

認知バイアスデバインドを解消するためのMRIを用いた受容性スクリーニング法

寺田 努^{1,a)} 細田 千尋^{2,b)} 双見 京介^{3,c)}

概要：パブロフの犬効果などの心理効果を応用したシステムでは、認知バイアスを利用することでシステム利用者の心身に影響を与え、システムの効果を高めたり効率を上げたりしている。その効果の高さから今後はこういった認知バイアスを利用したシステムの普及が期待されるが、認知バイアスには意図した効果と逆の効果を発現してしまうユーザが一定存在することが知られている。本研究ではこのような逆極性のユーザが、認知バイアスを活用したシステムの普及によって大きな被害を受ける問題を「認知バイアスデバインド」と定義し、その解決を狙う。具体的には、ある認知バイアスに対して自分の体がどう反応するかをあらかじめ知ることができるインジケータが存在するという仮説をたて、本稿では磁気共鳴画像 (MRI: Magnetic Resonance Imaging) から得られる脳の静的な状態がインジケータとして働くことを示す。メンタルスポーツであるダーツのスコアを向上させるためのシステムを題材に評価を行った結果、脳の特定部位のボリュームと条件付けの極性および度合いが相関しており、インジケータとして動作することがわかった。

1. はじめに

コンピュータは人間社会に深く入り込み、装着あるいは保持した機器から常時情報を得ながら生活することは一般的になりつつある。例えば装着型ディスプレイを装着すると、画面を常時閲覧しながら生活することになる。このような環境において、画面の配色や提示する数値、提示オブジェクトの種類や形など様々な要素が意図せずともユーザの心身に影響を与えると考えられる。筆者らはこれまで、生体情報を常時閲覧する場合、虚偽情報の提示によりユーザの心拍値を制御できることを明らかにした [1]。また、装着型ディスプレイに提示される情報やアイコンによって刷り込み効果が起り、提示情報に関連した実世界オブジェクトに注意が惹かれることを確認している [2]。こういった研究を進めるにつれ、筆者らは情報提示は単に閲覧効率や

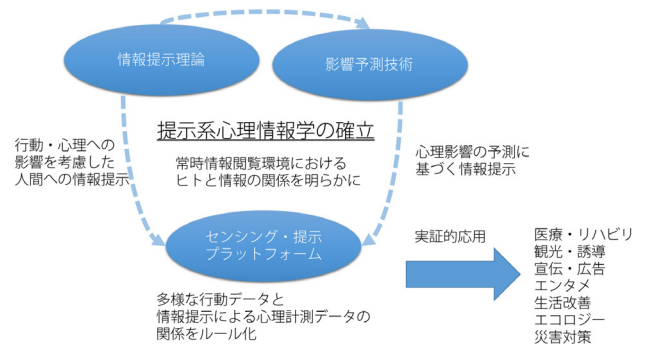


図 1 提示系心理情報学の概念図

認知負荷を評価軸にするのではなく、人間の心身に与える影響を考慮したものでなければいけないと考えるに至った。

この考えのもと、筆者らの研究グループでは、「提示系心理情報学」と呼ぶ新たな学問分野の立ち上げを目指し、情報提示技術の心身影響の理論化や情報提示技術の問題点の洗い出し等を行うことを狙っている。提示系心理情報学の概念図を図 1 に示す。

こういった心身に影響を与える情報提示は、心理学でいう認知バイアスが情報提示によって人間の心身に作用することによって起こると説明できる。認知バイアスを利用した情報提示は単純な情報提示と比べて、うまく利用すれば心身を望む状態に制御するなど多大な効果が得られるため、今後筆者らの研究の進展などに伴い認知バイアスを応用し

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe,
Hyogo 657-8501, Japan
² 帝京大学医学部生理学講座・東京大学大学院総合文化研究科
Department of Physiology, Teikyo University School of
Medicine, Japan, Department of Life Sciences, Graduate
School of Arts and Sciences, The University of Tokyo
³ 立命館大学情報理工学部
College of Information Science and Engineering, Rit-
sumeikan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan
a) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp
b) chihirohosoda@med.teikyo-u.ac.jp
c) futami@fc.ritsumeikan.ac.jp

たシステムが一般に普及するようになって考えられる。

本稿で採り上げる問題は、こういった認知バイアスを応用したシステムが一般的になった際の「逆極性問題」である。一般に、こういった認知バイアスには個人差があり、同じ情報提示によっても人によってまったく逆の効果を引き起こす可能性がある。例えば、心拍数を増やすようなある心理的情報提示によって、想定通りに心拍数が上昇するユーザもいれば、逆に心拍数が減少してしまうユーザも例外的に存在するため、そのような人にとっても危険な状況を生み出しかねず、社会実装への大きな壁となっていた [1]。極端な場合、認知バイアスを応用したシステムが広く普及することによって、認知バイアスに対して逆極性をもつ人々が著しく不利益を被る状況が起こる。本研究ではこれを「認知バイアスデバインド」と呼ぶことにする。

本稿では、まず2章で認知バイアスを応用したシステムをいくつか紹介したのち、3章で認知バイアスデバインドを回避するための方法論と明らかにしないといけない点について述べ、認知バイアス極性のスクリーニングが可能であるかについて検討する。4章では、実際に認知バイアスを用いたダーツのスコア向上システムを題材に、脳スキャニングを用いた認知バイアス極性のスクリーニングに関する評価を行い、5章では結果からスクリーニングの展望について考察する。最後に6章で本稿をまとめる。

2. 認知バイアスを応用した情報提示研究

本章では、筆者らの取組みを中心に、認知バイアスを応用した情報提示研究を紹介する。

虚偽情報フィードバック [1] では、例えば図2に示すように体温や心拍などの生体情報を常時閲覧している場合、そこに心拍上昇などの嘘の情報提示(虚偽情報提示)を行うことで、図1下に示すように人の生体情報を制御できる可能性があることが示された。例えば、重要な会議やプレゼンテーションの場では、緊張状態に至りやすく、その影響で意図した通りの発表を行えない可能性がある。しかし、心拍数の上昇から緊張状態を検知した際でも心拍数はあまり変わっていないという虚偽情報を提示すれば、平常状態であると錯覚し、実際の心拍数も低下し、落ち着きを取り戻して円滑に発表を行えるかもしれない。また、居眠り運転が原因の交通事故が多数発生しているが、眠気により生じる心拍数の下降をシステムにより妨げて眠気を覚ますことで、事故を未然に防ぎ、安全に車の運転を行えるかもしれない。さらに、運動時では運動の目的により最適とされる心拍数を維持して運動を行わせるといったシステムも実現できると考えられる。

頭部装着型ディスプレイにおけるプライミング効果評価 [2], [3] では、常時もしくは頻繁にコンピュータ画面を見るような環境において、コンピュータ画面上に存在する写真等のオブジェクトや、あるいは常時音楽を聴いているよ

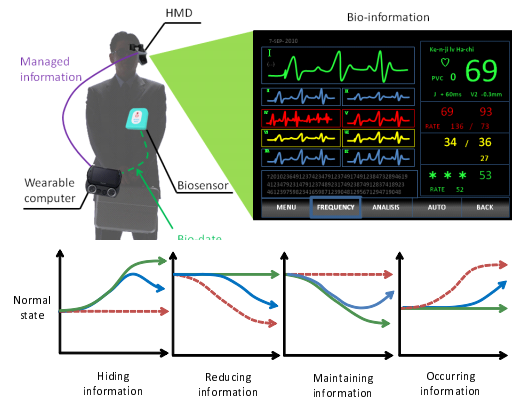


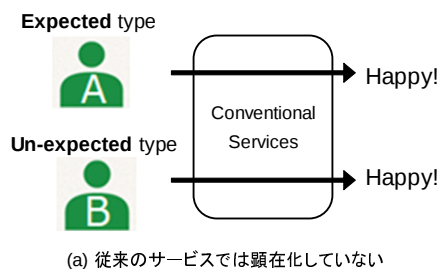
図2 虚偽情報フィードバック

うな環境における、曲間等での提示音を制御することで、ユーザを実世界の特定の事柄に引きつけられることを示している。例えば、装着型ディスプレイ上でサッカー映像を見ているユーザは現実世界にあるサッカーボール等に気づきやすくなり、野球映像を見ているユーザは現実世界にある野球用品に気づきやすくなることがわかっている [2]。また、装着型ディスプレイの画面におけるカメラ機能のアイコンの画像を変えると、その画像内容に沿った写真を多く撮るようになることが明らかになっている [3]。

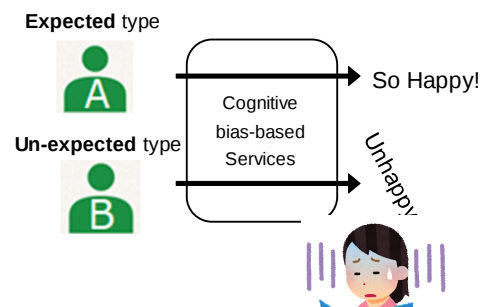
観光案内のためのスマートフォンアプリケーションにおいて、ランキング提示の仕方を制御することで観光客を誘導する研究も行われている [4]。これは、ランキング形式を採る情報推薦システムにおいては、情報の内容ではなく順位によって人間の選択がほぼ制御できるため、人によって違うランキングを見せることで人流誘導を行ったものであり、実際のイベントで運用されて得られた2万件以上のログをもとに行動が分析されている。観光においては、観光ルートのカスタマイズ画面における情報提示デザインがルート選択に与える影響も調査されており [5]、心理効果を用いれば観光の満足度向上や混雑緩和が可能になる。

学習やトレーニングにおいては適切な情報フィードバックがその効果に大きな影響を与えることが知られている。例えばサイクリスト(自転車競技者)のペダリング練習において、ペダルの角速度をベースに音声フィードバックを行うと回転むらが減少することがわかっている [6]。また、ドラムなどの複雑なリズムパターンを学習する際には、手足を動かさずに使う手足に振動パターンをフィードバックして植え付ける作業をした方が習熟が早くなることが示されている [7]。

清水らは、時間把握感覚が頭部装着型ディスプレイからの無意味な視覚刺激によって制御される可能性があることを示した [8]。頭部装着型ディスプレイの周辺視野部分に回転するオブジェクトを表示しておく、その移動速度変化により人間の時間知覚が変化することを示した。その他、時刻表情報を改変することで自制心を制御するシステム [9]



(a) 従来のサービスでは顕在化していない



(b) 認知バイアスを活用したシステムでは極端な結果になる

図 3 認知バイアスデバイドのイメージ

や、アニメーションで口の動きを頭部装着型ディスプレイ上に表示することで複数の音声発生源から特定のものを聞こえやすくさせる技術 [10] など、人間の知覚を変化させる方法は多数提案されている。

これらの研究は、認知バイアスを活用して効果的な情報提示を行う研究であり、有意に効果があることが示されているが、それぞれの評価実験において、「効果無し」「逆極性」の被験者が存在している。上記研究においては例えば「70%の被験者に効果があり、有意に効果が生じることが明らかになった」といった結論は論文としては問題ないが、実際に上記のようなシステムが社会実装されることを考えると、逆極性の被験者を放置しておいては深刻な問題が起る可能性がある。

3. 受容性スクリーニング

前章で述べたような認知バイアスを応用したシステムが広く普及した場合、「逆極性問題」が起こる。一般に、認知バイアスには個人差があり、特に問題となるのはある認知バイアスに対して意図とは逆の効果を生じてしまう人々がいることである。認知バイアスを応用したシステムが広く普及していなければ、そういった特性をもつ人々は特にひどい目に遭わずに生活している (図 3(a))。一方、認知バイアスを応用したシステムが広く普及した場合、逆極性をもつ人々はそのシステムから大きな被害を受ける可能性がある (図 3(b))。このような、認知バイアスへの極性によって生きやすさに大きな違いが生じることを筆者らは「認知バイアスデバイド」と名付け、この問題を解決するための取り組みを行うことが本研究の目的である。

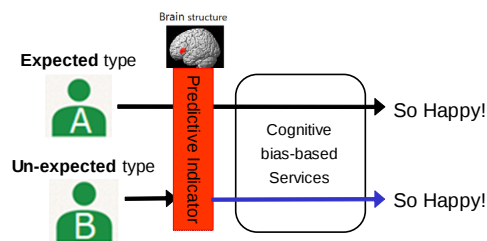


図 4 受容性スクリーニングのイメージ

一般に、心身への影響はユーザ毎に一貫性があり、想定通りの影響を受けるユーザは一貫して想定通りの影響を受け、逆極性の影響を受けるユーザもその効果は一貫している。もし実際に情報提示を適用する前に、その極性を含めた影響を個人ごとに予測できれば、サービスの取捨選択やカスタマイズによりうまくシステムを機能させることが可能となる (図 4)。

3.1 仮説

ここで、認知バイアスの受容性に関して下記のいくつかの仮説をたてる。

- (1) 特定の認知バイアスに対する受容性 (順極性、逆極性、効果無) は、個人内で一貫している。
- (2) 受容性をあらかじめ知ることができるインジケータが存在し、それはセンサ等によって計測可能である。
- (3) 同カテゴリの認知バイアスもしくは異種カテゴリの認知バイアスの極性も一貫している。つまり、ある心理実験において逆極性になる人間は、別の心理実験においても逆極性になる。
- (4) 受容性は時間とともに変化し、なんらかのトレーニングにより意図的に更新できる。

仮説 (1) は本研究の大前提である。そもそも個人内で特定の認知バイアスに対する反応が一貫していなければスクリーニングすることは不可能であり、サービスに対してなんらかの形で対処することは難しい。一方で、この仮説はこれまでの多数の心理実験やインタフェース評価実験で実証されており、本稿では検証の必要はないとする。また、以降の仮説が成り立つならば、その条件の範囲内においては仮説 (1) も成り立つ。仮説 (2) は、その受容性が計測可能であるとしたものである。本稿では仮説 (2) におけるインジケータを発見し、可能性を示すことが目的となる。仮説 (3) はインジケータの適用範囲を計るものであり、もし、「プラセボ効果」「刺激による条件付け」などの認知バイアスのカテゴリごとに受容性の個人内一貫性があるならば、認知バイアスの種類ごとにスクリーニングを行っておけば自分がシステムに対してどういう反応を起こすかがあらかじめわかることになる。また、もしあらゆる認知バイアスに同じ受容性を示すのであれば、一度スクリーニングを行えばさまざまなサービスをパーソナライズすることが可能

になる。

もし、仮説 (4) が成り立たないのであれば、いったんスクリーニングを行えばよいと、スクリーニング手法は複雑であったり、時間や金銭コストがある程度かかったりするものでもよい。仮説 (4) が成り立つ場合、定期的にスクリーニング作業を行う必要が生じるが、そのとき仮説 (3) が成り立てば計測の手間は大きくなく、例えば毎年の健康診断等の検査項目に入ることでスクリーニングが行える。仮説 (3) が成り立たない場合、簡易なスクリーニング方法を確立する必要があるが、一度の計測で複数の認知バイアスに対する反応を計測できるような仕組みが発見できれば、複雑なスクリーニング方法でも社会導入できる可能性がある。また、仮説 (4) が成り立つとしても、その変化速度次第で必要なスクリーニング間隔が変化する。よって、これらの仮説検証を進めることで、スクリーニングに必要な要件が明らかになると考えられる。本稿では、次節において MRI による認知バイアス受容性スクリーニング手法を提案し、刺激による条件付けにおいてスクリーニングを行うことによって仮説 (2) の検証を目指す。仮説 (3) および仮説 (4) に関しては考察するにとどめるが、仮説 (2) が正しかった場合、引き続き以降の仮説を検証していく。

3.2 MRI を用いたスクリーニングの提案

筆者らはこれまで、個性創出の要因になる精神・認知機能の定量化・予測指標として脳情報が有用であること、脳・心理情報をもとにパーソナライズする学習システムによる介入が行動の開始・継続を促進すること、を明らかにしてきた [11][12][13]。そこで本研究では、脳情報をもとにした認知バイアス受容性スクリーニングの可能性について検討する。具体的には、被験者への認知バイアス提示における介入前・介入後において、3T-MRI を利用してマルチモダリティイメージングに脳機能・構造情報を取得する。さらに、個人特性の詳細情報として知能データ、各種性格特性データの取得も行う。マルチモダリティ脳情報と知能データを含めた各種認知情報を用いて、介入によって順極性の効果が得られた群と逆極性の効果が得られた群で比較を行う。それにより、心理影響の個人差と脳機能構造の個人差の関連性を明らかにし、スクリーニングの可否を明らかにする。

4. 条件付け刺激の影響極性判別実験

3 章で述べた仮説 2 の検証として、本稿では、条件付け刺激による影響の極性 (以降では影響極性と呼ぶ) のスクリーニングのために、3.2 節で述べた MRI を用いたスクリーニング手法が有効かを調査する。

4.1 条件付け刺激による影響について

本実験という条件付け刺激とは、レスポナント条件付けによって特定の体験や印象と条件付けられた知覚刺激を

指す。レスポナント条件付けとは無意識的な学習原理のひとつであり、この原理によって、特定の体験時に繰り返し知覚した刺激を後に知覚することで特定の心身の状態が誘発されることが知られている。例えば、イワン・パブロフの犬の実験では、聴覚刺激に唾液が出る反応を条件付ける例が示されている。筆者らは、この現象を利用した先行研究 [14] において、ダーツゲームを題材として、成功か失敗の体験と聴覚刺激の条件付けを扱った実験から以下を確認している。これらをもとにして、本実験を進める。

- 条件付け刺激の知覚によるダーツスコアの変化

筆者らの先行研究では、投矢の直前に知覚する音が、ポジティブな条件付け刺激かネガティブな条件付け刺激かによって、投矢の結果が変化するかを検証した。ここでのポジティブな条件付け刺激は、成功体験時に繰り返し知覚した刺激を指し、ネガティブな条件付け刺激は、失敗体験時に繰り返し知覚した刺激を指す。結果から、被験者全体の傾向として、ポジティブな刺激を知覚した際のダーツスコアの方が、ネガティブな刺激を知覚した際のダーツスコアよりも良くなった。

- 条件付け刺激による影響極性の個人ごとの違い

被験者が受けた影響極性を、一般的な期待通りの影響を意味する「順極性」と、その期待と逆の影響を意味する「逆極性」の 2 つに定義した結果、被験者全体の傾向としては順極性であったが、逆極性の被験者も一定存在した。

4.2 検証の手順

本実験では、先行研究 [14] と同様の実験を再度行い、条件付け刺激による影響極性を、MRI で計測した脳に関する情報からスクリーニングができるかを以下の手順で検証する。

(1) 脳情報の測定 (脳局所体積の算出)

Voxel-Based Morphometry (VBM) と言われる脳体積の解析手法を用いて脳領域ごとの体積 (以降、体積スコア) を指標とするため、MRI を用いて個人ごとの脳構造を測定した。体積スコアの測定は具体的には次のように行った。まず、3T-MRI (シーメンス社 Prisma) で 3D グラディエントエコー撮像法による T1 強調画像 (3D-GRE T1 画像) を取得した。3D-GRE T1 画像は 5~10 分程度の比較的短い時間で灰白質・白質のコントラストの高い三次元画像が得られる。今回、脳体積解析では神経細胞が集まっている灰白質を対象とし、画像統計ソフト SPM12 を用いてまずセグメンテーション (灰白質・白質・脳脊髄液などの脳組織の自動分離抽出処理) を行った。その上でセグメンテーションによって分離抽出した画像をテンプレートとよばれる基準画像に形態的に合わせ込む処理を実施した (Anatomical Normalization)。この処理によって個人脳の形態差を

なくす一方で、脳体積の大小をボクセル密度によって表し、同一空間座標系での個人間の脳体積の比較を可能とした。基準画像への形態の合わせ込み処理には頭部画像全体を利用してアフィン変換のパラメータを最適化した後に、非線形変換を用いてより詳細な、局所的な形態の合わせ込み (DARTEL: Diffeomorphic Anatomical Registration Through Exponentiated Lie Algebra) による非線形変換手法を用いた。セグメンテーションと解剖学的標準化が行われた後の各個人の画像は位置・サイズ・形態が標準座標系とよばれる空間上に揃っているため、各空間的位置が個人間においても同一の脳部位を指し示すと考えられる。したがって各空間的位置 (各ボクセル) において個別に統計解析を行うことができ、これを全ボクセル分繰り返すことによって全脳の客観的な体積解析が可能となる。この際ボクセルごとの統計学的検定を全脳にわたって繰り返すため、検定回数は数十万〜百万回以上に達し、したがって、偽陽性を抑えるための多重比較の補正 (ボンフェローニ補正) を行った。さらに統計解析の前に脳形態の個人差を低減するため半値幅 8mm 程度の画像平滑化を行ったうえで一般線形モデル (GLM) を用いて脳全体を対象にして探索的に指標 (後述影響極性スコア) と相関する脳領域を検出した。

(2) 脳情報の測定 (安静時脳機能結合の算出)

脳体積算出と同様の 3T-MRI を用いて安静時に賦活状態となる領域を示す resting-state Functional MRI (rs-fMRI) という撮像法により安静時機能画像を取得した。画像データの前処理には同様に SPM12 を用い、撮像時の頭部の動きによる画像の位置ずれやスライス間の撮像タイミングのずれを補正し、Montreal Neurological Institute (MNI) 座標系への標準化を行った。次に半値全幅 8mm の Gaussian Kernel を用いて空間平滑化を行った。rs-fMRI 起点相解析には、Conn Toolbox を用いて重回帰分析による体動等の影響や fMRI 信号中の非神経活動由来成分の除去を行い、通過帯域 0.008~0.09Hz の時間帯域通過フィルターを用いて fMRI 信号の低周波成分を抽出した。次に起点に含まれる各ボクセルの平均 fMRI 信号時系列と全脳各ボクセル間のピアソン積率相関係数を求めた。起点相関解析 (Seed-based Correlation Analysis) における起点となる関心領域は、Conn Toolbox に用意されている Brodmann's Area に基づいた関心領域を使用した。

(3) 影響極性の測定

条件付け刺激による影響極性を表す指標のスコア (以降、影響極性スコア) は、ポジティブな刺激の知覚後のスコアとネガティブな刺激の知覚後のスコアの差として定義した。ここでいうスコアは、ボード中心を狙って投矢した際の、ボード中心から矢の命中位置までの

直線距離を指す。具体的には影響極性スコアは次のように得た。まず、個人ごとに、ポジティブな刺激の知覚後の投矢 10 回とネガティブな刺激の知覚後の投矢 10 回を行うことで、ポジティブな刺激の知覚後のスコア 10 個とネガティブな刺激の知覚後のスコア 10 個を取得する。次に、ポジティブな刺激の知覚後のスコア 10 個の平均値と、ネガティブな刺激の知覚後のスコア 10 個の平均値を、個人内で計算する。最後に、ポジティブな刺激の知覚後のスコア 10 個の平均値からネガティブな刺激の知覚後のスコア 10 個の平均値を減算した値を、影響極性スコアとする。影響極性スコアが負の者は順極性、正の者は逆極性となる。実際の測定手順は 4.3 節で述べる。

(4) 影響極性に関する脳領域の解析

ステップ (3) で計測した影響極性スコアとステップ (1) で解析した各脳領域の体積スコアの 2 つを変数として、VBM を用いて影響極性スコアと相関のある脳領域を検出することで、影響極性に関わっている脳領域を特定する。この際、FWE (Family Wise Error) Corrected を閾値として解析した。

(5) 脳領域の機能連結の調査

ステップ (4) で特定した脳領域のその他の脳領域との機能的結合を調べるため、ステップ (2) で取得した情報を用いて機能的結合を調査する。具体的には、VBM で得られた結果をもとに、Conn を用いて、影響極性スコアと相関の見られた脳部位を起点の関心領域として設定し、その脳領域の安静時の脳活動と相関して活動している脳部位を求めた。この際も FWE Corrected を閾値として解析した。

4.3 影響極性の測定方法の詳細

前述のステップ (3) の影響極性の測定は次のように行った。ここでの目的は、条件付け刺激による影響極性スコアの算出のための 2 つのデータの収集で、1 つはポジティブな条件付け刺激を知覚した直後の投矢のスコア、もう 1 つはネガティブな条件付け刺激を知覚した直後の投矢のスコアである。ここでいうスコアは、ボード中心を狙って投矢した際の、ボード中心から矢の命中位置までの直線距離を指す。実験に使用したシステムは、電子ダーツボード、据え置き型スピーカから成り、アプリケーションソフトウェアは Microsoft Visual C# で作成した。

ダーツゲームのルール

1 ゲームは 20 投で構成され、前述したダーツスコアに応じて得られるポイントで競う。ポイントは、ダーツスコアが 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。報酬として全被験者のダーツスコア上位半数には、全被験者の実験終了後に商品が提供されることと、

全被験者のダーツレベルが同程度であることを伝える。今回の成功の閾値は成功率 50 % を狙った。また、報酬獲得のための被験者の感じる主観的な期待も 50 % となることを狙った。

実験手順

この実験は事前準備、条件付け、実践の 3 段階からなる。

(1) 事前準備段階

本段階の目的は、被験者がダーツゲームを行うための基礎的な技術を習得することである。被験者は、ダーツの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 10 分練習する。実験者は被験者が 3 投に 1 投程度で成功できることを確認する。また、前述したダーツゲームを最後の実践段階で行うことも伝える。この際、被験者には矢を目線位置で止めるエイム動作を必ず行うように指示する。これは後の実践段階において、このエイム動作時に刺激の提示を行うためである。

(2) 条件付け段階

本段階の目的は、聴覚刺激と体験の条件付けである。これを行うために被験者は、実践段階のダーツゲームと同じルールของเกมを実践段階として行う。また、聴覚刺激と体験の条件付けは、ゲーム中の成功時にチャイム音を提示し、失敗時にブザー音を提示することで行う。チャイム音とブザー音は、ポジティブな認識とネガティブな認識が、すでに一般的にもたれている音を選択している。そして、この前者のチャイム音は成功体験と条件付けをしたよりポジティブな刺激となり、後者のブザー音は失敗体験と条件付けをしたよりネガティブな刺激となる。音の提示は結果認識後 0.2~0.5 秒で行われ、提示音の長さは 1 秒未満である。

(3) 実践段階

被験者は前述した所定のダーツゲームを 2 セット行う。刺激の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行われる。1 セットで提示される 2 つの条件付け刺激の割合は半分ずつである。そして、2 つの条件付け刺激の提示順序はランダムであり、2 セット目での提示順序は、1 セット目の 2 種類の条件付け刺激の順番を逆にしたものである。これによって収集するデータは、被験者ごとに投矢スコアが 40 個、その内訳は刺激ごと投矢スコアが 20 個ずつである。

その他の実験条件

被験者は 41 名 (男性 23 名, 女性 18 名), 実験者は 2 名である。実験者は実験の趣旨や意図を理解していない者であり、ブラインドの状態で行う実験を実施するために雇用された者である。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。刺激は実験者が手動でコンピュータを操作

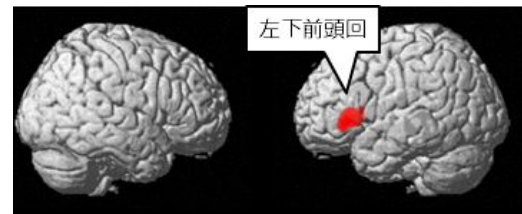


図 5 左図: 右側面から見た脳, 右図: 左側面から見た脳, 赤い点: 左下前頭回

して提示している。時間的なスケジュールの目安は、投矢間隔 30 秒, ゲーム間隔 2 分としている。本実験は東京大学大学院総合文化研究科倫理審査委員会の承認をうけて実施した。

4.4 結果と考察

VBM の結果、影響極性スコアと左側の下前頭回 (Left IFG: Inferior Frontal Gyrus) の体積スコアの間に有意な相関が認められた ($R = 0.67, p < 0.05$)。下前頭回は、ヒトの脳の前頭葉に存在する脳回であり、今回特定された左側の下前頭回は図 5 の赤い点の部分である。図 6 に、影響極性スコアと左下前頭回の体積スコアの散布図を示す。rs-fMRI の結果、左 IFG は脳基底核 (尾状核) と関連があることがわかった。線条体 (尾状核と被殻) は大脳基底核の入力部に位置し、大脳皮質-基底核ループ回路の一部として運動企画や遂行を調節していることが知られている。基底核の中でもとくに線条体には、大脳皮質のさまざまな感覚・運動関連領域および視床のグルタミン酸作動性細胞からの線維投射があり、それらを介してさまざまな感覚・運動情報の入力を受けている。また、それとともに、線条体は中脳ドーパミン細胞の主な投射先ともなって、特定の運動に先立って活動する線条体の細胞がその運動によって報酬が期待される時にはそうでない時に比べ活動度が高くなることも示されている。これらの知見は、線条体において運動情報と報酬情報の統合が行われ、どのような行為がどのくらい報酬をもたらしやすいかという「行為価値 (Action Value)」が表現されている可能性を示しているとも考えられ、今回の実験においてもダーツにおけるポジティブ・ネガティブな条件付けが行為価値を上げている人においてとくにこのネットワークの活動が上がっていた可能性が考えられる。

この実験の仮説の 1 つは、被験者ごとの影響極性を事前に把握できるインジケータが計測可能な形で存在することであった。本実験の結果はこの仮説を支持している。影響極性スコアと左下前頭回の体積スコアの間に有意な相関が確認された結果は、左下前頭回の体積を検討することによって、条件付け刺激の知覚を無意識的に受ける影響の極性を、事前に把握できる可能性を示している。そして、インジケータである脳領域ごとの体積の情報は、MRI のよ

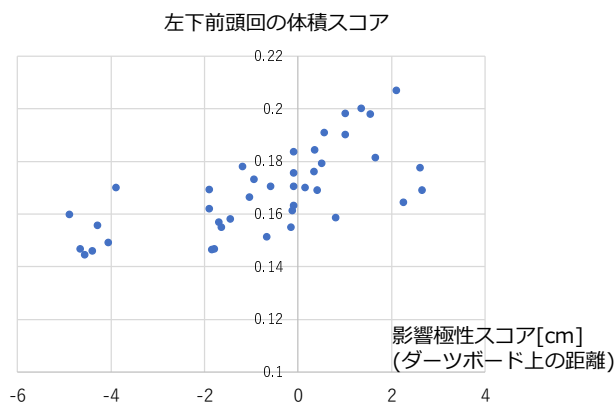


図 6 体積スコアと影響極性スコアの関係

うな脳画像取得技術と画像解析技術によって取得可能である。これらの結果から、今回実験で利用した条件付け情報による影響極性は、脳情報から事前に把握できることを確認した。

この実験で検討すべきもうひとつの項目は、今回の条件付け刺激による影響極性を決める個人特性が、どういったものであったかである。実験の結果はこれを示唆するものであった。rs-fMRI で、今回の影響極性スコアと相関のある体積スコアをもつ脳領域が報酬系ループに関わる神経系に属していることがわかった。この結果は、今回の影響極性を起こした個人特性は、報酬や罰といったポジティブやネガティブな何かを知覚した時の反応に関するものであったことを示唆している。今回の実験において扱った条件付け刺激は、ポジティブやネガティブな意味をもつものであったことから、これらの知覚による無意識的な影響が、報酬や罰を知覚した際の反応に関わる神経に起因していたことは妥当な結果であったと考えている。

これらに加えて、今回の実験結果は、個人特性を表すための既存のあらゆる指標が、本研究でいう影響極性をスクリーニングできるインジケータになる可能性を示した。個人特性を表す指標や測定手法には脳以外のものもあり、例えば、質問紙を用いた性格調査アンケートや、細胞を用いた遺伝子検査がある。影響極性をスクリーニングするインジケータに脳情報がなり得ることを本実験で確認したことから、個人特性を表す他の指標も同様の役割を担える可能性があると考えている。

5. 議論と課題

5.1 汎用性

4 章の実験より、条件付け刺激に対する影響極性が MRI を用いてスクリーニングできる可能性が明らかとなった。一方、この方法論の汎用性を明らかにするためには、次に以下の実験を行う必要がある。

- 条件付け刺激に関する別の実験に対し、今回の MRI によるスクリーニングが行えるかを確認する。

- 他の様々な認知バイアスに関して、今回の MRI によるスクリーニングが行えるかを確認する。

前者は、同じタイプの認知バイアスであるが今回のダーツによるものとは異なるものに対して同様のスクリーニング実験を行うことで、条件付け刺激への極性に対応する脳部位が一貫しているかを確認するものである。ここに一貫性がない場合、対象とする競技などに応じてそれぞれ脳部位を決定する実験を行う必要があり、提案手法は汎用性に乏しい。一貫性があった場合は、条件付け刺激に関してのインジケータとして左側の下前頭回が利用できる場所が明らかとなる。さらにその場合、後者の実験によって、インジケータは認知バイアスの種類によって異なるのか、それともあらゆる認知バイアスに関して同じなのかが明らかになり、様々な認知バイアスに対して本手法を適用するためにはどの程度のデータを収集する必要があるのかが明らかになる。

また、今回の実験では被験者に子供や高齢者は含まれていない。MRI は非侵襲性の大型装置であり、年齢を問わず身体になら影響を及ぼす可能性のないものである。一方で、脳画像は動きによるノイズの影響を非常に受けやすいため、狭い空間中である一定時間以上、頭部・胴体の固定をし、手足を含め身体を動かさず横たわっている事が必須条件となってくる。そのため、通常の実験では、乳幼児を含めた未成年や高齢者を対象としない事が多い。ただし、未成年については、保護者の同意の元であれば、MRI の撮像実験を行うことはなんら問題もない。また、高齢者についても健常であり本人の同意の元であれば、MRI 撮像を行うことは可能である。そのため、今後、年齢も含めた多様性に対応するためにも、高齢者や未成年を対象にしていく予定である。

5.2 運用

脳は可塑性を持つことがこれまでの研究からも十分に証明されており、特に成人を過ぎてから老人に及ぶまで、数時間から数週間でのトレーニングに伴う特定の能力の獲得により、その能力と関連する脳領域が可塑的に体積等の増加あるいは減少として変化することが報告されている [15]-[22]。さらにこれらの変化は認知能力の獲得に伴うだけではなく、非認知能力の獲得に伴っても変化することがわかってきている [23]。したがって、提案手法でのスクリーニング結果はあくまでその時点での影響極性と脳構造の関連性であり、脳の可塑性を考慮した運用が必要となる。つまり、DNA 検査などの確定的な検査と異なり、定期的な観察によって自分の各種認知バイアスに対する極性を知ることが重要になる。また、インジケータとなる脳部位を間接的 (認知トレーニングなど)、あるいは直接的 (非侵襲的な経頭蓋直流電気刺激法など) に刺激し望む極性に自身を変化させることが可能になるかもしれない、MRI 測定結果

をもとに適切な脳刺激を行うためのトレーニングや、電気刺激等による介入が可能かもしれない。これらの要素に関する研究課題は下記の通りとなる。

- 現状での年一度など行っている健康診断に MRI 測定を含めることを考える。該当の脳部位の変化を考え、どの程度の頻度で MRI 測定を行えばいいかを明らかにする。
- MRI 測定結果に基づいて、認知バイアスを活用した各種システムの設定を自動的に変更する仕組みを提案する。
- MRI 測定結果に基づいて、特定の脳部位を発達させるための方法を見つける。これは、例えば空間把握能力に対応する部位をメンタルローテーションのトレーニングで発達させる、といった方法から、電気刺激により発達を促す、といった方法まで幅広く可能性を考える。

5.3 認知バイアスの評価と分類

前節で述べたような健康診断等の取組みによって、脳部位と認知バイアス極性の関係に関する大量のデータが得られた場合、大量に存在する認知バイアスに対する新たな特性付けや分類が行える可能性がある。これは、関連する脳部位が同様である認知バイアスはなんらかの関係があるとみなすことができるし、これまで同種の認知バイアスだと思われていたものが、脳計測データによって異なるものとされる場合もあるかもしれない。

5.4 脳計測以外のスクリーニング手法

本研究ではスクリーニングに MRI を用いたが、施設やスタッフの制約、時間・金銭的コストの高さなどの問題があり、手軽でない。これまでに、文献 [14] において、エゴグラムなどの性格判断アンケートとの関係について考察したが、明確な相関は見られなかった。この点に関する研究課題は下記の通りとなる。

- 認知バイアス極性に関係する脳部位の特性から、スクリーニングを行うための質問紙を構築する。単なる性格判断ではなく、MRI の結果と相関が出るような質問項目を作成し、それを簡易スクリーニングとして用いる。
- ウェアラブルセンサ等を用いて得られた状況と、認知バイアス極性の関係についての関係を調査し、日常生活におけるライフログデータから簡易スクリーニングができるようにする。
- 認知バイアス極性に関係する脳部位の特性から、スクリーニングを行うためのセンサデバイスを新たに開発する。

6. おわりに

本稿では、認知バイアスを応用したシステムについて紹介し、このようなシステムが普及することで、逆極性の受容特性をもつ人々が断絶される「認知バイアスデバイド」が起こる可能性について述べた。その解決手段として、情報提示に対する受容性スクリーニングを提案し、MRI を用いた手法について検討した。実際に刺激による条件付けを用いたダーツ時のメンタル制御システムにおいてスクリーニング技術の評価を行い、MRI が受容性スクリーニングに活用できる可能性を明らかにした。

一方、今後の課題は山積しており、3 章仮説 (3)(4) で述べたように認知バイアス極性の異種カテゴリ適用性、時間変化の可能性等については検討できていない。そのために、今後は多種の認知バイアスに対する受容性解析を行い、「認知バイアスデバイド」が起こらない仕組みを確立することを目指す。また、脳計測以外のセンシングによるスクリーニングの可能性についても検討を進める必要がある。

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 (JST CREST, 課題番号 JPMJCR18A3) によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 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 (Apr. 2013).
- [2] 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, Vol. 17, No. 1, pp. 39-52 (Feb. 2015).
- [3] N. Isoyama, T. Terada, M. Tsukamoto: Comparative Evaluation of Priming Effects on HMDs and Smartphones with Photo Taking Behaviors, Proc. of the 2018 International Conference on Cognitive Computing (ICCC 2018), pp. 71-85 (June 2018).
- [4] R. Shen, T. Terada, M. Tsukamoto: A Method for Controlling Crowd Flow by Changing Recommender Information on Navigation Application, International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol. 12, Iss. 1, pp. 87-106 (Feb. 2016).
- [5] R. Shen, T. Terada, M. Tsukamoto: A Navigation System for Controlling Sightseeing Route by Changing Presenting Information, Proc. of the 5th International Workshop on Advances in Data Engineering and Mobile Computing (DEMoC-2016), pp. 317-322 (Sep. 2016).
- [6] 奥川 遼, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: 聴覚フィードバックを利用したペダリングトレーニングシステム, コンピュータソフトウェア (日本ソフトウェア科学会論文誌), Vol. 33, No. 1, pp. 41-51 (Feb. 2016).
- [7] 菅家浩之, 寺田 努, 塚本昌彦: フレーズ内在化のための学習フェーズ分離による打楽器学習支援手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 1, pp. 236-245 (Jan. 2018).
- [8] T. Shimizu, K. Futami, T. Terada, M. Tsukamoto: In-Clock Manipulator: Information-Presentation Method for Manipulating Subjective Time using Wearable Devices, Proc. of the 16th International Conference on Mo-

- bile and Ubiquitous Multimedia (MUM 2017), pp. 223-230 (Nov. 2017).
- [9] K. Futami, T. Terada, M. Tsukamoto: A Method for Controlling Arrival Time to Prevent Late Arrival by Manipulating Vehicle Timetable Information, *Journal of Data Intelligence* (2019, to appear).
 - [10] N. Isoyama, T. Terada, M. Tsukamoto: Evaluating Effects of Listening to Content with Lip-sync Animation on Head Mounted Displays, *Proc. of 4th International Workshop on Ubiquitous Technologies for Augmenting the Human Mind (WAHM 2017)*, pp. 666-672 (Sep. 2017).
 - [11] 細田千尋, 花川 隆: 能力獲得に伴う脳可塑的变化の検討-多次元イメージング法による可視化-, *精神科*, Vol. 25, No. 2, pp. 108-216 (July 2015).
 - [12] C. Hosoda, M. Hamada, H. Maeshima, Y. Nonaka, and K. Okanoya: Development of Temporal Cortex can Predict L2 Listening Learning Success, *Journal of the Neurological Sciences*, Vol. 381, pp. 188-373 (2017).
 - [13] C. Hosoda, M. Hamada, H. Maeshima, Y. Nonaka, and K. Okanoya: Predictor of Programming Language Learning Success: The development of the Inferior Frontal Cortex and the Supramarginal Cortex, *Organization for Human Brain Mapping*, p. 2151 (June 2018).
 - [14] 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*, Vol. 58, No. 5, pp. 1025-1036 (May 2017).
 - [15] C. Hosoda, K. Tanaka, T. Nariai, M. Honda, T. Hanakawa: Dynamic Neural Network Reorganization Associated with Second Language Vocabulary Acquisition: a Multimodal Imaging Study, *Journal of Neuroscience*, Vol. 33, No. 34, pp. 13663-13672 (2013).
 - [16] H. Mahncke, B. Connor, J. Appelman, O. Ahsanuddin, J. Hardy, R. Wood, N. Joyce, T. Boniske, S. Atkins, and M. Merzenich: Memory Enhancement in Healthy Older Adults using a Brain Plasticity-based Training Program: a Randomized, Controlled Study, *Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 103, pp. 12523-12528 (2006).
 - [17] M. Boltzmann, B. Mohammadi, A. Samii, T. F. Munte, and J. Russeler: Structural Changes in Functionally Illiterate Adults after Intensive Training, *Journal of Neuroscience*, Vol. 344, pp. 229-242 (Mar. 2017).
 - [18] J. Boyke, J. Driemeyer, C. Gaser, C. Buchel, and A. May: Training-induced Brain Structure Changes in the Elderly, *Journal of Neuroscience* Vol. 28, pp. 7031-7035 (2008).
 - [19] J. Scholz, M. C. Klein, T. E. Behrens, and H. Johansen-Berg: Training Induces Changes in White-matter Architecture. *Nature Neuroscience*, Vol. 12, pp. 1370-1371 (2009).
 - [20] A. Habibi, A. Damasio, B. Ilari, R. Veiga, A. A. Joshi, R. M. Leahy, J. P. Haldar, D. Varadarajan, C. Bhushan, and H. Damasio: Childhood Music Training Induces Change in Micro and Macroscopic Brain Structure: Results from a Longitudinal Study, *Cerebral Cortex*, Vol. 28, pp. 4336-4347 (2018).
 - [21] Y. Sagi, I. Tavor, S. Hofstetter, S. Tzur-Moryosef, T. Blumenfeld-Katzir, and T. Assaf: Learning in the Fast Lane: New Insights into Neuroplasticity, *Neuron*, Vol. 73, pp. 1195-1203 (2012).
 - [22] Y. Yotsumoto, L. H. Chang, R. Ni, R. Pierce, G. J. Andersson, T. Watanabe, and Y. Sasaki: White Matter in the Older Brain is More Plastic than in the Younger Brain, *Nature Communications*, Vol. 5, No. 5504 (2014).
 - [23] C. Hosoda, T. Hanakawa, M. Honda, K. Okanoya, R. Osu: Brain Become More Plastic by the Effective Learning, *Organization for Human Brain Mapping, Hawaii, USA*(2016)