

生得性のダイナミクスと発達過程における変化

多賀巖太郎（東京大学大学院総合文化研究科）

小西行郎、高谷理恵子（福井医科大学小児科学）

1 はじめに

人間の知性の創出のメカニズムを理解するための有望な手段は、知性がまさに出現する過程である発達の原理を明らかにすることである。これまでの発達理論は、新生児は成人の生体機能の基本的な部分をすでに持っている、発達における変化は質的な変化ではなく量的な変化であるという立場の生得主義と、新生児はきわめて未熟な状態であり、発達過程で系が段階的に質的な変化を起こす必要があるという立場の構成主義とに分類することができる。我々は、新生児の行動の動的複雑さと発達過程における変化に着目することで、発達に関する生得主義と構成主義との対立を解消する新しい枠組みの構築を目指している。

運動制御の発達に関しては、新生児は様々な刺激に対する反射を生成する神経回路を持って生まれるが、それらは大脳皮質の生後発達にともなって次第に抑制され、大脳皮質による随意運動に取ってかわられるというドグマが従来信じられてきた。しかし、新生児・乳児の運動には、刺激応答的な反射だけでなく、手足を含めた全身の複雑な自発運動が見られる。そして、自発運動の複雑さの消失によって脳の発達障害を診断できるという報告も近年注目を集めている¹⁾。このことは、自発運動が単にランダムなものではなく、特徴的なパターンを持っていることを示唆している。そこで、その現象論を明かにするために、運動計測を行なった。

2 新生児・乳児の自発運動の計測

新生児から寝返りを始めるまでの乳児は、覚醒時に仰向けに寝た状態で、四肢を含む全身の運動を数秒から数分にわたって行う。これは一見して規則性をつかみにくい複雑な運動で General Movement (GM) と呼ばれ、医師の所見による運動の分類や筋電位計測等が行われ、臨床的な重要性が指摘されている。しかし、運動学的な計測は行われていないため、GMの動的複雑さの特徴づけ、発達過程における運動パターンの変化、GMが随意運動の発達に果たす役割など、本質的な問題はほとんど明らかになっていない。

福井医科大学小児科を訪れた満期出生児5人、未熟児双子2人について、親の同意を得て次のような計測を行った。左右の手首、足首の計4箇所に接着性の反射マーカを巻いて、被験児を仰向けに寝せた状態にして、上方から1台のビデオカメラで撮影した。覚醒していて機嫌の良い状態での自発運動を少なくとも10分程度記録した。ビデオ画像をデジタイズし、パーソナルコンピューターに取り込み、画像処理を行って2次元でのマーカの運動軌跡のトラッキングを行った。サンプリングは30Hzで行った。

3 自発運動の発達過程における変化

5人の満期出生児については、生後1～4か月まで、1か月おきに運動の記録を行った。その結果、次のような一般的な傾向が共通して見られることがわかった。1ヵ月では、手足はほぼ同時に動きはじめ、同時に動き終わることが多かった。手足それぞれの運動の軌跡を重ね書きすると、空間内の広い範囲にわたる複雑なパターンを示した。この時期の運動は後の運動に比べると非常にゆっくりしたものであり、時系列はゆるやかにうねるようなものが多かった。2ヵ月では、非常に特徴的な現象が見られた。それは、手足の運動が非常に周期的で、協調して動いていることである。特に、左右の足を交互にキックするパターンが顕著に見られた。このため、運動軌跡の重ね書きを見ると、手足が空間内の比較的限定した狭い範囲をぐるぐると回転するようなパターンになった。運動の速度は、1ヶ月に比べて、かなり速くなった。3ヵ月以降になると、興味深いことに、2ヵ月で見られたような明らかな周期的運動が減り、それぞれの手足が比較的独立に細やかな動きをするようになる。軌跡の重ね書きは、1ヶ月のときのものに似た複雑なパターンになった。ただし、時系列データからは、運動の速度は1ヶ月に比べて速くなり、ゆるやかなうねりはほとんど見られなくなることがわかった。

4 脳障害と自発運動パターンとの関係

満期よりかなり早い時期に出生した一組の双生児について、生後5ヶ月から8ヶ月にわたって、GMの記録を行った。ただし、この月齢は受胎から計算して修正すると満期での生後1ヵ月から4ヶ月に相当する。この双生児のうち一人は正常であるが、もう一人は軽い脳性麻痺の所見が見られていた。正常な乳児については、満期で出生した乳児と同様なGMのパターンと月齢に応じた変化が見られた。特に修正月齢2ヶ月の時期に、特徴的な手足の協調した周期運動が顕著に見られた。ところが、軽い脳性麻痺の所見が見られている乳児では、修正月齢1ヶ月から、周期的で協調的な運動が見られ、その傾向がずっと持続した。特に、運動軌跡の重ね書きでは、月齢変化がほとんど見られないことがわかった。

5 考察と今後の課題

今回の新生児・乳児のGMの計測で初めて明らかになったのは、新生児の時期には非常に複雑だった運動が、生後2ヶ月の時期には周期的で協調した単純な運動へと変化し、3ヶ月以降に再び複雑な運動になるという変化のパターンである。この現象を、神経筋骨格系の力学系の自由度問題という立場から捉えると、次のような発達のシナリオが予想される。1ヶ月では、各自由度が大域的に弱い結合をして、系全体としてはゆるやかな協調を保ちつつ一見複雑な運動が見られる。ところが、2ヶ月の時期に自由度の動的フリーズ²⁾が起きて、協調した単純な運動へと変化する。その後、動的フリーズからの解放が起きて、各自由度が独立して複雑な運動ができるようになる。これまでに、新生児期に見られた運動パターンが、一時的に見られなくなった後で、再び随意運動として見られるようになるというU字型の変化をたどる一般的な傾向があることが報告されていた。2ヶ月で見られたフリーズ現象は、U字型発達と深い関係があるこ

と、特に、随意運動の発達に重要な役割を果たしていることが示唆される。

また、双生児の例では、脳障害によってGMのパターンが単純化し、月齢変化が見られなくなることがわかった。このことは、正常な運動パターンの発達にはカオスのような複雑なダイナミクスが関わっていることを示唆している。また、神経機構としては、比較的単純なリズム運動の生成は脳幹脊髄系のような下位の神経系が担い、大脳皮質などの上位の神経系が、正常な発達で見られるようなGMの複雑なパターン生成に関与していること、さらに、大脳皮質に障害があると、正常な発達で見られるようなGMのパターンの変化が起こらなくなるという機構が考えられる。

現在までに、GMについて運動学におおまかな現象が明らかになったが、今後の課題としては、時系列データのより詳細な分析を行い、特に複雑さを客観的に特徴づけるような指標を見つけることが必要である。また、計測の手法としては、今回は1台のカメラを使った簡単なものであったが、今後は複数のカメラを用いた3次元動作解析システムで、マーカーの3次元座標や関節角度などを計測する。さらに、運動パターンに関する視覚認識の発達の研究をあわせて行ない、自己の身体イメージや運動イメージがどのようにして獲得されるのかについて調べる予定である。

参考文献

1) 新生児・乳児の自発運動については、

HFR Prechtl, C Einspieler, G Cioni, AF Bos, F Ferrari, D Sonthimer: An early marker for neurological deficits after perinatal brain lesions. *Lancet*, 349, 1361-1363, 1997

小西行郎, 高谷理恵子: 未熟児新生児の自発運動. *物性研究*, 68-5, 530-533, 1997

2) 自由度のフリーズングについては、

G Taga: Freezing and freeing degrees of freedom in a model neuro-musculo-skeletal system for development of locomotion. *Proc. XVIth Int. Soc. Biomechanics Congress*, 47, 1997

多賀巖太郎: 身体性の発達のダイナミクス, *物性研究*, 68-5, 522-529, 1997