

研究課題別評価

1. 研究課題名 :ヒトの発達過程における身体性とモジュール性

2. 研究者氏名 :多賀蔵太郎

3. 研究の狙い :

ヒトの様々な認知や行動は、大脳の局在した領域の活動、すなわち機能的モジュールによって営まれていると考えられている。しかし、モジュールの統合に関するバインディング問題や、モジュール自体の生成過程はわかっていない。一方、脳も身体も環境も、それぞれ固有のダイナミクスに従って変化する動的システムとして捉えられる。本研究では、ヒトというシステムが有するダイナミックな「身体性」と脳の「モジュール性」とが、乳児期の認知や行動の発達過程で果たす役割の解明を目的とする。そのために、生後数カ月間に起こる知覚や行動の動的な変化、特に、バインディング問題に関わる知覚を行動学実験により明らかにする。また、その過程での脳の発達を新しい非侵襲脳機能計測技術、光トポグラフィーを導入して可視化する。特に、大脳皮質における発達過程でのモジュールの分化と統合過程を明らかにする。

4. 研究結果 :

(1) 乳児の視覚のパフォーマンスに関するU字型変化の発見

乳児の視覚系における色と形の組み合わせの知覚の発達過程を調べた。視覚刺激への注視時間を測定し、馴化脱馴化法を用いた実験を行ったところ、1ヶ月児は2個の同時に提示された図形の色と形の組み合わせを識別できるが、2ヶ月児で識別の成績が低下し、3ヶ月児で再び良い識別を示すようになるというU字型の発達変化が明らかになった。また、3ヶ月児には2個の物の間を繰り返しサッカドするという1ヶ月児には見られない眼球運動パターンがあること、成績の悪い2ヶ月児には特定の刺激への非常に長い時間にわたる強制注視が見られることもわかった。このようなパフォーマンスのU字型変化とそれに伴う眼球運動パターンの変化から、新生児において色と形のモジュールは未分化であるが故に統合されていて、組み合わせの違いをも識別できる可能性が考えられた。そして、脳のモジュールによる分析的な知覚の発達にともなってバインディング問題が生じて識別が困難になるが、選択的に注意を移動する機構の発達によってバインディング問題を解決するというシナリオが考えられた。

(2) 光トポグラフィー (近赤外分光法) を用いた乳児の脳機能計測の成功

近年、fMRI 等による脳機能計測の研究が進み、成人の脳の働きについて多くの知見がもたらされてきた。しかし、そういった手法では計測時に頭部を厳密に固定することが必要であるため、覚醒した乳児への適用は困難であった。一方、光トポグラフィーは、頭皮上から近赤外線を照射・検出するという原理で脳機能画像を得る手法で、頭部の強い拘束を必要としないために乳児等の脳機能計測に有効であると考えられた。そこで、この方法を乳児の研究に初めて導入し、その有効性を示した。その過程で次のような課題を行った。

(a) 成人における事象関連測定法の確立

先行研究では、刺激20秒、休止20秒の繰り返しなどのブロックデザインが刺激パラダイムとし

て使われてきたが、より自然な短い事象に関連した応答を光トポグラフィーで計測できることを確かめた。例えば、1秒以下の視覚刺激の変化に対する応答が得られることが明らかになった。また、得られた信号から変化に関する統計値を利用して脳の活動部位を空間的にマッピングする手法の検討を行った。

(b) 成人における様々な視覚、聴覚刺激に対する応答の検討

脳のモジュール的な機構を明らかにすることを目的として、チェッカーボード 同心円状の運動刺激、バイオリジカルモーション、ランダムドットステレオグラム、聴覚刺激、など様々な刺激を与えた時の応答を調べた。その結果、視覚野、MT 野、側頭連合野、聴覚連合野などが、それぞれの刺激に対応した特徴のある応答を示すことが明らかになった。

(c) 睡眠時の乳児の自発的变化とそのパターンの月齢変化の発見

光トポグラフィーの乳児研究への第一歩として、睡眠時の脳の状態を計測した。15秒程度の周期の自発的な揺らぎがあること、その時間的・空間的特徴が新生児から1ヶ月、2ヶ月と変化していくことが明らかになった。

(d) 覚醒時の乳児の視覚反応の機能的脳イメージング

覚醒して視覚刺激を見ている乳児の脳活動のイメージングを光トポグラフィーで計測するのに成功した。特に、生後2? 4ヶ月の乳児の後頭葉の視覚野が成人と同じように視覚刺激の輝度の変化に対して反応し、それにもなう脳血流と脳代謝を反映した脳血液の酸素化状態の変化が生じることを示した。

(e) 覚醒時の乳児の聴覚反応の機能的脳イメージング

覚醒して聴覚刺激を聴いている乳児の脳活動のイメージングにも成功した。成人では聴覚野や言語野があると考えられている左右の側頭葉の計測を行った。女性の日本語の音声を刺激として与えた時には、生後2? 7ヶ月の乳児で特に右半球が強く活動することが明らかになった。

5. 自己評価：

乳児の行動発達の研究を行い、視覚認識や眼球運動に関して生後2~3ヶ月頃のダイナミックな変化、特に、パフォーマンスのU字型変化を明らかにすることができた。このことは、この時期に大脳皮質が果たす機能が質的に変化していることを示唆するものであり、さらなる脳機能イメージング研究を行うための指針が明確になった。

本研究の成否を決める問題として、乳児が自然な状態でものを見たり聞いたりしているときの脳活動を光トポグラフィーで計測することに重点的に力を注いだ。その結果、覚醒時の乳児の脳機能イメージングに成功した。計画段階では乳児の脳機能イメージングの先行研究は世界的にみてもほとんど皆無であり、私自身にとっても脳機能計測は全くゼロからのスタートであった。成人での計測、乳児の睡眠中の計測、覚醒した乳児の注意を持続させるための刺激の工夫など多くの予備的な実験を積み重ねる必要があった。そして、この3年間に、現在のように乳児の脳活動が可視化できるようになった。この成果は、この分野における大きな一歩といえるのではないかと考えられる。

ただ、現在でも、乳児が頭を振ったりするような状況での計測は難しく、実験パラダイムにも様々な制限がある。そのため、今後計測手法に関しても様々な改良が必要である。研究計画当初の大目標として掲げたモジュールの分化や統合機構に関して、3年間で決着をつけるには至らなかったが、本研究の成果は、その問題解決への重要な足掛かりを確立したものであるといえよう。

6. 研究総括の見解：

乳児の認知や行動と脳の発達過程を明らかにすることは、脳科学や発達心理学だけでなく、認知科学や計算機科学へも将来影響を及ぼすと考えられる重要なテーマである。多賀氏は、脳活動計測法として安全で非侵襲的な手法である光トポグラフィーを、発達中の乳児に適用するという大変チャレンジングな課題に挑戦し、3年間に独創的な成果を得たことは高く評価できる。さきがけ研究の成果を土台として、将来の研究の進展が大いに期待される。

7. 主な論文等：

〔論文〕

G.Tagu, T.Ikejiri, T.Tachibana, S.Shimojo, A.Soeda, K.Takeuchi, Y.Konishi: Visual feature binding in early infancy. *Perception*, 31, 273-286, 2002

G. Tagu, K. Asakawa, A. Maki, Y. Konishi, H. Koizumi: Functional imaging of visual cortex of awake infants using optical topography, *International Conference on Infant Studies*, Toronto, Canada, 2002

G. Tagu, Y. Konishi, A. Maki, T. Tachibana, M. Fujiwara and H. Koizumi: Spontaneous oscillation of oxy- and deoxy- hemoglobin changes with a phase difference throughout the occipital cortex of newborn infants observed using non-invasive optical topography, *Neuroscience Letter*, 282, 101-104, 2000

多賀徹太郎 眼球運動と知覚の初期発達, *児童心理学の進歩*, 41: 243-261, 2002

多賀徹太郎 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, 2002

〔受賞〕

中山科学振興財団 中山賞奨励賞 (2002年9月)