

知の起源に関する発達脳科学研究

Developmental brain sciences toward understanding
of origin of intelligence

多賀 巖太郎 (TAGA GENTARO)

東京大学・大学院教育学研究科・教授



研究の概要

乳児期初期の認知の発達機構の研究により、知の起源の理解をめざす。認知の領域固有性と一般性、U字型発達、異種感覚の分化と統合、学習と記憶、言語獲得等の問題に焦点を当てる。近赤外分光法による脳機能イメージング、四肢動作計測、視線計測、心理実験、モデリングの手法により、脳・身体・環境の相互作用のもとで生じる発達の動的な変化の機構を解明する。

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：進化・発達、発達脳科学、複雑系、身体

1. 研究開始当初の背景

乳児が変動する物理環境や人間社会に適応した行動を獲得し、認知能力を豊かにし、個の多様性を生み出す発達機構の解明は、人間の知の起源の理解にとって極めて重要である。近年、発達期の乳児の脳の活動や行動の時間的な変化を非侵襲的に調べる方法が飛躍的に進歩した。こうした背景により、発達脳科学の観点から、知の起源に迫るための新しい知見がもたらされると期待される。

2. 研究の目的

知の発達に関わる脳や身体の動的な変化をリアルタイムで捉えつつ、それらが長期的な時間スケールで変化する機構を明らかにすることを目的とする。特に、認知発達の領域固有性と一般性、U字型発達、学習と発達のダイナミクス、言語獲得等の問題に焦点を当て、システムレベルでの発達機構の理解を目指す。

3. 研究の方法

生後1年未満の乳児を主な対象とし、近赤外分光法(NIRS)や磁気共鳴画像(MRI)による脳機能イメージング、四肢の運動計測、視線計測、心理実験、モデリング等の手法を用いて、脳の発達とそれに関連した運動、感覚、認知、言語、記憶の発達等を総合的に調べる。脳・身体・環境の相互作用のもとで進行する複雑な現象である発達の動的変化を詳細に解析し、モデルの構築を試みる。

4. これまでの成果

(1) 大脳皮質の機能的ネットワークの発達

大脳皮質における感覚野や連合野等の機能的階層性と並列性がどのような機構で発達するかは、認知発達の領域固有性と一般性の機構を理解するための鍵であると考えられる。脳の自発活動は、脳領域間の関係性に依存して生成されると考えられるので、自発活動の発達過程を調べる事で、ネットワークの発達を知る事ができる。我々は、新生児、3ヶ月児、6ヶ月児の睡眠時の脳活動を94チャンネルNIRSにより計測し、自発活動の領域間の時間相関を計算した。特に、近接領域の短距離相関だけでなく、左右半球間や同一半球内の長距離相関を調べた。その結果、相関の強さが月齢にともなって増加・減少・U字型のように多様な変化を生じていること、また、それらの変化は脳の領域ごとに異なることが明らかになった。特に、相関のネットワークの変化は新生児と3ヶ月児との間で劇的に生じることがわかった(論文5)。また、同様な脳の自発活動の計測を安静時の成人でも行い、コヒーレント解析を行った結果、自発活動のゆらぎの周波数帯に依存したネットワーク構造があることを見いだした(論文1)。自発活動の相関のネットワークは、脳梁などの神経系の解剖学的な結合を反映して生成されると考えられるが、今回の結果は、直接結合のない領域間にも動的な結合が生成されることを示唆するものである。乳児および成人に関する我々の研究は、大脳皮質

の構造と機能の発達を反映した動的な変化の一部を明らかにしたものであると考えられる。

(2) 大脳皮質機能領域の発達

自発活動の研究によって大脳皮質の領域間の関係性が明らかになってきたが、特定の知覚・認知に関わる脳活動を調べることは、大脳皮質の領域固有性がどのように発達するのかを明らかにする上で有効である。我々はこれまでに、乳児を対象として、刺激呈示時の大脳皮質の活動を多チャンネル NIRS を用いて計測する一連の研究を行ってきた。今回、生後2ヶ月から3ヶ月にかけて、視覚刺激に反応する視覚野・視覚連合野・前頭連合野の脳活動が、刺激の違いによらない大域的な応答から、刺激の特徴に応じた局所的な応答へと発達的に変化することを発見した(論文6)。また、生後3ヶ月から6ヶ月の間に、聴覚刺激への反応に関して、右半球の側頭頭頂領域が、ランダムなピッチの音列に強く応答する状態から、短いまとまりを持ったピッチの音列に強く応答するように活動の大きさが変化することを見いだした(論文2)。これらの結果は、脳のそれぞれ固有の領域が、刺激に固有な特徴を処理できるように発達する過程の一部を示していると考えられる。

(3) 乳児の行動学習の発達

乳児期において長期記憶が成立する課題として知られるモバイル課題に着目し、身体の自発的な運動とその学習による変化を詳細に解析することで、学習機構の動的な特徴が捉えられると考えられる。我々は、乳児が腕に取り付けられた紐を介してモバイルを自分で動かすことのできる条件と、実験者がモバイルを動かす条件とを設定し、それぞれの条件での乳児の運動を3次元動作解析装置により計測し、行動の詳細な変化を調べた。その結果、生後2ヶ月から3ヶ月の間に、自分でモバイルを動かせる条件では運動を増加させ、他者が動かす時には運動を抑制する行動が分化することが明らかになった。この結果より、環境との相互作用において、行為者あるいは観察者としての行動の違いが乳児期初期に出現する仕組みや、それに関連した神経系の発達機構について考察した(論文3)。また、モバイル課題を行った3ヶ月児において、学習前の自発運動の頻度の違いが学習の成績に影響を及ぼすことを見いだした。この研究は乳児の個人差に焦点を当てたものであり、発達における個性の問題に一石を投じるものであると考えられる(論文4)。

5. 今後の計画

(1) 脳の自発活動の動力学的特徴を詳細に調べることで、解剖学的なネットワークと動的に生成されるネットワークとがそれぞれ発達する機構を明らかにする。

(2) 発達過程における異種感覚の分化と統合の機構を、脳機能イメージングや視線計測により調べる。

(3) 言語や音楽に関わる機能の発達過程について、韻律・音韻処理の脳内機構、発話における調音機構、音のリズムへの身体動作の引き込み等について調べる。

(4) 乳児期初期において、睡眠と覚醒とのサイクルが頻繁に繰り返されるが、それらの動的変化が、覚醒時の学習と脳の機能発達とどのように関連しているかを調べる。

(5) 乳児期初期の自発運動の特徴とその後の運動発達、さらには、長期的な認知発達との関連性について調べる。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- (1) S. Sasai, F. Homae, H. Watanabe, G. Taga: Frequency-specific functional connectivity in the brain during resting state revealed by NIRS. *NeuroImage* 56, 252-257, 2011
- (2) F. Homae, H. Watanabe, T. Nakano, G. Taga: Functional development in the infant brain for auditory pitch processing. *Human Brain Mapping* (in press)
- (3) H. Watanabe, F. Homae, G. Taga: Developmental emergence of self-referential and inhibition mechanisms of body movements underlying felicitous behaviors. *Journal of Experimental Psychology - Human perception and performance* (in press)
- (4) H. Watanabe, G. Taga: Initial-state dependency of learning in young infants. *Human Movement Science* 30, 125-142, 2011
- (5) F. Homae, H. Watanabe, T. Otobe, T. Nakano, T. Go, Y. Konishi, G. Taga: Development of global cortical networks in early infancy. *Journal of Neuroscience* 30: 4877-4882, 2010
- (6) H. Watanabe, F. Homae, G. Taga: General to specific development of functional activation in the cortexes of 2- to 3-month-old infants. *NeuroImage* 50, 1536-1544, 2010

ホームページ等

<http://www.p.u-tokyo.ac.jp/~tagalab/>