

知的障害児における動作観察・遂行時の脳機能状態

－自閉症群と非自閉症群の α 波成分の出現様相－

鈴木保巳* 桃木 唯* 平野晋吾**
角 愛鹿** 熊谷享子*** 寺田信一****

Brain Function for Observed and Self-Performed Movements in Children with Intellectual Disabilities: EEG Alpha Component in Individuals with and without ASD

Yasumi SUZUKI, Yui MOMOKI, Shingo HIRANO, Aika SUMI,
Takako KUMAGAI, and Shin-ichi TERADA

Summary

Mu rhythm, one of the EEG alpha components, is recorded at the central region on the scalp corresponding to the sensorimotor area, and is reduced by activation of the brain motor system. It has been reported that high-functioning individuals with autism spectrum disorders(ASD) show mu power suppression related to self-performed hand movements but not when observing those performed by others. To clarify whether these phenomena were specific to high-functioning individuals with ASD, we measured mu power for observing and executing movements in 14 non-ASD and 11 ASD children (the age ranged from 6 to 18 years old) with intellectual disabilities. EEG rhythms were recorded on the scalp while subjects were resting with eyes open; watching animated clips of ball throw, ball catch, paper rock (i.e., opening and closing of fist) and bouncing ball; moving their own hand to catch a ball and do paper rock.

We focused on the alpha component at the central region contralateral to the dominant hand. In the non-ASD group, alpha power was distinctly suppressed when subjects observed other's paper rock and performed their own, compared with rest and other conditions. We consider that this alpha component was mu rhythm and the power suppression indicated activation of the brain system for simple motor tasks than for complex tasks such as ball handling. Mu suppression for simple actual and observed tasks such as paper rock were less in the ASD group than in the non-ASD group. We suggest that this weak activation of observation and execution system for movement is characteristic of individuals with both ASD and intellectual disabilities but not of non-ASD ones with intellectual disabilities. Furthermore, since there was a little mu suppression for simple tasks in children with ASD, we should investigate a required condition to activate the brain motor system for children with ASD.

Key Words: EEG mu rhythm, children with intellectual disabilities, ASD, observation and execution, brain system for movement

*長崎大学教育学部

**高知大学高知発達障害研究プロジェクト

***中部学院大学

****高知大学教育学部

1. はじめに

自閉症スペクトラム障害 (autism spectrum disorders: ASD) の特徴として、模倣行動が困難なこと¹⁾ や円滑な運動遂行が困難なこと²⁾ が報告されてきており、子どもの社会性の発達に影響をもたらすごっこ遊びや物まね遊びが苦手な原因となっている。

ASDの模倣行動に関連する脳機能状態の解明は、動作の観察や顔の表情模倣といった実験課題によって進められている。動作の観察と遂行課題下で頭皮上脳波の測定を行ったOberman et al.³⁾によると、高機能ASD児・者では、自らの手掌の開閉動作を実施する際に、脳波基礎律動成分の一つであるmu波のパワーが抑制されるが、他者の同じ動作を観察する際には、健常児・者では認められる有意な成分抑制が見られず関与する脳機能が低下していることが報告されている。また、脳磁図記録によりアスペルガー症候群の成人の表情模倣時の脳機能特性を検討したNishitani et al.⁴⁾は、磁場反応が生起する位置つまり関与する脳部位は健常成人と差はないが、反応の生起時間が健常成人より45-60ミリ秒延長していることを見出し、顔の表情認知に関わる脳内情報処理活動により長い時間を要していることを示唆している。ASD児・者において円滑な運動遂行を妨げている要因としては、並列的な運動遂行の困難さ^{5) 6)}、複数の運動要素の活性化が困難であること⁷⁾、バランスの弱さ²⁾、合目的動作の計画・遂行の困難性⁸⁾、などが報告されている。さらに、複雑な運動の理解と生成の困難さがASD児・者の模倣行動の特徴の基盤にあることも指摘されている⁹⁾。

一方、知的障害児・者に認められる行動特性の一つとして、視覚—運動協応動作の障害が挙げられる。知的障害者の手先の不器用さ、すなわち巧緻性の低さに影響している要因について視覚—運動協応動作の観点から文献検討を行った岡ら¹⁰⁾は、視覚機能の異常、眼球運動や選択的注意、知覚、情報処理速度の問題、眼球・頭部・手の運動の連携性の問題、手技動作中の体幹の不安定さを挙げている。この中にはASD児・者にも共通する特徴も含まれるが、円滑な動作遂行を妨げる神経基盤について両者の脳機能状態が同一であるか否かは確定的ではない。

近年、ASD児・者の模倣行動や運動遂行に関わる中枢機能についての解明が飛躍的に進んでいるが、生体現象計測による生理心理学的研究の多くが高機能児・者を対象としている。一般的に、脳機能計測に利用される生体現象の記録時に被験児・者は、専用の室内で頭部を一定の状態に保つことが要求され、記録には比較的長い時間を要することもあって、実験に関する教示の理解と状態維持が可能なASD児・者が検討対象となる場合が多い。しかし筆者らは、被験児・者にできる限り少ない負担での頭皮上脳波記録を行うための手法を提案・導入して、障害のある子どもの運動機能や認知機能を評価することで指導の手がかりとなる情報が得られることを示してきている^{11) 12) 13)}。具体的には、脳電位記録を含む生体電気現象計測機器のコンパクト化が進んだことを契機に、ポータブル計測システムを臨床現場に導入し、評価システムとして運用してきた。また、短い時間での脳機能計測が可能となる指標として、脳波基礎律動の事象関連性変動の利用の有効性を提起し活用している。

ところで、脳波基礎律動の α 波成分には、後頭部に優勢で頭皮上広汎に分布し開眼によって抑制される成分の他に、機能的意義の異なる複数の成分が存在する。中でも、感覚運動野に相当する中心部近傍で観察される α 波成分はアルソー波 (またはmu波) と呼ばれ¹⁴⁾、

開眼では抑制されずに、対側の運動や触覚刺激によって抑制される、つまり脳の感覚運動系の活性化によって減衰することが知られる。運動や感覚刺激などによる脳波基礎律動の変化の事象関連性変動には、事象関連脱同期化（event-related desynchronization: ERD）と事象関連同期化（event-related synchronization: ERS）があり、ERDは覚醒や皮質活性を、ERSは皮質の活性状態から静的状態への回復や皮質のアイドリング状態を反映する指標とされる^{15) 16)}。mu波のERD, ERSに関しては、実際の運動遂行時や運動イメージの想起時に認められることが報告されている^{17) 18)}。これらのERD, ERSの計測は、数十回にわたり同一試行を繰り返す必要がなく、より少ない試行での脳波測定で算出可能な指標である。

本研究では、知的障害の特別支援学校に通う子ども達をnon-ASD群とASD群に分け、動作の観察及び遂行課題時のmu波成分の事象関連性変動を計測した。これにより、高機能ASD児・者において示されている動作観察時の脳機能の低下³⁾が知的障害を伴うASD児にも共通して認められるか、ASD要因が知的障害児の運動機能にどのような影響を及ぼしているのか、を検討しつつ、知的障害児の運動に関わる脳機能状態の特徴を追究することを目的とした。

2. 方法

2. 1. 対象

特別支援学校（知的障害）在籍の児童生徒25名を対象とし、自閉症スペクトラム障害の診断の有無によりnon-ASD群とASD群に分類した。non-ASD群は14名（7歳6ヵ月～17歳7ヵ月、平均14歳3ヵ月、右利き10名、左利き4名）で、ASD群は11名（6歳10ヵ月～18歳2ヵ月、平均13歳6ヵ月、右利き9名、左利き2名）であった。

2. 2. 実験手続き

最初に、安静開眼時（rest）の脳波を2分間記録した。次に、観察課題と動作遂行課題中の脳波を記録した。図1に示すように、観察課題では、非生物的運動刺激としてバウンディングボール（o. bouncing ball）、動作観察刺激として投動作（o. ball throw）、ボールキャッチ（o. ball catch）、手掌の開閉動作（o. paper rock）の動画刺激を使用した。刺激呈示

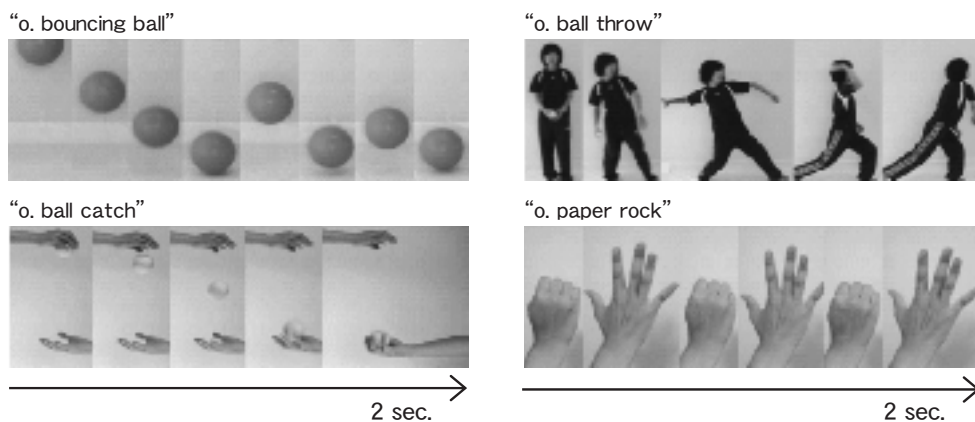


図1 観察課題に使用した動画刺激

にはMTS0410（メディカルトライシステム製）を使用し、呈示時間は各動画2秒とした。刺激呈示画面と被験児との距離は65cm、視角は20.6度であった。動作遂行課題は、被験児自身の利き手で、実験者が落下させたボールを受け取るボールキャッチ（catch a ball）、実験者の合図により数秒間行う手掌の開閉（do paper rock）とした。観察課題と動作遂行課題は、ランダムな順序で各8試行実施した。

2. 3. 脳波記録と解析

脳波は、国際10-20法に基づき、エレクトロキャップ（Electro-Cap社製）を用いて、頭皮上の19部位（Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fz, Cz, Pz）から左右両耳朶を結線したものを基準として単極導出した。測定は、EEG-9100（日本光電製）を使用して行い、サンプリング周波数1 KHz/chでパーソナルコンピュータに取り込み記録した。記録条件は時定数0.3秒、ハイカットフィルター周波数30Hzに設定した。

脳波基礎律動の解析に際しては、眼球運動や体動等のアーチファクトの混入の影響が少なく、脳波記録が安定している区間を分析箇所を設定した。各導出部位の脳波は、FFT法により周波数スペクトル解析した。解析では1区間のデータ長を2.048秒に設定して区間毎の周波数スペクトルを算出し（周波数分解能：0.488Hz）、安静開眼時脳波については最大30区間、運動・動作の観察及び動作遂行課題時の脳波については最大8区間のスペクトルを加算平均処理した。その後、8-13Hzの周波数帯域のスペクトルパワー値の総和を算出して α 波成分のパワー値とし、検討に用いた。

3. 結果

図2に、安静開眼時の脳波基礎律動の周波数スペクトル解析例を示す。中心部近傍（C3, C4）に矢印で示すように、 α 波の周波数帯域である10Hz付近にピークを形成する成分が認められる。閉眼時において観測される後頭部（O1, O2）優勢で頭皮上全般に分布する α 波成分は、明るい室内において開眼での記録を行ったためブロッキングされており、スペクトルのピークを形成する成分としては同定できない。

本研究では、被験児の利き手と反対側の運動野に相当する頭皮上中心部領域（右利きではC3, 左利きではC4）の α 波成分に焦点化して、運動・動作の観察及び動作遂行課題時の成分変動を検討した。安静開眼時を基準とした際の α 波成分パワーの変動をlog比の平均値で図3に示す。グラフは、 <0 が成分の抑制を、 >0 が成分の増大を示し、誤差棒は標準偏差である。検定には、one sample *t* testを用いた。non-ASD群では、非生物的運動の観察及び動作の観察・遂行いずれの課題においても安静開眼時に比してパワーの抑制傾向が認められるが、中でも手掌開閉動作の観察課題o. paper rockと遂行課題do paper rockでは成分パワーが有意に抑制されている（o. paper rock $t(13)=-2.86, P<0.05$ ； do paper rock $t(10)=-3.46, P<0.01$ ）。また、自身の手で落下するボールをキャッチする動作課題catch a ball時にも、有意ではないが成分が比較的明瞭に抑制されている。一方、ASD群では、手掌開閉動作の観察課題o. paper rockと遂行課題do paper rockで成分パワーの抑制傾向が認められるが、non-ASD群に比し抑制率は少なく有意ではない。

手掌の開閉動作を観察・遂行した際の α 波帯域のスペクトル構造の変化を、安静開眼時restと比較して図4に示す。なお、non-ASD群とASD群のそれぞれについて、安静開眼時の α 波周波数帯域の成分パワーを被験者間で平均化するための係数を算出して各課題のスペクトルを基準化した後、被験者間で総加算平均処理した。non-ASD群では、手掌の開閉動作を観察した際o. paper rockのスペクトルパワーは安静開眼時restに比して明確に減少し、自身で遂行した際do paper rockにはさらに低減している。一方、ASD群では、安静開眼時restのスペクトルパワーがnon-ASD群に比べ小さく、手掌開閉動作の観察課題o. paper rockと遂行課題do paper rockで認められるスペクトルパワーの低減傾向はわずかである。

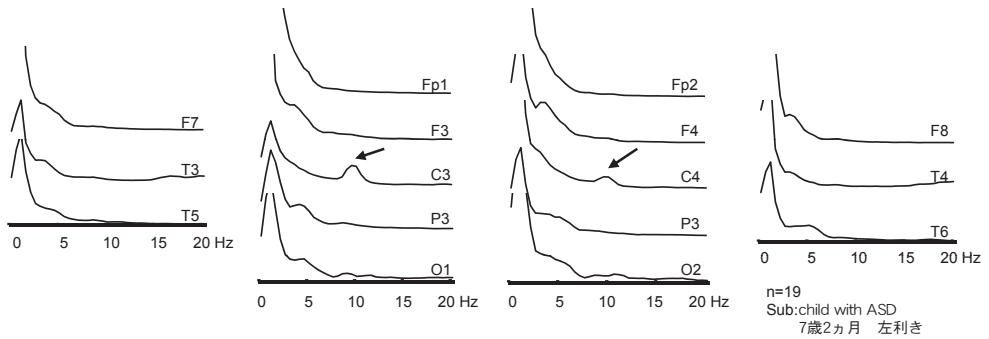


図2 脳波基礎律動のFFTスペクトル例 —安静開眼時—

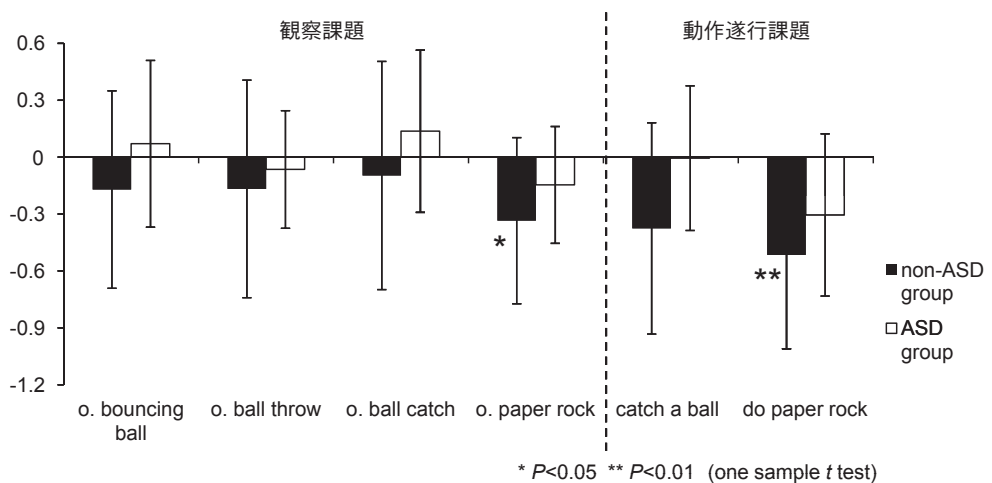


図3 α 波周波数帯域の成分パワーの変動 —安静開眼時と各課題時の比較 (log比) —

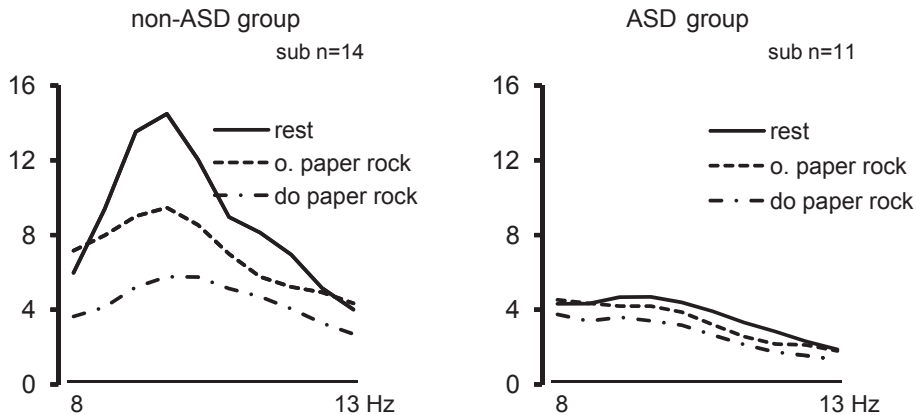


図4 手掌の開閉動作を観察・遂行した際の α 波帯域のスペクトル構造の変化(安静開眼時との比較)

4. 考察

安静開眼時に頭皮上の中心部付近に同定された α 波周波数帯域の成分パワーは、non-ASD群においては、実施した全ての運動・動作観察と動作遂行課題時に抑制される傾向にあり、ASD群では、手掌の開閉動作の観察と遂行時に抑制される傾向が認められた。開眼状態で課題を実施したため、強い発生源に由来する視覚機能に関連した後頭部優性の α 波成分はブロッキングされており、本研究で認められた α 波成分は主として動作の観察と遂行に関連した成分と考えられた。成分が観測された頭皮上部位とその動態から、Gastaut et al.¹⁴⁾の報告による感覚運動野の持続的神経活動を反映した成分のmu波と同定し、動作の観察・遂行時に神経活動が脱同期化(事象関連脱同期化, ERD)することを反映して皮質上の成分パワーが抑制されるものと推測した。

non-ASD群では、mu波成分の抑制傾向は全ての課題において認められたが、特に手掌の開閉動作の観察・遂行課題時に有意に抑制された。知的障害者の行動特性の一つとして、視覚-運動協応動作の障害に起因する手技の不器用さ、すなわち巧緻性の低さが指摘されている¹⁰⁾。不器用さが指摘されている対象児にとって、手掌の開閉動作は、物を扱う巧緻動作のように眼球や頭部の運動と手の運動が連動する必要がないために、理解しやすく実施が容易な単純な動作であったことが推測され、その観察と遂行に際して皮質の運動関連領域がより活性化することが示された。これに対しボールを扱う動作では、働きかける対象物に注意を向けつつ、腕や手掌の様態をコントロールするといった身体活動に関わる複数要素を同時並行的に活性化するために、複雑な脳内情報処理活動が求められる。このような状況では動作の理解と実施の困難性が増し、知的障害児では観察と遂行に際して運動に関与する脳機能を十分に活用できていない実態が、わずかなmu波成分の抑制にとどまることに反映されているものと推測された。また、手掌の開閉動作においては、動作を観察する際よりも遂行課題でmu波の成分抑制が顕著であり、自身の手で落下するボールをキャッチする課題時にも有意ではないが比較的明瞭に同成分の抑制傾向が認められた。これによ

り、non-ASD群の知的障害児では、自身の身体運動を伴う動作事態において、運動に関連する皮質領域がより活性化することが示された。

ASD者は複雑な運動生成が難しいことが報告されている⁹⁾が、本研究では、簡単な課題として設定した他者の手掌の開閉動作を観察する事態及び自身で手掌の開閉動作を遂行する事態のいずれに際しても、ASD群におけるmu波の成分抑制傾向はわずかであった。これにより、構成する身体活動の要素が少ない単純な課題に際しても、動作の観察と遂行に関連する脳機能があまり賦活されないことが示された。動作観察時にmu波の成分変動が見られない現象は、高機能ASD児・者について検討を行ったOberman et al.³⁾の研究と一致し、知的障害の有無にかかわらずASD児に共通することが確認された。一方、高機能ASD児・者では自身の手掌の開閉動作の遂行時に有意に認められるとされるmu波成分の抑制は、本研究ではわずかな変動にとどまった。高機能児・者と知的障害のあるASD児との動作遂行時の脳機能状態の差異を反映している可能性も考えられるが、対象者の年齢構成が異なることからその要因は確定的ではない。しかしASD者では、他者の動作観察時のみでなく自身で運動を実行する際にも、経時的に進行する運動の先取り活動が見られないことが筋活動に関する知見からも見出されており¹⁹⁾、ASD児では、動作の観察と実行の両面にわたって運動機能に関連した脳活動に困難さを抱えていることが推測された。また、ASD群では、安静開眼時のmu波の成分パワーがnon-ASD群に比べ小さいことが示された。これにより、ASD児では成分に反映される脳機能が充実していないこと、mu波が脳の感覚運動機能に関与する脳機能を反映する成分として分化していないことが推測され、複雑な動作のみでなく単純な動作の観察と遂行をも困難にしている要因の一つと考えられた。

自己を基準にして対象を認識し働きかけをする一連のプロセスで人の行動をとらえると、自分以外の人を認識しつつ適切に働きかける事態に依拠する社会性と、対象の位置や大きさや動きなどに同調して複数の身体部位を動かす協調運動には、共通の行動基盤が存在することが指摘されている²⁰⁾。ASD児・者の社会性の問題の一要因である模倣行動の困難さも、運動に対する注意や動機付け、実行機能の問題等が複合してもたらされると考えられており²¹⁾、その神経学的根拠の一つが、本研究のmu波計測で認められた動作の観察及び遂行時の脳機能の弱さであることが示唆された。翻って、手掌の開閉動作という単純な動作の観察と遂行課題でわずかではあるがmu波成分の抑制傾向が認められたことは、運動機能に関わる皮質領域が弱いながらも活性化していることを示している。今後、ASD児の運動機能発達を促進する支援を考える上で、どのような条件下で関与する脳機能がより活性化するかを追究していく必要がある。これにより、動作観察や遂行の困難さなどの改善を意図した指導方法立案の端緒が得られるとともに、共通の行動基盤が指摘されている社会性支援の一環としての運動機能支援の有効性についての知見が蓄積されると考える。

5. まとめ

以上の様に本研究では、mu波の成分パワーの変動により、知的障害児の動作の観察と遂行に際しての脳機能状態の検討を行い、non-ASD群では、複数の身体活動要素から構成されるボール操作よりも単純な手掌の開閉動作の観察と遂行時に、運動機能に関連する皮質領域がより賦活すること、ASD群では、単純な動作遂行課題であっても皮質領域のわずかな活性化にとどまることを示した。これにより、ASD要因が知的障害児の動作観察・遂

行時の脳活動をさらに制限し、単純な身体要素で構成される動作の発現をも困難にしている実態が明らかになった。

本研究では、mu波が観測される頭皮上部位に関わる先行研究¹⁴⁾から、解析対象を利き手と反対側の中心部領域の頭皮上で観測される成分に焦点化して検討したが、成分変動がより明確になる皮質部位を特定するためには、成分の頭皮上分布もあわせて検討していく必要がある。また、知的障害児をnon-ASD群とASD群に分けて検討したが、今後、健常児も対象に加え、定型発達児における運動に関連した脳機能状態の特徴を明確にしつつその障害要因とともに発達的变化をも検討していく必要がある。加えて、動作の観察及び遂行に関わって、指導経過におけるmu波成分の動態の変容を検討することにより、知的障害児を対象とした効果的な運動機能支援法の開発と導入に寄与すると考える。

謝辞：本研究の遂行にあたり、脳波測定にご協力いただいた子どもたち、及び協力をご快諾下さいました保護者の皆様方に心より謝意を表します。

付記：本研究は、科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究：平成20～22年度）「発達障害児の運動機能支援効果に関する生理心理学的研究」（代表者：鈴木保巳、課題番号：20653077）の補助を受けて行われた研究成果の一部である。

補記：本稿は、既発表論文（長崎大学教育学部紀要－教育科学－，第75号，35～43（2011年3月））が査読を経て、若干の加筆・修正後に新たに掲載されるものである。

文献

- 1) Williams JH, Whiten A, Singh T: A systematic review of action imitation in autistic spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders* 34, 285-299, 2004.
- 2) Mari M, Marks D, Marraffa C, Prior M, and Castiello U: Autism and movement disturbance. In *Autism: Mind and Brain* (ed. U Frith and E Hill), pp225-246. Oxford, NY: Oxford University Press, 2003.
- 3) Oberman LM, Hubbard EM, McCleery JP, Altschuler EL, Ramachandran VS, Pineda JA: EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive Brain Research* 24, 190-198, 2005.
- 4) Nishitani N, Avikainen S, Hari R: Abnormal imitation-related cortical activation sequences in Asperger's syndrome. *Annals of Neurology* 55, 558-562, 2004.
- 5) Bauman ML: Motor dysfunction in autism. In *Movement disorders in neurology and neuropsychiatry* (ed. AB Joseph and RR Young), pp658-661. Boston, MA: Blackwell Scientific, 1992.
- 6) Mari M, Castiello U, Marks D, Marraffa C, and Prior M: The reach-to-grasp movement in

- children with autism spectrum disorder. European Congress on Autism, Glasgow, UK, 1999.
- 7) Leary MR and Hill DA: Moving on: autism and movement disturbance. *Mental Retardation*. 34, 39-53, 1996.
 - 8) Hughes C: Brief report: planning problems in autism at the level of motor control. *Journal of autism and developmental disorders* 26, 99-107, 1996.
 - 9) Smith IM, and Bryson SE: Imitation and action in autism: a critical review. *Psychological Bulletin* 116, 259-273, 1994.
 - 10) 岡耕平, 三浦利章: 知的障害児における視覚-運動協応研究の動向. 大阪大学大学院人間科学研究科紀要 33, 143-162, 2007.
 - 11) 寺田信一, 林恵津子, 中川貴美子, 堅田明義: 重い障害の子の指導・療育のための認知評価. 福井大学教育地域科学部総合自然教育センター年報 Vol.4, 225-235, 2001.
 - 12) 鈴木保巳, 林恵津子, 寺田信一, 堅田明義: 重症心身障害児における運動の意図性評価-脳波基礎律動の事象関連性変動による事例検討-. 長崎大学教育学部紀要-教育科学- 73, 55-62, 2009.
 - 13) 堅田明義, 寺田信一, 林恵津子, 鈴木保巳: 障害児・者発達の生理機構とその援助7-広汎性及び軽度発達障害児・者の「個に応じた支援」を実現するために-. 日本特殊教育学会第44回大会発表論文集, 73, 2006.
 - 14) Gastaut H, Terzien H and Gastaut Y: Etude D'une activité electroencephalographique meconnue: le "rythme rolandique en arceau". *Marseille Med* 89, 296-310, 1952.
 - 15) Pfurtscheller G and Aranibar A: Event-related cortical desynchronization detected by power measurements of scalp EEG. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 42, 817-826, 1977.
 - 16) Pfurtscheller G: Event-related synchronization (ERS) : an electrophysiological correlate of cortical areas at rest. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 83, 62-69, 1992.
 - 17) Pfurtscheller G, Neuper C: Motor imagery activates primary sensorimotor area in humans. *Neuroscience Letters* 239, 65-68, 1997.
 - 18) Pfurtscheller G, Neuper C, Andrew C, Edlinger G: Foot and hand area mu rhythms. *International journal of psychophysiology* 26, 121-135, 1997
 - 19) Cattaneo L, Fabbri-Destro M et al.: Impairment of actions chains in autism and its possible role in intention understanding. *Proceedings of National Academy of Science of the United States of America* 104, 17825-17830, 2007.
 - 20) 鈴木周平: 広汎性発達障害と不器用について-なぜ彼らは不器用なのか-. 鈴木 (編) 発達障害医学の進歩22: 広汎性発達障害への理解や対応が今後どうあるべきか, pp57-70, 診断と治療社, 2010.
 - 21) 千住淳: 自閉症は心が読めない? -マインドブラインドネス仮説再考. 開・長谷川 (編) ソーシャルブレインズ 自己と他者を認知する脳, pp265-281, 東京大学出版会, 2009.