

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750205

研究課題名(和文) 発達障害者の「運動の不器用さ」解明のための定量的評価法の開発

研究課題名(英文) Development of quantitative evaluation for elucidating a clumsiness with pervasive developmental disorders

研究代表者

車谷 洋 (Kurumadani, Hiroshi)

広島大学・医歯薬保健学研究院(保)・講師

研究者番号：00335647

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、外的変化(他動的な歩行速度の変化)に対する身体運動の適応から、発達障害者の身体運動の協調性を定量的に評価する方法の開発を目的とした。発達障害のある成人と健常成人を対象に、他動的に歩行速度が増加するトレッドミル歩行を行った。他動的な歩行速度の増加に伴う発達障害者の歩行動作の適応は、健常成人と異なること、適応時の運動戦略が異なること、および運動協調性障害の可能性があったことが分かった。外的変化に対する身体運動の適応を利用することで、運動協調性の障害に起因する発達障害者の運動の不器用さを定量的に評価できる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：This study was to develop a method using an adaptation ability of the physical movement against an external change (passive change in gait speed) and evaluating motor coordination with pervasive developmental disorder(PDD). Adults with PDD and healthy adults participated in this study. They performed a treadmill gait task, and its gait speed was passively increased. Our findings showed that an ability and motor strategy of PDD adults to adapt to gait speed increase differed from that of healthy adults; PDD adults had motor coordination disorders. Evaluating the physical movement ability to adapt to external changes, we may quantitatively assess the clumsiness of PDD caused by dysfunction of motor coordination.

研究分野：作業療法学

キーワード：発達障害 成人 協調性 歩行 適応

## 1. 研究開始当初の背景

発達障害の症状には、コミュニケーションの障害、社会性の障害、常同的行動の障害、「運動の不器用さ」などが挙げられる。これらのうち、コミュニケーションの障害、社会性の障害、および常同的行動の障害に対しては、支援方法が存在しているが、「運動の不器用さ」に対する支援方法は未だ少ない。「運動の不器用さ」は就学、就労などを含めた生活で困難を引き起こすことがあるため、「運動の不器用さ」の解明および支援方法の開発が必要である。

「運動の不器用さ」は、DSM-TRの診断名(発達性協調運動障害)からも分かるように、運動協調性の障害と考えられている。発達障害者が自発的に運動を行うと、運動のぎこちなさはあるにせよ運動遂行は可能である。よって、先行研究で利用されている自発的運動を利用した運動パフォーマンスを捉える定性的評価では発達障害者の協調性障害を捉えることが困難である。

研究代表者は臨床において、発達障害者は外的変化に対する適応が健常者と異なると考えられる知見を得た。そこで、発達障害者の「運動の不器用さ」の背景にある協調性障害は自発的運動よりも、外的変化への運動の適応を観察することで捉えることができる可能性があると考えた。すなわち、身体運動時の外的変化(他動的変化)への運動の適応を定量的に評価することで、協調性の障害を定量化できると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、「運動の不器用さ」の定量的評価を可能にするため、外的変化(他動的な歩行速度の変化)への身体運動の適応を利用して、身体運動の協調性の変化を抽出できる方法を開発することを目的とし、以下の研究を行った。

- (1) 外的変化への適応を評価するための歩行動作計測システムの構築
- (2) 健常成人と発達障害者の歩行指標の比較
- (3) 健常成人の標準範囲と発達障害者データの比較

## 3. 研究の方法

- (1) 外的変化への適応を評価するための歩行動作計測システムの構築

### 歩行動作計測システムの構築

歩行動作計測システムは、発達障害者が歩行動作時にワイヤーなどに注意が集中し歩行が困難にならないように、ワイヤレスセンサーを利用して構築した。システムは7台の加速度センサー、角速度センサー、および磁気センサーが内蔵された小型9軸ワイヤレスモーションセンサー(LP-WS0904, Logical Product社製)で構成した。全てのセンサーはモーションセンサー制御アプリケーション(WSM Studio, Sports-sensing社製)によ

り、Wi-Fi通信経由で計測設定、記録開始および停止を制御した。歩行動作から得られる信号は各センサーに内蔵されているメモリにサンプリング周波数1000Hzにて記録した。モーションセンサーは両足部、両下腿、両大腿および腰部に装着した。両足部のセンサーは靴上面に、両下腿および両大腿のセンサーは下腿および大腿中央に粘着テープで強固に固定した。また、腰部のセンサーは第3腰椎レベルに伸縮バンドにて固定した。これら7つのセンサーから歩行動作中の体節の加速度および角速度を計測した。全てのセンサーは制御アプリケーションで同期して計測した。

### <歩行課題>

本研究では外的変化を他動的な歩行速度の変化とした。そこで、歩行課題は1分ごとに歩行速度が0.25m/sずつ漸増するトレッドミル歩行とした。トレッドミルはベルト幅40cm、ベルト長113cmのR-16(IGNIO社製)を用いた。歩行速度は0.5m/s, 0.75m/s, 1.0m/s, 1.25m/s, 1.5m/s, 1.75m/sの6段階とし、各歩行速度で1分間の歩行を行った。対象者には、「ベルトの速度に合わせて普段通りに歩行する」よう指示した。なお、歩行速度の変更は検査者が手動的に操作して行った。

### 歩行指標の検証実験

構築したシステムで得られた歩行指標の精度を確認するため、健常成人10名を対象として検証を行った。10名の歩行課題中の右下腿のセンサーから得られた角速度信号を用いて、Jasiewiczらの報告(Jasiewicz et al., 2006)に基づいて、歩行指標である踵接地時間およびつま先離地時間を抽出した。また、ワイヤレスEMGロガー(LP-MS1002, Logical Product社製)に接続された圧センサー(FSR402, INTERLINK社製)を利用して、足底の踵接地とつま先離地を計測し、踵接地時間およびつま先離地時間を抽出した。両者から得られた時間の誤差を抽出するためにRoot Mean Square Error(RMSE)を算出し、歩行速度を要因とした一元配置分散分析でRMSEを分析した。統計処理にはSPSS ver.23を用い、有意水準は5%未満とした。

- (2) 健常成人と発達障害者の歩行指標の比較

健常成人33名(男性30名)および青年期にある発達障害者14名(男性10名)を対象として、先述の歩行課題を実施した。最終的に、両足のデータ収集に不備のなかった者(健常成人26名[男性:25名,身長:170.8±5.0cm,体重:65.3±5.6kg,年齢:24.8±8.1歳,AQ-J:9.3±4.7],発達障害者11名[男性:9名,身長:165.8±7.5cm,体重:62.4±9.3kg,年齢:27.1±5.4歳,AQ-J:32.8±7.1])を分析対象とした。

データ収集には、構築した歩行動作計測システムを用い、歩行課題には先述したトレ

ッドミル歩行とした。使用したトレッドミルは健常成人がR-16 (IGNIO社製)、発達障害者がC966i (PRECOR社製)であった。歩行課題中の下腿の角速度信号から踵接地およびつま先離地時間を抽出し、ストライド時間、ストライド距離、ケイデンス、ストライド時間変動、立脚相時間を歩行速度ごとに算出し、各歩行速度内の安定した50秒間の平均値を算出した。ついて、体幹の加速度から、各歩行速度内の安定した50秒間の歩行中のRoot Mean Square (体幹不安定性)を歩行速度ごとに算出した。さらに、体節(足部、下腿、大腿)間の相互相関係数を歩行速度ごとに算出した。また、ストライド時間、ストライド距離、ケイデンスでは、歩行速度ごとに0.5m/sに対する相対値を算出した。数名の発達障害者が1.75m/sの歩行速度に不安感を訴え、1.5m/sまでの計測としたため、歩行速度の分析は0.5m/sから1.5m/sまでとした。データは、対象(健常成人、発達障害者)および歩行速度(0.5m/s, 0.75m/s, 1.0m/s, 1.25m/s, 1.5m/s)を要因とする二元配置分散分析で統計処理を行い、下位検定にはBonferroni法を用いた。統計処理にはSPSS ver. 23を用い、有意水準は5%未満とした。

### (3) 健常成人の標準範囲と発達障害者データの比較

健常成人 26 名を対象として、ストライド時間、ストライド距離、ケイデンスの 0.5m/s に対する歩行速度の相対値を算出し、平均値と標準偏差を算出した。次いで、グラフ上に平均値  $\pm 1$  標準偏差および平均値  $\pm 2$  標準偏差の範囲を描画し、発達障害者 11 名の各データをプロットした。得られたプロットから、発達障害者の傾向を検討した。

## 4. 研究成果

### (1) 外的変化への適応を評価するための歩行動作計測システムの構築

#### 歩行動作計測システムの構築

構築した歩行動作計測システムはセンサー間の同期した計測が可能であった。また、固定したセンサーが歩行動作の妨げになることはなく、健常成人および発達障害者ともに安定した歩行動作の解析が可能であった。

#### 歩行指標の検証実験

歩行動作中にフットスイッチから得られた踵接地およびつま先離地のデータと下腿の矢状面内の角速度を図 1 に示す。下腿の角

表 1. 下腿角速度とフットスイッチの RMSE

	踵接地	つま先離地
0.5m/s	51.2(37.8)	77.2(20.8)
0.75m/s	26.5(20.9)	75.0(22.1)
1.0m/s	24.1(17.3)	72.4(21.6)
1.25m/s	23.6(18.8)	67.3(14.4)
1.5m/s	28.1(20.6)	66.1(11.9)
1.75m/s	29.6(20.6)	66.5(14.0)

(msec)

速度から踵接地(赤)およびつま先離地(青)の検出は可能であった。また、RMSEの結果からフットスイッチのデータとの差が少なく、RMSEは歩行速度間で有意差がないことが分かった(表1)。以上より、下腿に装着したワイヤレスセンサーで歩行動作の計測が歩行速度によらず可能であることが確認できた。

先行研究では、歩行動作計測に三次元動作解析を用いているものが多く、高額な機器と機器を設置する広いスペースを必要とするため、計測室内での利用に限られてしまう。一方、本計測システムで利用したセンサーは安価に入手が可能であり、計測場所を選ばないという特徴がある。さらに、計測の精度も確認できたことから、本計測システムは臨床現場での利用が可能であり、発達障害者のみならずリハビリテーション対象者の歩行動作計測に有用であると考えられる。

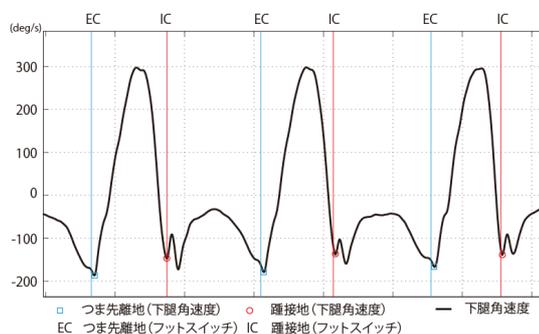


図 1. 下腿角速度とフットスイッチで検出した歩行指標

### (2) 健常成人と発達障害者の歩行指標の比較

#### ストライド時間 (図 2)

ストライド時間は、健常成人および発達障害者ともに歩行速度の増加に伴い有意に短縮し、発達障害者は全ての歩行速度で健常成人より有意に低値を示した。ストライド時間相対値は、発達障害者が健常成人より有意に高値を示し、相対値の変化が有意に小さかった。

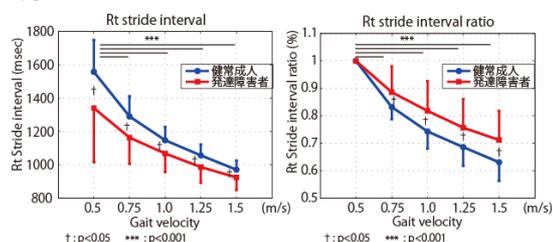


図 2. ストライド時間 (左) と相対値 (右)

#### ストライド距離 (図 3)

ストライド距離は、健常成人および発達障害者ともに歩行速度の増加に伴い有意に増加し、発達障害者は全ての歩行速度で健常成人より有意に低値を示した。ストライド距離相対値は、発達障害者は健常成人より有意に

高値を示し、歩行速度の増加とともにストライド距離が有意に増加する傾向を示した。

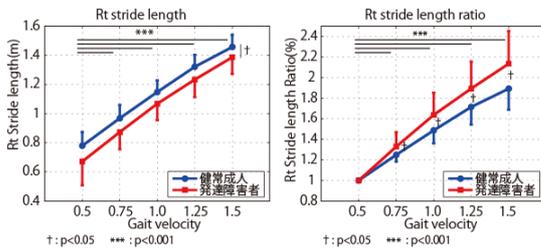


図3. ストライド距離(右)と相対値(左)

ケイデンス(図4)

ケイデンスは、健常成人および発達障害者ともに歩行速度の増加に伴い有意に増加し、発達障害者は全ての歩行速度で健常成人より有意に高値を示した。ケイデンス相対値は、発達障害者が健常成人より有意に低値を示し、歩行速度が増加してもケイデンス(時間当たりの歩数)が増加しない傾向を示した。

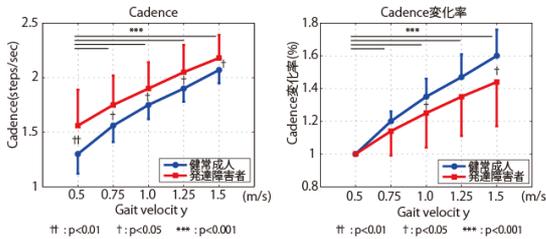


図4. ケイデンス(左)と相対値(右)

ストライド時間変動(図5)

ストライド時間変動は、健常成人および発達障害者ともに歩行速度の増加に伴い有意に減少し、発達障害者は0.5m/s, 0.75m/s, および1.0m/sの歩行速度で健常成人より有意に高値を示した。

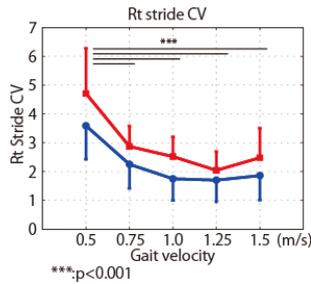


図5. ストライド時間変動

立脚相時間(図6)

立脚相時間は健常成人および発達障害者ともに歩行速度の増加に伴い有意に減少し、発達障害者は0.5m/sの歩行速度で健常成人より有意に低値を示した。

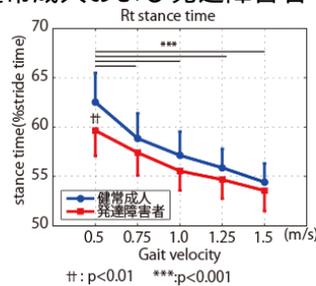


図6. 立脚相時間

体幹不安定性(RMS)(図7)

体幹の不安定性(前後,内外側,上下方向)

は健常成人および発達障害者ともに歩行速度の増加に伴い有意に増加した。また、発達障害者は全ての方向で健常成人より有意に高値を示し、歩行時の体幹の不安定性があることを示した。

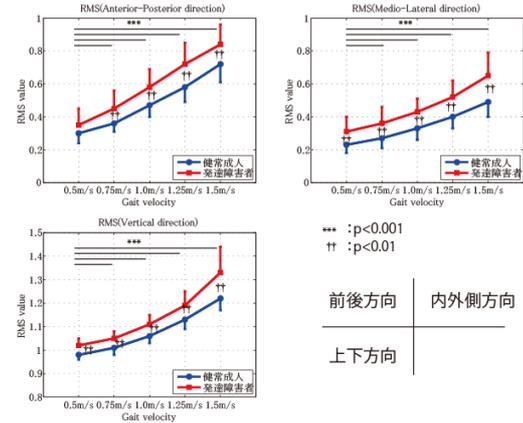


図7. 体幹の不安定性

体節間の相互相関(図8)

体節間の相互相関は歩行動作中の体節間の類似した動作、すなわち協調的な動作を示す。足部-下腿の相互相関係数は健常成人および発達障害者ともに歩行速度の増加に伴い有意に減少し、発達障害成人は全ての歩行速度で健常成人より有意に低い相関係数を示した。一方、下腿-大腿および大腿-体幹の相互相関係数は歩行速度の増加に伴う変化はなかったが、全ての歩行速度で発達障害者が健常成人より有意に低い相関係数を示した。

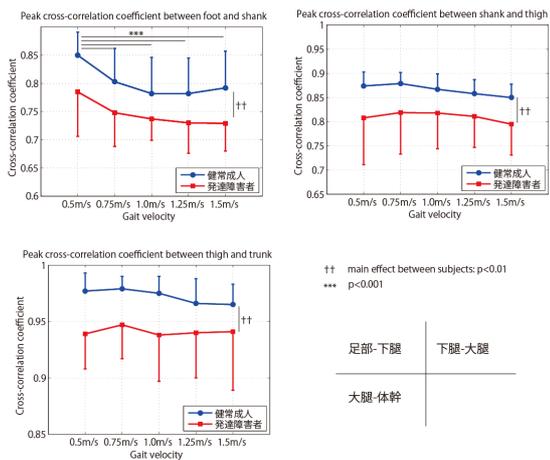


図8. 体節間の相互相関係数

健常成人より得られた歩行速度の変化に伴う歩行動作の時間-空間指標の変化は、先行研究の報告(Jordan, Challis, & Newell, 2007)と類似した結果を示していた。一方、発達障害者の歩行速度の変化に伴う歩行動作の時間-空間指標の変化は、歩行速度の増加に伴う変化が生じる点は健常成人と同様であった。しかし、相対的な変化の様式が異なっていることが明らかとなった。すなわち、歩行速度が増加すると、健常成人はストライドを大きくするよりも歩数を増やすことで

歩行速度の増加に適応するが、発達障害者は歩数の増加よりもストライドを大きくすることで歩行速度の増加に適応することが分かった。本研究の対象者は全例成人であり、歩行動作は獲得されている動作である。発達障害者は健常成人と比べて、歩行速度の増加に対する動作の適応において、異なった運動戦略を利用している可能性があると考えられる。この知見は未だ国内外で報告がなく、本研究より新たな知見を見出すことができた。

ストライド時間変動と体幹の不安定性の結果から、発達障害者は健常成人よりも不安定な歩行をしていることが明らかとなった。学童期にある発達障害児の歩行動作の先行研究では、健常児に比して歩行障害があるとの報告(Kindregan, Gallagher, & Gormley, 2015)がある。本研究では、成人例においても歩行障害の存在を確認できたことから、歩行動作は発達障害者の運動障害の有無を判別する評価として利用できる可能性があると考えられる。

体節間の相互相関の結果は歩行動作中の下肢の協調性を示している。本研究の結果、発達障害者の歩行動作中の下肢協調性は健常成人より有意に低いことが定量化できた。発達障害者は歩行速度の増加に対して健常成人とは異なる運動戦略を利用している可能性があるとして先述した。よって、異なった運動戦略には下肢協調性の低さが関連していると考えられる。

以上より、歩行速度の増加という外的変化に対する歩行動作の適応を評価することで、発達障害者の協調性障害の存在および健常成人との運動戦略の違いを定量的に示すことが可能であると考えられる。外的変化に対する動作の適応を評価することで、発達障害者の「運動の不器用さ」を定量的に示すことができ、適切な支援に結び付けることが可能になると考えられる。

### (3) 健常成人の歩行指標標準データと発達障害者データの比較

ストライド時間相対値、ストライド距離相対値、およびケイデンス相対値の健常成人の標準データに発達障害者のデータをプロットした結果を図9に示す。ストライド時間、ストライド距離、およびケイデンスの全てで平均値±1標準偏差内にあった発達障害者は3名(約27%)であり、1標準偏差から2標準偏差内にあった発達障害者は4名(約36%)、±2標準偏差を超えていた発達障害者は4名(約36%)名であった。±1標準偏差を超える人数は8名(約73%)であり、発達障害者の多くは健常成人と異なるデータを示す可能性があると考えられる。

本研究の結果から、歩行動作を利用して発達障害者の協調性障害である「運動の不器用さ」を定量的に捉えることが可能であると考えられる。さらに、発達障害例の約70%が

健常者の標準データと異なるデータを示す可能性があると考えられた。よって、発達性協調運動障害の診断の補助的手法として本研究の方法が応用可能であると考えられる。

本研究は歩行動作を対象として外的変化に伴う適応を調査して協調性障害を定量化したが、上肢動作など異なった動作であっても定量化は可能であると考えられる。今後、計測対象部位の変更、簡便に協調性障害の定量化が可能な課題の開発、および協調性障害の支援方法の開発が必要であると考えられる。

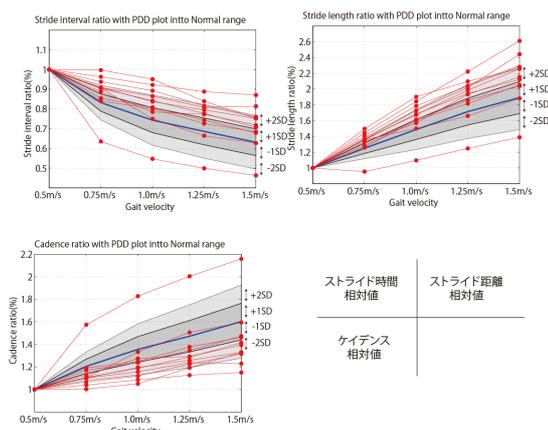


図9. 健常データへの発達障害者データのプロット

### [参考文献]

- 1) Jasiewicz, J. M., et al. (2006). Gait event detection using linear accelerometers or angular velocity transducers in able-bodied and spinal-cord injured individuals. *Gait & Posture*, 24(4), 502-509.
- 2) Jordan, K., Challis, J. H., & Newell, K. M. (2007). Walking speed influences on gait cycle variability. *Gait & Posture*, 26(1), 128-134.
- 3) Kindregan, D., Gallagher, L., & Gormley, J. (2015). Gait Deviations in Children with Autism Spectrum Disorders: A Review. *Autism Research and Treatment*, 2015(4), 1-8.

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

#### [雑誌論文](計1件)

1. 重谷洋, 四ノ宮美恵子, 深津玲子, 自閉症スペクトラム障害のある成人の異なる歩行速度における歩行動作の特徴. 日本作業療法研究学会雑誌, 19, 査読有, 2016, 印刷中.

#### [学会発表](計6件)

1. 重谷洋, 深津玲子, 四ノ宮美恵子, 小川菜摘, 藤原幸久, 岩淵典仁, 青年期発達障害者における異なる歩行速度での歩行動

- 作の特徴 ,第 9 回日本作業療法研究学会学術集会 ,2015.10.24-25 ,神奈川県立大学 (神奈川県・横須賀市)
2. 車谷洋 ,深津玲子 ,青年期発達障害者の外的変化への適応 - 漸増的歩行運動時のストライド時間の分析から - ,第 56 回日本児童青年精神医学会総会 ,2015.09.30 .パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)
  3. Aoyama S, Murakami T, Matsubara A, Kurumadani H: Study on the characteristics of the change of the body functions among different aged groups caused by mental work, 16<sup>th</sup> International Congress of the World federation of Occupational Therapists, June 18-24, 2014, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)
  4. Date S, Kurumadani H, Watanabe T, Sunagawa T, Effects of differences in hand visions on motor imagery during Hand Mental rotation task: A NIRS Study, 16<sup>th</sup> International Congress of the World federation of Occupational Therapists, June 18-24, 2014, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)
  5. Kurumadani H, Fukatsu R, Study on gross and fine motor skills in adults with pervasive developmental disorders before and after interventions, 16<sup>th</sup> International Congress of the World federation of Occupational Therapists, June 18-24, 2014, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)
  6. 車谷洋 ,深津玲子 ,四ノ宮美恵子 ,発達障害を有する成人の運動イメージ能力評価の試み ,第 7 回日本作業療法研究学会学術大会 ,2013.10.5 ,広仁会館 (広島県・広島市)

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

車谷 洋 (KURUMADANI HIROSHI)

広島大学大学院医歯薬保健学研究院  
(保)・講師

研究番号 : 0 0 3 3 5 6 4 7