

令和 元年 6 月 12 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02839

研究課題名（和文）自己と他者の「一体感」形成の脳メカニズム

研究課題名（英文）The neural mechanism of the "sense of unity" between self and other

研究代表者

嶋田 総太郎（Shimada, Sotaro）

明治大学・理工学部・専任教授

研究者番号：70440138

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ミラーシステムと報酬系と呼ばれる脳領野の活動に着目し、自己と他者の「一体感」がどのように形成されるかについて、認知神経科学的研究を行った。特に応援と被模倣という2つの社会性認知課題を取り上げ、報酬の共有化が一体感形成に重要であるという仮説を検証した。その結果、報酬を共有することによってミラーシステムと報酬系の活動が促進され、自己と他者のより強い一体感が醸成されることを支持する結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、ミラーシステムと報酬系が自己と他者の「一体感」を形成する上で重要な役割を果たすことを示した点で学術的に新規で重要である。特に応援課題と他者に模倣される被模倣課題という異なる2つの課題を用いて、同様の結果を得たことは本研究の結果の妥当性を示している。報酬を共有することによって自己と他者の一体感が形成されるという本研究の知見は、会社や学校などにおける効果的なグループの形成など、さまざまな社会的場面に応用可能である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we conducted a cognitive neuroscience study to understand how the "sense of unity" emerges between the self and others, especially in relation to the activation of the mirror neuron system and the reward system in the brain. We addressed two social cognitive tasks, namely cheering and being-imitated tasks, to see whether the sharing of reward is important for the formulation of the sense of unity or not. The results showed that sharing reward simultaneously activated the mirror neuron system and the reward system and enhanced the sense of unity between the self and others.

研究分野：認知脳科学

キーワード：社会性 ミラーシステム 脳機能イメージング ハイパースキャンニング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年の社会性認知神経科学研究から、大脳皮質の感覚運動ネットワーク上の身体運動表現が自己と他者で共通していることが示されている。運動前野、頭頂葉、一次運動野などから成るミラーシステムと呼ばれる脳領域は、自己が運動するときと他者が運動するのを観察したときに同じように活動することが申請者の研究によりわかっている (Shimada & Oki, 2012; Shimada & Hiraki, 2006, 他)。一方で、自己はいかにして他者と繋がり、社会ないし共同体を形成していくのかを明らかにすることは認知科学・社会学の大きな課題であるが、ミラーシステムがこのプロセスにどのような役割を果たしているのかは未解決の問題である。

(2) これに関して申請者らは、応援によって自己と他者の一体感が形成されるプロセスを研究してきており、自分が応援している他者が成功するのを見たときに、ミラーシステムと報酬系 (内側前頭前野) の機能的結合が見られることを見出している (Shimada et al., 2016)。これは、他者の報酬をあたかも自己のものであるかのように内的に受け取る (代理報酬) 過程において、ミラーシステムによる自他の身体表現の同化と報酬処理が共起し、このことが一体感を促した可能性が示唆される。しかしながらミラーシステムと報酬系の機能的結合がどのようなときにどのように形成されるのか、そのダイナミクスはまだ十分には明らかになっていない。

(3) 哲学者のホネットは、ヘーゲルの「承認」概念を継承しながら、主体間の社会的行為が成立する過程を見極めようとしている。ホネットはその著作『承認をめぐる闘争』(2014)の中で、相互承認 (mutual recognition) を自己に肯定的な反応を示す他者を通して自己を体験するという経験であるとし、社会的共同体を形成する上で重要であると主張している。これは十分に認知科学的に検証しうる概念であるが、これを明示的に扱った実験研究は申請者の知る限り存在しない。たとえば他者から好意的なフィードバック (笑顔など) を受けることは承認の一形態であるが、既存研究ではこれらは情動認識のパラダイムで扱われることが多く、自己と他者の一体感という観点からの研究は殆ど存在しない。これに近いものとして、「他者から模倣される / 共感される」という実験パラダイムが考えられるが、相互模倣の研究がいくつか存在するものの、そこから自己と他者の一体感がどのように湧出するかという部分まで踏み込んだ研究は申請者の知る限り存在しない。

2. 研究の目的

本研究では、ミラーシステムと報酬系の脳活動解析を軸として、自己と他者の一体感がどのように形成されるのかを詳細に検討する。特に応援と被模倣を主な認知課題として取り上げ、近赤外分光法 (NIRS)、脳波 (EEG)、機能的核磁気共鳴法 (fMRI) を用いた 2 人同時脳活動計測 (ハイパースキャニング) 実験および脳領域間の機能的結合解析を軸として脳メカニズムの検証を行う。主体間の一体感が形成される過程を経て共同体がいかに形成されるのかについて考察を行う。

(1) 他者を応援することによって得られる一体感がどのような脳メカニズムによって実現されるのかを脳活動計測を通じて明らかにする。特に応援している他者の成功によって得られる代理報酬がミラーシステムと報酬系のネットワークを賦活させる機序を明らかにする。実験 I-1 では、他者の成功率を操作することで代理報酬の量を変化させたときのミラーシステムと報酬系の活動変化の解析を行う。このとき応援前後の共感反応を調べることによって代理報酬がどのように一体感を形成していくのかを検討する。実験 I-2 では、応援者と被応援者の脳活動をハイパースキャニングによって同時計測する。ここでは 2 者間の脳活動の機能的結合が強いほど、両者の感じる一体感も強いという仮説を検証する。

(2) 他者から承認されるという経験がミラーシステムと報酬系をどのように賦活し、自己と他者の一体感の強化に繋がるかを明らかにする。実験 II では他者からの好意的なフィードバックとして「模倣されること」の効果を検証する。fMRI 実験を通して、相互承認によって一体感が形成される脳メカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 実験 I-1: 代理報酬による一体感の形成

実験 I-1 では、簡単な一人ゲームを行っている 2 人のプレイヤーを応援しているときの脳活動を計測する。先行研究 (Shimada & Abe, 2009; 2010; Shimada et al., 2016) より、応援しているプレイヤーが勝ったときに観察者のミラーシステムおよび報酬系の活動が増加することがわかっている。本研究では、勝率の高いプレイヤー (高勝率条件) と低いプレイヤー (低勝率条件) を用意し、それぞれのプレイヤーに対するミラーシステムの活動を調べることで代理報酬の獲得と一体感との関係性について詳細な検討を行う。ここでは、応援の前後でプレイヤーが痛み刺激を受けているのを観察する課題 (共感課題) を挿入し、このときの痛み関連の脳活動および皮膚電気反応の比較を行う。一体感が高いほど応援後では共感活動が強くなることが予想される。

(2) 実験 1-2: 応援中の 2 者同時脳活動計測

実験 1-2 では、競争的ゲーム（ジャンケン）を行っているプレイヤーとその観察者の 2 者の脳活動を同時計測（ハイパースキャニング）する。この課題では、観察者がプレイヤーを応援することで報酬の共有が達成され、応援者とプレイヤーとの一体感が形成されると考えられる。このとき 2 者の一体感の指標として、2 者間脳活動の機能的結合を用いる。このとき応援条件として、観察者がプレイヤーを応援しながらジャンケンを見る条件（応援条件）の他に、プレイヤーが後出し（いかさま）をしていないかを監視する役割を観察者に課す条件（コントロール条件）を設定し、条件間で 2 者の脳活動の機能的結合強度に差が見られるかを調べる。脳活動計測には NIRS と EEG を用いる。NIRS は血流動態、EEG は電気的活動という脳活動の異なる側面を計測できるので、両者を併用することで多角的な検討を行うことが可能である。

(3) 実験 II: 被模倣による一体感の形成

実験 II では、他者に自分の行動を模倣されること（被模倣）による一体感の形成を調べる実験を行う。模倣の研究は数多くなされているが、被模倣は相互模倣の実験パラダイムで少数の研究があるのみであり、被模倣側の脳活動に焦点を当てた研究はほとんどない。被模倣の行動的効果として、模倣された側が模倣した人に対して高い好感度を持つようになるカメレオン効果と呼ばれる現象が知られている（Chartrand & Bargh, 1999）。本研究では書画被模倣課題を用意し、被験者が書いた図形を模倣する他者（被模倣条件）と模倣しない他者（統制条件）に対する脳活動を fMRI を用いて計測する。被模倣条件時にミラーシステムと報酬系の活動および両者の機能的結合が見られるか、他者に対する好感度や一体感についての主観的評価と脳活動の相関が見られるかを検証する。

4. 研究成果

(1) アンケート結果から、応援課題において高勝率条件のプレイヤーに対して抱く一体感は低勝率条件のプレイヤーに対してよりも有意に高く、共感課題における共感のスコアも高勝率条件の方が低勝率条件より高かった。応援後の共感課題での脳活動と応援前の共感課題の脳活動の差を求めたところ、高勝率条件では低勝率条件よりもミラーシステム領域に含まれる運動前野で有意な活動が見られた。この結果は、応援課題で報酬の共有（代理報酬）が行われることで他者との一体感が高められ、その一体感がミラーシステムの活動による他者の痛みへの共感を強めることが示された。この研究の予備的成果は国際会議で発表され（Nakajima & Shimada, 2018）、現在、国際論文誌へ投稿準備中である。

(2) 応援課題時のプレイヤーと応援者の 2 者の脳活動を NIRS を用いてハイパースキャニングした。実験ではプレイヤーと実験者が実際にじゃんけんをしているときの、プレイヤーと観察者の左感覚運動野を NIRS で同時計測した。観察者は応援群と統制群に振り分けられ、応援群では観察者はプレイヤーを応援するように、一方の統制群ではプレイヤーと実験者が後出しをしないかをジャッジするように教示した。実験後に観察者にアンケートを取ったところ、応援群では実験者よりもプレイヤーに対して強い一体感を抱いていたが、統制群ではそのような差は見られなかった。

観察者がプレイヤーのじゃんけん動作を観察しているときと自らがジャンケン動作をしているときの脳活動を計測したところ、応援群では運動前野、一次運動野と上頭頂小葉が、統制群では運動前野のみがミラーシステムとして同定された。これは応援群では、応援をすることによって自己とプレイヤーの一体化が起こり、自己身体イメージに関わる前頭 - 頭頂ネットワークが広く活動したのに対し、統制群では他者の動作をジャッジするという少し醒めた視点からの観察だったので、そこまで広範な活動が生じなかった可能性がある。興味深いことに、応援群のミラーシステムでは、先行研究（Shimada & Abe, 2009; 2010）と同様に、プレイヤーが勝ったときに強い活動がみられたが、負けやあいこのときには活動が見られなかった。統制群にはそのような条件間の違いは見られなかった。

次にプレイヤーと観察者の脳間の機能的結合を調べたところ、プレイヤーの運動野と観察者のミラーシステム（上頭頂小葉）の間に強い結合が見られた。この結合はプレイヤーが負けたときよりも勝ったときの方が強く、また統制群よりも応援群で有意に強かった。さらにこの結合の強さは、応援群の観察者がプレイヤーに対して感じた一体感のスコアと有意な相関を示した。これらの結果は、応援をすることによってプレイヤーと観察者の一体感が形成され、この一体感の程度はプレイヤーと観察者の脳間の機能的結合の強さから推測できることを示している。なお、この成果は国際論文誌に発表した（Koide & Shimada, 2018）。

(3) 自分の書字を模倣をする他者とそうでない他者に対する好感度については有意差が見られなかったが、文字に対する好感度については対照条件よりも被模倣条件で提示された文字の方が有意に高かった。このことから、今回の実験において書字動作を模倣されることによってカメレオン効果が起きることが確認できた。

実行課題と観察課題の両方で活動した領域を調べたところ、左右の運動前野がミラーシステムとして同定された（ $p < 0.05$, FWE-corrected）。この領域の脳活動を条件間で比較したとこ

る、対照条件よりも被模倣条件で有意に大きく活動していることが示された。さらに、これらの左右運動前野を seed として機能的結合解析 (PPI 解析) を行ったところ、対照条件よりも被模倣条件のときに、前帯状回 (ACC) との強い機能的結合が見られた。さらに左右運動前野と ACC との機能的結合の強さとアンケートスコアの相関を調べたところ、右運動前野と ACC の機能的結合の強さと観察課題における文字の好感度 (被模倣条件 - 対照条件) に正の相関が見られた ($r=0.57$, $p<0.05$)。この結果はミラーシステムと報酬系 (ACC) の機能的結合がカメレオン効果と関係していることを示している。この成果は、現在、国際論文誌に投稿準備中である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

1. 開一夫, 今井倫太, 嶋田総太郎 (2019) Real World 認知科学: インタラクシオン研究の新たな地平. 人工知能, 34(2), 236-244.
2. Yuki Tsuji, Sotaro Shimada (2018) Socially anxious tendencies affect impressions of others' positive and negative emotional gazes. *Frontiers in Psychology*, 9, 2111.
3. Tadayoshi Koide, Sotaro Shimada (2018) Cheering enhances inter-brain synchronization between sensorimotor areas of player and observer. *Japanese Psychological Research*. 60(4), 265-275.
4. Satoshi Shibuya, Satoshi Unenaka, Takuro Zama, Sotaro Shimada, Yukari Ohki (2018) Spontaneous imitative movements induced by an illusory embodied fake hand. *Neuropsychologia*, 111, 77-84.
5. Takuro Zama, Yoshiyuki Takahashi, Sotaro Shimada (2017) The effects of trajectory and endpoint errors in a reaching movement on the sense of agency. *Psychology*, 8, 2321-2332.
6. Yuki Tsuji, Sotaro Shimada (2017) Socially anxious tendencies affect neural processing of gaze perception. *Brain and Cognition*. 118. 63-70.
7. Yukiko Ogawa, Sotaro Shimada (2016) Story understanding in non-explanatory film affects viewers' premotor activity and empathy for fictional characters. *Neuroscience and Neuroeconomics*, 5, 37-44.
8. Mohamad Arif Fahmi Ismail, Sotaro Shimada (2016) 'Robot' Hand Illusion under Delayed Visual Feedback: Relationship between the Senses of Ownership and Agency. *PLoS ONE* 11(7): e0159619.
9. 小林まおり, 土田江一郎, 上野佳奈子, 嶋田総太郎 (2016) ミラーニューロンシステムの活動計測による 3 次元音場再現システムの定量的評価. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 21(1), 73-79.
10. 橋田浩一, 嶋田総太郎, 今井むつみ (2016) 仮説検証サイクルと記号設地. 認知科学, 23(1), 65-73.

[学会発表] (計 24 件)

1. Mizuki Nakajima, Sotaro Shimada (2018) Enhancement of empathy for other's pain by vicarious reward: A skin conductance response study. 48th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2018), Online Proceedings, 077.23, San Diego.
2. Atsushi Yumoto, Sotaro Shimada (2018) Back projection of visual stimulation onto heart rate during cardio-visual rubber hand illusion. 48th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2018), Online Proceedings, 077.23, San Diego.
3. 嶋田総太郎 (2018) 応援の脳メカニズム: We-mode の視点から、シンポジウム「We-modeを支える要因: リズム・同期、共同行為の視点から」, 日本心理学会第 82 回大会、仙台。
4. 白石壮太, 嶋田総太郎 (2018) 共同作業における運動主体感の脳波計測、日本認知科学会第 35 回大会、大阪。
5. 都地裕樹, 嶋田総太郎 (2018) 感情が含まれた他者視線の印象形成に社交不安傾向が与える影響、日本認知科学会第 35 回大会、大阪。
6. 小川有希子, 嶋田総太郎 (2018) チャップリンの身体の巧みが誘発する笑いの神経科学的検証と考察、日本認知科学会第 35 回大会、大阪。
7. 嶋田総太郎 (2018) Neural mechanism of cheering and vicarious reward、シンポジウム「身体運動から社会認知へ: 多様な過程の統合的理解を目指す」, 第 41 回日本神経科学大会、神戸。
8. Masahiro Shiraishi, Sotaro Shimada (2018) Inter-brain synchronization during cooperative joint action reflects the sense of joint agency. 24th Annual Meeting of the Organization on Human Brain Mapping (OHBM2018), Singapore.
9. Yuta Inagaki, Tatsuya Matsuzaki, Kanako Ueno, Sotaro Shimada (2018) Intersubject correlation analysis of EEG rhythm during listening to music. 24th Annual Meeting of the Organization on Human Brain Mapping (OHBM2018), Singapore.

10. Masaki Kato, Sotaro Shimada (2018) Differences between neural representations of bimanual and unimanual movements in human EEG. 24th Annual Meeting of the Organization on Human Brain Mapping (OHBM2018), Singapore.
11. Yuki Tsuji, Sotaro Shimada (2017) Socially anxious tendencies affect impression of the other's happy and disgusting gazes. 47th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2017), Online Proceedings, 73.01, Washington, DC.
12. Yusuke Hirako, Takaaki Ito, Sotaro Shimada. (2017) Intersubject correlation analysis of brain activity when viewing videotaped teacher's explanation. 47th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2017), Online Proceedings, 433.05, Washington, DC.
13. Tomoyuki Momokawa, Kanako Ueno, Sotaro Shimada (2017) Neural processing of delayed auditory feedback of involuntary self-body movement. 47th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2017), Online Proceedings, 489.05, Washington, DC.
14. Aziem Athira Abdullah、中島瑞貴、嶋田総太郎 (2017) 代理報酬が他者への共感に与える影響:皮膚電気反応による検討、日本認知科学会第34回大会論文集、金沢大学、CD-ROM.
15. Mizuki Nakajima, Aziem Abdullah, Sotaro Shimada (2017) Enhancement of empathy for pain by vicarious reward measured with skin conductance response. 23th Annual Meeting of the Organization on Human Brain Mapping (OHBM2017), p.162, Vancouver.
16. Atsushi Yumoto, Sotaro Shimada (2017) The effect of cardio-visual feedback on rubber hand illusion. 23th Annual Meeting of the Organization on Human Brain Mapping (OHBM2017), p.80, Vancouver.
17. Tsukasa Inomata, Takuro Zama, Yu Inoue & Sotaro Shimada (2016) Vicarious reward enhances the mirror neuron system activity: An EEG study. 46th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2016), Online Proceedings, 69.03, San Diego.
18. Yuki Tsuji, Sotaro Shimada (2016) Socially anxious tendency affects discrimination of emotions in other's gaze. 46th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2016), Online Proceedings, 268.26, San Diego.
19. Tadayoshi Koide, Sotaro Shimada (2016) Effect of cheering on functional connectivity between the player's and the observer's brain activity during a competitive game. 46th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2016), Online Proceedings, 268.11, San Diego.
20. Yusuke Hirako, Tadayoshi Koide, Takaai Ito, Sotaro Shimada (2016) Intersubject correlation analysis of students' brain activity during listening to teacher's explanation. 46th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2016), Online Proceedings, 744.18, San Diego.
21. 都地裕樹、嶋田総太郎 (2016) 他者の視線に対して抱く感情に社交不安傾向が与える影響、日本認知科学会第33回大会論文集、北海道大学、CD-ROM.
22. 小出允善、嶋田総太郎 (2016) 応援が対戦ゲームにおけるプレイヤーと観察者の脳機能結合に与える影響 -二人同時脳活動計測による検討-、日本認知科学会第33回大会論文集、北海道大学、CD-ROM.
23. Aziem Athira Abdullah、尾崎明美、小出允善、嶋田総太郎 (2016) 代理報酬によるミラーニューロンシステムの活動変化、日本認知科学会第33回大会論文集、北海道大学、CD-ROM.
24. Aziem Athira Abdullah, Akihiro Sato, Madoka Matsumoto, Yukihito Yomogida, Kenji Matsumoto, Sotaro Shimada (2016) Functional connectivity between dorsomedial prefrontal and motor cortices during being imitated. The 22nd Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping (OHBM2016), p.167, Geneva.

〔図書〕(計2件)

1. 嶋田総太郎 (2017) 身体化された認知, 「人工知能学大辞典」人工知能学会(編), 共立出版, pp.121-123.
2. 嶋田総太郎 (2017) 「認知脳科学」コロナ社.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.isc.meiji.ac.jp/~sshimada/index.html>

6 . 研究組織

(1)研究協力者

研究協力者氏名：松元健二

ローマ字氏名：Matsumoto, Kenji

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、研究者個人に帰属されます。