

「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・准教授

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）により文構造や敬語処理に選択的な文法中枢の活動を見出し、さらに MEG（脳磁図）により聴覚野において音声処理の左脳優位性とメロディー処理の右脳優位性を明らかにして論文発表を行った。今後は、さらに MEG によって文処理に伴う脳活動を経時的に明らかにして、これまでの知見を統合する計画である。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。

## 2. 研究実施内容

### 酒井グループ

1) 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って脳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、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。その結果、受動文やかき混ぜ文のような文法負荷の高い文を処理する条件下で選択的に、左下前頭回三角部（文法中枢）で有意な活動の上昇が確認された。

2) コンピューターで合成した歌の刺激について、歌詞の誤りとメロディーの誤りをそれぞれ検出している際の脳活動を、MEG により計測した。その結果、潜時 130-140 ms で聴覚野において顕著な信号成分が検出され、この成分は歌詞の処理では左脳優位性、メロディーの処理では右脳優位性を示した。さらに、新しい歌を記憶させる実験を行い、この信号成分が記憶との照合によるトップダウンの情報処理を反映していることを明らかにした。

3) 日本語母語話者を対象として、成績に個人差の大きい敬語使用に伴って脳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、主語尊敬文（例：あなたが私にボールをお投げになる）と目的語尊敬文（例：私があなたにボールをお投げする）の正文判断について比較した。その結果、敬語文の構造を解析する条件下で選択的に、左下前頭回三角部（文法中枢）で有意な活動の上昇が確認され、この活動が成績と負の相関を示すことが初めて明らかとなった。

### 櫻井グループ

人間の言語処理機構を情報科学的モデルの観点から考察するにあたり、現在の言語処理応用の一つである意味タグ付けにおいても、単語間の統計的従属性を前提とした（従って計算負荷の高い）手法(SVM等)が精度的に優位であることを確認した。自然言語の機械処理に当っては、多くのパラメータはコーパスより機械学習手法を用いて獲得するのが典型であり、その際、単語等の出現頻度を重要視するのは、かつて Shannon が導入した N-gram モデル以来当然のこととされている。その際、形態素解析中の POS タグ付け、FrameNet 等に基づく意味タグ付け等においては、SVM という、基本的には単語等の出現が統計的に従属であると仮定する機械学習手法が、統計的に独立であると仮定する機械学習手法より、高い精度を達成している。POS タグ付けについては、これは広く受容された知見であるが、意味タグ付けについては、研究途上である。

本年度は、FrameNet 及び EDR コーパスを用いた意味タグ付けの実験を行った。手法としては、SVM 及びそれとの対比をみるため統計的独立性を仮定した方法として naïve Bayes および AODE を用いた。事前予想通り SVM の精度が高かった。しかし、このタグ付けを、タグを付与するか否かの判断プロセスと付与するタグを決定するプロセスの 2 段階に分割する

と、全体の精度は向上傾向がある一方、前段のプロセスを AODE（単語間の統計的独立性をかなり仮定している）に置換しても精度は殆ど低下しないことが分かった。

#### 渡辺グループ

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、その回復機序の解明を試みている。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、初年度より縦断的な研究を続けている。具体的には、脳卒中後の失語症のリハビリテーションにおいて回復を観察し、機能回復のメカニズムを知ることにより、脳がどのような過程で言語機能を再獲得しているのかを探ろうとしている。

われわれは非侵襲性脳機能マッピング法のうちでも比較的被験者への心理的、生理的負担の少ない光トポグラフィーの技術を用いてこれを検討した。初年度から通算 23 名の患者につき計測を続けている。現在、各症例を詳細に追跡中であり、脳卒中後において、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過程が明らかになっている。

#### 牧グループ

fMRI で明らかになった文処理に選択的に関わる複数の領野間の形態学的な関連性を明らかにするために、神経線維束描画技術を用いて上述の言語関連領野間のコネクティビティを調べた。本研究では、2 領域間を接続する神経線維束の割合である評価関数 *SCI* (Selective Connectivity index)を用いて、上記言語関連領域間を結ぶ左半球内経路と、対応する右半球経路間を評価した。その結果、言語関連領域間において *SCI*に左優位性が見られることが明らかになった。また、前頭葉で任意に選んだ領域間の経路では、このような左右差は見られなかった。この知見より、左半球の言語関連領域は、対応する右半球の領域に比べ、領域間の情報交換に割く割合がより大きいことが示唆される。

### 3. 研究実施体制

#### (1) 酒井グループ

①研究者名: 酒井 邦嘉 (東京大学・大学院総合文化研究科)

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

①研究者名: 櫻井 彰人 (慶應義塾大学・大学院理工学研究科)

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

①研究者名: 渡辺 英寿 (自治医科大学・脳神経外科)

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

①研究者名: 牧 敦 (日立製作所・基礎研究所)

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)

- ・ Kinno, R., Kawamura, M., Shioda, S. & Sakai, K. L.: Neural correlates of non-canonical syntactic processing revealed by a picture-sentence matching task. *Hum. Brain Mapp.* in press (2008).
- ・ Yasui, T., Kaga, K. & Sakai, K. L.: Language and music: Differential hemispheric dominance in detecting unexpected errors in the lyrics and melody of memorized songs. *Hum. Brain Mapp.* in press (2008).
- ・ Momo, K., Sakai, H. & Sakai, K. L.: Syntax in a native language continues to develop in adults: Honorification judgement in Japanese. *Brain Language* in press (2008).
- ・ Shinozawa, Y. & Sakurai, A.: A Role Sharing Model of Language Areas, New Frontiers in Artificial Intelligence. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, **3609**, 335-344 (2007).
- ・ Ishikawa, K., Sakurai, A., Fujinami, T. & Kunifuji, S.: R-learning with multiple state-action value tables. *Electrical Engineering in Japan*, **159**, No.3, 34-47 (2007).
- ・ Shinozawa, Y. & Sakurai, A.: A simple computational model for classifying small string sets. Brain-Inspired IT III. Invited and selected papers of the 3rd International Conference on Brain-Inspired Information Technology “BrainIT 2006” ICS 1301 (Eds. K. Natsume, A. Hanazawa and T. Miki), pp.270-273, Elsevier, 2007.

(2) 特許出願

平成 19 年度 国内特許出願件数:0 件(CREST 研究期間累積件数:1 件)