

機関番号：12601

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005～2009

課題番号：17022013

研究課題名（和文） 文法処理を中心とする言語の脳内メカニズムの解明

研究課題名（英文） The Elucidation of Brain Mechanism of Language
Focusing on Syntactic Processing

研究代表者

酒井 邦嘉 (KUNIYOSHI L. SAKAI)

東京大学・大学院総合文化研究科・准教授

研究者番号：10251216

研究成果の概要（和文）：左前頭葉の一部「文法中枢」に脳腫瘍がある患者で純粋な文法障害が生じることを実証しました。左前頭葉に脳腫瘍を持つ患者に文法判断テストを実施し、その腫瘍部位を磁気共鳴映像法（MRI）で調べたところ、左前頭葉の一部である「文法中枢」に腫瘍がある患者では、左前頭葉の他の部位に腫瘍がある患者より誤答率が高くなりました。臨床的には失語症と診断されていないにもかかわらず、今回のように顕著な文法障害（「失文法」）が特定されたのは初めてのことです。

研究成果の概要（英文）：We found that the patients with a lesion in “the Grammar Center”, which is a part of left frontal cortex, showed pure deficits in the syntactic comprehension of sentences. Using a picture-sentence matching task, we examined 21 patients with a glioma in the left frontal cortex, who preoperatively underwent a high-resolution magnetic resonance imaging (MRI). The Grammar Center-damaged patients showed profound deficits in the comprehension of non-canonical and object-initial scrambled sentences. These results establish that a lesion in this region is sufficient to cause agrammatic comprehension, even for patients with no apparent disability in verbal/written communication according to the standard clinical assessment.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	3,700,000	0	3,700,000
2006年度	3,400,000	0	3,400,000
2007年度	3,100,000	0	3,100,000
2008年度	3,500,000	0	3,500,000
2009年度	3,900,000	0	3,900,000
総計	17,600,000	0	17,600,000

研究分野：言語脳科学

科研費の分科・細目：神経科学・神経科学一般

キーワード：言語神経科学・文法処理

1. 研究開始当初の背景

脳における言語機能の解明は、脳神経科学の最重要課題の一つであり、近年の機能イメージング法の進歩に伴って、人間を対象とした高次機能を対象とする基礎研究が進められてきた。しかし、言語の能力は人間でしか調べられないので特別な意義と難しさを持っており、本格的な研究は緒に就いたばかり

である。我々のグループは、人間の脳皮質において文法処理に特化した「文法中枢」の存在を明らかにしてきた。

2. 研究の目的

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研究目的とする。特に、

人間のみに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。本研究では、さらに文法処理の核心となる計算アルゴリズムを解明することを目指す。

3. 研究の方法

fMRI（機能的磁気共鳴映像法）や MEG（脳磁図）等の先端的な脳機能イメージングの手法により、「文法中枢」のさらなる役割を解析した。左前頭葉に脳腫瘍を持つ患者を調査の対象とした研究では、各人の高精細 MRI 画像（解像度 $0.75 \times 0.75 \times 1 \text{ mm}^3$ ）上で腫瘍部位の正確な同定を行い、誤答の原因となる腫瘍部位（責任病巣）の同定には、VLSM 法（voxel-based lesion-symptom mapping）を用いた。

4. 研究成果

本研究で、文法処理や文章理解において左前頭葉の特定の領域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母語間で確かめられ、さらに文法処理を中心とする第2言語（英語）の習得過程初期に、脳の「文法中枢」の活動が増加することを初めて直接的に証明した。また、長期習得者を対象として、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。従って、小学生から大学生にかけて英語が定着するにつれ、文法中枢の活動に2相性のダイナミックな変化が見られることが示唆された。一方、文法を使って文章を理解する時と、単語の意味が分かり音韻（アクセントなど）を聞き分ける時とでは、それぞれ脳の異なる部分が必要となることが明らかとなり、その活動パターンを左脳の「言語地図」にまとめると、文法・文章理解・単語・音韻の四つの中枢に分けられることが明らかになった（図1）。

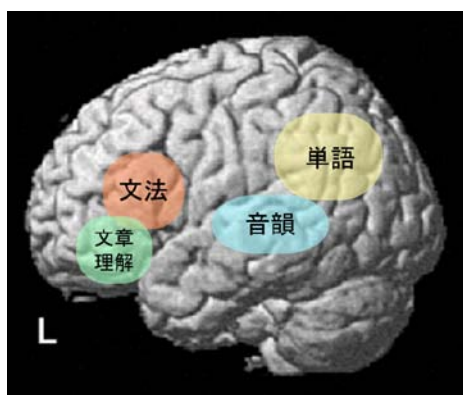


図1 脳の「言語地図」。人間の言語に必須のモジュールである文法と文章理解は、左前頭葉のブローカ野およびその周辺に局在すると

考えられる。さらに要素的な単語や音韻（アクセントなど）のモジュールは、左側頭葉から頭頂葉にかけてのウェルニッケ野に局在し、古典的な運動性言語野・理解性言語野の解離とは異なるモデルを筆者らが提案している。

このように細分化した言語地図を作ること、言語障害が脳のどの部分と関連するかが明らかになる可能性があり、語学学習の成績を脳活動から評価する時にも役立つと考えられる。以上の成果は、2005年11月4日発行の米科学誌「サイエンス」に発表された。

英語の文法能力と高い相関を示す脳の局所体積の個人差をMRIで調べたところ、語学の適性と密接に関係する脳部位を特定することに成功した。今回、英語を外国語として習得中の中高生（日本人）と成人（海外からの留学生）を対象として、英語文の文法性の判断能力の調査に加え、脳の局所体積をMRIで測定し、その個人差を詳細に分析した。その結果、脳の下前頭回という部位の局所体積において、右脳の対応部位より左脳の対応部位の方が大きいという“非対称性”の程度が、文法課題の成績に比例することが明らかとなった。さらにこの脳の部位は、以前本研究グループが語学の習得期間に関連した脳活動を調べる実験で明らかにしてきた「文法中枢」と一致した。語学の適性に関係する脳部位を、年齢や習得期間と独立した要因として特定したのは初めてのことで、脳の局所的な構造が言語の機能に影響を与えることが強く示唆される。

文法中枢の損傷で実際に文法に選択的な障害が生じるという、脳の構造と機能の間の最も直接的な因果関係を明らかにするため、従来の失語症検査や知能検査で正常であると診断された患者でも文法判断を適切に調べることで文法中枢の損傷に伴う文法障害（失文法）が現れると予想した。その結果、文法課題の誤答の責任病巣は、これまで文法中枢として提案してきた左下前頭回と左運動前野外側部であった（図2）。

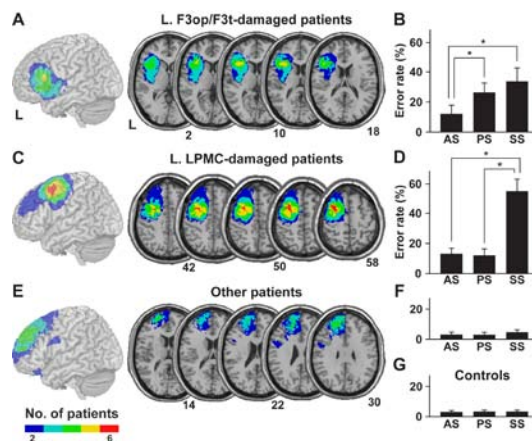


図2 腫瘍部位によって異なる3条件の誤答率。(A,B)左下前頭回に脳腫瘍のある患者の腫瘍部位と誤答率。(C,D)左運動前野外側部に脳腫瘍のある患者の腫瘍部位と誤答率。(E,F)他の左前頭葉に脳腫瘍のある患者の腫瘍部位と誤答率。(G)健常者による誤答率。

さらに、左下前頭回と左運動前野外側部以外の左前頭葉に脳腫瘍のある患者は、健常者と同等の誤答率を示し、2つの文法中枢が正常に働く限り、それ以外の左前頭葉の損傷では文法障害が起こらないということである。以上の結果は、言語の核心となる文法機能が脳皮質の一部に局在するという説(機能局在論)を実証するもので、P・ブローカの流れを汲む重要な成果である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

1. Kinno, R., Muragaki, Y., Hori, T., Maruyama, T., Kawamura, M. & Sakai, K. L. Agrammatic comprehension caused by a glioma in the left frontal cortex. *Brain Language* **110**, 71-80 (2009).
2. Nauchi, A. & Sakai, K. L. Greater leftward lateralization of the inferior frontal gyrus in second language learners with higher syntactic abilities. *Hum. Brain Mapp.* **30**, 3625-3635 (2009).
3. Iijima, K., Fukui, N. & Sakai, K. L. The cortical dynamics in building syntactic structures of sentences: An MEG study in a minimal-pair paradigm. *NeuroImage* **44**, 1387-1396 (2009).
4. Sakai, K. L., Nauchi, A., Tatsuno, Y., Hirano, K., Muraishi, Y., Kimura, M., Bostwick, M. & Yusa, N. Distinct roles of left inferior frontal regions that explain individual differences in second language acquisition. *Hum. Brain Mapp.* **30**, 2440-2452 (2009).
5. 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.* **30**, 588-601 (2009).
6. Momo, K., Sakai, H. & Sakai, K. L. Syntax in a native language still continues to develop in adults: Honorification judgment in Japanese.

Brain Language **107**, 81-89 (2008).

7. 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.* **29**, 1015-1027 (2008).
8. 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).
9. 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).
10. Sakai, K. L. Language acquisition and brain development. *Science* **310**, 815-819 (2005).

[学会発表] (計 26 件)

< 口頭発表 >

Yasui, T., Kaga, K. & Sakai, K. L.: Differential lateralization of error-induced fields in speech and melody processing: An MEG study. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **52**, **Suppl. 1**, S61, O3B-01 (2005).

Iijima, K. & Sakai, K. L.: Spatio-temporal dynamics of cortical activation at the prelexical stage. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **52**, **Suppl. 1**, S61, O3B-02 (2005).

Kinno, R., Kawamura, M., Shioda, S. & Sakai, K. L.: Activation of the grammar center in new picture-sentence matching tasks. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **52**, **Suppl. 1**, S61, O3B-03 (2005).

Sakai, K. L., Tatsuno, Y., Ochi, Y., Shiota, K., Hirano, K., Muraishi, Y., Kimura, M., Bostwick, M. & Yusa, N.: Training-related increase and proficiency-dependent decrease of grammar center activation during second language acquisition. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **52**, **Suppl. 1**, S61, O3B-04 (2005).

Sakai, K. L., Tatsuno, Y., Ochi, Y., Shiota, K., Hirano, K., Muraishi, Y., Kimura, M., Bostwick, M. & Yusa, N.: Separate neural

bases of two fundamental processes during second language acquisition in the inferior frontal cortex. *Soc. Neurosci. Abstr.* Program No. 354.6 (2005).

Nauchi, A., Hirano, K., Muraishi, Y. & Sakai, K. L.: Correlation between regional grey matter volume and proficiency increase in second language: A VBM study. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **55**, **Suppl. 1**, S49, OS2A-8-04 (2006).

Momo, K. & Sakai, K. L.: Grammar center activation in honorification judgment of Japanese sentences. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **55**, **Suppl. 1**, S49, OS2A-8-05 (2006).

Yasui, T., Kaga, K. & Sakai, K. L.: Top-down modulation for melody-related activity in the right auditory areas: An MEG study. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **55**, **Suppl. 1**, S50, OS2A-8-06 (2006).

Muto, M. & Sakai, K. L.: Cortical plasticity in adulthood for learning phonics rules for English orthography and phonology. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **55**, **Suppl. 1**, S50, OS2A-8-07 (2006).

Iijima, K., Fukui, N. & Sakai, K. L.: Hierarchical syntactic processing in the left frontal region: An MEG study. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **55**, **Suppl. 1**, S50, OS2A-8-08 (2006).

Kinno, R., Muragaki, Y., Hori, T., Maruyama, T., Kawamura, M. & Sakai, K. L.: Selective impairment of syntactic processing in patients with brain tumor. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **58**, **Suppl. 1**, S46, O1P-G15 (2007).

Muto, M. & Sakai, K. L.: Prefrontal activations predict future performance improvement in learning phonics rules of English orthography and phonology. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **58**, **Suppl. 1**, S46, O1P-G16 (2007).

Iijima, K., Fukui, N. & Sakai, K. L.: Visualization of temporal events in syntactic and semantic analyses for two-word sentences. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **59**, **Suppl. 1**, O1-F10 (2008).

Inubushi, T., Iijima, K., Koizumi, M. &

Sakai, K. L.: The effect of canonical word orders on the neural processing of double object sentences: An MEG study. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **65**, **Suppl. 1**, S48, O1-J2-2 (2009).

Kinno, R., Muragaki, Y., Hori, T., Maruyama, T., Kawamura, M. & Sakai, K. L.: Differential reorganization of cortical activity associated with a glioma in syntax-related regions. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **65**, **Suppl. 1**, S48, O1-J2-4 (2009).

<ポスター発表>

Yasui, T., Kaga, K. & Sakai, K. L.: Differential top-down modulation for language and melody-related activity in the auditory areas: An MEG study. *BIOMAG 2006* (Vancouver, Canada), *Abstr.* **15**, 65, C1-2 (2006).

Muto, M. & Sakai, K. L.: Cortical plasticity for learning English rules between spelling and pronunciation during second-language acquisition. *Soc. Neurosci. Abstr.* Program No. 263.7 (2006).

Iijima, K., Fukui, N. & Sakai, K. L.: Early hierarchical syntactic processing in Broca's area for merging words. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **58**, **Suppl. 1**, S116, P1-h21 (2007).

Nauchi, A., Hirano, K., Muraishi, Y. & Sakai, K. L.: The leftward structural asymmetry in the inferior frontal gyrus as an indicator of acquiring syntax in second language: A VBM study. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **58**, **Suppl. 1**, S172, P2-h15 (2007).

Muto, M. & Sakai, K. L.: Cortical plasticity in juveniles for learning English phonics rules as a part of second language acquisition. *Soc. Neurosci. Abstr.* Program No. 738.16 (2007).

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. *The 12th Japan-Korea Joint Meeting of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery* (2008.4.5, 奈良).

Kinno, R., Muragaki, Y., Hori, T., Maruyama, T., Kawamura, M. & Sakai, K. L.: Unexpected grammatical deficits in patients with a focal glioma in the left frontal cortex. 日本神経科学学会, *Neurosci. Res.* **59**, Suppl. 1, P3-q07 (2008).

Iijima, K., Fukui, N. & Sakai, K. L.: The cortical dynamics selective for syntactic structures of sentences in a minimal-pair paradigm: An MEG study. *BIOMAG 2008* (Sapporo, Japan), *Abstr.* **16**, 129-130, 1-7-19 (2008).

金野竜太、村垣善浩、堀智勝、丸山隆志、河村満、酒井邦嘉: 左前頭葉に局在した神経膠腫による統語処理障害. 第32回日本神経心理学会総会学術集会 (2008.9.18, 東京).

Kinno, R., Muragaki, Y., Hori, T., Maruyama, T., Kawamura, M. & Sakai, K. L.: Selective deficits in the comprehension of sentences with dependency relations caused by a glioma in the left dorsolateral frontal cortex. *The 46th Annual Meeting of the Academy of Aphasia* (Turku, Finland), (2008).

Kinno, R., Muragaki, Y., Hori, T., Maruyama, T., Kawamura, M. & Sakai, K. L.: Agrammatism revisited: Reorganization of cortical activity associated with a glioma in syntax-related regions. *The Neurobiology of Language Conference* (Chicago, USA) (2009).

[図書] (計 15 件)

酒井邦嘉: 言語発達の脳科学. In: 『脳を知る・創る・守る・育む—第7巻』, 「脳の世紀」推進会議編, クバプロ, 東京, pp. 131-151 (2005).

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

酒井邦嘉: 言語と脳からみた健康と病. In: 『16歳からの東大冒険講座—[3] 文学/脳と心/数理』, 東京大学教養学部編, 培風館, 東京, pp. 127-140 (2005).

酒井邦嘉: 学習の認知神経科学. In: 放送大学大学院教材 『新訂 教授・学習過程論—学習科学の展開』, 大島純他編著, 放送大学教育振興会, 東京, pp. 106-120 (2006).

酒井邦嘉: 『科学者という仕事—独創性はどのように生まれるか』. 中公新書, 東京 (2006).

Sakai, K. L.: Brain mapping of human language processing. *Brain Mapping and Language*, Nova Biomedical Books, New York, 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, pp. 219-233 (2006).

堀田凱樹 & 酒井邦嘉: 『遺伝子・脳・言語—サイエンス・カフェの愉しみ』. 中公新書, 東京 (2007).

酒井邦嘉: 言語脳科学の最前線. In: 『生命システムをどう理解するか—細胞から脳機能・進化にせまる融合科学』, 浅島誠編, 共立出版, 東京, pp. 136-148 (2007).

酒井邦嘉: 人間の創造性の本質—脳の再帰的計算, [文法]. In: 『ACADEMIC GROOVE 東京大学アカデミックグルーヴ』, 東京大学編, 東京大学出版会, 東京, pp. 100-103 & 66 (2008).

酒井邦嘉: 脳の発達と言語習得. In: 『学び合いで育つ未来への学カ—中高一貫教育の新しいデザイン』, 東京大学教育学部附属中等教育学校編著, 明石書店, 東京, pp. 146-153 (2008).

酒井邦嘉: チョムスキーの言語哲学. In: 『哲学の歴史 別巻』, 中央公論新社, 東京, pp. 294-300 (2008).

酒井邦嘉: 哲学者チョムスキー. In: 『哲学の歴史 別巻』, 中央公論新社, 東京, p. 395 (2008).

酒井邦嘉: 脳に描く言葉の地図. In: 『ことばの宇宙への旅立ち 2—10代からの言語学』, 財団法人ラボ国際交流センター/東京言語研究所発行, ひつじ書房, 東京, pp. 59-98 (2009).

酒井邦嘉: 『脳の言語地図』. 明治書院, 東京 (ISBN 978-4-625-68433-3) (2009).

[その他]
ホームページ等
<http://mind.c.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 邦嘉 (KUNIYOSHI L. SAKAI)

東京大学・大学院総合文化研究科・准教授

研究者番号：10251216