

# 言語の脳内処理機構

金野 竜太 酒井 邦嘉

## ■ はじめに

言語は人間に固有に備わる生得的な能力である。また、記憶・知覚・意識など、様々な認知システムと密接に関係している<sup>1)</sup>。実際、社会・文化活動を含めて、人間の知的な営みにおいて、言語の関与が考えられないものは極めて少ない。したがって、言語は人間の知的活動を理解するうえで鍵となる存在であり、その神経基盤の解明を目指す「言語の脳科学」は、神経科学に残された最後のフロンティアの一つである。

人間の言語知識はいくつかの要素からなる。単語レベルの言語要素として音韻や語彙の意味があり、文および会話レベルの言語要素として統語と文意理解がある。これらの複数の要素の相互作用により、人間は言語処理を行っている。言語の脳内処理機構を考える際に、これらの言語要素の処理が特定の脳領域で行われているのか、すなわち、複数の言語野が存在するかが重要な問題となる。1861年にフランスの外科医 P. Broca(1824-1880)らによる報告により運動性言語野(Broca野)として左下前頭回、さらには1874年の C. Wernicke(1848-1905)らにより感覚性言語野(Wernicke野)として左側頭葉の上側頭部が示唆された。近年の認知神経科学の進歩によりこれらの言語野の詳細な機能、さらには他の脳領域の言語処理への関与が報告されている。そして、これらの知見をもとに、言語の脳内処理機構の解明が進められている。本稿では、近年報告された知見をもとに、言語の脳内処理機構を概観する。

## 音韻・語彙の意味処理

話された言葉を理解する場合、時系列的な音声信号から

きんのりゅうた 東京大学/大学院総合文化研究科広域科学専攻  
関連基礎科学系  
昭和大学/神経内科  
さかいくによし 東京大学/大学院総合文化研究科広域科学専攻  
関連基礎科学系

単語間に区切りをつけ、その発話から意味を引き出す処理が必要である。この聴覚的言語処理過程を音韻処理という。Wernicke野に一側性の限局損傷を持つ患者において、母音の認知について、顕著な障害を見出した<sup>2)</sup>。近年の非侵襲脳機能計測による研究では、後上側頭回である Brodmannの22野(BA22)が聴覚的音韻処理に関連していることが示唆されている<sup>3)</sup>。一方、語彙の意味処理には左角回・縁上回の関与が想定されている<sup>4)</sup>。しかし、音韻処理と語彙の意味処理に関する報告は多岐にわたっており、共通した結論が出ていない。我々は音声刺激を用いた fMRI による脳機能計測により、統語的逸脱文や意味的逸脱文と比較して、音韻的逸脱文と音の高低の逸脱文を判断しているときに両側上側頭回が特異的に活動することを報告した(図1)<sup>5)</sup>。音韻・語彙処理の脳内機構は、今後、さらに詳細な研究が必要である。

## 文理解処理

文は複数の単語から構成されるが、文レベルの意味処理は単語レベルの意味処理とは明らかに性質が異なる。例えば、「太郎が次郎を押す」という文と「次郎が太郎を押す」という文では、同じ単語を使いながらも、機能語(を、が)の位置によって、それぞれの文が表す意味は異なる。したがって、文理解処理には単語レベルの意味処理と文レベルの意味処理をつなぐための処理が必要である。我々は、左下前頭回の下部の BA 45/47(図2の緑で示した脳領域)において、語彙の選択や統合などの、文レベルの意味処理に特化した脳領域を同定した<sup>6)</sup>。さらに我々は、脳領域間の fMRI 信号の時間的な相関を計算することにより、左下前頭回下部と左中心前溝が、単語理解処理ではなく文理解処理に選択的な機能的結合を示すことを報告した<sup>7)</sup>。これらの報告をまとめると、左前頭葉の複数の領域が文レベルの意味処理に関係していると考えられる。

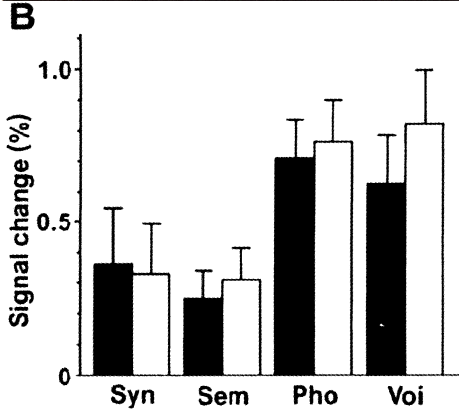
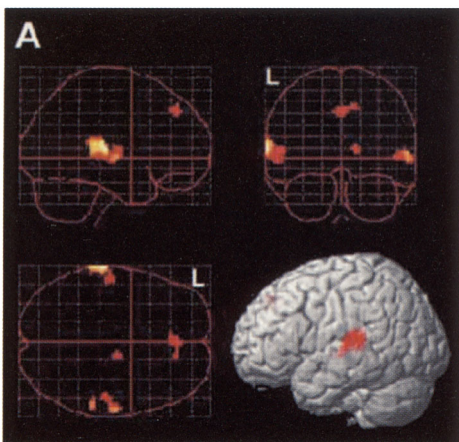


図1 聴覚性言語処理における側頭葉の活動選択性

A) 音韻・声の高さの判別時の活動領域の比較による有意な脳活動(Pho+Voi) - (Syn+Sem).

B) 左上側頭回における信号変化量。黒のグラフは正しい刺激の判断時、白いグラフは誤った刺激の判断時の変化量を示す。

(Suzuki ら<sup>5)</sup>より)

## 統語処理

与えられた文に対して統語知識を適用して、その文の構造を理解する過程を統語処理と呼ぶ。もちろん、文理解の過程には純粋な統語的な処理のみならず、言語性の短期記憶が関与している。これまでの研究報告により、左下前頭回と左外側運動前野が文法処理の神経基盤とされているが<sup>8,9)</sup>、これらの脳領域は、いずれも統語処理が直接要求されない言語性短期記憶処理により賦活されることが報告されている<sup>10)</sup>。したがって、文法処理に特化した脳領域の存在を証明することこそ、統語処理の脳内メカニズムの解明にとって重要なのである。

我々は統語処理課題と言語性短期記憶課題に関わる脳活

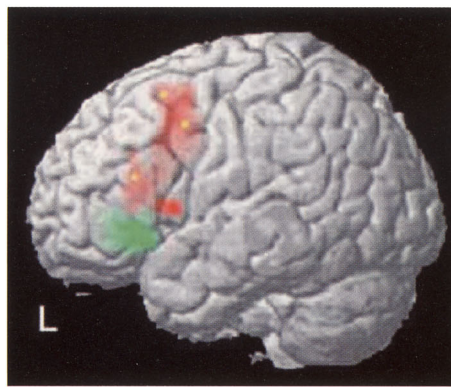


図2 文処理における左前頭前野の選択的活動性

緑の脳領域(左下前頭回, BA 45/47)は文レベルの意味処理に選択的に活動を示した<sup>6,7)</sup>。一方、赤の脳領域(左下前頭回 BA 44/45 および左外側前頭前野 BA 6)は統語処理に選択的に活動し、「文法中枢」と考えられる<sup>9,11)</sup>。(Sakai<sup>11)</sup>より)

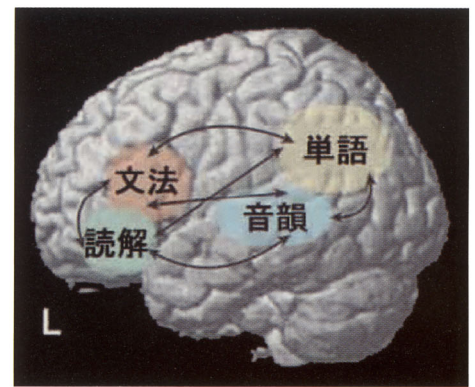


図3 脳における言語機能ネットワーク  
単語レベルの言語処理は主として側頭葉から頭頂葉にかけての領域が関係し、文レベルの処理には左下前頭葉が関係している。これらの脳領域の相互作用により言語処理が行われると考えられる。(Sakai<sup>11)</sup>より)

動を解離するため、統語処理の性質の中でも、特に構造依存性と自動性に焦点を当てた、fMRI による実験パラダイムを作成した<sup>9)</sup>。その結果、左下前頭回と左外側運動前野において、統語処理課題に選択的な反応がみられた(図2の赤で示した脳領域)。以上の結果は、我々の提唱する「文法中枢」としての左下前頭回と左外側前頭前野の役割を支持する<sup>11)</sup>。

## 言語の脳内処理機構の解明へ

これまでの研究をもとに、我々は言語の脳内処理機構が図3のように分化していることを提案した<sup>11)</sup>。さらに、これらの言語野がいずれも左半球優位性を示すことは興味深い。人間以外の生物では、このような半球優位性を示す脳活動は知られていない。このことは、言語処理が人間に特異な能力であることを裏付けている。

近年の研究では、言語の脳内処理機構において上述した皮質領域に加えて、大脳基底核の関与を示唆する報告もされてきた。例えば、パーキンソン病の患者は不規則動詞の過去形変化には障害がないにもかかわらず、規則動詞の過去形変化に障害があることが報告されている<sup>12)</sup>。また、遺伝的に発達性の言語障害を有する患者では健常者と比べて、前頭葉および尾状核の体積が低下していることが報告されている<sup>13)</sup>。

以上のような、各脳領域の要素的な言語機能の解明に加えて、言語処理に伴う各脳領域間の相互作用の解明が進め

られている。脳内電極を用いて皮質間の活動電位を計測した研究では、Broca野とWernicke野の間に双方向性の刺激伝達があることを報告した<sup>14)</sup>。さらに、この刺激伝達には皮質領域間の刺激伝達だけでは説明がつかない伝達の遅延があり、Broca野とWernicke野をつなぐ神経回路に大脳基底核が介在する可能性を報告した。

各脳領域と要素的な言語処理の相関関係はある程度確立されてきたが、次は両者の因果関係を確立することが必要

である。そのためには、健常者を対象とした研究のみならず、要素的な言語障害に注目した臨床研究により、詳細な言語処理過程と脳活動との間の因果関係を確立することが重要である。また、人間社会の営みにおいて、これらの神経機構がどのように活用されているのか、その神経基盤を解明することが言語の脳内処理機構の研究の進むべき道であらう。

## 文 献

- 1) 酒井邦嘉. 言語の脳科学. 中央公論新社; 2002.
- 2) Lund E, Spliid PE, Anderson E, et al. Vowel perception. A neuro-radiological localization of the perception of vowels in the human cortex. Brain Lang. 1986; 29: 191-211.
- 3) Hickok G, Poeppel D. Towards a functional neuroanatomy of speech perception. Trends Cogn Sci. 2000; 4: 131-8.
- 4) Price CJ. The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. J Anat. 2000; 197: 335-60.
- 5) Suzuki K, Sakai KL. An event related fMRI study of explicit syntactic processing of normal/anomalous sentences in contrast to implicit syntactic processing. Cereb Cortex. 2003; 13: 517-26.
- 6) Homae F, Hashimoto R, Nakajima K, et al. From perception to sentence comprehension: the convergence of auditory and visual information of language in the left inferior frontal cortex. Neuroimage. 2002; 16: 883-900.
- 7) Homae F, Yahata N, Sakai KL. Selective enhancement of functional connectivity in the left prefrontal cortex during sentence processing. Neuroimage. 2003; 20: 578-86.
- 8) Dapretto M, Bookheimer SY. Form and content: dissociating syntax and semantics in sentence comprehension. Neuron. 1999; 24: 427-32.
- 9) Hashimoto R, Sakai KL. Specialization in the left prefrontal cortex for sentence comprehension. Neuron. 2002; 35: 589-97.
- 10) Chein JM, Fiez JA. Dissociation of verbal working memory system components using a delayed serial recall task. Cereb Cortex. 2001; 11: 1003-14.
- 11) Sakai KL. Language acquisition and brain development. Science. 2005; 310: 815-9.
- 12) Ullman MT. A neurocognitive perspective on language: the declarative/procedural model. Nat Rev Neurosci. 2001; 2: 717-26.
- 13) Vargha-Khadem F, Gadian DG, Copp A, et al. Foxp2 and the neuroanatomy of speech and language. Nat Rev Neurosci. 2005; 6: 131-8.
- 14) Matsumoto R, Nair DR, LaPresto E, et al. Functional connectivity in the human language system: a cortico cortical evoked potential study. Brain. 2004; 127: 2316-30.

## 神経科学界ニュース

### 第57回 日本電気泳動学会総会

会 期 2006年10月27日(金)、28日(土)  
会 場 アクトシティ浜松コンgresセンター  
総会参加費 5000円(学生2000円)  
一般演題の申込締切り 7月15日(土)  
第57回日本電気泳動学会総会事務局  
〒431-3192 浜松市半田山1-20-1  
浜松医科大学医学部臨床検査医学 阿形初代(事務担当)  
TEL(053)435-2788 FAX(053)435-2096  
E-mail: agata@hama-med.ac.jp  
URL: <http://wwwsoc.nii.ac.jp/jes1950/>  
入会方法および問い合わせ先  
学会事務局: 〒229-8501 相模原市淵野辺1-17-71  
麻布大学内 日本電気泳動学会  
TEL/FAX: 042-769-2293 E-mail: honjo@azabu-u.ac.jp

### 第4回 DLB/PDD 国際ワークショップ

期 日 2006年11月2日(木)~11月4日(土)  
場 所 横浜シンポジア、ホテルモントレ横浜  
会 長 小阪憲司  
副会長 水野美邦, 岩坪 威  
事前参加登録締切り 9月29日  
演題募集締切り 7月20日  
連絡・お問合せ先  
第4回DLB/PDD国際ワークショップ運営委員会事務局  
(株)コンベンション リンケージ内  
TEL: 03-3263-8688 FAX: 03-3263-8693  
E-mail: dlb2006@secretariat.ne.jp  
HP: <http://www.secretariat.ne.jp/dlb2006>