

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：32682

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2016

課題番号：25700015

研究課題名(和文)社会性認知におけるミラーシステムと報酬系の役割

研究課題名(英文)The roles of mirror neuron system and reward system in social cognition

研究代表者

嶋田 総太郎(Shimada, Sotaro)

明治大学・理工学部・教授

研究者番号：70440138

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、代理報酬のメカニズムを探るために、他者を応援しているときのミラーシステムと報酬系の機能的結合性について検討した。まず応援者の脳を計測したfMRI実験によって、応援しているプレイヤーが成功したときにミラーシステムと報酬系が有意に活動し、これらの脳部位間に機能的結合が存在することが確認された。さらにプレイヤーと応援者の脳活動を近赤外分光法(NIRS)を用いて同時計測した実験によって、両者の運動領野間に強い機能的結合が見られることが確認された。これらの結果から応援者はプレイヤーの運動を内的にシミュレートし、そのプレイヤーの成功によって代理報酬を受け取っていることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the functional connectivity between the mirror neuron system and the reward system during cheering for others, in order to reveal the mechanism of vicarious reward. First, by an fMRI experiment to measure the observer's brain activity during cheering, we showed that the mirror neuron system and the reward system activated significantly, showing functional connectivity between these areas. Second, by using a NIRS hyperscanning experiment to simultaneously measure the observer's and the player's brains, we found that there was a strong functional connectivity between the two brain's motor areas. These results indicate that the vicarious reward is induced by the cheered-for player's success, whose motor representation the observer's mirror neuron system internally simulates.

研究分野：認知脳科学

キーワード：ミラーシステム 報酬系 機能的結合性 社会性認知

1. 研究開始当初の背景

(1) 我々はスポーツ選手を応援したり、ドラマの主人公に感情移入をしたり、身近な人の試験・試合・恋愛・仕事などを応援したりすることで、間接的に喜びや悲しみを享受することができる。これは他者を自己と内的に同化し、他者が受け取った報酬(罰)を自己のものとして処理する能力(代理報酬)を人間は備えていることを示している。さらに社会心理学の分野では、報酬を得た他者の行動は模倣されやすいこと(代理強化、Bandura, 1977)や、自己の運動を模倣する他者に対して好感度が上がる効果(カメレオン効果、Chartrand & Bargh, 1999)があることなどが知られている。これらは、他者と自己が内的に同化される過程において、報酬を処理するプロセスが深く関与していることを示している。

(2) 近年の社会性に関する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(Rizzolatti & Sinigaglia, 2008; Iacoboni, 2008)。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(Rizzolatti et al., 2001)。研究代表者らも、成人および乳児において、他者の運動を観察しているときに一次運動野(M1)を含んだ領域が強く活動することを報告している(Shimada & Oki, 2012; Shimada & Hiraki, 2006, 他)。このことは、他者の身体運動を観察することによって自己の感覚運動ネットワーク(ミラーシステム)が賦活しており、自己と他者が内的に同化している可能性を示している。

(3) 一方、報酬に関わる処理には、線条体、内側前頭前野(mPFC)などの報酬系と呼ばれる一連の領域が関わっていることが知られている。これらの領域は、金銭的報酬に対してだけでなく、社会的報酬(Izuma et al., 2006)や主観的価値(Izuma, Matsumoto et al., 2010)、内発的報酬(Murayama, Matsumoto et al., 2010)に対しても活動することが示されている。代理報酬に関する研究としては、クイズ課題において回答者が正解するのを観察すると報酬系が活動するという報告がある。このとき自己との類似度(態度や価値観)の高い回答者が正解したときの方が、類似度の低い回答者のときよりも報酬系の活動が大きかった(Mobbs et al., Science, 2009)。これは代理報酬に自己と他者の関係性・類似性が影響することを示す興味深い結果であるといえる。

(4) 上述のMobbsらによる研究はあるものの、代理報酬に関する認知神経科学研究はまだ殆ど行われていないのが現状である。特に代理報酬の処理においては、まずミラーシステムの働きによって他者が自己と同化し、これに報酬系が機能的に連携して他者の報

酬を自己のものとして処理することが推測されるが、このことを明示的に検討した研究は研究代表者の知る限り存在しない。

(5) 研究代表者らの先行研究において、ジャンケンをしている2人のプレイヤーのうちの1人を応援しながら観察する課題を被験者に課したところ、応援しているプレイヤーが勝ったときには、負けたときや引き分けのときに比べて、ミラーシステムの活動が有意に増加していた(Shimada & Abe, 2009; 2010)。これは応援している他者が得た報酬、すなわち代理報酬に対してミラーシステムの活動が増加することを意味している。先行研究では近赤外分光法(NIRS)を用いており、報酬系(線条体や腹内側前頭前野)の活動は計測できなかった。そこで本研究では、同様の課題を機能的核磁気共鳴法(fMRI)を用いて計測し、ミラーシステムと報酬系の機能的結合性を検証する。さらにNIRSおよび脳波計(EEG)等を用いた脳活動の2人同時計測により、プレイヤーと観察者間の脳活動の機能的結合性に代理報酬が与える影響について検討を行う。

2. 研究の目的

本研究では、応援における代理報酬に着目して、ミラーシステムと報酬系がどのように機能的に連携しているか、そのダイナミクスを詳細に検討する。これによって人間の社会性認知において脳内身体表現と報酬系の果たす役割を明らかにする。具体的には、以下の2つの研究項目についてfMRI, NIRSおよびEEGを用いた脳活動計測実験による検証を行う。

(1) 応援における代理報酬メカニズム

他者を応援するときに得られる代理報酬の脳メカニズムを解明する。特に他者の運動野の活動から自己のミラーシステムと報酬系を連携して活動させるに至る経路を明らかにする。ここでの作業仮説は、「他者を応援する際に、他者と自己が内的に同化し、これに報酬系が機能的に結合することで、他者の得た報酬が自己においても報酬として処理される」というものである。これを調べるために、応援時の観察者のミラーシステムと報酬系の機能的結合(実験I-1)および観察者とプレイヤーのミラーシステム同士の機能的結合に代理報酬が与える影響(実験I-2)について検討を行う。実験I-1はfMRIを用いた観察者の脳活動の計測実験、実験I-2はNIRSおよびEEGを用いた2人同時計測実験を行う。脳活動データを用いた脳領域間の機能的結合解析技術は近年飛躍的に発展しており(たとえばPPI解析や、位相同期解析など)本研究でもこれらの解析手法を効果的に用いる。

(2) カメレオン効果の脳メカニズム

他者に模倣されることが好感度の増加に繋がるということが報告されているが(Chartrand & Bargh, 1999)このときにミラーシステム

と報酬系がどのように賦活しているかを明らかにする。ここでの作業仮説は、「自己運動の後で他者に模倣されることでミラーシステム（運動野）が連続して賦活するとともに、模倣されたことが社会的報酬として処理される。ミラーシステムと報酬系が機能的に結合する際に、ミラーシステムと連携して活動する他者情報の処理を行う領野（上側頭溝や内側前頭前野など）へもこの影響が伝わり、他者の好感度の増加につながる」というものである。特にミラーシステムの活動量が報酬系やその他の領野の活動量に与える影響に着目する。好感度やその他の主観的指標（アンケート）を測定し、脳領野間の機能的結合性との相関について検討する（実験 II）。

3. 研究の方法

(1) 実験 I-1 では、競争的ゲーム（ジャンケン）を行っている 2 人のプレイヤーのうちの 1 人を応援しているときの脳活動を fMRI を用いて計測する（図 1）。先行研究（Shimada & Abe, 2009; 2010）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の活動が増加することがわかっているが、本研究ではこれを確認するとともに報酬系の活動との関係についても調べる。

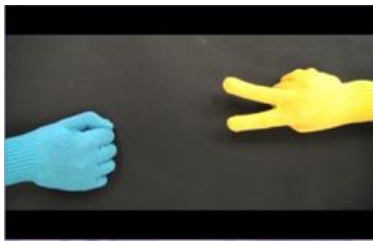


図 1 ジャンケン応援課題（実験 I-1）

さらにジャンケン課題によって形成されたプレイヤーと観察者の関係性（一体感）がその後も代理報酬を引き起こすかを調べるために、続けてストップウォッチ課題を実施する。この課題では、ジャンケン課題で出てきたプレイヤーが、ストップウォッチを 4.95 ~ 5.05 秒の間で止めるゲームを行っている映像を見てもらう（図 2）。成功したときには観察者には内的な報酬（代理報酬）が引き起こされると考えられるが、応援していたプレイヤーの映像のほうがそうでなかったプレイヤーの映像よりも代理報酬を促進するかどうかを確かめる。またこのときのミラーシステムと報酬系の機能的結合についても検証する。



図 2 ストップウォッチ課題（実験 I-1）

(2) 実験 I-2 では、ジャンケン応援課題を行っているときの観察者とプレイヤーの NIRS/EEG を用いた 2 人同時計測実験を行う。ここではミラーシステム同士の機能的結合が代理報酬（勝ち/負け）によってどのように変化するかを調べる。具体的には、運動野や頭頂葉で見られる運動関連の活動を指標として、PPI 解析や位相同期解析を用いてプレイヤーと観察者の 2 者間の機能的結合性を解析する。

(3) 実験 II では、カメレオン効果の脳メカニズムについて実験を行う。自己の運動を模倣する他者を見ているときの脳活動を計測し、ミラーシステムと報酬系の機能的結合性の解析を行う。また実験後に、好感度に関する主観的評価および共感性などの心理評価尺度を測定し、脳活動との関連について網羅的に調べる。具体的には、まず被験者に簡単な運動をさせ、その後に同じまたは異なる運動をしている他者の映像を見せる。自己の運動を模倣する割合が多い他者と異なる運動をすることが多い他者で好感度が異なるか、脳活動および領野間の結合性との関係はあるかについて検討する。

4. 研究成果

(1) 実験 I-1 のジャンケン応援課題において、プレイヤーを応援している観察者のミラーシステムが有意に活動していることが示された（図 3）。さらにこの活動は、観察者がプレイヤーに対して抱いている一体感と有意な相関を示した ($r=0.334$, 図 4)。このことから応援時にプレイヤーと応援者が一体感を感じていればいるほど、ミラーシステムの活動も促進することが示唆された。

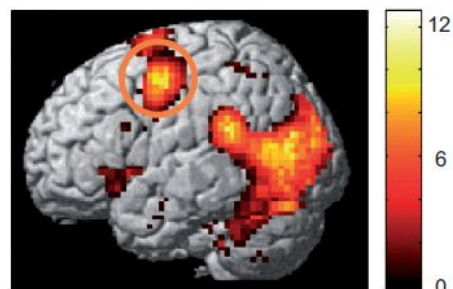


図 3 ジャンケン応援課題時のミラーシステム

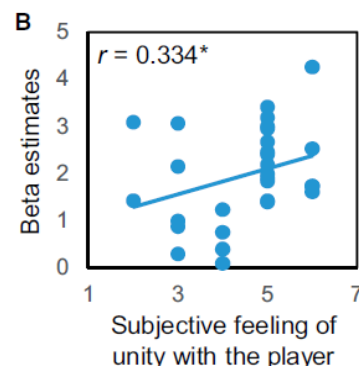


図 4 ジャンケン応援課題時のミラーシステムの活動と一体感の相関

(2) 実験 1-1 のジャンケン応援課題に続いて行われたストップウォッチ課題で、応援していたプレイヤーが成功したときに報酬系の一部である腹内側前頭前野でプレイヤー（応援 vs 敵）要因と結果（成功 vs 失敗）要因の交互作用が見られた（図 5）。さらにこのときの各条件における活動を比較したところ、応援していたプレイヤーが成功したとき（C_Success）には失敗したとき（C_Failure）よりも強い活動が見られた（ $P < 0.005$ 、図 6）。一方、敵だったプレイヤーに対してはその逆の傾向が見られた（ $P < 0.1$ ）。このことは前の課題で応援していたプレイヤーが新しい課題で成功したときには代理報酬を受け取るが、そうではなかった（敵だった）プレイヤーからは代理報酬は受け取らず、むしろ失敗したときに報酬を受け取ることが示唆された。この後者の結果は先行研究における Shadenfreude（いわゆる「ざまあみる」の意）の脳内基盤の報告（Takahashi et al., Science, 2009）とも一貫性がある。

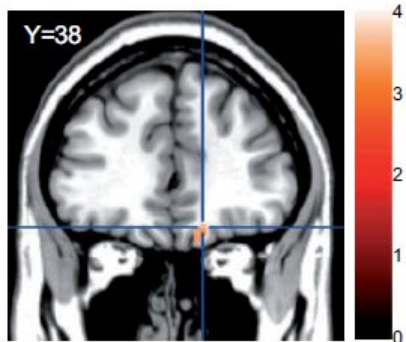


図 5 ストップウォッチ課題時にプレイヤーと相手に対して異なる反応が見られた腹内側前頭前野

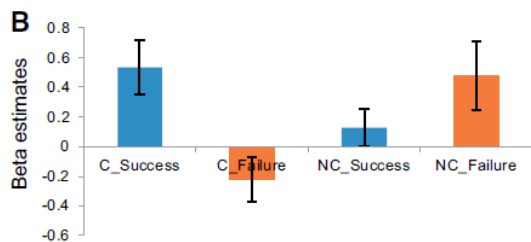


図 6 ストップウォッチ課題時の各条件における腹内側前頭前野の活動量

(3) (2) で示された腹内側前頭前野との機能的結合を調べたところ、(1) で示されたミラーシステムと有意な結合性があることが示された（図 7）。さらにこの機能的結合は応援していたプレイヤーに対しての方がそうでないプレイヤーよりも有意に高かった（図 8）。このことから、応援していたプレイヤーから代理報酬を受け取る際に、ミラーシステムと報酬系が連携していることが示唆された。すなわち代理報酬を受け取る際には、観察者は内的にプレイヤーの運動状態をシミュレートし、その結果、プレイヤーの受け

取った報酬を自分の報酬であるかのように処理していることが示唆される。

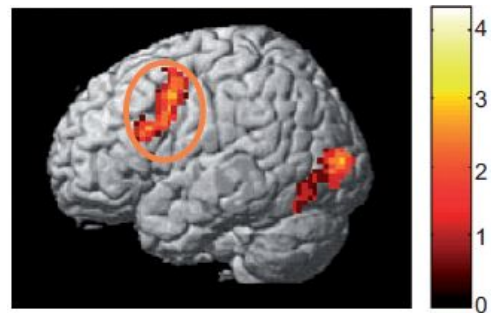


図 7 ストップウォッチ課題において腹内側前頭前野と機能的結合の見られた脳部位

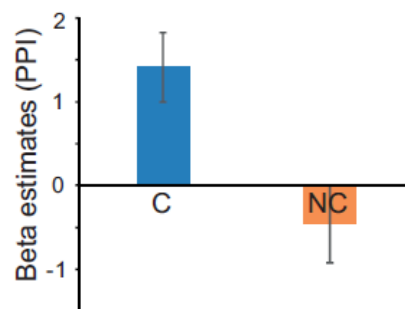


図 8 応援していたプレイヤー（C）とそうでないプレイヤー（NC）に対するミラーシステムと腹内側前頭前野の機能的結合の強さ

(4) 実験 1-2 ではいくつかの検討の結果、NIRS を用いて実験を行うこととした。NIRS を用いたプレイヤーと応援者の 2 者同時計測実験において、両者のミラーシステムの機能的結合が応援群では統制群に比べて有意に強いことが確認された。このことは応援をすることで、プレイヤーと応援者の脳が同期して活動していることを示唆している。この成果については既に国内外の学会で発表済みであり、現在国際論文誌に投稿中である。

(5) 実験 II では自分の動作が模倣されるのを観察した時の脳活動を fMRI を用いて計測した。その結果、他者の運動を観察しているときにミラーシステムと背内側前頭前野 dmPFC の活動が見られた。またミラーシステムの活動は自分の動作が模倣されるのを観察しているときの方がそうでないときよりも活動が大きくなった。さらに、脳領域間の機能的結合を調べたところ、対照条件よりも被模倣条件のときにミラーシステムは前帯状回と、dmPFC は一次感覚運動野と機能的に結合していた。そして、それらの機能的結合の強さは動作に対する好感度と正の相関を示した。これらの結果から、他者に模倣されることによって報酬系と運動関連領域のネットワークが賦活されることが示唆された。この成果については既に国内外の学会で発表済みであり、現在国際論文誌に投稿準備中である。

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 7件)

嶋田総太郎、We-mode 認知脳科学の可能性、心理学評論、査読有、59(3)、2016、232-235

<http://www.sjpr.jp/index.html>

Sotaro Shimada、Madoka Matsumoto、Hidefumi Takahashi、Yukihiro Yomogida、Kenji Matsumoto、Coordinated activation of premotor and ventromedial prefrontal cortices during vicarious reward、Social Cognitive and Affective Neuroscience、査読有、11、2016、pp.508-515

DOI:10.1093/scan/nsv134

Takuro Zama、Sotaro Shimada、Simultaneous measurement of electroencephalography and near-infrared spectroscopy during voluntary motor preparation、Scientific Reports、査読有、5、2015、pp.16438

DOI: 10.1038/srep16438

Yuki Tsuji、Sotaro Shimada、Socially anxious tendencies affect autonomic responses during eye gaze perception、Psychology、査読有、06、2015、pp.1649-1652

DOI: 10.4236/psych.2015.613160

Koichiro Tsuchida、Kanako Ueno、Sotaro Shimada、Motor area activity for action-related and nonaction-related sounds in a three-dimensional sound field reproduction system、NeuroReport、査読有、26、2015、pp.291-295

DOI: 10.1097/WNR.0000000000000347

嶋田総太郎、「自己」の諸様相の隔たりと重なり、心理学評論、査読有、57(3)、2014、pp.302-305

<http://www.sjpr.jp/index.html>

嶋田総太郎、共感・他者理解におけるミラーシステムと情動・報酬系の活動変化、心理学評論、査読有、57(1)、2014、pp.155-168

<http://www.sjpr.jp/index.html>

[学会発表](国際会議 12件 その他 13件 計 25件)

Sotaro Shimada、Tomoaki Sakano、Yumie Ono、Inter-subject phase synchronization of heart rate variability during cooperative video game playing、The 2015 Meeting of the Social and Affective Neuroscience Society (SANS2015)、Online Proceedings、p.109-110、2015.4.23-25、Boston (USA)

Tadayoshi Koide、Sotaro Shimada、Player-Observer hyperscanning in a competitive game using functional near-infrared spectroscopy、21th Annual Meeting of the Organization on Human Brain Mapping (OHBM2015)、Online Proceedings、p.258、2015.6.14-19、Hawaii (USA)

Akihiro Sato、Sotaro Shimada、The activity of the mirror neuron system during being imitated by others、44th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (Neuroscience2014)、Online Proceedings、357.01、

2014.10.15-19、Washington, DC. (USA)

Shohei Ohashi、Sotaro Shimada、The effect of difficulty of motor actions on mirror neuron system activity during imitation learning、44th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (Neuroscience2014)、

Online Proceedings、174.10、

2014.10.15-19、Washington, DC. (USA)

Koichiro Tsuchida、Kanako Ueno、Sotaro Shimada、Modulation of EEG mu and beta rhythm in the mirror neuron system to action-related sounds in a three-dimensional sound reproduction system、44th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (Neuroscience2014)、

Online Proceedings、357.05、

2014.10.15-19

Washington, DC. (USA)

Shigenori Yokoyama、Tadayoshi Koide、Madoka Matsumoto、Sotaro Shimada、Functional connectivity between player-observer motor areas during a competitive game、

44th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2014)、Online Proceedings、357.02、

2014.10.15-19、Washington, DC. (USA)

Yuki Tsuji、Sotaro Shimada、Event-related potential (ERP) for gaze perception and its relation to social anxiety tendencies、

44th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2014)、

Online Proceedings、460.02、

2014.10.15-19、

Washington, DC. (USA)

Takuro Zama、Sousuke Yamauchi、Sotaro Shimada、Relationship between motor intention and readiness potential based on single-trial analysis、

The 20th annual meeting of the

Organization for Human Brain Mapping

(OHBM2014)、p.248、

2014.6.8-12、Hamburg (Germany)

Shohei Ohashi、Sotaro Shimada、The activity of mirror neuron system

during action observation and

subsequent imitation, 43rd Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2013), Online Proceedings, 186.23, 2013.11.10, San Diego (USA)
Koichiro Tsuchida, Kanako Ueno, Sotaro Shimada, The activity of mirror neuron system to action-related sounds in a three-dimensional sound reproduction, 43rd Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2013), Online Proceedings, 186.22, 2013.11.10, San Diego (USA)
Yuki Tsuji, Sotaro Shimada, The relationship between activity of the autonomic nervous system and social anxiety in the gaze detection task, 43rd Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2013), Online Proceedings, 186.08, 2013.11.10, San Diego (USA)
Takuro Zama, Sotaro Shimada, Simultaneous recording of EEG and near-infrared spectroscopy during motor preparation, The 19th annual meeting of the Organization for Human Brain Mapping (OHBM2013), p.91, 2013.6.17, Seattle (USA)

他 13 件

〔図書〕(計 4 件)

嶋田総太郎, 認知脳科学, コロナ社, 2017.
内村直之, 植田一博, 今井むつみ, 川合伸行, 嶋田総太郎, 橋田浩一, はじめての認知科学, 新曜社, 2016.
嶋田総太郎, ミラーシステムと「心の理論」(第1章), 『心の理論』から学ぶ発達的基础(子安増生(編)), ミネルヴァ書房, 2016. pp.41-53.
嶋田総太郎, 身体的自己の生起メカニズム(第2章), 自己を知る脳・他者を理解する脳(苧阪直行(編)), 新曜社, 2014. pp.41-71.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

〔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) 研究代表者

嶋田 総太郎 (SHIMADA, Sotaro)

明治大学・理工学部・教授

研究者番号: 7 0 4 4 0 1 3 8