

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21800012

研究課題名（和文） 発達初期の予測的行動を支える記憶および抑制機構の解明

研究課題名（英文） Development of predictive behaviors: Memory and inhibitory mechanism in infancy

研究代表者

渡辺 はま (WATANABE HAMA)

東京大学・大学院教育学研究科・特任准教授

研究者番号：00512120

研究成果の概要（和文）：

発達初期における予測的行動の基盤となる記憶および抑制機構の発達過程を、アイトラッカーによる視線計測、三次元動作解析システムによる身体運動計測、近赤外分光法による脳の機能的イメージング計測を用いて検討した。その結果、生後 1 年間に、(1) 乳児は経験によって得られた情報を抑制し、状況に適した柔軟な予測が可能になること、(2) またそのような予測に基づいて自己の身体運動パターンを制御可能になること、(3) さらにそのような学習、記憶、予測過程を支える皮質の活性/抑制システムが機能していることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

Development of infant memory and inhibitory mechanisms based on predictive behaviors was examined using measurements of eye movements by an eye tracker system, body movements by a three-dimensional motion analysis system, and cortical functional responses by a near-infrared spectroscopy (NIRS). Results from infants under the first year of life suggest that (1) infants can inhibit irrelevant information and select appropriate information depending on circumstances, (2) they can also control their behaviors using predictions, and (3) these flexible behaviors based on prediction are realized by activation/deactivation system in infant brain.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,070,000	321,000	1,391,000
2010年度	960,000	288,000	1,248,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,030,000	609,000	2,639,000

研究分野：発達科学

科研費の分科・細目：認知科学

キーワード：発達、乳児、予測、記憶、抑制、眼球運動、身体運動、脳機能

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 乳児の予測的行動を支える機能：

感覚情報（視覚、聴覚、触覚等）を敏感に感受する力は、新生児期あるいは胎児期にすでに備わっている (Bower, 1989; Mehler & Dupoux, 1990)。また乳児はそれらの感覚情

報を継時的に保持することにより、環境に変化（例えば刺激の種類の変化）があった場合、敏感にそれを検出することができる (Bremner, 1994)。これらのことは、乳児が時々刻々と変化する環境情報を受け取り、たとえ物理的の刺激が消失しても内的に情報を

維持する能力、すなわちワーキングメモリが機能していることを示唆している。さらに、乳児は自己の経験を一定の期間記憶できることが知られている。例えば、自己の腕の運動により玩具が音を立てて動くという経験をすると、その後全く関係ないこと（干渉課題）をおこなったり、数時間から数日経過したりした後であっても、記憶に基づいて以前の経験を再現できる(Rovee & Rovee, 1969; Watanabe & Taga, 2006; 渡辺・多賀, 2006)。

上記のように乳児は複雑な環境刺激の中から、特定の情報を巧みに抽出し、その情報をもとに、環境内に存在する「関係性」を学習し、未来に生起することを予測したり、未来の時空間における自己の行動を選択・決定したりしていると考えられる。しかしながら、環境はいつも同じではなく、突然変化して、以前の学習やそれによって得た知識が役に立たなくなったり、その後の行為を妨げたりする状況が生じることがある。例えば、乳児が先述した腕の運動による玩具の動きを学習した後、脚の運動によって玩具が動くようにすると、乳児は柔軟に行為を変更し、脚の運動を増加させる様子が観察される(Watanabe & Taga, 2009)。このことは、生後数ヶ月の乳児が、以前の学習によって得られた行為パターンを抑制する能力を持ち合わせていることを示唆している。

このように、発達初期の乳児において、各システム（ワーキングメモリ、記憶、抑制）が機能していることが支持されているが、リアルタイムな環境との接触の中で、これらの機能がどのように乳児の内面で連携し合いながら、乳児の予測的行為を導きだしているのかは明らかでない。

## (2) 神経基盤：

新生児や乳児を対象とした脳機能イメージング研究は、乳児の知覚行動の基盤となる神経システムの様相を、神経生理学的計測結果をもとに議論することを可能としている。実際、生後3ヶ月の時点で、視覚的もしくは聴覚的入力に応答する感覚野、形のあるオブジェクトや音の抑揚等、豊富な情報を含んだ入力に応答する連合野、新奇な情報を検出する際に応答する前頭前野といったように、基本的な脳の機能分化が存在していることが明らかになりつつある(Homae, et al., 2006, 2007; Nakano, et al., 2008, 2009; NWatanabe, et al., 2008)。本研究では、乳児のワーキングメモリ、記憶、抑制にかかわる各システムが短時間の間に動的に変化していく過程で、基本的な機能分化をもった乳児の脳が、どのような皮質応答を展開していくのかを、全脳をカバーした脳機能イメージング手法によってとらえる。

## 2. 研究の目的

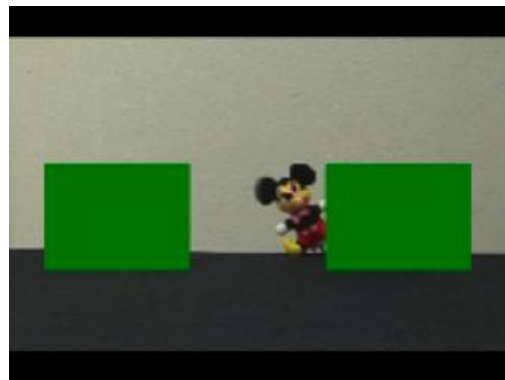
乳児は (1)外界の情報を利用可能な状態で短期間保持すること（ワーキングメモリ）、(2)経験や学習によって得られた情報を一定期間、安定的に保持すること（記憶）、(3)文脈に応じて、いったん学習した行為が生成もしくは表出しないようにすること（抑制）が可能である。成人においては、これらの機能はある程度独立したものとして存在し、置かれた場面や文脈に応じて、より適切な機能が優勢に働くことで予測的行為が導かれると考えられるが、発達初期にある乳児においては、各機能が同時に作用し、互いに影響し合いながら、予測的行為の様式を決定していると考えられる。本研究では、乳児の予測的行為が観察される場面において、上記の機能がどのように振る舞い、揺らぎながら、乳児の行動を決定しているのかを、視線計測、身体運動計測、および皮質応答計測を通して観察することを目的とした。

## 3. 研究の方法

発達初期の予測的行為を支える記憶および抑制メカニズムを解明するために、生後1年以内の乳児を対象とした行動実験および脳機能イメージング実験をおこなった。

(1) アイトラッカーを用いた、予測場面における乳児の視線行動の動的変化の計測：

予測場面として、経験の記憶、ワーキングメモリ、抑制機能を必要とする視覚的な場面（視線版 A-not-B 課題、下図参照）を用い、リアルタイム計測の可能なアイトラッカーを用いて視線行動を計測した。本研究では、玩具が隠された瞬間からの乳児の内的な認知状態を取り出すことを主たる検討内容とし、そのために乳児の視線を連続的に追跡する手法を採用した。この方法により、予測の最終結果だけでなく、予測過程全体を通して乳児が場面のどの部分に注意を向けているかのデータを得ることができる。生後10ヶ月齢および12ヶ月齢の乳児83名を対象とした。なお、本研究は、スウェーデン国ウプサラ大学ベビーラボとの議論により進展したものである。



(2) 三次元動作解析システムを用いた、乳児の経験の記憶に基づいた身体運動の変化の計測：

乳児が自己の四肢運動と外界の変化（玩具の作動）との関係性に気づき、外界の変化を予測した身体運動の制御をおこなう過程を生体力学的計測を用いて明らかにした。具体的には、乳児の手や足とモビール（下図）をひもでつなぎ、乳児の身体が動くともビールが動いて鈴の音になるという実験環境を設定し、その環境下での乳児の運動を観察した。生後3ヶ月齢の乳児約400名を対象とした。



(3) 近赤外分光法を用いた、乳児の視覚行動中の皮質応答の計測：

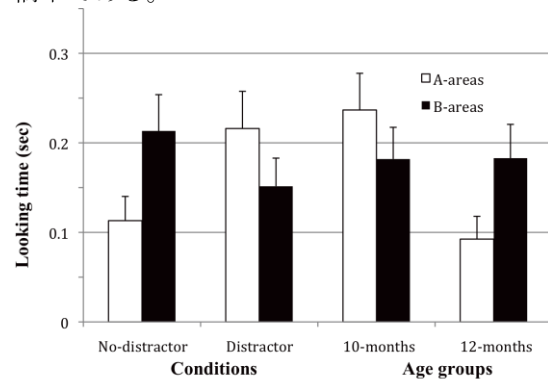
近赤外分光法による脳機能イメージングの手法を用いることにより、視覚的な情報を処理している最中の乳児の脳がどのような応答を示すのかを解明した。皮質応答の計測には、全脳をカバーする多チャンネルを有した光トポグラフィ装置を用い、視覚野、聴覚野、連合野を含む脳の広い範囲の応答を取得した。生後6ヶ月齢の乳児77名を対象とした。

#### 4. 研究成果

(1) アイトラッカーを用いた、予測場面における乳児の視線行動の動的変化の計測：

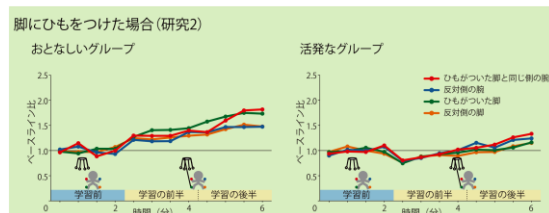
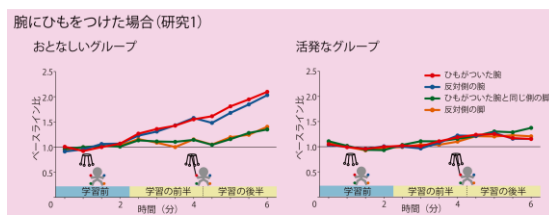
生後10ヶ月児および12ヶ月児を対象とした実験の結果、これらの乳児はキャラクタが遮蔽物の影に隠れてしまった場合（3.研究の方法における図を参照）、キャラクタの姿が見えなくなっても、隠れた側（右上図のB area（ブラックバー））の遮蔽物周辺をよく見ていることが明らかになり、対象物の記憶が可能であることが示唆された。しかしながら、キャラクタが隠れた後に、画面に無関係なもの（ボールが跳ねる様子）を呈示した場合（妨害条件）、キャラクタが隠れた場所の記憶が忘却されることが明らかになった。さらに、この傾向は特に10ヶ月齢の乳児に認められることが示された。このことは、生後10ヶ月齢において、乳児は経験の記憶を用い

て、次に起こる事象を予測することが可能であること、また生後12ヶ月齢になると、外乱による妨害に対する耐性が培われることを示唆している。本成果は、学術論文紙に投稿中である。



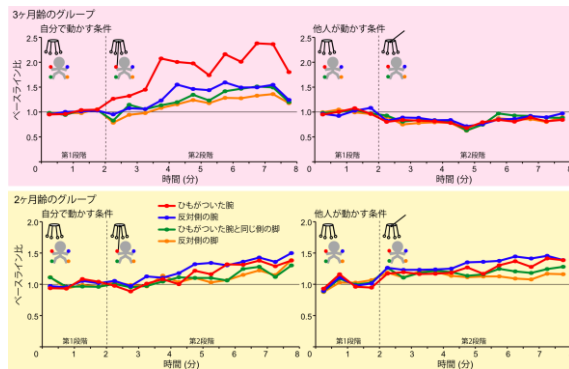
(2) 三次元動作解析システムを用いた、乳児の経験の記憶に基づいた身体運動の変化の計測：

乳児がモビール課題をおこなう前にどのような状態であったか（活発であったかおとなしかったか）が、その後の学習、記憶、予測過程にどのような影響を与えるか検討したところ、モビール課題前に体を活発に動かしていた乳児に比べて、おとなしい状態にあった乳児の方が、その後のモビール課題における四肢運動の量が増加することが明らかになった（下図）。このことは、学習において、その前の状態（初期状態）が強く関わることを示すものであり、発達初期における予測過程は、時々刻々と変化する乳児の状態に依存して異なる様相を示すことを示唆するものである。本成果は、Human Movement Science 誌に掲載された（Watanabe & Taga, 2011）。



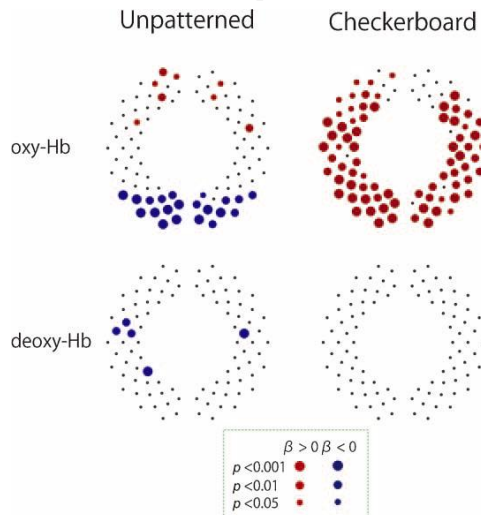
また、生後2ヶ月齢の乳児は、自分が動くとおもちゃが動く条件、自分が動くかどうかにかかわらずおもちゃが動く条件（他者がおもちゃを動かしている場合）のいずれの場合のも、四肢の運動の増加が認められたのに対して、生後3ヶ月齢の乳児では、自分が動く

とおもちゃが動く条件においてのみ、四肢運動の増加が認められた(下図)。このことは、生後3ヶ月齢において、環境の変化の生起要因の認識がより明確になることを示しており、状況に即した行動の抑制が可能になることを示唆している。本成果は、*Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance* 誌への掲載が決定している (Watanabe, et al., in press)。



(3) 近赤外分光法を用いた、乳児の視覚行動中の皮質応答の計測：

生後6ヶ月の乳児を対象に、チェッカーボードパターンが呈示される場合と、パターンが何も含まれない空白の画面が呈示される場合における皮質応答(脳の血管中の酸素化ヘモグロビン濃度の相対的変化)を検討したところ、チェッカーボードパターンに対しては、脳の広い範囲で強い正の応答が認められたのに対して、空白の画面に対しては後頭葉の視覚野における強い負の応答が認められた(下図)。通常、視覚野は視覚刺激に対して正の応答を示すことから、本研究では予測に反して視覚的パターンが含まれない視覚的環境下におかれた場合、視覚情報を処理する脳の部位が抑制的な働きを示すことが明らかにされた。本成果は、*Developmental Psychobiology* 誌への掲載が決定している (Watanabe, et al., in press)。



5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Watanabe, H., Homae, F., & Taga, G. (in press) Activation and deactivation in response to visual stimulation in the occipital cortex of 6-month-old infants. *Developmental Psychobiology*, in press, 査読有
- ② Watanabe, H., Homae, F., & Taga, G. (in press) Developmental emergence of self-referential and inhibition mechanisms of body movements underlying felicitous behaviors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, in press, 査読有
- ③ Watanabe, H., & Taga, G. (2010) Initial-state dependency of learning in young infants. *Human Movement Science*, 30, 125-142, 査読有

[学会発表] (計0件)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等：なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

渡辺 はま (WATANABE HAMA)

研究者番号：00512120