

乳児の泣き声と表情に対するヒトの脳反応

—— fMRI による研究の文献検討 ——

庭 野 賀 津 子

要旨：1999年に発表されたLorberbaumの研究以降、ヒトの母親の子に対する反応の神経基盤を、fMRIを用いて脳を非侵襲的に計測することによって調べる研究が進められている。本研究では、乳児の泣き声、あるいは乳児の表情などの、乳児刺激に対してヒトが示す脳反応を、fMRIによって検討している研究の動向を調査するとともに、今後の課題について検討した。対象とした資料は、1999年から2013年までの間に海外で発表された、乳児の泣き声に対する反応を検討した論文12件と乳児の表情への反応を検討した論文10件であった。各資料より、乳児刺激に対する脳の賦活部位として、扁桃体、帯状回、視床下部、視床、前頭葉眼窩皮質、島、側頭極、腹側前頭前野等が示された。これらの部位は、感情、感情統制、共感、ワーキングメモリー、報酬系等にかかわることが知られており、動物実験で養育行動を引き起こす部位として示された領域と共通していた。親の養育行動の解明には、脳機能計測の他に、内分泌や心理特性、親自身の生育環境など、他の要因も併せて検討していく必要があるが、脳内の神経基盤を明らかにするためには、fMRIによる脳機能イメージングは有効な手段の一つであるといえる。

キーワード：乳児刺激、神経基盤、fMRI

1. 緒 言

言語を獲得する前の乳児は、泣き声、あるいは顔面の表情や身体の動きなどの、聴覚情報と視覚情報によって、養育者（多くの場合母親）に対して様々な情報を発信する。養育者による養育がなければ生存できない乳児にとって、限られた表出手段を用いて情報を伝達することの意義は大きい。

また、乳児特有の容貌は、養育者の養育行動の動機をより高めるものとなる。動物行動学者のLorenz（1971）は、ヒトを含む哺乳類の子ども全般に見られる、丸みを帯びた顔や体、短く太い四肢、身体に比して大きな頭部等、乳児の顔や身体的特徴は養育者に「かわいい」という感情を抱かせるbaby schemaであり、養育者の養護反応が誘発されるものであるとしている。

養育者による養育行動は、乳児の生命の維持と身体発達に必要であるとともに、乳児の社会性や言語、認知の発達において重要な役割を果たす。また、baby schemaだけではなく、乳児の表出する泣き声を始めとする音声や顔面の表情等による欲求や情動の表出からも、養育者の養護反応は引き出される。

主たる養育者である母親について、その育児行動や乳児へ向けた発話の特徴、あるいは育児中の生理学的変化等に注目して行われた研究は多い。母親は乳児の表出する情報を感受性豊かに受

け止め、その意味を解釈して、子のニーズに応じた養育行動を取る。特に泣き声は、隣室などの離れた場所でも知覚することができ、母親にとって重要なサインとなる。これまで、母親の乳児の泣き声の知覚あるいは泣き声によって生じる情動反応について、質問紙、インタビュー等による主観的・自覚的評価による多くの研究が行われてきた。また、泣き声を聞いた時の母親の心拍、血圧、皮膚コンダクタンス、あるいはオキシトシンやコルチゾールなどのホルモン分泌など、生理的・他覚的指標を用いた研究もなされてきた。乳児の泣き声は母親にとって必要かつ有用な情報である一方、母親の育児ストレスを引き起こす原因にもなり得る。また、親以外の人が乳児の泣き声を聞くと不快に感じ、生理的なストレス反応が生じることを示す研究も報告されている。そのため、乳児の泣き声という刺激はヒトの脳に何らかの情動反応を引き起こすものと考えられており、近年の脳の画像診断の発達により、脳機能を計測して養育行動の神経基盤を探ろうとする研究がおこなわれてきている。

ヒトの精神活動と脳機能との関連を解明する方法の一つとして、機能的核磁気共鳴画像（functional magnetic resonance imaging: fMRI）による測定がある。fMRIは、脳活動に伴って局所賦活部における還元ヘモグロビンの増加によって生じる信号強度の変化をとらえ、画像化することによって、時間経過とともに変化するヒトの精神活動と、その活動が行われる脳局在との関連を検討することを可能とする。MRIは脳の画像診断をするための臨床用として開発された。その後、Ogawa et al. (1990) によって、fMRIで測定されるBOLD信号によって脳内の動的な過程を見ることができると報告された。MRIは人体への侵襲が少ないことから、今日では医療目的だけではなく、心理学等の社会科学の研究においてfMRIが用いられることとなった。静的な状態で、聴覚刺激や視覚刺激などによる課題を提示し、課題遂行中の脳を撮像することにより、ヒトの認知反応における神経基盤を解明することができる。

母親の脳が、乳児の泣き声を聞いた時、どの領域がどのような反応を示すのかをfMRIによって明らかにすることができれば、母親の養育行動の傾向を予測し、虐待や育児放棄の防止につなげることも可能かもしれない。母親が乳児の泣き声という聴覚刺激を聞いてどのような脳反応を示すか、fMRIを用いて検討した最初の研究は、Lorberbaum (1999) によるものである。この研究は4名という少数の母親を対象としたパイロットスタディであり、母親の乳児の泣き声に対する脳反応をfMRIによって研究することの有効性を確認することが目的であった。ヒトの場合、育児行動の大半は学習によって獲得される一方、他の哺乳類と同様に、母子の絆に関連するホルモンの分泌などの生物学的基盤は生得的備わっているものと考えられる。しかし、ヒトの母親の子に対する愛着の神経基盤はそれまで明らかにされていなかった。

ヒトを対象とした研究が行われる前に、げっ歯類や霊長類などの哺乳類を対象とした子の泣き声に対する母親の脳反応の研究が行われていた。それらの動物実験において、子の泣き声に対する親の反応、あるいは母親の養育行動は大脳辺縁系の働きと関連が強いことが明らかとなっていた。その中でも、特に、前帯状回、脳中隔、扁桃体などが関与していることが示されていた。さ

らに、前頭眼窩皮質、視床下部、側頭極も母親の養育行動と関連があることが示されていた。そこで、ヒトにおいても同様に、それらの領域の働きが母親の養育行動に関与していることが仮説として立てられた。Lorberbaum et al. (1999) の示した、乳児の泣き声に対する脳反応の研究結果はその仮説を支持するものであり、ヒトの母親も他の哺乳類の母親と同様に、乳児の泣き声に対して前帯状回、前頭眼窩皮質における有意な賦活が確認された。

一方、乳児の顔という視覚的な乳児刺激に対する母親の反応について fMRI を用いて検討した研究では、Nitschke et al. (2004) が先駆けと言える。ヒトの顔に対する脳反応の研究はそれ以前にも行われていたが (e.g., Canli et al., 2002; Gobbini et al., 2004)、母親が乳児の顔を見たときの脳反応について検討した研究はそれまでなされていなかった。母親が自分の子である乳児の顔を見たときに、情動や記憶と関連する脳の部位、たとえば扁桃体、島、側頭回、前帯状回、海馬、背側前頭前野が賦活するという仮説が立てられ、実験によってそれらの部位の賦活が実証された。そしてその後も、自分の子、あるいは他人の子の、顔の写真や動画等の視覚刺激に対する、親、あるいは親以外の成人の脳反応について研究した論文が発表された。Leibenluft et al. (2004) は Nitschke et al. (2004) と同時期に、母親がもっと年齢の高い自分の子ども (5-12 歳程度) の写真を見たときの脳反応を調べた。その結果、Nitschke et al. (2004) における乳児への反応では見られなかった社会的に認知に関わる部位、すなわち、後帯状回や上側頭溝での賦活が見られた。子どもの年齢が変わると子どもとの関係性も変化し、脳反応も変化すると考えられる。また、母親のみではなく、母親以外の女性が乳児の写真を見たときの脳反応を fMRI で検討した研究もある (Caria et al., 2012; Glocker, 2009; Baeken, 2009)。出産や育児の経験のない女性も、乳児の写真に対して母親と共通する部分、たとえば視床、線条体、前帯状回、前頭葉眼窩皮質等の賦活が見られ、それは男性には見られなかったことから (Caria et al., 2012)、女性には乳児に対する特異的な反応性が見られることが示された。また、Proverbio et al. (2008) は、子どものいない若年の男女を対象として、人の顔が写っている写真と風景の写真を視覚刺激として呈示して fMRI で撮像したところ、人の写真に対して、女性の方が男性よりも上側頭回や前帯状回で有意に賦活しており、社会性に関する神経基盤において女性の方が優位であることが示唆された。このように、先行研究によって女性は、乳児、あるいは人の顔に対する反応の神経基盤が男性とは異なっていることが示唆されている。

Lorberbaum et al. (1999) により、乳児刺激に対するヒトの脳反応を fMRI によって撮像し、神経基盤について検討した研究が始められてから 10 年余が経過し、ある程度の研究の蓄積がなされてきた。そこで本研究では、これまで発表されてきた fMRI 研究の論文を資料として、聴覚あるいは視覚による乳児刺激に対するヒトの脳の賦活部位に関する知見を整理するとともに、fMRI による乳児刺激に対する脳反応の研究の課題について考察をする。

2. 方 法

(1) 研究対象の選定

医学雑誌データベースである MEDLINE, PubMed および心理学雑誌データベースである PsycINFO を利用して, 本研究の目的に適合する論文を選定した。検索キーワードを「fMRI」「human」>「neural response」または「brain response」>「infant cry」または「infant face」とした。さらに検索条件を「英語」「査読付学術論文」とした。その結果, 21 件の論文が該当 (2013 年 10 月最終検索) し, それらを分析対象の資料とした。

(2) 分析の視点

対象とする各論文について, 乳児刺激の種類 (聴覚刺激と視覚刺激) によって分類した。また, 研究対象者 (実験参加者) の属性 (親 vs 非親, 男性 vs 女性など) について調査した。さらに, 各論文において示された乳児刺激に対する賦活部位について検討した。

3. 結 果

論文データベースによって検索をした結果, Lorberbaum による 1999 年の論文が乳児刺激に対する脳反応を fMRI で検討した最初の論文であった。それ以降, 2013 年までに発行された論文で用いられている乳児刺激は, いずれも聴覚刺激または視覚刺激であった。聴覚刺激では乳児の泣き声が用いられており, 視覚刺激では乳児の写真または動画が用いられていた。刺激の種類による論文の内訳は, 聴覚刺激 (乳児の泣き声) をもとにした論文が 11 件, 視覚刺激 (乳児の写真または動画) をもとにした研究が 9 件, 聴覚刺激と視覚刺激の両方を用いたものが 1 件であった。それらの文献一覧を, 刺激種別に分類して表 1 と表 2 に示す。掲載雑誌の専門分野の内訳は, 神経科学分野が 9 件, 精神医学分野が 7 件, 小児科学分野が 1 件, 発達科学分野が 1 件, 科学全般を扱う雑誌が 3 件であった。また, 実験の対象は, 母親が 17 件, 非親の女性 6 件, 父親 1 件, 非親の男性 2 件 (1 件の論文で複数の対象群を設定してあるものは重複してカウント) であり, 女性を対象としたものがほとんどで, 男性を対象としたものは少ない。

4. 考 察

(1) 乳児の泣き声に対する反応

本稿で分析対象とした聴覚刺激による研究 12 件の各研究結果が示している, 乳児の泣き声に対して賦活する領域として, 中隔野, 内側視索領域 (medial preoptic area: MPOA), 分界条床核 (bed uncles of the stria terminalis: VBNST) があげられる。これらは前頭部内側に位置する,

表 1. 乳児の泣き声（聴覚刺激）に対する成人の脳反応に関する fMRI 研究の文献一覧

No.	第一著者	発行年	掲載誌	対象者	対象者数 ¹⁾	実験デザイン 呈示刺激	MRI 磁場強度
1	Lorberbaum	1999	Depression and Anxiety	母親（4歳以下の子を持つ）	4	ブロックデザイン 他人の子の泣き声	1.5T
2	Lorberbaum	2002	Biological Psychiatry	母親（生後4-8週の子を持ち、母乳育児中）	10	ブロックデザイン 他人の子の泣き声	1.5T
3	Seifritz	2003	Biological Psychiatry	母親（3歳以下の子を持つ）、父親（3歳以下の子を持つ）、非親女性 ²⁾ 、非親男性	40（各群10）	事象関連デザイン 他人の子の泣き声 vs 他人の子の笑い声	1.5T
4	Swain	2008	Journal of Child Psychology and Psychiatry	母親（初産経膈分娩）、母親（初産帝王切開）	12（各群6）	ブロックデザイン 自分の子の泣き声 vs 他人の子の泣き声	3T
5	Kim	2010	Developmental Science	母親（乳児を持つ）	26	ブロックデザイン 他人の子の泣き声	3T
6	Bos	2010	Psychoneuroendocrinology	非親女性	16	ブロックデザイン 他人の子の泣き声	3T
7	Kim	2011	Journal of Child Psychology and Psychiatry	母親（母乳育児中）、母親（人工乳育児中）	17（母乳育児群7、人工乳群8）	ブロックデザイン 他人の子の泣き声	3T
8	Landi ³⁾	2011	Frontiers in Psychiatry	母親（産後1-3カ月で物質使用中 ⁴⁾ ）、母親（産後1-3カ月で物質非使用）	54（物質使用群26、非使用群28）	事象関連デザイン 他人の子の泣き声	3T
9	Laurent	2011	Proceedings of the National Academy of Sciences	母親（初産）	21	ブロックデザイン 自分の子の泣き声 vs 他人の子の泣き声	3T
10	Montoya	2012	PLoS ONE	非親女性	17	ブロックデザイン 他人の子の泣き声	3T
11	Laurent	2012	Social Cognitive And Affective Neuroscience	母親（大うつ病性障害）、母親（健常）	22（各群11）	ブロックデザイン 他人の子の泣き声	3T
12	Mussera	2012	Developmental Cognitive Neuroscience	母親（初産）	21	ブロックデザイン 自分の子の泣き声 vs 他人の子の泣き声	3T

Note

1) 実際に実験を遂行でき、分析対象とした参加者の人数のみを掲載。

2) ここでの「非親」は、生物学的・社会的ともに親の経験のない成人を示す。

3) Landi (2011) では、聴覚刺激と視覚刺激の両方を実験で用いているため、この文献は表2と重複して掲載。

4) Landi (2011) における「物質使用 (substance use)」は、タバコ、麻薬、アルコールのいずれか、または複数の常用を示す。

表2. 乳児の顔（視覚刺激）に対する成人の脳反応に関するfMRI研究の文献一覧

No.	第一著者	発行年	掲載誌	対象者	対象者数 ¹⁾	視覚刺激	実験デザイン 呈示刺激	MRI 磁場強度
1	Nitschke	2004	NeuroImage	母親（初産で2-4か月齢の乳児を持つ）	6	静止画	ブロックデザイン 自分の子 vs 知らない子 vs 知らない大人	1.5T
2	Ranote	2004	NeuroReport	母親（4-8か月齢の乳児を持つ）	10	動画	ブロックデザイン 自分の子 vs 知らない子	1.5T
3	Noriuchi	2008	Biological Psychiatry	母親（16か月齢の乳児を持つ）	13	動画	ブロックデザイン 自分の子 vs 知らない子	1.5T
4	Strathearn	2008	Pediatrics	母親（初産で10か月齢の乳児を持つ）	28	静止画	ブロックデザイン 自分の子 vs 知らない子	3T
5	Glocker	2009	Proceedings of the National Academy of Sciences	母親（初産で10か月齢の乳児を持つ） 非親女性 ²⁾	16	静止画	事象関連デザイン 知らない子	3T
6	Lenzi	2009	Cerebral Cortex	母親（初産で6-12か月齢の乳児を持つ）	16	静止画	ブロックデザイン 自分の子	3T
7	Strathearn	2009	Neuropsychopharmacology	母親（母親）	30	静止画	事象関連デザイン 自分の子 vs 知らない子	3T
8	Baeken	2009	Brain Research	非親女性 ²⁾	40	静止画	ブロックデザイン 知らない子 (happy vs sad)	1.5T
9	Landi ³⁾	2011	Frontiers in Psychiatry	母親（産後1-3か月で物質使用者 ⁴⁾ 、母親（産後1-3か月で物質非使用者）	54（物質使用者26、非使用者28）	静止画	ブロックデザイン 知らない子	3T
10	Caria	2012	NeuroImage	非親男性、非親女性	16（男7、女9）	静止画	ブロックデザイン 知らない子 vs 知らない大人 vs 動物	4T

注：

- 1) 実際に実験を遂行でき、分析対象とした参加者の人数のみを掲載。
- 2) ここでの「非親」は、生物学的・社会的ともに親の経験のない成人を示す。
- 3) Landi (2011) では、聴覚刺激と視覚刺激の両方を実験で用いているため、この文献は表1と重複して掲載。
- 4) Landi (2011) における「物質使用 (substance use)」は、タバコ、麻薬、アルコールのいずれか、または複数の常用を示す。

比較的小さい領域であるが、動物実験において、母親の育児行動に重要な役割を果たすことが示されている (e.g., Numan, 1994)。その後、ヒトを対象とした研究が行われたことにより、他の哺乳類とヒトの母親の育児行動の神経基盤には共通点があることが示された。Lorberbaum (2002) は、MPOA/VBNST がヒトにおいても母親の育児行動に強く関連しているとしており、乳児の泣き声に反応して、育児行動を引き起こすと考えられる。その他、本稿で取り上げた、乳児の聴覚刺激に対する反応の各研究において、扁桃体、帯状回、視床下部、視床、前頭葉眼窩皮質、島、側頭極、腹側前頭前野、聴覚野等での賦活が報告された。これらの部位は、感情、感情統制、共感性、ワーキングメモリー、ミラーニューロン、報酬系などに関わっており、乳児の泣き声から、さまざまな部位の賦活が引き起こされ、複合的に育児行動を引き起こす役割を果たしていると考えられる。自分の子の声と他人の子の声とで比較した研究では、これらの部位において自分の子に対してより賦活している。

左右半球の差においては、本研究で取り上げた 11 件の論文において、全体的に左半球と比較して右半球の反応が強く出ている傾向にあるが、すべての研究において一致しているわけではなかった。左右差については、聴覚情報、特に音調に関する処理が左右の半球で違うことは以前から指摘されている (e.g., Kimura, 1963)。また、Zatorre et al. (2001) は、陽電子断層撮影法 (PET) による計測で、右半球では周波数の分解能が高く、左半球では時間分解能が高いことを検証した。非言語情報である乳児の音声を周波数分解に優位性のある右半球で情報処理をし、認知することにより、右半球での活性が高まったと考えられる。

(2) 乳児の顔に対する反応

乳児の顔写真や動画を用いて、乳児の視覚刺激から受ける脳反応について検討した研究においても、脳内の様々な部位の賦活が報告されているが、聴覚刺激をもとにした研究では泣き声を主として用いているのに対し、視覚刺激では笑い顔を用いているものが多いため、泣き声による聴覚刺激とは情動への影響が異なると考えられる。また、本稿で取り上げた視覚刺激の研究 10 件は、それぞれ実験デザインが異なるため賦活部位を単純に比較することはできないが、共通した部分としては、視床、大脳基底核 (尾状核、被殻、淡蒼球)、前頭葉眼窩皮質、紡錘状回があげられる。

前頭葉眼窩皮質は、社会脳 (social brain) とも呼ばれ、情動処理、意思決定、報酬系を司っているとされており、ヒトの気質や行動特性に関与していると考えられている。特に、Nitschke et al. (2004) は、親が子どもの写真を見たときに前頭葉眼窩皮質が賦活することに着目している。前頭葉眼窩皮質は、親子間の愛着との関連も指摘されており、親が子どもの写真、特に自分の子の写真を見たときに前頭葉眼窩皮質が賦活することは、子どもの視覚刺激が親の育児行動の動機となるためと考えられる。紡錘状回については、自閉症の研究 (e.g., Grelotti et al., 2002) などから、顔の認知に深く関与していることが明らかにされている。育児経験のある親は、乳児の顔により興味を持ち、表情認知をするため、紡錘状回の賦活が見られるものと推測される。

(3) 親と非親の比較

Seifritz et al. (2003) は、母親、父親、親ではない男性、親ではない女性の4群で比較をしており、育児経験の有無と、男女差の2要因から、乳児の声（泣き声と笑い声）に対する反応を調べた。親と非親、そして男女間の比較を同時に実施した研究はほとんど行われていないため、この研究は貴重な知見を提供している。父親・母親ともに、親は乳児の泣き声に対して、笑い声と比較してより扁桃体が賦活するが、親でない男性・女性とともに笑い声に対して扁桃体が賦活する。扁桃体は情動をつかさどっており、感情の記憶に関与していることから、育児経験のある親は、乳児の泣き声から育児経験を通して記憶された感情が喚起され、扁桃体で情動反応処理が行われる可能性がある。Seifritz et al. (2003) により、育児に関する脳機能の変化は、女性だけではなく、男性においても育児経験を通して生じており、性差だけではなく育児経験の有無も脳反応の変化において重要な要因となることが示唆された。

(4) 自分の子と他人の子との反応の比較

聴覚刺激、視覚刺激のいずれの研究においても、母親を対象として、自分の子と他人の子の刺激を提示し、比較している研究があった。親は、自分の子の声、あるいは自分の子の顔が呈示されると、他人の子よりも、前頭眼窩皮質、島、前帯状回、扁桃体、被殻などで強く反応していた。これらの部位は報酬系として知られており、この領域が関与しているためと考えられる。この、母親による自分の子への特別な脳反応について、Bartels et al. (2004) は、恋愛時と神経基盤が共通していると指摘している。母親は子どもに対して、親密に関わり、無償の愛情を捧げて育児行動に専念する強い動機を持つことにより、子どもを無事に育てあげることができる。その心理状態が恋愛時と共通していると考え、Bartels et al. は先に彼らが研究をした恋愛時の脳活動の結果と比較するため、母親を対象として、6歳以下の自分の子と他人の子の写真を提示して、そのときの脳活動をfMRIによって測定した。その結果、前頭前野と島での賦活がみられ、恋愛時の脳と共通していることを示した。Gallese et al. (2004) は、他人の感情や行動の意味を読み取るのに島が関連しており、他人と関わる経験を重ねることによって、より強く反応するようになることを指摘している。また、Carr et al. (2003) は、島の重要な役割として、感情情報の統合をあげている。母親は、毎日育児を通して自分の子と接することにより、自分の子に接することの喜びや楽しさを感じるとともに、子どもの感情情報を読み取ることを繰り返す中で感情情報を統合し、わが子に対する報酬系の賦活が強くなっているものと考えられる。

そのため、母親を対象に実験をするにあたっては、刺激素材が対象者の子であるか否かも結果を左右する大きな要因となるため、慎重に刺激素材を選定する必要がある。本稿で取り上げた論文では、視覚刺激の方が、対象者の子を刺激素材とする割合が多かった。視覚刺激の方が、自分の子か否かで母親の養育行動に関する部位の賦活がより影響を受けると考えられるために、視覚

刺激を用いた実験計画では対象者の子を刺激素材として使う傾向にあると推測される。

(5) fMRI による乳児刺激に関する研究の今後の課題

動物実験において、解剖や脳の損壊によって実証してきた母親の育児行動の神経基盤を、fMRI を用いることによって、ヒトの脳で非侵襲的に確認することが可能となった。ヒトの育児行動の研究において、fMRI は大変有用であると考えられる。しかし、現在のところ、実験で用いられている刺激は乳児の泣き声等の聴覚刺激または乳児の写真や動画による視覚刺激のみである。今後、別の種類の感覚刺激、たとえば嗅覚や触覚等を用いた刺激の開発が期待される。また、対象者の選定においては、対象者自身の被養育体験、性格、生活環境等、さまざまな要因も育児行動に関連していると考えられることから、実験計画を立てる際には、厳密な対象者の統制が必要となってくるだろう。これまでの研究において、種々の性格検査を含む心理検査を同時に測定して、その結果を、fMRI より得られた結果の解釈や、対象者の群分けに用いているものもあるが、どの性格特性が特に育児行動に影響を及ぼすのか、共通の知見は見出されていない。心理学的要素との関連について、さらに検討をしていく必要があるだろう。また、これまでのところ、研究対象のほとんどが母親であるが、育児経験の有無、あるいは男女間で違いがあることから、さらに、母親以外も対象とした比較研究が望まれる。

fMRI での撮像は、体動を抑制しなければならないため、刺激課題が被験者にとって受動的なものになりがちである。育児行動の場面では、親は主体的かつ能動的に子どもと関わっており、また、子どもからの情報発信も様々なモダリティを活用して積極的に行われている。そのような親子の活発な相互作用が行われている自然な場面での脳活動の記録、たとえば近赤外線分光法 (NIRS) の応用なども合わせて検討していくことが必要なのではないかと考えられる。さらに、脳の賦活だけではなく、分泌系の検討も必要である。たとえば、母性行動と直接関連のあるエストロゲンやオキシトシン、報酬系に関与するドーパミン、ストレスホルモンであるコルチゾール等の分泌と、育児行動における脳機能との関係も検討の余地がある。

このように、fMRI による乳児刺激に対する脳反応の検討には、まだ課題が残されている。しかし、fMRI によって、課題遂行中の脳活動の変化を時間経過とともに計測し、画像化できるというメリットを活かしたこれまでの研究による成果は大きく、今後も fMRI の活用によって新たな知見が出されることを期待したい。

謝 辞

本研究は日本学術振興会科研費 24530831 (研究代表者 庭野賀津子) の助成を受けたものです。

引用文献

- Baeken, C., Raedt, R.D., Ramsey, N., Schuerbeek, P.V., Hermes, D., Bossuyt, A., Leyman, L., Vanderhas-selt, M., Mey, J.D., Luybaert, R. 2009. Amygdala responses to positively and negatively valenced baby faces in healthy female volunteers : Influences of individual differences in harm avoidance. *Brain Research*, 1296, 94-103.
- Bartels, A., Zeki, S. 2004. The neural correlates of maternal and romantic love. *NeuroImage*, 21, 1155-1166.
- Bos, P., Hermans, E.J., Montoya, E.R., Ramsey, N.F., Honk, J.V. 2010. Testosterone administration modu-lates neural responses to crying infants in young females. *Psychoneuroendocrinology*, 35, 114-121.
- Canli, T., Sivers, H., Whitfield, S.L., Gotlib, I.H., Gabrieli, J.D. 2002. Amygdala response to happy faces as a function of extraversion. *Science*, 296, 2191.
- Caria, A., Falco, S., Venuti, P., Lee, S., Esposito, G., Rigo, P., Birbaumer, N., Bornstein, M. Species-spe-cific response to human infant faces in the premotor cortex. *NeuroImage*, 60, 884-893.
- Carr, L., Iacoboni, M., Dubeau, M.C., Mazziotta, J.C., Lenzi, G.L. 2003. Neural mechanisms of empathy in humans : A relay from neural systems for imitation to limbic areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences U S A*, 100, 5497-5502.
- Gallese, V., Keysers, C., Rizzolatti, G. 2004. A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in Cognitive Science*, 8, 396-403.
- Glocker, M.L., Langleben, D.D., Ruparel, K., Loughead, J.W., Valdez, J.N., Griffin, M.D. 2009. Baby sche-ma modulates the brain reward system in nulliparous women. *Proceedings of the National Aca-de-my of Sciences, U.S.A.*, 106, 9115-9119.
- Gobbini, M.I., Leibenluft, E., Santiago, N., Haxby, J.V. 2004. Social and emotional attachment in the neural representation of faces. *NeuroImage*, 22 (4), 1628-1635.
- Grelotti, D.J., Gauthier, I., Schultz, R.T. Social interest and the development of cortical face specialization : what autism teaches us about face processing. *Developmental Psychobiology*, 40 (3), 213-225.
- Kim, P., Leckman, J.F., Mayes, L.C., Newman, M., Feldman, R., Swain, J.E. 2010. Perceived quality of ma-ternal care in childhood and structure and function of mothers' brain. *Developmental Science*, 13, 662-673.
- Kim, P., Leckman, J.F., Mayes, L.C., Newman, M., Feldman, R., Swain, J.E. 2011. Breastfeeding, brain ac-tivation to own infant cry, and maternal sensitivity. *Journal of child psychology and psychiatry*, 52, 907-915.
- Kimura, D. 1964. Left-right differences in the perception of melodies. *Quarterly Journal of Experimen-tal Psychology*, 16 (4), 355-358.
- Landi, N., Montoya, J., Kober, H., Rutherford, H.J. 2011. Maternal neural responses to infant cries and faces : relationships with substance use. *Frontiers in Psychiatry*, 2, article 32.
- Laurent, H.K., Stevens, A., Ablow, J.C. 2011. Neural correlates of mothers' hypothalamic-pituitary-adre-nal regulation with their infants. *Biological Psychiatry*, 70 (9), 826-832.
- Laurent, H.K., Ablow, J.C. 2012. A cry in the dark : depressed mothers show reduced neural activation to their own infant's cry. *Social Cognitive And Affective Neuroscience*, 7, 125-134.
- Lenzi, D., Trentini, P., Pantano, P., Ammaniti, M. 2009. Neural basis of maternal communication and emo-tional expression processing during infant preverbal stage. *Cerebral Cortex*, 19, 1124-1133.
- Lorberbaum, J., Newman, J.D., Dubno, J.R., Horwits, A.R., et al. 1999. Feasibility of Using fMRI to Study Mothers Responding to Infant Cries. *Depression and Anxiety*, 10, 99-104.

- Lorberbaum, J., Newman, J.D., Dubno, J.R., Horwits, A.R., et al. 2002. A potential role for thalamocingulate circuitry in human maternal behavior. *Biological Psychiatry*, 51, 431-445.
- Lorenz, K., 1971. *Studies in animal and human behavior*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- MacLean, P.D., Newman, J.D., 1988. Role of midline frontolimbic cortex in production of the isolation call of squirrel. *Brain Research*, 450, 111-123.
- Montoya, J., Landi, N., Kober, H. 2012. Regional brain responses in nulliparous women to emotional infant stimuli. *PLoS ONE*, 7, Issue 5, e36270.
- Mussera, E.D., Kaiser-Laurent, H., Ablow, J.C. 2012. The neural correlates of maternal sensitivity : An fMRI study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2, 428-436.
- Nitschke, J.B., Nelson, E.E. 2004. Orbitofrontal cortex tracks positive mood in mothers viewing pictures of their newborn infants. *NeuroImage*, 21, 583-592.
- Noriuchi, M., Kikushim, Y., Senoo, A. 2008. The functional neuroanatomy of maternal love : mother's response to infant's attachment behaviors. *Biological Psychiatry*, 63, 415-423.
- Numan, M. 1994. A neural circuitry analysis of maternal behavior in the rat. *Acta Paediatrica Suppl*, 397, 19-28.
- Ogawa, S., Lee, T.M., Kay, A.R., Tank, D.W., 1990. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 87, 9868-9872.
- Ranote, S., Elliott, K., Abel, K.M., Mitchell, R., Deakin, J.F., Appleby, L. 2004. The neural basis of maternal responsiveness to infants : an fMRI study. *NeuroReport*, 15, 1825-1829.
- Seifritz, E., Esposito, F., Neuhoﬀ, J.G., Luthi, A. 2003. Differential sex-independent amygdala response to infant crying and laughing in parents versus nonparents. *Biological Psychiatry*, 54, 1367-1375.
- Strathearn, L., Li, J., Fonagy, P., Montague, P.R. 2008. What's in a smile? Maternal brain responses to infant facial cues. *Pediatrics*, 122(1), 40-51.
- Swain, J.E., Lorberbaum, J.P., Kose, S., Strathearn, L. 2008. Maternal brain response to own baby-cry is affected by cesarean section delivery. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 49, 1042-1052.
- Zatorre, R.J., Belin, P. 2001. Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, 11, 946-953.