

Watanabe, H., Homae, F., Nakano, T., Tsuzuki, D., Enkhtur,
L., Nemoto, K., Dan, I., & Taga, G. (in press). Effect
of auditory input on activations in infant diverse
cortical regions during audiovisual processing.
Human Brain Mapping.

発達初期の脳における視聴覚情報処理の様式を、近赤外分光法（near-infrared spectroscopy: NIRS）を用いた脳機能イメージングにより解明することを目的とし、聴覚情報の有無が後頭葉、側頭葉、前頭葉を含む脳の広い範囲の皮質の振る舞いにどのような影響を与えるのかを検討した。3カ月齢の乳児に視聴覚刺激（形体・色がある玩具が動き、その動きに付随した音が発生する映像：音あり条件）と、その刺激から聴覚情報を除外した視覚刺激（音なし条件）を呈示し、多チャンネル NIRS を用いて、皮質血管中の酸素化ヘモグロビン（oxy-Hb）および脱酸素化ヘモグロビン（deoxy-Hb）の相対的な濃度変化を計測した。応答の“大きさ”に関して、音あり条件では聴覚野を含む脳の広い範囲で oxy-Hb 濃度の増加が見られたのに対して、音なし条件では聴覚野における oxy-Hb 濃度の減少が認められ、3カ月齢の乳児の聴覚野が“音がない”ということに鋭敏に反応し、皮質活動の抑制がもたらされることが明らかになった。また、連合野においては、音あり条件に比べて音なし条件において oxy-Hb の濃度の減少が観察され、聴覚情報がこれらの領域における多感覚情報の統合に寄与していることが示唆された。さらに、本来は視覚情報を主に処理する初期視覚野においてさえも、“音がある”ことによって

oxy-Hb 濃度が増加することが明らかになり，専門情報（視覚情報）ではない聴覚情報に対する処理がおこなわれていることが示された。このように，聴覚情報の不在が，3カ月齢の乳児の脳の異なる領域において，異なる影響をもたらすことが明らかにされた。また，応答の“タイミング”に関して，視聴覚刺激を呈示した際の皮質応答の時間的変遷をとらえるために，位相解析を実施したところ，刺激呈示後，まず聴覚野の活動が生じ，遅れて視覚野の活動が生じるというように，脳の領域によって活動のタイミングが異なることが示された。これらの結果は，発達初期の脳では，多感覚情報が意味のある様式で分化・統合されながら処理されていることを示唆している。

Watanabe, H., Forssman, L., Green, D., Bohlin, G., & von Hofsten, C. (2012). Attention demands influence 10- and 12-month-old infants' perseverative behavior. *Developmental Psychology*, **48**, 46-55.

生後1年未満の乳児が反復される事象を経験した場合，その経験が後の行動に影響を与えることが知られている。たとえば，あるオブジェクトが眼前のAの領域に隠される状況を複数回経験すると，突然オブジェクトがBという領域に隠された時に，たとえ隠される様子を乳児が観察していたとしてもAの領域に対する探索行動が生起する。これは乳児期における固執的行動と呼ばれ，乳児のリーチング行動を指標として検討されてきたが，身体運動の未熟性の影響を完全に取り去ることは難しか

った。そこで、本研究では、眼球運動計測システムを用いて視線の時間的変遷を追跡することにより、身体運動能力に影響されない指標を用いて乳児の探索行動の特性を記述し、認知的側面を浮き彫りにすることを目的とした。10 および 12 カ月齢の乳児を対象に、ターゲットであるキャラクターが遮蔽物 A の背後に隠れる様子を複数回経験させた後、ターゲットが遮蔽物 B の背後に隠れた際の視線の変化を計測した。この課題は、A-not-B 課題と呼ばれるものであり、ターゲットが適切な遮蔽物の背後から再出現することを予測できるかどうかを調べるものである。10 カ月齢の乳児においては、遮蔽物 B 領域へ視線を向けている時間が多くなることが示されたが、ターゲットが遮蔽物 B の背後に隠れた後、モニタに妨害刺激（動くボールの映像）を呈示した場合、実際にはターゲットが隠れていない遮蔽物 A 領域への視線の増加が観察された。一方、12 カ月齢の乳児においては、妨害刺激が呈示された場合においても、遮蔽物 B 領域へ視線を向けている時間が長く、不適切な固執性は認められなかった。これらの結果は、生後 10 カ月の時点では、注意資源を用いた記憶に基づく予測的行動が可能であるものの、それは外乱の影響を受けやすい脆弱なものであることを示唆している。記憶・注意に基づいた予測的眼球運動は、生後 1 年の時期に安定性を増すことが明らかになった。本研究は、ヒトの未来指向行動（future-directed behaviors）の起源をとらえたものと位置づけられる。

Watanabe, H., Homae, F., & Taga, G. (2011).

Developmental emergence of self-referential and inhibition mechanisms of body movements underlying felicitous behaviors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, **37**, 1157-1173.

発達初期における自身と環境の関係性の理解，および環境に適応した行動の発達過程を明らかにするため，仰臥位にある2,3ヵ月齢の乳児の上に玩具を設置し，玩具に連結された紐を引くと玩具が動く環境中で，乳児の四肢運動を三次元動作解析システムにより計測した。Interaction 条件では，玩具に連結された紐を乳児の手首に装着し，乳児が腕を動かすと玩具が動く環境を設定した。また Stimulation 条件では玩具に連結された紐をスタッフが動かし，したがって乳児の動きと関係なく玩具が動く環境を設定した。これらの条件における乳児の身体運動の様子を比較することにより，環境の違いによる乳児の行動パターンに違いが見られるのか，またその発達的变化を解明することを目的とした。計測は，玩具が動くことを経験する前の四肢運動の初期状態を計測するベースラインフェーズ（2分間）と，玩具が動くフェーズ（6分間）によって構成されていた。3ヵ月齢の乳児では，自身の動きと玩具の動きが連動している Interaction 条件における腕の運動の増加と，自身の動きと玩具の動きが無関係な Stimulation 条件における四肢運動の減少が観察された。一方，2ヵ月齢の乳児ではいずれの条件においても四肢運動が増加することが示された。この結果は，3ヵ月齢の乳児において，自己が環境

の変化の主体になり得る状況では自己の身体運動が促進され、一方自己の行動とは関係なく環境が変化する状況では自己の身体運動が抑制され、環境への知覚的注意が高められることを示唆している。胎児期から乳児期前期においては、環境からの刺激の有無に関わらない自発的な身体運動（spontaneous movements）が観察され、これは脊髄の神経システムに起因すると考えられている。本研究で見られた生後 2 ヶ月から 3 ヶ月の間に出現する抑制システムの機能は、乳児の行動が脊髄支配から大脳皮質支配へと変化する過程を捉えているものと考えられる。

Watanabe, H., Homae, F., & Taga, G. (2010). General to specific development of functional activation in the cerebral cortexes of 2- to 3-month-old infants. *Neuroimage*, **50**, 1536-1544.

これまでに、乳児が外界の複雑なオブジェクトの映像を見ているときの皮質応答を近赤外分光法（near-infrared spectroscopy: NIRS）を用いて検討し、生後 3 ヶ月の時点で、視覚に関わる後頭葉の視覚野、色・形・運動等の複雑な情報の処理や異なるモダリティを含む情報の処理に関わる連合野、視聴したものの理解や判断に関わる前頭葉など、脳のさまざまな領域が機能的に活動していることを明らかにしてきた（Watanabe et al., 2008, *Neuroimage*）。このような発達のごく初期において見られた成人と同様の機能分化は、乳児の脳の発達過程の中でどのように出現するのであろうか。本研究では、

2 ヲ月齡の乳児の皮質応答を觀察し、その結果を3 ヲ月齡の乳児の皮質応答と比較することにより、以下の三つの作業仮説の検証を試みた。(1) 出生時の脳はすでに機能分化されている(生得説)、(2) 初期視覚野のように基本的な感覚情報を処理する領域が最初に発達し、遅れて連合野が発達する(階層説)、(3) 発達初期には領域の区別なく“全体”に活動し、その後、特定の“部分”が固有に活動するようになる(分化説)。反転する白黒チェッカーボード、および形・色・運動をともなったオブジェクト(玩具)の映像を呈示し、多チャンネル NIRS を用いて、皮質血管中の酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb) および脱酸素化ヘモグロビン(deoxy-Hb)の相対的な濃度変化を計測した。3 ヲ月齡の乳児では、反転するチェッカーボード刺激に対しては初期視覚野のみが活動し、形・色・動きをともなったオブジェクト刺激に対しては初期視覚野に加えて連合野も強く活動することが示されたのに対して、2 ヲ月齡の乳児では、いずれの刺激に対しても脳の広い範囲で強い応答が認められた。本研究の結果は、乳児の脳は発達初期から外界の情報を受け取って機能していること、また、その応答パターンは、脳の広範な領域がさまざまな視覚刺激に応答するという全般(general)な段階から、脳の各領域がそれぞれに機能分化を持って応答するという固有(specific)な段階へと遷移していくことを示唆している。

Watanabe, H. & Taga, G. (2006). General to specific development of movement patterns and memory for

contingency between actions and events in young infants. *Infant Behavior and Development*, **29**, 402-422.

2, 3, 4 カ月齢の乳児を対象として、自己と環境との相互作用を通じた学習や記憶が、発達にともないどのように変化していくのかを、四肢運動の計測を通して明らかにすることを目的とした。乳児の手首と玩具を紐で連結し、自身の運動が玩具の動きを引き起こす状況において、手首および足首に装着した反射マーカークの動きを、三次元動作解析システムを用いてリアルタイムに計測した。自身の身体運動が環境の変化をもたらすことを経験すると、いずれの月齢においても経験前に比べて運動量の増加が観察された。さらに各月齢における四肢運動のパターンに違いが認められた。すなわち、2 カ月齢では四肢全体、3 カ月齢では両腕、4 カ月齢では学習時に玩具と連結していた特定の腕の活動性の上昇が観察された。この結果は、年少の乳児においては、“自分が動くとき環境が変化する”といった全般的な関係性の学習や記憶によって行動が生成されるのに対して、発達にともない、“自分がこう動くとき環境がこう変化する”といったより特定の関係性の学習や記憶によって行動が選択されるようになることを示唆している。このように、本研究は、発達初期における乳児の学習や記憶が、より全般（general）な様式からより固有（specific）な様式へと発達していくことを定量的に明らかにしたものと位置づけられる。発達初期においては、乳児の四肢間の運動は強く連動し、全身で環境に働きかける中で自身の行動と

環境の変化の関係性を理解していく様式が取られていると考えられる。そして、その後発達が進むにしたがって、運動機能が身体部位ごとに少しずつ分化し、そのことが個々の部位の機能と環境との関わり合い方を探索する機会を生み出すと考えられる。そのような、身体運動における自由度の増大（行動の選択肢の増大）は、様々な環境における適切な行動の基盤となり、知覚・記憶・推論・問題解決等の認知機能の発達につながると推察される。