

# 自転車運動が自閉症スペクトラム児の 上肢運動の滑らかさに与える影響

五十嵐 守<sup>1)</sup>  
小野 治子<sup>1)2)</sup>  
大西 孝志<sup>2)3)</sup>

近年、発達障害と認知される児が増えてきている。自閉スペクトラム症（以下ASD）児は運動機能の障害があることも報告されているが、発達障害児への運動を用いた介入がなされるケースは少なく、運動がASD児に及ぼす影響の定量的評価はなされていない。そこで、小学校5、6年のASD児を対象に、バイクエルゴメータでリズムカルなペダル運動を行った後と身体運動を伴わないペーパークラフトを20分間行った後の2条件の下、「太鼓の達人®」のプレーを行い、得点および利き手手首の位置の加速度と躍度を、運動ありと運動なしの群間で比較し、運動の変化を定量的に検討した。その結果、リズムカルな運動を行った後の上肢運動の滑らかさが増加していることがわかった。

キーワード：自閉症、ビデオゲーム、リズムカル、運動、躍度

## 1. 問題の所在と目的

自閉スペクトラム症（以下ASD）児は身体運動が苦手で、体育の授業では不適応を生じ問題行動を起こすことが多い（Kaur, Srinivasan, & Bhat, 2018）。原因として、1) 入力された感覚情報を上手に統合することができず、状況を把握し相手や環境の変化にあわせて行動することの困難さ、2) 協調した身体の筋活動を出力・維持することができず運動を完遂することの困難さ、を持つことが挙げられる。

1) については、認知・心理学的なアプローチにより環境に合わせた行動を促すことができたとの報告がある（Corsello, 2005; McConachie & Tim Diggle, 2007; Virués-Ortega, 2010）。

2) については、ASD児に身体運動介入することにより他の側面の機能が改善したとする報告がある（Fedewa & Ahn, 2011）。バイクエルゴメータを用いた先行研究では、運動強

---

1) 東北福祉大学健康科学部リハビリテーション学部

2) 東北福祉大学教育・教職センター特別支援教育研究室

3) 東北福祉大学教育学部教育学科

度が軽度または中等度の身体運動を行わせることで特異な行動が減少したと報告されている (Olin, McFadden, & Golem, 2017)。

一方で、ASD児が抱える問題の根本には細胞レベルの同期現象の異常、個体間のリズム同期の異常など生体リズムの障害があるのではないかと、小西らは考えている (小西行郎, 2017; 小西行郎・豊浦麻記子・小西行彦・三池輝久, 2019)。身体を動かすためのリズムジェネレータは脊髄だけでなく橋・延髄部にもあり、またリズムジェネレータは自ら発振するだけでなく、外部のリズミカルな刺激の入力で活性化するとされている (有田秀穂, 2016)。リズミカルな運動を行わせることにより橋・延髄部の機能が活性化されると、その後出力される身体運動に変化が見られると考えられている。

そこで、ASD児にリズミカルな身体運動を行わせることにより、その後の身体運動の協調性を活性化させられるのではないかと考え、リズミカルな運動の有無によるその後の身体運動の変化を比較検討することとした。ASD児にバイケルゴメータを用いてリズミカルなペダル運動を行った後と身体運動を伴わないペーパークラフトを行った後の2条件下で、ビデオゲーム「太鼓の達人セッションでドドンがドン」(バンダイナムコエンターテインメント社製、日本、以下「太鼓の達人」)をプレーさせ、ビデオゲームプレー中の上肢運動の時系列データで評価を行った。プレー時の得点、およびプレー時における利き手手首の位置の加速度と躍度の変位量を群間で比較し、定量的変化を検討した。

## II. 方法

### 1. 対象

対象は、特別支援学校および特別支援学級に在籍している小学校5、6年生のASD児7名である。ただし、「太鼓の達人」のプレー中、興奮して飛び跳ねたり大きく身体を動かしたり、太鼓以外の部分を叩いたりすることがほとんどであった1名は解析の対象から除外した。解析の対象となった6名について、計測時の平均年齢は11歳3ヵ月、性別は全員男性、利き手は全員右利きで、身体・知的に大きな問題がなく研究者の指示にしたがって研究に参加できる児童であった (以下、研究協力者)。利き手の判断は、ペーパークラフトを行った際に鉈を持つ側とした。

### 2. 計測方法

バイケルゴメータ (室内自転車) で50回/分のピッチ音に合わせたリズミカルなペダル運動 (以下、ペダル運動あり) を20分間行なう場合と身体運動を伴わないペーパークラフト (以下、身体運動なし) を20分間行なう場合の2条件のもと、ASD児にビデオゲーム「太鼓の達人」のプレーを行った。

バイクエルゴメータはAeroBike® Ai (コナミスポーツ社製、日本) を用いた。バイクエルゴメータでの運動強度は中等度までとした。運動の強度を担保するために、年齢や安静時心拍数から運動強度を算出できるカルボーネン法  $[(220 - \text{年齢}) - \text{安静時心拍数}] \times \text{運動強度} + \text{安静時心拍数}$  を用いて目標心拍数を算出し、算出された心拍の数値を越えないようにバイクエルゴメータの心拍計の数値を設定し、モニターの表示と自覚症状を観察しながら、運動の強度をコントロールした。例えば12歳児の場合、運動強度・中等度は  $\{(220 - 12) - 80\} \times 0.5 + 80 = 144$  と算出されるので、144拍/分を越えないように運動を行った。

ペーパークラフトはCubeecraft.comからダウンロードした作品で行った。今回用いたペーパークラフトは直方体の展開図が印刷されたもので、切り出して組み上げると「トトロ」の像ができあがるものである。

ビデオゲームにはPlayStation4® (株式会社ソニー・インタラクティブエンタテインメント社製、日本) を用い、入力装置に専用のコントローラー「太鼓とバチ」(バンダイナムコエンターテインメント®、株式会社ホリ社製、日本) を用いた。「太鼓とバチ」は直径約23センチの太鼓の部分と長さ約27センチのバチで叩くことでリズムを入力することができる模擬太鼓のセットである。今回用いたビデオゲーム「太鼓の達人」は、モニター上に右から左へと流れるターゲットと音楽に合わせてバチを操作するというビデオゲームであり、視覚と聴覚と上肢の運動をリズムに合わせて同期させる協調動作を必要とするゲームである。

なお、「太鼓の達人」のプレーは2条件下でそれぞれ2回ずつ行い、「太鼓の達人」でプレーする曲は、収録曲の中で多くの児童が知っていると思われる「となりのトトロ」のテーマ曲とした。

加速度計は、BWT901CL (WitMotion社製、中国) を用いた。加速度計は面ファスナー付のクロロプレーンラバー製のベルトに取り付けたうえで、研究協力者の両手首の手背側に巻き付け計測を行った。サンプリングレートは10Hzで計測した。

ASD児に「太鼓の達人」をプレーさせると、利き腕だけで太鼓を叩く児、両腕で同時に太鼓を叩く児、両腕で交互に太鼓を叩く児、これらが混合したタイプと、プレーのスタイルは多様であった。

ただし、プレー中で「連打」と呼ばれる規定の時間内に数多く太鼓を叩くイベントの時は、両腕で交互に太鼓を叩く児がほとんどだったので、この「連打」のイベントの時間を加速度と躍度の解析区間とした。

また、「連打」のイベントの時に交互に太鼓を叩いている時の加速度の波形を利き手非利き手で比べると、利き手側が大きく非利き手側が小さく、かつ非利き手は個々の間で安定していなかったため、利き手側の加速度と躍度の時系列データのみを解析の対象とした。

なお、ペダル運動ありの計測と身体運動なしの計測は、運動学習の効果を避けるために2

週間以上あけて実施した。

### 3. 解析方法

「太鼓の達人」の得点は、ゲーム終了時に表示される「得点」を採用した。加速度と躍度の時系列データ解析区間は、ゲームが開始され最初のターゲットが規定の位置に達してから111ポイント後に始まる1回目の「連打」のイベント時間35ポイントを対象にした。躍度(加加速度)は、加速度から差分法を用いて近似させた。

「太鼓の達人」のプレーは各条件下で2回行っており、得点、加速度、躍度は、2回の平均値を用いてペダル運動ありと身体運動なしの2条件での比較を行った。

### 4. 統計処理

統計処理はR言語(Ver.4.0.0)を用いて行った。運動ありの群と運動なしの群との比較は、対応のあるt検定で比較し、 $p < 0.05$ で有意差ありと判定した。効果量はG\*Power(Ver.3.1.9.7)でCohenの*d*を用いて算出した。

### 5. 倫理的配慮

本研究は東北福祉大学研究倫理委員会の承認を得て行った(RS200702、RS200902、RS201205、RS201204)。研究開始に当たり、研究協力者および保護者に書面と口頭で本研究の説明を行い、研究協力者と保護者から同意が得られた場合、同意書にそれぞれの署名をいただき、研究を開始した。

## III. 結果

### 1. 得点について

ペダル運動あり、身体運動なしの2条件の間に、得点が増加したり減少したり変わらなかったりという一定の変化はみられなかった(図1)。有意差はなく、効果量は0.39であった。

### 2. 加速度について

有意差は無かったが、ペダル運動ありの値が身体運動なしの値に比べ小さな値を示すASD児が多かった(図2)。有意差はみられなかったが、効果量は0.80で、2条件間の平均値の差は大きいことがわかった。

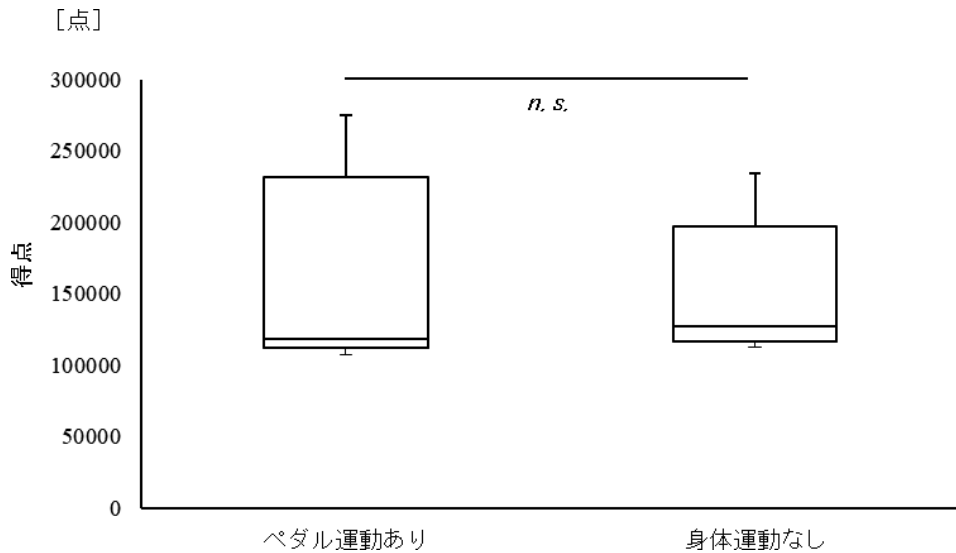


図1 ペダル運動あり、身体運動なしの2条件の下での得点の比較

縦軸が得点、横軸がペダル運動あり、身体運動なしの条件を示している。ペダル運動ありの条件下での得点の最小値は107115点、第1四分位は112340点、第2四分位は117980点、第3四分位は231927.5点、最大値は275360点であった。身体運動なしの条件下での得点の最小値は112385点、第1四分位は116977.5点、第2四分位は127082.5点、第3四分位は197510点、最大値は234210点であった。

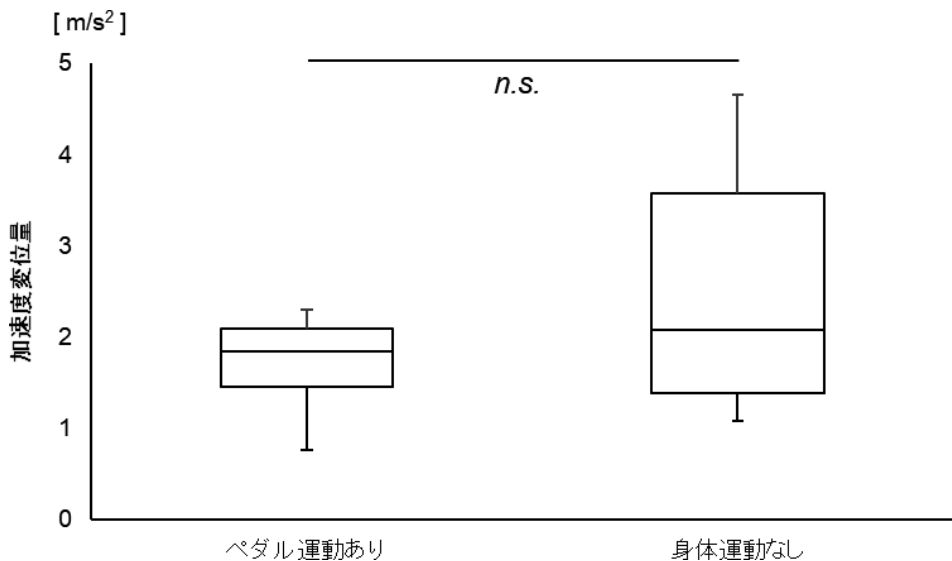


図2 ペダル運動あり、身体運動なしの2条件の下での加速度変位量の比較

縦軸が加速度変位量、横軸がペダル運動あり、身体運動なしの条件を示している。ペダル運動ありの条件下での加速度変位量の最小値は0.76317、第1四分位は1.44924、第2四分位は1.83804、第3四分位は2.19190、最大値は2.30333であった。身体運動なしの条件下での加速度変位量の最小値は1.07668、第1四分位は1.37897、第2四分位は2.08022、第3四分位は3.57985、最大値は4.66051であった。

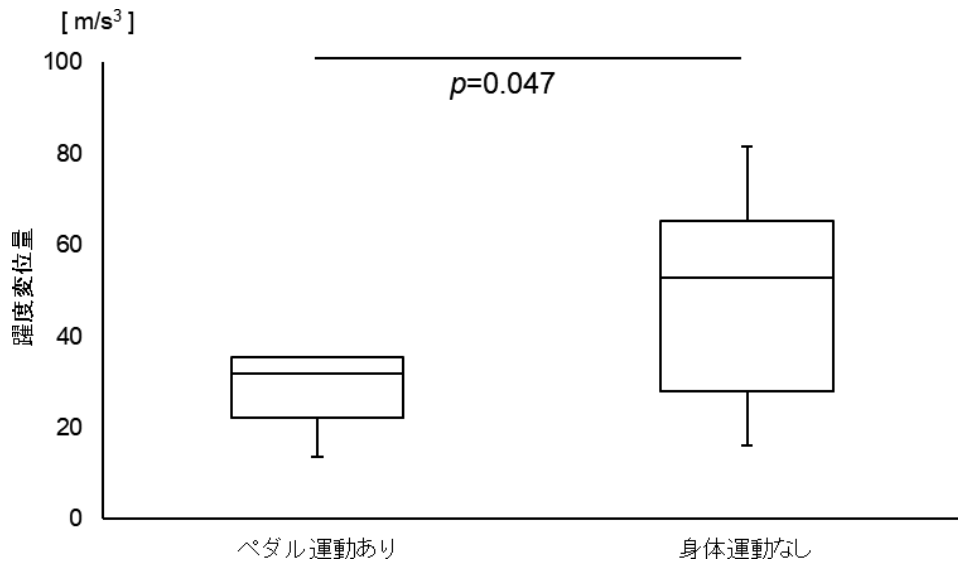


図3 ペダル運動あり、身体運動なしの2条件の下での躍度変位量の比較

縦軸が躍度変位量、横軸がペダル運動あり、身体運動なしの条件を示している。ペダル運動ありの条件下での躍度変位量の最小値は13.66345、第1四分位は22.14332、第2四分位は31.98126、第3四分位は35.45521、最大値は35.51418であった。身体運動なしの条件下での躍度変位量の最小値は16.14884、第1四分位は27.91454、第2四分位は52.80118、第3四分位は65.17090、最大値は81.60344であった。有意差がみられ $p$ 値は0.047であった。

### 3. 躍度について

ペダル運動ありの群が身体運動なしの群に比べ有意に小さな値を示すことがわかった（図3）。効果量は0.37であった。

## IV. 考察

「太鼓の達人」は曲のリズムに合わせて右から左へ流れるターゲットが規定の位置に達した時に太鼓を叩くと得点になるビデオゲームで、失敗せずに叩き続けることができると高得点が得られる仕組みである。

得点の結果において、ペダル運動あり、身体運動なしの2条件の間に、得点が増加したり減少したりという一定の傾向はみられなかったことから、運動の学習効果は発生していないと考えられた。

加速度は、運動の変化量を示す一つの指標である。有意差はなかったが、ペダル運動ありの値が身体運動なしの値より小さくなるケースが多かった。ペダル運動ありの加速度の値が小さくなったのは、ターゲットの太鼓に対しバチが無駄な軌道を描かず運動するようになったためと考えられた。

躍度（加加速度）は、運動の滑らかさを示す一つの指標である。加速度の変化率が大きい

と躍度の値が大きくなり、ガクガクとか、ギクシャクした運動となる。計測の結果から、運動ありの群が運動なしの群に比べ有意に小さな値を示すことから、ペダル運動を行うことで、その後の上肢運動の滑らかさが即時的に増加することがわかった。

リズムカルな運動の発現には神経系にあるリズムジェネレータの働きが大切であると考えられている。リズムジェネレータは、自ら発振して身体運動の協調性を整えるだけでなく、リズムカルな刺激を受けることで励起させられることがわかっている（有田秀穂，2016）。特に橋・延髄部にあるリズムジェネレータは小脳との連絡上にあるので、リズムカルな運動を行うことにより生じた刺激が橋・延髄部のリズムジェネレータを活性化することで小脳との連携が向上したものと推察される。本研究の結果から、リズムカルなペダル運動を行うことにより、効率的で滑らかな上肢運動の発現を即時的に促すことができたと考えられた。

先行研究では、ASD児の特異な行動を減少させる運動として、ジョギング、乗馬、武道、バイクエルゴメータが有効との報告がある（Prupas & Reid, 2001; Gabriels, Agnew, & Holt, 2012; Bahrami, Movahedi, & Marandi, 2012; Olin et. al., 2017）。運動強度については、運動強度の強い運動が有効であるとするもの、中等度以下運動強度が有効であるとするものと意見が分かれているが（Bremer, E., Crozier, M., & Lloyd, M. 2016）、運動の種類や強度を問わず何らかの形で身体を動かすことはASD児の行動に影響を与えると思われる。

本研究ではリズムカルなペダル運動に着目して研究を行った。リズムカルな運動には、バイクエルゴメータの他に、ウォーキング、ジョギング、縄跳び、ダンスなどがある。

しかし、ASD児は身体運動が苦手なことが多く、本研究で用いたバイクエルゴメータにおいてさえ、ペダルの軌道に合わせて下肢の動きをコントロールすることが難しくクランクに内踝をこするASD児や、バイクエルゴメータが発する音に合わせてペダルをこぐことが難しいASD児がいた。

運動強度の耐容能力については、6名中4名が心拍数100から120回/分程度の運動負荷量で疲労を訴え、軽い負荷にしか対応できなかった。

これらのことから、ASD児が行いやすいリズムカルな運動は、バイクエルゴメータやウォーキングなど難しい動作を必要としないもので、しかも軽い負荷で行えるものが適していると思われる。

運動時間については、今回20分としたが同じ動作を行い続けることはASD児にとって負担が大きいように感じられた。今後の課題として、運動時間を短くしても同様の効果が得られるのかを明らかにする必要があると考える。

近年、発達障害と認知される児が増えてきているが、日本におけるASD有病率は推定3%以上あり各年の有病率に増加がないことが明らかにされている（Saito, Hirota, & Sakamoto, 2020）。本研究の成果は、各年に一定の割合で存在するASD児への身体運動を用いた新し

い介入方法の開発につながる一助になるものとする。

今後、健常な児童においてもリズムカルなペダル運動がどのような変化を見せるのかを明らかにし、またASD児と健常な児童との比較を行うことでリズムカルな運動の有用性を確かめたい。

## V. 結論

ASD児にリズムカルなペダル運動を行わせることで、その後の上肢の運動が滑らかになることを明らかにできた。さらに、躍度を指標にすることでASD児の運動の滑らかさの変化を即時かつ客観的に評価ができることを示すことができた。

## 謝辞

本研究は、令和2年度日教弘本部奨励金の助成を受けて遂行されたものです。この場を借りて深く御礼申し上げます。

コロナ禍の状況にもかかわらず、最大限の感染への注意と配慮をいただき大きなお力添えをいただきました、認定特定非営利活動法人発達支援研究センター放課後デイサービス「ワクワクひろば泉」、合同会社リハサポート児童発達支援放課後デイサービス「アーチ」、東北福祉大学特別支援教育研究室の関係各位には、こころより感謝いたします。また、本研究に賛同しご協力いただいた研究協力者と保護者の皆様に心より感謝申し上げます。

## 文献

- Bahrami, F., Movahedi, A., & Marandi, S. M. (2012) Kata techniques training consistently decreases stereotypy in children with autism spectrum disorder. *Research in Developmental Disabilities*, Vol. 33, No. 4, pp. 1183-1193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2012.01.018>
- Bremer, E., Crozier, M., & Lloyd, M. (2016) A systematic review of behavioural outcomes following exercise interventions for children and young with autism spectrum disorder. *Autism*, Vol. 20, No. 8, pp. 899-915. DOI: <https://doi.org/10.1177/1362361315616002>
- Corsello, C. M. (2005) Early Intervention in Autism. *Infants & Young Children*, 18 (2), 74-85.
- Fedewa, A. L. & Ahn, S. (2011) The Effects of Physical Activity and Physical Fitness on Children's Achievement and Cognitive Outcomes: A Meta-Analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82 (3), 521-535. DOI: <https://doi.org/10.1080/02701367.2011.10599785>
- Gabriels, R. L., Agnew, J. A., & Holt, K. D. (2012) Pilot study measuring the effects of therapeutic horseback riding on school-age children and adolescents with autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6 (2), 578-588. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2012.01.018>



rasd.2011.09.007

- Kaur, M., Srinivasan, S. M., & Bhat, A. N. (2018) Comparing motor performance, praxis, coordination, and interpersonal synchrony between children with and without Autism Spectrum Disorder (ASD). *Research in Developmental Disabilities*, 72, 79-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.10.025>
- McConachie, H. & Tim Diggle, T. (2007) Repetitive behaviour and play in typically developing children and children with autism spectrum disorders. *Journal of Evaluation Clinical Practice*, 13 (1), 120-129, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2753.2006.00674.x>
- Olin, S. S., McFadden, B. A., & Golem, D. L. (2017) The Effects of Exercise Dose on Stereotypical Behavior in Children with Autism. *Official Journal of the American College of Sports Medicine*, 49 (5), 983-990. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001197>
- Prupas, A. & Reid, G. (2001) Effects of Exercise Frequency on Stereotypic Behaviors of Children with Developmental Disabilities. *Education and Training in Mental Retardation and Developmental Disabilities*, 36 (2), 196-206. DOI: <https://www.jstor.org/stable/23879735>
- Saito, M., Hirota, T., & Sakamoto, Y. (2020) Prevalence and cumulative incidence of autism spectrum disorders and the patterns of co-occurring neurodevelopmental disorders in a total population sample of 5-year-old children. *Molecular Autism*, DOI: <https://doi.org/10.1186/s13229-020-00342-5>
- Virués-Ortega, J. (2010) Applied behavior analytic intervention for autism in early childhood: Meta-analysis, meta-regression and dose-response meta-analysis of multiple outcomes. *Clinical Psychology Review*, 30 (4), 387-399, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2010.01.008>
- 有田秀穂 (2016) 脳内物質のシステム神経生理学. 中外医学社, 東京, 40-43.
- 小西行郎 (2017) 協調モデルに基づく発達科学の新たな展開. *実験医学*, 35 (1), 21-25.
- 小西行郎・豊浦麻記子・小西行彦・三池輝久 (2019) 自閉症スペクトラム障害に新しい展開を (総説). *病児保育研究*, 10, 14-21.