

# 乳児の表情認識における脳血行動態反応

齊 藤 由 里

(2006年10月5日受理)

Brain hemodynamics reaction in facial expression recognition of infants

Yuri Saito

The cognition of facial expression in infants had been examined by means of behavioral measures due to the preferential looking method or the habituation / dishabituation method. However, little is known about the developmental brain function based on those behavioral measures. The recent non-invasive brain imaging technique can be applied to the study for the brain functions in infants. The present study examined the infant's visual cognition for the adult's facial expressions by means of near-infrared spectroscopy (NIRS), which is one of new techniques for measuring the brain blood flows. Eight infants participated in this experiment every three months, so that the brain imaging has been longitudinally measured at three-, six- and nine-month-old of each infant. In the experimental session, I showed each infant the visual stimuli, of which a female stranger is doing the peek-a-boo play, through the screen of the personal computer, and measured a brain blood flow change simultaneously during his/her seeing the stimulus. For the peek-a-boo play, the infant was exposed two different facial expression conditions, which are involved a smile and a non-smile faces respectively. Results showed that the quantity of oxy-Hb in a smile condition significantly increased more than in a non-smile condition, and that there found a significant trend for the interaction between age in month and stimulus condition showed. Those indicated that infants could discriminate the facial expressions with their development in terms of their brain activation, and that this discriminative development would be due to the sensitivity development for the high frequency band involved in the facial features.

Key words: facial expression recognition, development, Near-infrared Spectroscopy

キーワード：表情認知, 発達, 近赤外分光法

## 問題と目的

乳児は生後1ヶ月でもマルチモーダルに外界の刺激を認識している (Lewkowics, 1996)。養育者をはじめとした人との相互作用の中で、様々な刺激に触れるこ

本論文は、課程博士候補論文を構成する論文の一部として、以下の審査委員により審査を受けた。

審査委員：利島 保 (主任指導教員), 山崎 晃,

兒玉憲一, 鈴木伸一

とが、乳児の認知・情動発達にとって重要である。しかし、言葉を獲得していない乳児にとっては、相互作用中の具体的な言葉かけそのものよりも、それに付随する表情や声の調子などの非言語的情報が大きく影響すると考えられる。中でも表情は、発達初期から周囲の人達との対人的コミュニケーション手段となっており、この非言語的コミュニケーション情報を理解する能力の発達が、乳幼児の愛着形成 (Izard, 1991) や社会的参照 (Klinnert, 1984) の背景にもなっている。

特に、人の幸福な顔というのは、話しかけやすい顔

として認識されており(吉川・中村, 1994), 乳児にとっても養育者の幸福な顔は接近しやすく, 相互作用しやすい顔と考えられる。

では, 乳児は相互作用しやすい顔とそうでない顔を見分けているのであろうか? 生後間もない乳児でも, 顔と似た特徴をもつ刺激をそうでない刺激よりも選好注視する (Johnson, Dziurawiec, Ellis, & Morton, 1991)。つまり, 乳児において顔そのものに対して選択的に注意が向いていると考えられる。また, 顔の中でも, 自分の母親の顔と他の女性の顔を弁別する (Field, Cohen, Garcia, & Greenberg, 1984) ことや, 未知の女性の顔同士を弁別すること (Pascalis & deSchonen, 1994) も明らかになっている。しかし, 1ヶ月以内の乳児は, 髪を覆ってしまうと弁別が困難になる (Bartrip, Morton, & deSchonen, 2001) ことから, 顔内部の特徴のみでは顔の弁別が困難であることがわかる。生後5ヶ月を過ぎた頃になると, 顔の内部特徴間の詳細な配置を処理する能力が発達する (Bhatt, Bertin, Hayden, & Reed, 2005) と言われている。このような静的な顔刺激要素の特徴抽出能力の発達を前提として, 運動情報を含む動的な表情認知ができると考えられる。

乳児の表情認知に関しては, 注視時間を測定とする研究において, 生後3ヶ月程度で, 微笑みのような表情とそれ以外の表情を弁別する能力をもつという報告がある (Berrera & Maurer, 1981)。また, 生後4ヶ月ではポジティブな表情を (LaBarbara, Izard, Vietze, & Parisi, 1976), 7ヶ月ではネガティブな表情を (Nelson & Dolgin, 1985) より長い時間見るということも明らかにされており, 表情に対する発達の変化が認められている。

しかし, 成人の視覚のコントラスト感度と比較すると, 生後3ヶ月くらいまでの乳児のコントラスト感度は, 低空間周波数領域にある (Banks & Salapatek, 1978)。したがって, 3ヶ月程度の乳児は, 表情の弁別が困難であると思われる。他方, 生後6ヶ月程度になると, 表情に関する不変情報を抽出できるという研究結果 (Cohen & Strauss, 1979; Sherrod, 1981) からすると, 顔内部パーツの詳細な特定ができ, 高空間周波数の処理が可能になっていることを示唆している。したがって, コントラスト感度の発達という視点からすると, Berrera and Maurer (1981) が示したような3ヶ月で表情弁別ができるというのは疑問である。

このような表情弁別の発達の变化は, これまでの馴化-脱馴化パラダイムや選好注視法などの行動指標により, 行動レベルで検証されてきたが, その行動を支えている脳機能についてはほとんど解明されていない。その理由は, 乳児が物を見聞きしている自然な状

態での脳活動を計測する安全で簡便な手法がなかったことにある。Casey and deHaan (2002) は発達研究において脳イメージングという新しい指標を用いることを推奨している。それは, 脳イメージング技術を用いることで, 脳レベルにおける乳児の知覚能力の理解を深めてくれると考えられるからである。また, 表情は乳児にとっても社会的な情動情報であり, 乳児期における社会情動情報が脳の発達に重要な役割を果たす (Schore, 1994) ことから, 社会情動情報の質的な違いを表情に反映させ, 脳活動との関連で検討していくことには大きな意義があると考えられる。

そこで本研究では, 近赤外分光法 (near-infrared spectroscopy; NIRS) という乳児にも非侵襲的に使用できる脳イメージングの手法を用いて, 表情弁別の発達の变化を脳活動の観点から検討することを目的とする。これまでの研究から, 3ヶ月齢では, 周波数処理能力の未熟さのために表情の弁別はできず, 6ヶ月齢以降に表情弁別が可能になると予測される。この周波数成分の処理という観点から, 表情情報の処理が可能な6ヶ月時点を基準に, その前後3ヶ月, つまり同一乳児の生後3ヶ月, 6ヶ月, 9ヶ月と月齢を追うことで縦断的に測定し, 表情弁別と脳機能の発達を検討した。

## 方 法

**参加児** 13児の健康な乳児が実験に参加した。そのうち, 3回の測定時期に1回でも参加できなかった児や1回の測定を最後まで遂行できなかった児を除いた8児 (男児4名, 女児4名) を分析対象とした (分析採択率62%)。

対象児は, 2004年4月から2005年8月までに平均2846.6 (2516~3072)g産で生まれた。測定時期は, 各児が3ヶ月, 6ヶ月, 9ヶ月の時期で個別に行った。

尚, この研究は大学院教育学研究科の研究倫理委員会の承認の下で実施され, 母親あるいは施設児の場合には施設長からインフォームド・コンセントを得た。

**刺激** 刺激を統制するため, 対象児にとって見知らぬ女性 (20代) が, 「いないいないばあ」遊びを対象児に向けて行っているような映像を刺激として用いた。1回の「いないいないばあ」は, 「いないいない」と顔を手で覆うしぐさを2秒, 「ばあ」と手を広げて顔を出すしぐさを3秒の計5秒から構成され, 6回繰り返した30秒を刺激区間とした。手を広げて顔を出すときに笑顔の表情をsmile条件, 真顔の表情をnon-smile条件とし, 対象児は2条件を経験した。映像はビデオテープに撮影し, 刺激提示前後30秒間は1秒毎

## 結果

に反転する白黒のチェッカーボード映像を加え、パーソナルコンピュータ (PCG-ZIV/P; SONY) に収録し呈示した。画面上の刺激の大きさは、縦18cm×横24cmとした。

**脳血行動態反応の装置と記録** 脳血行動態反応測定用の2チャンネルNIRS装置として、赤外線酸素モニター装置 (NIRO200; 浜松ホトニクス製) を使用した。

NIRSとは、近赤外光を用いて生体のヘモグロビン濃度を測定し、局所脳血量を測定する方法である。脳が活動すると、その活動が起こった脳部位で酸素が消費され、その酸素を運ぶために血流が増加する。酸素と結合したヘモグロビンを酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb)、酸素と離脱したヘモグロビンを脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb) という。この2種類のヘモグロビンの分子吸光係数は、約800nmの波長の近赤外光で等しくなるため、これより長い波長側と短い波長側の2点で分光計測を行うことによって、脳活動に伴うoxy-Hbとdeoxy-Hbの濃度の時間的変化を分けて測定できる (呉・長谷川, 2005)。

また、NIRSは乳児にとっても非侵襲的で簡便に測定でき、安定して信頼できるデータを取得することができる (Aslin & Mehler, 2005)。したがって、一般的な乳児の発達を脳機能から検討するのに適した指標であると考えられる。

本実験では、脳血行動態変化は1秒毎にサンプリングした。また、右下前頭葉が表情認知を司るという研究結果より (Hornak, Rolls, & Wade, 1996)、脳血行動態反応を測定する脳部位を前頭領域の左右とするため、国際10-20法のFp1、Fp2を基準として前額の左右にプローブを設置した。

**手続き・実験計画** 実験は比較的静かな個室で行った。NIRSのセンサーを接着した乳児を実験協力者が抱き、パーソナルコンピュータの前に座り、乳児にコンピュータ画面を注視させた。その際、乳児と刺激呈示画面は約30cmであった。30秒のベースライン区間 (チェッカーボード) と30秒の刺激区間 (いないいないばあ) と30秒の安静区間 (チェッカーボード) を1つの条件とし、smile条件とnon-smile条件の2条件をカウンターバランスし呈示した。

以上のことから実験計画は、月齢 (3: 3ヶ月, 6ヶ月, 9ヶ月) × 表情 (2: smile条件, non-smile条件) × 測定部位 (2: 右前頭領域, 左前頭領域) の3要因被験者内計画とした。

NIRS測定によって得られる指標の中で、oxy-Hbは刺激に対する脳賦活を敏感に反映するため (Hoshi, Kobayashi, & Tamura, 2001)、分析対象をoxy-Hbの値に限定した。しかし、実験中の体動などがノイズとして大きく値に影響している為、各対象児の平均oxy-Hb値を算出し、 $\pm 2SD$ の値をカットオフした。また、乳児におけるNIRS研究では、oxy-Hbのゆるやかなゆらぎ (slow oscillations of the hemoglobin oxygenation) が見られるため (Urlesberger, Trip, Ruchti, Kerbl, Reiterer, & Muller, 1998)、ゆらぎや不安定なベースラインを修正するため一次フィッティングをかけて調整した。

図1は、対象児8名の時間変化に伴う平均oxy-Hb値を示している。月齢ごとに表情刺激に対する反応も異なるように見えるが、個人差が大きく、刺激に対す

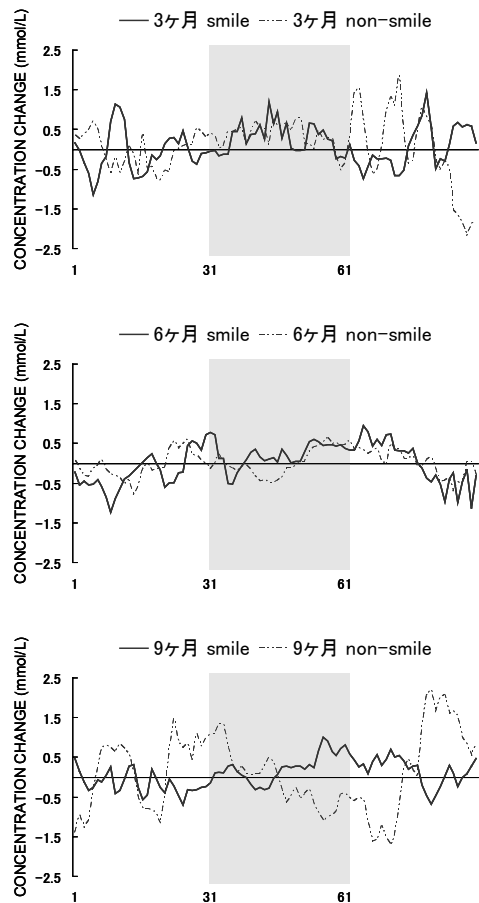


図1. 時間変化に伴う平均oxy-Hb量 (上段から3ヶ月, 6ヶ月, 9ヶ月)

る反応の差異がわかりにくいいため、得られたデータを量的に分析する。

刺激を呈示することによって、ベースラインからどれくらい oxy-Hb 量が増加したかという変化量を算出した。その際、刺激の表情差を考慮するため、「いないいないばあ」において手が開いている「ばあ」区間（各 3 秒 × 6 回呈示）18 秒の平均値と「いないいないばあ」刺激が始まる直前の 10 秒間の平均値を減算し、平均変化量とした。

算出した平均変化量値について、月齢 × 表情 × 測定部位の分散分析を行った。その結果、表情の主効果が有意であり ( $F_{(1,7)}=5.943, p<.05$ )、smile 条件 ( $M=0.305, SD=0.309$ ) が non-smile 条件 ( $M=-0.253, SD=0.436$ ) よりも oxy-Hb 量が増加していた。また、月齢と表情の交互作用も有意傾向であり ( $F_{(2,14)}=2.735, p<.10$ )、3 ヶ月時には smile 条件にも non-smile 条件にも活性化しているのに対し、6 ヶ月、9 ヶ月と月齢が進むと、smile 条件には活性化、non-smile 条件には脱活性化を示した。図 2 に、月齢に伴う表情刺激に対する oxy-Hb 量の発達的变化を示した。

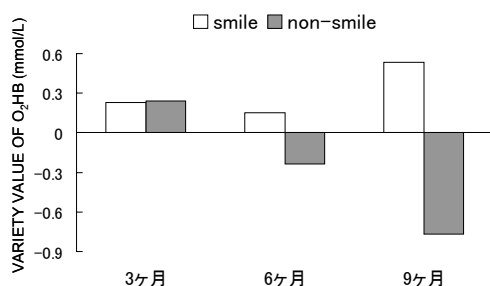


図 2. 表情刺激に対する oxy-Hb 平均変化量

## 考 察

本研究は、乳児が社会情動情報である表情に対して、脳の前頭領域でどのように処理しているのか、異なる 2 つの表情の弁別が脳活動にどのように反映されるのか、また、表情処理に月齢による差があるかどうかを NIRS を用いて検討した。

まず、月齢や前頭領域の左右差に関係なく、non-smile 条件を見ているときよりも smile 条件を見ているときの方が有意に前頭領域において活性化していた。つまり、表情の質的な違いを前頭領域で処理していることが示された。これは、成人の前頭眼窩回を含む下前頭葉の損傷者が、表情による感情の表出や理解の両方に障害が現れるという結果や (Hornak, Rolls, & Wade,

1996)、同じ表情を選ぶ課題 (George, Ketter, Gill, Haxby, Ungerleider, Herscovitch, & Post, 1993) や表情が持つ意味を評価する課題 (Nakamura, Kawashima, Ito, Sugiura, Kato, Nakamura, Hatano, Nagumo, Kubota, Fukuda, & Kojima, 1999) においても前頭皮質が、特に右下前頭葉が活動するという結果と一致し、前頭皮質における表情の認識が乳児においてもその機能を果たしている結果といえる。しかし、本研究では、前頭領域の左右差が見られなかったことから、生後 9 ヶ月頃までは表情認識における前頭領域の半球優位性は現れないと考える。

また、選択的に smile 条件において前頭領域が活性化していた結果は、乳児と養育者の相互作用場面において頻繁に見られる表情が smile である、ということも関連するようと思われる。すなわち、乳児は、養育者との相互作用を繰り返すことによって、相互作用における反応の仕方や予測を発達させる。「いないいないばあ」遊びというのは、年少の乳児期から多用される遊びであり、乳児と積極的に関わろう、乳児の注意を向けさせようとするれば、「ばあ」と手を開いた時に、養育者は乳児を長く見つめ、にっこり微笑むというパターンをとる。この遊びに関しては、人によってタイミングが大きく異なることも少なく、一般的に似たパターンを示すと考えられる。本実験が終了する 9 ヶ月までにも、養育者による「いないいないばあ」遊びを乳児が経験している可能性は大いにあり、「いないいないばあ」遊びという相互作用でのタイミングや反応の仕方の理解が発達していたとも考えられる。Rochat (2001, (板倉・開監訳, 2004)) によると、少なくとも生後 4 ヶ月から 5 ヶ月までに、乳児は自分の母親のタイミングや相互作用における相対的な随伴性への調律を発達させ始めることを示唆している。つまり、本実験の参加児たちも、「いないいないばあ」遊び、そのもののタイミングや反応を獲得しており、一般的な「いないいないばあ」遊びにおいて表出されるように「ばあ」と手が開いた時に笑っている表情、つまり smile 条件に対して、社会的随伴性の検出がみられたと考えられる。Bigelow (1998) は、5 ヶ月児を対象に、自分の母親と似たような対応をする見知らぬ人を、似ていない対応をする見知らぬ人よりも好む、という結果を出している。ここで、母親と似た対応というのは、自然なやりとりでの乳児への反応の素早さを指している。「いないいないばあ」遊びに限れば、養育者間で反応の素早さが異なるとは考えにくく、往々にして主たる養育者である母親あるいは母親代理の人物と「いないいないばあ」遊びを行っていたと考えれば、本実験で用いた見知らぬ女性へも般化した結果と考えるこ

とができる。

次に、月齢と表情の交互作用が有意傾向を示したことについて考察する。3ヶ月齢では、周波数処理能力の未熟さのために表情の弁別は十分できず、6ヶ月齢以降に表情弁別が可能となると仮説をたてたが、この点についておおむね検証されたと考えられる。すなわち、本研究において、3ヶ月では、smile条件にもnon-smile条件にも同程度に活性化していた。このことは、2種の表情に関しては弁別が十分できていない可能性があり、表情というよりも「顔」そのものに対する活性化と考えられる。3ヶ月時点での空間周波数処理は、まだ低い段階で留まっており、低空間周波数でも処理可能な顔の輪郭やおおまかな目鼻の位置を処理したことから「顔」に対して乳児の注意が向いた結果と考えられる。さらに、生後3ヶ月頃は社会的微笑の発生時期であり、そのメカニズムは人の「顔」そのものに注意が向くことにより起こることからも発達の反応特性が脳活動のレベルからも説明できた。

それに対し、6ヶ月、9ヶ月と月齢が進むと、smile条件とnon-smile条件では前頭領域の活性化の方向が異なる結果を示すようになっていた。つまり、乳児はこれらの2種の表情の違いを弁別していると考えられる。すなわち、smile条件に対して、前頭領域が活性化していたことは、前述した通り、これまでの養育者との相互作用における「笑顔」への般化と捉えることができる。更に、smile条件である「笑顔」をいわゆる「安全基地」として捉えている可能性もある。乳児は数ヶ月の間に驚くほど成長・発達する。生後1年ほどになると、姿勢のコントロールや探索スキルが成熟し、乳児は物理的な対象に注意を向けるようになると言われている（Rochat, 2001（板倉・開監訳, 2004））。例えば、母親からより遠くに離れて冒険するようになると、乳児は母親の顔を注視する時間が増す傾向がある（Sorce, Emde, Compos, & Klinnert, 1985）。これは、乳児が物体探索に興味を持つのにに対し、その一方で養育者の存在や近接性を求めるようになるからである。それはいわゆる社会的参照であり、「そのオモチャで遊んでもいいわよ」と養育者が微笑む、つまり笑顔の表情を求めるという意味で、1歳に近い9ヶ月頃になるとsmile条件に対しての活性化が大きくなったと考えられる。

NIRSは開発からの歴史が浅い脳イメージングの指標であり、未だにoxy-Hbの活性化の意味や脱活性化（マイナス方向に血液量が減る）の解釈が不十分などところがある。本研究でも、non-smile条件である真顔には脱活性化がみられた。しかし、本研究では、真顔をベースラインとして扱っているため、真顔よりも笑

顔が脳の前頭領域の活性化にどのように作用していたのかを見たので、本研究の考察としては真顔の脱活性化については深く触れず、non-smile条件での脱活性化は、測定部位以外の脳部位に血液が流れた（Lichty, Sakatani, Xie, & Zuo, 2000）、という解釈に留める。今後は、ベースラインとしての真顔がどのような処理メカニズムをもっているのかを更に検討していきたい。

**付記** 本論文は、平成14年度科学研究補助金（基盤研究（A）（2）課題番号14201012：研究代表者 利島 保）の一部に基づいている。

## 【引用文献】

- Aslin, R. N., & Mehler, J. (2005). Near-infrared spectroscopy for functional studies of brain activity in human infants: promise, prospects, and challenges. *Journal of Biomedical Optics*, *10*, 011009-1-3.
- Banks, M. S., & Salapatek, P. (1978). Acuity and contrast sensitivity in 1-, 2-, and 3-month-old human infants. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *17*, 361-365.
- Barrera, M. E., & Maurer, D. (1981). The perception of facial expressions by the three-month-old. *Child Development*, *52*, 203-206.
- Bartrip, J., Morton, J., & deSchonen, S. (2001). Responses to mother face in 3-week to 5-month-old infants. *British Journal of Developmental Psychology*, *19*, 219-232.
- Bhatt, R. S., Bertin, E., Hayden, A., & Reed, A. (2005). Face processing in infancy: developmental changes in the use of different kinds of relational information. *Child Development*, *76*, 169-181.
- Bigelow, A. E. (1998). Infants' sensitivity to familiar imperfect contingencies in social interaction. *Infant Behavior and Development*, *21*, 149-161.
- Casey, B. J., & deHaan, M. (2002). Introduction: new methods in developmental science. *Developmental Science*, *5*, 265-257.
- Cohen, L. B., & Strauss, M. S. (1979). Concept acquisition in the human infant. *Child Development*, *50*, 419-424.
- Field, T. M., Cohen, D., Garcia, R., & Greenberg, R. (1984). Mother-stranger face discrimination by the newborn. *Infant Behavior and Development*, *7*, 19-25.
- George, M. S., Ketter, T. A., Gill, D. S., Haxby, J. V.,

- Ungerleider, L. G., Herscovitch, P., & Post, R. M. (1993). Brain regions involved in recognizing facial emotion or identity: an oxygen-15 PET study. *Journal of Neuropsychiatry Clinical Neuroscience*, *5*, 384-394.
- 呉 東進・長谷川武弘 (2005). 近赤外分光法による脳血流, 組織酸素代謝の評価 周産期医学, *35*, 1481-1486.
- Hornak, J., Rolls, E. T., & Wade, D. (1996). Face and voice expression identification in patients with emotional and behavioral changes following ventral frontal lobe damage. *Neuropsychologia*, *34*, 247-261.
- Hoshi, Y., Kobayashi, N., & Tamura, M. (2001). Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfused rat brain model. *Journal of Applied Physiology*, *90*, 1657-1662.
- Izard, C. E. (1991). *The psychology of emotions*. Plenum, New York.
- Johnson, M. H., Dziurawiec, S., Ellis, H., & Morton, J. (1991). Newborns' preferential tracking of face-like stimuli and its subsequent decline. *Cognition*, *40*, 1-19.
- Klinnert, M. D. (1984). The regulation of infant behavior by maternal facial expression. *Infant Behavior Development*, *7*, 447-465.
- LaBarbra, V. D., Izard, C. E., Vietze, P., & Parisi, S. A. (1976). Four- and six-month-old infants' visual responses to joy, anger, and neutral expressions. *Child Development*, *47*, 535-538.
- Lewkowics, D. J. (1996). Perception of auditory-visual temporal synchrony in human infants. *Journal of Experimental Psychology0: Human Perception and Performance*, *22*, 1094-1106.
- Lichty, W., Sakatani, K., Xie, Y., & Zuo, H. (2000). Application of Near-Infrared Spectroscopy to Investigate Brain Activity: Clinical Research. In *Optical Sensing, Imaging, and Manipulation for Biological and Biomedical Applications*, *4082*, 34-39.
- Nakamura, K., Kawashima, R., Ito, K., Sugiura, M., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Nagumo, S., Kubota, K., Fukuda, H., & Kojima, S., (1999). Activation of the right inferior frontal cortex during assessment of facial emotion. *Journal of Neurophysiology*, *82*, 1610-1614.
- Nelson, C. A., & Dolgin, K. (1985). The generalized discrimination of facial expressions by 7-month-old infants. *Child Development*, *56*, 58-61.
- Pascalis, O., & deSchonen, S. (1994). Recognition memory in 3- to 4- day-old human neonates. *Neuroreport*, *5*, 1721-1724.
- ロシャ P. 板倉昭二・開 一夫 (監訳) (2004). 乳児の世界 ミネルヴァ書房 (Rochat, P. (2001). *The infant's world*. Cambridge: Harvard University Press.)
- Schore, A. N. (1994). *Affect regulation and the origin of the self*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Publisher.
- Sherrod, L. R. (1981). Issues in cognitive-perceptual development: The special case of social stimuli. In M. E. Lamb & L. R. Sherrod (Eds.), *Infant social cognition: Empirical and theoretical considerations*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. Pp. 11-36.
- Sorce, J. F., Emde, R. N., Compos, J. J., & Klinnert, M. D. (1985). Maternal emotional signaling: Its effect on the visual cliff behavior of one-year-olds. *Developmental Psychology*, *21*, 195-200.
- Urlesberger, B., Trip, K., Ruchti, J. J. I., Kerbl, R., Reiterer, F., & Muller, W. (1998). Quantification of cyclical fluctuations in cerebral blood volume in healthy infants. *Neuropediatrics*, *29*, 208-211.
- 吉川左紀子・中村 真 (1994). 意図的情動表出とその認知Ⅱ - 情動の種類および強度と話しかけやすさの関係 -, 日本心理学会第58回大会発表論文集, 935.