

発達症が疑われる 1 症例にみられたハイハイ動作の特徴について

～ハイハイ動作の変化過程を定型発達児と比較して～

江浦貴也・高見勇仁

要旨

我々の研究室では乳幼児のハイハイ動作の変化過程とその後の発達の関連を調べるとともに、感覚運動経験が発達に及ぼす影響について調査を行ってきた。その中で自閉スペクトラム症を強く疑われる児が存在したため、本研究の目的を、自閉スペクトラム症が疑われる 1 症例について、他の定型発達児のハイハイ動作の変化過程と比較し、その特徴を見いだすこととした。対象は研究に同意が得られた乳幼児の中で追跡可能な 16 名とした。結果として、今回対象とした自閉スペクトラム症疑い児には、足部の接地が足趾で行われていること、右肩が異常にあがること、ハイハイ動作自体は定型児と同様に一定の動作に収束することがわかった。このことから、自閉症児は感覚に対する過敏性があることや、片側の上肢の支持性が弱いことで左右非対称性の動きがみられること、また自閉スペクトラム症を疑われる児も、その児なりに適切な四つ這い動作を獲得していることが考えられた。今後、さらなる追跡調査により症例数を増やし、ハイハイにおける自閉スペクトラム症特有の新たな動作の発見により、自閉スペクトラム症の早期発見につながる可能性が示唆され、本研究はその先駆けになったと考える。

I. はじめに

ヒトの発達には中枢神経系の変化を背景にしており、その理論的背景は従来の神経成熟理論からダイナミックシステムズ理論 (dynamic systems theories) や神経細胞群選択理論 (Neuronal Group Selection Theory: NGST) へ移行している。なかでも NGST は人間の運動発達を理解するための枠組みとして多く使用されている¹⁾。NGST の運動学習における要素として、動きの種類である Variation、適切な動きを選択する能力である Variability、の二つの用語が多く使われる。乳幼児は様々な動作を獲得するにあたって、まず多彩な Variation を持ち、動作を重ねるごとに Variability が発達しその動作に対して適切な動きを選択し、Variation を減少させる。この動作の効率化は不必要な神経回路の刈込や強化によって起こり、より高度な運動や思考が可能となる。

神経発達学によると、乳幼児は出生後早期にすべての脳領域で神経回路が爆発的に発達し²⁾、生後 1 か月の乳児はすでに自発運動や動揺に対する反応行動の中で感覚情報をもとに姿勢の

コントロールをしている³⁾。また、感覚運動経験によって蓄積された運動スキルが新しい動作を学習する過程で効率的に利用される⁴⁾。

我々の研究室では、運動発達を NGST で説明する具体的な例として、長年ハイハイ動作の変化過程に注目した研究を行っている。ハイハイ動作に注目したのは、乳幼児が最初に獲得する移動手段の 1 つであること、日本において母子手帳に記載された 9～10 ヶ月でのチェックポイントにハイハイが含まれていること、この時期にシナプス密度が人生で最も高くなる時期とおおよそ一致していること、ハイハイ動作が身体を床から持ち上げるという抗重力活動に変化する動作であること、などの理由からである。

当研究室ではハイハイ動作の変化過程とその後の発達の関連を調べるとともにハイハイ動作による感覚運動経験が発達に及ぼす影響の追跡調査を行い、定型発達児のハイハイには多様性があり、その Variability には個人差があることを明らかにしてきた。

乳幼児は必ずこの経験を通して個人特有の

多くのレポートリーを持っており、適切な Variation を身体部分レベルで選択して、その Variation をくみあわせることでより高難度とされる運動スキルの四つ這いを獲得することができる。ずり這いに見られる多くの Variation が感覚運動経験として、四つ這いという新しい動作を獲得する過程で効率的に利用されることになる。四つ這いで感覚運動経験は、さらに効率の良い四つ這いや独歩の獲得のために必要な感覚運動経験となる。具体的には、乳幼児がハイハイなどの運動を行う時に、視覚、聴覚、表在感覚、深部感覚などの情報がそれぞれの伝導路を經由し、最終的にはその多くが頭頂葉の中心後回(1次体性感覚野)で統合され、統合された情報が前頭葉に送られる⁹⁾。この情報を基にプログラミングされた運動により、更なる感覚情報の入力を得て頭頂葉から前頭葉に送られる。この循環が感覚運動経験とされる。しかし、ずり這いのレポートリーが少なく不足していると Variation を効率的に選択することができず、多くの試行錯誤を必要とする。

当研究室の追跡調査のなかで、自閉スペクトラム症を強く疑われる児が存在した。そこで本研究の目的を、発達症が疑われる1症例について、他の定型発達児のハイハイ動作の変化過程と比較し、その特徴を見いだすこととした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、当研究室により2015年から2020年までに定期的に撮影されたハイハイ動作をコード化したデータ42名分であった。撮影は、長崎市近郊の保育園を利用している乳児および本研究室に継続的な訪問が可能な乳児で、本研究に関する説明を受け、研究協力を保護者の同意を得て行われた。撮影の時点では、神経学的・整形学的に問題のない乳児であった。

2. 撮影方法

同意が得られた児のハイハイ動作を6台のWebカメラ(IO DATE製Qwatch型番TS-WLCAM)で同時に撮影した。カメラは正方形の四つ角に4台、支柱の約175cmの高さに2台設置し、可能な限り前後左右、上方からの動



図1 撮影方法

○:カメラの位置

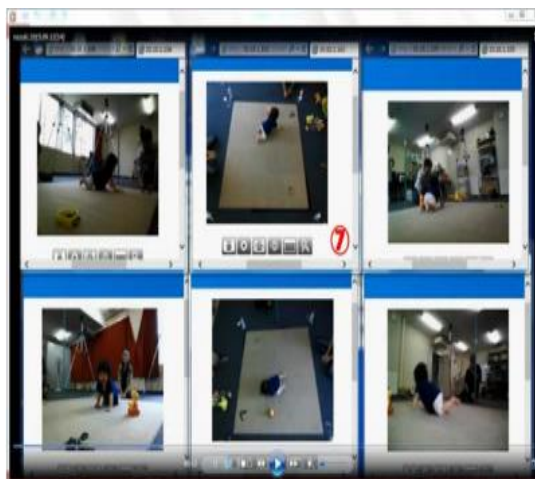


図2 編集された動画例

作が映るよう同時に6方向から撮影した(図1)。

撮影の間隔は1~2週間で、撮影期間は研究参加への同意が得られてから独立歩行獲得までとした。

3. コード化

本研究では、ハイハイ動作を歩行周期に準じて定義し、対象児の右(または左)上肢が床から離れた時点から、移動のための体幹の動きが見られ、再び右(または左)上肢が床から離れるまでを1サイクルとしている。

撮影された動画は、分析対象となっている場面が明確となるように、画面内に何サイクル目かを表示するように編集した(図 2)。

動画を再生しながら評価用紙にサイクルごと各項目の数字を記入していく(動作のコー化)。撮影動画の分析には当研究室が開発した「ハイハイ動作分析基準(第 6 版)」⁹⁾を用いた。この分析基準は、三次元動作解析機のような大掛かりな装置を使用せず、場所を問わず乳幼児の自然なハイハイ動作を分析でき、保育士や保護者などの動作分析について専門的な知識がない者でも扱えるというコンセプトの元に考案された。コード化に関する項目は大項目 I～IV、小項目計 24 項目からなる(表 1)。

各小項目に 5～7 個の選択肢を設定し、その中から検査者が判断したものを選択しコード化を行うものとする。選択肢の中には、動画の角度等により観察ができないためにコード化できない場合に選択する「0. コード化できない」、基準の中に適切な選択肢がない場合に選択する「9. コードに該当するものがない」を各小項目の中に入れていく。

4. 追跡調査

撮影を行った児の発達が定型か否かを調べるために 2 歳以降になった際に日本語版 DENVER II による評価を行った。DENVER II は、子どもの年齢が長じるにつれて発達する種々の行動を「個人・社会」、「微細運動/適応」、「言語」、「粗大運動」の 4 分野に分類し、それぞれの行動について 25%～90%の達成率を示す標準枠を階段状に図示してある。各分野についてそれぞれの対象児の年齢に合わせて評価を実施し、発達の判定については、

- 1) 正常:遅れが 1 つもなく、要注意が 1 項目以下である場合。
- 2) 疑い:2 つ以上の要注意、および/または 1 つ以上の遅れがある場合。
- 3) 判定不能:年齢線より完全に左側にある項目、あるいは 75%から 90%の間に年齢線がある項目のうち 1 つ以上拒否があるとき⁹⁾。とした。

追跡調査は、撮影間隔が 2 週間を超えた 19 名および転園等 3 名を除いた児に対して行い、5

表 1 ハイハイ動作分析基準の項目

I. ハイハイのパターンおよび上肢の使い方に関する項目	
-1.	ハイハイの種類
-2.	右上肢の使い方(支持期)
-3.	左上肢の使い方(支持期)
-4.	上肢の動かし方
-5.	上下肢の動かし方の組み合わせ
-6.	上下肢を動かすタイミング
II. 頭部の位置および動きに関する項目	
-1.	右上肢を前に出す時(左上肢で支持している時)の頭の傾き方
-2.	右上肢が床に着いた時の頭の上がり方
-3.	左上肢を前に出す時(右上肢で支持している時)の頭の傾き方
-4.	左上肢が床に着いた時の頭の上がり方
-5.	身体を前進させる時の頭の動き
III. 体幹の動きに関する項目	
-1.	右上肢を前に出す時(左上肢で支持している時)の上部体幹の傾き方
-2.	左上肢を前に出す時(右上肢で支持している時)の上部体幹の傾き方
-3.	右下肢を前に出す時(左下肢で支持している時)の下部体幹の傾き方
-4.	左下肢を前に出す時(右下肢で支持している時)の下部体幹の傾き方
-5.	脊柱の伸展
-6.	右下肢を前に出す時(左下肢で支持している時)の脊柱の側彎
-7.	左下肢を前に出す時(右下肢で支持している時)の脊柱の側彎
IV. 下肢の使い方に関する項目	
-1.	右下肢の支持の仕方(左下肢を前に出すとき)
-2.	左下肢の支持の仕方(右下肢を前に出すとき)
-3.	右下肢が床についた時の膝の位置
-4.	左下肢が床についた時の膝の位置
-5.	右足部の使い方
-6.	左足部の使い方

名に発達の遅れが疑われた。その中の 1 名は、専門家からの助言により自閉スペクトラム症が強く疑われることが判明した。

5. データ分析

ハイハイ動作の撮影が 2 週間以上の間隔を開けずに実施され、追跡調査が実施できた 20 名から日本語版 DENVER II により発達の遅れが疑われる児を除いた 15 名を定型発達児とし、自閉スペクトラム症が強く疑われる児とのハイハイのコード内容について、以下の比較検討を行った。

各体節(上肢・下肢・頭部・体幹)の動作のバリエーション数(コードの種類の数)を集積し、乳児ごとに集積したコードの四つ違い段階を前半と後半に分け、頻出するバリエーションを比較した。

I. ハイハイのパターンおよび上肢の使い方に関する項目	
I-1. ハイハイの種類	
0.	コード化できない
1.	ずり這い
2.	四つ這い
3.	現在
9.	コードに該当するものがない
I-2. 右上肢の支持の仕方(左上肢を前に出す時)	
0.	コード化できない
1.	手支持
2.	前腕支持
3.	肘支持
4.	上肢により明確に上体が持ち上げられていない(支持側の上腕が接地している)
9.	コードに該当するものがない
I-3. 左上肢の支持の仕方(右上肢を前に出す時)	
0.	コード化できない
1.	手支持
2.	前腕支持
3.	肘支持
4.	上肢により明確に上体が持ち上げられていない(支持側の上腕が接地している)
9.	コードに該当するものがない

図 3 動画分析(コード化)の流れ

図3は上肢における動作評価の例(一部抜粋で、項目I-1が四つ這い、項目I-2が手支持(右)、項目I-3が手支持(左)の場合、「211」というコードになる。そして上肢・下肢・頭部・体幹それぞれのコードをつなぎ合わせ1つのバリエーションとした。

なお、バリエーション数の集積にあたっては、撮影日に見られたバリエーション数をただカウントするのではなく、前回の撮影日までに見られたバリエーション数(バリエーションの種類の数)に加算する形をとった。

本研究は、長崎大学医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を得て行っている(承認番号18061431)。

III. 結果

定型発達児15名と自閉スペクトラム症疑い児1名に見られたコードを頻出順に並べ、下肢の使い方に関するコードのみをまとめたものを表2に示す。コードのうち下2桁が足部の接地の仕方、定型発達児は多くが「1」であり足背接地をしていることが分かる。また、定型発達児の中には片足を足背、片足を足底でハイハイをしている児もいる。対して、自閉スペクトラム症疑い児はすべてのコードにおいて「2」とされ、足趾で接地を行っている。

下肢のコードと同様に定型発達児と自閉スペクトラム症疑い児で体幹のコードの比較を行ったものを表3に示す。定型発達児は上位12種類のコードで上2桁とも「2」であるコードが見られ、上肢を前に出す時に両側とも体幹の傾きがほぼ変わらず、左右対称な動きが確認できる。対して、自閉スペクトラム症疑い児は、上位12種類のうち8種類の上1桁目が「1」であり、これは右上肢を前に出す時上部体幹の傾きで右肩が明らかに上がっている状態である。しかし、上2桁目が「2」とされており、左上肢を前に出す時体幹の傾きがほぼ変わっていない状態にある。このことから、自閉スペクトラム症疑い児は体幹の動きに左右差が見られる。

表4は、自閉スペクトラム症疑い児のコードを撮影時期によって前半と後半に分けたものを示している。前半では12種類のコードが見られたが、後半では3種類しか見られなかった。同じコ

表2 下肢コード

定型発達児	自閉症疑い
2211 11	2211 22
2211 11	2211 22
2211 11	2211 22
2211 11	2211 22
2211 31	2211 22
2211 12	2211 22
2211 11	2211 22
1211 31	2211 22
2211 11	2211 22
2211 31	2211 22
2211 31	2211 22
2211 1	2211 22

表3 体幹コード

定型発達児	自閉症疑い
22 22233	22 22233
22 22244	22 22233
22 22233	12 22233
22 22244	12 22231
22 22233	12 21321
22 22233	12 21321
22 22200	12 22223
22 12233	22 21233
22 22233	22 12233
22 12233	12 22222
22 22233	12 12233
22 22144	12 22213

表4 自閉症疑い児のコード

前半コード	後半コード
211121131312222233221122	211121131312222233221122
21112111111222231221122	21112111111222233221122
21112113131221231221122	21112113131222233221122
21112111111221231221122	
2111211111122223221122	
21112111111222233221122	
211121131312221233221122	
211121111112212233221122	
2111211111122222221122	
21112113131212233221122	
21112113131222213221122	
21112113131222233221122	
合計:12種類	合計:3種類

ードタイプは同じ色で囲っており、後半で見られるコードは前半でも確認できた。

IV. 考察

表 2 で得られた結果より、定型発達児は足部の接地を足背や足底で行うことが多く見られたが、自閉スペクトラム症疑い児は足部の接地すべてを両側足趾で行っていた。これは、自閉スペクトラム症児が感覚刺激に対する過敏性を持つことで、接地面の広い足背や足底では触覚が過敏に働くために、その逃避反応として足趾で接地を行ったと考える。先行研究より、自閉スペクトラム症は情報統合においていない情報にフィルタリングができず、本来なら無視できるような刺激に対しても反応してしまう⁷⁾という報告からも、この自閉スペクトラム症疑い児の足趾接地の 1 例が感覚に対する過敏性を持つことが考えられる。

次に表 3 で得られた結果より、定型発達児は上部体幹の動きに対称性が見られた。しかし、自閉スペクトラム症疑い児は右上肢を前に出す際に、体幹部の傾きで右肩が明らかに上がっており、左上肢を前に出す際の左肩はほぼ変わらず、体幹の動きに非対称性が見られた。これは、自閉スペクトラム症の特徴としてみられる左右非対称性の運動によるものだと考える。先行研究の自閉スペクトラム症児の 1 例において、片側の上肢のみを使って物を把持する⁸⁾という報告がされている。今回の症例でも、左上肢のみでものを把持する傾向があり、左上肢の支持性が弱いのではないかと考えた。これにより体幹が左側に傾き、ハイハイ動作の中で右上肢が大きくあがるという動作が発現したと考えた。

また表 4 より、前半には 12 種類のコードが見られ、後半には 3 種類のコードが見られた。ハイハイ動作を始めた頃は Variation が多いが、その状態から刈込みを行い、徐々に適切なハイハイの動作を獲得するという定型発達児と同じ過程を示している。このことから、自閉スペクトラム症疑い児も定型発達児と同様に Variability が成熟していると考えた。しかし先行研究より、自閉スペクトラム症はセロトニンの異常によって引き起こされる可能性があると考え、セロトニンの枯渇が原因で体性感覚皮質の錐体ニューロンの樹状突起の減少につながるとされている⁹⁾。そのため、セロトニンの異常によって刈込みが行われる際に、定型発達児とは異なる動作の Variation を選択しており、Variation の選択性が定型発達児よりも弱い

ということが考えられた。

V. 結語

今回の自閉スペクトラム症疑い児のハイハイのコードから、足趾の接地や左右非対称性の体幹の動きが見られた。先行文献より自閉スペクトラム症児の動きは様々とされ⁸⁾るが、今回の研究では対象児が少なかったことや、自閉スペクトラム症の特徴とされる感覚障害において感覚検査ができていないことが限界としてあげられる。今後、追跡調査を継続していくことで、新たに自閉スペクトラム症児特有の動作の発見や感覚との関連性を見つけ、自閉スペクトラム症の早期発見につながっていく可能性が示唆された。その中で、今回の研究が先駆けになったと考えた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、指導いただきました鶴崎俊哉准教授をはじめ、協力いただきました母子の皆様、育園の職員様一同に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Edelman GM: Neural Darwinism. The Theory of Neuronal Group Selection. Oxford University Press. Artificial Intelligence, 1989, pp.121-136.
- 2) Huttenlocher PR, Dabholkar AS: Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. J Comp Neurol. 1997; 387: 167-178.
- 3) Dusing SC, Theresa A: Commentary on “Differences in Function Among Children With Sensory Processing Disorders, Physical Disabilities, and Typical Development”, Pediatric Physical Therapy. 2013; 25: 322.
- 4) Yamamoto S, Yonghi L, et al.: Diversity and regularity in infant crawling with typical development. J Phys Ther Sci. 2020; 32: 483-488.
- 5) 加藤則子: 発達及び知能検査 DENVERII デンバー発達判定法: 小児内科, 特集 小児科医ができる発達検査・心理検査. 2018; 50: 1370-1373.
- 6) 寺尾安生, 宇川義一, 他: 皮膚感覚入力と運

- 動野(正常と異常):臨床神経生理学. 2000;
28:209-217.
- 7) 鶴崎俊哉, 寺尾瞳:ハイハイ動作分析基準の
開発と研究. 理学療法科学. 2017; 32: 323-
383.
- 8) Teitelbaum P, Teitelbaum O, et al.: Movement
analysis in infancy may be useful for early di-
agnosis of autism: Psychology and Child Psy-
chiatry, University of Florida, 1998, pp.
13982-13987.
- 9) 権田裕子, 花嶋かりな: 軸索ガイダンス分子
Robo1 の大脳皮質形成における役割:日本
生物学的精神医学会誌. 2020;31:98-105.

(指導教員 鶴崎俊哉)