

乳児期の運動主体感の発達過程とその社会的機能

田中 友香理

はじめに

運動主体感 (sense of agency) とは、目的的かつ主体的に運動を引き起こしているのは自分であるという感覚である。運動主体感は、自己が存在している感覚 (自己感) を構成する要素の一つである。成人の心理学・認知神経科学の見解によると、私たちは、運動の感覚フィードバックの予測によって運動主体感の有無を弁別し、意図や知識に基づく推論によって行為主体者を判断する。乳児期における運動主体感の獲得過程を明らかにするためには、乳児の予測的運動制御の発達と運動主体感との関連を考慮すること、及び意図や知識に基づく推論を元に行為主体者を判断するようになるのはいつ頃であるのかを明らかにすることが課題である。

本稿の目的は、乳児期における運動主体感の発達過程について行動および神経学的な観点からモデルを提案することである。まず、成人の運動主体感に関する心理学的・神経学的研究をまとめ、そのメカニズムを概括する。次に、乳幼児期の運動主体感の発達過程を提案する。最後に、運動主体感の社会的機能について乳児期の社会的相互作用との関連から考察する。

1. 運動主体感に関する成人の研究

運動主体感は、「自己とは何か」という哲学的思索における主な問題との関連において議論されてきた。Gallagher (2000) は、自分がここに確かに存在しているという最も基本的な自己感 (minimal self) を構成する要素には次の二つがあるとした。ひとつは、運動主体感 (sense of agency) である。運動主体感とは、目的的かつ主体的に運動を引き起こしているのは自分であるという感覚のことである。もうひとつは、身体保持感 (sense of ownership) である。身体保持感とは、この身体は自分のものであるという感覚のことである。運動主体感と身体保持感は、共に自己の身体の状態を知覚するという点では共通するが、意図的な運動が関与するかどうかという点が異なる。身体保持感は、主体者の意図的な運動がなくとも生起する。例えば、誰かが自分の腕を掴んで動かした時に、動かされたその腕は自分のものだと感じる (身体保持感が生起する) が、自分が動かしているという運動主体感は生起しない。一方、運動主体感は、運動に伴って起こる感覚を扱う。自分がボールを掴もうとする時に、思い通りに動かすことができれば、身体保持感も運動主体感も生起する。本稿では、発達の観点から、ヒトが主体的に身体を動かす経験を通して自己感を獲得していく過程を明らかにすることを目指す。したがって身体保持感に関しては一旦議論の中心から外し、身体を動かすことによって感じられる運動主

体感に焦点をあてる。

運動主体感に関わる心理学的・神経学的研究の多くは、運動に対する感覚フィードバックの空間的・時間的変数を操作することにより、参加者が自身の運動によって感覚フィードバックが生起したと感ずるかどうかを検証する。運動主体感の実験参加者の身体に直接作用する運動 (e.g., くすぐり、Blakemore, Wolpert, & Frith, 1998) だけでなく、物体を介した行為の結果生じた間接的な感覚フィードバック (e.g., ボタン押しに対応した音に対する感覚) に対しても生起する (Spengler, Cramon, & Brass, 2009; Kühn, Nenchev, Haggard, Brass, Gallinat, & Voss, 2011)。感覚フィードバックの空間的または時間的な整合性がある一定の範囲を超えて失われると、運動を引き起こした主体者は自分ではないと判断される (Fournier et al., 1998; Blakemore, Frith, & Wolpert, 1999; Farrer et al., 2003)。それでは、運動主体感はどのようなメカニズムで生じるのだろうか。

1.1 運動主体感が生じるメカニズムとその神経基盤

運動主体感が生じるメカニズムは、運動学習の計算論的モデル (e.g., von Holst 1954; Wolpert 1997; Wolpert, Ghahramani, & Jordan, 1995) に基づいて提案された。Wolpert et al. (1995) の計算論的モデルによると、脳は自己の身体と外的世界との関係を表象する内部モデル (internal model) を持つ。運動制御を最適化するために、内部モデルには順モデルと逆モデルの2種類がある。順モデルは、運動指令の遠心性コピー (運動指令信号のコピー) に基づき、運動系の次の状態やその感覚結果を予測する。逆モデルは、行為の望ましい結果や目標を達成するために必要な運動指令を推定し出力する。運動指令は、四肢の筋肉を収縮させる。その遠心性コピーは再び順モデルに送られ、運動系の次の状態が予測される。予測結果は望ましい結果と比較され、不一致が検出されると逆モデルが運動指令の微調整を行う。

この計算論的モデルに基づき、運動主体感は、遠心性コピーから順モデルによって計算された予測値と観測された実測値の比較によって喚起されると考えられている (図 1)。このモデルから、統合失調症と視覚性運動失調における運動生成と運動主体感の問題が説明されている (Blakemore et al., 2002; Frith et al., 2000)。統合失調症とは、精神障害の一種であり、その症状に幻聴 (自分に対する命令や悪口が聞こえる) や作為体験 (自分の思考や行動の発生源が他者であると感じる) がある。統合失調症患者のこうした症状は運動主体感の問題に由来すると考えられる。例えば、幻聴を体験している最中の患者の顎や舌の筋肉は実際には動いており (McGuigan, 1966)、その時の患者の小さな声を増幅すると幻聴の内容と一致する (Green & Preston, 1981)。しかし、道具使用を含む運動機能自体は障害されていない。統合失調症者では逆モデルには問題がないため目標にかなった運動を生成することは可能だが、順モデルに問題があるため運動主体感が持たず、自己の行為を他者に誤帰属してしまう。一方、視覚性運動失調者は、運動主体感保持されているが視空間性の情報を手の動きに変換することができず、注視している対象をつかもうとしてもそこに手を到達させることができない。視覚性運動失調者は順モデルには問題がないため運動主体感は健常者と同様に感じるが、逆モデルが障害されているため目標にかなった運動を生成する際に問題が生じると考えられる。

症例研究や fMRI (functional magnetic resonance imaging) 研究により、運動主体感に関する神

経学的機序が示されている。運動主体感には小脳・下頭頂葉・補足運動野・運動前野が関与する (Farrer et al., 2003; Sirigu, Daprati, Pradat-Diehl, Franck, & Jeannerod, 1999; Yomogida et al., 2010)。小脳は運動の予測誤差の修正に関与する (Blakemore, Wolpert, & Frith, 1999)。補足運動野は、行為の記憶や習慣化された行動の切り替えを担う。下頭頂葉は、頭頂側頭連合野 (Temporo-Parietal Junction: TPJ) に近接する領域であり、自己の運動意図を生み出すとされる (Desmurget & Sirigu, 2009)。

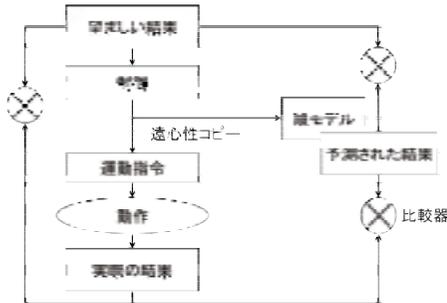


図1. 運動制御の内部モデル (Frith et al., 2000 を一部改変)

1.2 運動主体感における階層的なモデル

これまで、順モデルによる感覚結果の予測性に基づいて運動主体感が生じるメカニズムを論じてきた。しかし、文脈手がかりや信念によって運動主体感が調整される証拠も示されている。例えば、実際には自分の行為と結果の間には何の関連がなかったとしても、行為の直前に結果に対応する情報が闕下で提示されると、行為主体者は自分であると判断される (Aarts et al., 2005; Sato, 2008, Ruys & Aarts, 2012)。また、(他者は実際には何も行っていなかったとしても) 自分のほかにも行為の原因となりうる他者がいるという信念が、運動主体感を低下させる (Wegner et al., 2003; Dijksterhuis et al., 2008)。Synofzik, Vosgerau, and Newen (2008) は、運動主体感に関する階層的なモデルを提案している。このモデルは、より基層にある感覚運動レベルの感覚と、より上層にある概念的な判断という二つの独立した階層から成る。まず、順モデルによって感覚結果の予測と感覚情報のフィードバックが照合される。この時、情報間の不一致が検出されなければ、それ以上の処理はなされず自分が行為主体であると感じられる。しかし情報間に不一致がある場合、行為主体者の同定に関する概念的推論の処理がなされる。この段階では、意図や信念や文脈手がかりなどの外在の手がかりに基づき誰が行為主体であるかが判断される。外在の手がかりは経験や学習によって知識として記憶されるため、時空間的に離れた行為結果の予測が可能になると考えられる。行為主体者の判断において前述の二つの処理が関与することは実験的にも示されている (e.g., Sato, 2009; Spengler et al., 2009)。

このように、成人は運動の感覚結果の予測と、外在的な手がかりによる行為の因果関係の推論によって行為主体者を判断する。こうした知見を発達的な観点から捉えると、次の二つが問題となる。ひとつめは、運動能力の発達の過渡期にある乳児期において、順-逆モデルの形成過程に留意せねばならない。運動主体感が順モデルによって生じるとすれば、その前提として望ましい結果に対する運動制御ができなければならない。乳児期の四肢や眼球の予測的運動発達

との関連において運動主体感の発達を議論する必要がある。

ふたつめは、個体発生的に見ていつ頃、外在の手がかりに基づいて行為主体者の判断がなされるのかという点である。2歳以降には感覚運動の情報だけでなく、意図や文脈手がかりを踏まえて自己を認識するようになると考えられている (Rochat, 2003)。しかし、幼児期から外在的な手がかりによる行為主体者の判断がなされるのかに関しては不明な点が多い。第2章ではこれらを踏まえ、運動主体感に関する発達研究を概観する。

2 運動主体感に関する発達研究

2.1 感覚運動レベルの運動主体感の発達

私たちは、身体を動かしているのは自分であるという感覚をいつ頃から持つのであろうか。発達研究においても、運動主体感は自己認識との関連の中で論じられてきた。Rochat (2003) は自己認識の発達に5つの段階 (①自他の弁別、②自己の環境への位置付け、③自己映像認知、④永続的自己認識、⑤メタ的な自己認識) を設定した。

まず、自他の弁別とは、自己身体または他者身体由来の触覚刺激の区別のことである。生後24時間以内の新生児は、自分の手が自分の顔に触れるという二重接触と他者からの接触を区別する (Rochat & Hespos, 1997)。こうした自他弁別の機能は生来的に備わっているのか、あるいは胎児期の運動経験によって構成されたのだろうか。感覚フィードバックの予測という観点からみると、後者が支持される。例えば、在胎週数12~35週児は手を口に運ぶ運動 (Hand-to-mouth coordination, HMC) を繰り返し行う (Sparling & Wilhelm, 1993)。さらに、在胎19~35週児はHMCの際に予期的に口を開ける (Myowa-Yamakoshi & Takeshita, 2006)。これらの知見から、胎児期から既に自己身体を目標とする運動の結果を予測する機構が機能していることが示唆される。Rochat & Hespos (1997) の結果を予測的運動制御の発達を元に説明すると、他者からの接触と比べ二重接触の方が、(胎内で経験した) 自己受容感覚を伴うため触覚刺激が予測しやすく、その結果として新生児は二者を区別したと捉えることができる。胎児期から新生児期は視覚機能が十分に成熟していないことを踏まえると、新生児期は自己受容感覚情報に依存して主体者を弁別することが示唆される。

第二段階は自己の環境への位置付けである。生後2ヶ月以降、乳児は外界 (他者や物体) に向かう運動の感覚フィードバックに応じて自己の運動を調整するようになる。Rochat and Striano (1999) は、吸てつ圧に対応して聴覚フィードバック音程変化が対応するおしゃぶりと、両者が対応しないおしゃぶりを、新生児と生後2ヶ月児にくわえさせた。新生児は吸てつ圧と音程の対応関係による吸てつ反応の違いを見せなかったが、生後2ヶ月児は吸てつ圧と音程が関連する場合により多くの吸てつ反応を見せた。この結果は、生後2ヶ月児が自己の働きかけによって外界に作用している感覚、すなわち自己効力感 (self-efficacy) を持つことを示唆する。ただし、運動主体感の生起には自己効力感だけでなく、行為結果を予測し予測に違反する感覚フィードバックを検出して運動を修正する機能が必要である (宮崎・高橋・岡田・開, 2011)。

第三段階は自己映像認識である。自己鏡映像認知とは鏡や水面に投影された自己像を自分であると認識することである。対象者に気づかれないように対象者の顔や身体の一部にマーク (シールや口紅) をつけた後、対象者に鏡を向ける。鏡ごしに幼児がマークを見た時に、鏡上の

像を自己であると認識すれば、自己身体のマークがついた部分を探索する。2歳頃には自己映像認知課題を通過する。鏡映像認識が達成されるということは、自己受容感覚と鏡上の視覚フィードバックの随伴性を検出し、自己身体部位と鏡上の身体部位を対応づけることができることを意味する。従って少なくとも2歳児は運動主体感を保持していることが示唆される。

Rochat (2003) 以降、数々の実験的証拠により、乳児がすでに運動主体感を持ち自己の運動を修正するような行動を示すことがわかってきた。乳児期の運動主体感の研究の多くは、運動に伴う自己受容感覚と視覚フィードバックの時間的随伴性 (Bahrick & Watson, 1985; Hiraki 2006; Zmyj, Hauf, & Striano, 2009) や空間的一致性 (Rochat, & Morgan, 1995) を操作したときの乳児の反応を調べている。Zmyj et al. (2009) は、二つの画面上の一方に乳児の実際の足の動きと時間的に随伴した足の映像を、他方に時間的に遅延を設けた足の映像を投影し、乳児の各映像に対する注視時間を調べた。その結果、生後3ヶ月児では、二つの映像に対する選好の偏りは見られなかったが、生後6、9ヶ月に達するにつれ、時間的に遅延した映像をより長く見た。足の動きの自己受容感覚と視覚フィードバックの時間的整合性が崩れた状況に対して注意が増加したと考えられる。また、Miyazaki, Takahashi, Rolf, Okada, and Omori (2014) はアイスクラッチ課題 (image-scratch paradigm) という視覚探索型の課題を考案した。この課題では、黒い画面上を一定時間以上見ると、固視点の一定半径内に絵が現れる。慣化フェーズ後、画面を見ても絵が現れない期待違反フェーズが設けられる。このフェーズではこれまで学習された運動の感覚フィードバックが得られないため、運動主体感が損なわれれば視線探索行為に変化が見られると想定された。画面を見ると絵が現れることに気がついた (運動主体感を持った) 成人参加者との視線パターンを元に乳児の視線反応が分析された。その結果、生後8ヶ月児と運動主体感を持った成人は共に期待違反フェーズで探索的な視線反応を示した。この結果から、生後8ヶ月児が運動主体感を保持している可能性が示唆される。

こうした現象を乳児期の予測的運動発達との関連でみると、興味深い示唆が得られる。乳児の予測的運動発達、特に眼球運動の制御に関しては、生後6ヶ月児は予測的なサッカーボール反応を示す (Gilmore & Johnson, 1997)。手の運動に関しては、生後4~5ヶ月児は到達行為を始め、生後半年で到達把持行為を示す (Rochat & Goubet, 1995)。生後7.5ヶ月児は到達把持行為の際に手を見なくとも手の向きを調整し物体を取る (Robin, Berthier, & Clifton, 1996)。これらの知見から、生後8ヶ月頃までに眼球運動および手の運動に関して、感覚フィードバックに対する予測的な機構が機能すると考えられる (乾, 2013)。こうした予測的運動制御の発達は、乳児期の運動主体感の喚起の基盤となっていると考えられる。

これらをまとめると、新生児は、胎児期の運動経験を元に予測された自己受容感覚に依存して自己身体と外界を区別しているようである。生後2ヶ月頃から外界に作用しているという自己効力感を持つようになる。手や眼球の予測的運動の発達に伴い8ヶ月頃に、乳児は成人と同等のメカニズムで運動主体感をもつようになると考えられる。この時期の乳児は自己受容感覚-視覚フィードバック間の不一致に対して注意を向け探索的な行動を増やす。注意や探索的行動の増加は、予測と一致しない運動の感覚フィードバックに対して、逆モデルが働き運動指令を調節した結果であると推測できる。

2.2 外在の手がかりによる行為主体者の判断に関する発達研究

前節では、生後1年までの感覚運動レベルでの運動主体感を論じた。それでは、いつ頃から外在的な手がかりに依存して行為主体者を判断するようになるのだろうか。

生後2年目以降、乳児は外在の手がかりを参照して他者の要求に応えるようになる。例えば、生後14~18ヶ月児は他者の置かれた文脈 (Gergely, Bekkering, & Király, 2002) や意図 (Meltzoff, 1995) に基づいて他者の行為を模倣する。しかし、Rochat (2003) は、文脈手がかりを踏まえ一貫した自己を認識するのは4歳頃であるとしている (第4段階以降)。4歳以前は安定した存在としての自己を認識できない場合があるとされている。例えば、Miyazaki and Hiraki (2006) は、自己鏡映像認知課題において自分の実際の動きと鏡上に投影される映像の間に2秒間の遅延があると、課題が通過できるはずの3歳児の課題の成績率が低下することを示した (4歳児は遅延があっても課題を通過した)。感覚フィードバックの時間的整合性が崩れる、つまり感覚運動レベルの処理がうまくいかないと、3歳児は鏡上の像が自分であるという知識を利用できずに課題が通過できなかったと考えられる。この結果は、Synofzik et al. (2008) の2段階モデルと対応付けて解釈することが可能である。3歳以前は基層の感覚運動レベルに依存して運動主体感の有無を区別する。4歳以降になると感覚運動レベルの運動主体感が得られなくとも、鏡上の像が自分であるという知識を利用して、課題を通過できたと考えられる。

それでは4歳児は成人と同様に外在の手がかりを元に行為主体者を判断するのだろうか。文脈手がかりが行為主体者の判断に与える影響は、主に学童期以降の児童を対象に調べられている。7歳頃には成人と同様に、行為の結果に関する手がかりによって行為主体者が判断される (Metcalf, Eich, & Castel, 2010; Van Elk, Rutjens, & van der Pligt, 2015)。また、同様の手続きで自閉症スペクトラム障害の成人と定型発達成人の運動主体感が比較された (Zalla, Miele, Leboyer, & Metcalfe, 2015)。その結果、どちらの群も行為結果の手がかりの一貫性の有無によって主体感が調整されたが、自閉症スペクトラム障害群は定型発達群よりも効果が小さく、その効果の大きさは心の理論課題の成績の個人差と関連することが示された。心の理論課題の通過時期 (4~5歳) を踏まえると、4~5歳頃に成人と同じように外在の手がかりに基づいて行為主体者を (自己または他者である) と判断するようになると考えられる。しかし、この仮説を直接支持する実証的な知見は乏しく、成人の研究と直接比較可能な実験課題の考案が求められる。

2.3 運動主体感の発達モデル

成人の運動主体感に関するモデルおよび乳児期の運動主体感の発達過程を踏まえ、本稿ではヒトの運動主体感の発達過程を俯瞰する (図2)。Synofzik et al. (2008) に基づき、運動主体感は感覚運動レベルと推論レベルの二段階によって構成されるとする。まず、新生児は胎内での運動経験を通して獲得した自己受容感覚の予測的機構に基づき、自己の身体と外界 (他者) を区別する (図2-a)。この時期に既に上位層の処理が機能することを支持する実証的証拠はなく、外在の手がかりは経験を通して知識として符号化されることを前提としているため、上位層の処理はまだ十分には機能していないと仮定する。

次に、外界との相互作用経験を通して感覚運動系の制御による予測的運動制御の機構が成熟していくと考えられる (図2-b)。生後8~9ヶ月児が視覚-自己受容感覚のフィードバックの不-

致に対して注意や探索的行動の増加を示すという行動データに基づくと、感覚運動レベルでの運動主体感が生起しない場合に、推論レベルの処理が促されると捉えることができるかもしれない。ただし、この時期の乳児が、意図や信念や文脈手がかりを適切に利用できているかどうかに関しては疑問が残る。

それではいつ頃から、意図や信念や文脈手がかりを適切に利用して主体者が判断されるのだろうか(図 2-c)。これまで論じてきた間接的な証拠を考慮すると、幼児期に既に知識や文脈手がかりを利用して行為主体者を判断する可能性が示唆される。しかし、乳幼児期の運動主体感と成人の運動主体感と直接比較するためには、今後の実証的研究の蓄積が求められる。例えば、感覚フィードバックの情報が信頼できず外在的な手がかりが信頼できる場合に、乳幼児と成人は行為主体者が誰であると判断するかといった実験的操作が必要であろう。

最後に、各階層の処理に関する脳内ネットワークを示し、その発達過程について考察したい。胎児期から新生児期の行為主体者の弁別には小脳を含めた辺縁系の寄与が推測される。例えば、在胎週数 8~34 週にかけて小脳、大脳基底核、脳幹など運動制御に関与する中枢神経系が構成され (Levitt, 2003; Prayer et al., 2006)、小脳のシナプス増加は 28~34 週間に最大となる (Abraham et al., 2001)。この時期の予測的運動生成は小脳・大脳基底核および運動野による制御を強く受けると考えられる (Gallagher, Butterworth, Lew, & Cole, 1998)。 (図 2-a)。

乳児期には、到達保持行為や予測的眼球運動の制御の発達に伴い、頭頂葉や補足運動野、運動前野を含めたより長距離の脳内ネットワークが機能すると考えられる (図 2-b)。成人の研究によると、小脳、補足運動野と頭頂葉、上側頭溝の領域が感覚運動レベルの運動主体感に関与する (David, Newen, & Vogeley, 2008)。頭頂葉及び上側頭溝はミラーニューロンシステム (Mirror Neuron System, MNS: 自己や他者の運動シミュレーションに関与する) の領域に含まれる。神経生理学的指標 (e.g., 脳波) によって MNS が生後 6~9 ヶ月に機能することが間接的に支持されている (Cuevas, Cannon, Yoo, Fox, 2014; Vanderwert, Fox, & Ferrari, 2013)。さらに、Filippetti, Lloyd-Fox, Longo, Farroni, and Johnson (2014) は、光トポグラフィ (functional near-infrared spectroscopy, fNIRS) を用いて、視覚—自己受容感覚フィードバックの時間的随伴性を操作した時の生後 5~6 ヶ月児の皮質の血流活動を調べた。その結果、視覚—自己受容感覚の時間的随伴性に対して両側の上側頭溝および左下前頭回が賦活した。頭頂領域の血流反応は計測されなかったため、残念ながら頭頂葉の関与は現時点では不明である。しかし少なくともこの結果は、上側頭溝と下前頭回など感覚運動系の脳内ネットワーク (i.e., MNS 関連領域) が生後 5~6 ヶ月児の視覚—自己受容感覚の時間的随伴性の検出に関与することを示唆する。

最後に、基層と上層の処理の切り替えに関与するのは特に右側 TPJ であるとされ、概念的表象による行為主体者の判断には内側前頭前野が関与するとされる (Spengler, et al., 2009; Kühn et al., 2011)。右側 TPJ は視点の切り替えに関与し、内側前頭前野は他者の心的状態の推論に関わる領域である (Frith, & Frith, 2003)。Synofzik et al. (2008) の階層的モデルによると、感覚運動系の処理と上述の推論系の処理が双方向に影響を与えあう。成人を対象とした模倣抑制の課題において、推論系ネットワークが感覚運動系のネットワークを調整することが示されている (Spengler, Bird, & Brass, 2010)。これらの知見から、外在的な手がかりに基づく行為主体者の判断がなされるための神経メカニズムは、感覚運動系のネットワークと推論系のネットワーク間の

相互調整にあると考えられる (図 2-b, c)。この仮説を検討するためには、二つの脳内ネットワークがいつ頃どのように相互に影響し合うようになるのかに関する神経学的な発達モデルが必要となるだろう (成人の近年のモデルについては Apps & Tsakiris (2014) などを参照)。

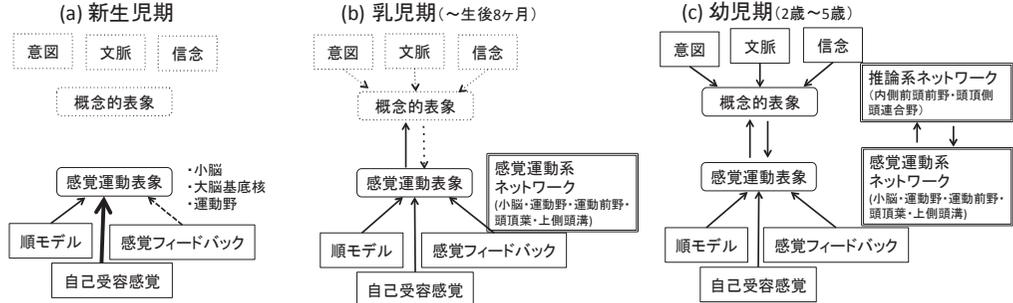


図 2. 運動主体感の発達の变化 (Synofzik et al., 2008 を元に作成)。(a) 新生児期、(b) 乳児期、(c) 幼児期

3. 乳児期の運動主体感の発達と他者理解との関連

本稿では、乳幼児期の運動主体感の発達過程について論じてきた。乳児期における自己認識の獲得過程を社会的相互作用の観点から捉えることもできる。Trevarthen (1979) は、間主観性の概念を元に、乳児は他者 (養育者) とは分離されていない共有された主観をもった状態から、発達に伴い自己と他者が異なる主観をもつということを理解した上で主観性の共有が始まると主張した。間主観性とは、ある事象を一人で知覚するのではなく、複数の主観の間でその事象の知覚や意味が共有された状態のことである (Husserl, 1931)。Murray and Trevarthen (1985) は、生後 2~3 ヶ月児と別室にいる母親がテレビモニターを介して相互作用している様子を記録し、母親の応答タイミングに時間の遅延を設けると相互作用がうまくいかなることを示した。乳児期初期の母子関係は、母親からの随伴的応答性によって一体感が保たれた状態にある (第一次主観性)。生後 9 ヶ月頃から、乳児は指差しや視線による共同注意など、養育者と視線を介した相互作用を行うようになる。この時期には、自己とは異なる主観性を持った他者との主観性の共有が始まる (第二次間主観性) (Trevarthen & Hubley, 1978)。生後 9 ヶ月頃からヒトは他者をコミュニケーションの意図的な主体者であると捉えるようになり、指差しや共同注意を含めた多様な行動を示すようになる (9 ヶ月革命) (Bates, Benigni, Bretherton, Camaioni, & Volterra, 1979; Bruner, 1983; Tomasello, 1995)。問題はどのようなメカニズムで自他が徐々に分離していくのかを明らかにすることにある。運動主体感とは、運動を起こした主体者が自己であるか他者であるかを識別するための最も基本的なメカニズムである。乳児が自己の運動の感覚フィードバックを時空間的枠組みで予測可能になると、他者との相互作用中において、自己と他者の行為の結果を予測できるようになると考えられる。8 ヶ月頃までに獲得される運動主体感は、自己と他者は異なる主観を持つ存在であるという認識の萌芽を促す可能性がある。言い換えると、乳児期に獲得される運動主体感は、第二次間主観性の先駆となる認知的メカニズムであるかもしれない。近年、間主観性の概念から、社会的相互作用でみられる他者の姿勢や動き、身振りや表情、声のイントネーションを含む動的な身体情報を元に、私たちは他者の意図や感情状態の基本的な感覚を得るという相互作用仮説が提案されている (Gallagher, 2012)。この説は、他

者の心的状態の推論やシミュレーションなどの内的表象を介す必要はなく、より身体に根ざした認知過程において他者の心理を理解するという身体性の観点に立ち、自閉症の社会性の障害を運動機能の障害から説明するモデルとして注目されている (Gallagher & Varga, 2015)。感覚運動経験によって生起する運動主体感が自己認識や自他分離表象の獲得と関連することを踏まえると、相互作用仮説は発達初期の他者理解の基本的なメカニズムとして有用であるかもしれない。残念ながら、運動主体感と他者との相互作用における振る舞い (e.g., 指差しや共同注意) との関連については未だほとんど検討されていない (c.f., Klein-Radukic & Zmyj, 2015)。今後は、運動主体感の発達が自己認識および他者理解に与える影響を明らかにし、その発達過程の定型性・非定型性を解明することが必要である。

おわりに

最後に、本稿を通して明らかになった三つの点をまとめ、今後の展望を整理する。本稿では第一に、成人の心理学・認知神経科学の知見を基に、運動主体感が生起するメカニズムをまとめた。私たちは、運動の感覚フィードバックの予測性によって運動主体感の有無を弁別し、意図や知識に基づく推論によって行為主体者を判断すると考えられる。第二に、これらの知見を踏まえて、乳児期の運動主体感に関する発達過程を概括した。生後8ヶ月頃に、自己の運動に伴う感覚フィードバックの時間的整合性が損なわれた状況に対して注意を向けたり、探索行動を示すことがわかった。一方、外在の手がかりに基づく行為主体者の判断に関しては発達の知見が乏しく、さらなる研究の必要性が論じられた。成人における運動主体感の各階層の処理には、脳内の複数のネットワーク（感覚運動系ネットワーク及び推論系ネットワーク）が関与する。感覚運動系のネットワークに関しては生後9ヶ月までに機能することが間接的に支持されているが、推論系ネットワークと感覚運動系ネットワークがいつ頃どのように相互調整するようになるのかに関しては未だ不明であり、神経学的な発達モデルの構築が今後の課題である。

最後に、乳児期の運動主体感の発達が自己認識の発達過程だけでなく、他者理解の発達過程とも関連することを論じた。相互作用仮説や間主観性の観点から、運動主体感の獲得は共同注意や三項関係などその後の社会認知能力の発達の先駆になる可能性を論じた。今後は、乳児期における運動主体感とその後の自己認識および他者理解の発達との関連を調べ、その定型的あるいは非定型的発達過程について明らかにすることが重要である。

謝辞

本稿の執筆にあたりご指導を賜りました、京都大学大学院教育学研究科の明和政子先生に心より御礼を申し上げます。

引用文献

- Aarts, H. J., Custers, R., & Wegner, D. M. (2005). On the inference of personal authorship: Enhancing experienced agency by priming effect information. *Consciousness and Cognition*, 14, 439-458.
- Abraham H, Tomoczky T, Kosztolanyi G & Seress, L. (2001). Cell formation in the cortical layers of the developing human cerebellum. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 19, 53-62.
- Apps, M. A. J., & Tsakiris, M. (2014). Neuroscience and Biobehavioral Reviews. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 41,

- 85–97. <http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.01.029>
- Bahrnick, L. E., & Watson, J. S. (1985). Detection of intermodal proprioceptive-visual contingency as a potential basis of self-perception in infancy. *Developmental Psychology*, 21, 963–973.
- Bates, E., Benigni, L., Bretherton, I., Camaioni, L., & Volterra, V. (1979). *The emergence of symbols: Cognition and communication in infancy*. New York: Academic Press.
- Blakemore, S. J., Frith, C. D. & Wolpert, D. W. (1999). Spatiotemporal prediction modulates the perception of self-produced stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 11, 551-559.
- Blakemore, S. J., Wolpert, D. M., & Frith, C. D. (1999). The cerebellum is involved in predicting the sensory consequences of action. *Neuroimage*, 12(9), 1879-1884.
- Blakemore, S. J., Wolpert, D. M., & Frith, C. D. (1998). Central cancellation of self-produced tickle sensation. *Nature Neuroscience*, 1(7), 635-640.
- Blakemore, S. J., Wolpert, D. M., & Frith, C. D. (2002). Abnormalities in the awareness of action. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 237– 242.
- Bruner, J. (1983). *Child's talk: Learning to use language*. New York: Norton.
- Cuevas, K., Cannon, E.N., Yoo, K., Fox, N., A. (2014). The infant EEG mu rhythm: methodological considerations and best practices. *Developmental Review*, 34, 26 – 43. (doi:10.1016/j.dr.2013.10.12.1001) •
- Desmurget, M., & Sirigu, A. (2009). A parietal-premotor network for movement intention and motor awareness. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(10), 411–419. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2009.08.001>
- Farrer, C., Franck, N., Georgieff, N., Frith, C. D., Decety, J., & Jeannerod, M. (2003). Modulating the experience of agency: A positron emission tomography study. *NeuroImage*, 18, 324–333.
- Fourneret, P. & Jeannerod, M. (1998). Limited conscious monitoring of motor performance in normal subjects. *Neuropsychologia* 36, 1133–1140; DOI:[http://dx.doi.org/10.1016/S0028-3932\(98\)00006-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0028-3932(98)00006-2) •
- Filippetti, M. L., Lloyd-Fox, S., Longo, M. R., Farroni, T., & Johnson, M. H. (2014). Neural Mechanisms of Body Awareness in Infants. *Cerebral Cortex*.
- Frith, C. D., Blakemore, & Wolpert, D. M. (2000). Abnormalities in the awareness and control of action. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 355(1404), 1771–1788.
- Frith, U., & Frith, C.D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Science*, 358, 459–473. •
- Gallagher, I.I. (2000). Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Science*, 4, 14–21.
- Gallagher, S. (2012). In Defense of Phenomenological Approaches to Social Cognition: Interacting with the Critics - Springer. *Review of Philosophy and Psychology*, 3, 187-212.
- Gallagher, S., Butterworth, G. E., Lew, A., & Cole, J. (1998). Hand–mouth coordination, congenital absence of limb, and evidence for innate body schemas. *Brain and Cognition*, 38, 53-65.
- Gallagher, S., & Varga, S. (2015). Conceptual issues in autism spectrum disorders. *Current Opinion in Psychiatry*, 1.
- Gergely, G., Bekkering, H., & Király, I. (2002). Developmental psychology: Rational imitation in preverbal infants. *Nature*, 45, 755-756.
- Gilmore, R. O., & Johnson, M. H. (1997). Egocentric action in early infancy: Spatial frames of reference for saccades.

田中：乳児期の運動主体感の発達過程とその社会的機能

- Psychological Science*, 8(3), 224-230.
- Green, P. & Preston, M. (1981). Reinforcement of vocal correlates of auditory hallucinations by auditory feedback: A case study. *British journal of Psychiatry*, 139, 204-208.
- Hiraki, K. (2006). Detecting contingency: A key to understanding development of self and social cognition. *Japanese Psychological Research*, 48, 204-212.
- Husserl, E. (1931). *Cartesianische Meditationen: Eine Einleitung in die Phänomenologie*. (兵満辰二 (訳) (2001) デカルト的省察 岩波書店)
- 乾敏郎 (2013). 脳科学からみる子どもの心の育ち. ミネルヴァ書房.
- Klein-Radukic, S., & Zmyj, N. (2015). The relation between contingency preference and imitation in 6-8-month-old infants. *International Journal of Behavioral Development*, 1-8.
- Kühn, S., Nenchev, I., Haggard, P., Brass, M., Gallinat, J., & Voss, M. (2011). Whodunnit? Electrophysiological Correlates of Agency Judgements. *PLoS ONE*, 6(12), e28657.
- Levitt, P. (2003). Structural and functional maturation of the developing primate brain. *The Journal of Pediatrics*, 143(4), 35-45.
- Mc Guigan, F. J. (1966). Covert oral behavior and auditory hallucinations. *Psychophysiology*, 3 (1), 73-80.
- Meltzoff, A. N. (1995). Understanding the intentions of others: re-enactment of intended acts by 18-month-old children. *Developmental Psychology*, 31(5), 838-850.
- Metcalfe, J., Eich, T. S., & Castel, A. D. (2010). Metacognition of agency across the lifespan. *Cognition*, 116, 267-282.
- Miyazaki, M., & Hiraki, K. (2006). Delayed inter-modal contingency affects young children's recognition their current self. *Child Development*, 77, 736-750.
- 宮崎 美智子・高橋 英之・岡田 浩之・開 一夫. (2011). 自己認識における運動主体感の役割と発達メカニズム. *認知科学*, 18(1), 9-28.
- Miyazaki, M., Takahashi, H., Rolf, M., Okada, H., & Omori, T. (2014). The image-scratch paradigm: a new paradigm for evaluating infants' motivated gaze control. *Scientific Reports*, 4.
- Murray, L. & Trevarthen, C. (1985). Emotional regulation of interactions between two-month-olds and their mothers. In T. M. Field & N. A. Fox (Eds.). *Social perception in infants*, Norwood, NJ: Ablex. Pp.177-197.
- Myowa-Yamakoshi, M., & Takeshita, H. (2006). Do Human Fetuses Anticipate Self-Oriented Actions? A Study by Four-Dimensional (4D) Ultrasonography. *Infancy*, 10 (3), 289-301.
- Prayer, D., Kaspran, G., Krampl, E., Ulm, B., Witzani, L., Prayer, L., & Brugger, P. C. (2006). MRI of normal fetal brain development. *European Journal of Radiology*, 57(2), 199-216.
- Robin, D. J., Berthier, N. E., & Clifton, R. K. (1996). Infants' predictive reaching for moving objects in the dark. *Developmental Psychology*, 32(5), 824-835.
- Rochat, P. (2003). Five levels of self-awareness as they unfold early in life. *Consciousness and Cognition*, 12, 717-731.
- Rochat, P., & Goubet, N. (1995). Development of sitting and reaching in 5-to 6-month-old infants. *Infant Behavior and Development*, 18, 53-68.
- Rochat, P., & Hespos, S. J. (1997). Differential rooting response by neonates: evidence for an early sense of self. *Early Development and Parenting*, 6(2), 150.1-150.8.
- Rochat, P., & Morgan, R. (1995). Spatial determinants in the perception of self-produced leg movements in 3-to 5-month-old infants. *Developmental Psychology*, 31 (4), 626-636.

- Rochat, P., & Striano, T. (1999). Emerging self-exploration by 2 month-old infants. *Developmental Science*, 2(2), 206–218.
- Ruys, K. I. & Aarts, H. (2012). I didn't mean to hurt you! Unconscious origins of experienced self-agency over other's emotions. *Emotion*, 12 (1), 132-141.
- Sato, A. (2008) . Action observation modulates auditory perception of the consequence of others' actions. *Consciousness and Cognition*, 17, 1219-1227.
- Sato, A. (2009) . Both motor prediction and conceptual congruency between preview and action-effect contribute to explicit judgment of agency. *Cognition*, 110, 74-83.
- Sirigu, A., Daprati, E., Pradat-Diehl, P., Franck, N., & Jeannerod, M. (1999). Perception of self-generated movement following left parietal lesion. *Brain*, 122, 1867–1874.
- Sparling, J. W., & Wilhelm, I. J. (1993). Quantitative measurement of fetal movement: Fetal-Posture and Movement Assessment (F-PAM). *Physical and Occupational Therapy in Pediatrics*, 12, 97-114.
- Spengler, S., Cramon, von, D. Y., & Brass, M. (2009). Was it me or was it you? How the sense of agency originates from ideomotor learning revealed by fMRI. *NeuroImage*, 46(1), 290–298.
- Spengler, S., Bird, G., & Brass, M. (2010). Hyperimitation of actions is related to reduced understanding of others' minds in Autism spectrum conditions. *Biological Psychiatry*, 68(12), 1148–1155. •
- Synofzik, M., Vosgerau, G., & Newen, A. (2008). Beyond the comparator model: A multifactorial two-step account of agency. *Consciousness and Cognition*, 17(1), 219–239.
- Tomassello, M. (1999). *The cultural origins of human cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Trevarthen, C. (1979). Communication and cooperation in early infancy: A description of primary intersubjectivity. In M. Bullowa (Ed.), *Before speech*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Trevarthen, C. & Hubley, P. (1978) . Secondary intersubjectivity: Confidence, confiding, and acts of meaning in the first year. In A. Lock (Ed.), *Action, gesture and symbol*, London: Academic Press. Pp.183-229.
- Vanderwert, R., E., Fox, N., A., Ferrari, P., F. (2013). The mirror mechanism and mu rhythm in social development. *Neuroscience Letters*, 540, 15 – 20. (doi:10.1016/j.neulet.2012.10.006)
- Van Elk, M., Rutjens, B. T., & van der Pligt, J. (2015). The development of the illusion of control and sense of agency in 7- to-12-year old children and adults. *Cognition*, 145(C), 1–12.
- Von Holst, E. (1954). Relations between the central Nervous System and the peripheral organs. *The British Journal of Animal Behaviour* 2 (3): 86–89.
- Wolpert, D. M. (1997). Computational approaches to motor control. *Trends in Cognitive Science*, 1, 209-216.
- Wolpert, D. M., Ghahramani, Z., & Jordan, M. I. (1995) . An internal model for sensorimotor integration. *Science*, 269, 1880-1882.
- Yomogida, Y., Sugiura, M., Sassa, Y., Waku-sawa, K., Sekiguchi, A., Fukushima, A., Takeuchi, H., Horie, K., Sato, S., & Kawashima, R. (2010). The neural basis of agency: An fMRI study. *Neuroimage*, 50, 198–207. •
- Zalla, T., Miele, D., Leboyer, M., & Metcalfe, J. (2015). Consciousness and Cognition. *Consciousness and Cognition*, 31(C), 126–138. <http://doi.org/10.1016/j.concog.2014.11.001>
- Zmyj, N., Hauf, P., & Striano, T. (2009). Discrimination between real-time and delayed visual feedback of self-performed leg movements in the first year of life. *Cognition*, 13(4), 479-489.

(日本学術振興会特別研究員 教育方法学講座 博士後期課程3回生)
 (受稿 2015年9月1日、改稿 2015年11月4日、受理 2015年12月24日)

乳児期の運動主体感の発達過程とその社会的機能

田中 友香理

運動主体感とは、目的的かつ主体的に運動を引き起こしているのは自分だという感覚である。運動主体感は自己認識を支える要素の一つであると言われている。しかし、運動主体感の発達過程はまだ十分に明らかにされていない。本稿は、乳幼児期の運動主体感の発達過程を心理学的・神経学的観点から提案した。まず、成人の運動主体感に関する研究を概括した。成人は運動の感覚フィードバックの予測によって運動主体感の有無を弁別し、意図や知識に基づく推論によって行為主体者を判断する。次に、乳幼児期にかけて、感覚運動レベルの運動主体感の喚起から推論に基づく行為主体者の判断に至るまでの発達過程を論じた。成人の神経学的知見から、こうした発達過程の神経基盤は、感覚運動系ネットワークと推論系ネットワーク間の相互的調整にあることが示唆された。最後に、身体性の観点から運動主体感の発達が他者理解に果たす役割について今後の展望を含めて考察した。

Developmental trajectory and social function of the sense of agency in infancy

TANAKA Yukari

Sense of agency (SoA) refers to the feeling that “I” am responsible for those external events that are directly produced by one’s own voluntary actions. The SoA is thought to be a component of the consciousness of the self. However, the developmental process of SoA is still unclear. In this paper, we discuss the developmental process of SoA from both psychological and neurological perspectives. First, we reviewed the study of SoA of adults. The SoA is composed by discrimination of the feeling of SoA, which is caused by comparison of predicted and actual estimated value of sensory feedback of motor commands, as well as the judgment of agency by inference based on intentional or contextual cues. Next, we suggest a developmental process of SoA, from the emergence of SoA at the sensorimotor level to the judgment of agency by inferential processes. Based on evidence from neurological research in adults, we propose that the neural mechanism of such developmental processes involves bidirectional modulation of the sensorimotor network and the social inference network. Finally, we suggest a relationship between SoA in infancy and the understanding of others’ mind from the concept of embodiment in early social interaction.

キーワード： 乳児、運動主体感、予測

Keywords: Infant, Sense of agency, Prediction