

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：94301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01777

研究課題名(和文) 予測誤差の可視化による自己感への貢献：行動・計算論・脳機能計測の統合

研究課題名(英文) Visualized prediction error for the sense of self: Behavioral, computational, and brain mapping approach

研究代表者

浅井 智久 (Tomohisa, Asai)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・主任研究員

研究者番号：50712014

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、自己感の基盤となっている可能性のある「予測誤差」に注目することで、自己と他者を弁別することを可能にしている認知神経メカニズムの特定を行うことを目的とした。そこで運動フィードバックの自他帰属課題を用いることで、自他帰属の弁別力やフィードフォワードコントロールの精度を反映すると考えられる視線の先行効果を確認した。また、予測誤差の検出に関連すると考えられる脳領域に非侵襲的脳活動刺激(tES)を与えることで、予測誤差の自己感への貢献度の変調および脳活動自体への介入効果が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、脳内で計算される予測誤差が主観的な自己感に特異的に影響することを、行動実験・脳活動計測・機能介入実験を組み合わせた多角的なアプローチで示唆した。この知見は、予測誤差の検出および自己感の障害と考えられる統合失調症などの精神疾患の病態理解につながるだけでなく、経頭蓋の非侵襲的な電気刺激による正常な方向への誘導(ニューロモジュレーション)の技術的な可能性を開いたと考えられる。これらの基礎的な成果は、今後はより応用的な研究へ発展させることができる。

研究成果の概要(英文)：The current study examined the neurocognitive mechanism for self-other discrimination where the prediction error should be detected in the responsible brain region. For that purpose, we conducted the self-other attribution task for motor control with participants' eye tracking. The results revealed that the eye movements preceded the hand movements for participants' own (self) cursor in order to make feedforward control. In addition, when the transcranial noninvasive electrical stimulation was given to the responsible brain region, participants' neural activity and behavioral relationship between the prediction error and the sense of self were modulated.

研究分野：認知神経科学

キーワード：自己感 予測誤差 脳機能計測 視線

## 1. 研究開始当初の背景

近年、「自己意識の科学」が積極的に進められている。2000年以降の心理学関連領域において、「自己」という感覚はどう生起しているのか、「他者」との円滑な相互作用がどう実現されているのか、という問いに注目が集まっている。本研究では、その基盤となっている可能性のある「予測誤差」に注目することで、「自己と他者を分離しながら結合する」ことを可能にしている認知神経メカニズムの計算論的モデル化を行う。そこで運動フィードバックの自他帰属課題を用いることで、自他帰属の弁別力やコントロール精度の個人差を特定する。また、これらのパフォーマンス低下は、脳の特定の領域の機能不全が原因であることを考えると、TMSやtDCSといった方法による非侵襲的な脳機能の一時的な阻害により、健常者であっても類似した現象を再現できる可能性がある。これらの計算論的・介入的実験によって、自己の身体・運動表象のメカニズムが脳の機能と結びつく形で解明されれば、私たちがどのように自己と他者を区別し、また同時に自己と他者をつないで認識しているのか、私たちの社会的機能の基盤および精神病理学的な個人差についての理解が深まると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、まず第1に、予測の可視化による予測誤差の定量化である。運動モーフィング課題やEye-Hand Coordinationを利用することで、手の位置に対する予測を可視化することができる。そのために視線の同時計測を行い、従来の予測誤差の指標よりも高い精度で、主観的な自己感を説明できることを示す(研究計画1)。その上で第2の目的として、このような運動制御のループを計算論モデル化し、そのモデルのパラメタに対応する脳領域をfMRI計測により特定する。さらに特定された脳領域の活動に対して、非侵襲的なtES介入(経頭蓋直流電気刺激法)を行う(研究計画2)。TMS(経頭蓋磁気刺激法)やtDCS(経頭蓋直流電気刺激法)で活動を抑制させることで、主観的自己感の変容を観察できる可能性がある(主体感の低下など)。既存の実験設定に対してtESによる脳機能介入を追加することで、予測誤差と自己感の関係についての因果的な関係性を検討する。

## 3. 研究の方法

(1) まず研究計画1では、「運動課題実施時の予測の可視化」を行う。近年の研究は、予測と予測誤差に言及するものは多く見られるが、これを実際に可視化し定量的な情報量として操作した成功例はほとんどない。これには、私達の予測が外からは観察しにくいことに原因がある(予測にバイアスされた反応値しか実験では得られない)。そこで本研究では、自己運動の効果器(手)への感覚予測のため視線計測を同時に行う。私達の手の運動は、視線による追従あるいは先導をされていることが知られているため、これを利用することで予測と予測誤差を確率分布化した上で、自己感への貢献を見る点に創造性がある。既存の実験設定を利用し、視覚誘導運動中にリアルタイムのモーフィングによる予測誤差を発生させる。この課題に視線計測装置の追加を行うことで、運動データと視線データをつきあわせ、計測データの確率分布化、分布間距離の計算アルゴリズム開発を行う。

(2) 研究計画2では、「脳活動への介入による因果的検討」を行う。予測誤差と自己感の関係については、理論的および実証的な検討が進んできたが、直接的な証拠はほとんどない現状である。そこで、視線計測を含めた可視化による予測誤差と自己感の関係を検討した上で、さらにtES(非侵襲的脳活動刺激)でその関係性に因果的な介入を行う。予備実験により実施上の安全面を確保した上で実験プロトコルの策定を行い、本実験として20名程度の外部被験者でtESによる介入実験を行う。電気刺激を流すことで、予測誤差への自己感への貢献度が減少するという行動レベルでの仮説を検証する。また、fMRIとtESの同時計測実験により、右の側頭頭頂連合野をターゲットとした機能阻害を導入することで、特定の脳機能結合がtESのパラメタ依存で変調しうることを検討する。

## 4. 研究成果

(1) 研究計画1について、以下の成果を得た。

「自己運動の精度へのメタ認知」: 運動課題実施時の自己運動のモニタリングには、その予測

誤差の精度を計算しておく必要があると考えられる。そこで、自己運動の検出課題をペンタブレット上でい、予測誤差に相当する物理量を定義した上で、カーソルの操作感(主体感)をどの程度説明できるのかを検討した。その結果、有意な負の相関関係が確認され、予測誤差が大きくなるにつれて自己主体性のレーティングが低下することが確認された(図1)。

「視線計測による予測の可視化」: 上記の運動課題に視線計測を追加した課題の開発および実験を実施した。視覚誘導運動中にリアルタイムのモーフィングによる予測誤差を発生させ、視線の計測を同時に行った実験の結果、視線と手の動きの協調関係(eye-hand coordination)が確認された。これは視線の先行が予測誤差を反映している可能性が示唆するものであり、運動データと視線データをつきあわせることで、予測誤差の知覚に対応した視線の先行効果が観察されることが示唆された。

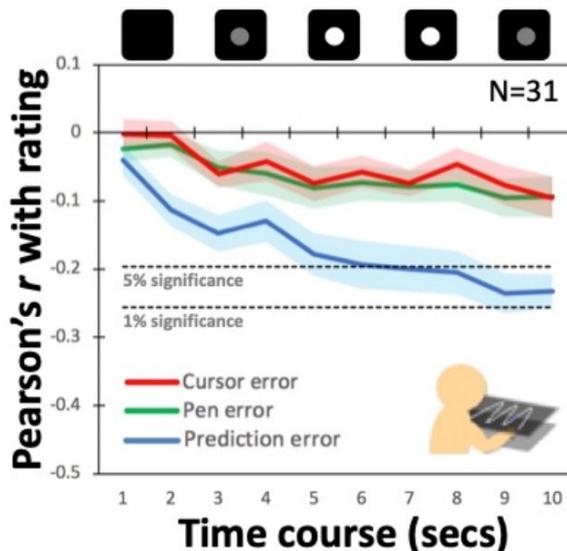


図1 予測誤差 主体感レーティングの相関

(2) また研究計画2について、以下の成果を得た。

「tES 介入による主体感の変調」: 主体感を説明する予測誤差を機能障害する介入実験を実施した。tES の電極を貼った状態で運動課題を行い、予測誤差の責任領域と考えられる右側頭-頭頂連合部をターゲットとした機能障害を導入した(図2)。その結果、tES のパラメタ依存で、予測誤差の主体感への貢献が変調しうることが示唆され、特に anti-phase 刺激の効果が顕著であることが確認された(図3)。

「fMRI 安静時脳結合に対する tES 介入の効果」: 上記のような行動レベルでの変調が見られるということは、tES の脳活動への直接的な影響が確認できるはずである。そこで、tES の電極を貼った状態で fMRI スキャナの中で安静時撮像を行い、tES のパラメタ依存で機能ネットワークへの影響が見られるかを検討した。その結果、刺激 ON 時と OFF 時の比較で明確な BOLD 信号への影響が認められ、ネットワークレベルでは anti-phase 刺激が他の刺激パラメタとは異なった影響を与える可能性が示唆された。

高精度経頭蓋交流電流刺激 (HD-tACS)

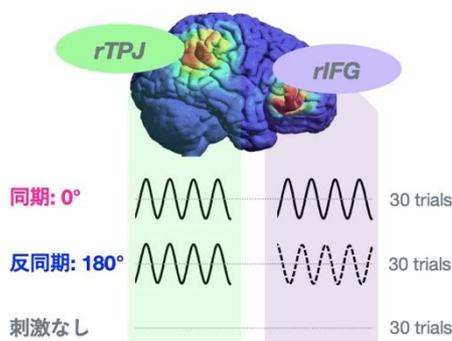


図2 tES による機能障害法

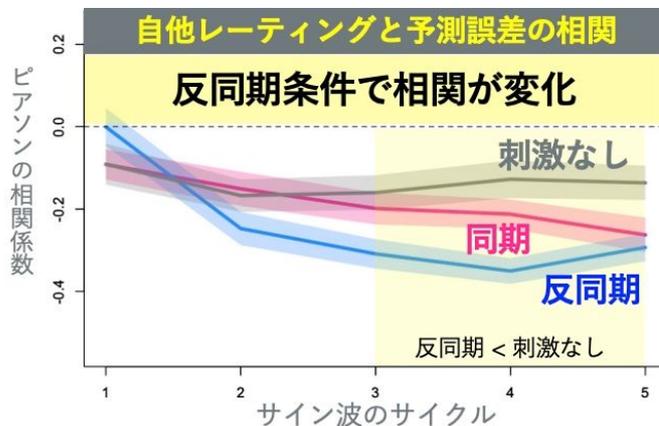


図3 反同期刺激による主体感の変調

本研究は、主観的な自己感(運動主体感)を自己の身体・運動表象のメカニズムから検討したものであった。実験心理学的な手法と脳機能計測を併用することで、これらのメカニズムを脳の機能と結びつく形で検討した。結果として、私たちがどのように自己と他者を区別・結合しているのかの基礎的な知見を提出した。またその障害としての精神病理学的な個人差についての理解が深まったことで、社会的意義の高い成果につながったと考えることができる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	門田 宏  (Kadota Hiroshi)  (00415366)	高知工科大学・情報学群・准教授   (26402)	
研究分担者	今水 寛  (Imamizu Hiroshi)  (30395123)	東京大学・大学院人文社会系研究科(文学部)・教授   (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関