

Title	近赤外分光法を用いた対乳児音声に関与する脳反応の検討
Sub Title	Cerebral responses to infant-directed speech and the effect of talker familiarity
Author	直井, 望(Naoi, Nozomi) 皆川, 泰代(Minagawa Kawai, Yasuyo) 小林, 愛(Kobayashi, Ai) 山本, 淳一(Yamamoto, Junichi) 小嶋, 祥三(Kojima, Shozo)
Publisher	三田哲學會
Publication year	2009
Jtitle	哲學 No.121 (2009. 3) ,p.147- 158
JaLC DOI	
Abstract	A number of behavioral studies suggest that infant-directed speech (ID) plays a more important role in facilitating both: a) speech perception, and b) adult-infant social interactions than does adult-directed speech (AD), and hence that ID contributes to subsequent social and language development. However neural substrates that may underlie these ID functions have not been examined. The present study examined cerebral hemodynamic responses to ID in 48 infants (3-13 months of age) using near-infrared spectroscopy (NIRS). Japanese sentences uttered by the infants own mothers and by unfamiliar mothers were used to record activations in temporal and frontal area separately. Increased activations were observed predominantly in infants left and right temporal areas when they listened to ID rather than to AD when both involved voices of their own and unfamiliar mothers. In contrast, significantly greater activations were observed in the frontal area when infants listened to ID produced by their own mothers, not when ID arose from unfamiliar mothers. Together, these findings suggest that: a) ID, but not adult directed speech, increases cerebral activity in the temporal area of infants whether produced by a familiar or unfamiliar voice; and b) ID specific to the voice of an infant's own mother facilitates activity in the frontal areas.
Notes	特集：小嶋祥三君退職記念 投稿論文
Genre	Journal Article

URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00150430-00000121-0147
-----	---

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

投稿論文

近赤外分光法を用いた対乳児音声に 関与する脳反応の検討

直井 望^{1,2}・皆川泰代¹・小林 愛³・山本淳^{—1,2}・小嶋祥三^{1,2}

Cerebral Responses to Infant-directed Speech and the Effect of Talker Familiarity

*Nozomi Naoi, Yasuyo Minagawa, Ai Kobayashi,
Jun-Ichi Yamamoto, and Shozo Kojima*

A number of behavioral studies suggest that infant-directed speech (ID) plays a more important role in facilitating both: a) speech perception, and b) adult-infant social interactions than does adult-directed speech (AD), and hence that ID contributes to subsequent social and language development. However neural substrates that may underlie these ID functions have not been examined. The present study examined cerebral hemodynamic responses to ID in 48 infants (3–13 months of age) using near-infrared spectroscopy (NIRS). Japanese sentences uttered by the infants' own mothers and by unfamiliar mothers were used to record activations in temporal and frontal area separately. Increased activations were observed predominantly in infants' left and right temporal areas when they listened to ID rather than to AD when both involved voices of their own and unfamiliar mothers. In contrast, significantly greater activations were observed in the frontal area when infants listened to ID produced by their own mothers, not when ID arose from unfamiliar mothers. Together, these findings suggest that: a) ID, but not

¹ 慶應義塾大学文学部, ² 日本科学技術振興機構, CREST, ³ 慶應義塾大学社会学部
研究科

adult directed speech, increases cerebral activity in the temporal area of infants whether produced by a familiar or unfamiliar voice; and b) ID specific to the voice of an infant's own mother facilitates activity in the frontal areas.

対乳児音声とは

大人が乳幼児に語りかける際の語りかけにはある特定のパターンの変化が見られ、大人に話かける場合と比較して、全般的にピッチが高い、ピッチの変化幅が大きく抑揚が豊かである、テンポがゆっくりである、発話が短く休止が長い、などの特徴が見られる (Fernald & Simon, 1984; Snow & Ferguson, 1977; Stern, Spieker, Barnett, & MacKain, 1983; Stern, Spieker, & MacKain, 1982). このような、乳幼児に話かける際に特徴的な音声を対乳児音声 (infant-directed speech) と呼ぶ (Cooper & Aslin, 1990, 1994; Pegg, Werker, & McLeod, 1992; Werker & McLeod, 1989).

選好聴取法などの行動指標を用いた先行研究の結果、乳児は、大人に話かけるときの音声（以下、対成人音声とする）と比較して対乳児音声に選好を示すことが通言語的に明らかになっている (Fernald, 1989; Pegg et al., 1992; Werker & McLeod, 1989). さらに、乳幼児は、話し手が女性の場合だけでなく、男性の場合においても、対成人音声と比較して対乳児音声を選好することから、対乳児音声は話し手の性別にかかわらず選好されるようである (Pegg et al., 1992; Werker & McLeod, 1989). 対乳児音声への選好は、生後すぐから見られる (Cooper & Aslin, 1990) が、選好の程度は子どもの月齢によって変化し、生後 7～9 ヶ月において、対乳児音声への選好が減少し、生後 11 ヶ月以降から再び対乳児音声が選好されるという U 字型の発達パターンを示す傾向があることが示唆されている (Hayashi, Tamekawa, & Kiritani, 2001).

近年、対乳児音声は、乳児の言語獲得に及ぼす効果について、行動指標

を用いた検討が行われている。それらの研究の知見から、対乳児音声は単語や節の分節化を促進することが示唆されている (Kemler Nelson, Hirsh-Pasek, Jusczyk, & Cassidy, 1989; Thiessen, Hill, & Saffran, 2005)。また、対乳児音声において、母音が強調されて構音されることが通言語的に見られるが、母親が母音を強調して構音する程度が高い母親の子どもは、生後 6～12 ヶ月の音韻弁別能力が高いことが示唆されており、母子間の交互作用における対乳児音声の使用が、乳幼児の後の言語発達を促進する可能性が示唆されている (Kuhl et al., 1997; Liu, Kuhl, & Tsao, 2003)。

対乳児音声は乳児の発達に及ぼす効果については、言語獲得との関連だけでなく、社会性の発達との関連が示唆されている。対乳児音声は対成人音声と比較して乳児の注意を引くことが示されている (Cooper & Aslin, 1990, 1994; Fernald, & Simon, 1984; Pegg et al., 1992; Stern et al., 1982; Werker & McLeod, 1989)。また、乳児は、対乳児音声に対して対成人音声と比較して笑顔などのポジティブな情動を示すことが報告されている (Fernald, 1989; Werker & McLeod, 1989)。これらの知見から、対乳児音声は、乳幼児の発達において、1) 乳幼児の音声知覚、言語理解を促進し、2) 社会的相互作用を促進する、という 2 つの効果を持つことが考えられる。

対乳児音声の神経基盤に関する研究

対乳児音声は、対成人音声と比較して、乳児の注意を引き、ポジティブな情動を引き出し、さらに、音声言語処理を促進するのであれば、それに対応した脳機能の変化が起こることが推測される (直井・山本, 2007)。しかし、対乳児音声処理の神経基盤について検討を行った研究は少ない。Dehaene-Lambertz, Dehaene, & Hertz-Pannier (2002) は生後 2～3 ヶ月齢の乳児において、対乳児音声刺激を順行再生した刺激と逆行再生した刺激を提示している間の脳活動を、fMRI を用いて検討した。その結果、音

が提示されていない無音条件と比較すると、順行条件と逆行条件の両条件において左側頭葉で大きな活動が見られた。また、近赤外分光法 (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) を用いた検討によって、生後 2～5 日の新生児において、順行再生された対乳児音声を聴取している条件で、無音条件、逆行再生条件と比較して、左側頭葉の活動が上昇することが示されている (Pena et al., 2003)。しかし、これらの研究は、対成人音声と対乳児音声に対する脳反応の比較は行っていない。

乳幼児を対象に、対成人音声と対乳児音声聴取時の脳活動を比較した研究はほとんどない。Zangl & Mills (2007) は、ERP を用いた研究において、既知語が対乳児音声と対成人音声で提示された場合、生後 6 ヶ月児と 13 ヶ月児は、左半球に有意に高振幅の陰性電位 (N600～800) を示した。また、生後 13 ヶ月児は、既知語に対して左側頭と左頭頂領域に有意に高振幅の陰性電位 (N200～400) を示した。Saito et al. (2006) は、NIRS を用いた研究によって、新生児が、自分の母親によって同じ物語が対乳児音声と対成人音声で読まれた刺激を聴取したとき、対乳児音声条件において、対成人音声条件と比較して有意に前頭の活動が上昇したという結果を得ている。しかし、より年長の乳幼児において、対成人音声と対乳児音声の聴取によって前頭部の脳反応にどのような違いが見られるのかについては明らかになっていない。また、Saito et al. (2006) は、各参加児の母親の音声のみを刺激として用いていることから、対乳児音声を聴取時の前頭部の脳活動の上昇が、対乳児音声の話し手が乳児にとって親近性の高い母親の音声を聴取した場合にのみ見られるのか、話し手の親近性にかかわらず見られるのかは明らかになっていない。

対乳児音声に対する脳活動の検討

そこで、Naoi et al. (under revision) は、健常乳幼児を対象に、同じ文章が対乳児音声、または対成人音声によって読まれた刺激を用い、対乳

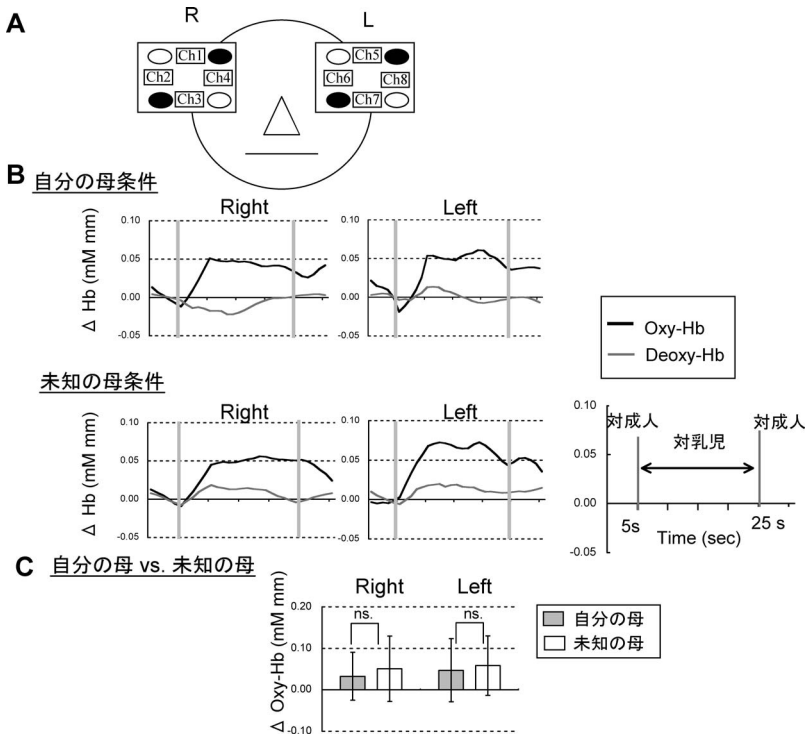


図 1 側頭部計測の結果 (Naoi et al. (under revision), FIGURE 1, FIGURE 2 を一部改変)

A. 側頭部計測におけるプローブ配置。2×2の4チャンネルのプローブを使用し、プローブの下端後方が国際10-20法におけるT3, T4にあたるようにそれぞれ両側頭に配置した。R: 右, L: 左。B. 自分の母条件, 未知の母条件における, 左右側頭部のOxy-Hb, およびDeoxy-Hbの変化。左右各4チャンネルの反応の平均値を図示した。自分の母条件, 未知の母条件の両条件において, 対乳児音声提示されている区間において, 有意なOxy-Hbの上昇が見られた。C. 自分の母条件, 未知の母条件における対乳児音声への反応。Oxy-Hbの変化量に話し手の効果は見られなかった。

児音声に関与する脳反応を, 側頭部および前頭部においてNIRSを用いて計測し, その神経基盤について検討を行った。また, 乳児が自分の母親の音声を聴取した「自分の母」条件と, 未知の母親の音声を聴取した「未

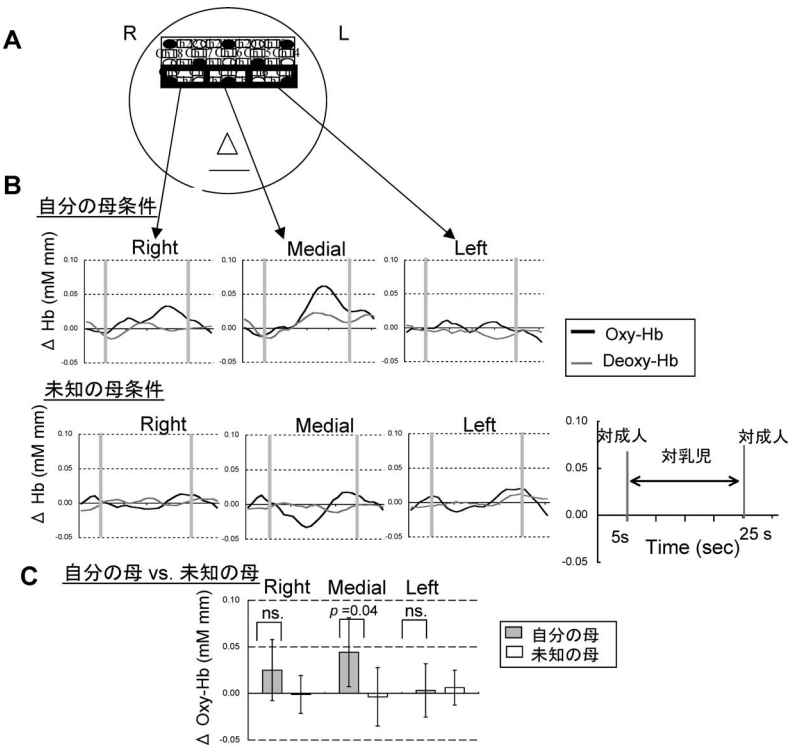


図 2. 前頭部計測の結果 (Naoi et al. (under revision), FIGURE 1, FIGURE 3 を一部改変)

A. 前頭部計測においては、 3×5 の 22 チャンネルのプロローブを、下段が Fp1-Fp2 ラインに相当するように配置した。また、Fp1-Fp2 ラインと鼻根と後頭極を結んだラインが交差する点をプロローブの中心とした。R: 右, L: 左。B. 前頭左右、および中央部の Oxy-Hb、および Deoxy-Hb の変化。前頭下部を右 (Ch4, Ch8, Ch9)、中央 (Ch2, Ch3, Ch7)、左 (Ch1, Ch5, Ch6) の 3 領域に分け、それぞれ 3 つのチャンネルを平均した値を図示した。前頭中央部において、自分の母条件においてのみ、対乳児音声が発示されている区間において、有意な Oxy-Hb の上昇が見られる。C. 自分の母条件、未知の母条件における対乳児音声への反応。前頭中央部において話し手の効果が見られ、自分の母条件において、未知の母条件よりも有意に高い Oxy-Hb の上昇が見られる。

* Naoi et al. (under revision) の図を一部を改変。

知の母条件」を比較した。その結果、側頭部の計測においては、自分の母、未知の母の両条件において、左右側頭部において、対成人音声と比較して対乳児音声に対して、有意な酸化ヘモグロビン (Oxy-Hb) の上昇が見られた。側頭部計測においては、対乳児音声に対する脳活動に、話し手の親近性の効果は見られなかった (図 1)。

また、前頭部計測の結果においては、自分の母条件においてのみ、前頭中央部において、対成人音声と比較して対乳児音声に対して有意に Oxy-Hb の上昇が見られた。未知の母条件においては、右前頭部、前頭中央部、左前頭部のいずれにおいても、対成人音声と比較して対乳児音声において、有意な Oxy-Hb の上昇は見られなかった。また、対乳児音声への脳活動を、話し手条件間で比較すると、前頭中央部においてのみ、自分の母条件で、未知の母条件と比較して有意に高い Oxy-Hb の変化が見られた (図 2)。また、年齢の主効果が有意な傾向にあり、7~9 ヶ月群において、4~6 ヶ月群、10~13 ヶ月群よりも有意に高い Oxy-Hb の変化量がみとめられた。

考察と展望

Naoui et al. (under revision) の結果から、側頭部計測において、自分の母、未知の母両方の対乳児音声に対して、対成人音声と比較して左右聴覚野近傍の有意な賦活が見られた。この結果は、fMRI や NIRS を用いた先行研究において、対乳児音声に対して側頭部の有意な賦活が見られた結果と一致する (Dehaene-Lambertz et al., 2002; Pena et al., 2003)。しかし、対乳児音声に対する脳活動の左右側性化 (ラテラルティ) については、先行研究においては、生後すぐから左側頭領域との関連が示唆されている (Pena et al., 2003; Zangl & Mills, 2007) が、本研究においては、対乳児音声に対して、左右両側頭部で有意に高い活動が見られた。先行研究と本研究において見られるラテラルティの違いについては、刺激の提示方

法や、刺激の音響的特性の違いがかかわっていることが考えられる。音声刺激へのラテラルリティの割合は、刺激の音響的特徴によって変化することが示唆されている (Dehaene-Lambertz et al., 2005; Minagawa-Kawai, Mori, Hebden, & Dupoux, 2008; Poeppel, 2003)。全般的に、音韻のように持続時間が短く急速に変化する分節的特徴は左半球優位に、プロソディのように、持続時間が長い超分節的特徴は、右半球優位に処理されることが示されている (Perkins, Baran, & Gandour, 1996; Poeppel, 2003)。先行研究においては、無音条件と順行再生条件、または順行再生条件と逆行再生条件が比較されていたため、刺激の分節的特徴に対する反応として、左半球優位の活動が示されていたことが考えられる。本研究においては、対成人音声刺激と対乳児音声刺激で同じ文章刺激を用いたため、対成人音声刺激と対乳児音声刺激の分節的特徴の違いは先行研究と比較して小さいと考えられる。よって、対乳児音声刺激と対成人音声刺激間の音響の違いが主に、対乳児音声の特徴である高い平均ピッチや大きいピッチレンジなどのプロソディの側面に見られ、右側頭部においても有意な活動が見られた可能性も考えられる。

前頭部計測においては、自分の母条件において、対乳児音声に対して正中線上の前頭中央部に有意に高い賦活が見られた。また、前頭中央部において、側頭部計測においては見られなかった話し手の親近性の効果が見られ、話し手が自分の母である場合に、未知の母の場合よりも活動が大きかった。NIRS を用いた先行研究では、新生児において、自分の母親の対乳児音声に対して対成人音声と比較して有意に高い賦活が前頭部において示されている (Saito et al., 2003)。本研究の結果は、より月齢の高い乳幼児を対象に同様の結果を得た。また、対乳児音声に対する前頭部の賦活に話し手の親近性が効果を持つことを明らかにした。ERP 研究において、生後 4 ヶ月児が自分の母と未知の女性の声に対して有意に異なる脳反応を示すことが報告されている (Purhonen, Kilpelainen-Lees, Valkonen-

Korhonen, Karhu, & Lehtonen, 2004). これらのことから、生後 12 ヶ月前後の乳幼児は、対乳児音声、対成人音声という話し方の違いだけでなく、話し手についても敏感であることが示唆された。このような話し手に対する敏感性は、母子間の相互作用の安定や愛着の形成に役立っていることが考えられる。母親を対象とした fMRI 研究において、母親が自分の乳児の写真を見ているときに、未知の乳児を見ている条件と比較して有意に高い脳活動が前頭部において得られている (Nitschke et al., 2004). さらに、NIRS を用いた研究によって、母親が自分の乳幼児の笑顔の動画を観察している条件において、未知の母親の乳幼児の笑顔を観察している条件と比較して有意に高い前頭の活動が捉えられただけでなく、乳幼児が、自分の母親の笑顔を観察しているときに、未知の母親の笑顔を観察している条件と比較して有意に高い前頭部の活動が示された (Minagawa-Kawai et al., in press). 本研究では、聴覚刺激を用いて、乳幼児を対象に検討を行った結果、前頭中央部において自分の母親の対乳児音声への反応が見られ、この領域が母子の情緒的結びつきに関係している可能性が示唆された。今後、父親や祖父母など、母親以外の子どもにとって親近性の高い話し手と母親が話し手である条件を比較する必要があるだろう。

最後に、対乳児音声への脳活動と、乳児の月齢との関連を考察する。行動実験の結果から、音韻や抑揚に対する側頭部の脳反応が乳児の月齢によって変化することが示唆されている (Furuya & Mori, 2003; Homae et al., 2006, 2007; Minagawa-Kawai Mori, Naoi, & Kojima, 2007; Sato et al., 2003). しかし、本研究においては、左右側頭部における脳活動に、年齢の効果は見られなかった。一方、前頭部計測の結果については、生後 7~9 ヶ月において 4~6 ヶ月児、10~13 ヶ月児よりも有意に高い脳活動が示された。行動実験においては、対乳児音声への選好は、生後 4~6 ヶ月から 7~9 ヶ月の間に徐々に減少し、10 ヶ月を過ぎる頃に再び選好が見られるようになるという U 字型の発達を示すことが報告されている

(Hayashi et al., 2001). 本研究では、対乳児音声への脳活動のピークは生後7～9ヶ月であり、逆U字型のパターンを示したことから、行動実験とNIRSによる脳活動の結果は一致していない。今後、乳児期の対乳児音声への行動指標、脳機能の指標における反応性がどのように関連しているのか、また、後の言語獲得や社会性の発達とどのように関連するかについての縦断的研究が必要である。

謝 辞

本研究は、JST/CREST および慶應義塾大学人文 GCOE「論理と感性の先端的教育研究拠点」の支援を受けて行われた。また、本研究は、第一著者の博士論文の研究の一部として行われ、データの一部は2006年の第11回認知神経科学会研究にて発表し、現在論文として査読中である。研究にご協力いただいたお子さん、保護者の方々には深く感謝いたします。小嶋祥三先生には、NIRSの使用から、データ解析および論文作成に至るまで、熱心にご指導いただいたことを、ここに厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Cooper, R. P. & Aslin, R. N. (1990). Preference for infant directed speech in the first month after birth. *Child Development*, **61**, 1584–1595.
- Cooper, R. P. & Aslin, R. N. (1994). Developmental differences in infant attention to the spectral properties of infant-directed speech. *Child Development*, **65**, 1663–1677.
- Dehaene-Lambertz, G., Dehaene, S., & Hertz-Pannier, L. (2002). Functional neuroimaging of speech perception in infants. *Science*, **298**, 2013–2015.
- Fernald, A. (1989). Intonation and communicative intent in mothers speech to infants: Is the melody the message? *Child Development*, **60**, 1497–1510.
- Fernald, A. & Simon, T. (1984). Expanded intonation contours in mothers' speech to newborns. *Developmental Psychology*, **20**, 104–113.
- Furuya, I. & Mori, K. (2003). Cerebral lateralization in spoken language proc-

- essing measured by multi-channel near-infrared spectroscopy (NIRS). *Brain and Nerve*, **55**, 226–231.
- Hayashi, A., Tamekawa, Y., & Kiritani, S. (2001). Developmental changes in auditory preferences for speech stimuli in Japanese infants. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, **44**, 1189–1200.
- Homae, F., Watanabe, H., Nakano, T., Asakawa, K., & Taga, G. (2006). The right hemisphere of sleeping infant perceives sentential prosody. *Neuroscience Research*, **54**, 276–280.
- Kemler-Nelson, D. G., Hirsh-Pasek, K., Jusczyk, P. W., & Cassidy, K. W. (1989). How the prosodic cues in motherese might assist language learning. *Journal of Child Language*, **16**, 55–68.
- Kuhl, P. K., Andruski, J. E., Chistovich, I. A., Chistovich, L. A., Kozhevnikova, E. V., Ryskin, V. L. et al. (1997). Cross-language analysis of phonetic units in language addressed to infants. *Science*, **277**, 684–686.
- Liu, H.-M., Kuhl, P. K., & Tsao, F.-M., 2003. An association between mothers' speech clarity and infants' speech discrimination skills. *Developmental Science*, **6**, F1–F10.
- Minagawa-Kawai, Y., Matsuoka, S., Dan, I., Naoi, N., Nakamura, K., & Kojima, S. (in press). Prefrontal activation associated with social attachment: Facial-emotion recognition in mothers and infants *Cereb Cortex*.
- Minagawa-Kawai, Y., Mori, K., Hebden, J., & Dupoux, E. (2008). Optical imaging of infants neurocognitive development: Recent advances and perspectives. *Developmental Neurobiology*, **68**, 712–728.
- Minagawa-Kawai, Y., Mori, K., Naoi, N., & Kojima, S. (2007). Neural attunement processes in infants during the acquisition of a language-specific phonemic contrast. *Journal of Neuroscience*, **27**, 315–321.
- 直井 望・山本淳一 (2007). 乳児への語りかけ—対乳児音声への発達心理学的アプローチ—. *小児科*, **48**, 419–425.
- Naoi, N., Minagawa-Kawai, Y., Kobayashi, A., Takeuchi, K., Nakamura, K., Yamamoto, J., & Kojima, S. (under revision). Cerebral responses to infant-directed speech and the effect of talker familiarity.
- Nitschke, J., Nelson, E., Rusch, B., Fox, A., Oakes, T., & Davidson, R. J. (2004). Orbitofrontal cortex tracks positive mood in mothers viewing pictures of their newborn infants. *NeuroImage*, **21**, 583–592.
- Pegg, J. E., Werker, J. F., & McLeod, P. J. (1992). Preference for infant-directed

- over adult-directed speech: Evidence from 7-week-old infants. *Infant Behavior and Development*, **15**, 325–345.
- Pena, M., Maki, A., Kovac, D., Dehaene-Lambertz, G., Koizumi, H., Bouquet F. et al. (2003). Sounds and silence: An optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, **100**, 11702–11705.
- Perkins, J. M., Baran, J. A., & Gandour, J. (1996). Hemispheric specialization in processing intonation contours. *Aphasiology*, **10**, 343–362.
- Poeppel, D., 2003. The analysis of speech in different temporal integration windows: Cerebral lateralization as asymmetric sampling in time. *Speech Communication*, **41**, 245–255.
- Purhonen, M., Kilpelainen-Lees, R., Valkonen-Korhonen, M., Karhu, J., & Lehtonen, J. (2004). Cerebral processing of mother's voice compared to unfamiliar voice in 4-month-old infants. *International Journal of Psychophysiology*, **52**, 257–266.
- Saito, Y., Aoyama, S., Kondo, T., Fukumoto, R., Konishi, N., Nakamura, K. et al. (2007). Frontal cerebral blood flow change associated with infant-directed speech (IDS). *Archives of Disease in Childhood Fetal & Neonatal Edition*, **92**, F113–F116.
- Snow, C. E. & Ferguson, C. A. (1977). *Talking to children: Language input and acquisition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Stern, D., Spieker, S., Barnett, R. K., & MacKain, K. (1983). The prosody of maternal speech: Infant age and context related changes. *Journal of Child Language*, **10**, 1–15.
- Stern, D., Spieker, S., & MacKain, K. (1982). Intonation contours as signals in maternal speech to prelinguistic infants. *Developmental Psychology*, **18**, 727–735.
- Thiessen, E. D., Hill, E. A., & Saffran, J. R. (2005). Infant-directed speech facilitates word segmentation. *Infancy*, **7**, 53–71.
- Werker, J. F. & McLeod, P. J. (1989). Infant preference for both male and female infant-directed talk: A developmental study of attentional and affective responsiveness. *Canadian Journal of Psychology*, **43**, 230–246.
- Zangl, R. & Mills, D. L. (2007). Increased brain activity to infant-directed speech in 6- and 13-month-old infants. *Infancy*, **11**, 31–62.