

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神経回路の動作原理の解明

§1. 研究実施の概要

人間を対象とする研究では、神経回路網を構成するニューロンを直接同定するような侵襲的な手法は使えないが、文法的判断を行っている時の皮質活動を計算論的モデルに基づいて詳細に解析することで、再帰性を特徴とする文法計算の本質に迫りたい。この不断の努力により、神経科学と言語学の真の統一化(unification)を進める事を目標とする。この研究目標を実現するため、研究提案者がその草創期から開発に携わってきた fMRI (機能的磁気共鳴映像法) や光トポグラフィなどの脳機能イメージングの手法に対して、脳腫瘍患者の臨床データ(腫瘍部位・腫瘍グレード・神経線維連絡・文法課題における成績および脳活動等)をリンクさせるという独自の実験をスタートさせた。この新たな手法で、言語機能に必須の神経回路の構造変化および機能変化をボトムアップ的に明らかにできると期待される。さらに、理論言語学による言語処理のトップダウン的な仮説に基づいて、対象となる神経回路がどのような目的を持ち、その実現のためにどのような情報処理を行っているかを明らかにするため、共同研究を開始した。平成22年度は、文法処理に選択的に応答する皮質領域を機能イメージングで明らかにするなどして、今年の日本神経科学大会(Neuro2011)に6件の演題を提出済みである。

§2. 研究実施体制

(1)「脳機能解析」グループ

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・准教授)

② 研究項目

- ・「失文法」に伴う神経回路の同定
- ・「文法中枢」による統語処理計算の同定
- ・言語獲得の感受性期の神経回路解析
- ・言語障害後の神経回路再編成の解析

(2)「脳外科臨床」グループ

① 研究分担グループ長:村垣 善浩 (東京女子医科大学・先端生命医科学研究所先端工学

外科学分野・准教授)

② 研究項目

- ・言語関連線維の描出
- ・言語マッピングによる機能部位の解析
- ・文法・言語に本質的な神経線維の特定
- ・誘発電位による皮質連絡の確認

(3)「言語学理論」グループ

① 研究分担グループ長:福井 直樹 (上智大学・外国語学部言語学副専攻・教授)

② 研究項目

- ・言語構造に関する理論的論点の整理
- ・統語処理の理論的考察に基づく概念化
- ・内心性の「獲得」に関する理論化
- ・内心性の「喪失」に関する理論化

§3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)に対応する)

(A)「脳機能解析」グループ

研究代表者グループは、他の2つのグループの研究を相補的に融合させる役割を持ち、研究チーム全体の統括および適切な研究遂行の責任を担う。具体的には、言語課題・認知課題の作成、行動データ解析、脳構造・脳機能解析を遂行する。小学生以下の被験者の言語発達に伴う脳活動を計測するために、最新式の光トポグラフィの手法を駆使することが必要である。本年度は、これらの実験の遂行に必要なハードウェアとソフトウェアの導入を図り、5年間にわたるプロジェクトの基礎整備を中心に実施した。これと並行して、脳外科臨床グループとの共同研究により、文法処理等の言語メカニズムに着目した失語症を行動データ解析により明らかにした。左前頭葉の脳腫瘍が運動前野外側部にある患者群と、下前頭回にある患者群は、文法課題に対して特異的な成績低下を示した。さらに、fMRI による脳活動は健常群と顕著に異なるパターンを示し、運動前野外側部および下前頭回を含む言語野関連ネットワークが異なることを示す初めての知見を得た言語処理に特異的な神経回路の同定に成功した^{A-1)}。この成果は、今後の研究発展のための基礎となると期待される。また、言語学理論グループとの共同研究により、言語課題・認知課題を作成して、複数の言語野の動作原理の解明を目指すための準備を行った。

本研究は人間を対象とするため、被験者の協力が必要不可欠である。そこで、被験者となる相手方の同意・協力を得る際に、人権の保護の取扱いについて、十分配慮する必要がある。具体的には、世界医師会「ヘルシンキ宣言」の原則に従って、実験の趣旨と、被験者の安全性およびプライバシーの保護について、被験者に十分な説明を行っている。また、MRI 等のイメージング機器の使用に関する関係ガイドライン等を遵守し、研究に携わるすべてのスタッフに人権の保護の取扱いの重要性の認識を徹底させるように努め、継続的な配慮を怠らないよう常に注意を払っている。本研究の計画書を東京大学と東京女子医科大学の倫理委員会に提出し、既に倫理審査および承認を得ている。

(B)「脳外科臨床」グループ

・言語関連線維の描出 脳腫瘍患者についての言語関連線維を効果的に描出する目的で、一般健常者に対する言語関連線維を描出する研究課題を提案し、東京女子医科大学の倫理委員会において承認された(平成 22 年 10 月 26 日承認、承認番号 2024)。健常者と脳腫瘍患者における比較研究を目的とした準備を行い、東京大学と共同でボランティア収集の内容を実施に向けて検討を行った。ボランティア撮影の試行として 2 名の撮影を実施し解析中である。

・言語マッピングによる機能部位の解析 脳腫瘍患者の術前に脳形態解析目的の MRI 撮影を実施し、マッピングのための部位特定の 3 次元解析を確立させた。東京大学で実施された fMRI 結果と合わせ、最も効果的なマッピング手技を確立させ検査時間の短縮化を図った。全覚醒下手術において、手術情報を統合解析し、脳外科手術や脳機能研究に役立てるシステム確立し、改良を加えた開発を報告した^{B-1)}。言語機能部位特定のための検査手段としてのスイッチの開発も行い(図



図1

1)、近日中に検査開始を行う予定である。

- ・ 文法・言語に本質的な神経線維の特定 文法・言語に関する課題に対する反応は、手術以前の時期にfMRIを行ったうえで脳機能を可視化している。この情報を基に、実際の言語機能マッピング課題に関与する皮質部位との一致度を調査し、学会報告を行った。皮質以外に文法・言語に影響を与える可能性のある脳白質機能についてのモニタリングを画像解析として追加し、脳機能の本質に迫る予定である。
- ・ 誘発電位による皮質連絡の確認 手術中の皮質上(Broca 野と Wernicke 野)に電極留置し、手術中に皮質間電位を測定し脳腫瘍摘出後に電位と症状の変化を認めないかどうか 2 例で検証を行った。術後合併症を軽減する目的で追加検証を行い、皮質連絡繊維を可視化する方法の検討を継続中である。本研究は、あくまでも健常部との境界が不鮮明な悪性脳腫瘍をもつ患者の手術に際して、言語機能を保全しつつ腫瘍部分を可能な限り摘出するために、摘出範囲を申請された方法によって特に厳密に決定しなければならないケースに限って実施される。

(C)「言語学理論」グループ

平成 22 年度は、言語構造に関する理論的論点の整理と統語(統辞)処理の理論的考察という、本グループの研究実施項目についての探求の予備的段階であった。この期間において最も重要なことは、一方で言語構造に係わる根源的特性を抽出し、またもう一方では人間言語に関する経験的実証的研究を積み重ねることであるが、本グループの平成 22 年度における研究活動は、おおむね、これらの条件を満たしていたように思われる。まず、第1の点(言語構造の根源的特性)については、最も基本的な言語演算と思われる「併合」(Merge)演算に関して、(1)その適用が何らかの素性(feature)によって引き起こされるのか、それともいかなる駆動要因も必要とせず自由適用されるのか、(2)内心構造(および自己埋め込みの概念)は人間言語において必須の概念なのか、また内心構造と併合との関係はどうなっているのか、そして((2)とも関連するが)(3)主辞(head)を決定する手続は、言語計算のどの部分に組み込まれているのか、等の論点に対して理論的整理が成され、いくつかの具体的仮説が提示された^{C-1)}。これらは今後の本グループの研究にとって中心的課題となるものであり(「研究項目」参照)、これらの論点に関する理解が埋め込み構造や内心性に関する脳科学的実験の成否を左右すると言っても過言ではない。

第2の人間言語の具体的現象に関する実証的研究については、英語には見られない類の様々な日本語統辞法上の諸特性の研究^{C-1)}や、日本語における「右方転位」構文の分析^{C-2)}、等位構造とコピュラ文との間の平行性を巡る研究^{C-4)}、否定現象の統辞論的分析^{C-5)}、いわゆる「与格」構文を格理論全体の中に位置付けようとする研究^{C-6)}、などが行われた。これらの研究は、言語学理論における個別の具体的争点に対して緻密な実証的分析を基礎にして特定の解答を与えようとするものであり、こういった具体的分析の積み重ねの総体が前述のような理論的仮説の妥当性にも大きく影響するという意味で、本グループの研究活動の重要な一部分を形成するものである。この種の研究活動も継続して行っていきたい。

§4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

- A-1. Kinno, R., Muragaki, Y., Hori, T., Maruyama, T., Kawamura, M. & Sakai, K. L: Agrammatic comprehension and activation changes caused by a glioma in the left frontal cortex: The fronto-temporal network revealed by fMRI. *The second annual Neurobiology of Language Conference* (San Diego, USA), *Abstr. Poster Session A*, Program No. 28 (2010).
- B-1. Yoshimitsu K, Maruyama T, Muragaki Y, Suzuki T, Saito T, Nitta M, Tanaka M, Chernov M, Tamura M, Ikuta S, Okamoto J, Okada Y, Iseki H : Wireless Modification of the Intraoperative Examination Monitor for Awake Surgery - Technical Note - *Neurologia medico-chirurgica* 51(6) (2011, in press)
- B-2. Muragaki Y, Iseki H, Maruyama T, Tanaka M, Shinohara C, Suzuki T, Yoshimitsu K, Ikuta S, Hayashi M, Chernov M, Hori T, Okada Y, Takakura K: Information-guided surgical management of gliomas using low-field-strength intraoperative MRI. *Acta Neurochir Suppl* 109:67-72, 2011.
- C-1. Fukui, Naoki. Merge and Bare Phrase Structure. *The Oxford Handbook of Linguistic Minimalism*, ed. Cedric Boeckx, pp. 73-95 (2011). Oxford: Oxford University Press.
- C-2. Kato, Takaomi. An LF Copying Analysis of Japanese Right Dislocation Constructions. *Proceedings of the 12th Seoul International Conference on Generative Grammar: Movement in Minimalism*, 253-264 (2010). Seoul: Hankuk.
- C-3. Kato, Takaomi, Two Types of Covert *Wh*-Movement. *Proceedings of the thirty-fifth annual meeting of the Berkeley Linguistics Society: General Session and Parasession on Negation*, 168-177 (2010). Berkeley Linguistics Society, University of California, Berkeley.
- C-4. Kato, Takaomi and Yuko Asada. Copular Sentences and Coordinate Structures. *Proceedings of Western Conference on Linguistics 2010* (in press). Department of Linguistics, California State University, Fresno.
- C-5. 久野正和.「否定一致表現の構成要素と認可の方略」『否定と言語理論』,加藤泰彦,吉村あき子,今仁生美(編)97-117 (2010)開拓社.
- C-6. Zushi, Mihoko. *The Syntax of Dative Constructions in Japanese*. *Jinbun Kenkyuu*, 173, 1-51 (2011). Kanagawa University.