

ハイハイ動作の再考

——多様性の視点から——

Reconsideration of Infants' Crawling: Investigation of the Repertoire of Crawling

寺尾 瞳¹⁾ 近藤 景子²⁾ 園田 楽人 鶴崎 俊哉¹⁾

HITOMI TERAOKA, PT¹⁾, KEIKO KONDO, PT²⁾, GAKUTO SONODA, PT, TOSHIYA TSURUSAKI, PT, PhD¹⁾

¹⁾ Nagasaki University Graduate School of Biomedical Sciences: 1-7-1 Sakamoto, Nagasaki-shi, Nagasaki 852-8521, Japan.
TEL+81 95-819-7900 E-mail: bb55214015@cc.nagasaki-u.ac.jp

²⁾ Department of Rehabilitation, Nagasaki Harbor Medical Center City Hospital

Rigakuryoho Kagaku 30(3): 459-464, 2015. Submitted Dec. 11, 2014. Accepted Feb. 14, 2015.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to reconsider the crawling of infants by focusing on their repertoire. [Subjects] The subjects were 8 healthy infants aged 5-8 months who were using a Child Care Support Center. [Methods] The crawling of the infants on two types of floor (normal and unstable floor) was recorded on video, and analyzed for the motion of the head and trunk, the limbs, the movement of the center of gravity, and the driving force. The number of the repertoires of crawling was noted after agreement by three researchers. [Results] The repertoires of crawling increased, and then decreased with experience of crawling. [Conclusion] Our results suggest that motor learning in infants' crawling progresses from random to rational movements, and that the process is repeated during development.

Key words: crawling, infants, repertoire

要旨:〔目的〕乳幼児のハイハイ動作をレパートリー数の変化に着目し日齢やハイハイ実施期間（ハイハイ歴）との関係を検証した。〔対象〕子育て支援センターを利用する神経学的・整形外科的問題のない乳幼児8名（月齢：5～18ヵ月）。〔方法〕複数の床条件でのハイハイ動作をビデオ録画し、頭部と体幹、四肢の状態、重心の移動、推進力の点から研究者3名が動作分析を行い、合議により判定しカウントされるレパートリー数の変化を横断的に分析した。〔結果〕ハイハイ歴に伴いレパートリー数は一端増加しその後減少した。〔結語〕乳幼児のハイハイにおける運動学習は、無作為的な運動から合理的な運動へと進行しその過程を繰り返しながら発達していくことが示唆される。

キーワード: ハイハイ動作, 乳幼児, レパートリー

¹⁾ 長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科:長崎県長崎市坂本1-7-1 (〒852-8521) TEL 095-819-7900

²⁾ 長崎みなとメディカルセンター市民病院 リハビリテーション部

1. はじめに

乳幼児は正常運動発達の中で、いわゆるハイハイ（四つ這いを含む腹臥位での移動）、つかまり立ち、二足歩行という人間本来の移動手段を生後約1年の経過の中で獲得すると言われているが、近年、ハイハイをしない子どもが増加しているとの指摘が医療や教育の分野から多く聞かれる^{1,2)}。瀬川ら³⁾は、腹部が接地しているハイハイ（ずり這い・腹這い、以下、*crawling*）、手掌と膝を接地させるハイハイ（四つ這い・膝つき這い這い、以下、*creeping*）、手掌と足底で体重を支持するハイハイ（四足歩行・高這い・*bear walking*）、殿部を接地させた状態で前進するハイハイ（いざり這い、以下、*hitching*）の4様式（図1）について、乳児の母親に対し質問紙を用いた調査を行っており、その結果、*crawling*と*hitching*の生起頻度が20年前よりも低下していたと報告している。

ハイハイ動作（ハイハイで移動する際の体の動き）は、支持器官としての下肢の発達、そして把握・支持・認識器官としての上肢の発達にも関与する重要な発達指標であると言われている⁴⁾が、その重要性や後の発達への影響をテーマに扱った先行研究は非常に少ない。さらに、これらの先行研究はハイハイ動作の姿勢や重心、四肢の接地タイミングなどに着目したものが多く、姿勢に関しては瀬川⁵⁾が乳児期のハイハイ動作を6つの型に分類しているが、実際は一人の児が状況に応じて多くの四肢体幹の組み合わせを用いて移動している。この動作の多様性は、個々の乳幼児が持つ個体因子と環境要因の相互作用によってもたらされると考えられるが、このことが研究を困難にしている一因であることは想像に難くない。

従来、乳幼児の運動発達は McGraw や Gesell が提唱した神経成熟理論に基づいて説明されてきた。神経成熟理論においては、運動発達を左右するのは遺伝的な要因であり環境要因はあまり重要視されていなかった。しかし、Gibson のアフォーダンス理論や Thelen によるダイナミックシステムズ理論の運動発達への応用などにより、

環境要因の重要性が注目されるようになった。さらに、Edelman により脳内の神経細胞は発達や行動の中で多様なネットワークを作り、必要な構造や機能を選択的に組織化するという神経細胞集団選択理論が提唱されるに至っている⁶⁾。これは中枢神経系の成熟が、乳幼児自身の行動やそれによって環境から受ける刺激により変化することを意味し、経験や運動学習により運動発達が変化すること、いいかえれば多様な感覚運動経験により中枢神経系の機能にアプローチできることを示唆している。以上のような発達理論の変化は、これまで定型発達というパターンで捉えられていた運動発達を、多様性という視点で再検討することの必要性を表している。

神経細胞集団選択理論では、「variation」と「variability」が定型発達において重要な要素であることが強調されている。Hadders⁷⁾によれば、「variation は特定の運動機能において広範な動作の repertoire が存在することを意味し、variability は repertoire から状況に最も適した運動戦略を選択する能力を示す」とされている。つまり、移動などの目的遂行の過程で、環境に適應するための様々な四肢体幹の組み合わせを運動のバリエーションとして多様に出現させ、それらを蓄積することにより内在的に持つ運動レパートリーが拡大していくと捉えることができ、成功一失敗経験を通して運動学習が進むに従いレパートリーの中から状況に応じたバリエーションを使い分けていくことが可能になると解釈できる。そこで我々は、様々な環境下で観察される四肢体幹の動かし方の違いをバリエーションとして、さらにその総数を児が持つ見かけ上のレパートリーとして定義し、それらに着目して運動学習の過程を明らかにしようと試みている。

このバリエーションについては、主に新生児や乳児の自発運動（*general movement*、以下、GM）に関して研究されてきた。定型発達の場合、GM は動きの方向、範囲、速さなどのバリエーションが徐々に増加していき、笑う、喜びの声をあげる、定頻する、視覚的な修正が安定するなど運動が劇的に変化する2～4ヵ月ごろになるとそれが減少し、上下肢は次第に目的遂行型の運動に置

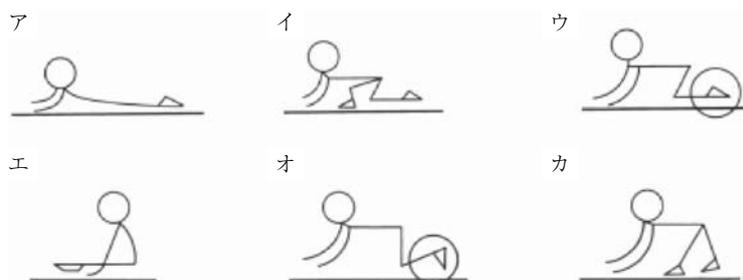


図1 ハイハイの型（文献5より引用）。

ア：ずり這い（*crawling*）、イ・ウ・オ：四つ這い（*creeping*）、エ：いざり這い（*hitching*）、カ：四足歩行（*bear walking*）。

き換わっていくことが示されている⁷⁾。多賀ら⁸⁾もGMの縦断的变化について、非線形動力学の観点からその複雑さを評価しており、1ヵ月児のパターンは複雑であるが、2ヵ月前後に一度単純化した後で再び複雑になるというU字型の変化を生じると述べている。このような初期の運動発達におけるバリエーションの変化は脳の発達を反映すると示唆されている⁹⁾が、同様の変化は後の寝返り、ハイハイ、歩行といった質的变化を伴う運動学習の過程においても観察されるのではないかと推測される。

そこで本研究では、乳幼児における最初の移動手段であるハイハイ動作に着目し、**crawling**、**creeping**と質的に変化する運動学習過程において観察されるバリエーションや総数としてのレパートリーを定量化する手法を模索するとともに、それらの変化と日齢やハイハイ実施期間との関係を分析することにより、先述の推測を検証することを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象はA市内の子育て支援センター（1ヶ所）を利用している、神経学および整形外科的な問題がない乳幼児（月齢5～18ヵ月）とその保護者8組（男児7名、女児1名）、内訳は主に**crawling**を用いて移動する児（以下、**crawling**児）4名と、主に**creeping**を用いて移動する児（以下、**creeping**児）4名であった。事前に本研究に関する説明を行い保護者より同意の得られたもののみを対象とした。

2. 方法

対象児の保護者に対して、質問紙を用いて生年月日、ハイハイ開始時期、ハイハイ実施期間等の項目を含むアンケートを対面方式にて実施し対象児に関する基本情報を収集した。

環境設定に関しては、できるだけ多くのハイハイ動作のレパートリーを引き出すため、この行動を実施する床面を、図2に示す衝撃吸収床材を使用しているセンター内の床面（以下、通常条件）と、図3に示す接地面が柔らかい床面（以下、不安定条件）の2種類とした。不安

定条件においては、ウレタン製のマットレス（91×192×5cm）を2枚並べ、その上に13種のクッションや畳んだ毛布、座布団を敷き詰め、さらにその上から敷きパッドとマルチカバーをかけた。

設定された条件の床の上に腹臥位にさせた対象児に、母親の呼びかけや対象児が関心を示す玩具などでハイハイによる移動を促した。ハイハイ動作の記録にはデジタルムービーカメラ（SANYO製 Xacti DMXCG100）を2台用い、同時に前額面、矢状面の2方向からの撮影を行った。なお、不安定条件におけるクッション等の並べ方は撮影日毎に同じ配置にした。対象児によって腹臥位保持およびハイハイ動作に対する動機付けが異なったため、撮影時間や距離に関する条件付けは行わなかった。撮影はできる限り同日に両条件下で行えるように配慮し、対象児が拒否の行動を示す場合は中止した。またハイハイ中の転倒に対してもクッション等で外傷を予防し、複数の研究者が立ち会い危険予防に努めた。

分析に際して、まずハイハイ動作を**crawling**と**creeping**に二分し、**crawling**に関しては、ほぼ動きが静止した状態から移動のための動作が見られ、次にはほぼ動きが静止するまでを、**creeping**に関しては左手の掌接地から再度の左手の掌接地までを1サイクルと便宜上設定し、撮影した動画をスロー再生もしくはコマ送りにて3名の研究者が動作分析を行った。動作分析は、対象児の一連のハイハイ動作をサイクルに分割した後、サイクル単位での動作を「頭部と体幹」、「四肢の状態」、「重心の移動」、「推進力」の点から比較し（表1）、3名の合議により同じ動作（体の動かし方）であると判断されるサイクルをまとめて1つのバリエーションとして、異なる動作がみられるサイクルは別のバリエーションとしてカウントしその総数をレパートリーとして算出した。例えば、10サイクル中、同じ動作が9サイクル、異なる動作が1サイクルであった場合、レパートリー数は2となる（図4）。この動作分析により得られた対象児8名のレパートリー数を横断的に分析した。

なお、本研究は長崎大学大学院医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を得て（承認番号13071126）、さらに協力機関の承諾と保護者の同意を紙面で得た上で実施した。



図2 通常条件

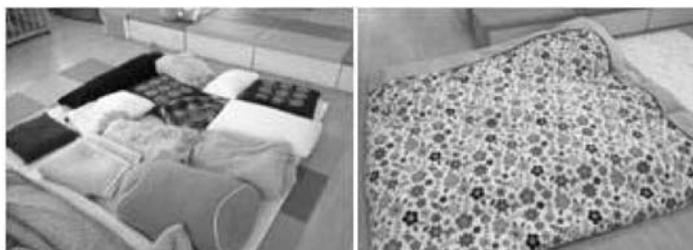


図3 不安定条件

表1 動作分析の主な視点

サイクル単位で比較する動作	
頭部	・左右への傾き
体幹	・側屈, 回旋の程度 ・骨盤の動き
上肢	・手指の開き ・支持面(手掌/前腕) ・手をつく幅 ・内外旋の程度
下肢	・足部のつき方(爪先/足背/足底) ・股関節の屈曲, 外転の程度 ・膝関節の屈曲, 伸展の程度 ・下腿(接地している/浮いている)
重心の移動	・体幹の動揺の程度 ・上下肢を動かすリズム
推進力	・上肢優位/下肢優位



a) crawling 児のバリエーション例, 左上肢: 前進する際の支持面に違いがみられる(上: 前腕, 下: 手掌).



b) creeping 児のバリエーション例, 右下肢: 膝関節の伸展や足底から接地させるなどの違いがみられる.

図4 バリエーションのカウント例(いずれも2サイクル分を示している).

III. 結果

対象児8名の動画撮影時の詳細な日齢, ハイハイ歴(ハイハイ開始時から動画撮影時までの日数), 総サイクル数, レポートリー数は表2, 3に示す通りである.

crawling 児, creeping 児それぞれについて, 日齢とレポートリー数の関係(表2)を分析した結果, creeping に関しては日齢に伴うレポートリー数の増加や減少はみられたものの, crawling ではその変化は確認できなかった.

ハイハイ歴とレポートリー数の関係を(表3)を分析した結果, crawling, creeping ともにハイハイ歴の浅い対象児はレポートリー数が少なく, 次第に増加していきその後減少するという変化を示した.

IV. 考察

多賀ら¹⁰⁾によると, 乳児はその初期発達過程に, 自発的な運動を契機として環境と相互作用し, その結果生じたことを記憶し運動として再現することができ, 学習可能な運動が, 多くの自由度を同時に使うようなパターンから特定の自由度のみを使ったパターンへと分化する. つまり, 乳幼児は様々な四肢体幹の動きの組み合わせを用いて運動を遂行するが, 成功体験や運動の円滑の程度などの内的な感覚をもとに, より効率の良い一定の組み合わせを用いる運動を遂行することが可能となる.

これを踏まえてハイハイ歴とレポートリー数の関係をみると, crawling, creeping ともにハイハイ歴が長くなるに従ってレポートリー数は増加し, ピークを迎えた後, 減少していく. 初期のレポートリー数の増加は, 多賀らのいうところの多くの自由度を同時に使うようなパター

表2 レポートリー数と日齢との関係

移動手段	日齢(日)*1	総サイクル数	レポートリー数(通り)*2		
			通常条件	不安定条件	合計
crawling	163	13	8	3	11
	175	16	3	4	7
	207	8	1	2	3
	311	21	2	2	4
creeping	270	32	1	4	5
	324	25	7	7	14
	420	21	2	3	5
	559	10	1	1	2

表3 レポートリー数とハイハイ歴との関係

移動手段	ハイハイ歴(日)*1	総サイクル数	レポートリー数(通り)*2		
			通常条件	不安定条件	合計
crawling	5	8	1	2	3
	10	16	3	4	7
	20	13	8	3	11
	60	21	2	2	4
creeping	45	32	1	4	5
	75	25	7	7	14
	90	21	2	3	5
	255	10	1	1	2

*1: 保護者への聴取から算出, 推定された値. *2: 通常条件を基本とし, 同じバリエーションが不安定条件で見られた場合はカウントに含まれない.

ンにあたり, 対象児が各条件の下で動作を遂行するため一見無駄な動きを数多くのバリエーションとして出現させていることを意味していると考えられる. また, レポートリー数の減少は, 多賀らのいう特定の自由度のみを使ったパターンを表し, これは身体を効果的に使う合理的な運動バリエーションに進化させ, 統合した結果であると考えられる. また, このレポートリー数の増加・減少という変化は, 日齢よりもハイハイ歴との関係においてより強く表れている. これは, 運動発達における経験や学習, 環境といった要素の関連の強さを反映しているのかもしれない.

本研究では crawling と creeping の2つの運動様式を区別してレポートリー数の変化を観察したが, この2つの様式の定義に関しては様々な意見があり必ずしも明確に区別できない. また, crawling から creeping に変化するときには両者の運動が混在する時期が見られ, 本研究においても, 状況に応じて両動作を切り替える対象児を複数観察することができた. creeping が crawling から進化したものと考えれば, 両動作を一連の乳幼児の発達様式として捉え, その変化を切り離さずに1本のグラフとして表すことができると考えられ, その結果, レ

ポートリー数は二峰性の形を示すであろう.

多賀ら^{8,11)}は, 10名の乳幼児の上下肢にマーカーを取り付けて, その軌跡を4ヵ月間にわたり二次元動作解析によって記録した. これによると, 運動量のグラフが生後2ヵ月前後でU字を描く軌跡を辿った. つまり, もともと多くあった動きの量が減少し, その後再び増加したということである. この研究において, 乳児の運動発達は単純なものから複雑なものへと進行するのではなく, 運動の変化は無作為な動きから, 組織化された動きへと収束していくものであり, この変化が皮質の発達中連続して起こっているのではないかと推測されている.

この推測を本研究に当てはめてみると, crawling と creeping を連続する変化とみた場合, ハイハイ歴の増加に従い増加したレポートリー数が一端減少し, その後, 再び増加する様子を呈している. つまり, 乳幼児のハイハイ動作においても, 運動学習の過程で無作為な動作から合理的な動作を獲得するという収束の過程を繰り返していると仮定でき, この仮説が有効であれば, 適切な環境を乳幼児に与え動作のレポートリーを引き出すことで乳幼児の発達を促す手立てとなることも考えられる.

最後に, 本研究の限界としては, まずハイハイ動作の

サイクル数や撮影時間、移動距離が一定にできなかった点である。対象が乳幼児でありこれらの条件を統一させることは困難であったため、レポートリー数を観察されたサイクル数で正規化していない。これらについては今後の研究課題として検討する必要があると考える。また、本研究は横断的研究にとどまっており、乳幼児の運動発達には個体差があることやハイハイ動作とその後の発達への影響についての関連性を調査する上でも縦断的な研究手法を用い個体の変化を集約する必要がある。加えてバリエーションのカウントは研究者3名の合議により実施したため、客観性や再現性に乏しい。今後はハイハイ動作の多様性をより客観的にとらえる分析手法の確立が求められる。

引用文献

- 1) 小林君江：子どもたちの実態。隔月刊社会保障, 2006, 409: 86-87.
- 2) 阪 正和, 井口淑子, 水野愛子・他：乳児のはいはいについての検討。小児保健研究, 1973, 31(4): 179.
- 3) 瀬川昌也：神経回路の発達からみた育児と教育の臨界年齢の研究, 研究実施終了報告書, pp71-72. <http://www.ristex.jp/result/brain/program/pdf/cri01.pdf>. (閲覧日2014年11月20日).
- 4) 中嶋信太郎, 牟禮 努, 香月真佐美・他：四つ這いについて 正常児における四つ這い分類の試み。理学療法学, 1987, 14(5): 399-404.
- 5) 瀬川昌也：Locomotionの発達とその異常 (I)。臨床脳波, 1999, 41(6): 385-391.
- 6) 今川忠男, 榎勢道彦：脳性まひ児が示す機能障害と適応行動としての代償運動。理学療法, 2002, 19(5): 587-592.
- 7) Hadders-Algra M: Variation and variability: key words in human motor development. Phys Ther, 2010, 90(12): 1823-1837.
- 8) 多賀巖太郎：運動と知覚の初期発達。バイオメカニズム学会誌, 2002, 26(1): 3-6
- 9) Hadders-Algra M: General movements: a window for early identification of children at high risk for developmental disorders. J Pediatr, 2004, 145 (Suppl 2): S12-S18.
- 10) 多賀巖太郎：運動と知覚における自由度の分化と統合。J Clin Phys Ther, 2007, 10: 1-6.
- 11) Taga G, Takaya R, Konishi Y: Analysis of general movements of infants towards understanding of developmental principle for motor control. Proc IEEE SMC, 1999, 5: 678-683.