

非侵襲的脳機能画像法を用いた社会能力発達過程の解明
— 複数個体間相互作用の定量とその神経基盤の解析

Elucidation of the process by which social skills develop Using
noninvasive functional neuroimaging to quantitate multiple
individual interactions and analyze their interaction

定藤 規弘(Norihiro Sadato)

自然科学研究機構・生理学研究所・大脳皮質機能研究系・教授



研究の概要

発達期における社会能力の正常な獲得過程を、実証的に解析するとともに、獲得過程における病態を解明することを目的とする。「心の理論」以前の萌芽過程および、「心の理論」以後の、他者の心的状態を忖度する能力の発達過程を、複数個体間の社会的相互作用の定量およびその神経基盤を画像化することにより明らかにする。

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：心の理論、対面コミュニケーション、機能的MRI

1. 研究開始当初の背景・動機

他者と円滑に付き合う能力を社会能力と呼び、社会生活をおくる上で必須の能力で、言語性・非言語性のコミュニケーション能力を基盤とした高次脳機能と捉えられる。その神経基盤および発達期における獲得過程については不明の点が多い。

2. 研究の目的

発達期における社会能力の正常な獲得過程を実証的に解析するとともに、獲得過程における病態を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

対面コミュニケーションを含む社会能力の神経基盤およびその発達過程を、行動観察・定量と脳機能イメージングを組み合わせて、乳児から学童、成人にいたるまで一貫して解析する。5歳ごろに通過することが知られている「心の理論」以前の萌芽過程および、「心の理論」以後の、他者の心的状態を忖度する能力(mentalizing)の発達過程を、複数個体間の社会的相互作用の定量およびその神経基盤を画像化することにより明らかにする。乳幼児から10歳までの各年代における社会行動およびその萌芽行動を、統制された条件下で観察記録する。複数の個体の相互作用を、個体の発する社会的信号を視線の動きとして捉える。近赤外光を用いた光学式動態計測を行うことにより、視線の位置と方向を6次元ベクトルの時系列データとして記録する。動的因果関係に基づいた時系列解析モデルを用いて解析することにより、複数の個体間の相互作用を定量する。社会的相互作用の発達を、経時的に追跡する。一方、これらの行動に反映されている心的過程の神経基盤を抽出するために、2台のMRIを用い、成人ならびに学童を対象に、視線を含む個体間の相互作用を伴う行動課題を遂行している最中の脳活動を描出する。

これによって描出された領域に絞って、近赤外線トポグラフィー(NIR)を用いて非拘束条件で、乳幼児期における神経基盤の変化を描出する。

4. これまでの成果

(1) 社会能力の素過程の神経基盤の描出

1. 感情理解における文化的同調の影響: 乳幼児は生後9ヶ月までに感情内容を含むコミュニケーション理解が可能となり、その発達には生物学的な側面と文化的側面が関与するとされている。日本在住の成人日本人と米国在住の白人に対し、日本人の恐れ表情、白人の恐れ表情を提示したところ、恐れ表情を視覚的に提示することにより増強する扁桃体の神経活動が、同国人の恐れ表情に対してより強く活動した。この所見は、恐れ刺激に対する自動的な神経反応が、文化的同調を受けることを示す。

2. 自己認知と自己意識: 1歳半-2歳頃から鏡に映る自分の顔を見て、それが自分であると気付き(視覚的自己認知)、3-4歳の幼児期になると自分の姿や行動を自分で評価し、恥ずかしさなどの自己意識情動を経験するようになる(自己評価)。顔写真を用いて視覚的自己認知、自己への関心、自己評価に関わる神経基盤の違いを明らかにすることを目的として、成人に機能的MRIを行い、右側前頭領域に自己への関心、自己評価のそれぞれに関わる別の領域を発見した。

3. 対面コミュニケーションにおける感覚統合: 人間における発声と唇の動きの感覚統合は、2歳6ヶ月までに、学習により形成される。社会能力の素過程としての対面コミュニケーションの神経基盤を、脳機能イメージングを用いて解析した。特に対面コミュニケー

ションにおける口の動きと発声の統合(視聴覚統合)の神経基盤を描出すると共に、それらに対する聴覚脱失の影響を明らかにした。

4. 向社会行動:向社会行動の誘因の一つとして「他者からの良い評判の獲得」を想定し、まず「社会的行動の誘因となる他者からの良い評判の獲得は、金銭報酬獲得時と同様に報酬系を賦活させる」という仮説のもと成人に対して実験を行った。内側前頭前野における自分の評判の表象と、報酬系である線条体でのその評判の報酬価値査定処理により、我々の向社会行動が支えられていることを示した。

5. 語用論:高次の心の理論を要すると考えられる皮肉理解の神経基盤を描出した。

(2)近赤外光をもちいたアイカメラシステムを設計し、福井大学の2台MRI(1.5T, 3T)の設置と調整を待つて設置し共同注意の神経基盤を描出した。

(3)光学的視線計測装置を含む観察システムを構築し、共同注意ならびにその萌芽過程を評価するための、実験観察用課題を作成した。これらを用いて、乳児縦断観察を開始した。

(4)光学的視線計測装置を用いて小児における友人関係のダイナミクスを統制できる「保育的観察」を作成し、交友関係の形成過程を観察することを開始した。

(5)脳血流計測装置としての validation を行うために、NIRとfMRIの同時計測を行った。NIRから算出される oxygen extraction fraction と fMRI の BOLD 信号が平行することを確認した。

(6)ダイナミック時系列データ解析手法として、多次元自己回帰モデルを拡張し、視線の相互作用を連続的に評価する方法を開発した。

5. これまでの進捗状況と今後の計画

機能的MRIを用いて社会能力の素過程の神経基盤を、特に言語発達と関連付けて引き続き実験・解析する。さらに、上記の実験課題で確定された領域が、対面コミュニケーションにおける2個体間の相互作用においてどのような活動を示すかを、MRIあるいはNIRを用いた同時計測を行うことにより明らかにする。特に相互の視線交換を介した「社会的信号」のやり取りのなかでも、最も重要性の高い「共同注意」について集中的に研究を進める。画像データおよび行動定量データの両者にダイナミック時系列データ解析手法を適用する。さらにコミュニケーション障害(自閉スペクトラム)、発達障害などの疾病群へ適用していく。

6. これまでの発表論文等

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

Izuma K, Saito DN, **Sadato N** (2008) Processing of social and monetary rewards in the human striatum. *Neuron* in press.

Chiao JY, Iidaka T, Gordon HL, Nogawa J, Bar M, Aminoff E, **Sadato N**, Ambady N (2008) Cultural specificity in amygdala response to fear faces. *J Cogn Neurosci* in press.

Morita T, Itakura S, Saito DN, Nakashita S, Harada T, Kochiyama T, **Sadato N** (2008) The Role of the Right Prefrontal Cortex in Self-Evaluation of the Face: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *J Cogn Neurosci* 20:1-14.

Toyoda H, Kashikura K, Okada T, Nakashita S, Honda M, Yonekura Y, Kawaguchi H, Maki A, **Sadato N** (2008) Source of nonlinearity of the BOLD response revealed by simultaneous fMRI and NIRS. *Neuroimage* 39:997-1013.

Moriguchi Y, Lee K, Itakura S (2007) Social transmission of disinhibition in young children. *Develop Sci*. 10:481-491.

Hagura N, Takei T, Hirose S, Aramaki Y, Matsumura M, **Sadato N**, Naito E (2007) Activity in the posterior parietal cortex mediates visual dominance over kinesthesia. *J Neurosci* 27:7047-7053.

Naito E, Nakashima T, Kito T, Aramaki Y, Okada T, **Sadato N** (2007) Human limb-specific and non-limb-specific brain representations during kinesthetic illusory movements of the upper and lower extremities. *Eur J Neurosci* 25:3476-3487.

Perez MA, Tanaka S, Wise SP, **Sadato N**, Tanabe HC, Willingham DT, Cohen LG (2007) Neural substrates of intermanual transfer of a newly acquired motor skill. *Curr Biol* 17:1896-1902.

Iidaka T, Matsumoto A, Nogawa J, Yamamoto Y, **Sadato N** (2006) Frontoparietal network involved in successful retrieval from episodic memory. Spatial and temporal analyses using fMRI and ERP. *Cereb Cortex* 16:1349-1360.

Iidaka T, Matsumoto A, Haneda K, Okada T, **Sadato N** (2006) Hemodynamic and electrophysiological relationship involved in human face processing: evidence from a combined fMRI-ERP study. *Brain Cogn* 60:176-186.

Kitada R, Kito T, Saito DN, Kochiyama T, Matsumura M, **Sadato N**, Lederman SJ (2006) Multisensory activation of the intraparietal area when classifying grating orientation: a functional magnetic resonance imaging study. *J Neurosci* 26:7491-7501.

守田知代 板倉昭二 定藤規弘 (2007)自己認知と自己評価の発達とその神経基盤 *ベビーサイエンス* 7: 22-20.

<http://www.nips.ac.jp/fmritms/>