

乳児の身体運動から見る神経機能および認知機能の発達

渡辺 はま^{(1) (2)} (hama@p.u-tokyo.ac.jp)

多賀 巖太郎^{(2) (1)}

〔⁽¹⁾ 科学技術振興機構 (CREST) ・ ⁽²⁾ 東京大学〕

Development of neurological and cognitive functions: Knowledge gained from the observations of infant body movements

Hama Watanabe, Gentaro Taga

Japan Science and Technology Agency (CREST)

Graduate School of Education, University of Tokyo, Japan

Abstract

In order to understand neurological and cognitive development, we observed movement pattern of an infant longitudinally under the two different situations. In the spontaneous movement session, we observed spontaneous movements of the infant. In the mobile session, we studied inter-limb movement patterns when the infant attempted moving a mobile using a string attached to his arm and we tested retention of his learning. The infant was born full-term and he visited our laboratory 7 times from 14 days of age to 165 days of age. We used a 3D motion analysis system to track the 14 markers attached to the infant body. Kinematic analysis of the velocity of infant limbs revealed that mean velocity of the limbs decreased around 2 months of age and it increased after 3 months of age. In addition, active and/or complex movement of limbs after 3 months of age was inhibited when the infant attended to the attractive environmental stimulation. This developmental U-shape pattern of the infant spontaneous movement and the inhibitory control of movement suggest a developmental change of neurological motor control from the central pattern generators (CPGs) to the cerebral cortex. Results of the mobile session indicated that the movement pattern during the learning and the retention tests differed with age of the infant. While a general increase in the movements of all the limbs was observed during younger ages, a specific increase in the movements of the connected arm was observed during older ages. This general to specific development is consistent with the result of Watanabe & Taga (2006)'s cross-sectional study using the mobile paradigm.

Key words

infant, spontaneous movement, motor development, neurological development, cognitive development, mobile paradigm

1. はじめに

生後半年以内の乳児を観察していると、絶え間なく手足を動かしていることに気づく。このような運動は、誰かが乳児に触れたり、また目立った音や光を与えたりしなくても、ごく自然に生じるものであり、自発運動 (spontaneous movement) と呼ばれている。胎児や乳児の運動の“自発性”に最初に言及したのは McGraw (1943) であり、ここでの“自発”という用語には、“意図 (intention)”や“内発的動機 (spontaneous motivation)”の意味は含まれておらず、外的刺激によって引き起こされる“反射 (reflex)”との相違を含意している。また、生後数ヶ月が経過すると、乳児が環境へ能動的に働きかける様子を頻繁に観察することができる。本研究は、生後半年間における乳児の自発運動や能動的運動を縦断的に追跡し、その特徴を記述的にとらえることで、神経機能および認知機能の発達に関するモデルを構築するための知見を得ることを目的とする。

1.1 神経機能の発達

魚の遊泳、ネコやヒトなど脊椎動物の歩行等における周期的な運動は、セントラル・パターン・ジェネレーター (central pattern generators; CPGs) と呼ばれる脊髄の神経ネットワークによって実現されていることが知られており (Grillner, 1985, 1999)、ヒトの歩行生成に関する自己組織的な動的システムモデルも提案されている (Taga, Yamaguchi, & Shimizu, 1991)。ヒトの発達初期に見られる自発運動の生起メカニズムは正確には明らかにされていないものの、現在のところこの CPGs の関与が大きいと考えられている (Einspieler, Prechtl, Bos, Ferrari, & Cioni, 2004; Prechtl, 1997)。この考え方は、自発運動の生起における成熟 (maturation) の側面を重視したものである。このような一因性の神経生理学的説明に対して、複数の要素が相互に関係しあって、複雑な運動が生起すると考える立場もある (Thelen, 1995)。この立場では、生得的に決定された特性が継時的な発達過程の中で表出するというよりもむしろ、神経系、筋骨格系、知覚系、認知系、情動系、環境系等のさまざまなシステムが相互作用する中で、自己組織的に運動が生起すると考える。また、状況特性や課題特性が実際の行動生起に与える影響も議論されている (Newell, 1986; Rosengren, Savelsbergh, & van der Kamp, 2003)。われわれが観察できる乳児の行動が、このような多数の要素が関わった結果であるとする

ば、CPGsのような皮質下の神経ネットワークだけではなく、大脳皮質の神経ネットワークの関わりを想定することが自然なように思われる。しかしながら、現時点では自発運動における皮質の関与についての具体的な実証には至っておらず、実際に乳児の自発運動に皮質の機能は関わっているのか、乳児の行動における皮質の寄与は発達にともなうどのように変化するのか、等の問題に直接答えることができない。

ここで、乳児の運動を観察したこれまでの報告から、神経機能の発達について考えてみる。乳児の運動に関しては、出生から生後50週にかけて自発運動の量が低下していくこと (Piek & Carman, 1994)、下肢の関節間の運動は、生後4ヶ月まで強く結合しているが、5ヶ月以降その結合が弱くなり、8ヶ月で再び結合が強くなること (Thelen, 1985)、脳に障害が予測されるハイリスク児では、関節間の強い結合運動が消失しないこと (Heriza, 1991)、生後4週から24週の間に両脚の運動の強い同期が見られること (Piek & Gasson, 1999)、乳児の脚のキッキングは、屈曲→伸展という順序で時期を異にして観察され (Thelen & Fisher, 1983)、また屈曲の速度は日齢によって変化しないが、伸展の速度は日齢の増加とともに速くなること (Piek & Carman 1994) 等が報告されている。乳児の運動において観察されたこれらの量的・質的变化は、発達にともなう神経機能の変化を反映しているはずである。すなわち、発達初期から活発に見られる自発運動は、皮質下の機能に依存し、関節間の強い結合、両脚の強い同期、脚の屈曲は、このシステムによって生成されていると考えることが自然であろう。おそらく、より反復的で周期的な運動は、脊髄の神経ネットワークであるCPGsの寄与が大きく、一方より自由度の高い複雑な運動は、皮質の神経ネットワークの寄与が大きいと予想される。

なお、乳児の自発運動における質的評価においては、上肢・下肢の運動とも詳細に観察されているものの (Alexander, Boehme, & Cupps, 1993; Bly, 1994)、自発運動における定量的検討においては、下肢の運動発達に関する報告に比べて、上肢、とくに腕や手の運動に関する系統立った報告は多くない。生後間もない乳児は、自律した移動が不可能であり、多くの時間を背臥位で過ごす。この時点では、腕と脚の機能に大きな違いはないように見えるが、生後1年を経た頃には、脚は移動運動のために、また腕や手はより精巧な運動をともなった操作のために特化されて使われるようになる。しかし、そのような分化 (differentiation) は突然現れるのではなく、生後1年の間にさまざまな形で準備されているのではないだろうか。下肢の運動と上肢の運動において、皮質下と皮質がどのように関与しているかについては、成人の研究においてもまだ明らかにされていない部分が多いが、移動運動の際の周期的な脚のコントロールには脊髄系が、またリーチング、把握、操作といった腕や手の運動には皮質の関与が想定され、特定の条件下においてこの機能的分離を裏付ける実験報告もある (Dietz, 2002; Dietz, Fouad, & Bastiaanse, 2001;

Georgopoulos & Grillner, 1989)。したがって、これまで定量的検討がされてこなかった生後半以内の乳児の腕や手の運動を詳細に観察することで、特に皮質の機能発達に関する示唆を得られることが期待される。

自発運動における皮質の関わりについて考えるとき、環境の変化が自発運動にどのような影響を与えるかについての観察がひとつの参考になるであろう。自発的に生成される乳児の運動は、環境とのさまざまなインタラクションの中で変化すると考えられる。たとえば、生後12週の乳児に対して、おもちゃが見える場合と見えない場合における自発運動の違いを調べたところ、おもちゃを見ているときには、滑らかでよどみない全身の運動 (fidgety movement, Hopkins & Prechtl, 1984) が大幅に減少することが報告されている (Dibiasi & Einspieler, 2002)。これは、特定のものに注意を向けるという認知機能の発達が自発運動の生成とその抑制に影響を与えていることを示唆している。環境内の状態による行動の抑制は、皮質によるコントロール機能の発達と密接に関係している可能性がある。また、おもちゃ (ヤスライド) が見える場合には、それが見えない場合に比べて腕の運動が抑制されるが、脚の運動にはおもちゃの有無の影響がないことを報告されている (McDonnell, Corkum, & Wilson, 1989)。注意 (attention) の影響が腕のみに特化して現れるというこの報告は、腕の運動における皮質の寄与と脚の運動における皮質下の寄与という考え方を支持するものといえよう。本研究では環境の変化による運動の変容を観察することで、乳児の神経機能発達に関する示唆が得られることを期待し、乳児の可視範囲内にオブジェクト (モビール) を呈示した場合の運動特性を、それらが呈示されていない場合の運動特性と比較した。

1.2 認知機能の発達

生後4ヶ月頃になると、環境内のオブジェクトに向かって腕を伸ばして触ろうとするリーチング運動が安定して生じるようになる。この運動は、発達初期における目標指向行動 (goal-directed behavior) として注目され、多くの研究が行われている (e.g., von Hofsten, 1980; von Hofsten & Lindhagen, 1979)。リーチング運動は、背臥位の状態でも観察されており、4ヶ月児においては姿勢が安定しているときにリーチングが多く生起するが、6ヶ月児では姿勢の安定性にかかわらずリーチングが可能になり、姿勢制御とリーチングは独立しておこなわれるようになることが報告されている (Fallang, Saugstad, & Hadders-Algra, 2000)。腕を自由にコントロールするという運動機能の発達により、乳児は目標指向的に環境内を探索することが可能になる。このことは、運動機能の発達が環境に対する能動的アプローチを引き起こし、その結果認知機能の発達が促されることを示唆している。

背臥位における運動を、学習や記憶という観点から観察する別の方法として、モビールを使用した運動の観察が挙げられる (Rovee & Rovee, 1969; Rovee-Collier, Morrongiello,

Aron, & Kupersmidt, 1978)。モビールと足首をひもでつなげておくと、生後2～4ヶ月の乳児は、脚のキッキングの頻度を増やすことでモビールを動かそうとすること、また学習された運動は目をおいても生起することが知られている (Rovee-Collier, Hayne, & Colombo, 2001)。意外なことに、このモビールパラダイムではモビールと足首を連結させることによる脚の運動の変化は詳細に観察されているが、そのときに他の四肢を含む全身の運動がどのように生起していたのかに関する報告はほとんどなされていない。全身の協調運動がどのように変化していくのかを観察することにより、課題中の認知的変化が捉えられるかもしれない。また、神経機能の発達と認知機能の発達を総合して考える場合、これまで多く検討されてきた脚とモビールを連結させた場合の学習過程と、より皮質の関与が強い可能性のある腕とモビールを連結させた場合の学習過程を比較することで、新たな知見が得られることが期待される。腕とモビールを連結させた場合の四肢運動の発達の变化については、3次元動作解析システムを用いて横断的に検討した Watanabe & Taga (2006) において報告したが、本研究では、環境とのインタラクションによる運動パターンの変化を縦断的に追跡することで、認知発達について検討した。

2. 方法

2.1 対象児

在胎週数38週0日(出生時体重3,150g)にて出生した男児1名を対象とし、計7回(生後14日(0日)、55日(41日)、82日(68日)、97日(83日)、125日(111日)、153日(139日)、195日(181日))を観察日とした(括弧内は、出生予定日から算出した修正日齢)(Figure 1 A)。計測期間は2005年6月から12月であった。本研究は東京大学教育学部倫理委員会の審査を得た上で実施し(計測場所は東京大学教育学部)、研究への参加に際して文書による保護者の同意を得た。

2.2 装置

Video Processor (MIDAS) によって制御された5台の運動計測用赤外線カメラを、乳児用マット(120cm×70cm)の周囲に配置し、マット上における背臥位の乳児の運動を、3次元動作解析システム(Motion Analysis Co., Santa Rosa, California)を用いてリアルタイムで計測した。3次元空間における乳児の運動は、全身に装着した14点の反射マーカ(Figure 1B)の空間位置を追跡することによって得た(サンプリング周波数60Hz)。さらに、2台のビデオカメラによって乳児の全身運動を頭部方向および脚部方向から記録し、また1台の小型CCDカメラによって乳児の顔面(視線を含む)を記録した。反射マーカは、直径1.0cm、重さ1gであり、紙おむつ以外を脱衣した状態で装着した。

モビールセッションにおいては、乳児の頭上100cmの位置から、モビール(全長60cm)を吊り下げた。それぞれのモビールは、色のついたスポンジ状のオブジェクト(星、魚などの形状)8個、鈴16個で構成されていた。乳児の運

動がモビールの動きを引き起こす“connected period”においては、乳児の右手首にひもを装着し、ひもの反対側をモビールに固定した。この手続きにより、乳児の腕の動きによって、音刺激(鈴の音)をともなつてモビールが動いた。

2.3 手続き

計測は、外的刺激がない状態で乳児の自発運動を計測する場合(Figure 1 C-1)と、乳児の頭上にモビールを設置した状態で乳児の運動を計測する場合(Figure 1 C-2)の2つのセッションから構成されていた。

自発運動セッション: 乳児が覚醒しており、泣きやぐずりが見られない状態で、乳児の運動を計測した。計測時間は、乳児の状態に依存したが、2分もしくは3分のセッションを連続して複数回実施した。

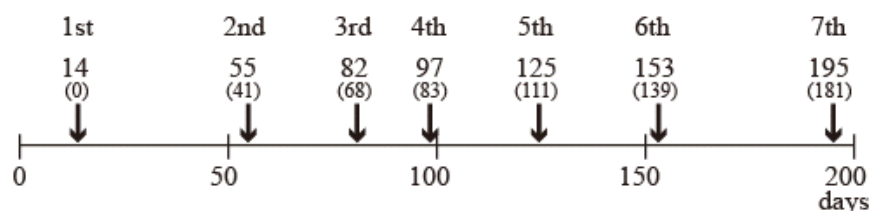
モビールセッション: セッションは、6ピリオド(P)から構成されていた(Figure 1 C-2)。図中のP1(baseline)、P3(immediate retention test)、P6(delayed retention test)は“unconnected period”であり、乳児の身体のいずれの部位も、モビールと連結していない状態とした。また、P2(acquisition)、P4(re-acquisition)は“connected period”であり、乳児の右手とモビールがひもで連結された状態とした。

“unconnected period”では、乳児の頭上にモビールが設置されているものの、乳児の腕の運動によるモビールの運動(および音刺激)は生起しない。一方“connected period”では、乳児の腕の運動の程度にともないモビールの運動(および音刺激)が生起、変化した。

モビールセッションは、“unconnected period”により開始された。このピリオド(P1, baseline)は、乳児の運動のベースラインを測定するために設定されたものである。続いて、右手首とモビールをひもで連結し、6分間の“connected period”を実施した(P2, acquisition)。その直後に、2分間の“unconnected period”を実施した(P3, immediate retention test)。このピリオドは、先行するピリオドに対する直後保持テストとして位置付けられる。続いて、先の“connected period”と同じ右手首とモビールをひもで再連結し、腕の動きがモビールの動きを生起させる状況で、再度2分間の“connected period”を実施した(P4, re-acquisition period)。このような再学習手続きの後、乳児を運動計測用フィールド外に移動させ、保護者の膝の上に抱かれた状態で5分間の干渉ピリオドを実施した(P5, interference)。このピリオドでは、モビールと無関係の刺激(指人形)を、実験者による乳児への語りかけとともに呈示した。干渉ピリオド終了後、再び乳児を運動計測用フィールドへ移動させ、2分間の“unconnected period”を実施した(P6, delayed retention test)。このピリオドでは、モビールは設置されているものの、乳児の運動にともないそれらが動くことはなかった。すなわち、このピリオドは遅延保持テストとして位置付けられる。

なお、モビールセッションにおける手続きは、Watanabe & Taga (2006) と同様のものである。

[A. Ages (days) at the experimental days]



[B. Marker setting]



[C. Experimental flow chart]

C-1. Spontaneous Movement Session

C-2. Mobile Session

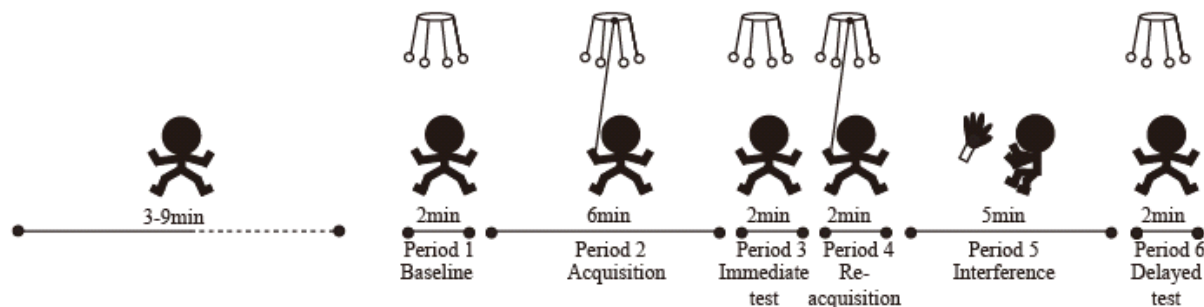


Figure 1: Ages (days) at the experimental days, a marker setting during the experiments, and an experimental flow chart. (A) Ages at the experimental days of the participated infant. The digits show the ages in day after birth and the digits in parentheses show the modified ages calculated from the expected date of a birth. (B) Schematic of the experimental configuration showing the location of the spherical reflective markers. 1. Face, 2. Right-shoulder, 3. Right-elbow, 4. Right-wrist, 5. Left-shoulder, 6. Left-elbow, 7. Left-wrist, 8. Epigastrium, 9. Right-hip, 10. Right-knee, 11. Right-ankle, 12. Left-hip, 13. Left-knee, and 14. Left-ankle. The infant in this photograph was 14 days old (1st observation). (C) The flowchart of procedure. C-1 shows the spontaneous movement (SM) session, and C-2 shows the mobile session.

2.4 データ解析

3次元運動解析システムにより、身体に装着された14点のマーカ―それぞれに関して、1分間につき3,600点の3次元位置データ (x, y, z) が得られた。反射マーカ―が乳児自身の身体によって隠れてしまうことなどによるデータの欠損を全データに関して補完した後、6Hzのバタワースフィルタ (Butterworth filter) を用いて平滑化した。上記の処理後、各計測点に関する速度データ ($\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$) を算出し、以下の式により接線方向速度 (instantaneous tangential velocity) V を算出した (これ以降、本稿では V を“速度”と表記する)。

$$V = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$$

3. 結果

3.1 得られたデータセット

本研究における最大計測時間 (準備、休憩等の時間を除く) は、約30分であったが、乳児の状態により、各計測日において得られたデータセット長は異なるものであった (Figure 2 および Figure 7 において空白の部分は未計測であることを示す)。なお、第4回目においては、自発運動計測後に乳児の泣きが認められたため、モバイルセッションに移る前に比較的長時間 (約30分) の休憩を挿入し、その後

着衣の状態で4点のマーカ― (両手首および両足首) を装着し (直径2.0cm、重さ5g)、四肢運動を計測した。また、第7回目における自発運動の計測では、寝返り運動が頻繁に見られ、マーカ―を追跡することが不可能だったため、数分の予備計測の後、乳児の腰の周囲をT字ベルトで固定した状態で計測した。第4回目を除き、自発運動セッションとモバイルセッションの計測は連続して実施された。なお、自発運動セッションおよびモバイルセッションにおける乳児の特徴的な行動を Appendix (文末) に記載した (自発運動セッションに関しては、計測開始から3分間のデータセットを基にした観察である)。

3.2 自発運動の発達的变化

各観察日における自発運動の変化 (1分ごと) を Figure 2 に示す。Figure 2 は、計測した14点のうち、右手首 (Right-Arm; RA)、左手首 (Left-Arm; LA)、右足首 (Right-Leg; RL)、左足首 (Left-Leg; LL) および心窩部 (みぞおち、Epigastrium; EP) の5点に関する2次元 (X-Y) 平面における軌跡を示したものである。第1回目の計測時の軌跡より、乳児が左肩から左手首にかけての左半身 (主に上肢) を右側に伸展させる様式の回旋が認められた。続いて、第3回目をピークとした平均運動速度の減少が認められた後、第5回目以降、再度上記のような左半身と右半身の粗大な伸展、移動

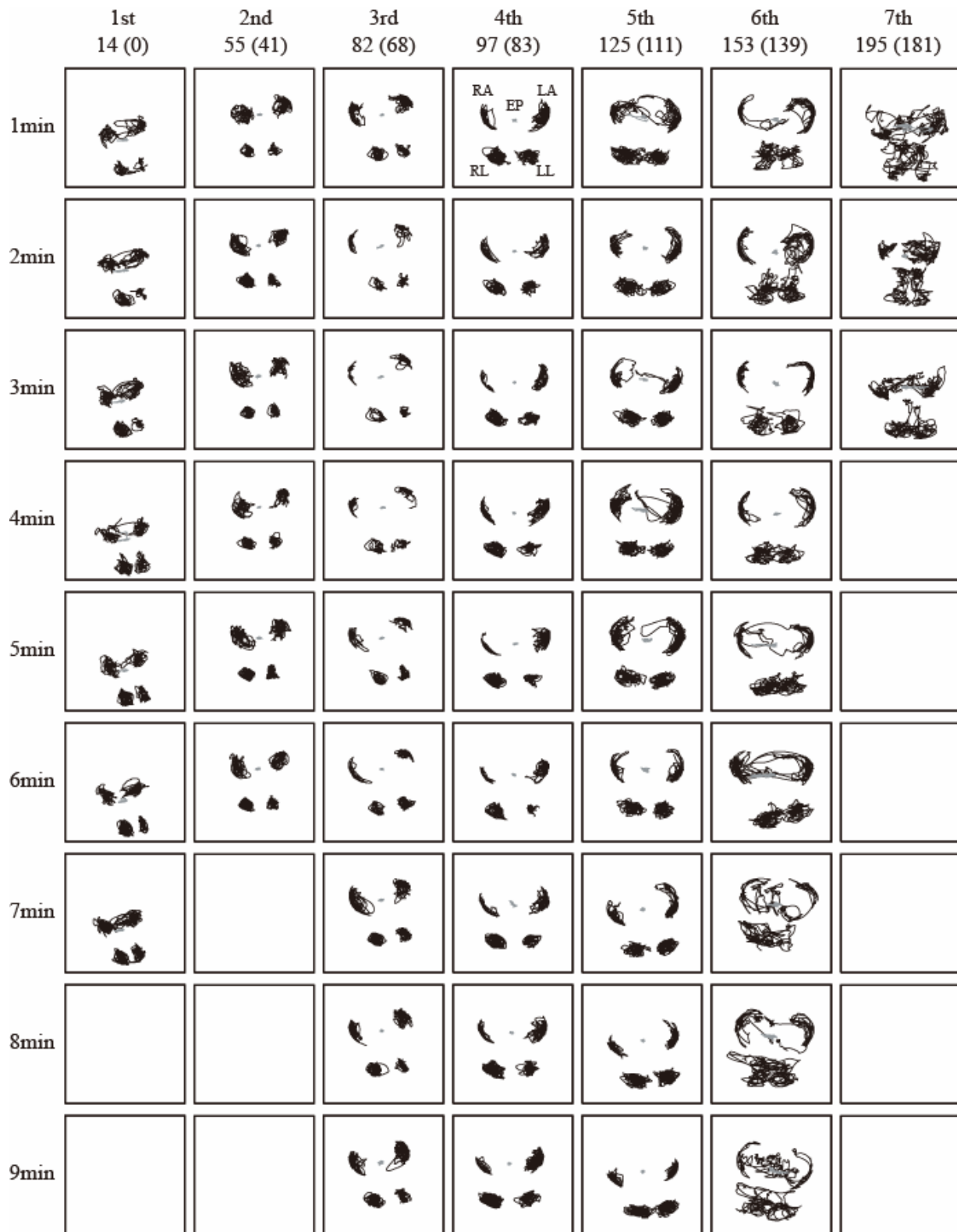


Figure 2: The two-dimensional trajectories of the right arm (RA), the left arm (LA), the right leg (RL), the left leg (LL), and the epigastrum (EP; Mizo-ochi) during the spontaneous movement session in each experimental day.

運動が認められた。特に、第6回目、第7回目と日齢が進むにしたがって、運動の複雑性の高まりが観察された。回旋を含む運動は、軌跡図における心窩部（EP、グレイで表示）の軌跡が水平方向に移動していることから読み取ることができる。また、第6回目以降は、腕（上肢）だけで

はなく、脚（下肢）の複雑な運動が観察された。第6回目や第7回目の軌跡図に見られる手首と足首の間のまとまった軌跡は、乳児が足首をZ方向に高く上げていることを示している。なお、同一観察日においては、後半に運動頻度の増加が認められる回もあったが、運動パターンそのものの

はおおむね安定していた。

全観察日において観察できた最低計測時間である、計測開始から3分間を対象に、右手首 (RA)、左手首 (LA)、右足首 (RL)、左足首 (LL) および心窩部 (EP) の5点に関する3分間の平均運動速度を算出し Figure 3 に示した (なお、図中の太線は、5 部位の平均運動速度を示したものである)。第3回目に全部位の平均運動速度が低下した後、第4回目で急激に平均運動速度が増加し、その後、高い平均運動速度を示す時期が続くことが観察された。なお、初期において、左足首 (LL) の平均運動速度が他の部位に比べて相対的に低いこともうかがえる。5 部位をまとめた運動速度における1分ごとの平均運動速度に関して、日齢を要因とした分散分析 (ANOVA) を実施したところ、日齢の主効果 ($F(2,6) = 7.302, p < .01$) が認められ、Ryan 法による多重比較の結果、第1回目比べて第4回目から第7回目の平均運動速度が、第2回目比べて第5回目や第7回目の平均運動速度が、また第3回目比べて第4回目から第7回目の平均運動速度が有意に高いことが示された ($MSe = 220.11$ 、第1回目と第4回目および第2回目と第7回目は、 $p < .05$ 、それ以外の比較は $p < .01$)。なお、第2回目に比べて第3回目の平均運動速度が有意に低い傾向が認められた ($p < .09$)。

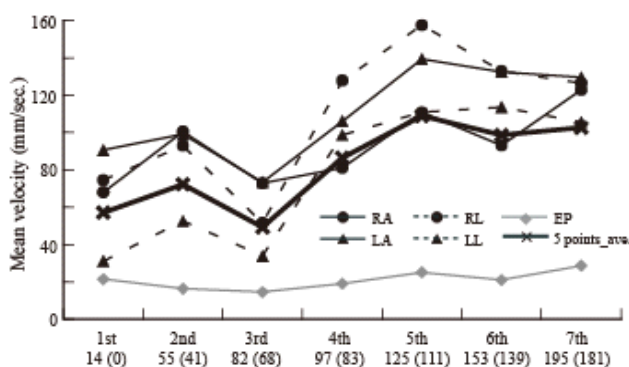


Figure 3: Mean velocity of movement of the limbs during the spontaneous movement session in each experimental day. The showing marker points are the right arm (RA), the left arm (LA), the right leg (RL), the left leg (LL), the epigastrium (EP), and the average of 5 marker points. The horizontal axis shows age of the infant (days), and the vertical axis shows mean velocity (mm/sec).

また、Figure 4 は、右手首 (RA)、左手首 (LA)、右足首 (RL)、および左足首 (LL) の各部位に関して、1分間 (3,600 フレーム) にいずれかの部位が 100 mm/sec を超えたフレーム数のうち、特定の2 部位 (右手-左手 (RA-LA)、右足-左足 (RL-LL)、右手-右足 (RA-RL)、左手-左足 (LA-LL)、右手-左足 (RA-LL)、および左手-右足 (LA-LL)) が同時に 100 mm/sec を超えたフレーム数の比率を示したものである (解析対象は、各観察日において自発運動が計測できたすべての時間)。対側の同一部位の同時運動 (Figure 4 A) に関して、両手首の同時運動は7回の観察日を通して変動が少ないのに対して、両足首の同時運動は、第1回目から第3回目において少なかったものの、第4回目以降に大幅

な増大を示した。同側の上肢と下肢の同時運動 (Figure 4 B) に関しては、右半側の同時運動が観察初期から一定の割合で認められたが、左半側の同時運動は第4回目以降に比較的高い割合を占めるようである。対側の異なる部位の同時運動 (Figure 4 C) に関しては、全観察日を通して右手-左足の同時運動に比べて、左手-右足の同時運動が多く認められた。また、いずれの組み合わせにおいても、第4回目以降に頻度の増加が認められた。なお、対象児は、右方向に顔を向ける特徴があり、これは第1回目から第3回目の観察時により顕著に認められた。また、この状態においては、右手の指先を口唇に近づける動作および、左腕の比較的大きな動作が観察された。

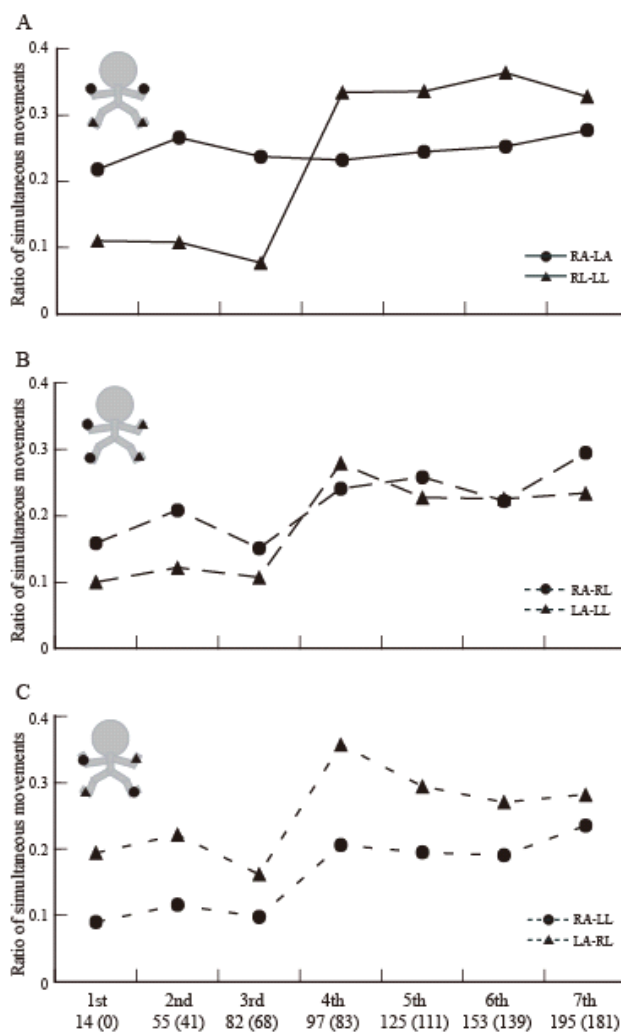


Figure 4: Mean rate of simultaneous fast movement (SFM) of two body parts in each experimental day. (A) The SFM of the right arm and the left arm (RA-LA) and the right leg and the left leg (RL-LL). (B) The SFM of the right arm and the right leg (RA-RL) and the left arm and the left leg (LA-LL). (C) The SFM of the right arm and the left leg (RA-LL) and the left arm and the right leg (LA-RL). The horizontal axis shows age of the infant (days), and the vertical axis shows mean ratio of simultaneous movements in each pair of limbs.

3.3 環境の違いによる自発運動の変化

可視範囲内の環境の変化に対する自発運動の特性を検討するために、モバイルオブジェクトを頭上に呈示する直前2分間の自発運動と、呈示直後の2分間の自発運動の変化を比較した。Figure 5は、各観察日（第2回目から第7回目）における自発運動セッションの最後の2分間（以下“モバイルなし条件”と記載）およびモバイルセッションのP1（baseline）（以下“モバイルあり条件”と記載）に関する14

点のマーカの2次元（X-Y）平面における軌跡を示したものである（第1回目はモバイルセッションを実施できなかったため除外）。各計測部位（14点）に関して、モバイルなし条件およびモバイルあり条件における2分間の平均運動速度を算出したところ、第2回目および第3回目の計測時には、モバイル呈示の有無による平均運動速度の顕著な変化は認められなかったが、第4回目においては、モバイルなし条件に比べて、モバイルあり条件で平均運動速度が低下する様子がうかがわれた。さらにこの傾向は、第5回

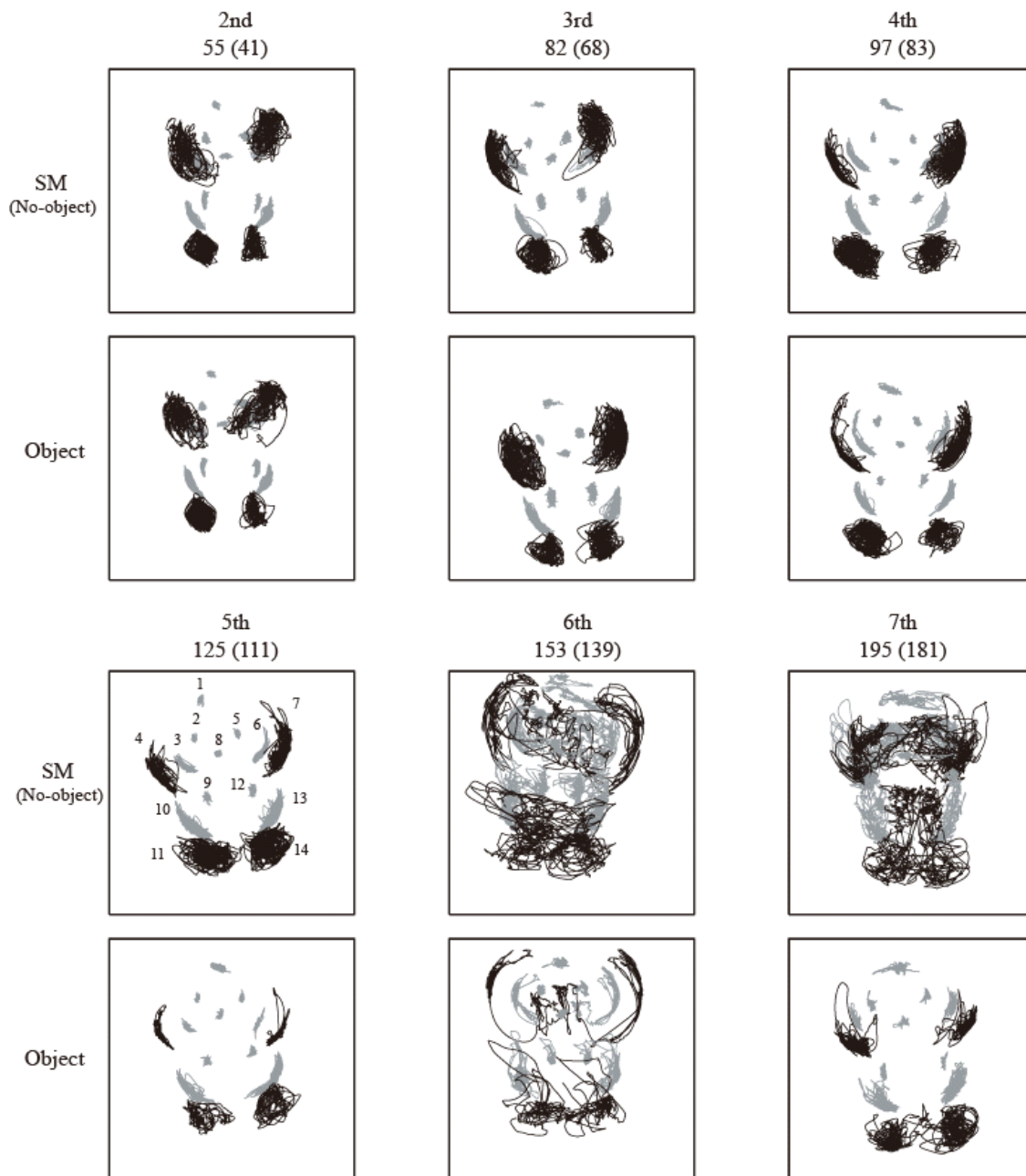


Figure 5: Two-dimensional trajectories of all 14 marker points (see the caption of Figure 1) during the final 2 min of the spontaneous movement session and the baseline session (P1) of the mobile session in each experimental day. During the spontaneous movement session, the mobile object was not suspended over the infant. During the baseline period of the mobile session, a mobile was suspended over the infants. In this period, the infant could view the mobile, but they could not produce the mobile movement.

目と第6回目において顕著に現れている。なお、第7回目では、腕の平均運動速度はモビールなし条件に比べてモビールあり条件で低下したものの、脚の平均運動速度の変化は認められなかった（ただし、軌跡図より、モビール呈示なし条件で認められた足先を高く持ち上げる運動パターンは、モビールあり条件では消失したことが示されている）。

右手首 (RA)、左手首 (LA)、右足首 (RL)、および左足首 (LL) の各部位に関して、2分間 (7,200 フレーム) のうち、モビールなし条件とモビールあり条件において 150 mm/sec を超えた割合を算出し、その比率 ([モビールあり条件] / [モビールなし条件]) の発達の変化を Figure 6 に示した。モビールなし条件とあり条件で、速い速度をもつ運動に変化がなければ、この指標は 1 の値をとる。第2回目および第3回目は、1 付近もしくは 1 以上の値を示したのに対して、第4回目以降はモビールあり条件の速い運動は、モビールなし条件のほぼ半分の割合に低下することが示された。なお、第7回目では、両腕の速い運動はモビールあり条件で少なかったが、両脚の早い運動はモビールなし条件と比べて大幅な変化は認められなかった。

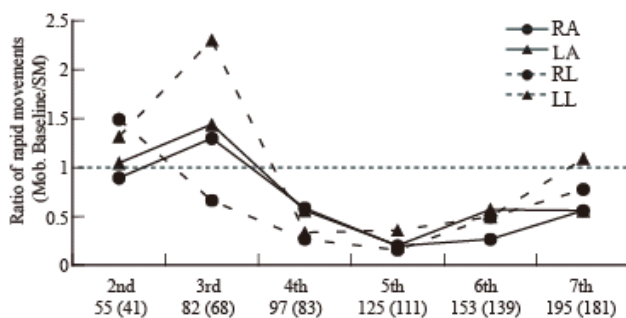


Figure 6: Ratio of mean velocity of the limbs during the baseline period of the mobile session in comparison to that during the SM session. If movements occurred in same level under the both sessions, this index showed 1.00. The horizontal axis shows age of the infant (days), and the vertical axis shows a ratio of rapid movements (over 150 mm/sec).

3.4 モビールセッションにおける学習

モビールセッションにおける右手首 (RA)、左手首 (LA)、右足首 (RL)、および左足首 (LL) の軌跡を Figure 7 に示した。個々の軌跡図はすべて 2 分間の運動軌跡である。なお、比較のために自発運動セッションの最後の 2 分間の軌跡も表示してある (P7 は、遅延保持テスト後に “connected period” で全セッションを終了するための手続きであり、解析対象外である)。以下では学習時の運動変化および学習後に実施された保持テスト時の運動特性について示す。

自発運動セッションにおける最終 2 分間、およびモビールセッションにおける P1 (baseline) と P2 (acquisition, Figure 7 における P2-1、P2-2、P2-3) に関して、右手首 (RA)、左手首 (LA)、右足首 (RL)、および左足首 (LL) の平均運動速度の変化を 2 分ごとに算出したところ、第2回目およ

び第3回目においては、各ピリオド間の顕著な相違は認められなかったが、第4回目以降においては、自発運動セッションの活発な運動が、モビールセッション開始 (すなわちモビールの設置) にともない急激に低下した後、右手首とモビールがひもで連結されると次第に四肢の平均運動速度が増大していくことが示された。なお、第7回目においては、手首とモビールがひもで連結された直後は平均運動速度の増大が認められたが、P2 (acquisition) を通じての平均運動速度の連続的増大は観察されなかった。なお、この回は寝返りへの嗜好性がたいへん高かったために、すぐにモビールへの注意が低下し、寝返り行動へ注意の移行する様子が観察された。

学習効果を検討するために、右手首 (RA)、左手首 (LA)、右足首 (RL)、および左足首 (LL) に関して P1 (baseline) の平均運動速度に対する P2 (acquisition) の最後の 2 分間の平均運動速度の比率 (ベースライン比) を算出し、Figure 8 A に示した (なお、第2回目は P2 が全体で 2 分間しか計測できなかったため、また第7回目は寝返りへの嗜好性が高くモビールに対する注意が維持されなかったため、本指標の解析からは除外した)。第3回目においては、いずれの部位に関してもベースライン比が 1 を下回っており、学習が成立しなかったことを示している。第4回目以降、四肢全体においてベースライン比の増加が認められ (特に足における増加が顕著であった)、第6回目においては、モビールと連結した右手首の運動が他の四肢に比べてより高いベースライン比を示すことが観察された。ここで見られたベースライン比の増加は、P2 (acquisition) の手続きを通じて学習が成立したことを示している。また、四肢全体の運動が増加し、続いて課題に特化された特定の身体部位 (すなわち右腕) の運動がより増加するという発達の順序は、Watanabe & Taga (2006) で観察された横断的研究の結果と一致する。

3.5 モビールセッションにおける学習の維持

P2 (acquisition) における学習の効果が維持されている場合、“unconnected period (右手首とモビールの連結がない状態)” である P3 (immediate retention test) および P6 (delayed retention test) の身体運動は、P1 (baseline) の身体運動に比べて増加すると考えられる。この点に関して Figure 7 より、日齢が進むに従って、P1 の軌跡に比べて P3 および P6 (P6 は第3回目および6回目のみ計測) の軌跡が濃厚もしくは複雑になる様子を読み取ることができる。Figure 9 は、第3回目と第6回目について、P1 (baseline)、P3 (immediate retention test)、および P6 (delayed retention test) における右手首 (RA)、左手首 (LA)、右足首 (RL)、左足首 (LL) および心窩部 (EP) の運動軌跡とその速度の時間的变化を示したものである。第3回目においては、ピリオド間 (P1、P3、P6) の相違が顕著でなかったが、第6回目においては、P1 に比べて P3 および P6 における平均運動速度の明らかな増加が認められる。四肢に関して P1 (baseline) の平均運動速度に対する P3 (immediate retention test) および P6 (delayed retention test) の平均運動速度の

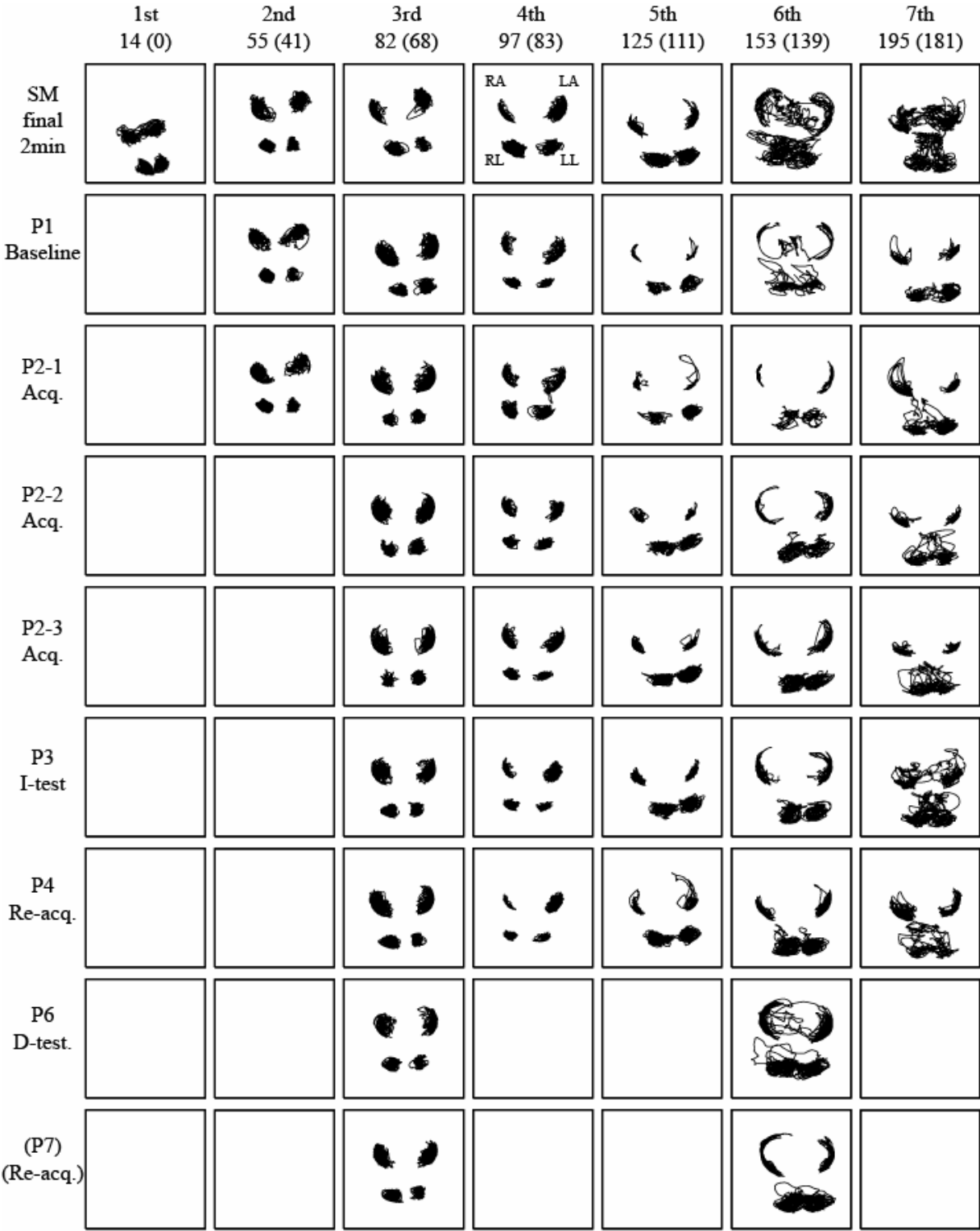


Figure 7: Two-dimensional trajectories of the right arm (RA), the left arm (LA), the right leg (RL), and the left leg (LL) during the final 2min of the spontaneous movement (SM) session and the P1-P7 of the mobile session in each experimental day. P1: Baseline, P2: Acquisition (P2-1: first 2min, P2-2: middle 2min, and P2-3: final 2min), P3: Immediate retention test, P4: Re-acquisition 1, P6: Delayed retention test, and P7: Re-acquisition 2.

比率（ベースライン比）を算出し、Figure 8 B（P3におけるベースライン比）もしくはFigure 8 C（P6におけるベースライン比）に示した（なお、第7回目は、寝返りへの嗜

好性が高くモビールに対する注意が維持されなかったため、本指標の解析からは除外した）。学習が成立した第4回目以降においては、ひもが外されているにもかかわらず、

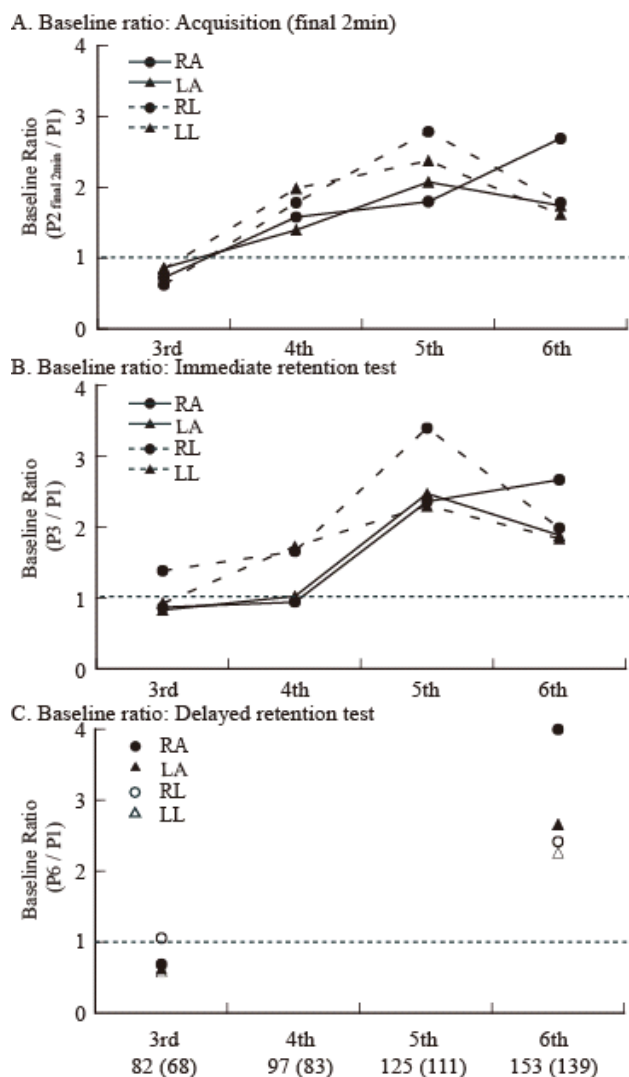


Figure 8: Baseline ratio of movement of the limbs during the mobile session. (A) Baseline ratio of the limbs in the acquisition period (P2, final 2min). (B) Baseline ratio of the limbs in the immediate retention test period (P3). (C) Baseline ratio of the limbs in the delayed retention test period (P6). The mean velocity during the P2, P3, or P6 divided by that during P1. If the infant moved above its pre-training baseline (i.e., baseline ratio showed > 1.0), this was taken as evidence of learning (P2) or retention (P3 and P6). The horizontal axis shows age of the infant (days), and the vertical axis shows the baseline ratio.

学習直後において乳児の四肢の平均運動速度の増加が認められ、またそのパターンは学習時のパターンと同様であった。すなわち第4回目および第5回目においては四肢全体の平均運動速度の増加が認められ（特に足首の増加が顕著）、第6回目においては右腕の運動が他の四肢の平均運動速度より相対的に高かった。5分間の無関連課題挿入後に実施した遅延保持テストに関しては、計2回のみの計測であったものの、第6回目において、学習時および直後保持テスト時と同様の運動パターン（右腕に特化された運動）が観察された。なお、学習そのものが成立しなかった第3

回目においては、遅延保持テスト時においてもベースライン比が1近傍であり、このことはセッション時間が長くなること自体が直接的に平均運動速度の増大をもたらすわけではないことを示している。

4. 考察

4.1 神経機能の発達

乳児の自発運動から得られた四肢運動の軌跡は、生後14日（修正0日）において、左腕を高く上げ、右方向に回旋させる上肢の移動運動を含む複雑な運動が生じたことを示している。そのような運動は、その後の観察では認められず、再び観察されたのは生後125日（修正111日）の観察時であり、またその後195日（修正181日）の観測日にかけてより複雑になる様子が示された。さらに、153日（修正139日）以降においては、下肢運動の複雑性も顕著である。同様の発達的变化は、四肢の平均運動速度においても反映されている。すなわち、生後82日（修正68日）がU字型の底となるような平均運動速度の変化が認められた（Figure 3）。乳児の運動におけるU字型の発達的变化は、下肢の関節間の運動の相関を調べた Thelen (1985) の報告、四肢運動の複雑性を非線形予測法により検討した Taga, Takaya, & Konishi (1999) や多賀 (2002) の報告と一致する。また、U字型の底の時期の後、運動速度の増加が急激に現れ、生後125日（修正111日）の観察時にはピークに達しているが、この時の運動軌跡は特定の部分にまとまっていることが分かる。一方生後153日（修正139日）や生後195日（修正181日）の時点における観察では、高い運動速度の維持とともに、さまざまな空間位置への四肢の移動が観察された。これらの結果は、一旦運動の減少が見られた後は、比較的単純な運動の量的増加がはじめに生じ、その後運動の複雑性が加わるという発達的变化を示している。このような質的变化は、乳児の自発運動における皮質下の制御と皮質の制御の役割交代によって表現されたものである可能性が考えられる。

続いて、上肢と下肢の運動について検討する。自発運動中に観察された四肢間の運動の同時生起に関して、両腕においては生後半の間に大きな変化が認められなかったのに対して、両脚においては生後97日（修正83日）の観察で急激な増大を示した（Figure 4）。またモビールの呈示にともなう平均運動速度の減少が認められたのも生後97日（修正83日）の観察以降であった（Figure 5, Figure 6）。なお、この平均運動速度の減少は生後195日（修正181日）においては腕で顕著だったものの、脚においてははっきりとした低下は認められなかった。また、モバイルセッションにおいては、生後97日（修正83日）および生後125日（修正111日）において、学習による四肢全体の平均運動速度の増加が認められたが、とくに脚の増加率が大きかった（Figure 8 A）。そして生後153日（修正139日）においては、両脚およびモバイルが連結されていない左腕の平均運動速度の増加率に比べて、モバイルと連結した右腕の平均運動速度の増加率が相対的に高いことが示された（Figure 8 A）。

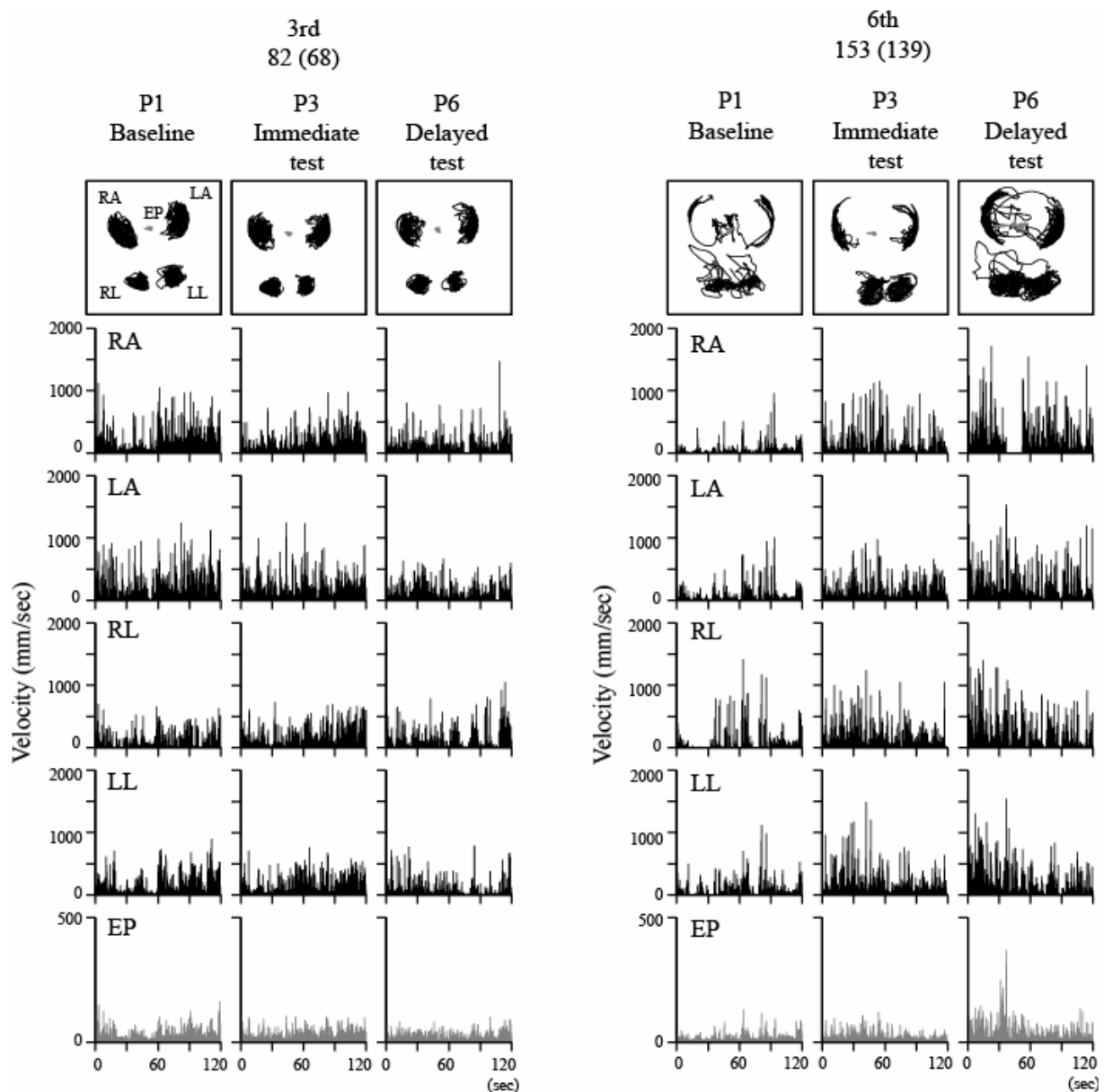


Figure 9: Movements during the baseline period (P1), the immediate retention test (P3), and the delayed retention test (P6) in the mobile session of the 3rd and the 6th experimental days. The top panels are two-dimensional trajectories of the right arm (RA), the left arm (LA), the right leg (RL), the left leg (LL), and the epigastrium (EP). The lower panels separately show velocities of the right arm (RA), the left arm (LA), the right leg (RL), the left leg (LL), and the epigastrium (EP). The horizontal axis shows time (sec), and the vertical axis shows velocity of each limb (mm/sec).

これらを総合的に考察すると、生後2～3ヶ月の間に、急激に運動の力強さが増すと同時に、環境とのインタラクションによる運動の抑制も可能になるといえる。ヒトの皮質におけるシナプス結合は、生後、急激に増加し、その後過剰形成されたシナプス結合が刈り込まれることが知られており、運動野においても生後5～6ヶ月の時期にシナプス結合が最大になることが報告されている (Huttenlocher, 2002)。したがって、本研究において生後3ヶ月以降に認められた自発運動の増加および環境の変化による自発運動の抑制は、皮質における神経ネットワークの急激な発達によるものであると考えられる。しかしながら、

運動野の神経発達に関しては、他の皮質領域と異なる点も指摘されている。たとえば、上記に示したシナプス結合の過剰形成の程度は、他の皮質領域に比べて運動野では低く、約6割程度であることが報告されており、このことが運動領域における可塑性の相対的な低さに関係している可能性が指摘されている (Huttenlocher, 2002)。このような神経発達の特徴がどのような形で行動として現れてくるのかについては、今後の議論が必要であるが、おそらく運動に関しては皮質の関与とともに、脊髄の神経ネットワークである CPGs が生涯を通じて一定の役割を担うといえる。モバイルセッションも含めて足の運動が増加した時期の運

動パターンを詳細に観察すると (Appendix)、両脚の運動は同じ時期の腕の運動に比べて、比較的単純な運動の反復が多く、認知的、情動的な興奮状態にある場合に、より頻繁で周期的な足首の運動が観察されたことや、生後 195 日 (修正 181 日) において、モビールが呈示された状況では腕の運動の減少は見られたものの足の運動の減少は認められなかった (Figure 6) ことは、特に脚の運動において CPGs 由来の神経ネットワークの関与が強い可能性を示唆している。このことは、皮質による目標指向的・意図的な運動のコントロール (たとえば行動の開始の指令) と、CPGs による運動の実現や継続といったような機能分離を考慮した発達モデルの必要性を感じさせる。また、両者の関与の程度は、環境との関わりのなかで乳児がどのような状態であったかによってダイナミックに変化するものと考えられるため、この点も考慮したモデルを構築する必要がある。

4.2 認知機能の発達

モビールセッションにおける乳児の学習過程における発達の変化の観察より、乳児の学習は全身運動を増加させるパターンが最初に生じ、その後、より特殊化された効率的な運動 (モビールの作動に直接関わる腕の分化した運動) が発現することが示された。また、いったん学習が成立すると、その運動パターンはモビールが動かない場合にも再構成されること、さらに短時間の無関連課題後にも同様の運動パターンが再構成されることが明らかにされた。これらの結果は、本研究で用いたものと同様のパラダイムで 2-4 ヶ月児の四肢運動を横断的に観察した Watanabe & Taga (2006) の結果と一致する。モビールパラダイムにおいては、全身性の運動を通した学習が発達初期から認められ、このことは自己の行為と環境の変化の関連性の発見・理解が早い時期から可能であることを示唆している。さらに、4 ヶ月齢以降には、より分化した運動が可能となり、そのような運動能力の発達が、より特定の行為とそれに直結した環境の詳細な変化の探索を実現させる。乳児における環境とのインタラクションやその知覚的・意味的理解において、“部分” が先か “全体” が先かという問題は長きに渡り議論されており (Gibson, 1969)、部分的なものから全体的なものへ、具体的なものから抽象的なものへ、エピソード的なものから意味的なものへという方向で発達すると考えられることも多いが、本研究や Watanabe & Taga (2006) の結果は、より全般的 (general) なものからより特殊 (specific) なものへという発達の变化を示唆するものと位置づけられる。そして、これらの認知発達には、運動発達が密接に関わっているといえよう。少なくとも発達初期においては、認知機能と運動機能が相互に支えあって発達すると考えられ、これは言い換えると運動・行動的に何ができるかによって、何を学習し理解できるかが直接影響を受けるということを意味する。成人に比べて、乳児が自律的にできることは限られている。しかし、その限定性が乳児の学習をより確実なものにするために役立っている可能性がある。乳児がこの世界について学習すべきことは膨大に

あるが、ある種の制約 (たとえば運動的制約) があることによって、学習すべきことやその方法が焦点化され、獲得されやすくなるという進化論的な原理が働いているのかもしれない。そして、成長にともない制約が変化することで、さまざまな “応用編” に触れることになり、より分化した認知体系が構築されていくのではないだろうか。

4.3 今後の課題

本報告における学習効果の検討においては、異なる観察日の間の記憶の保持については定量的な検討をおこなっていない。脚の運動を用いたモビールパラダイムにおいては、学習の効果は生後 3 ヶ月で約 1 週間、生後 6 ヶ月で約 2 週間程度持続すると考えられている (Rovee-Collier, Hayne, & Colombo, 2001)。しかしながら、特定の運動 (たとえば、右腕の運動) を学習した後、その特殊性が長期間維持されるのか、それとも全身の活動性の上昇という形で学習効果が表現されるのか等、運動パターンの長期的保持の問題については、今後明らかにしていく必要がある。

また、乳児は、1 日の多くの時間を睡眠に費やしているが、長期間にわたる学習の維持や固定には、睡眠中の何らかの活動が関与しているのではないかという、まだまったく解明されていない過程についても考えていく必要がある。乳児の経験が、どのように内的過程において整理され、認知体系に組み込まれていくのかについては、依然としてその多くが謎に包まれており、われわれにチャレンジングな問題を投げかけている。

解析手法に関する発展も進めていくべき課題のひとつである。本報告では、現象の記述的理解および、平均値といった一次統計処理による概観的理解をもとに議論を進めてきた。このアプローチにおいては、時々刻々と変化する乳児の運動パターンの分布や時系列的な側面を評価することが難しい。したがって、運動パターンの統計的特性の理解 (Saji, Watanabe, & Taga, 2005)、時間的な複雑性の評価 (Taga, Takaya, & Konishi, 1999)、また運動の間欠性の評価等が必要である。

引用文献

- Alexander, R., Boehme, R., & Cupps, B. 1993. *Normal development of functional motor skills*. Arizona: Therapy Skill Builders.
- Bly, L. 1994. *Motor skills acquisition in the first year: An illustrated guide to normal development*. New York: Academic Press.
- Dibiasi, J., & Einspieler, C. 2002. Can spontaneous movements be modulated by visual and acoustic stimulation in 3-month-old infants? *Early Human Development*, 68, 27-37.
- Dietz, V. 2002. Do human bipeds use quadrupedal coordination? *Trends in Neurosciences*, 25, 462-467.
- Dietz, V., Fouad, K., & Bastiaanse, C. M. 2001. Neuronal coordinations of arm and leg movements during human locomotion. *European Journal of Neuroscience*, 14, 1906-1914.

- Einspieler, C., Prechtl, H. F. R., Bos, A. F., Ferrari, F., & Cioni, G. 2004. *Prechtl's method on the qualitative assessment of general movements in preterm, term and young infants*. London: Mac Keith Press.
- Fallang, B., Saugstad, O. D., & Hadders-Angra, M. 2000. Goal directed reaching and postural control in supine position in healthy infants. *Behavioral Brain Research*, 115, 9-18.
- Georgopoulos, A. P. & Grillner, S. 1989. Visuomotor coordination in reaching and locomotion. *Science*, 245, 1209-1210.
- Gibson, E. J. 1969. *Principles of perceptual learning and development*. New Jersey: Prentice-Hall Inc..
- Grillner, S. 1985. Neurobiological bases of rhythmic motor acts in vertebrates. *Science*, 228, 143-149.
- Grillner, S. 1999. Bridging the gap: From ion channels to networks and behavior. *Current Opinion in Neurobiology*, 9, 663-669.
- Heriza, C. B. 1991. Implications of a dynamical systems approach to understanding infant kicking behavior. *Physical Therapy*, 71, 222-235.
- Hopkins, B., & Prechtl, H. F. R. 1984. A qualitative approach to the development of movements during early infancy. In H. F. R. Prechtl (Ed.), *Continuity of neural functions from prenatal to postnatal life*. *Clinics in Developmental Medicine*, 94, pp. 179-197. Oxford: Blackwell.
- Huttenlocher, P. R. 2002. *Neural plasticity: The effects of environment on the development of the cerebral cortex*. London: Harvard University Press.
- McDonnell, P. M., Corkum, V. L., & Wilson, D. L. 1989. Patterns of movements in the first 6 months of life: New directions. *Canadian Journal of Psychology*, 43, 320-339.
- McGraw, M. B. 1943. *The neuromuscular maturation of the human infant*. New York: Columbia University Press.
- Newell, K. M. 1986. Constraints on the development of coordination. In M. G. Wade, & H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control*, pp. 341-360. Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Piek, J. P., & Carman, R. 1994. Developmental profiles of spontaneous movements in infants. *Early Human Development*, 39, 109-126.
- Piek, J. P., & Gasson, N. 1999. Spontaneous kicking in fullterm and preterm infants: Are there leg asymmetries?. *Human Movement Science*, 18, 377-395.
- Prechtl, H. F. R. 1997. State of the art of a new functional assessment of the young nervous system: An early predictor of cerebral palsy. *Early Human Development*, 50, 1-11.
- Rosengren, Savelsbergh, & van der Kamp, J. 2003. Development and learning: A TASC-based perspective of the acquisition of perceptual-motor behaviors. *Infant Behavior & Development*, 26, 473-494.
- Rovee, C. K., & Rovee, D. T. 1969. Conjugate reinforcement of infant exploratory behavior. *Journal of Experimental Child Psychology*, 8, 33-39.
- Rovee-Collier, C., Hayne, H., & Colombo, M. 2001. *The development of implicit and explicit memory*. Amsterdam: John Benjamins.
- Rovee-Collier, C. K., Morrongiello, B. A., Aron, M., & Kupersmidt, J. 1978. Topographical response differentiation and reversal in 3-month-old infants. *Infant Behavior & Development*, 1, 323-333.
- Saji, R., Watanabe, H., & Taga, G. 2005. Statistical characteristics of velocity of movements of limbs in young infants during the conjugate reinforcement mobile task. *Proceeding of the fourth International Conference on Development and Learning*, Osaka.
- 多賀巖太郎 2002 脳と身体の動的デザイン：運動・知覚の非線形力学と発達，金子書房。
- Taga, G., Takaya, R., & Konishi, Y. 1999. Analysis of general movements of infants towards understanding of developmental principle for motor control. *Proceeding for IEEE System, Man, and Cybernetics Society*, V678-683.
- Taga, G., Yamaguchi, Y., & Shimizu, H. 1991. Self-organized control of bipedal locomotion by neural oscillators in unpredictable environment. *Biological Cybernetics*, 65, 147-159.
- Thelen, E. 1985. Developmental origins of motor coordination: Leg movements in human infants. *Developmental Psychobiology*, 18, 1-22.
- Thelen, E. 1995. Motor development: A new synthesis. *American Psychologist*, 50, 79-95.
- Thelen, E., & Fisher, D. M. 1983. The organization of spontaneous leg movements in newborn infants. *Journal of Motor Behavior*, 15, 353-377.
- von Hofsten. 1980. Predictive reaching for moving objects by human infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 30, 369-382.
- von Hofsten, C., & Lindhagen, K. 1979. Observations on the development of reaching for moving objects. *Journal of Experimental Child Psychology*, 28, 158-173.
- Watanabe, H., & Taga, G. 2006. General to specific development of movement patterns and memory for contingency between action and events in young infants. *Infant Behavior and Development*, 29, 402-422.

謝辞

複数回の研究協力にご理解いただいた対象乳児およびそのご家族に厚く感謝するとともに、対象乳児の健やかな成長を祈念する。

本研究は、NHK エデュケーショナルの安川美杉さんとのディスカッションにより進められたものである。また、計測にあたり、片山 貴文さん（キッセイコムテック株式会社）、保前文高さん（JST／東京大学大学院教育学研究科）、浅川佳代さん（JST）、中野珠実さん（東京大学大学院教育学研究科）、中野尚子さん（東京女子医科大学乳児行動発

達学講座)の協力を得た。

本研究の一部は、21世紀型革新的先端ライフサイエンス(領域名:動的インタラクションによるコミュニケーション創発機構の構成と解明)の助成を受けて実施された。

第一著者(HW)が名古屋大学在籍中、筏津安恕先生(法哲学・法思想史)には、研究分野を異にするにもかかわらず、研究活動に対する姿勢や方向性に関する示唆および暖かい激励をいただいた。特に、ご自身の信念を何よりも大切にして研究を楽しむ姿勢を折りに触れて感じさせていただいたことは、たいへん貴重な経験であり、また現在でも印象深く残っている。心より感謝申し上げます。

(受稿:2006年6月7日 受理:2006年6月15日)

Appendix : Observation records in each experimental day.

Days	Age (Modified)	Session	Observation records
1st	050622	14(0)	<p>SM 基本姿勢は、頭を横に向けて、右手は口元、左手は後頭か耳を触っている状態で、脚はM字に屈曲。両腕を開いて、左腕を右方向に回旋させる運動が見られる。その際、左肩が浮き、また左下肢も同時についていくため、結果的に右肩、右腰、頭だけでバランスをとる場合と、下肢は左右ともにマットに接地しており、上肢のみ回旋する場合とがある。左腕と同時に右脚も伸展することが多い。両腕を横方向に伸展させる場合には、両脚は屈曲することが多い。四肢が同時に屈曲することも多い。頭部は終始右方向への嗜好性あり。</p> <p>MobBase 未実施。</p> <p>Mobile 未実施。</p>
2nd	050802	55(41)	<p>SM 基本姿勢は、左腕を横に伸展させ、右腕は肘を屈曲したL字の姿勢であり、右手は口唇付近にある。両脚はマットに接地した状態で安定している。体幹は基本的に接地しており、前回観察されたような上肢を回旋させる運動は認められない。右腕はL字の状態が続き、一方左腕は大きく伸展させて、その際指先を開いて空中を掴もうとするような運動が多く観察された。脚(特に右脚)の高速なキッキングが認められる。両脚の交互運動も見られるが、連続的ではない。両腕の運動の同時生起、右腕と左脚の運動の同時生起も観察された。頭部は常に右方向への嗜好性があり、正中に向くことはない。右手を眺める動作も観察された。連続的に動くのではなく、安定した姿勢が長く続く。</p> <p>MobBase 基本姿勢は、肘を多少屈曲した状態で右腕を接地させ、一方左腕は自由に動く状態。両脚はM字に屈曲している。左腕をZ方向に上げ、同時に右脚のキッキングをおこなうという動作が頻繁に見られた。左脚のキッキングも観察されたが、右脚のキッキングの頻度が顕著に多く、また連続的に生起する。両脚のキッキングは、同時ではなく、左右交互もしくは微妙な時間差がある様式で生起。右腕と右脚(右半側)の運動の同時生起と、左腕と右脚(対側)の運動の同時生起が多い印象。頭部は右方向を向きがちであり、視線のみをモビール方向に向ける様子が観察された。</p> <p>Mobile P2:SMやP1と同様に右脚のキッキングや、左手で空気を掴むような動作が頻繁に認められる。右腕は、P1と比べて肘から先がZ方向に上がる頻度が増大している。また肩を含めた腕全体が動くパターンも頻繁に認められた。頭部は右方向に向いたまま、視線のみおもちゃをとらえている。ただし、ずっと見続けていられるわけではない。</p>
3rd	050829	82(68)	<p>SM 基本姿勢は、両腕を横方向に伸展させるか、もしくは右腕を横方向に伸展させ左腕はL字型の状態で、両足をまっすぐに伸展させた形(前回までは、脚がM字に屈曲していた)。“大の字”の形も頻繁に認められた。左腕が自由に動き、右腕は床に接地させて体を支えるような姿勢である点は、これまでと変わらない。脚の運動がかなり減少しており、キッキングの頻度も低下している。指先の微小運動や、腰の位置の微妙な移動が連続する時間が多くなった。頭部はやはり右を向いていたが、時折頭頂を支点にしてY方向の上部を見るような様子を示した。</p> <p>MobBase 前はモビールへの視覚的注意があまり見受けられなかったが、今回は注意を向けており、顔面が正中方向を向いている。全身の運動が活発。両腕を横方向に伸展させ、肘を支点として身体を支えた状態で両脚をZ方向に上げたり、また両脚を交互に屈伸させる運動が顕著である。また、後半は四肢全体を微妙な時間差でバラバラと動かすパターンが多発した。全体的に運動速度が高まり、運動強度が増加している。</p> <p>Mobile P2:両腕を左右方向に伸展させ、脚はM字型の姿勢が多い。視線は終始モビールに向いていた。ひものついた右腕は、肘から上腕にかけてを床に接地させたまま、肘を支点にして手先をZ方向に上げたり倒したりという運動が多く観察された。四肢全体がほとんど同時に屈曲するようなパターンが多く見られ、全身を使った運動が優位な様子である。機嫌良好。P3:全身運動が観察された。視線は終始モビールをとらえている。四肢を動かしてもモビールが動かないことにいらだち、後半機嫌の悪化を示すような脚の運動の増加が観察された。P4:たいへん機嫌よく活発に全身を動かす。特に右腕の運動が多く、それに追従して左腕が動くといった様子。右腕の動きはやはり肘より先を動かすパターンである。脚は同時に動いたり、交互に動いたりといった様子。四肢運動とモビールとの関係性を理解してきた様子である。P6:モビールへの注意は低下する様子がなく、全身を動かしている。時折右腕を強く動かすが、おもちゃが動かないことがわかったのか、口唇付近に手を移動させ、それを注視する等、モビールと直接関係のない行動が認められた(不満、飽き、気晴らし)。なお、これ以前のモビールセッションでは、手が口唇部にいくということとはなかった。</p>
4th	050913	97(83)	<p>SM 基本姿勢は、左右の腕を横方向に伸展させ、肘を床に接地した状態で安定性を維持しながら脚を動かすというものであった。両腕の動きがかなり減少している一方で、前回減少していた両脚の運動が、今回は増大していた。両腕は横に伸展させて床に接地した状態で、両脚を一気にZ方向に持ち上げる動作が頻繁に認められた。その後脚を振り下ろす際は、左右順番に降ろすことが多い(が、両脚を同時に降ろすこともあった)。右脚の単独キッキングも数回認められた。右腕はほとんど動かすことがなく、また左腕の動きも稀に生じる程度で、前回までに見られたような左腕を高くZ方向に上げるような運動はほとんどなかった。また四肢運動が生じた場合、バラバラと微妙な時間差で動くパターンであった。頭部は右方向への嗜好性あり。</p> <p>MobBase SMのときと同様、両腕を左右に伸展させて肘でバランスをとり、両脚を持ち上げるという運動が随所に認められる。腕の動きは少ない。途中、かなりの長時間、連続して四肢をゆったりと動かすフェーズが観察された。このときは、集中してモビールを注視しており、機嫌が良好であった。前回までと比べて、モビールへの集中の様子が顕著に同われた。</p> <p>Mobile P2:脚の動きが活発であり、両脚を上げて一気に降ろすパターンが多く見受けられた。右腕は、肘から先を高速で回旋させておもちゃを動かすパターンが多いが、時折肩を含めた腕全体を上げて動かす動作も観察された。四肢全体が屈曲するパターンも多く認められた。指先の微小運動が多く観察され、腕の伸展時に掌も同時に開く様子が見られた。視線は始終モビールに向けられていた。P3:脚のキッキングが多く、腕の運動は多くない。機嫌があまりよくない様子。P4:注意が低下している様子であり、不機嫌時に見られる運動の増加が観察された。</p>

Appendix : (continuance)

5th	051011	125(111)	SM	<p>基本姿勢は、頭部を右方向に向け、右手をサッキングし、左手は頭部と接触、また脚は床に接地させている状態。サッキングが見られたのは今回が初めて。サッキング中、瞬時に両腕や両脚を伸展させる動作も観察された。両脚は、横方向にまっすぐかつ大きく開脚する形が長時間認められた。また、つま先をこすり合わせる動作の生起も今回が初めてである。前回同様、両腕を横方向に伸展させた状態での両脚の活動的な運動が認められたが、今回は脚の運動強度がさらに増している。両腕をY方向の上部に、また両脚をY方向の下部に、それぞれまっすぐに伸展させる姿勢(身長が最大になるような姿勢)も初めて認められた。また、背中からの反りが激しくなってきた。大きく右方向へ寝返りをしようとするような運動も観察された。頭部を右方向に向けたまま左手を顔面の前で移動させ、さらに顔面の前で両手をクロスさせるような動作も観察された。運動レパートリーの急速な増加が見て取れる。</p>
			MobBase	<p>基本的に、腕はY方向に下げ気味で、足は床に安定して接地された状態。口を開けてモビールに見入る様子が長時間観察された。運動の間欠性が目に見えて現れている。時折思い出したように脚を動かすが、腕はほとんど動かさない。脚は交互に動くか、もしくは左脚のみ動くことが多い。これまでは右足のキッキングが多かったが、今回はじめて左脚の単独キッキングが多く観察され、右脚の単独キッキングはほとんど見られなかった。SMの際には、サッキングたいへん多く見られたが、モビールが呈示されているときには1度も観察されなかった。また、比較的長時間、ゆったりと四肢を動かすパターンがSMでは認められたが、モビール呈示中はこのような運動も見られなかった。モビールの有無で運動パターンがここまで違ったのは、今回が初めて。</p>
			Mobile	<p>P2: 機嫌がたいへん良好であるが、前半はモビールを見ることに注意が集中しており、腕はあまり動かない。脚の運動は認められる。最後の1分半くらいで運動とモビールの関係に気づき、まず脚の運動が活発になった。続いて、右腕の頻繁な運動が観察された。P3: 四肢をよどみなく連続させて動かす。動作と環境の随伴性がないことへの気づきが伺われる(表情観察より)。脚を伸展させる動きがかなり高速であり、随意性・意図性が見受けられる。右腕もよく動かしているが、同時に左腕も追従している様子。P4: 脚の運動が活発であり、同時に動かしたり、交互に動かしたり、足先をこすり合わせたりとさまざまなレパートリーを見せる。右腕は肘から先を動かすパターンの運動が認められた。</p>
6th	051108	153(139)	SM	<p>基本姿勢は、両脚をZ方向に高く上げた状態で、両腕を横方向に伸展させるか、もしくは右腕は横に、左腕は頭部にというもの。両脚の滞空時間が非常に長く、また降ろす際には、両脚を同時に勢いよく降ろす。両脚をあげた際、下肢の重心が右へ傾き、上肢は安定している様子であった(これまでは下肢が安定していて上肢が右方向へ傾くことが多かった)。腕の運動は少なく、左手が頭部に触れたり離れたりする程度。頭部を回旋させて、左上部に視線を動かすという動作が可能になっていた。足先を接触させたり、こすり合わせたりする動作も多い。肘を曲げて顔面の前に移動させる姿勢も観察された。前回のように、四肢を微妙な時間差で動かす運動はほとんどなかった。</p>
			MobBase	<p>両腕を横方向に伸展させ、両脚はZ方向に上げているか、もしくは床に接地させて伸展させた状態にしている状態が多い。足先が接触している時間が長い。両脚の滞空時間は、SM計測時に観察されたものよりもかなり短く、かわりにその上げ下げの回数が多い。両腕はたいへん横方向に伸展させた状態であり、身体のバランスをとるべく手首をひねった状態でマットに敷かれたタオルを掌で触っている時間も長い。また、左手で右手を持った状態で口唇部に移動させ、同時に脚は空中に持ち上げて足先を接触させるという姿勢が長く続くフェーズもあった。モビールへの強い注視あり。</p>
			Mobile	<p>P2: 前半は脚の運動が多く、両脚を上げた状態から一気に降ろしたり、空中で足先をあわせたりする動作が認められた。一方両腕は横方向に伸展させたまま、口を開けておもちゃを眺めている。3分程度経過した時点で、身体運動とモビール運動の随伴性への気づきあり。脚を一気に降ろす動作が頻発するようになる。さらにしばらくすると、腕の運動との随伴性に気づき、右腕のXY平面上での平行移動が多く見られるようになった。その際、手先は多少Z方向に上がった形をしていた。また手首から先を屈曲させて、指先でひもを掴もうとする動作も観察された。始終集中した様子であった。P3: 全身を活発に動かしているにもかかわらずモビールが動かない状況から、運動と環境との随伴性欠如への気づきがあった(表情観察より)。両足を一気に降ろすタイプの運動が多い。右腕はXY平面上で比較的大きく動かすタイプの運動と、肘から先をZ方向に上下させるタイプの運動の2種類が認められた。左腕はバランスをとる形で動いている印象。P4: はじめのうちは両脚を一気に降ろすことによる振動でモビールが動くことを楽しんでいる様子。その後、肘から先を動かすタイプの右腕の運動が認められた。また、最後の方では四肢を微妙な時間差で大きく動かすというフェーズも観察された。P6: はじめから全身をたいへん活発に動かす。特に両腕の大きな運動が多い。しかし、モビールが動かないとわかると、寝返りをしようしたり、腕を回転させて床をつかむような動作をしたり、周囲を見回したりと、じれた様子を示していた。途中、(気を取りなおして)動いてみたが、やはり随伴性がないことに気づくと、腕組みをするように両腕を身体の中心に移動させたりといった動作を示していた。</p>
7th	051220	195(181)	SM	<p>寝返り(左方向)への嗜好性が高いため、T字ベルトを装着して計測。足先が接触していることが多く、空中に持ち上げた際には、足裏を合わせて拝むような姿勢が随所に認められた。脚を上げたままでも頭部を自在に動かして周囲を見ることができる。したがって、足先の軌跡は、Z方向の高い位置でふらふらと移動する様子になっている。その微妙な移動でバランスを保っている様子である。脚を上げたまま、さまざまなことをするフェーズのようで、脚を上げたまま顔面の前で両手を近づけたり、またきよろきよと周囲を見回したりする。手で足先をつかむ動作が初めて出現した。さらに、脚だけではなく両腕も同時にZ方向に上げる動作も初めて観察された。手の運動が巧みになっており、T字ベルトを手で掴んだり、マーカーをはがしたりといった細かい動作が多く認められた。サッキングも認められた。手への興味が増加しているようで、寝返りをしかけた姿勢のまま両手を目の前で動かして続けるフェーズも認められた。つかんでしまったマーカーを計測者が取り上げると、その行方をずっと追うような視線が見られた。</p>
			MobBase	<p>たいへん機嫌がよい状態で、動いたあとはしばらく止まってモビールを眺めるというような運動の間欠性が顕著である。動いてみてモビールの様子をうかがうように注視する(前回までの経験を感じている可能性を示すような行動)。周囲の様子を探索したり、反応を求めるように周囲を見回すような動作が多く認められる。</p>
			Mobile	<p>P2: 右腕のみの超高速な運動が見られる。この際、左腕はほとんど動かず、両腕間の分離が認められた。両脚を一気に降ろすタイプの運動が多く認められる。たいへん機嫌が良好であった。P3: 動いてもひもがついていないことが分かると、すぐにあきらめ、マーカーをはがしたり、寝返りをしようしたり、T字ベルトに接触したり、人がいる方向に視線を向けたりといった行動を示していた。P4: 計測者がひもを連結する作業を始めた際、ひもを見ただけでポジティブ表情(笑い)の表出が生じ、全身運動が示された(状況の理解が可能)。ひもと右手首を連結したとたんにおもちゃに集中し、右腕の高速な運動を示す。また右手でひもを掴もうと追跡するような動作も認められた。たいへん機嫌が良好であった。</p>