

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K20642

研究課題名（和文）運動主体感に対するメタ認知及びその神経基盤

研究課題名（英文）Metacognition of sense of agency and its neural basis

研究代表者

温文（Wen, Wen）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・特任准教授

研究者番号：50646601

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は運動主体感に対するメタ認知、すなわち、「自分が制御している」という主観的な感覚に対してどのくらい確信を持つのかという認識を研究テーマとし、運動主体感のメタ認知の行動レベルの特徴を解明し、さらにその神経基盤を解明することを目的とした。本研究は行動実験及び認知神経科学の手法を用いた。実験参加者が画面上の物体を制御する際に、制御した物体を検出する際の自信と問うことにより、正しい判断に対して高い自信を持ち、誤った判断に対する低い自信を持つというメタ認知の機能の敏感さを解明した。さらに、メタ認知の敏感さと実際の制御プロセスの関係性を解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

運動主体感（Sense of agency）とは、自分の意識で自分の行動を制御し、さらに外界の変化を引き起こしたという主観的な感覚を指す。メタ認知とは、自分の選択や判断に対する認識を指し、知覚判断という一次判断に使った情報をレビューし、自分自身の行動が正しいかどうか二次判断を行う過程である。一次判断からメタ認知の間に、情報がどのように利用されているのかがまだ未解明であるため、これまでに多くの研究者に注目されてきた。この運動主体感のメタ認知のメカニズムの解明は、多感覚統合、メタ認知の情報処理のメカニズムを理解するのに極めて重要である。

研究成果の概要（英文）：The present study aimed to examine the metacognition of one's sense of control. Metacognition of control refers to the ability of telling whether the sense of agency is correct. The present study used behavioural and neural imaging techniques to find out the mechanism of metacognition of control.

研究分野：認知科学

キーワード：運動主体感 運動制御 メタ認知 認知神経科学 意識

## 1. 研究開始当初の背景

運動主体感 (Sense of agency) とは、自分の意識で自分の行動を制御し、さらに外界の変化を引き起こしたという主観的な感覚を指す。このような感覚は、運動制御、意思決定、外界の変化に対する予測に重要である。メタ認知とは、自分の選択や判断に対する認識を指し、知覚判断という一次判断に使った情報をレビューし、自分自身の行動が正しいかどうか二次判断を行う過程である。認知科学の分野では、自分の回答に対する自信を評価させる方法でメタ認知を測定する。自信の感度 (sensitivity; 正しい回答に対して高い自信、誤った回答に対して低い自信を感じる能力) とバイアス (bias; 全体的に高いまたは低い自信) はメタ認知の指標として用いられている。メタ認知能力は、人間の適応行動や学習にとって重要な機能である。一次判断からメタ認知の間に、情報がどのように利用されているのかがまだ未解明であるため、これまでに多くの研究者に注目されてきた。

メタ認知の感度は一次判断の感度に依存する。視覚や聴覚の分野では、刺激の属性 (e.g., 刺激のコントラスト、音声の高さ) を判断させる課題が広く用いられており、それらの判断に対するメタ認知を調べてきた。しかし、運動主体感の場合では、これまでに、その測定が主に主観報告に頼っている。例えば、実験参加者に「自分がどのぐらい制御したと思うか」と直接に聞き、レーティングや Yes/No を答えてもらう。このような計測はバイアスに影響されやすく、運動主体感の「感度」を測ることができない。そこで、本研究では独創的な制御検出課題 (control detection task) を提案し、運動主体感の感度をバイアスフリーに測定する手法を確立し、運動主体感に対するメタ認知を解明する。

## 2. 研究の目的

本研究は運動主体感に対するメタ認知、すなわち、「自分が制御している」という主観的な感覚に対してどのぐらい確信を持つのかという認識を研究テーマとしている。運動主体感のメタ認知の行動レベルの特徴を解明し、さらにその神経基盤を解明することを目的とする

## 3. 研究の方法

本研究の提案課題について述べる。実験参加者はマウス (タッチパッド、ジョイスティック等も可) を用いてモニターに提示されるドットを数秒間動かす。ドットの動きは、操作者の動きと他者の動きが一定な割合でミックスされて生成されたものであるため、操作者の制御の割合を 0%-100% の間で連続に変化させることが可能である。ドットの運動の速さはマウスの動きで正規化し、方向だけが制御の割合によって変わる。さらに、複数のドットを同時に動かす場合、1つのターゲットドットが一定なレベル (0%-100%) で制御され、他のドットがすべて他人の動きをする (i.e., 制御が 0%)。試行後、自分が制御できるドットを検出する課題 (「どのドットを制御できたか?」) を課す。この場合、ターゲットドットに対して運動主体感が強ければ強いほど、検出率が高いと考えられる。すなわち、制御検出課題の正答率は、運動主体感の感度を表すと考えられる。この制御検出課題の結果によると、実際の制御の割合が強くなると、検出率がシグモイド関数に従って増加し、運動主体感の閾値を推定することが可能であることが分かった。制御検出課題を用いて、運動主体感の感度をバイアスフリーに推定することが可能になり、さらに検出の判断に対して自信を問うことで、メタ認知の測定も可能になる。

具体的に、本研究では2つの刺激の制御検出課題を用いて、自分が制御できる物体を選択させた後、自分の回答に対して自信があるかどうかを回答させた。刺激が2つの場合、従来のメタ認知と同様な手法でファーストレベルの  $d$ -prime (信号検出理論) の計算が可能である。また、目標刺激に自分の運動の割合を操作することで、正答率の制御ができる。本研究ではステアケース法を用いて、ファーストレベルの正答率が平均で 70% になるような手続きを取った。ファーストレベルの  $d$ -prime を統制したうえで、サカンドレベルの  $meta$ - $d$  を算出した。また、自分が制御できるターゲット刺激において、他人の動きを混ぜると同時に、角度変換 (0度 vs 90度) を入れた。角度変換は制御検出の正答率に与える影響が小さいが、実際に物体を制御するパフォーマンスを大きく低下してしまう。本研究は実際の制御能力と運動主体感の感度のどちらが運動主体感のメタ認知に大きな影響をもたらすのかを明らかにしてきた。

また、運動主体感のメタ認知の神経基盤を解明するため、本研究は fMRI を用いて、制御が増加または減少する際にその変化を検出する過程において、判断の手がかりの蓄積と脳活動の相関を調べてきた。特に変化の方向性に注目し、制御が増加する場合と減少する場合の脳活動の違いを検討してきた。

## 4. 研究成果

メタ認知の行動実験において、これまでに延べ 60 人分の実験を行った。角度誤差を入れた条件において、運動パフォーマンスが大きく低下したが、制御検出の正答率を 70% に統制することに成功した。さらに、ファーストレベルの  $d$ -prime とサカンドレベルの  $meta$ - $d$  のどちらも角度

誤差条件間に有意な差がみられず、実験参加者内においては運動主体感のメタ認知は主に制御のパフォーマンスではなく、運動主体感の感度に影響されることが分かった。さらに、実験参加者間の変動を構造方程式モデリング法で解析したところ、運動制御のパフォーマンスの良い人は、meta-d も有意に高く、運動制御と運動主体感おメタ認知の関連性が見られた。この現象は運動主体感のメタ認知において新規性の高い発見である。この成果について、現在共同研究者の Prof. Haggard と Dr. Charles と議論を進め、十分な検定力を得るためさらに実験参加者を追加してから論文化する予定である。

fMRI 研究につきましては共同研究者の今水寛（東京大学）、大畑龍（東京大学）と共同で行った。運動主体感の増加を検出する感度は、注意に関連する前頭葉や小脳の外側の活動と関連することが分かった。さらに、運動主体感の減少に対する感度は誤差検出に関連する脳領域の活動と関連することが分かった。本研究の中間結果は Association for the Scientific Study of Consciousness 2019 (ASSC23) で発表した。さらに、後続の実験と結果の解析は現在進行中である。

最後に、本研究の代表者はこれまでに運動主体感に関する研究をまとめ、遅延が運動主体感に与える影響、および自動化技術における運動主体感というテーマで国際学術ジャーナルにレビュー論文を 2 篇掲載し、広く引用されている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Wen Wen	4. 巻 73
2. 論文標題 Does delay in feedback diminish sense of agency? A review	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Consciousness and Cognition	6. 最初と最後の頁 102759 ~ 102759
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.concog.2019.05.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Wen Wen, Haggard Patrick	4. 巻 195
2. 論文標題 Prediction error and regularity detection underlie two dissociable mechanisms for computing the sense of agency	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Cognition	6. 最初と最後の頁 104074 ~ 104074
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cognition.2019.104074	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Wen Wen, Kuroki Yoshihiro, Asama Hajime	4. 巻 10
2. 論文標題 The Sense of Agency in Driving Automation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 2691
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyg.2019.02691	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Wen Wen, Shibata Hiroshi, Ohata Ryu, Yamashita Atsushi, Asama Hajime, Imamizu Hiroshi	4. 巻 23
2. 論文標題 The Active Sensing of Control Difference	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 iScience	6. 最初と最後の頁 101112
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.isci.2020.101112	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Wen Wen, Shimazaki Naoto, Ohata Ryu, Yamashita Atsushi, Asama Hajime, Imamizu Hiroshi	4. 巻 7
2. 論文標題 Categorical Perception of Control	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 eneuro	6. 最初と最後の頁 ENEURO.0258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/ENEURO.0258-20.2020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Aoyagi Kei, Wen Wen, An Qi, Hamasaki Shunsuke, Yamakawa Hiroshi, Tamura Yusuke, Yamashita Atsushi, Asama Hajime	4. 巻 11
2. 論文標題 Modified sensory feedback enhances the sense of agency during continuous body movements in virtual reality	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 2553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-82154-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wen Wen, Sonmin Yun, Atsushi Yamashita, Brandon D. Northcutt and Hajime Asama	4. 巻 2021
2. 論文標題 Deceleration assistance mitigated the trade-off between sense of agency and driving performance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 643516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpsyg.2021.643516	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Aoyagi, K., Wen, W., An, Q., Hamasaki, S., Yamakawa, H., Tamura, Y., Yamashita, A., & Asama, H.
2. 発表標題 Improvement of sense of agency during upper-limb movement for motor rehabilitation using virtual reality
3. 学会等名 The 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wen, W., Ohata, R., Tanaka, M., Yamashita, A., Asama, H., & Imamizu, H.
2. 発表標題 Two dissociable processes for detecting gaining and losing control in human brain
3. 学会等名 Annual Meeting of the Association for the Scientific Study of Consciousness (ASSC23) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 河野 哲也、山口 真美、金沢 創、渡邊 克巳、田中 章浩、床呂 郁哉、高橋 康介	4. 発行年 2021年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 464
3. 書名 顔身体学ハンドブック	

〔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

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		
英国	University College London		