「自閉症スペクトラム児(者)の心的回転から見た身体図式の発達」

Development of Body Schema in Children and Adults with Autistic Spectrum Disorders: Examination by the Mental Rotation Task

＜論文要約＞

日　田　勝　子

【序論】

「自閉症スペクトラム；Autism spectrum disorders=以下 ASD」とは、1980 年代後半、多彩な自閉症症状や症状の連続的状態を踏まえ、児童精神科医ローナ・ウイングが提唱した障害概念である。自閉症スペクトラムの中核症状は、①対人関係の障害（社会性の障害）、②コミュニケーションの障害（言語機能の発達障害）、③イマジネーションの障害（こだわり行動と興味の偏り、固執性）である。しかし、中核障害以外に、付加的障害として手の運動や協調運動の苦手さを呈する者が存在する。これらの問題は、ASD 児（者）の学習技能・生活技能に影響することが予測され、彼らへの支援のあり方について医療や福祉、教育の各領域で研究・実践が進められている。

ASD 児（者）の運動特性については行動分析を中心とした模倣動作の弱さを報告するもが多い。近年の研究では自閉症の模倣の弱さとミラーニューロンの関連性を支持する知見が多く、ミラーニューロンを含む脳の多重システムの障害として捉えられている。また、運動発達の遅れ、姿勢バランスや協調運動などの問題を指摘する研究も多く存在する。この運動と深く関係するのが身体図式である。本研究で取り上げる身体図式（Body Schema）とは体性感覚、前庭感覚、視覚、聴覚などの感覚情報に基づく内在化された脳内表象である。身体図式と関連する研究として ASD 児は身体の意味や部位の理解は可能だが身体の空間的な視覚表象が曖昧であることが報告されている。また、単に運動産出や模倣の弱さと捉えるのではなく、身体図式と深く関連する運動の質的要素に関係した予測や準備、運動プラクシスの問題として捉える知見もある。

心的回転を用いたイメージ研究は、Shepard and Metzler を先駆けとしてこれまで様々な知見が報告されている。積山は手の図形を使用した心的回転は、手の生体力学的影響を受け、拘束が強い角度で反応時間が延長することや発達過程において身体制約の影響が徐々に減少していくことを報告している。その後、脳機能画像化の発展により、手の心的回転は体性感覚をベースとした運動イメージと深く関係していること、物体回転で活性化する頭頂葉や視覚野のみでなく運動前野の活性を認めることが明らかになっている。一方、ASD 児（者）を対象とした心的回転研究は少ない。自閉症研究者の一人である Baron-Cohen は、自閉症極端男性脳説（The extreme male brain theory of autism）を提唱し、著書の中で自閉症群が視覚的回転課題に優れた成績を示すことを報告している。また、近年、Conson らは、手の心的回転課題において ASD 者が定型発達者よりも生体力学的影響を受けにくいとする報告をしている。

手の心的回転課題における反応姿勢の影響に関する研究はそのほとんどが定型発達の幼児や成人を対象としている。Funk らは、幼児は成人よりも反応姿勢の影響を受け易いことや成人は手背図が姿勢に関係なく優位になることを報告している。

【目的】

本研究の主たる目的は、ASD 児・者の多種感覚間の情報処理を基盤とした内的な身体図式の発達が定型発達児･者に比べて不十分であるという仮説を手の心的回転課題を用いて検討することである。

研究Ⅰでは非身体視覚刺激と手の刺激を回転させ、回転角度と反応時間・正答率の関係を検証するために次の仮説を立てた。①手の回転刺激を使用した場合、生体力学的な身体の運動制約がある回転角度において、ASD 群は定型発達群よりも反応時間がさらに延長する、②非身体具象刺激を使用した回転刺激の場合は、反応時間や正答率に２群間の差は認めないが身体表象図形（手）を使用した場合は、ASD 群が定型発達群よりも反応時間がさらに延長する。

研究Ⅱでは、手の回転刺激を使用し、反応姿勢が反応時間や正答率に与える影響について検証した。①反応姿勢の影響：ASD 群は自己身体の姿勢の影響を受けやすく、手背上姿勢では手背図の反応時間・正答率の成績が手掌図より高く、手掌上姿勢では手掌図の反応時間・正答率の成績が手背図より高い。しかし、定型発達群では反応姿勢の影響は ASD 群より弱い。②回転角度と反応時間：研究Ⅰと同様に、ASD 群は、定型発達群よりも生体力学的な身体の運動制約がある回転角度において反応時間がさらに延長する。

以上２つの仮説を検証する。本研究により、ASD 群が抱えている学習技能、生活技能の修得の難しさの原因を示唆することができると考える。

【研究Ⅰ：生体力学的身体制約の影響】

＜対象＞

ASD 群；高機能自閉症、高機能広汎性発達障害、アスペルガー障害、自閉傾向などの自閉症スペクトラムに属する診断を医師により受けた小学４年生～６年生に在籍する児童男子 14 名、平均年齢 130.9 ヶ月±9.4（10 歳 11 ヶ月）、117 ヶ月～145 ヶ月（9 歳 9 ヶ月-12 歳 1 ヶ月）が参加した。全員に自己の左右と他者の左右の認識について Southern California Sensory Integration Test（南カルフォルニア感覚統合検査)に含まれる Right-Left discrimination Test(左右判別検査)を実施し全問正解であった。また、利き側は、全員右利きであった。知的水準の平均は、WISC-Ⅲ・WISC-Ⅳ(N=12)；全検査 IQ107（94-124)、言語理解 IQ106(99-123)、知覚統合/知覚推理 IQ105(89-129)、K-ABC(N=4)；継次処理 105(86-121)、同時処理 110(92-123)、認知処理 110(99-128)であった。

定型発達群（Typical developmental=以下 TD 群）；TD 群として４年生から６年生の地域の小学校に通学し、通常学級に在籍する男児 16 名、平均年齢 130.8 ヶ月±10.5（10 歳 11 ヶ月)、117 ヶ月～148 ヶ月（9 歳 9 ヶ月-12 歳 4 ヶ月）が参加した。利き側は、全員右利きであった。ASD 群と同じく、Right-Left discrimination Test を実施し全問正解であることを確認した。

＜方法＞

研究全体は３つの実験で構成した。実験１は８回転の具象図形を使用した心的回転課題、実験２は８回転の手の図形を使用した心的回転課題であった。この２つの実験を研究Ⅰとした。実験３は反応姿勢を変数として操作した手の刺激を用いた心的回転課題である。こ

れを研究Ⅱとした。実験は、全参加者において研究Ⅰ（実験１、実験２）、研究Ⅱ（実験３）と進む。

実験１は練習および本検査で構成されていた。視覚的回転課題として非身体具象図形である「車」を使用した。練習用図形は、時計回り４回転（0°、90°、180°及び 270°）、右進行と左進行、計８刺激図を作成した。本検査では練習用とは別の車を使用し、時計回り８回転（0°、45°、90°、135°、180°、225°、270°及び 315°）、右進行と左進行、計 16 刺激図を作成した。

実験２は練習１、練習２、本検査で構成されていた。すべて手の線画を用い、練習１は３種類の手の線画の左右手図（全て 0°）計６刺激図を作成した。練習２では、左右図及び時計回り８回転、計 16 刺激図を作成した。本検査では３種類の手の線画を用い、左右図及び８回転刺激にて計 48 刺激図（３×２×８）を作成した。

刺激はパソコン画面中央に提示し、実験Ⅰでは USB 型パソコン用ゲームコントローラーを使用し反応時間と正答率を記録した。刺激提示の手順は、練習として非身体具象図形（車）８刺激をランダムに８枚提示し、右か左かを判断してもらった。本検査は車図形 32 刺激（２×２×８）を使用し、48 回を２セット､計 96 枚の提示を実施した。実験２は、練習１として垂直刺激で練習を実施した。６刺激をランダムに６回提示し、右手か左手かを判断してもらった。練習２として、８回転の回転刺激で練習を実施した。本検査は、手の図形３枚を使用し 48 刺激（３×２×８）をランダムに提示し、２セット計 96 枚の提示を実施した。

＜結果と考察①＞生体力学的身体制約の影響

今回の仮説を検証するために ASD 群と TD 群の反応時間の相違について検討を行った。２群の比較を行った結果､ASD 群は右手図 90° 及び 135° で TD 群より反応時間が延長し、左手図 225° 及び 270° で TD 群より反応時間が延長した。また、回転角度を身体制約が強い回転角度（右手図 45°、90° 及び 135°、左手図 225°、270° 及び 315°）と弱い回転角度（右手図 225°、270° 及び 315°、左手図 45°、90° 及び 135°）の２条件に分けた分析でも ASD 群は TD 群より身体制約が強い角度で有意に反応時間の延長を示した。しかし、身体制約が弱い角度では ASD 群と TD 群の反応時間に差はなかった。すなわち、生体力学的身体制約を受ける回転角度の中でも、特に、左手図 225°及び 270°、右手図 90°及び 135°で、ASD 群が生体力学的身体制約の影響を強く受ける可能性を示唆した。左手図 315°及び右手図 45°は、上肢の１関節の力学的動きで再生することが可能であるが、他の角度はいくつかの関節を動かさないと再生することが不可能である。この運動の複雑さが運動イメージ過程に影響すると考える。

また、TD 群は左右図ともに 180° をピークとする反応時間を示したが、ASD 群は、右手図 90° 及び 135°、左手図 180°、225° 及び 270° がピークとなる反応時間を示した。幼児･児童を対象とした研究では、幼児や低学年ほど身体制約の影響を受け、脳内での手のイメージ操作が身体運動と深く関連していることが示唆されている。今回の ASD 群の結果は、積山の手の心的回転の発達特性と照合すると８歳以下の反応時間に見られる左手右手ピークと類似していた。この結果から、学童期高学年を対称とした TD 群は、身体制約の影響が徐々に減少し、視覚イメージと統合された回転操作が発達していくが､ASD 群は低学年の発達に留まる可能性が示唆された。

＜結果と考察②＞非身体具象図形と身体表象図形の比較

非身体具象図(車)の反応時間と正答率の ASD 群及び TD 群の比較の結果、反応時間は ASD 群と TD 群に差は認めなかった。また、正答率は ASD 群が TD 群より高いことが明らかになった。この結果は、ASD 群と TD 群の視覚的な心的回転課題の処理能力において同様の発達能力、もしくは優れている可能性を示唆した。これらの研究知見から ASD 群は総じて視知覚能力（ここでは心的回転課題）の優位性を持つことが考えられる。すなわち、今回の研究結果は、視覚的心的回転課題にはシステム化の能力を含むとする Baron-Cohen の「極端男性脳説自閉症理論」を支持する結果であると考える。

次に身体表象図形（手）の反応時間と正答率の ASD 群及び TD 群の比較の結果、反応時間において両群に有意な差を認め、ASD 群は TD 群より反応時間の延長が見られた。また、左手図 225°及び 270°、右手図 90°及び 135°にて、ASD 群が生体力学的身体制約の影響を強く受ける可能性が示唆された。今回のこの結果は、身体表象図形である手を用いた心的回転課題では、ASD 群は TD 群より身体の制約を受け反応時間が延長することを示している。すなわち、非身体具象図形（車）では ASD 群と TD 群に有意な差はなく、むしろ ASD 群の成績が高い（正答率）が、身体表象図形（手）では ASD 群は TD 群より反応時間の成績が低いことが示唆された。

今回対象となった ASD 群は正答率において TD 群と相違はなかった。しかし、反応時間は延長した。ASD 群は協調的運動や姿勢バランス、微細運動を持つことが知られている。一方、脳機能画像化の研究から手の心的回転課題は、運動の準備、プランニングの役割を持つ運動前野の活性と深く関連している。今回の結果は、ASD 群が手の回転という運動イメージにおいて運動再生のプランニングに時間を要する可能性が示唆された。

【研究Ⅱ：心的回転における反応姿勢の影響】

＜対象＞

対象は、ASD 群と TD 群、および、年齢により児童群と成人・青年群に分けられる。学童 ASD 及び学童 TD は研究 I と同じ対象である。

青年及び成人 ASD 群は、高機能自閉症、高機能広汎性発達障害、アスペルガー障害、自閉傾向などの自閉症スペクトラムに属する診断を過去もしくは現在、医師により受けた高校生以上の青年及び成人 17 名が参加した（女性 4 名、男性 13 名）。平均年齢は 230 ヶ月±30.8（19 歳 1 ヶ月）、186 ヶ月－299 ヶ月（15 歳 6 ヶ月～24 歳 11 ヶ月）。学童と同じく全員に Right-Left discrimination Test を実施し全問正解をした。全員右利きであった。ASD 群の知的機能は、WISC-Ⅲ・WISC-R(N=16)；全検査 IQ87（93-110）、言語性 IQ (N=15)；IQ93(75-119)、動作性 1Q (N=15)；IQ86(70-99)であった。1 名は全検査 IQ が 80 以上であったため今回の研究の対象とした。

成人 TD 群の対象は、右利きの女子 9 名、男子 6 名、計 15 名である。平均年齢 225.7 ヶ月±8.2(18 歳 9 ヶ月)、218 ヶ月～245 ヶ月(18 歳 2 ヶ月～20 歳 5 ヶ月)である。Right-Left discrimination Test を実施し全問正解をした。

＜方法＞

刺激図として手背図及び手掌図の左右手の線画を前額平行面上の回転による 4 角度(0°、90°、180°及び 270°）にて計 16 枚（4×2×2）を作成した。研究 I の実験 1 ・ 2 を終了し

た後、スイッチは25mm押しボタンスイッチ2個が付いたスイッチ箱に取り替えた。左右のどちらかのスイッチを軽く押すことにより反応時間と正答率の記録を行った。手掌が上の場合は、箱を裏替えしに置いてスイッチを押させた。反応姿勢の条件は、「手掌上姿勢；前腕を回外位にした手掌が上の姿勢」及び、「手背上姿勢；前腕を回内位にした手背を上にした姿勢」の2姿勢であった。被験者はスイッチボックスに手を入れ、自己の手の映像は視覚的に遮断された。手背上姿勢と手掌上姿勢の実験順番については被験者間でカウンターバランスした。刺激提示は16枚の刺激図をランダム順に提示する試行を3回繰り返し、手掌上姿勢48試行、手背上姿勢48試行、計96試行を行った。

＜結果と考察＞

児童群の分析；ASD群は手背上姿勢において手背図の反応時間が有意に速かった。しかし、手掌上姿勢は手掌図が速くなる傾向はあるが有意な差は認めていない。一方、TD群は手背上姿勢で手背図が有意に速く、手掌上姿勢で手掌図が有意に速かった。

成人群の分析；TD群は手掌上姿勢の時、手背図は手掌図とほぼ同じレベルで反応し、手背上姿勢の時、手背図は有意に速くなった。成人に見られる手背図の特殊性は、手背上姿勢に明らかに認められた。一方、ASD群は反応姿勢が一致した刺激図で反応時間が促進される傾向があった。また、TD群に見られた手背上姿勢における手背図の特殊性は、TD群より弱かった。

ASD群とTD群の分析；ASD群の両年齢群とも手背上姿勢は、手背図にて反応時間を促進するが、学童ASD群が成人群より姿勢の影響は強かった。手掌上姿勢は、成人ASD群、児童ASD群共に差はなかった。また、TD群を比較すると、児童群では、2つの反応姿勢に一致した図形において反応促進を生み、成人群では、手背上姿勢と一致した手背図のみで反応促進を生んでいた。

以上、今回の研究により児童群はASD群よりTD群が反応姿勢の影響を受けていることが示唆された。また、成人ASD群においては手背の特殊性が低く、成人TD群ほど強く手背図が手の典型として記憶に表象されていない可能性が示唆された。さらに、児童群と成人群を比較するとASD群とTD群両群共に、児童群が成人群より反応姿勢の影響を強く受けている可能性が示唆された。Iontaらは、反応姿勢における固有受容覚情報が手の回転図形課題の反応時間に影響することを指摘している。また、反応姿勢の影響を調べたf-MRI研究によると、頭頂葉－前頭葉のネットワークの中でも後部頭頂皮質（頭頂間溝周辺）が関与し、自己の姿勢情報を送る固有受容感覚と深く関連していることが知られている。この頭頂間溝周辺は、体性感覚野からの情報や視覚野からの情報が入力される場所であり、視覚と運動との空間的な統合に重要な役割を持つ部位でもある。すなわち、反応姿勢における手の位置による固有感覚情報は、視覚情報と統合されて反応時間に貢献すると言える。

今回の研究は姿勢から引き起こされる固有受容感覚情報の影響が、児童TD群→成人TD群→児童ASD群→成人ASD群の順に徐々に弱くなる可能性を示唆した。言い換えれば、ASD群は反応姿勢という自己の固有感覚情報が、視覚的に提示された手の図形の判断に強く貢献していない可能性が考え

られる。

【総合考察】

本研究は、自閉症スペクトラム児（者）の身体図式の特性を探ることを目的としている。非身体具象図形の心的回転において ASD 児は TD 群と同等もしくは高い成績を示した。しかし、身体表象を用いた手の心的回転課題の反応時間は、TD群よりASD群が延長し、且つ生体力学的制約を強く受けた。この結果は、ASD群の運動イメージ操作とTD群の運動イメージ操作が異なる可能性を示唆している。次に、研究Ⅱの結果は、ASD 群より TD 群が反応姿勢の影響を受けていた。さらに児童群と成人群を比較すると児童群が成人群より反応姿勢の影響を強く受けていた。これらの結果は、今回の仮説「ASD 群は TD 群より反応姿勢の影響を受ける。」を棄却する結果となった。すなわち、反応姿勢における手の位置からの固有受容感覚情報は効果的に反応時間に貢献するが、ASD群は貢献していない可能性を示唆した。

本研究で明らかになった結果は、ASD 群の運動の問題やプラクシスの問題を取り上げた先行研究につながるものと考えられる。特に、「ASD 群は反応姿勢の影響を受けにくい」とする結果は、ASD 群は固有受容感覚情報処理の未熟さ（もしくは障害）を持つ可能性があり、姿勢の位置情報の処理が不十分であることが推察される。今回対象とした ASD 群の多くは、自己の固有感覚情報と視覚情報の統合システムを有効に使用することが困難であり、さらに、自己身体の位置と言う自己身体の表象においても固有感覚受情報の弱さが影響をしている可能性が考えられる。前述したが手の心的回転には運動イメージが伴うことが知られている。運動イメージの基本メカニズムは脳内の内部モデルを能動的に働かせ運動指令（遠心性コピー）から感覚フィードバックを予測し運動結果の感覚を自己の脳内で作り出すことである。このメカニズムが身体図式と相互に関係し、その動作と視覚表現が統合されることで視覚表現から自己の運動プログラムを立ち上げるように働く。また、手の心的回転課題時の運動前野活性の研究知見は、運動産出を伴わない運動の準備や運動プランニングと深く関係している。すなわち、ASD 群は、ある運動をイメージする過程において、必要な身体図式の表象の修正や適応を瞬時に行うことが必要となる運動の予測、感覚的フィードバックの予測と実際の運動結果と照合する感覚運動制御システムに時間を要するのではないかと推察する。このことは、ASD 児の運動問題を、プラクシスの問題や運動準備の問題として取り上げている Dowell らや Mostofsky らの運動企画と関連する先行研究につながるものと考える。

ASD 群はまず、自己身体からの固有受容感覚情報を視覚情報と統合させる過程に弱さをもつ可能性が示唆された。このことは、運動イメージ操作における脳内の内部モデルに影響すると考えられる。内部モデルを含む感覚運動制御システムが身体図式と深く関係していることから、ASD 群の身体図式はこのシステムと相互に関係し、手の心的回転課題に見られる運動のプランニングに影響を与えていると推察される。