

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03505

研究課題名（和文）学習可能な追体験システムの実装に向けた総合的研究

研究課題名（英文）Research toward implementation of vicarious system of sequence learning

研究代表者

田中 観自（Tanaka, Kanji）

九州大学・基幹教育院・准教授

研究者番号：20727086

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、主に（偽）運動主体感の生成メカニズムとその周辺領域の理解を目指し、実験心理学的および認知科学的手法を用いて研究を行った。その結果、アクションフィードバックとして視覚刺激による錯覚を呈示した際の主体感、アクションフィードバックに対する注意、主体感による反応促進、およびアクション時に呈示される刺激に対する記憶などに関する知見を蓄積することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究が最終的に目指す目標は、体験者が技能の追体験を通じてその技能を効率的に学習できる追体験システムの開発である。追体験システムを実現するためには、体験者が追体験中に自身が行っている感覚（運動主体感）を得ることが重要であると考えている。本研究で得られた（偽）運動主体感に関する成果は、今後のシステム開発に向けた知的基盤になることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we mainly investigated the generation mechanism of (false) sense of agency and its surrounding areas using experimental psychological and cognitive science methods. As a result, we were able to accumulate knowledge on the sense of agency when presented with visual illusions as action feedback, attention to the action feedback, response facilitation by the sense of agency, and memory for the stimuli presented during the action.

研究分野：認知科学

キーワード：運動主体感 自己主体感 行為主体感 系列学習 錯覚 反応促進

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

過去に開発されてきた行動支援のデバイスは、使用者の行為主体性の有無で分類できる。行為主体性を必要とする行動支援の研究では（例としてロボットスーツや歩行アシストなど）、歩行者の筋電等をセンサー技術で読み込み、次に予測される行動の支援を行う。一方、行為主体性を必要としない追体験の研究は少ない。この研究の難しさの一つは、体験者が追体験時に感じる随意性であると考えられ、他者の行動を追体験するときには、思っている通りに動くことができないという問題点を抱える。そして、この予測の難しさが生み出す不随意性が、体験者の学習を阻んでいる可能性がある。

通常、ヒトが運動をするときには目的の達成に必要な運動指令を出力すると同時に、その指令のコピーである遠心性コピーを出力して結果の予測をする。そして、ヒトは実際の運動結果と予測の誤差に基づいて学習をし、誤差がなければ運動主体感を感じる。運動主体感は自己の行為を制御しているのが自分自身であり、またその行為が外界の変化を引き起こしているという主観的な感覚である（Gallagher, 2000）。例えば、PCのWebページが切り替わったのは、「自分がマウスをクリックしたからである」という感覚である。このモデルに従い、もし自身が運動をしていない、あるいは結果を呈示していないにもかかわらず、主体的に運動をしたと感じさせることが出来れば、追体験時の不随意性は軽減される可能性がある（ここでは偽運動主体感と呼ぶ）。

### 2. 研究の目的

追体験による学習システムの開発を目指す上で、(偽)運動主体感の生成メカニズムと主体感がヒトの認知行動に与える影響の解明(認知心理学的研究)を主な研究目的とした。4年間の研究期間を設定し、複数の観点から研究を進めた(結果として、新型コロナウイルス感染拡大の影響により研究期間は5年間であった)。

### 3. 研究の方法

本研究の内容は多岐にわたるため、方法と成果のうち、特に主要なもののみを取り上げて、以下に記す。

#### (1) 主体感の予期的変調と遡及的変調

これまでの研究の多くは、ボタンが押される(行為, アクション)とそれに対応する形で刺激(結果, フィードバック)が呈示されるような単純動作を用いた課題を採用し、行為結果の予測と実際の結果の一致不一致が運動主体感に影響を与えることを示してきた。一方、ヒトが日常生活で体験する多くは、車のドライブやスポーツといった連続動作であり、行為者は、行為結果を逐次処理する前に次の行為を実行する必要がある。そのため、予測と結果を正確に照合するのが難しい可能性がある。Oishi, Tanaka, and Watanabe (2018)では、連続的な運動課題を採用した。具体的にはターゲットまで白球を操作しながら運ぶ課題をさせ、課題後に与える成功と失敗のフィードバックが課題中の主体感に遡及的に及ぼす影響について検討したところ、ボタン押し回数などの課題内労力が統制された状況下において、最終的に呈示されるフィードバックが課題中に生じた主体感を遡及的に変調させることが分かった。この研究では、主体感の遡及的な変調のみに焦点を当てており、予期的な変調による効果は不明であった。そこで本研究では、実験参加者に継続的な球制御課題を遂行させた後、成功・失敗を示すフィードバックを客観的なパフォーマンス指標として呈示した。その際、運動主体感の評価をフィードバック呈示の前または後に行わせることで、継続動作を伴う課題により生じる主体感が直前の試行結果により予

期的な影響を受けるのかどうかを検討した。主な実験手続きとして、実験参加者は PC 上に呈示されている動く白球をボタン押しによって制御し、ターゲットまで導く白球制御課題を行った。ターゲットの色は、任意のタイミングで白色または青色に点滅していた。白球はターゲットに到着した後消えるが、ターゲットはその後も任意の時間点滅し続けた。白球がターゲットに到着してから 1.5 秒後の色が白（青）色であれば成功（失敗）であった。実験参加者は、白球をどれだけ制御できたように感じたか回答した。

#### （２）錯覚が主体感生成に与える影響

主体感の生成には、行為に対するフィードバックが必要であり、そのフィードバックを元に主体感のモデルを修正する。本研究では、行為に対するフィードバックとして錯覚刺激を呈示することで、実際には刺激が呈示されていない状況で、参加者に刺激が呈示されているかのように知覚させた。その際、偽運動主体感が生成されるのかどうかを検討した。実験では、ダブルフラッシュ錯覚と呼ばれる錯覚を用いた。これは視覚刺激を 1 度呈示するタイミングに合わせて聴覚刺激を短い時間間隔で二度呈示することで、視覚刺激が 2 度呈示されたように知覚する錯覚である。主な実験手続きとして、参加者には 1 回または 2 回のボタン押しを求め、そのフィードバックとして視覚刺激を 1 回または 2 回呈示し、またそれに合わせる形で聴覚刺激も呈示することでダブルフラッシュ錯覚を引き起こす条件も含めた。

#### （３）即時的なフィードバックによる反応促進

ターゲット刺激に対する運動後に感覚フィードバック（例：キー押し直後の音提示）が呈示されるとき、そのフィードバックが即時的であれば、後続のパフォーマンスが向上（例：反応時間の短縮）することが報告されている。本研究では、この現象が課題全体に対する動機づけの向上によるのか、特定の刺激や運動に関わる処理の促進によって生じるのかについて検討した。まず、Eitam et al. (2013)の追試実験を行った。実験では、赤いドット（ターゲット刺激）が、コンピュータのスクリーン上枠の左右 4 箇所のいずれかから出現し、下枠へと垂直に移動した。参加者はその出現位置に対応するキーをできるだけ早く正確に押すことが求められた。最初の実験で参加者はキー押しからターゲット消失までの遅延の有無（0ms: 即時条件 vs. 600ms: 遅延条件）によって 2 群に分けられた。反応の正誤と無関係にターゲットは消失するが、正反応によってのみスクリーン右上に表示されるスコア（正答数の表示）が増加した。複数の実験において、ターゲットの色が遅延情報を指定する操作、キー押しの場所が遅延情報を指定する操作、および時間的予測性の操作などを行い、各操作が反応促進に与える影響を検討した。

#### （４）行為結果に対する注意の時間窓

自分の行為によって生じた結果（呈示される刺激）は、行動とは独立に生じた外的刺激に比べて、より強く注意を引きつけることが分かっている（Kumar et al., 2015）。呈示される刺激が自身の行動結果として認識されるかどうかは行動と刺激の時間的な近接性に依存すると考えられ、例えば、行動後にすぐに刺激が呈示されれば、それは自身の行動結果として処理される可能性が高い。このような背景を元に、本研究では行動結果に対して生じる注意の促進の時間窓について、空間的な手がかりを用いた注意課題を用いて検討を行った。主な実験における手続きとして、課題は行動ブロックと観察ブロックに分けられた。両ブロックの各試行において、まず画面中央に白点（注視点）と、その左右に四角の白枠（プレースホルダ）が呈示された。プレースホルダの呈後に、注視点の色が赤に変化した。行動ブロックでは、注視点が赤くなった後、出来るだけ早くキーを押すことが求められ、キーが押された後は、左右のプレースホルダのいずれかが赤く点

減した（先行手がかり）。他方，観察ブロックでは，キー押しは求められず自動的にプレースホルダが点滅した。先行手がかりの呈示後に，左右いずれかのプレースホルダの中に白円（ターゲット）が呈示され，参加者はその位置に応じてキーを押した。行動結果間の遅延時間の操作として，キー押しから先行手がかりの呈示までの遅延時間について複数の条件を採用した。

#### （５）運動処理が記憶に及ぼす影響

ヒトの記憶は運動に依存することが先行研究によって示されている (Yebrá et al., 2019)。例えば，運動実行時に呈示された画像は良く記憶されることがわかっている。本研究ではターゲット刺激と画像を時間的に分離させた場合にも記憶促進が認められるかどうかを検証することで，運動による記憶促進の効果を検討した。主な実験の手続きとして，学習フェイズとテストフェイズを設けた。学習フェイズでは，運動を求める Go/No-go 課題（運動条件）と求めない Go/No-go 課題（統制条件）の２種類のブロックを用意した。両ブロックとも各試行において，色付きの枠だけが最初に呈示され，枠の消失後に画面中央に２枚の画像刺激が順次呈示された。参加者は枠の色に応じて，運動条件ではボタン押しの実行/抑制，統制条件では出現回数をカウントする/しないが求められた。運動条件では，１枚目の画像はボタン押しにより２枚目の画像に切り替わった。統制条件では，１枚目の画像から２枚目の画像に切り替わるタイミングは，それまでの試行でのボタン押しの平均反応時間に設定された。学習フェイズ後のテストフェイズでは，実験で使用した画像と新たな画像が１枚ずつ呈示され，参加者は再認判断を行った (old または new)。

#### ４．研究成果

下記に示す実験心理学的および認知科学的な成果に加え，追体験システムの開発も並行して進めた。試作例では，ソレノイドアクチュエータを上下に駆動させることで，指を操作し，指の真下に設置しているボタン押しが可能になった。またアクチュエータの数を拡張させることで，４本の指の独立した運動が可能になった。

##### （１）主体感の予期的変調と遡及的変調

実験の結果，成功および失敗のフィードバックは運動主体感を遡及的に変調させることが明らかとなり，先行研究の結果と一致していた。そして，連続して同じ成否のフィードバックが続くことによる主体感の見かけ上の変化は見られなかった。複数の実験の結果から，現在の試行のフィードバックを得る前に主体感を回答する条件では，直前の試行が成功フィードバックのときは失敗フィードバックの時に比べ，現試行中の主体感が高いことが分かり，予期的な変調が確認できた。しかし現在の試行のフィードバックを得た後に主体感を回答する条件では，予期的変調が見られなかった。これは，直前の試行により予期的な影響を受けた主体感が，現在の試行のフィードバックによって遡及的に書き換えられたことを示唆している。

##### （２）錯覚が主体感生成に与える影響

一連の実験の結果として，行為回数と見かけ上の視覚刺激の観察回数が一致していれば，高い主体感となることが明らかになった。例えば，自分の行為回数が２回で，ダブルフラッシュ錯覚による影響でフラッシュ観察回数が２回（実際の呈示は１回）であれば，行為-結果の随伴性が一致しているため主体感が高い状態となる。これは，行為と視覚刺激の知覚処理がなされた後に統合された結果として主体感が生成されていることを示唆しているものである。加えて，実際に視覚刺激が２回呈示された場合とダブルフラッシュ錯覚によって２回知覚した場合では，実際に呈示された方がより高い主体感となることも分かり，これは呈示された刺激の信頼度が主体感生成に影響を及ぼしていることを示唆している。

### ( 3 ) 即時的なフィードバックによる反応促進

まず, 先行研究での参加者間操作による効果を再現することができた. 次の実験でターゲット刺激の色によってフィードバックの遅延の有無を操作したところ (例: 赤色が遅延条件, 緑色が即時条件), 刺激間で反応時間の差は確認できなかった. 一方, 次の実験で運動の種類 (どの指でキーを押すか) による操作を行ったところ, 即時的なフィードバックが対応したキーでの反応時間は, 遅延フィードバックが対応したキーの反応時間に比べて短縮することが観察された. さらに, 最後の実験ではこの同キーにおける反応の促進が, 即時フィードバックを伴わない新奇ターゲット刺激に対しても生じることを明らかにした. これらの結果は, 即時フィードバックを引き起こした運動の実行が反応を促進していることを示唆する. さらに, 後続研究において, 時間的予測性の操作を行った場合, 予測の困難さによって反応時間は影響を受けなかった. この結果は, フィードバックの即時性が反応促進に寄与していることを示唆する.

### ( 4 ) 行為結果に対する注意の時間窓

実験の結果, 行動後に呈示された手がかりはほとんどの条件において受動的に観察した手がかりよりも大きな手がかり効果をもたらすことが分かり, これは先行研究を支持するものであった. そして, 手がかり効果は遅延時間によって調整されることも分かった. 試行間で遅延時間が一定な場合は, 行動直後に出現した手がかりが最も強く注意を捕捉した一方で, 遅延時間がランダムの場合では, 行動直後の注意促進が減弱していた. これは, 刺激の呈示タイミングのばらつきが狭い範囲にある場合では, ヒトはその全体的な分布を学習できるため相対的に早いタイミングでの刺激生起を予測しづらくなっている可能性がある. 他方, 刺激の呈示タイミングが予測可能な実験では, 課題依存の期待が生じなかったと考えられる. つまりこれらの実験結果は, 課題経験に基づくトップダウンな期待と行動の直後に知覚的結果が生じることを期待する事前信念が反映されたものであると解釈できる.

### ( 5 ) 運動処理が記憶に及ぼす影響

実験の結果, 運動条件のどちらの呈示タイミングにおいても課題要求の効果は認められず, 運動実行による記憶促進は確認できなかった. しかし, No-go 条件の post-item (2 枚目の画像) に対する課題種類の効果は確認され, 運動条件の方が統制条件よりもよく記憶されていたことが分かった. この結果は運動に関連する処理が記憶を促進したことを示す. しかしながら, 運動実行そのものではなく, 運動抑制時にも駆動される処理が記憶形成に重要な役割を果たす可能性を示唆している.

### 参考文献

- Eitam, B., Kennedy, P. M., & Tory Higgins, E. (2013). Motivation from control. *Experimental Brain Research*, 229, 475-484.
- Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 14-21.
- Kumar, N., Manjaly, J. A., & Sunny, M. M. (2015). The relationship between action-effect monitoring and attention capture. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144, 18-23.
- Oishi, H., Tanaka, K., & Watanabe, K. (2018). Feedback of action outcome retrospectively influences sense of agency in a continuous action task. *PLoS One*, 13, e0202690.
- Yebra, M., Galarza-Vallejo, A., Soto-Leon, V. et al. (2019). Action boosts episodic memory encoding in humans via engagement of a noradrenergic system. *Nature Communications*, 10, 3534.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Shimane Daisuke、Tanaka Takumi、Watanabe Katsumi、Tanaka Kanji	4. 巻 13
2. 論文標題 Motor engagement enhances incidental memory for task-irrelevant items	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	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） 10.3389/fpsyg.2022.914877	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 Kanji、Watanabe Katsumi	4. 巻 47
2. 論文標題 Sense of agency with illusory visual events.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance	6. 最初と最後の頁 238 ~ 251
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1037/xhp0000886	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 Tanaka Takumi、Watanabe Katsumi、Tanaka Kanji	4. 巻 239
2. 論文標題 Immediate action effects motivate actions based on the stimulus?response relationship	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 67 ~ 78
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00221-020-05955-z	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 Oishi Hiroyuki、Tanaka Kanji、Watanabe Katsumi	4. 巻 199
2. 論文標題 Sense of agency in continuous action is influenced by outcome feedback in one-back trials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Psychologica	6. 最初と最後の頁 102897 ~ 102897
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.actpsy.2019.102897	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 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Tanaka Takumi, Tanaka Kanji
2. 発表標題 The flash-grab effect decreases when the flash is caused by action
3. 学会等名 The 32nd International Congress of Psychology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tanaka Takumi, Tanaka Kanji
2. 発表標題 The temporal window of attention to self-generated stimuli
3. 学会等名 The 2021 Vision Sciences Society meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島根大輔・田中拓海・渡邊克巳・田中観自
2. 発表標題 Go/No-go課題における運動処理が課題無関連な刺激の記憶を促進する
3. 学会等名 日本心理学会第86回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中拓海・田中観自
2. 発表標題 行動結果に対する視覚的注意は時間的予測性に依存する
3. 学会等名 日本基礎心理学会第40回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中観自
2. 発表標題 主体的な行為の認知システム
3. 学会等名 若手創発ユニット「ヒトの適応を促すヒト-機械システム研究ユニット」ワークショップ（名古屋大学）（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中観自
2. 発表標題 主体的な行為を支える認知システム
3. 学会等名 第21回感性学研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tanaka Takumi, Watanabe Katsumi, Tanaka Kanji
2. 発表標題 Immediate action-effects facilitate response speed via stimulus-response association
3. 学会等名 42nd Annual Virtual Meeting of the Cognitive Science Society（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中拓海，島根大輔，渡邊克巳，田中観自
2. 発表標題 行動の直後に知覚された刺激の記憶は増強される
3. 学会等名 日本心理学会第84回大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 大石博之, 田中観自, 渡邊克巳
2. 発表標題 行為選択の自由度が行為 結果間の時間知覚に与える影響
3. 学会等名 日本基礎心理学会第38回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中拓海, 渡邊克巳, 田中観自
2. 発表標題 課題非関連なフィードバックによる反応の促進は運動に依存する
3. 学会等名 日本基礎心理学会第38回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大石博之, 田中観自, 渡邊克巳
2. 発表標題 継続行為における行為主体感の予期的・遡及的変調
3. 学会等名 日本認知心理学会第17回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Oishi Hiroyuki, Tanaka Kanji, Watanabe Katsumi
2. 発表標題 Sense of agency in continuous action is influenced by outcome feedback in one-back trials
3. 学会等名 The 23rd Meeting of the Association for the Scientific Study of Consciousness (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kanji Tanaka
2. 発表標題 Sense of agency for action-effect grouping with illusory visual events
3. 学会等名 International Convention of Psychological Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

田中観自研究室ホームページ <a href="https://www.artsci.kyushu-u.ac.jp/~kanjitanaka/">https://www.artsci.kyushu-u.ac.jp/~kanjitanaka/</a>
--

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	渡邊 克巳  (Watanabe Katsumi)  (20373409)	早稲田大学・理工学術院・教授    (32689)	

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
---------	---------