

ハイハイ動作分析基準の開発と検証

Validation of the Reliability of the Criteria for Crawling Motion Analysis

鶴崎 俊哉¹⁾ 寺尾 瞳²⁾

TOSHIYA TSURUSAKI, PhD, RPT¹⁾, HITOMI TERAOKA, MHS, RPT²⁾

¹⁾ Health Sciences, Nagasaki University Graduate School of Biomedical Sciences: 1-7-1 Sakamoto, Nagasaki-shi, Nagasaki 852-8520, Japan TEL +81 95-819-7960 E-mail: toshiya@nagasaki-u.ac.jp

²⁾ Department of Rehabilitation, Nagasaki University Hospital

Rigakuryoho Kagaku 32(2): 323-328, 2017. Submitted Oct. 31, 2016. Accepted Dec. 15, 2016.

ABSTRACT: [Purpose] We developed criteria for crawling motion analysis, for the purpose of understanding motor learning processes from changes in crawling motion, and investigated their reliability. [Subjects and Methods] Ten examiners (4 with experience, 2 novices, and 4 trainees) used a video recording of the crawling motion during 6-months to code the movements using the analysis criteria on two occasions. The reliability was ascertained using the levels of intra- and inter-examiner agreement, and the variation number. [Results] With the exception of the novices, the levels of agreement of the code and variation number were confirmed to be sufficiently reliable. The results also suggest that prior training increase the reliability. [Conclusion] The results suggest the method we have developed is objective.

Key words: development, motor learning, crawling motion

要旨: [目的] ハイハイ動作の変化から運動学習過程を検討するために、ハイハイ動作分析基準を開発し、その信頼性を検証した。[対象と方法] 乳幼児1名の約6ヵ月間のハイハイ動作を記録した動画を資料とし、10名の検査者(経験者群4名、初見群2名、トレーニング群4名)で2回ずつ分析基準を用いたコード化を行い、コードの検査者間および検査者内一致度、さらにバリエーション数についても信頼性を確認した。[結果] 初見群を除き、コードおよびバリエーション数の一致度ともに十分な信頼性を確認した。また、事前にトレーニングを行うことで信頼性が増すことが示された。[結語] 開発した手法の客観性が示唆された。

キーワード: 発達, 運動学習, ハイハイ動作

¹⁾ 長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科 保健学専攻: 長崎県長崎市坂本1-7-1 (〒852-8520) TEL 095-819-7960

²⁾ 長崎大学病院 リハビリテーション部

I. はじめに

乳幼児の運動発達には、Gesell らによる神経成熟理論から Gibon JJ のアフォーダンス理論や Thelen のダイナミックシステムズ理論が応用され¹⁾、さらに、Edelman らのグループにより神経細胞群選択理論が提唱されるに至っている²⁾。これにより運動発達が行動や経験によって作り出された感覚情報を基にして進んでいくこと、そして環境に適応することができる多様性をもった行動へと変化していくことが指摘されている。

多様性に重きを置く神経細胞群選択理論においては、「variation」と「variability」の重要性が指摘されている。variation とは直接観察できる動作の多様性を意味し、移動などの課題遂行の過程で出現する環境に適応した四肢体幹の動きの組み合わせであると捉えることができる。その豊富さは内在的に持つ多様性 (repertoire) が広範であることを示し、その repertoire の中から状況に応じた variation を選択する力が variability とされ、これらが正常発達において重要な要素であるとされている³⁾。このような理論的背景のもと、発達の過程で様々な環境下で観察される四肢体幹の動かし方の違い＝多様性を「バリエーション」として定義し、その視点から運動学習の過程を明らかにしようと試みられている。

運動のバリエーションに着目する理由に、近年の脳性麻痺児に対する理学療法における着眼点の変化が挙げられる。今川ら⁴⁾はこれまでの代償運動を抑制し運動の質の正常化を目指すものから代償運動を抑制すべき対象ではなく環境への適応行動とみなし、この運動を含めた利用可能な機能活動の多様性を拡大することが治療戦略として必要不可欠であると述べている。また、自閉スペクトラム症 (Autistic Spectrum Disorder: 以下、ASD) など一部の発達障害との関連性も示唆されており、ASD の場合、発達の過程で運動のバリエーションが増加せず、動作が画一化された結果、環境に適応するための運動学習に支障をきたすとの報告がある⁵⁾。このように発達を運動のバリエーションの変化に着目して捉えることは、発達予後や治療戦略に関わる視点として重要である。

発達過程における運動バリエーションの経時的変化に関する先行研究としては、多賀⁶⁾の新生児や乳児の自発運動 (General Movement: 以下、GM) に関するものが挙げられ、GM のパターンが複雑なものから一度単純化し、再び複雑なものへと縦断的に変化することが報告されている。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ことが示唆されており、著者らは後の寝返り、ハイハイ、歩行といった一連の運動学習過程においても同様に観察されるのではないかと推測しているが、現状では、乳幼児の運動発達におけるバリエーションの変化に着目した研究はなされていない。

乳幼児の運動機能の評価法として提唱されている The Infant Motor Profile (IMP)⁷⁾は、バリエーションのサイズ (size of repertoire) や環境に応じて動作を選択する能力 (ability to select) に関する項目を有しているものの、バリエーションのサイズをどのように定量化するかまでには言及していない。さらに、前述の多賀らの研究では三次元動作解析装置などの大掛かりな機器を使用しなければならず、環境面での制約が大きい。

これらを踏まえ、著者らは乳幼児の「移動」という主体的な運動であり、ずり這い (腹部が接地しているハイハイ) から四つ這い (手掌と膝を接地させるハイハイ)、高這いへと運動様式が変化し運動学習の過程を観察するのに適しているハイハイ (四つ這いを含む腹臥位での移動) 動作に着目し、バリエーションを定量化することで運動学習の過程における縦断的变化を明らかにしようと試みている⁸⁾。しかし、バリエーションの定量化には確立された方法がない。そこで本研究では、ハイハイ動作のバリエーションを客観的に定量化するための動作分析基準を作成し、その信頼性の高さを確認することを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、「ハイハイ動作分析基準」の作成・改定に携わり、コード化の経験のある理学療法士免許を有する者 4 名 (以下、経験者群)、初見でコード化を実施した理学療法士免許を有する者 2 名 (以下、初見群)、初見であるが事前に動画を用いてトレーニングを実施し各自の判定基準が概ね標準化された理学療法専攻の学生 4 名 (以下、トレーニング群) の計 10 名で実施した。この群分けは、経験の違いが影響するかを検討するために実施した。なお、各検査者は同一動画に対し最低 1 週間の期間をあけて計 2 回のコード化を行った。

2. 方法

ハイハイ動作のバリエーションを定量化する手法として、動作分析する項目をあらかじめ文章化しまとめた基準を全検査者が使用することにより動作分析に客観性をもたせることができると考えた。その基準を作成するため、はじめにハイハイ動作の録画記録をもとに動作分析の基準となる項目を抽出した。さらにそれを言語化しそれぞれに選択肢を割り振るという作業を繰り返しながら作成を進め、動作分析を項目ごとに設定された選択肢によってコード化する「ハイハイ動作分析基準」を考案した⁹⁾ (図 1)。「ハイハイ動作分析基準」では、「右手 (あるいは左手) が床から離れた時点から、移動のための動作がみられ再び右手 (あるいは左手) が床から離れるまで」を 1 サイクルと定義した。各サイクルごとに動作を

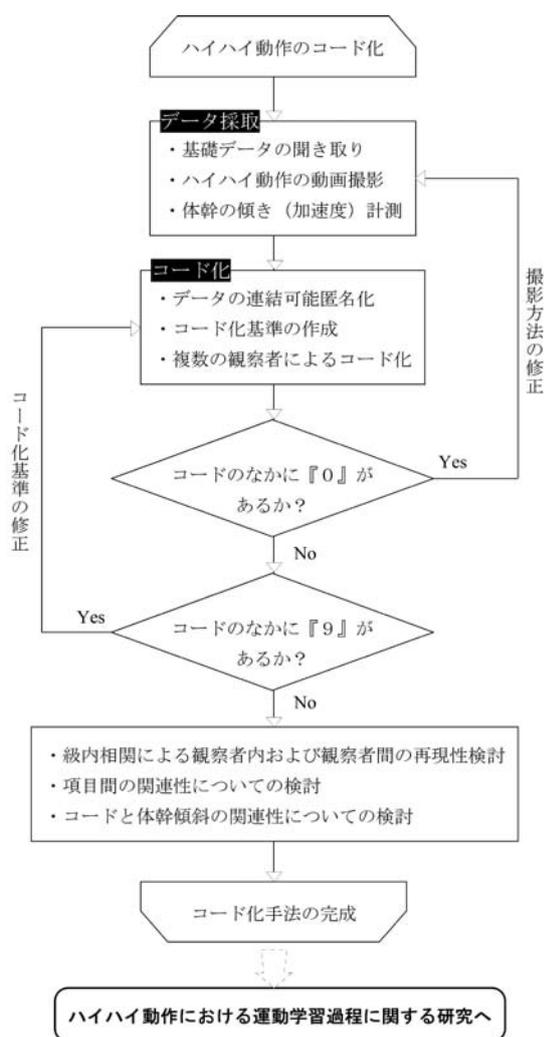


図1 ハイハイ動作分析基準の作成の流れ

「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」、「II. 頭部の位置および動きに関する項目」、「III. 体幹の動きに関する項目」、「IV. 下肢の使い方に関する項目」の4つの大項目に分類し、合計24からなる下位項目およびそれぞれについての選択肢を設定した(表1)。なお、各下位項目には「0. コード化できない(動画の撮影角度などにより観察できない)」「9. コードに該当するものがない(項目・選択肢の再検討や追加を検討する必要がある)」の選択肢を設け、その後の検討課題が明確になるようにした。サイクルごとの四肢体幹の動きを数字のまとまりとして表す(コード化する)ことで、一連のハイハイ動作の中で生じる数字の並びの差異がバリエーションとして捉えられる(図2)。

コード化を行う素材は、ずり這い開始前から独歩まで継続して記録可能であった神経学的および整形外科的な問題がない乳幼児1名のハイハイ動作をビデオ録画したものとした。記録時期は、月齢が8~14ヵ月となる約6ヵ月間であり、その間およそ2週間ごとにハイハイ

表1 「ハイハイ動作分析基準」の項目とコードの数

項目	コードの数
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	5
2. 右上肢の使い方(支持期)	6
3. 左上肢の使い方(支持期)	6
4. 上肢の動かし方	6
5. 上下肢の動かし方の組み合わせ	7
6. 上下肢を動かすタイミング	4
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	5
2. 右上肢が床に着いた時の頭の上がり方	5
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	5
4. 左上肢が床に着いた時の頭の上がり方	5
5. 身体を前進させる時の頭の動き	5
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	5
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	5
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	5
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
5. 脊柱の伸展	5
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	6
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	6
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)	6
2. 左下肢の支持の仕方(右下肢を前に出すとき)	6
3. 右下肢が床についた時の膝の位置	5
4. 左下肢が床についた時の膝の位置	5
5. 右足部の使い方	5
6. 左足部の使い方	5

コードの数には、「0」、「9」を含む。

動作を記録した。記録場所は長崎大学医学部保健学科で、記録回数は合計13回、総サイクル数は138サイクル(1回の撮影につき平均10.6サイクル)であった。記録方法は、ジョイントカラーマットを敷いた約180×180cmの範囲内に対象児を腹臥位とし、母親の呼びかけや対象児が関心を示す玩具などで移動を促した。この時の動作をIPカメラ(Qwatch TS-WLCAM, IO DATE社製)を6台用い、前後左右、上方からの動作が映るよう同時に撮影し、動画をノートパソコン上でデスクトップ

ブ録画用ソフトウェア (AG デスクトップレコーダー) にて録画・保存した (図3)。記録時間や距離に関する条件付けは行わなかったが、一度の撮影で概ね10サイクルは記録できるよう配慮した。また、対象児が拒否の行動を示す場合は中止した。保存した動画は、各対象者が確実に同一場面をコード化できるように、著者の一人がサイクルの変化点を判断した上で画面上に何サイクル目かを表示するよう編集した。

コード化したデータの統計処理には、大項目ごとの検査者間一致度を Siegel の κ 係数を、検査者内一致度を Cohen の κ 係数を用いて確認した。なお、両係数は検査者全体、経験者群、初見群、トレーニング群のそれぞれについて確認した。さらに動画ごと (記録日ごと) にバリエーション (数字のまとまりの違い) が何通り出現するかを算出し、その数が検査者間および検査者内で一致しているか否かを大項目ごとに級内相関係数 (Intraclass correlation coefficient: 以下, ICC) にて確認した。統計処理には Windows 版 R2.8.1 を用いた。

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。

サイクル	大項目		I					コード
	下位項目		1	2	3	4	5	
1			1	4	2	1	2	14212
2			1	4	2	1	5	14215
3			1	4	2	1	2	14212
4			1	4	2	1	2	14212
5			1	4	3	1	2	14312
6			1	4	2	1	2	14212

コードが3種類=バリエーションの数

図2 バリエーションの捉え方

イタリック体のコードが異なるため、大項目のバリエーション数は「3」となる。



図3 ハイハイ動作の画像例

Ⅲ. 結果

全てのコード化作業の過程で選択肢「0」の出現割合については10.03% (全72,847コード中7,307個)、選択肢「9」については0.04% (全72,847コード中27個)であった。

大項目ごとの同一サイクルに対するコードの検査者間一致度 (Siegel の κ 係数) を表2に示す。この値は、全体では大項目Ⅱ (頭部の位置や動きに関する項目) およびⅢ (体幹の動きに関する項目) で0.3台と低い値を示したが、経験者群においては高い信頼度とされる0.61以上の値を概ね示していた。初見群においては全体と同様に大項目ⅡおよびⅢで、トレーニング群においては大項目Ⅱで低い値を示していた。また、ハイハイをずり這い期間と四つ這い期間に分けて検討した結果、全体的にずり這い期間の一致度が低い傾向がみられた。

大項目ごとの同一サイクルに対するコードの検査者内一致度 (Cohen の κ 係数) を表3に示す。この値は、初見群では大項目ⅡおよびⅢで0.4台と低い値となったが、経験者群、およびトレーニング群ではすべての項目において0.8を上回っており、さらに検査者全体でも信頼性が高いとされる0.6を上回った。

大項目ごとのバリエーション数に対する検査者間の一致度を表4に示す。検査者間のICCは、初見群を除き概ね可能～優秀となる値となった。

次に、表5に同一動画におけるバリエーション数に対する検査者内の一致度を大項目ごとに示す。検査者内のICCは、初見群の大項目Ⅰ、Ⅲにおいて低い値となったが、全体では0.7以上を示しており、検査者内における信頼性は高い結果となった。

表2 同一サイクルに対するコードの検査者間一致度

分析対象・期間	Siegel の κ 係数			
	I	II	III	IV
全検査者				
すべて	0.95	0.33	0.39	0.85
ずり這い期	0.93	0.29	0.29	0.58
四つ這い期	0.96	0.33	0.41	0.88
経験者群				
すべて	0.91	0.76	0.57	0.79
ずり這い期	0.73	0.57	0.40	0.40
四つ這い期	0.99	0.84	0.62	0.89
初見群				
すべて	0.80	0.38	0.29	0.75
ずり這い期	0.54	0.26	0.09	0.24
四つ這い期	0.89	0.41	0.34	0.85
トレーニング群				
すべて	1.00	0.39	0.74	0.92
ずり這い期	1.00	0.37	0.59	0.87
四つ這い期	1.00	0.38	0.76	0.92

表3 同一サイクルに対するコードの検査者内一致度

分析対象	Cohen の κ 係数			
	I	II	III	IV
全検査者	0.92	0.79	0.70	0.91
経験者群	0.95	0.91	0.81	0.81
初見群	0.85	0.49	0.43	0.91
トレーニング群	0.99	0.83	0.83	0.98

IV. 考 察

本研究では、乳幼児のハイハイ動作について、ずり這い、四つ這い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の変化を、コード化によって簡便に定量化する手法として独自に作成した「ハイハイ動作分析基準」に対し、その信頼性を検証した。

まず「ハイハイ動作分析基準」作成の過程においては、選択肢「0」および選択肢「9」の出現数を減らすことを大きな目標とした。選択肢「0」は、動画の記録角度や乳幼児の着衣によって動きが明確に確認できなかったことを意味しており、作成の初期においてはカメラ2台での記録であったため25.34%（全7,957コード中2,016個）の出現頻度だった。これを6方向からの記録に変更することで、全コード数が約10倍になったにもかかわらず出現頻度は大幅に減少した。選択肢「9」は、動きに対応した選択肢がないか選択肢の文章表現の問題があるものと判断し、選択肢の修正を繰り返した。その結果、当初0.09%（全7,957コード中7個）であったものが半分以下に減少した。このことは、記録方法も含め今回作

表4 同一動画におけるバリエーション数の検査者間一致度

分析対象	ICC			
	I	II	III	IV
全検査者 ^{*1}	0.61	0.54	0.45	0.78
経験者群 ^{*2}	0.64	0.82	0.68	0.70
初見群 ^{*3}	0.46	-0.49	0.56	0.18
トレーニング群 ^{*4}	0.81	0.79	0.84	0.94

^{*1}: ICC (2, 10), ^{*2}: ICC (2, 4), ^{*3}: ICC (2, 2), ^{*4}: ICC (2, 4) の値。

表5 同一動画におけるバリエーション数の検査者内一致度

分析対象	ICC (2, 2)			
	I	II	III	IV
全検査者	0.83	0.94	0.80	0.83
経験者群	0.91	0.93	0.78	0.83
初見群	0.30	0.88	0.34	0.82
トレーニング群	1.00	0.98	0.90	0.98

成した「ハイハイ動作分析基準」の妥当性が向上したためと考える。

コードに関する検査者間一致度については、全体で大項目IIおよび大項目IIIが低いという結果となった。大項目IIについては初見群とトレーニング群の値の低さが影響していると考えられ、その理由として判断基準に曖昧さが残っており、着眼点の違いでばらつきが生じたことが挙げられる。また、大項目IIIについても初見群の値が0.29と低い結果となったが、同じく初見であるものの事前にトレーニングを実施した群で0.7以上の値となっていることから、事前トレーニングが有効であると推察される。なお、ハイハイをずり這い期間と四つ這い期間に分けて検討した結果、全体的にずり這い期間における一致度が低い傾向がみられた。これはわずかに前進するようずり這い開始時を含んでおり、その期間は特に下肢やそれに連動する体幹の動きが無作為かつ複雑であったため判断に迷うという意見が多く聞かれた。その結果ばらつきが多く生じ一致度が低くなったと考えられる。

コードに関する検査者内一致度については、初見群を除き概ね良好と考える。「ハイハイ動作分析基準」においては、検査者が判断しやすいように文章表現についても修正を繰り返しているが、それだけでは個人内でも基準が曖昧になっているものと思われる。実際にコード化を行って他者の結果と比較する、トレーニングにより一定基準へのすり合わせを行うことなどで安定した判断が可能になると考えられる。

また、バリエーション数の一致度を示すICCについて、Landisら¹⁰⁾は0.41~0.60でmoderate（中程度）、0.61~0.80でsubstantial（十分）、0.81~1.00でalmost

perfect (非常に高い) と定義している。これに従えば、本研究におけるバリエーション数の検査者間一致度および検査者内一致度ともに、初見群を除き十分かそれ以上の信頼性が得られたといえる。検査者間でコードが完全に一致しない場合においても、検査者内で安定した基準が得られることでバリエーション数は検査者間でも一致することが考えられる。したがって、本研究の最終的な目的であるハイハイ動作のバリエーションを定量化しその変化を捉えるための一つの手段として、動作分析をコード化するという方法論は客観性の得られる手法であると考られる。

本研究の限界として、作成した基準のたたき台はこれまでの経験をもとに作成されたものであり、項目の内容や分類などの客観性を証明するには至っていない。この証明のためにはさらに多くのデータを蓄積し、検討を行っていく必要がある。本研究では分析した素材が乳幼児1名のハイハイ動作データに留まっているため、今後は素材となる乳幼児を増やすとともに独歩以降の発達との関連についても追跡調査を行うことが望まれる。また、事前トレーニングの有効性は示唆されたものの、トレーニングの内容についてはさらなる検討が必要と思われる。

謝辞 動画撮影にあたっては、ご協力をいただきました乳幼児とその保護者様、保育園のスタッフの皆様、コード化にあたってはお忙しい中ご尽力くださいました鶴崎研究室所属の皆様へ心より感謝致します。なお、本研究はJSPS 科研費 15K12724 の助成を受けたものです。

引用文献

- 1) 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.
- 2) Sporns O, Edelman GM: Solving Bernstein's problem: A proposal for the development of coordinated movement by selection. *Child Dev*, 1993, 64: 960-981.
- 3) Hadders-Algra M: Variation and variability: Key words in human motor development. *Phys Ther*, 2010, 90: 1823-1837.
- 4) 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: 587-592.
- 5) Teitelbaum P, Teitelbaum O, Nye J, et al.: Movement analysis in infancy may be useful for early diagnosis of autism. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1998, 95: 13982-13987.
- 6) 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: 3-6.
- 7) Heineman KR, Bos AF, Hadders-Algra M: The infant motor profile: A standardized and qualitative method to assess motor behaviour in infancy. *Dev Med Child Neurol*, 2008, 50: 275-282.
- 8) 寺尾 瞳, 近藤景子, 園田楽人・他：ハイハイ動作の再考—多様性の視点から—。理学療法科学, 2015, 30: 459-464.
- 9) 鶴崎俊哉：小児班—ハイハイ動作分析基準。http://www.am.nagasaki-u.ac.jp/ptd/tsurusaki/b63f6goh/5.html (閲覧日 2016年12月5日)。
- 10) Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 1977, 33: 159-174.