

「脳の機能発達と学習メカニズムの解明」

平成15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獲得メカニズムの解明」

1. 研究実施の概要

言語は、人間に固有の高次脳機能である。言語学者のチョムスキーは、言語データを入力として個別文法を出力するような、「言語獲得装置」が脳に存在すると仮定し、その構成原理を普遍文法と名付けた。この生得的な獲得メカニズムは、一般的な学習メカニズムとは全く異なると考えられている。この獲得メカニズムの解明によって、人間だけに備わる心の働きを明らかにするための突破口を開くことを本研究のねらいとする。これまでわれわれは、文法処理に特化した「文法中枢」がブローカ野に存在することを証明し、実際の英語の授業において、中学一年生でこの領域の機能が変わることを昨年見出した。今年度は、さらに大学生を対象として、熟達度の個人差を年齢や課題の成績などの要因から明確に分離することに成功した。また、英語が上達すると、日本語を使うときに必要な脳の場所と同じ場所が活性化するという言語の普遍性が、前回の成果に引き続き大人でも確かめられたことになる。以上の結果は、ブローカ野が文法判断を普遍的に司っており、英語の熟達度が文法中枢の機能変化によって担われていることを直接的に示す成果である。今後は、英語の習得開始年齢が早いバイリンガルの生徒を対象として、これまでの成果との比較検討を行う計画である。

2. 研究実施内容

機能的磁気共鳴映像法 (fMRI) の実験から、英語の熟達度で脳の「文法中枢」の反応が変わることを初めて直接的に証明した。英語の熟達度とは、英語の知識が定着した程度を表す指標で、今回は英語の不規則動詞の過去形に対する正答率で評価した。新たな外国語の習得訓練を短期集中的に行えば、中学生と同様に大人でも、成績の向上に比例して脳の文法中枢の活動も向上することが明らかとなっている。一方、中学生から大学生に至るまで英語が定着していく過程で、長期的に文法中枢の活動がどのように変化するかについては明らかになっていなかった。

今回、大学生を対象として、英語に関連する課題を行っている際の脳活動を fMRI により測定することによって、英語の「熟達度」が高くなるほど文法中枢の活動が節約されていることが明らかになった。この結果と、英語習得を開始したばかりの中学生の英語の成

績の向上に比例して文法中枢の活動が増加することを合わせると、中学生から大学生にかけて英語が定着するに従って、文法中枢の活動が高まり、維持され、節約されるというダイナミックな変化が見られることが示唆された。本研究成果は、語学教育の改善や言語の獲得機構の解明へとつながることが期待される。なお、本研究成果は、平成17年2月16日発行の北米神経科学会誌（The Journal of Neuroscience）に発表された。今後、この先駆的な研究成果が突破口になって、言語の獲得機構の解明が進み、語学教育の改善につながることが期待される。

櫻井グループは、2組の再帰型ニューラルネットワーク（RNN）を並列に用いる構造で文法獲得の実験を行った。一方のRNNは他方のRNNの神経素子活動を監視し、それを入力とした学習を行う。実験の結果、構文範疇の獲得がより明確に行えること、および神経回路網の損傷に対して頑健な回路が得られることが分かった。従って構文規則の獲得は、構文解析方法の獲得として考えることができる。従来、構文規則の獲得をニューラルネットワークを用いてシミュレートする実験では、RNNを採用して一定の成果を得てきたが、RNNのみでは、文法記述に必須である統語範疇が獲得できていないことが知られていた。また、LRパーサーを獲得する実験では、構文規則の記号性に着目して、記号規則の機械学習アルゴリズムである帰納論理プログラムCHILLを用い、コーパスにはATISコーパスを用いた。正例の学習を統語範疇単位に行い、負例の生成を統語範疇レベルで行うようにしたところ、構文解析の標準的な評価規準で80%程度の正解率が得られた。これは、incrementalな構文解析では最高レベルの精度である。

渡辺グループは、失語症後のリハビリテーションで言語機能を再獲得しつつある患者15名を経時的に光トポグラフィーで計測し、言語活動が傷害された脳のどの部位でおこなわれているかを計測した。計測は48チャンネルの光トポグラフィーを用いた。下前頭回から耳介上部までを覆う、大脳言語領野を含む領域に計測部位を設定した。言語刺激としては、20秒の語想起課題と30秒間の安静課題を5回繰り返しこれを平均加算した。6名に非優位半球である右側の下前頭回に言語活動に一致した血流増加が観察され、この部位の神経活動が言語機能を支えていると考えられた。また、このうちの2名は経時的に複数回の計測を行ったところ、1例は半年後に他の1例は3ヵ月後に活動が優位側にも出現し、同時に非優位側の活動が低減していることが観察された。このような結果を元に、活動している脳部位が経時的に変化して機能を獲得して行くことが明らかになりつつある。この結果を元に、言語リハビリテーションのメニューを脳の回復過程に合致したものに合わせ、て細かく制御することができればより効率のよい言語訓練が可能となるものと期待される。

牧グループは、脳機能画像における複数の賦活部位間の神経的な連絡状態を可視化するため、神経線維束画像と脳機能画像を重畳表示する技術の開発を行った。脳機能計測では、各個人のデータを標準化して比較する機会が多くあり、このような場合には賦活部位の領

野名称を明らかにする必要がある。そこで本研究では、N. T-Mazoyerらが開発したAAL(Automated Anatomical labeling)という標準脳を各領野に分割する手法を適用して、画像上でこの情報を参照することにより、任意の位置の領野情報を確認する機能を開発した。脳機能情報と神経学的な形態情報の位置関係を可視化できるだけでなく、任意の位置の領野情報が得られる表示ツールが実現できた。本ソフトウェアでは、脳機能画像として基本的にはfMRIを想定しているが、標準的な画像形式を用いているため、光トポグラフィ画像などの他のモダリティによる画像への対応も可能である。

3. 研究実施体制

酒井グループ (東京大学 および 東京都立科学技術大学)

1. 研究分担グループ長：酒井 邦嘉 (東京大学 大学院総合文化研究科、助教授)
2. 研究項目：脳機能計測・双生児研究による言語獲得メカニズムの解明を担当

櫻井グループ (慶應義塾大学)

1. 研究分担グループ長：櫻井 彰人 (慶應義塾大学 大学院理工学研究科、教授)
2. 研究項目：自然言語処理の開発による言語獲得モデルの構築を担当

渡辺グループ (自治医科大学 および 昭和大学)

1. 研究分担グループ長：渡辺 英寿 (東京警察病院 脳神経外科、医長)
2. 研究項目：研究実施項目：失語症における病態生理と機能回復過程の解析を担当

牧グループ (日立製作所 基礎研究所)

1. 研究分担グループ長：牧 敦 (日立製作所 基礎研究所、主任研究員)
2. 研究項目：MRIおよび光トポグラフィによる脳機能計測法パラダイムの開発を担当

4. 主な研究成果の発表

(1) 論文発表

<酒井グループ>

- Sakai, K. L., Miura, K., Narafu, N. & Muraishi, Y.: Correlated functional changes of the prefrontal cortex in twins induced by classroom education of second language. *Cereb. Cortex* **14**, 1233-1239 (2004).
- Hashimoto, R. & Sakai, K. L.: Learning letters in adulthood: Direct visualization of cortical plasticity for forming a new link between orthography and phonology. *Neuron* **42**, 311-322 (2004).
- Tatsuno, Y. & Sakai, K. L.: Language-related activations in the left prefrontal regions are differentially modulated by age, proficiency, and

task demands. *J. Neurosci.* **25**, 1637-1644 (2005).

- Sakai, K. L., Miura, K., Narafu, N. & Muraishi, Y.: Correlated functional changes of the prefrontal cortex in twins induced by classroom education of second language. *NeuroImage* **21**, **Suppl. 1**, S24, M093 (2004).
- Yeung, H.H., Hashimoto, R., Phillips, C. & Sakai, K.L.: N400-like MEG response elicited by verbs in English relative clauses. *Abstr. BIOMAG 2004* **14**, 310 (2004).
- Tatsuno, Y. & Sakai, K. L.: Task-selective activation in Broca's area is differentially modulated during first and second language acquisition. *Neurosci. Res.* **50**, **Suppl. 1**, S62, OJ1-07 (2004).
- 酒井邦嘉: 経頭蓋的磁気刺激法による大脳皮質言語野の機能的連関の解明. 三菱財団研究報告集, 308-311 (2004).
- 酒井邦嘉: 脳機能イメージングで言語教育の効果をみる. *実験医学* **22**, 1322-1323 (2004).
- 酒井邦嘉: 文法遺伝子は本当にあるのか. *分子精神医学* **4**, 302-308 (2004).

<櫻井グループ>

- Y. Shinozawa and A. Sakurai, A Role Sharing Model of Language Areas, Proceedings of First International Workshop on Emergence and Evolution of Linguistic Communication, pp. 41-46 (2004).
- N. Shibui and A. Sakurai, FrameNet-Based Shallow Semantic Parsing with a POS Tagger, Proceedings of Joint Workshop of Vietnamese Society of AI, SIGKBS-JSAI, ICS-IPSJ and IEICE-SIGAI on Active Mining, JSAI SIG-KBS-A403, pp. 187-190 (2004).

<渡辺グループ>

- 渡辺英寿, 近赤外線光トポグラフィによる脳機能計測, *MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY*, 22巻3号 Page120-124(2004)
- 渡辺英寿, NIRS(近赤外線トポグラフィ), *MEDICAL REHABILITATION* 40号 Page44-50(2004)
- 渡辺英寿, 神経疾患における光トポグラフィ(NIRS)機能画像, *臨床精神医学* 33巻6号 Page757-765(2004)
- 渡辺英寿, 川崎真護, 脳波・筋電図の臨床 光トポの主成分分析法による言語優位半球同定の検討, *臨床脳波* 45巻9号 Page567-571(2003)
- 渡辺英寿, 近赤外線トポグラフィによる非侵襲脳機能計測の実際, *臨床神経生理学* 31巻2号 Page139(2003)
- 渡辺英寿, 脳機能イメージング 近赤外線脳機能マッピング(光トポグラフィ)によ

る脳機能の診断, 新医療 30巻3号 Page59-63 (2003)

<牧グループ>

- Yamamoto, Y., Maki, A. & Sakai, K. L.: Influence of spatial normalization on diffusion tensor. *NeuroImage* **21**, **Suppl. 1**, S48, WE330 (2004).