

令和元年6月27日現在

機関番号：32202

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H05310

研究課題名(和文)他者の動きに埋め込まれた社会的情報の処理機構とその発達

研究課題名(英文)The cognitive mechanisms underlying the processing of socially relevant information embedded in bodily movement and its development

研究代表者

平井 真洋(Hirai, Masahiro)

自治医科大学・医学部・准教授

研究者番号：60422375

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,700,000円

研究成果の概要(和文)：我々は他者の身体の動きから様々な社会的情報を読み取り、それを利用して円滑な社会生活を営むことができる。しかしながら、その処理の発達過程については不明である。本研究は、他者の動き知覚の発達過程、動きに埋め込まれた社会的情報の特徴量、それが学習に与える影響について乳児を対象に明らかにした。一連の研究の結果、他者の動きへの選好は生後1年の間で変化すること、水平方向の手の振りが4ヶ月児の選好を促し、9ヶ月児ではそれを物体学習に利用する可能性、手の動きの非効率性が学習を促進させること、それらの神経基盤について明らかにした。さらにこれら一連の発見の理論的基盤を整備するため、発達モデルを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、顔・視線知覚のような社会的刺激に関する研究に比して遅れている「他者の動き知覚の発達メカニズム」を実験的手法と理論的手法により明らかにした。一連の研究の結果、身体の動きに固有に含まれる顕示的な信号があり、乳児の選好、社会的学習に影響を与えることを見出した。さらに本研究結果を踏まえ、身体の動き知覚の発達に関する認知発達モデルを構築した。本研究は、顔・視線知覚に比して理論整備が遅れている身体の動きの知覚発達について理論整備を進め、当該領域をさらに発展させたと考える。また、本成果は非定型発達児の認知発達を明らかにする上で重要な行動・神経生理学的指標を確立した。

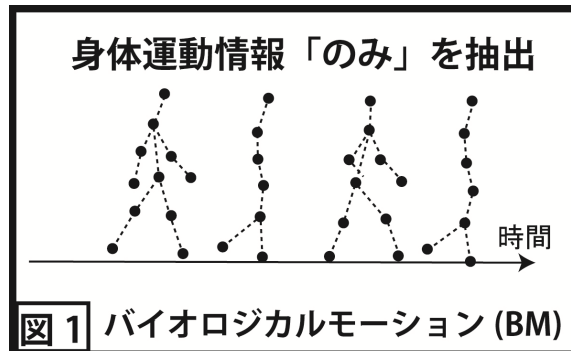
研究成果の概要(英文)：Our visual system can recognize a variety of socially relevant information from bodily movements, and we utilize this information to lead an efficient social life. However, the developmental aspect of the information processing remains unclear. We explored the developmental process of the perception of others' movements, socially relevant information embedded in bodily movements, and how the information can affect infants' learning abilities. In a series of studies, we revealed that (1) preference for human action can change within the first year of life, (2) horizontal hand waving-gestures can induce 4-month-old infants' preferences, and 9-month-old infants can utilize the information for learning the identity of objects, (3) inefficiency of human action can affect infants' learning, and (4) neural mechanisms underlying the learning are based on bodily action. We further developed a theoretical model for developmental changes in the perception of others' action.

研究分野：発達認知神経科学

キーワード：発達 他者行為 学習 眼球運動

## 1. 研究開始当初の背景

我々は自身の「身体の動き」を通じて、感情や意図などの多くの「社会的シグナル」を発生している。同時に、我々は他者の「身体の動き」から感情などの社会的情報を読み取り、それにより円滑な社会生活を営むことができる。このような「身体の動き」を読み取る能力は社会的相互作用において極めて重要である。我々のもつ「他者の動き」への鋭敏性を示す好例として「バイオリジカルモーション(Biological Motion;以下、BM; 図1)」がある。BMとは十数個の光点運動から意図などの社会的情報を知覚可能な現象である。BMでは身体の動き情報のみを取り扱うことができ、刺激の統制を厳密に行うことができるため、成人を対象とした脳機能イメージング研究が多数行われてきた。結果、BM知覚時には、視線などの「社会的シグナル」を処理する中核的な脳部位である、上側頭溝が活動することが報告されている(Grossman *et al.*, 2002)。一方、BMは脳内において高速に処理される可能性があるにもかかわらず(Johansson, 1976)、その神経活動の時間的側面は、明らかにされていないのが現状である。



このような背景を踏まえ、研究代表者はBM知覚処理に関する脳活動の時間的側面について、客観的な指標の確立と理論的枠組みの構築を目指し、最も単純な「歩行運動」BM知覚時の脳波・脳磁図計測を行ってきた。健常成人を対象にした研究の結果、BM知覚において、二つの脳波成分(N1、N2)を同定した(Hirai *et al.*, 2003)。すなわち、N1は局所的な光点の運動から知覚される「生物らしい動き」の検出を反映し、N2は「複数の光点の動きをまとめあげ、ヒトの形の検出」に関与することを示した。これによって、二つの異なる「階層処理」が500ミリ秒以内に生じることを世界に先駆けて報告した(Hirai & Kakigi, 2008)特に、N2成分については上側頭溝付近が信号源であることを突き止めた(Hirai *et al.*, 2008)。特にN2成分振幅が10歳まで変化し続けること(Hirai *et al.*, 2009)や、縦断調査においても同様の傾向を見出した(Hirai *et al.*, 2013)。更に、8~22歳の自閉スペクトラム症児・者12名では、BMに対するN2成分振幅が定型発達群と異なることを世界に先駆けて明らかにした(Hirai *et al.*, 2014)。

しかしながら、これまでの研究代表者の研究は他者行為のうち、歩行運動の知覚に限定され、他者の動きのどのような情報が社会的学習を促進するのか、その神経基盤については未だに謎に包まれたままである。さらに、顔・視線知覚といった社会的刺激の認知発達モデルに比べ、他者の動き知覚に関する認知発達モデルは提案されておらず、理論的整備が進んでいないのが現状である。

## 2. 研究の目的

そこで本研究は、研究代表者らの一連の実験心理学的研究ならびに神経生理学的な知見に基づき、生後1年における他者の動きへの選好の変遷過程、他者の動きに含まれる社会的情報の同定と学習への影響、その神経基盤、それに基づく他者の動き知覚発達モデルの構築を目的とした。具体的には以下の7点を進めた。

- 【研究項目1】他者の動きへの選好の変遷過程を横断的に解明する
- 【研究項目2】他者の動き処理の神経基盤を高密度脳波計測により解明する
- 【研究項目3】他者の動きがどのように選好を誘発し、社会的学習にどのような影響を与えるか検討する
- 【研究項目4】他者の動きに基づく社会的学習の神経基盤を高密度脳波計測により解明する
- 【研究項目5】他者の動きのうち効率性に着目し、それがどのように乳児の選好を引き出し学習を促進させるかについて検討する
- 【研究項目6】動作の効率性から誘発される学習の神経機序について高密度脳波計測により解明する
- 【研究項目7】先行研究ならびに研究代表者らの一連の研究成果に基づき、身体の動きの知覚発達に関するモデルを構築する

### 3. 研究の方法

研究目的達成のため、1 年目は主として予備研究を実施し、実験デザイン、パラメータの決定を目的とした。2 年目以降は初年度に決定した実験デザインに基づき、アイトラッカーならびに高密度脳波計による他者の動き知覚に関する本実験を開始した。さらに、最終年度は先行研究、研究代表者のこれまでの一連の研究に基づき、BM 知覚処理に関する理論モデルの構築を試みた。

#### (1)【研究項目 1】他者の動きへの選好に関する横断研究

これまでの研究では、主として十数個の光点運動のみから他者の動きを知覚可能なバイオリジカルモーション (Biological Motion; BM) とそれを倒立した BM への選好について調べられているものの、正立と光点の空間位置をランダム化した Scrambled Motion (SM) の選好については殆ど明らかにされていない。特に、正立 BM への選好が光点の空間的な構造によって惹起されているのか、あるいは光点の局所的な動きによって惹起されているのかについては明らかにされていない。もし局所的な光点の動きによって選好が惹起されるとすれば、両者に選好の違いは生じないと仮定した。生後 1 ヶ月から 12 ヶ月児まで延べ約 140 名を対象とし、発達軌跡を追うことを目的とした。実験 1 では、画面に対提示された 12 個の光点運動から構成される正立の BM と光点の空間配置をランダム化した Scrambled Motion (SM) への選好を調べた。実験 2 では、画面に対提示された 12 個の光点運動から構成される正立の BM とそれを 180 度回転させた倒立 BM への選好の月齢変化を追跡した。

#### (2)【研究項目 2】他者の動き知覚処理の神経基盤

生後 1 年の間に、他者の動きから意図や目的を検出することが可能となるなど、他者の動きに関する処理が変化することが明らかにされている。

これまでも研究代表者の研究を含め、数件乳児を対象とした BM 知覚処理時の脳波計測に関する研究が報告されている。しかしながら、成人で計測される脳波成分とどのような対応関係になっているのかが十分に明らかにされていない。本研究では、研究代表者らが確立した刺激提示法 (Hirai *et al.*, 2008) を用いることにより、BM 知覚処理のうち、光点運動からの形態処理に関連した成分がどのように発達変化するかを明らかにした。本研究項目では 6 ヶ月児 50 名を対象とした脳波計測を実施し、成人でみられる BM 知覚処理に関連した脳波成分が乳児においてどのように現れるかを解析した。

#### (3)【研究項目 3】他者の動きに基づく社会的学習の解明

知識を世代間で共有することは高度な社会を実現する上で極めて重要である。乳児がこのような知識を学習する方法の一つとして、他者からの学習 (社会的学習) が重要な役割を果たすことが報告されている。近年、この社会的学習のメカニズムとして、自然教授法と呼ばれる理論 (Csibra & Gergely, 2009) が提唱されている。この理論では、アイコンタクト、乳児に向けた抑揚のある発話などが乳児の社会的学習を促進させるとしている。他方、我々の日常生活のコミュニケーションにおいて、身体の動きは極めて重要な役割を果たすものの、それらが社会的学習に果たす役割については十分検討されていない。研究代表者らは、身体動作、特に手の動きに着目し、特定の方向に動く手の動きが乳児の興味を引き出し、それがその後の学習を促進させると仮定し、実験を実施した。本研究では、日常のコミュニケーションで見られる手の振り動作に着目し、それが顕示的信号として機能するかについて眼球運動を指標に検討した。4、9 ヶ月児 96 名を対象とした実験を実施した。具体的には、横振りと縦振りの手の動きのどちらが乳児の選好を促すか、どちらの動きが乳児の物体学習を促すかについて検討した。

#### (4)【研究項目 4】他者の動きに基づく社会的学習の神経基盤の解明

研究項目 3 で明らかにした横振りの手の動きがどのように学習を促すかについて、高密度脳波計測により、その神経基盤の解明を試みた。94 名の乳児を対象に、縦振りと横振りの腕の動きがどのように予期に関連した前頭部ならびに側頭部の脳波成分を変調させるかを指標に検討した。

#### (5)【研究項目 5】他者の動きの効率性に基づく社会的学習

研究項目 3 において手の動作方向が学習を促進する可能性を見出した。本研究項目ではこれに基づき、身体の動きの異なる特徴量である、効率性に着目した、動作の効率性がどのように乳児の選好を促し、物体学習を促進させるかについて検討した。4、9 ヶ月児 196 名を対象にアイトラッカーを用いた実験を実施した。

#### (6)【研究項目 6】他者の動きの効率性に基づく社会的学習の神経基盤

研究項目 5 によって見出した、動作の効率性に基づく選好と物体学習の知見に基づき、学習が成立する際の神経機序について明らかにすることを目的とした。6 ヶ月児 50 名を対象とした実験を実施し、学習に関連した脳波成分に焦点を絞り検討した。

(7)【研究項目 7】他者の動き知覚発達に関するモデルの構築

これまでの BM 知覚処理に関する発達研究、脳機能イメージングの一連の研究、ならびに研究代表者の一連の研究結果を矛盾なく説明可能な BM 知覚処理発達に関するモデルを構築した。

4. 研究成果

(1)【研究項目 1】他者の動きへの選好に関する研究

これまでの研究では Biological Motion(BM)の選好について生後 1 ヶ月から 12 ヶ月児まで横断的に刺激の選好過程について追跡した。正立 BM と空間配置をランダム化した SM では、正立 BM への有意な選好を見出さなかった。現在、解析結果をまとめており、近日中に投稿予定である。

(2)【研究項目 2】BM 知覚処理の神経基盤

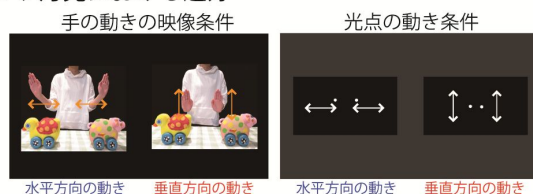
研究代表者が脳磁図による研究により開発した刺激提示法(Hirai *et al.*, 2008)を用い、6 ヶ月児 50 名を対象に実施した。本手法は、視覚刺激を二段階に連続して提示し、BM 知覚処理のうち、光点運動のみから知覚される形態情報処理のみを抽出する方法である。これまでの成人を対象とした計測では、上側頭溝に信号源が推定されることが判明している。計測の結果、6 ヶ月児においても単峰性の成分が生じることを見出した。現在結果をまとめており、近日中に投稿予定である。

(3)【研究項目 3】身体運動に埋め込まれた顕示的信号の神経基盤

生後 4 ヶ月児を対象に、日常生活において乳児へ働きかける際によくみられる水平方向に動く手の動きを、乳児が選好するかどうかを検証した(図 3)。具体的には画面の片方に水平方向の腕振りをするモデルの映像(顔から下の映像)と統制刺激として垂直方向の腕振りをするモデルの映像を同時に提示し、どちらを選好するかを調べた。結果、水平方向の腕の動きをより選好することを見出した。次にそのような選好が動きの方向だけによるものであるかどうかを確認するため、同一映像の動きのみ(光点の動き)を提示し、選好を調べた。結果、選好の統計的な有意差は見られなかった。次に 9 ヶ月児を対象に、横振りの手の動きが乳児の学習を促進するかどうかを調べた(図 4)。その結果、横振りの手の動きのあとでおもちゃを指した映像を見た群と縦振りの手の動きのあとでおもちゃを指した映像を見た群と比較した場合、横振りの手の動きをみた乳児では指差したおもちゃを記憶することができたのに対し、縦振りの手の動きをみた乳児ではそのような形跡は見られなかった。これら一連の結果によって、生後早期に特定の方向の手の動きに対する選好が生じ、それが乳児の学習につながることを示された。

これらの知見は、アイコンタクト・乳児向けの発話だけでなく、身体動作も顕示的信号となりうることを新たに示した。これらの研究成果は *Developmental Science* 誌に掲載された。

A. 4 ヶ月児における選好



B. 9 ヶ月児における物体学習



手の動きによって物体の学習が変わるか？

図 2 A. 4 ヶ月児における選好に関する実験 B. 9 ヶ月児における物体学習に関する実験

(4)【研究項目 4】身体運動に埋め込まれた顕示的信号の神経基盤

研究項目 3 において明らかにした腕の運動方向がどのように学習を促進させるかについて、高密度脳波計測によって検討した。研究項目 3 において 9 ヶ月児において学習効果がみられたことから、84 名 9 ヶ月児を対象に腕の動き方向を被験者間要因として、高密度脳波計測を実施した。

特に先行研究において学習に関連した成分が前頭部ならびに側頭部において見出されること



を報告している。本研究項目でも、先行研究に基づき、同様の解析を適用し学習の効果について検討する。現在解析を進めており、完了次第論文を作成し投稿予定である。

#### (5)【研究項目5】動きの効率性に基づく学習メカニズムの解明

実験では、効率な腕の動きと非効率な腕の動きを提示した際に、どのように物体の学習に影響を与えるかについて検討した。4ヶ月児96名を対象に、乳児に向けて物体を指し示す動きが効率である場合と非効率である場合の2つの映像を提示し、その選好を調べた。その結果、非効率な動作を選好することを見出した。

さらに非効率な動作がどのように物体学習を促進させるかについて、9ヶ月児96名を対象に調べた。結果、非効率な動作から物体学習が促進されるのに対し、効率な動作からは物体学習が促進されないことを見出した。

これらは、研究項目3において見出した腕振りの方向だけでなく、動作の効率性も乳児の選好、学習を促進させる特徴量となることを示唆している。現在論文として執筆しており、近日中に投稿予定である。

#### (6)【研究項目6】身体運動の効率性に基づく学習の神経基盤

研究項目5により明らかにした、腕の動きの効率性がどのように学習を促進させるかについて、検討した。6ヶ月児40名を対象とした高密度脳波計測実験を実施した。

研究項目4と同様に、学習に関連した脳波成分を指標とし、動作の効率性によってどのように変調されるのかを検討する。現在解析を進めており、解析が完了次第論文を投稿予定である。

#### (7)【研究項目7】他者の動き認知に関する発達モデルの構築

BM知覚処理に関する発達心理学研究、認知神経科学研究ならびに研究代表者らの一連の知見を説明可能な認知発達モデルの構築を進めた。構築したモデルでは、主として皮質下が関与する、生物学的な運動の検出を担う皮質下システムと、ヒトの詳細な動きを検出する皮質上システムの2つを想定した。構築したモデルでは、生後初期には皮質下システムがBM検出に関与するが、その後皮質上で他者の動きが検出されるとした。現在、研究代表者らが構築したモデルに関する論文は査読を経て改訂中である。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

- 1) [Hirai M.](#), Muramatsu Y, Nakamura M, Developmental Changes in Orienting Towards Faces: A Behavioral and Eye-tracking Study. *Int J Behav Dev.* 2019 (査読有)
- 2) [Hirai M.](#), Kanakogi Y, Communicative Hand-Waving Gestures Facilitate Object Learning in Preverbal Infants, *Dev Sci*, 14, 2018, e12787, DOI: 10.1111/desc.12787. (査読有)
- 3) [Hirai M.](#), Muramatsu Y, Nakamura M, Role of the embodied cognition process in perspective-taking ability during childhood, *Child Dev*, 2018 Nov 8, DOI: 10.1111/cdev.13172. (査読有)
- 4) [Hirai M.](#), Muramatsu Y, Mizuno S, Kurahashi N, Kurahashi H, Nakamura M, Preserved search asymmetry in the detection of fearful faces among neutral faces in individuals with Williams syndrome revealed by measurement of both manual responses and eye tracking, *J Neurodev Disord*, 査読有, 9, 2017, 8, DOI: 10.1186/s11689-017-9190-0. (査読有)
- 5) [Hirai M.](#), Muramatsu Y., Mizuno S., Kurahashi N., Kurahashi H., Nakamura M., Typical visual search performance and atypical gaze behaviors in response to faces in Williams syndrome, *J Neurodev Disord.* 2016 Oct 24;8:38. (査読有)
- 6) [Hirai M.](#), Muramatsu Y., Mizuno S., Kurahashi N., Kurahashi H., Nakamura M., Intact attentional orienting toward inverted faces revealed by both manual responses and eye-movement measurement in individuals with Williams syndrome, *J Intellect Disabil Res.* 2016 Oct;60(10):969-81. doi: 10.1111/jir.12318. (査読有)
- 7) [平井真洋](#). 【We-modeサイエンス事始め】 We-modeの発達と障害 定型・非定型発達の視点から. *心理学評論* 59(3):259-269, 2017. (査読なし)
- 8) [平井真洋](#). 身体と知覚・認知 身体に根ざした社会的認知の生涯発達 身体の「内側」と「外側」の視点から. *基礎心理学研究* 36(1):155-162, 2017. (査読なし)

〔学会発表〕(計 16 件)

- 1) [Hirai, M.](#), Kanakogi, Y. (2019). Communicative Hand-Waving Gestures Facilitate Object Learning in infancy. Budapest CEU Conference on Cognitive Development 2019, Central European University, Budapest, Hungary, 2019.1.3.

- 2) Hirai, M. (2018). Embodied cognition from inside out in atypical development, Bilateral Joint Seminar FY2018, Take the perspective of others: social cognition from healthy neurons to neurodegenerative brains, Nara, Japan, 2018.9.30-10.2
- 3) Hirai, M. (2018). Embodied cognition in atypical development and patients with neurological disorders at Séminaire du département Parole et Cognition, Greboble, France, 2018.3.8
- 4) Hanley, M., Hirai, M., Ikeda, T., Monden, Y., Shimoizumi, H., Yamagata, T., Riby, D.. (2017) Development of Face Expertise in Autism and the Own-Race Advantage. IMFAR(International Meeting for Autism), Marriott Marquis Hotel San Francisco, California, USA, 2017.5.10-13
- 5) Hirai, M. (2015). Embodied cognition from the inside out in atypical development. Tohoku Forum for Creativity, Sendai, Japan, 2015.8.26
- 6) Hirai, M. (2015). Hierarchical processing of biological motion and its development. North East Autism Research Group meeting, Newcastle University (Newcastle, UK) 2015.6.26
- 7) 平井真洋「他者視点取得の定型・非定型発達メカニズム 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，2018 年 9 月 27 日
- 8) 平井真洋「神経変性疾患・非定型発達における社会的知覚特性」，日本視覚学会 2018 年夏季大会，つくば，2018 年 8 月 1 日
- 9) 平井真洋「身体に根ざした社会的認知の生涯発達：身体の「内側」と「外側」の視点から」，日本基礎心理学会フォーラム（平成 28 年度第 2 回フォーラム「身体と知覚・認知」），熊本大学，2017 年 2 月 5 日
- 10) 市川みなみ，平井真洋，櫻田武，水谷勉，渡辺英寿「他者視点取得と心的回転における神経基盤の解明」，第 17 回日本ヒト脳機能マッピング学会，大阪，2015 年 7 月 2 日-3 日
- 11) 平井真洋 発達障害児の非侵襲的脳機能評価の現在地（これまで）と目的地（これから）非定型発達における身体化認知、第 45 回日本臨床神経生理学会学術大会，大阪，2015 年 11 月 5 日-7 日
- 12) 平井真洋 「Joint Action に必要な「他者存在感」認知メカニズムの神経基盤とその発達」，we-mode サイエンス序章，日本心理学会第 79 回大会，名古屋，2015 年 9 月 22 日-24 日
- 13) 平井真洋 「「他者」感検出器のメカニズムとその定型・非定型発達変化」，他者感へのエンボディード・アプローチ，日本心理学会第 79 回大会，名古屋，2015 年 9 月 22 日-24 日
- 14) 平井真洋 「社会的行動の基盤となる他者認知の神経基盤の定型・非定型発達変化」，社会行動障害への多角的アプローチ -動物からヒト，基礎から臨床-（大会準備委員会企画シンポジウム），日本心理学会第 79 回大会，名古屋，2015 年 9 月 22 日-24 日
- 15) 平井真洋 「社会と文化を創り上げる脳の仕組みとその発達」栄養学若手研究者の集い（第 49 回サマースクール），伊豆山研修センター，2015 年 8 月 29 日
- 16) 市川みなみ，平井真洋，櫻田武，水谷勉，渡辺英寿 他者視点取得課題と心的回転課題に対する脳血流変化の検討，第 18 回日本光脳機能イメージング学会，東京，2015 年 7 月 25 日

〔図書〕(計 2 件)

- 1) 平井真洋．自閉症，ウィリアムズ症候群の視覚，図説 視覚の事典，日本視覚学会(編)，朝倉書店．印刷中．
- 2) 平井真洋．第 3 章 「生物知覚の脳内機構」，発達科学ハンドブック 9 巻，尾崎康子，森口佑介(編)，新曜社，2018．

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6．研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし

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。