

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 18 日現在

機関番号：32610

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350776

研究課題名(和文) 運動の楽しさを生むコントロール感：身体図式の変化が運動主体感に及ぼす影響

研究課題名(英文) Sense of Agency: relationship between bodily self-consciousness and body representation

研究代表者

渋谷 賢 (Satoshi, Shibuya)

杏林大学・医学部・講師

研究者番号：30406996

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：我々は自分の手を“私の手である”と感じ(身体所有感)、その手を意図的に動かすと“この手を動かしたのは私である”と感じる(運動主体感)。本研究は、仮想の手を動かすことで生じる身体錯覚を利用して、身体所有感と運動主体感の両方が脳内の複数の身体表象に異なる影響を及ぼす可能性を明らかにした。また、視覚フィードバックの時間遅れを利用し、空間目標に沿って仮想身体を周期的に動かしている時、目標からの逸脱度よりも運動のばらつき度に関する認知的推論が仮想手への運動主体感と深く関連していることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Senses of body ownership and agency are fundamental to bodily self-consciousness. Body ownership refers to the feeling that body (parts) belongs to one's own, while agency refers to the feeling of controlling one's own actions and causing external events. Our results suggest that body ownership and agency over a virtual hand may differentially modulate various body representations in the brain. Moreover, using delayed visual feedback, we suggest that movement variability during virtual hand illusion induction affected agency directly, but did body ownership indirectly via agency.

研究分野：神経科学, 実験心理

キーワード：身体所有感 運動主体感 身体表象 身体錯覚 多感覚統合

1. 研究開始当初の背景

身体部位が自己に帰属していると感じる身体所有感 (sense of body ownership) とこの身体を動かしているのは“私”であると感じる運動主体感 (sense of agency) は、自己感の基盤であると考えられる。これらの感覚がどのような脳内プロセスで生じるのか、どのように相互作用するのか、身体表象 (身体図式) とどのように関わっているかは未だ十分に理解されていないのが実情である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、運動主体感、身体所有感、身体表象の関連性を解明することであった。

3. 研究の方法

(1) 実験 1 :

被験者：健常被験者 20 名 (男性 8 名、女性 12 名) が本実験に参加した。

装置および手続き：被験者の課題は視覚遮断された右手 (マニピュランダム) と運動して動くバーチャルハンド (以下、VH) の中指先端を直径 10 cm の円に沿って時計回りに動かすことであった。VH は実際の手の 12cm 前方に呈示された。実験条件は 2 (手の一致性：一致 vs 不一致) × 2 (運動モード：能動 vs 受動) の要因デザインから選択された (計 4 条件)。一致条件では VH と実際の手の方向は一致しており、不一致条件では VH は実際の手に対して中指を中心に 180 度回転していた。受動条件では、被験者の手は実験者によって受動的に動かされた。1 条件は上述した VH の操作を行う 2 回の錯覚誘発期 (1 回 2 分) と 3 回の手の位置判断課題から成った。1 回目の錯覚誘発期前に 3 種類の位置判断課題がプレテストとして実施された。1) 視覚判断課題：被験者の右手周辺にルーラーが表示され、被験者の右手中指先端の位置を口頭で回答した。2) リーチング課題：右手の左 10cm の左、3~9cm 上にターゲット (視覚刺激) が呈示され、被験者は開始音を合図に出来るだけ素早く右手中指先端をターゲットの位置に動かすことが求められた。3) 両手マッチング課題：右手の位置が固定された後、左手を引いた位置から右手の対称位置に動かすことが求められた。半分の被験者は 1 回目の誘発期後に 1) と 3)、2 回目の誘発期後に 2) の課題をポストテストとして実施した。残りの半分の被験者は、逆の順序で行った。各条件終了後、被験者は VH 錯覚に関する質問紙に 7 件法 (-3: 全くそう思わない ~ +3: 強くそう思う) で回答した。質問紙は先行研究を参考に身体所有感、運動主体感、身体所有感のコントロール、運動主体感のコントロールの 4 つのカテゴリーから成り、各カテゴリーに対して 2 つの質問が設定された。

データ解析：1) と 3) の課題では、ポストテストからプレテストの差分を固有感覚ドリフトとした。2) の課題では、リーチン

グ運動の速度が最大値になる位置が決定され、開始位置と最大の速度の位置から運動角度を算出した。その後、ポストテストからプレテストの差分を算出した後 (角度の変化量)、三角関数を用いて手の位置のドリフト量が算出された。

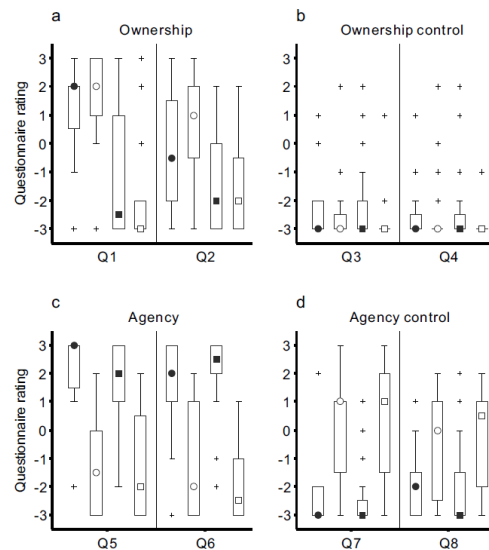
(2) 実験 2

被験者：健常被験者 18 名 (男性 8 名、女性 12 名) が本実験に参加した。

装置：実験 1 と同様の VR 装置を用いた。被験者は能動的に右手を動かすことにより、VH を円に沿って正確に操作することであった。被験者の動きと VH の動きの間に視覚的フィードバック遅延を系統的に挿入した。遅延時間は、90、210、330、450、570ms の 5 条件であった。各条件で 2 分間の VH の操作の後、被験者は実験 1 と同様の質問紙に回答した。

4. 研究成果

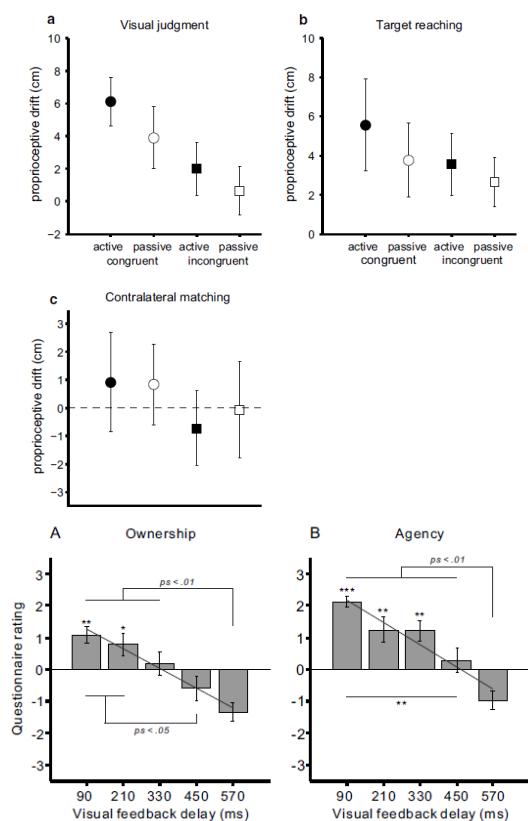
(1) 固有感覚ドリフトにおける仮想手錯覚の課題依存性効果の発見



質問紙による自己報告の結果は、手の一致条件において VH に対する身体所有感が生じ、能動条件においてのみ運動主体感が生じたことを示した。この結果は、身体所有感と運動主体感の二重乖離を示した従来の報告と一致する。

身体表象の変容を反映する PD の結果は、課題依存性を示した。すなわち、視覚判断課題とリーチング課題による PD は身体所有感 (手の一致性) と運動主体感 (運動モード) のいずれの影響も受けたのに対し、両手マッチング課題による PD は身体所有感にのみ影響を受けた。この結果は、身体所有感と運動主体感が複数の身体表象に異なる影響を及ぼす可能性を示唆している。類似した結果を示した視覚判断課題とリーチング課題では、ルーラーやターゲット (視覚刺激) は手の周辺に呈示された。サルスの電気生理学的実験やヒト

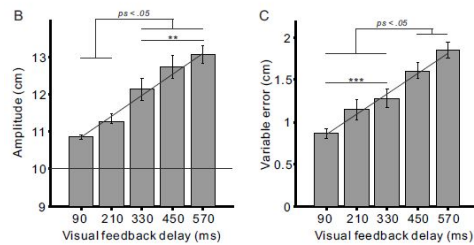
の行動実験は、手および手周辺の空間が多感覚情報に基づいて表現されていることを示唆している。従って、視覚判断課題とリーチング課題は、多感覚統合に基づく身体表象を評価したと考えられる。これに対し、両手マッチング課題では、左右の手からの固有感覚情報の比較を要求される。前腕のマッチング課題を用いた先行研究は、両腕からの固有感覚入力片腕の位置判断に寄与することを示している。それゆえ、今回の両手マッチング課題は、両腕からの固有感覚情報に基づいた身体表象を評価しているかもしれない。VHに対する身体所有感と運動主体感が複数の身体表象に異なる影響を及ぼした結果は、これらの身体性自己意識が異なる要素であることを支持する。



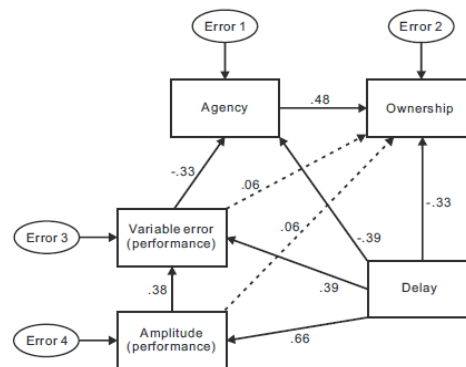
(2) 身体的自己意識における運動パフォーマンスに関する認知的推論の影響の発見

質問紙による自己報告の結果は、身体所有感および運動主体感のいずれも視覚フィードバック遅延の増加と共に、線形的にスコアが減少した。t 検定の結果は、所有感が 90, 210ms 条件で、運動主体感が 90-330ms 条件で有意に生じていたことを示した。

また、運動パフォーマンスとして、円運動の大きさと変動性を指標として調べたところ、いずれの指標も視覚フィードバック遅延の増加と共に顕著なエラーの増加が確認された。身体所有感、運動主体感、運動パフォーマンス(円運動の大きさと変動)、視覚フィードバック遅延の5つの変数の因果関係を検討するため、パス解析を実施した。その結果、以下のような適合度の高いモデルが示



された。このモデルによると、運動主体感遅延から影響に加えて、運動パフォーマンスのうちの、変動性によって影響を得ていることが示された。このことは、被験者が VH 操作中の運動パフォーマンスを認知的に評価、推論し、そのことが最終的な主体感の判断に影響したことを示している。これに対し、身体所有感の方は運動パフォーマンスからの直接的な影響を殆ど示さなかった。運動主体感から所有感へ影響を及ぼすことを考えると、運動パフォーマンスは身体所有感に主体感を介して、間接的に影響を及ぼしていたと考える。



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

S. Shibuya, S. Uenaka & Y. Ohki: Body Ownership and Agency: Task-Dependent Effects of the Virtual Hand Illusion on Proprioceptive Drift. *Experimental Brain Research* 235/1, 2017, pp. 121-134, 査読有 DOI: 10.1007/s00221-016-4777-3

T. Inamura, S. Uenaka, S. Shibuya, Y. Ohki, Y. Oouchida & S. Izumi: Development of VR Platform for Cloud-based Neurorehabilitation and its application to research on sense of agency and ownership. *Advanced Robotics* 31/1-2, 2017, pp. 97-106, 査読有 DOI: 10.1080/01691864.2016.1264885

T. Nakajima, T. Tazoe, M. Sakamoto, T. Endo, S. Shibuya, L. A. Elias, R. A. Mezzarane, T. Komiyama & Y. Ohki: Reassessment of Non-Monosynaptic Excitation from the Motor Cortex to

Motoneurons in Single Motor Units of the Human Biceps Brachii. *Frontiers in Human Neuroscience* 11:19, 2017, 査読有  
DOI: 10.3389/fnhum.2017.00019

Shibuya, S. Uenaka & Y. Ohki: Is this my hand? Body-ownership and the rubber hand illusion. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine* 4/2, 2015, pp. 213-216, 査読有  
DOI: 10.7600/jpfsm.4.213

S. Hamasaki, Q. An, W. Wen, Y. Tamura, H. Yamakawa, A. Yamashita, H. Asama, S. Shibuya & Y. Ohki: Evaluating effect of sense of ownership and sense of agency on body representation change of human upper limb. *International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS)*, 2015, pp. 1-5, 査読有  
DOI: 10.1109/MHS.2015.7438328

T. Takahashi, K. Kansaku, M. Wada. S. Shibuya, S. Kitazawa: Neural correlates of tactile temporal order judgment in humans: an fMRI study. *Cerebral Cortex* 23/1, 2013, pp. 1952-1964, 査読有  
DOI: 10.1093/cercor/bhs179

[学会発表](計 13 件)

渋谷賢, 畝中智志: 仮想手の操作が身体性自己意識と身体表象に及ぼす影響. 日本スポーツ心理学会 43 回大会. 札幌. 平成 28 年 11 月 4-6 日

畝中智志, 渋谷賢: ラバーハンド錯覚中の運動観察に伴う誘発運動. 日本スポーツ心理学会 43 回大会. 札幌. 平成 28 年 11 月 4-6 日

S. Shibuya, S. Uenaka, Y. Ohki. Observations of other's actions elicit similar movements if the observer feels body ownership of the acting body part. The 10th ICME International Conference on Complex Medical Engineering, Tochigi, 平成 28 年 8 月 4-6 日

S. Uenaka, S. Shibuya, Y. Ohki. Brain activities reflecting tactile sensation in an artificial hand during the concurrent stimulation with the real hand. The 10th ICME International Conference on Complex Medical Engineering, Tochigi, 平成 28 年 8 月 4-6 日

渋谷賢・畝中智志. 実際の手と近接したラバーハンドの操作 - 身体所有感と固有感覚ドリフトの乖離 -. 日本スポーツ心理学会 42 回大会. 福岡. 平成 27 年 11 月 21-23 日

畝中智志・渋谷賢. 身体性自己意識の長期変容に伴う身体表現および脳活動の変化. 日本スポーツ心理学会 42 回大会. 福岡. 平成 27 年 11 月 21-23 日

渋谷賢・大木紫・畝中智志. 操作する身体オブジェクトの方向性がドリフト運動に与える影響. 計測自動制御学会・システム情報部門学術講演会 2015. 函館. 平成 27 年 11 月 18-20 日

畝中智志・渋谷賢・大木紫. 仮想現実下の仮想手の操作が身体性自己意識および脳活動に与える影響. 計測自動制御学会・システム情報部門学術講演会 2015. 函館. 平成 27 年 11 月 18-20 日

S. Uenaka, S. Shibuya, Y. Ohki. Interactions between agency and ownership by moving virtual hand illusion. *Society for Neuroscience 2015, Chicago, USA*, 平成 27 年 10 月 17-21 日

渋谷賢・大木紫・畝中智志. 操作する身体オブジェクトの方向性が運動に及ぼす影響. 日本認知科学学会第 32 回大会. 千葉. 平成 27 年 9 月 18-20 日

Y. Ohki, S. Shibuya, S. Uenaka. Effects of manipulation of virtual body on body representations and bodily self-consciousness. The 9th ICME, International Conference on Complex Medical Engineering, Okayama, 平成 27 年 6 月 18-21 日

S. Shibuya, Y. Ohki. Changes of bodily self-consciousness and body representations by manipulating virtual body part. The 37th annual meeting of the Japan Neuroscience Society, Yokohama, 平成 26 年 9 月 11-13 日

渋谷賢. 仮想現実下の到達運動による身体保持感と運動主体感の検討. 日本スポーツ心理学会 40 回大会. 東京. 平成 25 年 11 月 1-3 日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渋谷賢 (SHIBUYA, Satoshi)

杏林大学・医学部・講師

研究者番号: 30406996