

「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化するを見出した。また、大学生を対象において、熟達度の個人差に相関する文法中枢の反応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。今年度は、fMRI（機能的磁気共鳴映像法）を用いて文型の違いに選択的な文法中枢の活動を見出し、さらにMEG（脳磁図）を用いて聴覚野における音声とメロディー処理の半球優位性について新たな知見を得た。以上の結果より、文法処理の普遍性と独立性に対する証拠がさらに蓄積されたことになる。今後は、さらに音韻学習の新しいパラダイムを用いて、言語処理の詳細と言語獲得の過程を明らかにして、これまでの知見を統合する計画である。

## 2. 研究実施内容

### 酒井グループ

本研究課題では、文法処理を中心とする文理解という観点から、言語機能の脳内メカニズムを解明することを目的の1つとしている。特に、人間のみにも備わる文法能力の機能分化と機能局在を明らかにすることで、脳の高次機能システムにおいて、人間の特異性がいかなる脳内メカニズムによって支えられていることを明らかにできると期待される。我々は、新しい絵・文マッチング課題を用いて、文法負荷の増大に伴い神経活動がどのように変化するかをfMRIにより計測した。実験では、二人の登場人物により動作場面を表す絵と、動作場面を示す文を提示して、参加者は絵と文の意味内容のマッチングを行った。実験では、自動詞文（例：△と□が走ってる）、能動文（例：□が△を押してる）、受動文（例：

△が□に押される)、かき混ぜ文(例: △を□が押してる) の四種類の統語構造について比較した。これらの文のうち、受動文およびかき混ぜ文は非正規的な構文であり、他は正規的な構文である。条件間では、絵および音節の数、そして記憶の負荷や課題の難易度を統制した。事象関連 fMRI の結果、かき混ぜ文のような文法負荷の高い文を処理する際に、左下前頭回三角部で有意な活動の上昇が確認された。この領域は文法中枢として知られている (Sakai 2005)。本結果は、文法中枢の活動が統語処理によって選択的に修飾されることを示す初めての知見である。なお、これまでの知見は今年度中に以下の総説にまとめた。

Sakai, K. L.: Brain mapping of human language processing. *Brain Mapping and Language*, Nova Biomedical Books, New York (ISBN 1-59454-579-0), pp. 135-156 (2006).

酒井邦嘉: 脳機能マッピングによる言語処理機構の解明. In: 『ブレインサイエンス・レビュー 2007』, (財)ブレインサイエンス振興財団 伊藤正男・川合述史編, クバプロ, 東京 (ISBN 4-87805-077-2), pp. 219-233 (2006).

酒井邦嘉: 脳機能マッピングによる言語処理機構の解明. *生体の科学* **57**, 30-36 (2006).

安井拓也 & 酒井邦嘉: 音声言語処理と側頭葉. *臨床神経科学* **24**, 531-533 (2006).

金野竜太 & 酒井邦嘉: 言語の脳内処理機構. *臨床神経科学* **24**, 743-745 (2006).

Sakai, K. L. & Muto, M.: Cortical plasticity for language processing in the human brain. *Cognit. Sci.* **1**, 137-151 (2006).

### 櫻井グループ

言語行為の目的を、脳内知識の伝達にあるとし、構文規則・構文解析アルゴリズムはそれに適したものとなると仮定して、構文構造・解析アルゴリズム・言語獲得機構のモデルを探求した。脳内知識の構造に自己埋込み構造がある場合、これを正規言語で伝達することはできないことを、確率的言語モデルを用いた近似的伝達ができないという知見によって示した。

人工神経回路網による構文解析アルゴリズムの解析精度は、記号処理による解析精度に比べて低いことが知られている。一方、人工神経回路網による構文規則の学習は、記号処理による学習と異なり、構造的な制約を除く明示的な前提知識がなくとも学習ができることが知られている。そこで、この両者の長所を併せ持つモデルを開発するために、まず、両者の中間の機能・性能をもつモデルの構築を試みている。

これまで、人工神経回路網による構文規則の学習では、文法範疇の学習がなされないとされてき

た。本研究では、複数個の再帰型神経回路網を巧みに用いることで文法範疇の学習が実際に可能であることを示した。その場合、予測誤差のみに着目するだけでも、所定範疇と両立するクラスタを構成することができることがわかった。

### 渡辺グループ

我々は、脳の再学習機序を解明することを研究の目的とし、症例を用いたアプローチとして、脳卒中などで損傷され、機能障害を起こした脳が機能を回復してゆく過程を観察することにより、その回復機序を解明することを試みている。今回のメインテーマである脳の機能発達と学習メカニズムの解明という命題から発展して、機能回復を障害からの再学習という切り口で観察することにより、脳のダイナミックな機能構築の変化能力を探ることに大きな意義があると考え、初年度より通算 23 名の患者につき縦断的な研究を続けている。計測には 48 チャンネルの光トポグラフィ装置を用い、言語刺激として 20 秒の語想起課題と 30 秒間の安静課題を 5 回繰り返して、これを平均加算した。23 例中 7 例は右（劣位）半球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。9 例は優位側（左）に活性が認められ、7 例は左に血流が低下するような、異常な反応が認められた。23 例中 8 名は複数回の計測を行い、活動部位の変遷を検討した。8 例中 5 例は右に活性が認められたが、1 例は半年後に他の 3 例は 3 - 4 ヶ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。このように、回復期の早期には非優位側が言語活動をささえ、次第に優位側が回復してくるとともに、非優位側の活動が下がって切り替えが行われる減少が、かなりの割合で起こりうることが示唆された。一方、残りの 3 例ははじめから左に活性があり、経過とともに明確な活性へと正常化する傾向が認められた。以上の知見より、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った。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

酒井研究室では、成長過程における言語機能の習得に関する脳機能研究を行っている。文章や会話レベルの言語機能である文法および文章理解の処理は左前頭葉下部で行われており、語彙レベルの処理とは独立していることがわかってきた。我々は、これらの領野間の形態学的な関連性を明らかにするために、MRI データに基づく神経線維束描画技術を用いて、言語関連領野間のコネクティビティ（神経線維連絡）を調べている。その結果、左右半球内神経路や交連経路のコネクティビティに有意な差があることが、新たに明らかになった。また、左右半球の文法処理および文章理解関連領野間のコネクティビティの相関についても検討中である。

### 3. 研究実施体制

#### (1)「酒井」グループ（東京大学および東京都立科学技術大学）

①研究者名

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

#### (2)「櫻井」グループ（慶應義塾大学）

①研究者名

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

#### (3)「渡辺」グループ（自治医科大学および昭和大学）

①研究者名

渡辺 英寿（自治医科大学脳神経外科 教授）

②研究項目

・失語症における病態生理と機能回復過程の解析を担当

#### (4)「牧」グループ（日立製作所 基礎研究所）

①研究者名

牧 敦（日立製作所基礎研究所 主管研究員）

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. 研究成果の発表等

#### (1) 論文発表(原著論文)

- Mochizuki, H., Ugawa, Y., Terao, Y. & Sakai, K. L.: Cortical hemoglobin-concentration changes under the coil induced by single-pulse TMS in humans: A simultaneous recording with near-infrared spectroscopy. *Exp. Brain Res.* **169**, 302-310 (2006).
- Y. Suhara and A. Sakurai, Generalization by Categorical Nodes in Recurrent Neural Networks, Brain-Inspired IT II: Decision and Behavioral Choice Organized by Natural and Artificial Brains, ICS 1291 (Eds. K. Ishii, K. Natsumem, and A. Hanazawa), pp.35-38, Elsevier, 2006.
- Y. Shinozawa and A. Sakurai, A Role Sharing Model of Language Areas, New Frontiers in Artificial Intelligence, LNAI vol.3609, pp. 335-344 (2007).

**(2)特許出願**

平成 18年度特許出願:1 件(CREST 研究期間累積件数:1 件)