

## 原 著

定型発達成人における自閉スペクトラム症傾向および発達性協調運動症傾向と  
動作観察・遂行時の脳波周波数との関連

小林 愛佳\*・岡崎 慎治\*\*

発達性協調運動症（DCD）に代表される運動面の不器用さは自閉スペクトラム症（ASD）で指摘されている模倣機能の弱さに関連があるとされており、その神経生理学的基盤はミラーニューロンシステムである。その活動は脳波周波数のうち感覚運動野のmu波が反映し、自身の動作遂行時と他者の動作観察時、運動イメージの想起時に抑制される。本研究では、定型発達成人29名を対象に（1）動作遂行時（2）他者の動作観察時（3）無生物の動作観察時（4）ランダムドットパターンとメトロノーム音の視聴時の脳波のmu波成分について、ASD傾向およびDCD傾向との関連を分析した。その結果、ASD傾向との関連とDCD傾向との関連のいずれにおいても、動作遂行時と動作観察時にASD傾向またはDCD傾向の弱い群でよりmu波の抑制が認められた。以上より、ミラーニューロンシステムの活動はASD傾向およびDCD傾向の高さの影響を受け、両者にみられる不器用さは背景を共有する可能性が推察された。

キー・ワード：ASD 不器用さ mu波 ミラーニューロンシステム

## I. 問題と目的

自閉スペクトラム症（Autism Spectrum Disorder；以下ASD）は、社会的コミュニケーションおよび対人相互性反応の障害、興味の限局と常同的・反復的行動を主徴とし、乳幼児期に発現する神経発達の障害である（DSM-5, American Psychiatric Association, 2013）。

ASDでは、上記の特徴に加え、協調運動の弱さなど身体運動機能に困難さを持つ場合が多いことが示されており（Bhat, 2020; Licari, Alvares, Varcin, Evans, Cleary, Reid, Glasson, Bebbington, Reynolds, Wray, & Whitehouse, 2019）、身体的不器用さを伴うASD児の事例が国内外で報告されている（村上, 2013）。

ASD児の身体的不器用さは協調運動の問題と

して捉えることができるが、協調運動の困難さを示す概念に発達性協調運動障害（Developmental Coordination Disorder；以下DCD）がある。DCDはASDとの関連も報告されており、日本人のASD男児における検討では約40%に不器用さを伴うと報告されている（中井, 2015）。

DSM-5では、臨床的な課題や背景からDCDとASDの併存が認められるようになった。ASDにおけるDCDの併存を正しく評価し、適切な介入を行うことへのニーズは、今後より高まるものと予想されている（多辺田・相崎・北・松尾・神田・上田・小沢・中井, 2015）。

ASDおよびDCDの身体的不器用さの背景の1つとして、ミラーニューロンシステムの弱さが挙げられる。ASD児・者で弱さがあるといわれているミラーニューロンシステムは、自身が行為を遂行する時のみでなく、他の個体の行為を観察する際にも発火する神経細胞である

\* 京都大学医学部人間健康科学科

\*\* 筑波大学人間系

(Rizzolatti, Fadiga, Gallese & Fogassi, 1996; Rizzolatti & Sinigaglia, 2010)。

ヒトのミラーニューロンシステムの働きを知るために様々な指標が用いられているが、その1つに脳波中に出現するmuリズムがある(杉野・松本・田中・諸富, 2015)。

脳波中に出現するmuリズムは8～13Hz帯域の脳波周波数成分で、感覚運動野(脳波測定国際10-20法のC3、Cz、C4領域)を主な発生源とするものであり、mu波とも呼ばれる(Gastaut, Terzian & Gastaut, 1952)。mu波は閉眼では抑制されず、対側の運動や触覚刺激によって抑制される。すなわち脳の感覚運動系の活性化によって成分が減衰することが知られており「muリズム抑制」と呼ばれている(Gastaut, 1952)。さらに、muリズム抑制は実際の運動遂行時だけでなく、他者行為の観察時(Gastaut & Bert, 1954)や、運動イメージ想起時に認められる(Pfurtscheller & Neuper, 1997)。

Oberman, Hubbard, McCleery, Altschuler, Ramachandran, and Pineda (2005) は、高機能ASD児者を対象として、動作の観察と遂行課題下で頭皮上脳波の測定を行った。その結果、高機能ASD児・者では自ら動作を実施する際にはmu波のパワーが抑制されるが、他者の動作を観察する際には、定型発達児・者では認められる有意なmu波パワーの減衰はみられなかった。さらに、De Vega, Padrón, Moreno, García-Marco, Domínguez, Marrero, and Hernández (2019) は、高AQ成人において、暗黙の意図のある行動を観察する際にmu波の有意な抑制がみられることを示した。すなわち、ミラーニューロンシステムに関与する脳機能が低下していることが報告されている。

Nobusako, Sakai, Tsujimoto, Shuto, Nishi, Asano, Furukawa, Zama, Osumi, Shimada, Morioka, and Nakai (2018) は、DCDのリスクを有する子どもにおける円滑な運動遂行の困難さに関して、手先の不器用な子どもでは視覚-運動時間的統合能力と自動模倣機能に障害があることを示した。ミラーニューロンシステムは模倣行動の神

経生理学的な基盤となっており(村田, 2005)、手先の不器用な子どもではミラーニューロンシステムに弱さをもつ可能性が推察される。

以上より、ASDにおける不器用さとDCDにおける円滑な運動遂行の困難さには共通した背景が存在することが予想される。一方で、脳波中のmu波抑制を用いてASDとDCDの両尺度との関連をあわせて検討した先行研究は見当たらない。そこで本研究では、定型発達成人を対象に、動作遂行時および動作観察時の脳波記録ならびに周波数解析からmu波抑制の検討を中心とした分析・比較を行うとともに、評定尺度を用いてASD傾向・DCD傾向との関連について検討する。定型発達成人を対象として、ASD傾向とDCD傾向の両面から動作観察時と動作遂行時のmu波抑制を検討することで、今後、確定診断のあるASD者・DCD者において検討を行うための基礎的なデータを得るとともに、両者の運動遂行の困難さの背景を探る知見につながると推測される。

## II. 方法

### 1. 研究協力者

事前に書面及び口頭による実験の説明を行い、同意を得た定型発達者32名(男性14名・女性18名、右利き29名・左利き2名・両利き1名、平均年齢22歳6ヵ月(標準偏差2歳3ヵ月))を対象とした。

対象者には、ASD傾向の測定を行うために成人用自閉症スペクトラム指数(AQ)(若林・東條・Baron-Cohen, Wheelwright, 2004)、DCD傾向の測定を行うためにThe Adult Developmental Coordination Disorder/Dyspraxia Checklist (ADC; Kirby, Edwards, Sugden, and Rosenblum, 2010)、利き手の判定を行うために日本語版FLANDERS利き手テスト(大久保・鈴木, 2014)の、3種類の質問紙への回答を依頼した。

### 2. 刺激

課題はOberman et al. (2005)、鈴木・桃木・平野・角・熊谷・寺田(2012)および杉野ら(2015)を参考に作成した。刺激は、Base刺激、

Hand刺激、Ball刺激の3種類とした (Fig. 1)。Base刺激はランダムドットパターンの動画であった。Hand刺激は、60BPMのメトロノームの音に合わせて他者が手の開閉を行っている動画であった。Ball刺激は、60BPMのメトロノームの音に合わせて2つのボールが1Hzのペースで上下に移動し、中央でぶつかりあっている動画であった。Hand刺激とBall刺激では、動画の途中で動きのみを3～6回停止させた。刺激に使用した動画はすべて白黒であり、80秒間であった。また、動画を視聴する3条件すべ

てで60BPMのメトロノーム音を動画と同時に提示した。刺激はシールドルーム内の対象者の前方100cmの位置に配置されたモニターに提示した。視角はHand刺激において手を開いているときに $13.69^{\circ} \times 9.72^{\circ}$ 、手を閉じているときに $7.94^{\circ} \times 7.44^{\circ}$ であり、Ball刺激においてボール同士が離れているときに $13.12^{\circ} \times 1.72^{\circ}$ 、ボール同士が接しているときに $3.44^{\circ} \times 1.72^{\circ}$ であった。

### 3. 実験手続き

実験条件および実験の流れはOberman et al. (2005)、鈴木ら (2012) および杉野ら (2015) を参考に設定した。実験条件は、Base刺激を観察するBase条件、Hand刺激を観察するHand観察条件、Ball刺激を観察するBall観察条件、対象者が自身の手掌の開閉動作を行う動作遂行条件の4種類であった。Hand観察条件を設定することで他者の動作を観察するのと同様の状態とし、Ball観察条件を設定することで非生物の運動の観察に相当する状態とした。

Base条件の後、動作遂行条件、Hand観察条件、Ball観察条件を行った。動作遂行条件では、対象者が自身の右手を60BPMのメトロノームの音に合わせて開閉する動作を80秒間続けた。手掌の開閉動作は、動かしている手を楽な姿勢で見ながら行った。Hand観察条件およびBall観察条件では、刺激動画への注意を喚起するために動きの停止回数の報告を求める二次課題を実施した。動作遂行条件、Hand観察条件、Ball観察条件はそれぞれ2試行ずつ実施した。各条件の間には任意で数分の休憩をとった。動作遂行条件において、対象者が手掌開閉動作のモデルを持つことができるよう、動作遂行条件はHand観察条件の後に提示した。動作遂行条件、Hand観察条件、Ball観察条件の順番はランダムにした。各条件の間、継続的に脳波測定を行った。

脳波の記録および処理にはBrain Amp (BRAINPRODUCTS社製) を用いた。脳波はActiCap (BRAINPRODUCTS社製) を使い、国際10-20法に基づく27部位 (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz, FCz, T3, T4, C3, C4, Cz, CPz, P3, P4,



Fig. 1 実験で用いた刺激

P7, P8, Pz, PO3, PO4, PO7, PO8, POz, O1, O2, Oz) から左耳朶を基準電極として記録した。眼球運動によるアーチファクトなどを測定するために、両眼外側からは水平EOGを、右眼瞼上下からは垂直EOGを記録した。EEGおよびEOGはサンプリング周波数1000HzにてAD変換した。各電極のインピーダンスは15k $\Omega$ 以下にして測定した。実験は静かなシールドルーム内で行った。

対象者には実験開始前になるべく動かず、各課題中はできるだけまばたきをしないように求めた。また、Hand観察条件とBall観察条件において、刺激動画の停止回数を数える際に手を動かさずに行うよう求めた。

#### 4. 分析方法

AQ、ADC、日本語版FLANDERS利き手テストの各質問紙は、それぞれの手続きに従って得点を算出した。

脳波の分析にはBrain Vision Analyzer (BRAINPRODUCTS社製) を使用した。オフラインで両耳朶を基準電極に再基準化した後、256Hzにダウンサンプリングし、0.1Hzから30Hzのバンドパスフィルタ処理、眼球運動補正を行った。課題開始と終了による注意の変化に伴う影響を受けないよう、得られた脳波データのうち、各ブロックの始まりと終わりの10秒を除く60秒を分析に用いた。すなわち、Base条件では計60秒、その他の条件では計120秒を分析対象とした。1区間のデータ長は2秒に設定し、アーチファクトの混入している区間は分析対象から除外した。分析対象区間について、高速フーリエ変換 (FFT) し、スペクトル処理を行った。その後、各セグメントを加算平均し、各条件の8-13Hz帯域 (mu波成分) におけるパワー値を算出した。

mu波抑制の程度は、Base条件のパワー値に対する動作遂行条件とHand観察条件、Ball観察条件のパワーの比をとり、対数変換することによって表した (Log比)。さらに、Base条件と動作遂行条件、Hand観察条件、Ball観察条件のパワー値についてそれぞれ対応のあるt検定を

行うことで抑制の程度を比較した。また、AQ得点およびADC得点に基づく群間差を求めるため、Log比について対応のないt検定を行った。分析の対象部位は、mu波の発生源にあたるC3、Cz、C4を中心とした。

### Ⅲ. 結果

#### 1. AQとADCの得点および利き手テストの結果

AQ日本語版のカットオフ値は33点であり、総得点がカットオフ値以上の対象者は3名であった。本研究では定型発達成人におけるASD傾向およびDCD傾向とmu波抑制との関連を検討するため、カットオフ値以上の対象者3名を除外し、対象者29名について分析を行った。

対象者のAQ得点の平均値は19.9点 (標準偏差7.9点)、ADC得点の平均値は50.2点 (標準偏差19.7点) であった。なお、ADCのカットオフ値は65点であり、総得点がカットオフ値以上の対象者は8名であったが、ADCは実際のDCD診断に用いられる尺度ではないため、カットオフ値による対象者の除外は行わなかった。AQとADCの得点をFig. 2に示す。

AQおよびADCの得点について、中央値により高指数群と低指数群に分け分析した。対象者のAQ得点の中央値は22点、ADC得点の中央値は45点であった。その結果、AQの高指数群は16名 (指数平均25.8点 $\pm$ 3.1点)、低指数群は13名 (指数平均12.2点 $\pm$ 4.8点) となった。ADCの高指数群は15名 (指数平均66.1点 $\pm$ 12.7点)、低指数群は14名 (指数平均33.3点 $\pm$ 8.8点) となった。

AQ低指数群にあたる対象者の属性統制について、AQの数値により群分けし同様の研究を行ったPuzzo, Cooper, Vetter, and Russo (2010) において属性の統制を行っていないことから、本研究においても行わなかった。

日本語版FLANDERS利き手テストは、得点の合計が+10から-10の値をとり、得点の値が大きいほど強い右利きであることを示す。対象者のうち、27名が右利き、2名が左利きであっ

た。すべての対象者は+10点もしくは-10点であり、強い右利きあるいは左利きであった。AQ得点による群分けでは、AQ高指数群16名中左利き1名、AQ低指数群13名中左利き1名となった。ADC得点による群分けでは、ADC高指数群15名中左利き1名、ADC低指数群14名中左利き1名となった。

## 2. 対象者全体における分析結果

対象者全体における電極ごとのLog比およびパワー値の比較の結果をFig. 3に示す。C3、Cz、C4について、動作遂行条件においてC3 ( $t(28)=2.384$ ,  $p<0.05$ )、C4 ( $t(28)=2.523$ ,  $p<0.05$ ) で、それぞれ5%水準で有意差が認められた。Hand観察条件においてC4 ( $t(28)=$

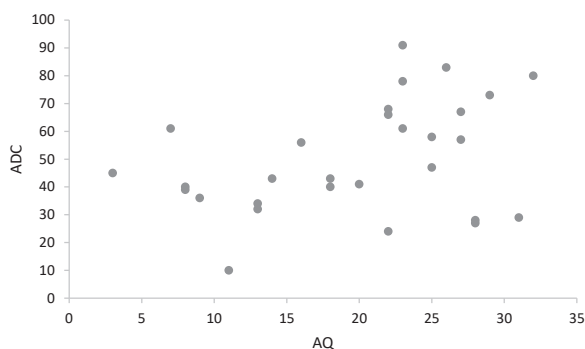
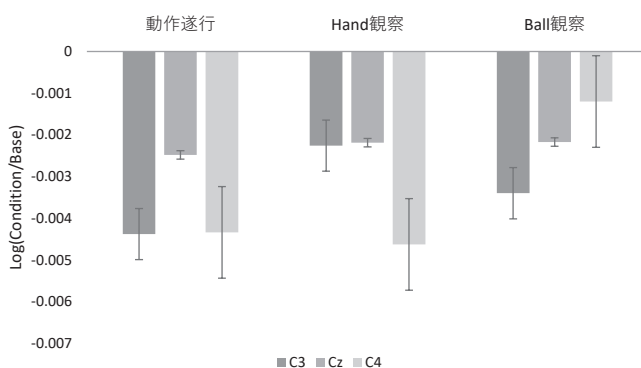


Fig. 2 AQとADCの得点



グラフはマイナスで成分の抑制を、プラスで成分の増大を示す。  
エラーバーは標準誤差を示す。

| 条件     | 電極部位 | $t$ 値 | 自由度 | $p$ 値 |
|--------|------|-------|-----|-------|
| 動作遂行   | C3   | 2.384 | 28  | 0.024 |
|        | Cz   | 1.922 | 28  | 0.065 |
|        | C4   | 2.523 | 28  | 0.018 |
| Hand観察 | C3   | 0.196 | 28  | 0.846 |
|        | Cz   | 1.442 | 28  | 0.161 |
|        | C4   | 2.721 | 28  | 0.011 |
| Ball観察 | C3   | 1.651 | 28  | 0.110 |
|        | Cz   | 1.688 | 28  | 0.103 |
|        | C4   | 0.633 | 28  | 0.532 |

Fig. 3 対象者全体のLog比およびパワー値の比較

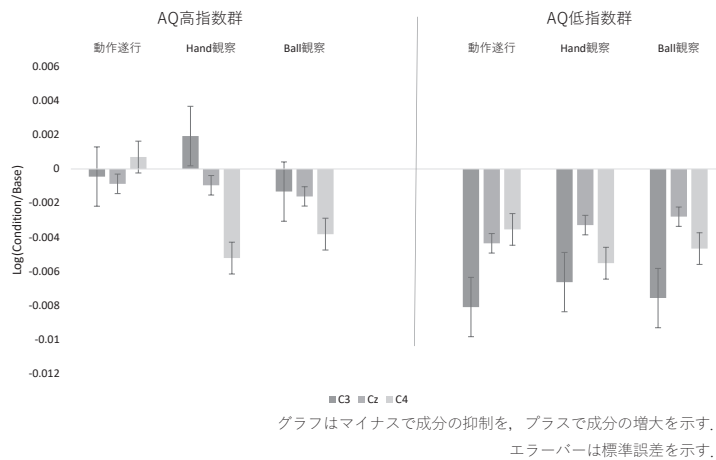
2.721,  $p<0.05$ ) で、5%水準で有意差が認められた。したがって、動作遂行条件においてCzに比べC3、C4ではmu波成分が有意に抑制された。またHand観察条件においてはC3、Czに比べC4で有意に抑制された。

### 3. AQ得点に基づく分析結果

AQ得点に基づいて群分けし算出した電極ごとのLog比およびパワー値の比較の結果をFig. 4に示す。C3、Cz、C4について、AQ高指数群では有意な抑制はみられなかった。AQ低指数群では、動作遂行条件において、Cz ( $t(12)=3.494, p<0.01$ )

では1%水準で、C3 ( $t(12)=2.758, p<0.05$ ) では5%水準で有意差が認められた。Hand観察条件においてC3 ( $t(12)=4.233, p<0.01$ ) では1%水準で、Cz ( $t(15)=3.784, p<0.01$ ) では5%水準で有意差が認められた。Ball観察条件においてC3 ( $t(12)=4.360, p<0.01$ ) では1%水準で有意差が認められた。したがって、動作遂行条件およびHand観察条件においてC4に比べC3、Czでmu波成分が有意に抑制された。Ball観察条件においてCz、C4に比べC3で有意に抑制された。

各条件・電極部位のLog比の値を群間で比較



| AQ高指数群 | 条件     | 電極部位 | <i>t</i> 値 | 自由度 | <i>p</i> 値 |
|--------|--------|------|------------|-----|------------|
|        | 動作遂行   | C3   | 0.183      | 15  | 0.857      |
|        |        | Cz   | 0.408      | 15  | 0.689      |
|        |        | C4   | 0.158      | 15  | 0.876      |
|        | Hand観察 | C3   | 0.794      | 15  | 0.440      |
|        |        | Cz   | 0.358      | 15  | 0.726      |
|        |        | C4   | 1.984      | 15  | 0.066      |
|        | Ball観察 | C3   | 0.468      | 15  | 0.647      |
|        |        | Cz   | 0.874      | 15  | 0.396      |
|        |        | C4   | 2.004      | 15  | 0.063      |
|        |        |      |            |     |            |
| AQ低指数群 | 条件     | 電極部位 | <i>t</i> 値 | 自由度 | <i>p</i> 値 |
|        | 動作遂行   | C3   | 2.758      | 12  | 0.017      |
|        |        | Cz   | 3.494      | 12  | 0.004      |
|        |        | C4   | 1.559      | 12  | 0.145      |
|        | Hand観察 | C3   | 4.233      | 12  | 0.001      |
|        |        | Cz   | 2.813      | 12  | 0.016      |
|        |        | C4   | 1.838      | 12  | 0.091      |
|        | Ball観察 | C3   | 4.360      | 12  | 0.001      |
|        |        | Cz   | 1.933      | 12  | 0.077      |
|        |        | C4   | 1.603      | 12  | 0.135      |

Fig. 4 AQ高指数群と低指数群におけるLog比およびパワー値の比較

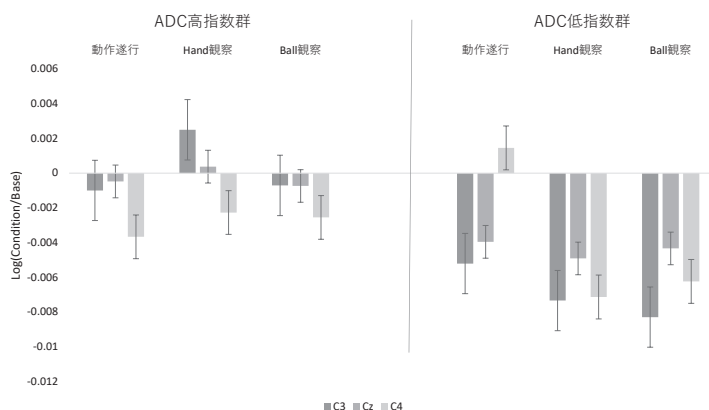
した結果を Table 1 に示す。動作遂行条件において C3 ( $t(27)=2.711$ ,  $p<0.05$ )、C4 で ( $t(27)=1.984$ ,  $p<0.05$ ) それぞれ 5%水準で有意差が認められた。Hand 観察条件において C3 で ( $t(27)=3.182$ ,  $p<0.01$ ) 1%水準で有意差が認められた。したがって動作遂行条件の C3、C4 と Hand 観察条件の C3 において、AQ 高指数群に比べ AQ 低指数群で  $\mu$  波抑制が有意であった。

#### 4. ADC 得点に基づく分析結果

ADC 得点に基づいて群分けし算出した電極ごとの Log 比およびパワー値の比較の結果を Fig. 5 に示す。ADC 高指数群では有意な抑制は

**Table 1** AQ 高指数群と低指数群における各条件・電極部位の Log 比の群間比較

| 条件      | 電極部位 | $t$ 値 | 自由度 | $p$ 値 |
|---------|------|-------|-----|-------|
| 動作遂行    | C3   | 2.711 | 27  | 0.012 |
|         | Cz   | 1.984 | 27  | 0.049 |
|         | C4   | 1.222 | 27  | 0.232 |
| Hand 観察 | C3   | 3.182 | 27  | 0.004 |
|         | Cz   | 0.811 | 27  | 0.425 |
|         | C4   | 0.582 | 27  | 0.566 |
| Ball 観察 | C3   | 2.004 | 27  | 0.055 |
|         | Cz   | 0.272 | 27  | 0.788 |
|         | C4   | 0.211 | 27  | 0.834 |



グラフはマイナスで成分の抑制を、プラスで成分の増大を示す。  
エラーバーは標準誤差を示す。

| ADC高指数群 | 条件     | 電極部位 | $t$ 値 | 自由度 | $p$ 値 |
|---------|--------|------|-------|-----|-------|
| ADC高指数群 | 動作遂行   | C3   | 0.537 | 14  | 0.600 |
|         |        | Cz   | 0.244 | 14  | 0.811 |
|         |        | C4   | 1.233 | 14  | 0.238 |
|         | Hand観察 | C3   | 0.975 | 14  | 0.346 |
|         |        | Cz   | 0.176 | 14  | 0.863 |
|         |        | C4   | 1.398 | 14  | 0.184 |
| ADC低指数群 | 動作遂行   | C3   | 0.310 | 14  | 0.761 |
|         |        | Cz   | 0.367 | 14  | 0.720 |
|         |        | C4   | 1.496 | 14  | 0.157 |
|         | Hand観察 | C3   | 2.157 | 13  | 0.047 |
|         |        | Cz   | 2.868 | 13  | 0.009 |
|         |        | C4   | 0.492 | 13  | 0.631 |
| ADC低指数群 | 動作遂行   | C3   | 4.442 | 13  | 0.001 |
|         |        | Cz   | 3.385 | 13  | 0.005 |
|         |        | C4   | 2.395 | 13  | 0.032 |
|         | Hand観察 | C3   | 3.523 | 13  | 0.004 |
|         |        | Cz   | 2.635 | 13  | 0.021 |
|         |        | C4   | 2.050 | 13  | 0.061 |

**Fig. 5** ADC 高指数群と低指数群における Log 比およびパワー値の比較

みられなかった。ADC低指数群では、動作遂行条件においてC3 ( $t(13)=2.157, p<0.05$ ) では5%水準で、Cz ( $t(13)=2.868, p<0.01$ ) では1%水準で有意な抑制が認められた。Hand観察条件においてC3 ( $t(13)=4.442, p<0.01$ )、Cz ( $t(13)=3.385, p<0.01$ ) では1%水準で、C4 ( $t(13)=2.395, p<0.05$ ) では5%水準で有意差が認められた。Ball観察条件においてC3 ( $t(13)=3.523, p<0.01$ ) では1%水準で、Cz ( $t(13)=2.635, p<0.05$ ) では5%水準で有意な抑制が認められた。したがって、動作遂行条件とBall観察条件においてそれぞれC4に比べC3、Czでmu波成分が有意に抑制された。Hand観察条件においてはC3、Cz、C4で有意に抑制された。

各条件・電極部位のLog比の値を群間で比較した結果をTable 2に示す。動作遂行条件におけるC3 ( $t(27)=2.159, p<0.05$ )、Ball観察条件におけるC3で ( $t(27)=2.168, p<0.05$ ) それぞれ5%水準で有意差が認められた。Hand観察条件におけるC3 ( $t(27)=3.234, p<0.01$ ) で、1%水準で有意差が認められた。したがって、動作遂行条件、Hand観察条件、Ball観察条件のC3で、ADC高指数群に比べADC低指数群においてmu波の抑制が有意であった。

#### IV. 考察

本研究では、ASD者・DCD者における不器用さと動作遂行時および動作観察時の脳機能について、基礎的なデータを得て両者の円滑な運動遂行の困難さの背景を探ることにつなげるために、定型発達成人における動作遂行時及び動作観察時の脳波のmu波成分について分析を行い、ASD傾向およびDCD傾向との関連を検討した。

##### 1. ASD傾向とmu波との関連の検討

ASD傾向との関連について、ASD傾向の強い群では動作遂行条件、Hand観察条件、Ball観察条件のいずれにおいてもmu波の有意な抑制はみられなかった。ASD傾向の弱い群では、動作遂行条件およびHand観察条件ではC3とCzで、Ball観察条件ではC3でmu波の有意な抑制

**Table 2** ADC高指数群と低指数群における各条件・電極部位のLog比の群間比較

| 条件     | 電極部位 | t値    | 自由度 | p値    |
|--------|------|-------|-----|-------|
| 動作遂行   | C3   | 2.159 | 27  | 0.045 |
|        | Cz   | 1.368 | 27  | 0.183 |
|        | C4   | 1.201 | 27  | 0.240 |
| Hand観察 | C3   | 3.234 | 27  | 0.003 |
|        | Cz   | 1.832 | 27  | 0.079 |
|        | C4   | 1.458 | 27  | 0.156 |
| Ball観察 | C3   | 2.168 | 27  | 0.039 |
|        | Cz   | 1.422 | 27  | 0.167 |
|        | C4   | 1.070 | 27  | 0.294 |

がみられた。群間の比較では、動作遂行条件のC3およびCzとHand観察条件のC3において有意な差が認められ、動作を実行する際と動作を観察する際にはASD傾向の弱い群でよりmu波の抑制が認められることが示された。これはOberman et al. (2005) と一致する結果であり、ASD者においてミラーニューロンシステムが弱い傾向が本研究の結果でも認められたと推察される。

一方でAQ高指数群ではいずれの条件でもmu波の有意な抑制がみられず、Oberman et al. (2005) の報告とは異なる結果となった。この要因として、今回の実験の教示や刺激では脳内プロセスが活性化されにくくmu波の抑制が安定して生起しにくかった、あるいは二次課題中に手指を動かし条件間の差が表れにくくなった可能性があることが考えられる。

AQ高指数群と低指数群の群間比較について、先行研究(鈴木ら, 2012)では脳領域の対側に限定してLog比を算出した上でASD群と非ASD群で比較している。その結果、手掌開閉動作を遂行するときと観察するときに群間に有意な差が認められると報告しており、本研究の結果は先行研究(鈴木ら, 2012)とおおむね一致する結果となった。

##### 2. DCD傾向とmu波との関連の検討

DCD傾向との関連について、DCD傾向の強い群では動作遂行条件、Hand観察条件、Ball観

観察条件のいずれにおいてもmu波の有意な抑制はみられなかった。DCD傾向の弱い群では、動作遂行条件ではC3とCzで、Hand観察条件ではすべての電極部位で、Ball観察条件ではC3とCzで、mu波の有意な抑制がみられた。群間の比較では、動作遂行条件、Hand観察条件、Ball観察条件のC3において有意な差が認められ、動作を実行する際と動作を観察する際にDCD傾向の弱い群でよりmu波の抑制が認められることが示された。これは、DCD児においてmu波の抑制の程度が少ないと報告したLust, Schie, Wilson, Helden, Pelzer, and Steenbergen (2019) と一致する結果であり、DCD者において低下しているとされる、自動模倣機能にかかわるミラーニューロンシステムが弱い傾向が本研究の結果にも反映されたと推察される。

### 3. まとめと今後の課題

本研究において、定型発達成人における動作遂行時・動作観察時の脳機能とASD傾向およびDCD傾向との関連を検討した。その結果、ミラーニューロンシステムの活動はASD傾向の高さの影響を受けるとする先行研究と一致したとともに、DCD傾向の高さの影響についてはこれまで指摘されていなかったところ、DCD児を対象とした先行研究と一致した。これらのことから、ASDにおける不器用さとDCDにおける円滑な運動遂行の困難さは同じ背景を共有している可能性が示唆された。

しかしながら一方では、本研究において、AQ高指数群で動作遂行条件であっても有意なmu波抑制が認められなかったり、条件間の有意差が確認できなかったりと、先行研究で示されていた結果とは異なる結果が得られた。教示や二次課題中の動作の影響以外では、次の要因が考えられる。

mu周波数帯が $\alpha$ 波と重複する周波数帯であることから、刺激へ向ける注意の程度の影響を受けやすいことである。この点はOberman et al. (2005) でも触れられており、実験時に得たデータの最初と最後の10秒を除外したが、課題が単調なため実施中の覚醒水準が低下し、分析対

象区間でもその影響を受けた可能性が考えられる。

また、本研究では定型発達成人を対象者とし、AQ得点とADC得点に基づき群分けしたが、ASD傾向が高指数と判断された対象者のうち、7割程度がDCD傾向も高指数であった。そのため、AQ得点とADC得点それぞれに基づく分析結果が類似した。今後は、ASD傾向とDCD傾向の間に相関があるかという点も含めた検討が必要であると考えられる。

加えて、対象は定型発達成人であるとともに、AQとADCともにカットオフ値を上回る対象者はほとんどいなかった。そのため、本研究では対象者全体の中央値を用いて便宜的な群分けを行うにとどまり、カットオフ値で群分けを行うことをしなかったが、それでも群間で有意に差が認められる結果もみられた。この点で本研究では、ASDやDCDの診断のない定型発達成人を対象とし、ASD傾向のみでなくDCD傾向についても合わせて分析を行うことで、両者における身体的不器用さに共通する背景の存在を探ることを目的とし、一定の示唆は得られたものと考えられた。今後は、対象者を増やした検討とともに、ASDやDCDの確定診断があり、AQやADCにおいてカットオフを上回る対象者を臨床群として設定し、対照群との比較検討を行うことによって、動作遂行条件と動作観察条件のmu抑制の程度の違いがより明確にみられる可能性がある。このようなデザインでの検討により、ASDやDCDの本態とミラーニューロンシステムの機能との関連についてより理解を深められる知見が得られると考えられる。また今後は、定型発達成人におけるASD傾向・DCD傾向のみでも差がみられた点に関しての妥当性や、診断のあるASD者・DCD者も含めたmu波抑制の程度等についての検討を重ねることで、ASDやDCDの様相を連続体として捉えて理解することにもつながるのではないかと推察される。

## 謝辞

本調査にご協力をいただいた対象者の皆さまに心より感謝申し上げます。

## 文献

American Psychiatric Association (2013) Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5thed. text version), Washington DC.

Bhat, A. N. (2020) Is Motor Impairment in Autism Spectrum Disorder Distinct From Developmental Coordination Disorder? A Report From the SPARK Study. *Physical Therapy*, 100 (4), 633-644.

De Vega, M., Padrón, I., Moreno, I. Z., García-Marco, E., Domínguez, A., Marrero, H. & Hernández, S. (2019) Both the mirror and the affordance systems might be impaired in adults with high autistic traits. Evidence from EEG mu and beta rhythms. *Autism Research*, 12 (7), 1032-1042.

Gastaut, H. (1952) Etude electrocorticographique de la reactivite des rythmes rolandiques. *Revue Neurologique*, 87, 176-182.

Gastaut, H., Bert, J. (1954) EEG changes during cinematographic presentation (Moving picture activation of the EEG). *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 6, 433-444.

Gastaut, H., Terzien, H. & Gastaut, Y. (1952) Etude D'une activité electroencephalographique meconnue: le "rythme rolandique en arceau". *Marseille Med.* 89, 296-310.

Kirby, A., Edwards, L., Sugden, D. & Rosenbulm, S. (2010) The development and standardization of the Adult Developmental Co-ordination Disorders/ Dyspraxia Checklist (ADC). *Research in Developmental Disabilities*, 31, 131-139.

Licari, M. K., Alvares, G. A., Varcin, K., Evans, K. L., Cleary, D., Reid, S. L., Glasson, E. J., Bebbington, K., Reynolds, J. E., Wray, J. & Whitehouse, A. J. O. (2019) Prevalence of Motor Difficulties in Autism Spectrum Disorder: Analysis of a population-Based Cohort. *Autism Research*, 13 (2), 298-306.

Lust, J. M., Schie, H. T., Wilson, P. H., Helden, J., Pelzer, B. & Steenbergen, B. (2019) Activation of Mirror Neuron Regions Is Altered in Developmental Coordination Disorder (DCD)—Neurophysiological Evidence Using an Action Observation Paradigm.

*Frontiers in Human Neuroscience*, 13.

村上祐介 (2013) 自閉症スペクトラム障害児の運動特性と指導法に関する研究動向. 筑波大学研究紀要, 36, 5-14.

村田哲 (2005) 模倣の神経回路と自他の区別. パイオメカニズム学会誌, 29 (1), 14-19.

中井昭夫 (2015) 不器用な子どもたちに関する基本的な理解—発達性協調運動障害. チャイルドヘルス, 18 (6), 6-9.

Nobusako, S., Sakai, A., Tsujimoto, T., Shuto, T., Nishi, Y., Asano, D., Furukawa, E., Zama, T., Osumi, M., Shimada, S., Morioka, S. & Nakai, A. (2018) Deficits in Visuo-Motor Temporal Integration Impacts Manual Dexterity in Probable Developmental Coordination Disorder. *Frontiers in Neurology*, 9.

Oberman, L. M., Hubbard, E. M., McCleery, J. P., Altschuler, E. L., Ramachandran, V. S. & Pineda, J. A. (2005) EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive Brain Research*, 24 (2), 190-198.

大久保街亜・鈴木玄 (2014) 日本語版FLANDERS利き手テスト—信頼性と妥当性の検討—. 心理学研究, 85, 474-481.

Pfurtscheller, G. & Neuper, C. (1997) Motor imagery activates primary sensorimotor area in humans. *Neuroscience Letters*, 239, 65-68.

Puzzo, I., Cooper, N.R., Vetter, P. & Russo, R. (2010) EEG activation differences in the pre-motor cortex and supplementary motor area between normal individuals with high and low traits of autism. *Brain Research*, 134, 104-110.

Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V. & Fogassi, L. (1996) Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3 (2), 131-141.

Rizzolatti, G. & Sinigaglia, C. (2010) The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations. *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 264-274.

杉野信太郎・松本秀彦・田中見太郎・諸富隆 (2015) 他者行為理解に関わる脳内プロセスの生理心理学的検討：行為の意図性が脳波のMuリズム抑制に及ぼす影響. 作大論集, 5, 99-113.

鈴木保巳・桃木唯・平野晋吾・角愛鹿・熊谷享子・寺田信一 (2012) 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― 研究論文集―教育系・文系の九州地区国立大学間連携論文集―, 5 (2), <http://hdl.handle.net/10069/28106>
- 多辺田俊平・相崎貢一・北洋輔・松尾美穂・神田聡・上田敏宏・小沢浩・中井昭夫 (2015) 自閉症スペクトラム障害児の不器用さに対する認知指向型・家族参加型グループリハビリテーションの試み ―しまはちチャレンジグループの有効性と課題―. 作業療法, 34 (3), 307-316.
- 若林明雄・東條吉邦・Baron-Cohen, S・Wheelwright, S. (2004) 自閉症スペクトラム指数 (AQ) 日本語版の標準化―高機能臨床群と健常成人による検討―. 心理学研究, 75 (1), 78-84.
- 2022.8.22 受稿、2022.11.7 受理 ——

## **Relationship between Tendency of Autism Spectrum Disorder and of Developmental Coordination Disorder and EEG Frequency during Motion Observation / Motion Execution in Typically Developing Adults**

**Aika KOBAYASHI\* and Shinji OKAZAKI\*\***

Motor clumsiness, as typified by Developmental Motor Coordination Disorder (DCD), is also associated with weak mimetic function known as characteristics of Autism Spectrum Disorder (ASD), the neurophysiological basis of which is the mirror neuron system. Its activity is reflected by mu frequency over sensorimotor cortex among EEG oscillations, and mu power is reduced (mu suppression) during actual movement, observed movement, and imagined movement. In this study, mu rhythm was measured in 29 typically developing adults during (1) movement execution, (2) movement observation of others, (3) movement observation of objects, and (4) watching random dot pattern with metronome sound, and analyzed in relation to ASD and DCD tendencies. As a result, both weaker ASD tendency group and weaker DCD tendency group showed more mu suppression during movement execution and movement observation. These results suggests that the activity of the mirror neuron system is affected by tendency of ASD and of DCD, and take a charge of common background for clumsiness in both ASD and DCD.

**Key words:** autism spectrum disorder, clumsiness, mu rhythm, mirror neuron system

---

\* School of Human Health Sciences, Faculty of Medicine, Kyoto University

\*\* Faculty of Human Sciences, University of Tsukuba