

条件づけ刺激を用いたメンタル機能制御支援システム

双見 京介^{1,a)} 寺田 努^{1,2,b)} 塚本 昌彦^{1,c)}

受付日 2016年8月5日, 採録日 2017年2月9日

概要: スポーツの本番といった重要な場面において、メンタル機能の適切な制御は困難である。本研究では、繰り返し知覚した刺激によって特定の心身の状態が誘発される学習原理であるレスポナント条件づけの枠組みを情報提示システムに適用し、成功体験と条件づけられた刺激を用いて本番時のメンタル機能補強を簡易に行えるシステム、Success Imprinter を提案する。本稿ではダーツゲームを対象にして聴覚刺激を提示するプロトタイプシステムを実装し、実験群と対照群で合計 60 名の 4,320 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させるメンタル機能補強ができることを確認した。具体的には、成功と条件づけられた刺激によって、刺激なしの状態よりも、ダーツの矢の命中位置を約 1.25 cm 有意に狙った位置に近づけさせ、練習時の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。さらに、提示刺激による効果の個人ごとの傾向を性格から予測する手法を提案し、提案システムを対象にした 30 名の実験結果から、最大 71% の精度で予測できることを確認した。そして、効果の予測機能を加えて、条件づけ刺激を自動生成して提示するシステムを実装した。

キーワード: メンタル機能制御, レスポナント条件づけ, 情報提示システム, 学習, 刺激の効果の予測

A System for Controlling Mental Condition Using Conditioned Impulse

KYOSUKE FUTAMI^{1,a)} TSUTOMU TERADA^{1,2,b)} MASAHICO TSUKAMOTO^{1,c)}

Received: August 5, 2016, Accepted: February 9, 2017

Abstract: It is difficult to control the mental in important situations such as sports performances. We proposes Success Imprinter, a new mental control system, that enables users to strengthen the user's mental only by presenting conditioned information. With Success Imprinter, the users can strengthen their mental easier and more simply than using most of the previous method. We utilizes the concept of conditioning, which is one of learning principles. Our system presents the users a stimulus, which is presented on success repeatedly, to strengthen their mental in their performances. Evaluation results of 4,320 trials of 60 subjects in the experimental group and the control group confirmed that our proposed system can make user's trial result significantly better than trials without stimuli. Moreover, we propose a method to predict individual differences of effect of our proposed system. Evaluation results of 30 subjects confirmed that our proposed system can predict types of effect on each user with accuracy of up to 71%. From these results, we implemented a prototype of the system that presents information automatically with the prediction method.

Keywords: mental control, classical conditioning, information presentation system, learning, prediction

1. はじめに

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、たとえばスポーツ、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あげられる。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（例：精神や調子）

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe,
Hyogo 567-8501, Japan

² 科学技術振興機構さきがけ
Japan Science and Technology Agency, PRESTO,
Kawaguchi, Saitama 332-0012, Japan

a) futamikyosuke@stu.kobe-u.ac.jp

b) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

c) tuka@kobe-u.ac.jp

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 [1], そのせいで実力を最大限発揮するどころか、ふだんできることすらできなくなることもある。

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こととされ、たとえば、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) [2], 心身の安定を得るために集中する瞑想 [3], 自分に俯瞰的に語りかけるセルフトーク [4], イメージトレーニング [5] などがあげられる。

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。たとえば、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、その PPR を本番で活用するために心身の負荷の大きい場面でわざわざ時間と労力をかけている。また、プロトレーナ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。たと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、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 1 つ、レスポナント条件づ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。この現象をふまえると、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づ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づ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、条件づけ刺激がメンタル機能に与える影響を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好悪の両結果が刺激に関連づく学習が起こりうるが、提案手法では好結果時の

み刺激を与えることで好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。

以降では、2 章で関連研究、3 章で提案手法、4 章で評価実験、5 章で提案システムの影響と性格との関係について述べ、6 章で実装、7 章でまとめる。

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、Banら [9] 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 (単位時間あたりの成果量) 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とら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 [10] 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とら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、本研究は競技結果の質 (メンタル機能) 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うる情報を扱っているが、本研究では想定場面がすで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うる類の情報は扱わない。また、扱う情報の持つ意味の時間幅も異なり、これらの先行研究はつね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。Yoshida ら [11] 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、Narumi ら [12] 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、リラック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 [3] 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 カ月にわたる実験室課題で評価した研究 [5] 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 の開発および指導法についての研究 [2] 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 [4] 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ナント条件づけは、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 [6], 条件づけられた聴覚刺激 [7] や視覚刺激 [8], その他の刺激 (例: 場所, 状況) による様々な心身の状態や機能の誘発が確認されており, 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あげられる。本研究はこれらをふまえて, 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。条件づけは数回程度 (例として 7 回 [8], 10 回 [13]) 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, 同時条件づけ [13] や逆行条件づけ [14] 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。

3. Success Imprinter

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ときに, 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 1 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なる。学習段階では, 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づ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づ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づ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, 失敗と条件づ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 2 に示す。認識箇所は 2 つあり, 学習段階の条件づ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 カ所の認識にはその他の表出情報も利用でき, たとえば, 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) や震えがあげられる。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,

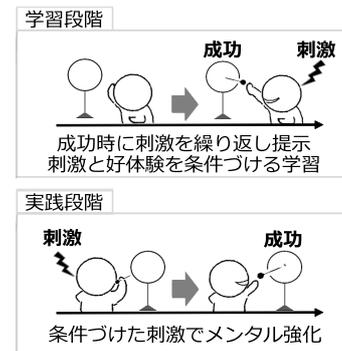


図 1 システムの流れ

Fig. 1 Procedure of the system.



図 2 ダーツゲームを競技としたシステム構成

Fig. 2 System configuration for darts.

自動であれば汎用的になる。たとえば, 学習段階で条件づける体験の質や, 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) や競技に応じて決定する必要がある。

4. 評価実験

本章では, 提案システムによって条件づ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 [15], 今回の実験にも適切である。

プロトタイプシステム

図 2 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なる。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 [16] 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, 条件づ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)で条件づけをする学習段階、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なる。まず、準備段階では、実験中の実力変動をなくすために、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づけとして、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づ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づけやすくか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)を全投矢に持たせており、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条件づけの現象を防いだ。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とおりである。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な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。

4.1 本実験:条件づけ刺激の影響評価

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づけをさせる実験群である。ここでは、P刺激とN刺激の2種類の条件づけ刺激と、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、同一の条件づ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N刺激、適度提示のP刺激と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、試行前につねにP刺激を提示するゲーム、試行前につねに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(以降では刺激なし)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歳~26歳である。

結果

表1に結果を示す。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の平均値は負方向に大きいほど結果が良い。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。たとえば、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。成功数と失敗数は学習段階の練習ゲームで条件づけた成功と失敗の回数を示す。

Rの変化量への影響

Rの変化量の結果を図3の左に示す。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、たと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、たとえば刺激なしの標本数は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つの組合せに有意差が確認され、連続P刺激は刺激なしのときよりも結果が有意に良く($p < 0.05$)、適度P刺激は刺激なしのとき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、条件づ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

表 1 実験群の結果

Table 1 Results of experimental group.

参加者	Rの平均値 [cm]						ハイパフォーマンス率 [%]					成功率 [%]				条件づけた回数		
	練習	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	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	44	44	72	33	44	50	50	72	44	44	9	9
2	7.78	7.81	10.13	7.64	11.06	10.17	56	39	50	33	44	44	17	28	11	44	8	10
3	13.39	13.42	8.08	8.39	8.50	10.28	39	89	89	78	67	11	33	22	33	33	2	16
4	11.44	11.02	7.75	9.75	5.72	12.17	61	78	61	100	56	39	50	28	67	33	7	11
5	7.22	7.08	8.58	9.44	8.06	11.56	50	50	33	67	22	44	44	28	67	11	8	10
6	9.06	7.69	8.75	7.33	5.50	8.11	72	50	72	100	44	50	39	44	78	44	9	9
7	7.04	5.44	6.50	5.92	4.17	5.78	83	61	78	100	78	78	56	72	100	78	14	4
8	6.39	7.89	7.06	8.75	5.44	5.50	33	44	39	78	67	39	50	39	78	78	7	11
9	8.56	6.64	6.22	8.47	9.28	8.67	67	83	61	44	56	50	56	33	22	22	9	9
10	7.33	6.77	6.06	12.03	7.39	11.44	50	67	11	33	22	50	67	11	11	33	9	9
11	7.72	7.67	5.92	6.67	7.67	5.39	61	67	72	56	78	50	67	56	44	56	9	9
12	7.72	6.53	8.53	7.06	6.72	8.22	61	50	67	56	33	50	44	61	44	22	9	9
13	5.61	7.42	8.67	9.78	5.61	9.22	44	28	28	78	22	50	39	39	78	22	9	9
14	8.17	8.03	6.97	11.31	6.06	6.83	50	61	39	78	89	44	61	33	67	56	8	10
15	7.94	9.39	11.25	9.25	9.00	8.00	44	28	39	44	56	33	28	28	33	44	6	12
16	9.11	9.97	9.86	7.97	7.22	8.44	50	50	67	78	78	28	44	33	44	44	5	13
17	10.50	9.92	9.08	8.97	9.50	7.04	50	72	56	67	89	22	33	44	44	78	4	14
18	8.17	7.47	6.75	6.97	7.67	5.94	56	72	56	67	89	44	56	44	67	56	8	10
19	13.16	10.00	6.20	9.70	6.10	11.10	67	89	83	100	78	33	61	28	67	33	6	12
20	9.88	8.40	5.10	8.40	8.30	7.50	56	94	67	78	78	56	94	39	33	44	10	8
21	9.42	6.10	6.80	6.50	5.60	9.10	61	78	83	67	67	72	44	61	67	44	13	5
22	7.95	5.30	6.10	7.80	5.20	7.70	56	78	61	89	67	67	67	44	89	56	12	6
23	13.89	7.30	7.30	9.00	6.10	9.20	61	94	89	78	78	39	44	39	67	33	7	11
24	11.38	8.80	10.20	7.40	12.70	7.50	61	67	78	33	78	44	17	39	22	56	8	10
25	8.85	8.80	8.80	7.00	12.10	8.50	61	56	78	11	56	28	56	61	11	33	5	13
26	13.16	9.90	6.70	7.40	8.10	13.10	67	89	94	78	56	28	67	56	56	22	5	13
27	8.25	7.10	6.50	7.10	6.50	7.30	83	61	61	89	67	61	50	56	89	44	11	7
28	5.41	5.20	5.70	6.20	5.80	5.50	39	56	44	44	44	78	67	72	44	78	14	4
29	10.58	7.10	8.10	6.60	6.40	7.70	67	89	89	89	78	61	44	67	56	33	11	7
30	13.70	12.90	11.80	12.40	7.80	7.00	50	61	61	89	89	22	33	22	33	56	4	14

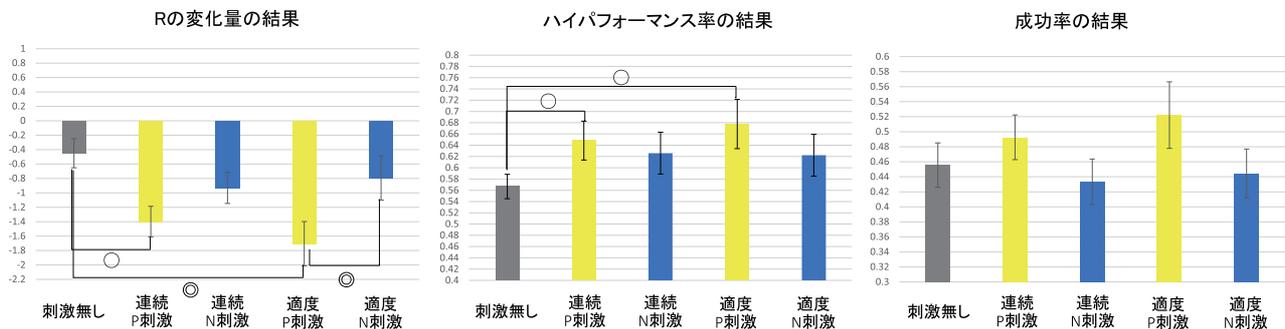


図 3 実験群の結果

Fig. 3 Results of experimental group. From left to right, the figures show Amount of change in hit position, Percentage of the number of trial results that were above average on a practice game, success rate.

作できることを示しており、連続のP刺激か適度のP刺激によって刺激なしのときより試行結果を有意に良くできると分かる。検定においては標本数が多くなると大して意味のない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刺激は刺激なしのときよりも命中位置が1.25cm狙いどお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刺激は刺激なしのときよりも結果が良くなったように見てとれるが、検定結果をふまえるとN刺激は刺激なしのとき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なしのとき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。

ハイパフォーマンス率と成功率への影響

前項からは、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にくい。そこで、ここでは試行結果をより一般的な感覚でとらえるために、Rの値を抽象化したハイパフォーマンス率と成功率の指標で評価する。ハイパフォーマンス率と成功率の結果を図3の真ん中と右にそれぞれ示す。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、ハイパフォーマンス率

表 2 対照群の結果

Table 2 Results of control group.

参加者	R の平均値 [cm]						ハイパフォーマンス率 [%]					成功率 [%]				
	練習	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	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	72	61	56	78	67	50	39	44	67	44
32	4.71	4.69	4.91	5.23	5.90	5.50	44	56	39	44	44	83	78	83	67	78
33	9.92	8.73	6.87	7.95	7.90	10.10	67	78	61	78	44	33	61	56	67	44
34	9.79	10.27	7.72	6.82	5.00	9.50	44	78	78	100	67	22	50	50	89	11
35	9.88	9.18	8.75	8.44	9.30	8.50	56	67	67	56	78	44	22	56	33	44
36	6.33	5.60	6.10	6.36	7.30	10.10	56	56	56	56	22	67	61	67	67	22
37	8.43	10.24	7.53	9.54	7.30	7.60	61	39	44	67	67	56	22	22	56	44
38	5.82	6.20	6.87	7.30	8.80	10.30	56	44	33	11	11	67	50	44	22	22
39	6.04	7.48	10.58	8.94	7.30	9.50	44	22	28	56	22	50	39	33	56	33
40	3.98	5.17	5.07	3.91	4.90	6.80	33	33	50	33	11	72	72	94	78	67
41	9.51	8.23	5.64	5.37	5.50	8.90	78	89	94	89	67	44	67	67	67	22
42	7.92	7.18	7.26	6.25	7.60	4.60	67	67	61	44	89	56	56	56	44	89
43	9.14	8.28	7.35	7.93	7.60	9.00	67	67	67	78	56	44	56	50	33	11
44	11.03	10.64	9.66	10.85	11.60	12.00	56	72	56	56	44	33	17	39	22	11
45	7.22	7.64	6.83	8.94	7.89	7.56	56	56	50	67	22	50	50	39	56	22
46	8.33	7.75	8.15	6.47	6.61	9.28	61	72	72	78	67	56	44	56	67	67
47	5.44	5.22	5.18	4.64	5.83	4.50	56	61	56	44	56	83	83	83	67	78
48	4.06	5.31	6.78	6.14	9.33	6.06	50	39	17	22	44	72	50	67	33	56
49	10.17	9.47	7.69	6.17	7.44	8.22	56	67	94	67	56	33	44	61	44	56
50	7.72	7.94	7.14	9.61	9.72	13.28	56	56	28	56	22	44	50	17	44	22
51	5.56	5.86	7.11	5.89	8.33	8.17	44	28	50	33	33	50	33	72	44	44
52	11.17	10.89	8.86	9.31	9.61	9.28	67	78	78	78	89	22	33	17	22	11
53	10.50	8.42	6.69	7.69	8.00	10.78	56	83	78	89	67	44	61	33	11	22
54	9.11	8.39	8.78	9.14	6.33	7.72	67	61	44	78	67	50	50	33	67	67
55	10.78	9.17	8.06	6.42	7.11	9.06	67	94	89	67	67	33	28	56	67	44
56	8.39	10.56	11.25	9.20	11.72	10.72	33	44	50	56	44	17	28	33	22	11
57	8.50	7.44	8.36	9.03	7.00	8.22	72	56	50	89	67	33	44	39	56	56
58	8.61	9.22	9.31	9.76	7.33	10.17	50	56	39	67	44	33	17	17	44	11
59	11.11	10.19	8.45	8.47	7.56	9.33	78	61	83	67	67	11	39	44	67	44
60	7.06	6.17	7.67	7.20	5.67	5.89	61	44	67	78	67	50	39	50	78	67

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 刺激の双方が刺激なしのとき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 刺激によって刺激なしのとき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ともなって上昇しており、P 刺激によって試行結果が成功に近づいていると分かる。

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なしのとき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。

4.2 対照実験：条件づけなしの刺激の影響力の評価

前節の本実験では、条件づけた刺激による影響を評価した。本節の対照実験では、条件づ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づ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づけなしで行い、前節と同じチャイム音とブザー音を条件づけなしの 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 歳～26 歳である。

R の変化量の結果

表 2 に結果を示す。見方は前節と同じである。R の変化量の結果を図 4 の左に示す。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 つの組合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、条件づ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

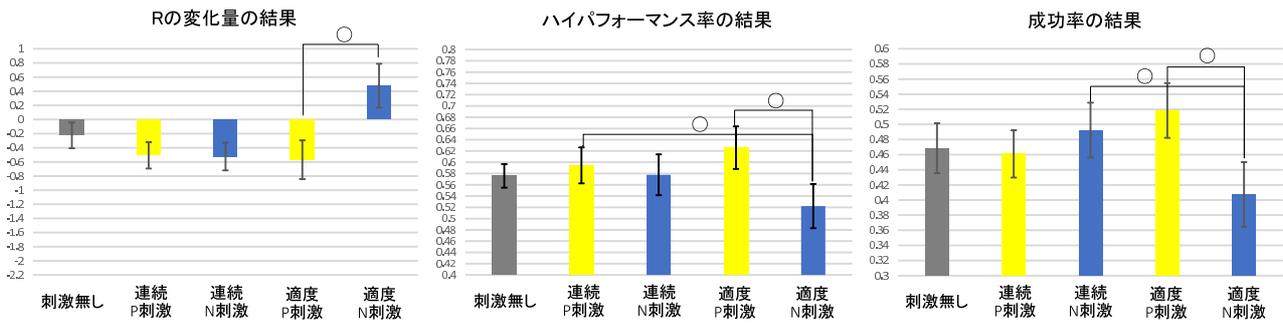


図 4 対照群の結果

Fig. 4 Results of control group. From left to right, the figures show Amount of change in hit position, Percentage of the number of trial results that were above average on a practice game, success rate.

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、刺激なしのときより試行結果を有意に良くはできなかった。

以上から、条件づ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、刺激なしのとき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。

ハイパフォーマンス率と成功率の結果

ハイパフォーマンス率と成功率の結果を図 4 の真ん中と右にそれぞれ示す。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、刺激なしのとき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、刺激なしのときより試行結果を有意に向上させるものはなかった。

以上から、条件づ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、刺激なしのとき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。

4.3 総合考察

本節では、条件づけありの本実験と条件づけなしの対照実験の 2 つをふまえた考察をする。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づ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分かった。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、試行結果を刺激なしのときよりも向上させるという本論分の趣旨に沿う結果は、条件づけをした本実験のみであった。これを示す結果は、刺激なしのとき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。

条件づ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な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 刺激が刺激なしのとき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、刺激な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 0.34 cm 向上なのに対して本実験ではその約 4 倍の 1.25 cm 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。

失敗体験と条件つけた N 刺激は好影響を与えたようにみえるが、現時点では刺激なしのとき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づけの成立には、条件づ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

件づ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分かり、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、刺激や条件づけに意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うるからである。また、今回実験者が勝手に決めた条件づける成功の質の閾値や条件づけの回数も個人ごとに満足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、条件づ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合せを、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どうしの条件づけでは同一方向に影響が強くなると分かった。一方で、悪い方向の影響を良い方向にするとといったように、影響を逆方向に操作できれば効果的な場面はあるので、今後は様々な条件づける組合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どうしの条件づけでは刺激を良い方向に強めたようにみえるが、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づける組合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、適度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、回数でみると平均して試行2回に1回で、時間でみると、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分かる。これをふまえると、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、刺激の持つ効果が時間変化しうること、これは条件づ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、条件づけられた刺激によって条件づ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づ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ら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づけが起こるとすれば、上記の2つ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、刺激が設計意図にない効果を持つことや設計意図にな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したりする仕様があれば、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づけが起こりうるからである。こういった望ましくない条件づけを防ぐために、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。

5. システムによる効果の個人差の予測手法

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[10]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。たとえば一般的な内服薬の効果は、個人が持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効果が強まり、小腸に障害があると効果が弱まる。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かか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。

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

表 3 提案システムについてのオリジナルの質問

Table 3 Original question contents.

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%))

手法となることを期待できる。

5.1 評価

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, 性格質問紙ごとにとら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 [17] 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 の質問からなる。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 [18] は 1 尺度で外的情報への同調傾向を理解するもので, 23 の質問からなる。日本版 Brief Core Schema Scale (JBCSS) [19] 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・ネガティブにとらえる傾向を理解するもので, 26 の質問からなる。東大式エゴグラム [20] は, 交流分析理論に基づいた 5 因子の人格診断法で, 53 の質問からなる。オリジナル質問紙は本稿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とらえるかを測定する。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返るとい形式で質問をした。

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 刺激もしくは刺激な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 刺激もしくは刺激な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 刺激は適度 P 刺激か連続 P 刺激を指し, N 刺激は適度刺激か連続 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 名, 20 名, 3 名となり, 被験者との対応を表 4 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とき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ふまえると, 無反応は効果がない人と効果が弱い人を含んでいると考えられる。

結果と考察

表 4 に性格の測定値を示す。そして表 5 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合せが 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合せが 67% と良かった。これら 2 つの組合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うるが, 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

表 4 アンケート結果
Table 4 Questionnaire results.

被験者	タイプ	オリジナル					FFQP					同調性	JBCSS			エゴグラム					
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	情動性	外向性	統制制	愛着裂	遊戯性	同調性	他者ネガ	他者ポジ	自己ポジ	CP	NP	A	FC	AC	
1	無	1	3	3	1	1	-4	5	-5	-2	-5	-10	1	5	0	16	36	29	43	36	32
2	無	1	3	3	2	2	-9	0	-10	14	14	-7	1	5	5	5	35	36	33	36	21
3	順	2	4	2	2	3	-6	-2	-1	6	11	4	1	7	3	11	34	46	33	38	39
4	無	1	3	3	2	3	-8	-8	-1	6	13	-10	2	6	3	8	34	37	41	32	23
5	無	2	4	2	3	2	5	-3	-4	-1	11	2	7	5	7	4	33	30	41	31	40
6	無	2	2	2	4	3	-10	1	-8	-2	10	-6	0	12	5	4	40	31	47	38	30
7	無	1	3	3	4	2	-4	4	6	4	-4	13	9	14	11	9	35	35	28	32	38
8	無	2	4	4	4	4	-1	-3	0	6	10	-2	1	12	3	12	30	33	41	35	33
9	無	2	4	3	2	2	7	4	12	4	16	1	4	4	5	5	35	36	41	32	31
10	順	2	3	1	4	3	4	-3	7	5	0	9	5	5	6	8	34	43	39	26	46
11	無	1	3	3	2	2	11	-2	1	7	1	11	8	10	8	6	38	40	42	34	42
12	無	1	3	3	2	2	-5	2	-4	7	3	1	3	16	4	4	40	41	31	37	33
13	無	2	2	2	2	2	0	-9	9	-8	-3	-1	6	4	10	1	19	25	24	24	37
14	順	3	4	2	3	2	4	4	-5	1	7	-7	0	9	2	7	41	37	42	37	35
15	無	2	2	4	3	2	14	-9	-11	-8	1	-9	0	3	5	3	36	27	37	19	30
16	無	1	3	3	1	2	-6	-7	6	4	7	-14	2	7	4	12	30	33	38	27	16
17	無	2	2	4	4	4	10	-11	10	-4	9	16	7	4	17	0	21	16	21	19	34
18	無	2	4	2	3	3	9	3	14	0	18	2	0	11	10	8	39	32	39	44	34
19	順	1	1	0	3	4	-13	8	-17	8	-5	-4	1	13	3	3	36	36	29	41	31
20	順	1	0	0	2	2	-6	13	5	9	10	-12	0	15	8	5	33	41	49	43	29
21	無	1	0	1	2	4	-14	13	-3	12	-2	-9	6	9	10	4	38	32	31	32	33
22	無	1	1	0	4	3	-11	2	-9	12	-6	10	0	9	2	4	36	45	44	31	40
23	順	0	0	0	2	2	9	-15	11	-10	-4	9	5	10	13	2	25	26	28	15	26
24	逆	0	0	-1	2	3	4	-1	-3	1	5	4	1	6	7	4	34	33	41	29	41
25	逆	0	-1	-1	1	2	3	3	-2	0	-2	-7	8	3	1	9	33	24	39	29	25
26	順	2	1	-1	2	3	1	11	-6	5	4	8	2	7	3	4	37	38	45	40	31
27	無	0	0	0	2	2	-12	-3	7	12	-1	6	1	1	0	0	22	45	34	36	21
28	無	0	-1	1	2	2	10	-7	7	4	3	-2	3	12	15	2	20	32	33	29	41
29	無	1	-1	-1	2	4	-9	3	-4	-6	11	-4	7	7	6	1	43	30	43	37	33
30	逆	1	1	0	2	4	-9	4	0	6	6	-5	4	12	2	8	39	35	38	37	32

表 5 予測精度
Table 5 Results of prediction accuracy.

		オリジナル			JBCSS			FFQP			エゴグラム			同調		
		適合率	再現率	F 値	適合率	再現率	F 値	適合率	再現率	F 値	適合率	再現率	F 値	適合率	再現率	F 値
ランダムフォレスト	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
最近傍法	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

ことで、予測ミスによる問題はおおむね防げると考えられる。刺激を試すことも、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な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どお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。

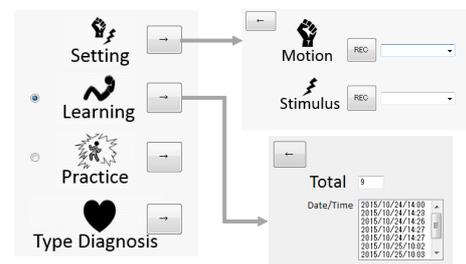


図 5 アプリケーション画面
Fig. 5 Application screen.

6. 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 5 にシステム画面を示す。システム利用の流れは 4 段階からなり、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・失敗音のほかに、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、条件づけたいとき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 項目とも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）があげられる。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）で条件づけた刺激を他の本番に使う例も考えられる。

7. まとめ

本研究では、レスポナント条件づ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 4,320 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、成功と条件づけた刺激によって、刺激なしの状態よりも、ダーツの矢の命中位置を約 1.25 cm 有意に狙った位置に近づかせ、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づけ刺激を自動で生成し提示するシステムを実装した。今後は条件づけの現象の詳細な調査や効果予測手法の改善とともに、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、たと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持ち、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ことを期待する。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研

究推進事業（さきがけ）および文部科学省科学研究費補助金挑戦的萌芽研究（25540084）、および公益財団法人立石科学技術振興財団、および公益財団法人アイコム電子通信工学振興財団によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Terry, O. and Partington, J.: Mental links to excellence, *The sport psychologist*, Vol.2, No.2, pp.105–130 (1988).
- [2] Cohn, P.J.: Professional Practice Preperformance Routines in Sport, *Theoretical Support and Practical Applications*, Vol.4, No.3, pp.301–312 (2010).
- [3] Solberg, E.E., Berglund, K.A., Engen, O., Ekeberg, O. and Loeb, M.: The effect of meditation on shooting performance, *British Journal of Sports Medicine*, Vol.30, No.4, pp.342–346 (1996).
- [4] Landin, D. and Hebert, E.P.: The influence of self-talk on the performance of skilled female tennis players, *Journal of Applied Sport Psychology*, Vol.11, No.2, pp.263–282 (1999).
- [5] Wohldmann, E.L., Healy, A.F. and Bourne Jr., L.E.: Pushing the limits of imagination: mental practice for learning sequences, *Journal of Experimental Psychology Learning, Memory and Cognition*, Vol.33, No.1, pp.254–261 (2007).
- [6] Arcediano, F., Ortega, N. and Matute, H.: A behavioural preparation for the study of human Pavlovian conditioning, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Vol.49B, No.3, pp.270–283 (1996).
- [7] Aizenberg, M. and Geffen, M.N.: Bidirectional effects of aversive learning on perceptual acuity are mediated by the sensory cortex, *Nature Neuroscience*, Vol.16, No.8, pp.994–996 (2013).
- [8] Watson, J.B. and Rosalie, R.: Conditioned emotional reactions, *Journal of Experimental Psychology*, Vol.3, No.1, pp.1–14 (1920).
- [9] Ban, Y., Sakurai, S., Narumi, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Improving work productivity by controlling the time rate displayed by the virtual clock, *Proc. 6th Augmented Human International Conference (AH '15)*, pp.25–32 (2015).
- [10] 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*, Vol.54, No.4, pp.1433–1441 (2013).
- [11] Yoshida, S., Tanikawa, T., Sakurai, S., Hirose, M. and Narumi, T.: Manipulation of an emotional experience by real-time deformed facial feedback, *Proc. 4th Augmented Human International Conference (AH '13)*, pp.35–42 (2013).
- [12] Narumi, T., Ban, Y., Kajinami, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Augmented perception of satiety: controlling food consumption by changing apparent size of food with augmented reality, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12)*, pp.109–118 (2012).
- [13] Burkhardt, P.E. and Ayres, J.J.B.: US inflation with trace and simultaneous fear conditioning, *Animal Learning and Behavior*, Vol.6, No.4, pp.463–468 (1978).
- [14] Spetch, M.L., Wilkie, D.M. and Pinel, J.P.: Backward conditioning: A reevaluation of the empirical evidence, *Psychological Bulletin*, Vol.89, No.1, pp.163–175 (1981).
- [15] Hancock, G.R., Butler, M.S. and Fischman, M.G.: On the problem of two-dimensional error scores: Measures and analyses of accuracy, bias, and consistency, *Journal*

- of Motor Behavior, Vol.27, No.3, pp.241-250 (1995).
- [16] 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, Vol.17, No.3, pp.293-300 (2002).
- [17] 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, Vol.13, No.2, pp.231-241 (2005).
- [18] 横田晋大, 中西大輔: 同調志向尺度の作成 規範的影響と情動的影響, 広島修大論集, Vol.51, No.2, pp.23-36 (2011).
- [19] 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, Vol.20, No.3, pp.143-154 (2012).
- [20] 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).



双見 京介

1989 年生. 2013 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業. 2015 年京都大学大学院工学部電気電子工学専攻博士前期課程修了. 現在, 神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士課程後期課程に在籍. ウェアラブルコン

ピューティングとユビキタスコンピューティングの情報提示技術の研究に従事.



寺田 努 (正会員)

1974 年生. 1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業. 1999 年同大学院工学研究科博士前期課程修了. 2000 年同大学院工学研究科博士後期課程退学. 同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手. 2005 年より同講師.

2007 年神戸大学大学院工学研究科准教授, 現在に至る. 2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事, 2005 年には同機構事務局長を兼務. 工学博士. アクティブデータベース, ウェアラブルコンピューティング, ユビキタスコンピューティングの研究に従事. IEEE, 電子情報通信学会, 日本データベース学会, ヒューマンインタフェース学会の各会員. 本会シニア会員.



塚本 昌彦 (正会員)

1964 年生. 1987 年京都大学工学部数理工学科卒業. 1989 年同大学院工学研究科修士課程修了. 同年シャープ (株) 入社. 1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師. 1996 年同専攻助教授. 2002 年同大学

院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授. 2004 年神戸大学電気電子工学科教授, 現在に至る. 2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務. 工学博士. ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事. ACM, IEEE 等, 8 学会各会員.