激無しの状態よりも、ダーツの矢の命中位置を約1.25cm有意に狙った位置に近づけさせ、実力の平均値以上の結果を出す割合を約20%有意に増加させた。そして、提案システムによる影響の個人ごとの傾向をユーザの性格から予測する手法を提案し、最大71%の精度で予測できることを確認し、その手法をもとに条件付け刺激を自動で生成し提示するシステムを実装した。今後は条件付けの現象の詳細な調査や効果予測手法の改善と共に、プロのアスリートなどの心身制御能力に優れた人への効果も検証する。

メンタル機能は人間の活動の基礎能力で、例えば認知能力のように様々な活動に関与している。本研究によって、コンピュータがメンタル機能補助という新たな役割を

もち、パーソナルなメンタル機能制御を誰もが簡易に行えるようになり、それが様々な活動に好影響を与えるものとなる。

5 結論

5.1 本論文のまとめ

本研究の基づく理念は、人の生活や心身の様々な面にコンピュータがより深く入り込む現実をこれから向かえるにあたって、そのシステム設計においては人の性質をより深く考慮すべきというものである。本研究ではこの理念に基づき、複数の場面におけるユーザの自己管理支援システムの設計を通して、対象場面ごとに考慮が必要な認知的傾向に基づいた情報提示手法を提案した。具体的には、3つの研究課題において容姿、健康、精神の自己管理支援システムの設計を行い、それぞれの対象場面において身体動作、意志、メンタル機能に関わる認知的傾向を考慮した情報提示手法を提案した。そして、本理念に基づいたコンピュータシステムが、人の外的な作業支援を向上させ、さらには、人のより深い内的な面を個人特性に合わせて支援する役割を担える可能性、すなわち、コンピュータのユーザ支援が人の心身のより深く細かい面にまで至る可能性を示した。

各章におけるまとめは次のようになる。

まず、第1章では、ユビキタスやウェアラブルのユーザ支援システムが多様な場面に普及して支援目的を理想通りに達するための課題と、その課題解決における本研究の位置づけを述べた。

第2章では、容姿の自己管理であるセルフヘアカットという頭の散髪作業の支援システムの設計を通して、身だしなみ管理作業において要求される類の身体動作を満足に行うための自己動作閲覧用システムを、身体動作に関わる認知的傾向を考慮して設計した。本研究課題では、まず予備調査において、自己動作閲覧用の2つの環境として複数枚の鏡を用いた環境と、カメラと電子ディスプレイを用いた環境を使用した模擬散髪実験を行い、身体動作が行いやすい環境を調査した。そして、鏡の映像についての経験知(暗黙知)による身体動作機能への弊害を特定条件下で確認したことから、電子ディスプレイと自走型カメラ付きロボットを用いた自己動作閲覧システムを設計し、加えてユーザが散髪したい部分の映像を自動提示するといったセルフヘアカット用の支援機能を実装することで、セルフヘアカットのために満足な身体動作が行える情報提示システムを確立した。そして、評価結果から提案システムの有効性を確認した。

第3章では、運動量の自己管理支援のための歩数ログ提示システムの設計を通して、

モチベーションに関わる認知的傾向を考慮した情報提示手法を提案した。従来手法が提示情報による心理的影響の考慮が不十分な故に提示情報による悪い効果を起こしていたのに対して、提案手法は、提示情報において心理的影響を変化させる要素を考慮して情報の見せ方を操作することで、モチベーションの低下を軽減して向上を積極的に引き出すことを狙ったものである。本研究課題では2つの手法を提案した。1つ目は、競争情報の改変フィードバック手法で、競争相手との差の程度や順位変動などのデータ改変を交えてフィードバックする。2つ目は、自己達成程度ログの改変フィードバック手法で、自己の過去の達成程度にデータ改変を交えてフィードバックする。提案手法を歩行モチベーション向上のための歩数ログ提示システムに適用し、その有効性を評価結果から確認した。

第4章では、スポーツ分野でメンタル機能と呼ばれる精神機能の自己管理支援システムの設計を通して、メンタル機能に関わる認知的傾向を考慮した情報提示手法を提案した。これまでに、本研究課題の対象とするメンタル機能(調子)の自己管理を工学的に支援する手法はなく、また、同様の支援を狙って提案されているスポーツ心理学におけるメンタル機能制御手法は一般人には習得及び利用の難度の高いものであった。これに対して、提案手法は、無意識的な学習原理である古典的条件づけによる心身の変容をウェアラブルシステムで自動的に起こすことで、ユーザがメンタル機能の変容及び向上を簡易に行い、条件づけが行われた際の良い体験を起こすこと狙ったものである。ダーツ競技を対象にして聴覚刺激を自動提示するプロトタイプシステムを実装し、提案手法によって競技パフォーマンスを向上させるメンタル機能の変容ができることを確認した。加えて、個人ごとに効果的な情報提示を行うための提示情報効果の予測手法も提案した。提案手法は、提示情報による心理的影響が性格に依存する性質を利用し、提示情報の個人ごとの効果を性格に基づいて予測するものである。メンタル機能を変容させる前者の手法を対象にして、評価結果からその有効性を確認した。

5.2 今後の課題と展望

本研究における要素技術の応用は今後の課題のひとつである。本研究では、認知的影響を考慮するという設計方針に基づいて、複数の情報提示システムを提案した。これら個別の研究課題における要素技術は他分野の同列の課題に対しても適用可能なものであり、これは直近の課題といえる。個別の要素技術の利用例を挙げる。3章における競争情報を改変してフィードバックする手法は、他者や自己との相対比較が生じる

機会に汎用的に利用できる。従来における教育やスポーツやビジネスといった多様な場面に適用できる他、近年の常時ネット接続環境やSNSなどによって日常の詳細な区分においてこれまで以上に生じている相対比較場面にも適用できる。このような機会が人に与える効果を積極的に良いものにすることが3章のアイデアを利用すれば実現され得る。また、4章における条件付けを利用した情報提示手法の枠組みは、実験で評価したメンタル機能だけに留まらず、心身のあらゆる状態や機能を簡易に記録して自在に引出すような手法にも応用できる可能性がある。例えば、感情ややる気といった精神的な要素から、空腹や睡眠といった生理的な要素までを自在に引き出せれば、生活を快適にすることや既存問題の解決に有効と想定する。この手法における、知覚刺激を媒体として体内に心身の状態・機能を刻印・記録する点は、これまでと異なる対象のログや用途への応用ができると想定する。これらの例を含めて、本研究における要素技術の活用は多くの分野の発展に貢献するものと考えられる。

また、本研究の今後の課題として、ユーザ支援のための情報提示システムの観点から、コンピュータシステムおよび人が、どうなれるか、どうなるべきかについての妥当な回答を得ること、ないしはその回答導出に資するものを得ることが挙げられる。本研究を通しては、このうち、どうなれるか、についての可能性のひとつを示したと考える。本研究が基づく理念は、コンピュータが人の生活や心身の様々な面により深く入り込む現実をこれから向かえるにあたって、そのシステム設計においては人の性質をより深く考慮すべきとしたものであり、この理念の有効性を個別の研究課題において示した本研究は、この理念が前述の回答のひとつになり得ることを示す一例になったと考える。また、本理念に基づいたコンピュータシステムが、人の外的な作業支援を向上させ、さらには、人のより深い内的な面を個人特性に合わせて支援する役割を担える可能性、すなわち、コンピュータのユーザ支援が人の心身のより深く細かい面にまで至る可能性を示したことは、本理念によって、コンピュータが人にとってどうなれるかの方向性のひとつを示したと考える。

この回答の導出や、それに基づいたシステムの設計・利用のためのルールを作るに至るには、多くの事例を基にした局所的な区分ごとの議論が必要になり、この実行は今後の課題である。本研究が可能性を示した方向性にコンピュータと人がなれるとして、その実現の是非を問うにあたっては、コンピュータシステムおよび人がどうあるべきかについての合意の形成が必要となる。局所的な議論になるが、例えば、本研究の3章のような、自身や他者の情報・ログのデータ改変についても合意に基づいたルー

ル作りが必要である。本研究遂行時の観点では、ログのフィードバックが心身に影響をもたらすことが一般的になった際には、その影響を考慮したログのフィードバックを行うべきと一般に認識されると想定している。それは人と人とのコミュニケーションにおいて事実を伝える際に気を遣うことが、場面ごとに当然行うべきと現状で認識されているのと同様である。データ改変によって実際の健康状態が快適になったり目的が達成される事実を体験する人が確認されれば、改変されたデータを無条件に拒否する人がいる一方で、コンピュータシステムにおける嘘も方便を理解する人が増え、それは無いと困る然るべき設計という認識をもったデータ改変ネイティブ世代が現れ、自身の理想とする具合のデータ改変をするアプリやライブラリが選択される現実が訪れると想定している。このような世界では、例えば競争システムにおいて、その利用状況によっては、個人ごとの閲覧競争情報が異なって競争者と自分の見ているスコアや順位が違っていようと大して気にされない、むしろ個人ごとに適した情報を提示するのは普通ではないかと思なされる状況もあると想定する。それは、例えば、大衆音楽におけるボーカル音声の音程修正や写真における修整といった事実からの改変が、大目的のための手段として既に現代人の一定の許容範囲になっているように、データ改変はあらゆる面で許容される、もしくは許容される程度に収まって普及すると想定する。また、本研究の4章のような、心身の状態や機能をコンピュータで簡易に拡張・補完する技術の利用についても、同様に、合意に基づいたルール作りが必要である。コンピュータに頼ってボタン1つで簡易に心身を変容できる技術を使わずに、人が本来もっているはずの心身を自己で調整・制御する機能を高めるべきと考える人がいる一方で、その技術の使用でより快適に目的が達成されるならば、コンピュータの代替によって使わずに衰えたものは、例えば従来のソロバン使用技能や畑作技能や理不尽に耐える技能のように、単にその時代で要求された技能に過ぎず、これからの人には自力でまかなう必要のないものとして受け入れられる現実が訪れると想定している。このような話題への回答は地域や時代によって変化すると考えられるが、その導出を、時代ごとに必要とされる能力や常識、事例、工学を含めた多方面の専門知識に基いて、行うことは今後の課題である。

謝辞

本研究を推進するにあたり、直接の御指導、御助言、御討論を頂きました神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻 塚本昌彦教授、寺田努准教授に衷心より感謝申し上げます。

本論文をまとめるにあたり、大変有益な御指導と御助言を多数賜りました神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻 沼昌宏教授、神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻 増田澄男教授に心より感謝申し上げます。

神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻に在学中、御教示、御激励頂いた神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻の諸先生方に感謝すると共に、諸職員の方々に感謝いたします。

本研究を進めるにあたり、多くの御討論や御助言を頂きました神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻塚本・寺田研究室の諸氏、また、学外でお世話になった諸氏に心より感謝申し上げます。

最後に、研究生活を送る上で、暖かい御支援と多大なる御理解を頂いた両親を始めとする家族に心からの感謝と御礼を申し上げます。

参考文献

- [1] マイボイスコム株式会社: 身だしなみに関する自主企画アンケート, <http://www.myvoice.co.jp/biz/surveys/16316/index.html> (2012).
- [2] C. Barton, C. Roche, E. Huet, et al.: The Resilient Consumer: Where to Find Growth amid the Gloom in Developed Economies, The Boston Consulting Group, <http://www.bcg.de/documents/file145826.pdf>, pp.15 (2013).
- [3] E. Iwabuchi, M. Nakagawa, and I. Sii: Smart Makeup Mirror: Computer-Augmented Mirror to Aid Makeup Application. *Proc. of the 13th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2009)*, pp. 495–503 (2009).
- [4] 長嶋麻里奈, 橋本 直: Satellite Eyes: 人の周囲を回転するカメラアームを用いた視野拡張システムの提案, インタラクション 2015 論文集, pp.772–773 (2015).
- [5] J. Tominaga, K. Kawauchi, and J. Rekimoto: Around me: a system with an escort robot providing a sports player’s self-images. *Proc. of the 5th Augmented Human International Conference (AH’14)*, pp. 43:1–43:8 (2014).
- [6] K. Higuchi, Y. Ishiguro, and J. Rekimoto: Flying eyes: free-space content creation using autonomous aerial vehicles. In *CHI’11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 561–570 (2011).
- [7] 山本 翼, 杉浦裕太, 南澤孝太, 杉本麻樹, 稲見昌彦: プカプカメラ: 浮遊カメラを用いた三人称視点による旅の記録体験の拡張, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 18(3), pp. 371–381 (2013).
- [8] H. Kuzuoka, T. Kosuge, and M. Tanaka: GestureCam: a video communication system for sympathetic remote collaboration. *Proc. of the 1994 ACM conference on Computer supported cooperative work (CSCW ’94)*, pp. 35–43 (1994).

- [9] 森 直幸, 船富卓哉, 山肩洋子, 角所 考, 美濃導彦: 調理者の手の動きを時空間制約とした調理中の食材追跡, 電子情報通信学会技術研究報告 (マルチメディア・仮想環境基礎), 107(454), pp. 45–50 (2008).
- [10] A. K. Jain, R. P. W. Duin, and J. Mao: Statistical pattern recognition: a review, *Journal of Pattern Analysis and Machine Intelligence (JPAMI)*, 22(1), pp. 4–37 (2000).
- [11] J. A. R. Bautista, A. M. Hernandez, and L. M. Urias: Using Color Histograms and Range Data to Track Trajectories of Moving People from a Mobile Robot Platform, *Proc. of the 22th International Conference on Electrical Communications and Computers (CONIELECOMP)*, pp. 27–29 (2012).
- [12] W. Gaver: The affordances of media spaces for collaboration, *Proc. of the 1992 ACM conference on Computer-supported cooperative work (CSCW '92)*, pp. 17–24 (1992).
- [13] 新美容出版株式会社: TOMOTOMO, 637号 (2011).
- [14] H. Urokohara, K. Tanaka, K. Furuta, M. Honda, and M. Kurosu : NEM: Novice Expert ratio Method A usability evaluation method to generate a new performance measure . CHI'00 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 185–186 (2000).
- [15] 鱗原晴彦: 問題点抽出手法としての NEM: ユーザビリティテストイング (黒須正明 編), 共立出版, 第 10 章 (2003).
- [16] A. C. Rafael and P. Dorian: Positive Computing: Technology for Wellbeing and Human Potential, MIT Press (2009).
- [17] B. J. Fogg: Persuasive technology: using computers to change what we think and do, Ubiquity, Morgan Kaufmann (2002).
- [18] S. Consolvo, D. W. McDonald, T. Toscos, M. Y. Chen, J. Froehlich, B. Harrison, P. Klasnja, A. LaMarca, L. LeGrand, R. Libby, I. Smith, and J. A. Landay: Activity sensing in the wild: a field trial of ubifit garden, *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '08)*, pp. 1797–1806 (2008).

- [19] Y. Nishiyama, T. , Okoshi, T. Yonezawa, J. Nakazawa, K. Takashio, and H. Tokuda: Toward Health Exercise Behavior Change for Teams Using Lifelog Sharing Models, *journal of biomedical and health informatics*, 20 (3), 775-786. (2016).
- [20] J. Shin, B. Kang, T. Park, J. Huh, J. Kim, and J. Song: BeUpright: Posture Correction Using Relational Norm Intervention, *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*, pp. 6040–6052 (2016).
- [21] S. Consolvo, K. Everitt, I. Smith, and J. A. Landay: Design requirements for technologies that encourage physical activity, *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '06)*, pp. 457–466 (2006).
- [22] M. C. Chiu, S. P. Chang, Y. C. Chang, H. H. Chu, C. C. H. Chen, F. H. Hsiao, and J. C. Ko: Playful bottle: a mobile social persuasion system to motivate healthy water intake, *Proc. of the 11th international conference on Ubiquitous computing (UbiComp '09)*, pp. 185–194 (2009).
- [23] T. Takeuchi, K. Suwa, H. Tamura, T. Narumi, T. Tanikawa, and M. Hirose: A Task-Management System Using Future Prediction Based on Personal Lifelogs and Plans, *Proc. of the 11th international conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication (UbiComp '13)*, pp. 235–238 (2013).
- [24] L. Festinger: A theory of social comparison processes, *Human relations*, 7 (2), pp. 117–140 (1954).
- [25] P. Gilbert, J. Price, and S. Allan: Social comparison, social attractiveness and evolution: How might they be related, *Journal of New Ideas in Psychology*, 13 (2), 149–165 (1995).
- [26] J. Suls, R. Martin, and L. Wheeler: Social comparison: Why, with whom, and with what effect ?, *Journal of Current Directions in Psychological Science*, 11 (5), pp. 159–163 (2002).
- [27] T. A. Wills: Downward comparison principles in social psychology, *Journal of Psychological Bulletin*, 90 (2), pp. 245–271 (1981).

- [28] J. O. Prochaska, and F. V. Wayne: The transtheoretical model of health behavior change, *American Journal of Health Promotion*, 12 (1), pp. 38–48 (1997).
- [29] C. C. DiClemente, J. O. Prochaska, and M. Gibertini: Self-efficacy and the stages of self-change of smoking, *Journal of Cognitive therapy and Research*, 9 (2) pp. 181–200 (1985).
- [30] G. R. Goethals and J. M. Darley: Social comparison theory: An attributional approach. Social comparison processes: Theoretical and empirical perspectives, *Journal of Theoretical and empirical perspectives*, pp. 259–278 (1977).
- [31] A. G. Ingham, G. Levinger, J. Graves, and V. Peckham : The Ringelmann effect: Studies of group size and group performance, *Journal of Experimental Social Psychology*, 10 (4), pp. 371–384 (1974).
- [32] L. W. Porter and E. E. Lawler: Managerial attitudes and performance, Homewood (1968).
- [33] S. E. Carrell, B. I. Sacerdote, and J. E. West: From natural variation to optimal policy: The importance of endogenous peer group formation, *Journal of Econometrics*, 81 (3), pp. 855–882 (2013).
- [34] S. M. Garcia, and A. Tor: The N-effect: More competitors, less competition, *Journal of Psychological Science*, 20 (7), pp. 871–877 (2009).
- [35] Yokohama city: YOKOHAMA ENJOY WALKING, available from <http://enjoy-walking.city.yokohama.lg.jp/walkingpoint/> (accessed 2017).
- [36] Kobe city: KOBE WALKING AND WALQUEEN BATTLE, available from <http://www.city.kobe.lg.jp/life/health/promotion/kobe21/aruking2016.html> (accessed 2017).
- [37] J. J. Lin, L. Mamykina, S. Lindtner, G. Delajoux, and H. B. Strub : Fish ' n ' Steps: Encouraging physical activity with an interactive computer game, *Proc. of 8th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp '06)*, pp. 261–278 (2006).

- [38] I. M. Albaina, T. Visser, C. A. van der Mast, and M. H. Vastenburg: Flowie: A Persuasive Virtual Coach to Motivate Elderly Individuals to Walk, *Proc. of 3rd International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, pp. 1–7 (2009).
- [39] T. Toscos, A. Faber, S. An, and M. P. Gandhi : Chick clique: persuasive technology to motivate teenage girls to exercise, *Proc. of the SIGCHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI '06)*, pp. 1873–1878 (2006).
- [40] C. B. Chan, D. A. Ryan, and C. Tudor-Locke: Health benefits of a pedometer-based physical activity intervention in sedentary workers, *Journal of Preventive medicine*, 39 (6), pp. 1215–1222 (2004).
- [41] Withings, available from <https://www.withings.com/jp/ja/> (accessed 2017).
- [42] Fitbit, available from <https://www.fitbit.com/jp/home> (accessed 2017).
- [43] Fitocracy, available from <https://www.fitocracy.com/> (accessed 2017).
- [44] 厚生労働省: 健康日本 21, available from <http://www.kenkounippon21.gr.jp/> (accessed 2017).
- [45] 竹内俊貴, 藤井達也, 小川恭平, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝: 他者評価を利用した食習慣改善ソーシャルメディア. *人工知能学会論文誌*, 30(6), pp. 820–828 (2015).
- [46] A. Tversky and D. Kahneman: Judgment under uncertainty: Heuristics and biases, In *Utility, probability, and human decision making*, pp. 141–162. Springer Netherlands (1975).
- [47] M. Thomas and F. Strack: Hypothesis-consistent testing and semantic priming in the anchoring paradigm: A selective accessibility model, *Journal of Experimental Social Psychology*, 35(2), pp. 136–164 (1999).
- [48] G. B. Northcraft and M. A. Neale: Experts, amateurs, and real estate: An anchoring-and-adjustment perspective on property pricing decisions, *Organizational behavior and human decision processes*, 39(1), pp. 84–97 (1987).

- [49] N. Epley and T. Gilovich: When effortful thinking influences judgmental anchoring: differential effects of forewarning and incentives on self-generated and externally provided anchors, *Journal of Behavioral Decision Making*, 18(3), pp. 199–212 (2005).
- [50] T. D. Wilson, C. E. Houston, K. M. Etling, and N. Brekke: A new look at anchoring effects: basic anchoring and its antecedents, *Journal of Experimental Psychology: General*, 125(4), pp. 387–402 (1996).
- [51] 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: ユーザの関心事へと引き込みを行なう常時映像閲覧システム, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, 17(1), pp. 39–52 (2015).
- [52] W. Schnotz and K. Christian: A reconsideration of cognitive load theory, *Educational psychology review*, 19(4), pp. 469–508 (2007).
- [53] O. Terry, J. Partington: Mental links to excellence, *The sport psychologist*, 2(2), pp. 105–130 (1988).
- [54] P. J. Cohn: Professional Practice Preperformance Routines in Sport, *Theoretical support and practical applications*, 4(3), pp. 301–312 (2010).
- [55] E. E. Solberg, K. A. Berglund, O. Engen, O. Ekeberg, and M. Loeb: The effect of meditation on shooting performance, *British journal of sports medicine*, 30(4), pp. 342–346 (1996).
- [56] D. Landin and E. P. Hebert: The influence of self-talk on the performance of skilled female tennis players, *Journal of Applied Sport Psychology*, 11(2), pp. 263–282 (1999).
- [57] E. L. Wohldmann, A. F. Healy, and L. E. Bourne Jr: Pushing the limits of imagination: mental practice for learning sequences, *Journal of Experimental Psychology Learning, Memory and Cognition*, 33(1), pp. 254–261 (2007).
- [58] F. Arcediano, N. Ortega, and H. Matute: A behavioural preparation for the study of human Pavlovian conditioning, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49B(3), pp. 270–283 (1996).

- [59] M. Aizenberg and M. N. Geffen: Bidirectional effects of aversive learning on perceptual acuity are mediated by the sensory cortex, *Nature neuroscience*, 16(8), pp. 994–996 (2013).
- [60] J. B. Watson and R. Rosalie: Conditioned emotional reactions, *Journal of experimental Psychology*, 3(1), pp. 1–14 (1920).
- [61] Y. Ban, S. Sakurai, T. Narumi, T. Tanikawa, and M. Hirose: Improving work productivity by controlling the time rate displayed by the virtual clock, *Proc. of the 6th Augmented Human International Conference (AH '15)*, pp. 25–32 (2015).
- [62] 中村憲史, 片山拓也, 寺田 努, 塚本昌彦: 虚偽情報フィードバックを用いた生体情報の制御手法, *情報処理学会論文誌*, 54(4), pp. 1433–1441 (2013).
- [63] 磯山直也, 寺田 努, 塚本昌彦: ユーザの関心事へと引き込みを行なう常時映像閲覧システム, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, 17(1), pp. 39–52 (2015).
- [64] S. Yoshida, T. Tanikawa, S. Sakurai, M. Hirose, and T. Narumi: Manipulation of an emotional experience by real-time deformed facial feedback, *Proc. of the 4th Augmented Human International Conference (AH '13)*, pp. 35–42 (2013).
- [65] T. Narumi, Y. Ban, T. Kajinami, T. Tanikawa, and M. Hirose: Augmented perception of satiety: controlling food consumption by changing apparent size of food with augmented reality, *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12)*, pp. 109–118 (2012).
- [66] P. E. Burkhardt and J. JB. Ayres: US inflation with trace and simultaneous fear conditioning, *Animal Learning and Behavior*, 6(4), pp. 463–468 (1978).
- [67] M. L. Spetch, D. M. Wilkie, and J. P. Pinel: Backward conditioning: A reevaluation of the empirical evidence, *Psychological Bulletin*, 89(1), pp. 163–175 (1981).
- [68] G. R. Hancock, M. S. Butler, and M. G. Fischman: On the problem of two-dimensional error scores: Measures and analyses of accuracy, bias, and consistency, *Journal of Motor Behavior*, 27(3), pp. 241–250 (1995).

- [69] 岡本昌之, 山中信敏: Wizard of Oz 法を用いた対話型 Web エージェントの構築, 人工知能学会論文誌, 17(3), pp. 293–300 (2002).
- [70] 藤島 寛, 山田尚子, 辻平治郎: 因子性格検査短縮版 (FFPQ- 50) の作成, パーソナリティ研究, 13(2), pp. 231–241 (2005).
- [71] 横田晋大, 中西大輔: 同調志向尺度の作成 規範的影響と情勢的影響, 広島修大論集, 51(2), pp. 23–36 (2011).
- [72] 内田知宏, 川村知慧子, 三船奈緒子, 濱家由美子, 松本和紀, 安保英勇, 上埜高志: 日本版 Brief Core Schema Scale を用いた自己, 他者スキーマの検討, パーソナリティ研究, 20(3), pp. 143–154 (2012).
- [73] 東京大学医学部心療内科 TEG 研究会編: 新版 TEG II 解説とエゴグラム・パターン, 金子書房, 東京 (2006).
- [74] 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, 移動型カメラを用いたセルフヘアカット支援システム, 情報処理学会論文誌, 58(11), pp. 1776 – 1786 (2017).
- [75] K. FUTAMI, T. TERADA, and M. TSUKAMOTO, A System for Supporting Self-Haircut Using Camera Equipped Robot, Proc. of the 12th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2014), pp. 34–42 (2014).
- [76] 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, 移動型カメラによるヘアセルフカット支援システム, インタラクシオン 2014 論文集, 一般社団法人 情報処理学会, pp. 17–24 (2014).
- [77] 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, 移動型カメラを用いたヘアセルフカット支援システム, 情報処理学会研究報告 (ユビキタスコンピューティングシステム研究会 2013-UBI), 2013-EC-23(1), pp. 1–7 (2013).
- [78] 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, ヘアセルフカットを支援するための映像提示システム, ユビキタスウェアラブルワークショップ 2012, p. 16 (2012).
- [79] 双見京介, 寺田 努, セルフヘアカット支援システムのための画像認識および映像提示技術, 画像ラボ 2015 年 3 月号, 日本工業出版株式会社 (Mar. 2014).

- [80] 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, 歩数増加支援のための自己歩数ログ改変フィードバック手法, 神戸大学大学院工学研究科・システム情報学研究科紀要 第10号 (2018)
- [81] 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, 心理的影響を考慮した競争情報フィードバックによるモチベーション制御手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2017) 論文集, pp. 467–478 (2017).
- [82] 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, 条件づけ刺激を用いたメンタル機能制御支援システム, 情報処理学会論文誌, 58(5), pp. 1025–1036 (2017).
- [83] K. FUTAMI, T. TERADA, and M. TSUKAMOTO, Success Imprinter: A Method for Controlling Mental Condition Using Conditioned Impulse, Proc. of the 7th Augmented Human International Conference (AH 2016), pp. 11:1–11:8 (2016).
- [84] 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, Success Imprinter : 条件づけ刺激を用いたメンタル制御支援システム, インタラクション 2016 論文集, 一般社団法人 情報処理学会, pp. 106–115 (2016).
- [85] 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, ゲームの試行直前の聴覚刺激がスコアに与える影響について, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2016) 論文集, pp. 133–140 (2016).
- [86] 双見京介, 刷り込みを利用した強制型情報サプリメントの活用法, ユビキタスウェアラブルワークショップ 2013, p. 15 (2013).

関連発表論文

学会論文誌発表論文

1. 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, 条件づけ刺激を用いたメンタル機能制御支援システム, 情報処理学会論文誌, 58(5), pp. 1025–1036 (2017).
2. 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, 移動型カメラを用いたセルフヘアカット支援システム, 情報処理学会論文誌, 58(11), pp. 1776 – 1786 (2017).
3. 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, 歩数増加支援のための自己歩数ログ改変フィードバック手法, 神戸大学大学院工学研究科・システム情報学研究科紀要 第10号 (2018).

国際会議等発表論文

1. K. FUTAMI, T. TERADA, and M. TSUKAMOTO, Success Imprinter: A Method for Controlling Mental Condition Using Conditioned Impulse, Proc. of the 7th Augmented Human International Conference (AH 2016), pp. 11:1–11:8 (2016).
2. K. FUTAMI, T. TERADA, and M. TSUKAMOTO, A System for Supporting Self-Haircut Using Camera Equipped Robot, Proc. of the 12th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2014), pp. 34–42 (2014).

研究会等発表論文 (査読付)

1. 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, Success Imprinter : 条件づけ刺激を用いたメンタル制御支援システム, インタラクシオン 2016 論文集, 一般社団法人 情報処理学会, pp. 106–115 (2016).

2. 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, 移動型カメラによるヘアセルフカット支援システム, インタラクション2014 論文集, 一般社団法人 情報処理学会, pp. 17-24 (2014).

その他の研究会発表論文

1. 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, 心理的影響を考慮した競争情報フィードバックによるモチベーション制御手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2017) 論文集, pp. 467-478 (2017).
2. 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, ゲームの試行直前の聴覚刺激がスコアに与える影響について, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2016) 論文集, pp. 133-140 (2016).
3. 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, 移動型カメラを用いたヘアセルフカット支援システム, 情報処理学会研究報告 (ユビキタスコンピューティングシステム研究会 2013-UBI), 2013-EC-23(1), pp. 1-7 (2013).
4. 双見京介, 刷り込みを利用した強制型情報サプリメントの活用法, ユビキタスウェアラブルワークショップ 2013, p. 15 (2013).
5. 双見京介, 寺田 努, 塚本昌彦, ヘアセルフカットを支援するための映像提示システム, ユビキタスウェアラブルワークショップ 2012, p. 16 (2012).

以上

神戸大学博士論文「生活支援のための認知的傾向を考慮した情報提示技術に関する研究」全 110 頁

提出日 2018 年 1 月 19 日

本博士論文が神戸大学機関リポジトリ Kernel にて掲載される場合、掲載登録日（公開日）はリポジトリの該当ページ上に掲載されます。

© 双見 京介

本論文の内容の一部あるいは全部を無断で複製・転載・翻訳することを禁じます。