「脳を創る」
平成９年度採択研究代表者

酒井　邦嘉

（東京大学大学院総合文化研究科　助教授）

「言語の脳機能に基づく言語獲得装置の構築」

１．研究実施の概要

本年度もfMRI（機能的磁気共鳴映像法）と光トポグラフィの２つの手法を両輪として、言語の脳機能マッピングに全力を注いだ。特に、文法処理の脳機能を解析するための新しいパラダイムを開発し、大脳皮質の機能分化を明らかにすることに成功した。また、健常者で大脳皮質の領野と機能の因果関係を明らかにするために、TMS（経頭蓋的磁気刺激法）を導入して、言語の機能モジュールを明らかにする実験を開始した。

２．研究実施内容

⑴　これまで多くの失語症や機能イメージングの研究がなされてきたが、大脳皮質にある複数の言語野と、言語システムの部分要素との正確な対応は依然として不明である。本研究では、文法処理に選択的に関与している皮質領域を同定するために、fMRI（機能的磁気共鳴映像法）を用いた。文法的なエラーを含む文と、綴りのエラーを含む文とを比較する､新しい実験パラダイムを開発した。被験者は、それぞれの刺激文の条件で、エラーが一文にいくつあるかを判断する。文法的なエラーを含む文は、綴りのエラーを含む文よりも、強い活動を大脳皮質の各言語野に引き起こすことが明らかになった。また、この二条件における皮質活動の差は、ウェルニケ野や角回・縁上回よりもブローカ野の方が有意に大きかった。以上の結果は、ブローカ野が文法処理に特化していることを示す直接的な証拠であり、異なる言語知識のモジュールの存在を示唆している。本研究は、科学技術振興事業団の「心表象プロジェクト」とリンクする形で、MITの言語学科と共同で行われた。その成果を発表した論文は、アメリカの科学アカデミー紀要（*Proc. Natl. Acad. Sci. USA*）に掲載された。

⑵　機能イメージングの手法では、脳機能と皮質活動の相関を明らかにすることができるが、皮質活動が脳機能の十分条件になっているかがはっきりしない。TMS（経頭蓋的磁気刺激法）は、健常者で大脳皮質の領野と機能の因果関係を明らかにできる、現在唯一の方法である。この手法で言語の機能モジュールを明らかにするために、文法処理・意味処理・音声処理を比較検討できる新しい実験パラダ

イムを開発した。言語刺激の提示を聴覚または視覚で行い、これと同期して磁気刺激を与えられるように実験システムを整備した。TMSによって、反応時間や正答率といった行動データがどのように変化するかを詳しく調べる。

⑶　新しい無侵襲の脳機能計測技術である光トポグラフィを用いて、言語機能のマッピングを行った。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教示した。各試行では同じ文が繰り返されるRepeat条件か、複数の文が物語を構成するStory条件のいずれかを用いた。２波長の近赤外レーザー光により左側頭部22点を同時計測した結果、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。Repeat条件における変化量は、Story条件下の約２分の１であった。この知見を７名の被験者で確認し、厳密な統計的解析を適用して、本手法を確立することに成功した。本実験で明らかになった側頭葉外側部の活動は、文脈処理過程に伴う負荷、または処理する言語情報量を反映すると考えられる。以上の成果をアメリカ神経科学学会（Sakai et al.）および日本神経科学大会（佐藤ら）で口頭発表して、Cognition （Sato et al.）に論文発表した。また、その要約をレビュー（酒井）にまとめて発表した。

⑷　人間の大脳の神経システムは、構成要素がアナログ的（高い信頼性の離散素子ではない）かつ分散的である一方、自然言語の構文処理に示されるように、機能としては高度な記号（デジタル的かつ集中的）処理を行っている。人工神経回路網を用いてこれをモデルとして表現するために、アナログ的かつ分散的な表層表現に含まれる記号的構造を明らかにし、それを活かした人工神経回路網の構築方法を検討した。その概要をレビュー（櫻井と酒井）にまとめた。

⑸　これまで、近赤外光が人体に対して無害であり透過性が高いことを利用して、近赤外無侵襲脳機能計測方法（光トポグラフィ）を開発してきた。この方法は、fMRIと比較して分解能が低い反面、簡便に脳機能計測が可能であるという特長がある。この特長を生かし、他の計測モダリティーでは計測が困難な、てんかん発作中の脳血流計測や乳幼児の脳機能計測を試みた。

⑹　光トポグラフィの手法を用いて、言語優位性を検討した。20人の健常成人と８人のてんかん例で24チャンネル計測、word generation 中の前頭・側頭葉の活動を観測した。その結果、健常人20例中17例は右利きで、NIRSでは左前頭葉下部Broca領野を中心に血液量の増加が認められた。また、3例は左利きで、右前頭葉下部に血液量の増加が認められた。８例のアミタールテストとの対照例では、７例が一致し、１例は有意な変化が得られなかった。光トポグラフィは非侵襲的に言語優位半球の同定する方法として大変有力な手段と考えられ、アミタールテストの代

換法としての信頼性が期待できる。

３．主な研究成果の発表（論文発表）

○Sato, H., Takeuchi, T. & Sakai, K.L.: Temporal cortex activation during speech recognition: An optical topography study. Cognition 73, B55-B66 (1999).

○Embick, D., Marantz, A., Miyashita, Y., O'Neil, W. & Sakai, K.L.: A syntactic specialization for Broca's area. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 97,6150-6154 (2000)

○Hashimoto, R., Homae, F., Nakajima, K., Miyashita, Y. & Sakai, K.: Attentional influence on speech recognition: An fMRI study of multiple auditory areas. Neuroimage 9, S1057 (1999).

○Sakai, K.L., Sato, H. & Takeuchi, T.: Hemodynamic changes in auditory association cortex during speech recognition: Functional mapping with optical topography. Soc. Neurosci. Abstr. 25, 1813 (1999).

○Embick, D., Marantz, A., Miyashita, Y., O'Neil, W. & Sakai, K.L.: An fMRI study of ungrammaticality in an error-detection task. Soc. Neurosci. Abstr. 25, 1813 (1999).

○Hashimoto, R., Homae, F., Nakajima, K., Miyashita, Y. & Sakai, K.: Multiple pathways in human auditory cortex revealed by a dichotic listening task. Neurosci. Res. Suppl. 23, S293 (1999).

○Sato, K., Takeuchi T. & Sakai, K.: Functional mapping of the auditory cortex during speech recognition with optical topography. Neurosci. Res. Suppl. 23, S294 (1999).

○Nakajima, K., Homae, F., Hashimoto, R., Miyashita, Y. & Sakai, K.: Information processing based on speech recognition in language areas. Neurosci. Res. Suppl. 23, S294 (1999).

○Homae, F., Hashimoto, R., Nakajima, K., Miyashita, Y. & Sakai, K.: Functional brain mapping of context-sensitive processing of language in audition and vision. Neurosci. Res. Suppl. 23, S294 (1999).

○Takeuchi T., Sato, K. & Sakai, K.: Attentional effect on speech recognition: Functional mapping with optical topography. Neurosci. Res. Suppl. 23, S297 (1999).

○酒井邦嘉: 光トポグラフィによる脳機能マッピング. Radioisotopes 49, 115-116 (2000).

○櫻井彰人 & 酒井邦嘉: 言語獲得のモデル. 数理科学 444, 45-51 (2000).

○Hashimoto, R., Homae, F., Nakajima, K., Miyashita, Y. & Sakai, K.L.: Functional differentiation in the human auditory and language areas revealed by a dichotic listening task. Neuroimage 12, 147-158 (2000).

○Homae, F., Hashimoto, R., Nakajima, K., Miyashita, Y. & Sakai, K.L.: Contextual decision vs. lexical decision: An fMRI study of language processing. NeuroImage 11, S289 (2000).