

乳児の四つ這い ～発達における動作の効率化について～

河村彩加

要旨

乳児期における神経発達と運動発達は互いに影響し合っており、発達の過程で脳では神経回路の刈り込みと強化が起こっている。神経回路の変化は運動の試行錯誤によって起こっており、運動の効率化や認知機能の発達にも関与している。本研究では乳児の四つ這い動作に着目し、その質的变化が運動の効率化に向かって起こると仮説を立て、この仮説を検証した。対象は研究に同意が得られた42名の乳児で、独立歩行獲得まで1～2週おきにデータ収集が可能であった23名を分析対象とした。ハイハイ動作分析基準を用いてコード化したハイハイ動作を、乳児ごとに前半と後半に分けたのち集計し比較検討した。結果として、後半において頻出する身体の動かし方は前半からすでに出現していることがわかった。また、神経系の変化とともに動作が効率化していくという学習プロセスが客観的に証明され、四つ這い動作が経験を通して質的に変化していることが示唆された。

I. はじめに

人の脳細胞数は、出生時には成人と変わらないといわれているが脳の重量は3分の1程度でしかなく、成人のような運動行動は不可能である。これは、出生時点での脳の神経発達が未熟だからといえる。神経発達とは主に2つの要素から構成されている。一つは神経の髄鞘化(ミエリン化)であり、もう一つはシナプス形成とそれに伴う神経回路の形成である¹⁾。ヒトの脳は出生時には未完成で、シナプス密度は出生直後に増加し、生後8か月から3歳ほどで人生のピークを迎えその後減少する。この時神経回路は、使用頻度が高いものは強化され、使用頻度の低いものは刈り込まれる。これにより動作は効率的になり、高度な運動や思考が可能になる。これはEdelmanの神経細胞群選択説(The neuronal Group Selection Theory: NGST)に基づくものである²⁾。また、McGraw³⁾は「中枢神経系は大きく大脳皮質と皮質下の神経核に区分され、誕生の時点では大脳皮質は運動を制御するほど機能しておらず、新生児の運動は皮質下に仲介される。大脳皮質の機能が向上するにつれて、運動機能を制御するようになる。これにより運動の制御・統合が促進される。」と述べている。このような神経回路の変化が動作の試行錯誤によって起こり、運動の効率化や認知機能の発達にも関与している⁴⁾。

これらから、神経発達と運動発達は互いに影響しあっていると考えられる。

乳児の運動発達は内在する観察できない運動のレパートリーと、観察できる運動のバリエーションがあり、レパートリーの中からバリエーションを選択する能力をバリアビリティという。運動発達が進むと、レパートリーが増えるとともにバリアビリティが向上し、その時の条件に合ったより効率的な動きを選択するために、観察されるバリエーションが収束する。

四つ這いは手と膝で支持して体幹を空中で維持する動作であり、体重支持と体重移動が同時に起こる。また、相反性の肢運動や上下肢の対角線上の同時運動が必要となる。つまり、運動学習が盛んな発達段階といえる。乳児は仰向けで寝た状態からうつぶせ、四つ這いと徐々に視線が高くなっていく。そうするとさらに遠くを見渡すことができ、周囲のものに興味をそそられることになる。また、自我の欲望に引っ張られる形で自分の体を動かそうと努力し、運動能力を発達させる。こうすることでバランス能力の発達、運動・感覚機能の発達、空間認知機能や知的発達が促進される。⁵⁾個人差はあるが、生後8か月前後で四つ這いができるようになると言われており、つかまり立ちをし、一人歩きできるようになる1歳ごろまで見られる。先行研究ではハイハイ動作のバリエー

ション数の増減は、運動学習の過程を反映していると考えられている⁹⁾が、乳児の四つ這いの発達過程における質的な変化に着目した研究は見られない。そこで本研究では、集積した四つ這いのコードを前半と後半で分け比較し、そのコードに質的な変化が認められるのかを検証した。

II. 対象と方法

1. 対象

対象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、研究協力に保護者からの同意が得られた神経学的・整形学的に問題のない乳児であった。

2. 撮影方法

対象児のハイハイ動作を 6 台の IP カメラ (IO DATE Qwatch 型番 TS-WLCAM) で同時に撮影した。撮影は場所の広さに合わせて撮影範囲を設定し、カメラは正方形の四つ角に 4 台、支柱の約 175 cm の高さに 2 台設置し、可能な限り前後左右、上方からの動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。



図 1 撮影方法
○:カメラの位置

3. 分析方法

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。

① 6 台のカメラで撮影された動画は、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)。



図 2 編集された動画例

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 (動作のコード化)。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)」⁷⁾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」を各小項目の中に含んでいる。

③ 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這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。

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

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.	混在
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

今回、研究に同意を得られた 42 名の乳児から、四つ這いをしない 2 名、転園や体調不良などによるデータ不足の 17 名を除外し、計 23 名の対象児のデータを分析対象とした。表 2 は、対象児 23 名の四つ這い開始の日齢と、独立歩行獲得の日齢を示している。四つ這い開始日の平均は 291 日、独立歩行獲得日は 411 日であった。標準偏差はどちらも 40 日ほどあり、乳児により個人差がみられた。本研究における独立歩行開始の最大日齢は 490 日であり、これは WHO が規定する正常発達の範囲内に含まれる。

表 3 に全ケースにおけるバリエーション数と一人当たりのバリエーション数を前半と後半で比較したものを示す。全ケースにおけるバリエーション数は 382 から 185 に減少し、一人当たりのバリエーション数も中央値が 11 から 5 に減少した。

図 4 は、四つ這いの全身コードを前半と後半で比較したものである。頻出するコードの上位 5

表 2 対象児の四つ這い開始日齢と歩行獲得日齢

	性別	四つ這い開始	独立歩行開始
caseA	m	251	425
caseB	m	273	386
caseC	m	363	490
caseD	m	308	422
caseE	f	274	421
caseF	m	319	439
caseG	f	307	392
caseH	f	284	450
caseI	f	278	416
caseJ	f	260	403
caseK	m	307	363
caseL	m	197	325
caseM	m	253	387
caseN	m	229	336
caseO	m	296	365
caseP	m	326	480
caseQ	f	361	427
caseR	m	251	314
caseS	m	292	432
caseT	m	318	409
caseU	m	253	465
caseV	m	341	460
caseW	f	362	460
平均		291.4	411.6
標準偏差		42.6	46.9

表 3 観察されたバリエーションの総数と一人当たりのバリエーション数

	前半	後半
総数	382	185
中央値	11	5
最小値	5	2
最大値	26	17

位までを示している。バリエーションの内容を見てみると、後半で頻出するバリエーションは前半でも出現していた。バリエーション数が減少していたことと合わせると、これは動作が収束したといえる。

また、全身のバリエーション数が大きく減少しているという結果を受け、具体的にどの身体部位のバリエーションが減少しているのかを分析した(表 4)。頸部以外でのバリエーションが減少し、中でも特に体幹で大きな変化が見られた。変化が見られた体幹のバリエーションの内容を表 6 に示す。体幹では、全身のバリエーションと同様に後半で頻出するバリエーションは前半でも出現しており、動作は収束しているといえる。また、体幹コードのⅢ-6・Ⅲ-7 では下肢を前に出すときの脊柱の側弯を表しており、体幹の頻出するコード⑤では 43 となっている(表 5)。Ⅲ-6における選択肢 4 は「脊柱・骨盤に変化はない」、Ⅲ-7における選択肢 3 は「右下肢を出すときに脊柱はほぼ変化しないが、骨盤の右側が進行方向へ動く」ことを示しており、このことから後半で脊柱の動きに左右差が見られることがわかる。

	前半	後半
頻出コード①	2111211313122223322111P	2111211313122223322111P
頻出コード②	21112111111122223322111P	2111211313122224422111P
頻出コード③	2111211313122224422111P	2111211111122223322111P
頻出コード④	21112113131222244221111	21112111111222244221111
頻出コード⑤	211121131312222144221111	21112113131222231221111

図 4 四つ這いのバリエーション

表 4 部位別バリエーション数

	前半	後半
上肢	8	2
頸部	34	34
体幹	138	45
下肢	55	38

表 5 体幹のバリエーション比較

	前半	後半
頻出コード①	2222233	2222233
頻出コード②	2222244	2222244
頻出コード③	2222200	2212233
頻出コード④	2212233	2222231
頻出コード⑤	2222144	2222243

IV. 考察

全身のコードの数では、前半から後半にかけてバリエーション数が減少していた。後半で頻出するバリエーションは前半でも出現しており、バリエーション数の総数が減少していた。前半から後半にかけて使われ続けていた動きがおそらく効率的な動きであると推察できる。また、コードの内容を前半後半で比較してみると、同じ全身コードは3組あり、残りの4つのコードは部位別のコードの組み合わせの違いによるものであることが分かった。したがって、後半において頻出する身体の動かし方は、前半からすでに出現していることがいえる。

身体部位別のバリエーション数では、後半で減少していた。特に体幹での変化が大きく、全身の運動パターン数の減少に体幹の動きの変化が大きく関わっている可能性があると考えられる。体幹のコードについては、バリエーション数は前半から後半にかけて減少するが、部位別でみると特に体幹での変化が大きいことが分かった。体幹も、全身同様に後半で頻出するバリエーションは前半でも出現しており、バリエーション数が減少していることと併せて考えると、前半から使用されていた動きが後半でも引き続き使われており、残った動きがおそらく効率的な動きであると推察できる。

全体を通して、前半では雑多だった四つ這いの運動パターンのうち、使用頻度の多かった身体運動が選択され、後半においてより積極的に使用されていた。部位別にみると、特に体幹の動きが後半にかけて選択的に減少していた。これらから、四つ這いにおいて体幹運動の発達が全身運動パターンの収束に関与している可能性が示唆された。

本研究では、動作が効率的な方向に収束したことが証明され、これは中枢神経系の変化によるものであると推察でき、四つ這い動作が経験を通して質的に変化していることが示唆された。また、四つ這い動作における効率化には体幹の動きの安定化が特に関与している可能性が示唆され、四つ這いの発達における役割として、移動による感覚情報の処理から認知機能の向上が望めるほか、体幹の安定化に必要な学習がなされ座位や立位での姿勢保持の向上、これによる上肢機

能の向上、さらには知的機能の向上にも影響があるのではないかと考える。

謝辞

動画撮影にあたっては、ご協力いただきました乳児とその保護者様、保育園のスタッフの皆様、分析にあたってはお忙しい中ご尽力いただきました鶴崎研究室所属の皆様へ心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 松本勝信: 脳の機能の発揮と教育 <http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~katunobu/topics/topics002.htm> (2020年12月22日引用)
- 2) Edelman GM: Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection. Basic Books, New York, 1987.
- 3) 山本尚樹: 運動発達研究の理論的基礎と課題: Gesell, McGraw, Thelen, 三者の比較検討から. 発達心理学研究. 2014;25:183-198.
- 4) Hadders-Algra M: Variation and Variability: Key words in human motor development. Phys Ther. 2010; 90(12):1823-1837.
- 5) カイマール良子: 乳児のはいはいに関する調査報告. 発育発達研究. 2017;76:1-7.
- 6) 李 瑛熙, 松村海: ハイハイ動作のバリエーション数変化に関する検討. 長崎大学医学部保健学科理学療法専攻卒業研究論文集. 2015;11:62-67. <http://www2.am.nagasaki-u.ac.jp/physical/argh.html> (2020年12月22日引用)
- 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(2):323-383.
- 8) 文部科学省ホームページ: 幼児期運動指針 https://www.mext.go.jp/a_menu/sports/undousisin/1319771.htm (2020年12月22日引用)
- 9) Xiong QL, Hou WS, Xiao N, et al.: Motor Skill Development Alters Kinematics and Co-Activation between Flexors and Extensors of Limbs in Human Infant Crawling. IEEE Trans. Neural Syst. Rehabilitation Eng. 2018; 26(4):780-787.

- 10) Walle EA: Infant social development across the transition from crawling to walking. Front. Psychiatry (Open Access). 2016; 7:27 June Article number 960.
- 11) Hadders-Algra M: General movements: A window for early identification of children at high risk for developmental disorders. Review J Pediatr. 2004; 145(2 Suppl):S12-8.

(指導教員 鶴崎俊哉)