様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　６ 年　５ 月 ２３ 日現在

機関番号：３２６８６
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2021～2023
課題番号：２１Ｈ０３７８０

研究課題名（和文）主体感の探索と利用：その行動メカニズム、神経基盤、および数理モデル

研究課題名（英文）Control exploration and exploitation: The behaviour mechanism, neural basis, and computational model

研究代表者
温　文（Wen, Wen）

立教大学・現代心理学部・准教授

研究者番号：５０６４６６０１

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　13,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、主体感の探索と利用の行動、および神経メカニズムに関する仮説を検証することを目的としている。特に、人間が環境から主体感を能動的に獲得していく過程を明らかにすることに注目した。研究期間内には、発達期の子供、成人の健常者および統合失調症の患者を対象として、パソコンのディスプレイに表示される物体に対する制御の検出や判断を行う課題を課した。人が制御を探索および利用する際に用いる認知モデルを確立し、さらに制御の探索および利用を行う際の動きの特徴を解明してきた。

研究成果の学術的意義や社会的意義
本研究は主体感の生起において、これまでに全く検討されていない行動の側面に注目し、人間が環境から主体感を能動的に獲得していく過程を明らかにしてきた。人間は行動の主体であり、環境から最適な報酬を得るために行動するように進化してきた。行動と主体感の獲得の双方向の作用が人間の行動の認知を理解するのに重要である。本研究は独創的な仮説に基づき、主体感と行動のメカニズムの解明に大きく貢献してきた。

研究成果の概要（英文）：This project aims to test hypotheses related to the behaviors of exploring and utilizing a sense of agency, as well as the underlying neural mechanisms. It particularly focuses on clarifying the process through which humans actively acquire a sense of agency from their environment. During the research period, experimental tasks were assigned to children in developmental stages, healthy adults, and patients with schizophrenia. These tasks involved detecting and judging control over objects displayed on a computer screen. We established cognitive models used by individuals in the exploration and utilization of control and further elucidated the characteristics of movements basing on the results of the experiments.

研究分野：認知科学

キーワード：運動主体感　身体意識　行動　探索　利用　モデル化　計算論的手法　認知神経科学

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

１．研究開始当初の背景

小さい子供がタッチパネルで遊んでいるときに、タッチパネルの機能について分かっていなくても、タッチしたりスワイプしたりしながら、画面上の変化を観察し、次々と行動を変えていく。このような行動は、人間が未知の環境の中で自分の制御を探索し、行動に関する意思決定を行う典型的な過程である。外界の変化から、自分がコントロールできる対象や範囲を認識すると、主体感という主観的な感覚が生起し、注意、知覚、行動選択に影響を与える。認知科学の分野では、約 30 年前から、主体感の生起メカニズム及びその脳内神経基盤について盛んに議論してきた。例えば、現在最も広く受け入れられているコンパレーターモデルの説では、人間が何か行動しようとする際に、脳内で感覚入力に関する予測が生成され、実際の感覚入力と比較することで、主体感が生起または消滅すると考えられる(Blakemore, Wolpert, & Frith, 2002, Trends in Cognitive Science)。しかし、これらの従来の説には、行動選択の主体としての人間が含まれておらず、主体感の生起が人間の行動をどのように変えるかについて議論されていない。そこで、本研究では主体感の生起における行動に注目する。人間が未知な環境で行動する際に、まず主体感の探索（exploration）を行い、自分の制御範囲がある程度わかると、目標指向な行動に切り替え、主体感の搾取（exploitation）に切り替え、制御を高める。この 2 種類の行動は、報酬を得るためしばしばトレードオフが生じることがあるが、自分の行動計画に対する二次的な評価（i.e., re-thinking the thoughts）を行うことで、すなわちメタ認知に基づいて切り替わると考えられる（図１）。本研究はこのフレームワークに基づいて、主体感の獲得に関わる行動と行動・神経プロセスを解明し、モデル化してきた。

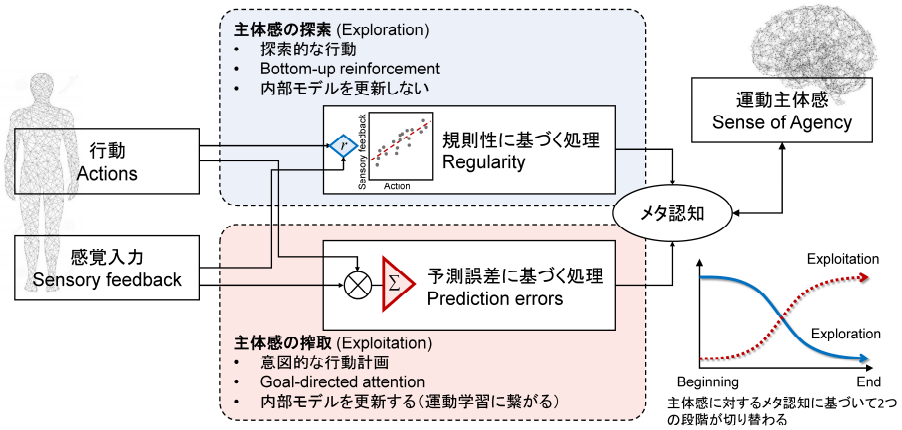

図１　主体感の獲得における探索（Exploration）と搾取（Exploitation）の 2 段階仮説

２．研究の目的

本研究の目的とは、主体感の探索と搾取の行動、神経メカニズムを解明することである。さらに、主体感に異常が生じる場合、背後にあるプロセスの変容を明らかにし、人間の行動選択と感覚処理を説明できる数理モデルを確立することである。

３．研究の方法

本研究は実験心理学の手法を用いて、発達期の子供、成人健常者、および統合失調症の患者に対して、制御を検出させる課題と制御を判断させる課題を課した。制御の検出と判断は、運動主体感の敏感度と基準を反映すると考えられる。

令和 3 年度は、成人健常者および発達期の子供（3 歳～15 歳）の制御検出感度と運動学習の効率の個人差について検討した。その結果、制御の検出の感度は、成人と子供の両方において、運動能力と相関することが分かった。

令和 4 年度では、健常者と統合失調症患者に対する実験をそれぞれ行った。健常者を対象とした実験では、目標達成のための手がかりと実際の運動と乖離した感覚フィードバックが運動主体感の判断に与える影響を調べ、個人差を説明できるベイズモデルを提案した。統合失調症患者および対照群を対象とした実験では、リーチング課題、運動検出課題、および自己帰属課題の 3 種類の課題を実施し、統合失調症の患者の主体感の異常のメカニズムを解明してきた。その結果、統合失調症の患者では、制御の検出の敏感度が低いにもかかわらず、代償的なバイアスと結合し

た結果、健常者と類似した主体感の主観判断を行ったことが分かった。これらの結果から、運動主体感の異常を正しく把握するため、敏感度と基準を分離することの重要性が示唆された。

令和 5 年度では、これまでに収集した運動主体感の検出と判断の行動（例えば、マウスの動き）に対して、機械学習の手法で解析し、運動の多様性解析と運動から主体感の予測を行った。その結果、運動主体感の探索は、トップダウン的な判断の影響を取り除いたとしても、行動のみで高い精度で予測できることが分かった。さらに、制御のレベルに応じて、行動の多様性が変化することが分かった。行動の多様性は制御の探索を反映する客観的な指標として使えることが分かった。また、他者の顔をリアルタイムに制御できるパラダイムを用いて、新奇な制御対象に対する運動主体感を獲得していく過程の行動特徴（例えば、顔や頭の動き）を解析した。その結果、自己顔の場合よりも、行動の頻度と多様性が高いことが分かった。

４．研究成果

これまでの研究から得られた成果は、これまでに学術論文、学会発表、およびプリプリントとして公表してきた。制御の検出の精度と運動能力の関係を示した研究、および発達期の子供に対する研究成果は Scientific Reports しに掲載した（Wen, Ishii, et al., 2021; Nobusako, Wen, et al., 2022）。統合失調症の患者を対象とした研究成果は、プリプリントのサーバーの bioRxiv と psyArxiv に公開し、現在投稿中である。

さらに、運動主体感の探索と利用に関する研究の成果から、主体感のモデルと理論の展望論文を執筆し、国際的なトップジャーナル Nature Reviews Psychology および Trends in Cognitive Sciences に掲載し、この研究分野に大きく貢献してきた。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計14件（うち査読付論文　12件／うち国際共著　1件／うちオープンアクセス　10件）

１．著者名 Mishima Mizuho、Hayashida Kazuki、Fukasaku Yoshiki、Ogata Rento、Ohsawa Kazuki、Iwai Ken、Wen Wen、Morioka Shu	４．巻 13
２．論文標題 Adaptability of the Sense of Agency in Healthy Young Adults in Sensorimotor Tasks for a Short Term	５．発行年 2023年
３．雑誌名 Behavioral Sciences	６．最初と最後の頁 132～132
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/bs13020132	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、Imamizu Hiroshi	４．巻 1
２．論文標題 The sense of agency in perception, behaviour and human machine interactions	５．発行年 2022年
３．雑誌名 Nature Reviews Psychology	６．最初と最後の頁 211～222
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s44159-022-00030-6	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 温 文	４．巻 35
２．論文標題 運動主体感に着目した身体拡張	５．発行年 2023年
３．雑誌名 VISION	６．最初と最後の頁 62～67
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24636/vision.35.2_62	査読の有無 無
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 Ohata Ryu、Asai Tomohisa、Imaizumi Shu、Imamizu Hiroshi	４．巻 33
２．論文標題 I Hear My Voice; Therefore I Spoke: The Sense of Agency Over Speech Is Enhanced by Hearing One’s Own Voice	５．発行年 2022年
３．雑誌名 Psychological Science	６．最初と最後の頁 1226～1239
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/09567976211068880	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 Tanaka Masaru、Ohata Ryu、Asai Tomohisa、Imamizu Hiroshi	4．巻 -
2．論文標題 Biased self-other attribution changes feedback control: link between the sense of agency and sensorimotor control	5．発行年 2022年
3．雑誌名 PsyArXiv	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.31234/osf.io/mu4wn	査読の有無 無
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、Ishii Hikaru、Ohata Ryu、Yamashita Atsushi、Asama Hajime、Imamizu Hiroshi	4．巻 11
2．論文標題 Perception and control: individual difference in the sense of agency is associated with learnability in sensorimotor adaptation	5．発行年 2021年
3．雑誌名 Scientific Reports	6．最初と最後の頁 20542
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-99969-4	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 Nobusako Satoshi、Wen Wen、Nagakura Yusuke、Tatsumi Mitsuyo、Kataoka Shin、Tsujimoto Taeko、Sakai Ayami、Yokomoto Teruyuki、Takata Emiko、Furukawa Emi、Asano Daiki、Osumi Michihiro、Nakai Akio、Morioka Shu	4．巻 12
2．論文標題 Developmental changes in action-outcome regularity perceptual sensitivity and its relationship to hand motor function in 5?16-year-old children	5．発行年 2022年
3．雑誌名 Scientific Reports	6．最初と最後の頁 17606
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-21827-8	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、Chang Acer Yu-Chan、Imamizu Hiroshi	4．巻 28
2．論文標題 The sensitivity and criterion of sense of agency	5．発行年 2024年
3．雑誌名 Trends in Cognitive Sciences	6．最初と最後の頁 397-399
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.tics.2024.03.002	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 Nobusako Satoshi、Wen Wen、Osumi Michihiro、Nakai Akio、Morioka Shu	4．巻 2023
2．論文標題 Action-outcome Regularity Perceptual Sensitivity in Children with Developmental Coordination Disorder	5．発行年 2023年
3．雑誌名 Journal of Autism and Developmental Disorders	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10803-023-06144-x	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、Charles Lucie、Haggard Patrick	4．巻 241
2．論文標題 Metacognition and sense of agency	5．発行年 2023年
3．雑誌名 Cognition	6．最初と最後の頁 105622～105622
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cognition.2023.105622	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

1．著者名 温 文，濱田 裕幸，鈴石 陽介，Acer Chang	4．巻 42
2．論文標題 運動主体感は人間にとって何を意味するのか？	5．発行年 2023年
3．雑誌名 基礎心理学研究	6．最初と最後の頁 53-64
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14947/psychono.42.7	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 Hamada Hiroyuki、Wen Wen、Kawasaki Tsubasa、Yamashita Atsushi、Asama Hajime	4．巻 17
2．論文標題 Characteristics of EEG power spectra involved in the proficiency of motor learning	5．発行年 2023年
3．雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6．最初と最後の頁 1094658
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnins.2023.1094658	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 Chiyohara Shinya、Furukawa Jun-ichiro、Noda Tomoyuki、Morimoto Jun、Imamizu Hiroshi	4．巻 13
2．論文標題 Proprioceptive short-term memory in passive motor learning	5．発行年 2023年
3．雑誌名 Scientific Reports	6．最初と最後の頁 20826
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-48101-9	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 －

〔学会発表〕　計1件（うち招待講演　0件／うち国際学会　1件）

1．発表者名 Wen, W., Mei, J., Aktas, H., Chang, A., Takada, K., Suzuishi, Y., and Kasahara, S.
2．発表標題 Control over self and other's face: Exploitation and exploration
3．学会等名 MindBrainBody Syposium (MBB SYposium 2024)（国際学会）
4．発表年 2024年

〔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	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)	

６．研究組織（つづき）

	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	前田　貴記 (Maeda Takaki) (40296695)	慶應義塾大学・医学部（信濃町）・講師 (32612)	

	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
研究協力者	チャン　ユーチャン (Chang Yu-Chan) (50831484)		

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