

## ミニレビュー

## 光トポグラフィによる脳機能マッピング

酒井邦嘉

1995年にはじめて報告された光トポグラフィ (optical topography, OT)<sup>1)-3)</sup> は、無侵襲的に脳の機能をマッピングする新しい手法である。健常者を対象に脳機能を調べる技術は、無侵襲であり安全性が認められていなければならない。これまで用いられてきた PET (ポジトロン断層撮影法) では、<sup>15</sup>O で標識された水またはガスを体内に投与するので、半減期が2分とはいえ内部被曝の危険性があり、同じ人に対する実験回数が制限される。1992年にはじめて報告された fMRI (機能的磁気共鳴映像法) は、被験者の脳の活動状態を、外から頭部に磁場をかけるだけで画像化する画期的な手法である<sup>4)</sup>。現在のところ、PET および fMRI による脳機能マッピングの研究は急速に進行しており、認知脳科学における重要な知見を明らかにしつつある<sup>5)</sup>。本稿では、光トポグラフィによる脳機能マッピングの新しい可能性を紹介したい。

光トポグラフィは、被験者の脳の活動状態を、外から近赤外のレーザー光を当てるだけで画像化する手法である<sup>3)</sup>。使用するレーザー光の強度は  $2 \text{ mW/mm}^2$  以下であり、太陽光よりも十分弱い程度なので安全である。その生理的な原理は、血液中の酸化ヘモグロビン (Hb-O<sub>2</sub>) と還元ヘモグロビン (Hb) の濃度が、神経活動に伴って変化することに基づいている。ヘモグロビンの濃度が変化すれば、近赤外光の吸収量も変化するので、大脳皮質からの反射光と散乱光を局所的にフォトダイオードで検出すれば、神経活動の時間変化を間接的に観察できることになる。血流量の変化を計測する

という意味では、光トポグラフィは fMRI と同様の信号を対象にしている<sup>4)</sup>。神経活動の変化が血流量の変化に反映されるまでに約6秒の遅れがあるため、二つの手法の時間分解能は、実効的に等しくなる。光トポグラフィの空間分解能は、2-3 cm であるが、これは入射光と検出器の間隔が約3 cm で最適であることによる。空間分解能の点では、fMRI が特にすぐれた解像力 (1-3 mm) を発揮する。

しかし、光トポグラフィには fMRI にはないいくつかの利点がある。第1に、光トポグラフィでは、酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの濃度変化を独立に計測することができる。fMRI における信号変化は、主として還元ヘモグロビンの濃度変化を反映していると考えられているので、光トポグラフィでは新たに酸化ヘモグロビンについての情報が得られるわけである。第2に、光トポグラフィの計測では、fMRI で問題になるようなスキャンに伴う騒音が生じないので、聴覚などの実験に適している。第3に、光トポグラフィでは被験者の頭部を固定しなくてよいので、楽な姿勢で長時間の実験を行うことができる。特に乳幼児を対象とする実験では、この点が重要である。一方、光トポグラフィの限界は、大脳皮質の表面からしか信号が得られないことである。しかしながら、以上の利点を生かすような実験パラダイムを考案すれば、脳機能マッピングに新しい可能性が生まれてくるであろう。

認知脳科学が対象にする認知機能の中でも、言語の問題はとりわけ重要である<sup>6),7)</sup>。言語は知覚・記憶・意識と相互作用する最も高次の機能であり、ヒトを対象にしなくては解明できないものである。光トポグラフィの応用としても、やはり言語機能の解明が第一に考えられる。最近になって、光トポグラフィを用いた言語研究の成果が発表されてきている<sup>8),9)</sup>。

筆者らは、音声認識に伴う大脳皮質の活動を、光トポグラフィにより調べた<sup>9)</sup>。被験者は、右利きの成人男性7名である。図(a)は、

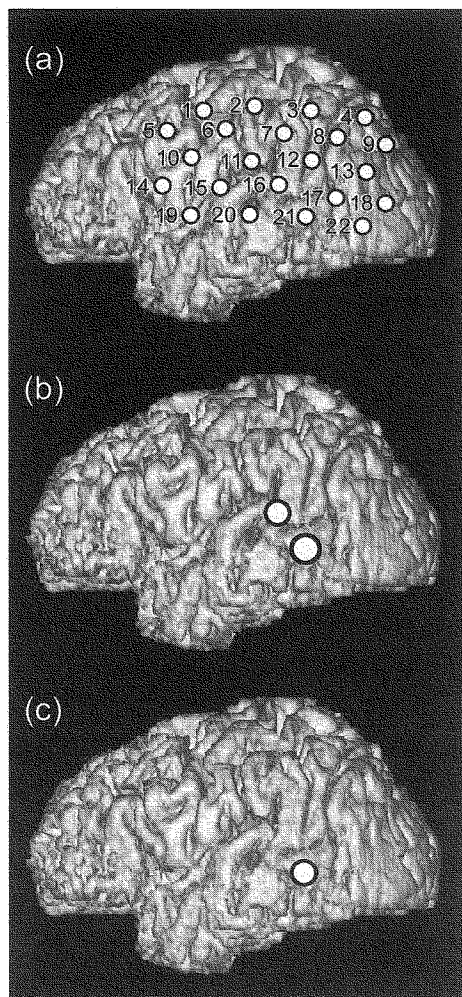


図 光トポグラフィによる音声認識の皮質活動

左脳の外側面における22点の計測部位を示している。課題には、一方の耳に言語刺激、他方の耳に言語刺激の音節を入れ替えた無意味刺激を提示する両耳分離聴刺激を用いた。言語刺激の方を識別して、これが逆側の耳に移行した場合にスイッチを押すよう指示した。各試行では同じ文が繰り返されるリピート条件か、複数の文が物語を構成するストーリー条件のいずれかを用いる。その結果、両条件下で上側頭回および中側頭回付近に、顕著な酸化ヘモグロビン濃度の増加と還元ヘモグロビン濃度の減少が観察された。図(b)は、2条件の直接比較で酸化ヘモグ

ロビンが変化した計測点を示している。図(c)は、同様に還元ヘモグロビンの場合である。二つの図にある○の大きさは、活動の相対強度を表す。リピート条件における変化量は、ストーリー条件の約半分であった。したがって、この側頭葉上部の活動は、音声・記憶・言語情報の処理過程に伴う負荷を反映すると考えられる。以上のような成人で見られる大脳皮質の活動は、乳幼児でも観察できるのだろうか。近い将来、音声認識における言語獲得を光トポグラフィで調べることができれば、言語の脳科学は飛躍的に進歩すると思われる。

Key Words : optical topography, hemoglobin, cognitive neuroscience, language, speech recognition

## 文 献

- 1) Maki, A., Yamashita, Y. et al. : Spatial and temporal analysis of human motor activity using noninvasive NIR topography, *Med. Phys.*, **22**, 1997-2005 (1995)
- 2) Yamashita, Y., Maki, A. and Koizumi, H. : Near-infrared topographic measurement system : Imaging of absorbers localized in a scattering medium, *Rev. Sci. Instr.*, **67**, 730-732 (1996)
- 3) 小泉英明 : 新しい無侵襲高次脳機能計測法, *神経心理学*, **14**, 19-25 (1998)
- 4) 酒井邦嘉 : エコーブレナ法 MRI による脳機能マッピング, *医学のあゆみ*, **175**, 189-194 (1995)
- 5) 酒井邦嘉 : “心にいどむ認知脳科学—記憶と意識の統一論”, 岩波書店, 東京 (1997)
- 6) 酒井邦嘉 : 言語の認知脳科学, *生体の科学*, **49**, 10-22 (1998)
- 7) 酒井邦嘉 : 言語獲得の脳科学, 同上, **49**, 40-53 (1998)
- 8) Watanabe, E., Maki, A. et al. : Non-invasive assessment of language dominance with near-infrared spectroscopic mapping, *Neurosci. Lett.*, **256**, 49-52 (1998)
- 9) Sato, H., Takeuchi, T., Sakai, K. L. : Temporal cortex activation during speech recognition : An optical topography study, *Cognition*, **73**, B55-B66 (1999)

(東京大学大学院総合文化研究科  
認知行動科学)