

「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」

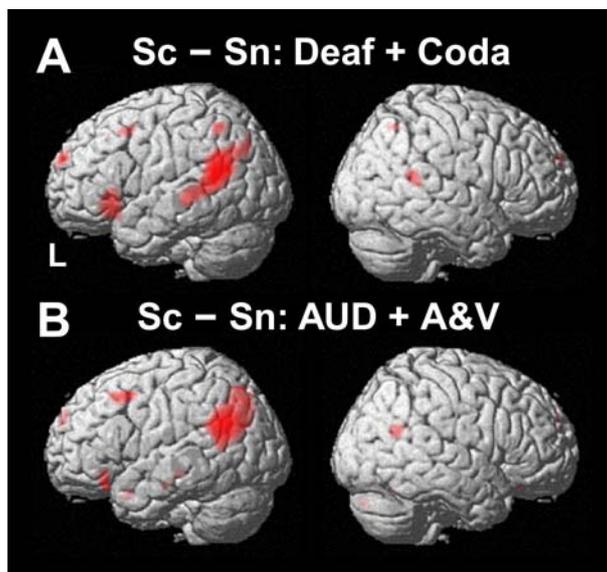
1. 研究実施の概要

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、さらに脳で文章理解を司る中枢が日本手話と日本語で完全に同じ左脳優位であることを証明した。以上の結果より、文法処理や文章理解において共通した前頭葉の場所が活性化するという言語の普遍性が、日本語・英語・日本手話のように異なる言語間で確かめられたことになる。この数年間の成果の積み重ねが認められて、Science誌にこれまでの研究をまとめた総説が掲載された。今後は、さらに新しいパラダイムを用い、文法処理の詳細と言語獲得の過程を明らかにして、これまでの成果との比較検討を行う計画である。

2. 研究実施内容

酒井グループは、機能的磁気共鳴映像法 (fMRI) の実験から、日本手話による文章理解が日本語の音声と同じ左脳優位であることを初めて直接的に証明した。アメリカ手話の研究では、左脳の損傷で音声言語と同様に手話失語が起こることが明らかとなっている。一方、最近の fMRI による研究では、手話を見るときに右脳の活性化が特に高まることが報告されており、手話失語の知見と矛盾するため、激しい論争が行われてきた。今回、ろう者・コーダ (日本手話と日本語のバイリンガル)・聴者の 3 グループを対象として、文章理解における脳活動を fMRI により測定し比較することによって、日本手話の場合も日本語と同様に左脳の言語野が活性化することが明らかになり (次図)、脳における言語処理の普遍性が

示唆された (Sakai et al., 2005)。



これまでの知見および成果の総合的な分析結果は、*Science* 誌をはじめとする以下の総説として発表された。

Sakai, K. L.: Language acquisition and brain development. *Science* **310**, 815-819 (2005).

Phillips, C. & Sakai, K. L.: Language and the brain. *McGraw-Hill Yearbook of Science & Technology 2005*, McGraw-Hill, New York (ISBN 0-07-144504-8), pp. 166-169 (2005).

酒井邦嘉：脳機能イメージングによる言語処理ネットワークの解明。小川脳機能研究所年報 **4**, 82-88 (2005).

酒井邦嘉：言葉の脳内処理機構。高次脳機能研究（日本高次脳機能障害学会誌） **25**, 153-164 (2005).

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).

櫻井グループは、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。その際に、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り、構文規則の獲得は、言語行為の目的が知識の伝達にあることを基礎とするという仮定をおいた。様々な試行錯誤の結果、有限状態オートマトンを脳内知識の表現手段とし、LR(1)言語を伝達する手段とするのが有力な候補であるとの結論を得た。有限状態オートマトンは、脳内知識を表現する手段としては充分強力であるが、それを伝達することは一般に不可能である。そこで、近

似的に、しかも、比較的短い時間で伝達する手法を検討した。一つの方法として強化学習を用いる手法を検討し、実行可能であることを示した。

知識構造を伝達するには、不十分な情報に基づき構造を再構築する必要がある。そのためには、伝達に用いる具体的な表現(自然言語の単語に相当する)から、範疇(自然言語の文法範疇、意味範疇、概念に相当する)を推測する必要がある。本研究においては、範疇候補を数多く用意し、それらを知識伝達に試用し、その中から最適なものを見出す方法を考案した。再帰型神経回路網を用いた数値シミュレーションの結果、学習誤差に着目するのみで、もとの文法範疇(またはその細分)が再構築できることが確認できた。

渡辺グループは、臨床面からのアプローチとして、一旦傷害された脳が機能を回復してゆく過程を観察することにより、脳の再学習機序を解明することを研究の目的とした。特に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、昨年度より研究を継続している。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。言語活動においては、脳は非対称性に機能分化が進んでおり、80%以上で左半球が優位に活動すると考えられている。これは19世紀から多くの症例の研究から明らかにされ、現在では進歩の著しい非侵襲性脳機能マッピング法によって正常者を使用しても確認が行われている。失語症の回復過程は脳の可塑性に支えられていると推測されている。特に非優位側言語相当野や優位側言語関連領域などの加担が考えられている。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の技術を用いてこれを検討した。

計測には48チャンネルの光トポグラフィ装置を用いた。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。昨年度から通算17名の患者につき計測を行った結果、17例中4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。6例は優位側(左)に活性が認められ、4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。17例中7名は複数回の計測を行い、活動部位の変遷を検討した。7例中4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。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。

これまでの知見および成果は、以下の総説として発表された。

菊地千一郎, 岩田和彦, 西嶋康一, 久保田文雄, 渡辺英寿, 加藤敏 NIRS 法による「あとだし負けじゃんけん」課題遂行中の前頭前野脳血液量変化の検討, 臨床神経生理学(1345-7101)33 巻 5 号 Page416(2005.10)

渡辺英寿, 前頭葉機能研究の最前線 光トポグラフィーによる言語機能の評価, 臨床神経生理学(1345-7101)33 巻 5 号 Page371(2005.10)

渡辺英寿, 脳腫瘍の治療 外科療法 近赤外線脳機能イメージングによる脳機能計測, 日本臨床(0047-1852)63 巻増刊 9 号 Page389-394(2005.09)

牧グループは、文法中枢である左外側運動前野 (lateral premotor cortex) と左下前頭回 (inferior frontal gyrus, IFG) の背側部 (弁蓋部と三角部)、および文章理解の中枢である左下前頭回の腹側部 (三角部と眼窩部) の領域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域間のコネクティビティを調べた。その結果、これらの2領域間を直接接続する神経線維束がすべての例で観察された (8例中8例)。また、すべての例で、右半球の対応する領域間に左半球と同様のコネクティビティが見られた。以上により、酒井グループの脳機能計測の結果から予想されてきた、文章-会話レベルでの言語中枢間ネットワークの存在が裏付けられた。今年度は、左右脳間のコネクティビティを含め、文章会話レベルの言語関連領域のコネクティビティの個人差に関する検討を行う計画である。

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（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

「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. 主な研究成果の発表

(1) 論文（原著論文）発表

<酒井グループ>

- 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., Tatsuno, Y., Suzuki, K., Kimura, H. & Ichida, Y.: Sign and speech: Amodal commonality in left hemisphere dominance for comprehension of sentences. *Brain* **128**, 1407-1417 (2005).
- 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).

<櫻井グループ>

- 石川, 櫻井, 藤波, 國藤, 強化学習におけるオンラインセンサ選択, 電気学会論文誌 C, vol.125, no.6, pp.870-878(2005).
- 高雄, 櫻井, 電子掲示板における投票機能がコミュニケーションに与える影響, ヒューマンインタフェース学会, vol.7, no.3, pp.81-87 (2005).
- 岡, 櫻井, ユーザの興味を反映したコミュニティマップを利用したメール配信方式の提案と評価, ヒューマンインタフェース学会, vol.7, no.1, pp.47-54 (2005)

<渡辺グループ>

- 渡辺英寿, 室田由美子, 中島千鶴, 近赤外線光トポグラフィを用いた失語症回復過程の計測, 高次脳機能研究(1348-4818)25 巻 3 号 Page215-223(2005.09)