

平成21年 5月 23日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18320067

研究課題名（和文） 言語機能のモジュール性：脳内基盤との因果関係を求めて

研究課題名（英文） The modularity of the language faculty: Toward a causal relationship between the language faculty and its neural mechanisms

研究代表者

萩原 裕子 (HAGIWARA HIROKO)

首都大学東京・大学院人文科学研究科・教授

研究者番号 20172835

研究成果の概要：

本研究は、私たちが文章を理解したり発話する際に、音韻、統語、意味のそれぞれの情報が、脳のどこで、いつ、どのように処理されているかを探ることを目的とした。標準語順文に比べてかき混ぜ文の処理には、名詞句の保持を反映する持続性前方陰性波（SAN）が出現し、その発生源は左前頭前野と推定された。音と意味と統語の違反文の処理ではそれぞれ異なったERP成分が検出され、音の処理は意味の処理に比べて立ち上がり早いことが明らかになった。単語の発話では、前頭部と側頭-頭頂部に活動が認められた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	7,200,000	0	7,200,000
2007年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2008年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	2,190,000	16,690,000

研究分野：言語学

科研費の分科・細目：言語学

キーワード：生成文法、事象関連電位(ERP)、脳磁図(MEG)、近赤外線分光法(NIRS)、音韻処理、統語処理、意味処理、言語産生、かき混ぜ文、言語性ワーキングメモリ、SAN (Sustained Anterior Negativity), P600, 構造的統合、N400、AN (Anterior Negativity)

1. 研究開始当初の背景

脳機能イメージング法の開発に伴い、言語の脳機能研究も盛んに行われている。しかし、そのほとんどが英語やドイツ語を中心とした欧米言語を対象としたものである。人間の言語機能の生物学的側面を明らかにするためには、欧米言語とは構造の異なる日本語の研究は、脳における言語処理の普遍性と個別性を明らかにする上で不可欠である。

また、ヒト脳における言語処理のしくみを

解くためには、「脳の言語情報処理の解釈理論」というべきものが必要になる。昨今、言語の脳研究は主に、生理学者、神経科学者、心理学者らを中心に行われており、必ずしも言語の本質に関する議論が展開されている、とは言い難い。そこで本研究は、言語理論で仮定されている概念を踏まえて、言語機能のモジュール性という観点から、日本語の文の処理や単語の産生について、さまざまなイメージング法を駆使して脳データを収集し、こ

の種の研究の発展に貢献することとした。

2. 研究の目的

本研究は、生得的にヒトに与えられた言語能力（普遍文法）の解明をめざす「生成文法」に基づいて、私たちが文を処理する際に、音韻、統語、意味のそれぞれの情報が、脳のどこで、いつ、どのように処理されているかを、さまざまな脳機能計測法を用いて、時空間的に詳細に明らかにすることを目的とした。具体的には、いろいろな種類のかき混ぜ文や違反文を用いて、音と意味と統語の区別、構造の保持と統合などを作業仮説として、これらの脳生理学的妥当性を検証し、文処理の脳内機構について検討した。

3. 研究の方法

本研究では、事象関連電位(ERP)、脳磁図(MEG)、近赤外分光法(NIRS)を用いた。ERPとMEGは時間分解能が高く、NIRSとMEGは空間分解能が高い。さらにNIRSは動きの影響が少ないため、発話を伴う課題に適している。それぞれの欠点を補いつつ利点を生かした課題を開発した。

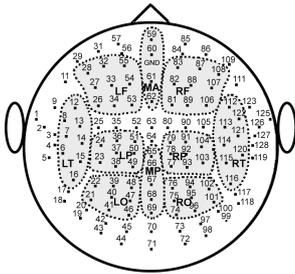


図1 128電極位置とエリア区分

4. 研究成果

(1) かき混ぜ文処理のERP研究

従来、欧米言語の研究では、*Wh*-句の移動を伴うような疑問文、関係節構文などでは「フィラー・ギャップ依存関係」があり、移動を伴わない文よりも処理に負荷がかかることが知られている。さらに、その負荷は *wh*-句の保持に必要なワーキングメモリを反映する持続性前方陰性波 (Sustained Anterior Negativity, SAN) を伴って現れる。

膠着言語である日本語は、語順が比較的自由であるという点で、移動の効果を調べるには有効な言語である。そこで多チャンネル脳波 (128ch) を用いて下記のような3つの文タイプについて実験を行った (頭皮上の電極配置は図1に示す)。刺激文はすべて「検察官が社長を捜している」という補文が「弁護士が言った」という主文に埋め込まれている、いわゆる複文構造をもつ。標準語順文

(Canonical Condition, CC) に対して、中距離かき混ぜ文 (Middle Scrambled Condition, MSC) では補文の目的語「社長を」が補文主語を越えて移動している。長距離かき混ぜ文 (Long Scrambled Condition, LSC) では補文主語と主文主語を越えて移動しており、フィラーとギャップの階層的、線的距離も MSC に比べて長い。もし、CC に比べて MSC と LSC で持続性陰性波 (SAN) が現れるならば、両者の生理学的特性は類似していることとなり、ワーキングメモリへの負荷は、フィラーのタイプ (*wh*-filler, NP-filler) によるものではなく、フィラーとギャップの有無が関係あることになる。

標準語順文 (Canonical Condition, CC)

会見の時 弁護士は 検察官が 社長を 探していると言った。

中距離かき混ぜ文 (Middle Scrambled Condition, MSC)

会見の時 弁護士は 社長を 検察官が 探していると言った。

長距離かき混ぜ文 (Long Scrambled Condition, LSC)

会見の時 社長を 弁護士は 検察官が 探していると言った。

結果は、LSC のフィラーの「社長を」から「検察官が」までの名詞句で、CC の三つの名詞句に比べて、前頭部の波形が継続して陰性に偏位した (図2参照)。一方 MSC と CC とでは NP2 と NP3 では差異が認められなかった。これより、移動が長距離になると scrambling でも *wh*-移動同様にワーキングメモリへの負荷は増大することが分かった。このことは、*wh*-移動のみならず scrambling でも転位が生じていることの証拠となり、移動を仮定する言語理論が生理学的に妥当であることを示している。

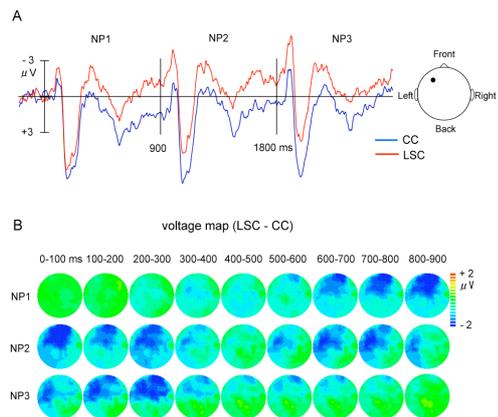


図2 長距離かき混ぜ文において、名詞句の保持を表す持続性前方陰性波 (Sustained Anterior Negativity, SAN) (A) とその差波形電位マップ (B)

さらに興味深いことに、第三名詞句について CC と LSC を比較したところ、後期陽性成分 P600 が、400-900 ミリ秒の潜時帯で、左前頭・側頭部から中心部にかけて広く認められた (図 3 参照)。これら二つの文は、品詞の種類は同じで名詞句の配列のみが異なるだけである。文処理は逐次的に行われると仮定すると、この時点では動詞はまだ出現しないので意味解釈は行われないうまま、格助詞の情報だけを頼りに文の統語構造を構築しているものと思われる。さらにその過程で、標準語順に比べてかき混ぜ文では、処理の負荷が高いことを示唆している。言い換えれば、左前頭・側頭部優位の P600 は、統語構造の構築という、一種の「構造的統合」のプロセスにかかわる負荷を反映しているものと思われる。

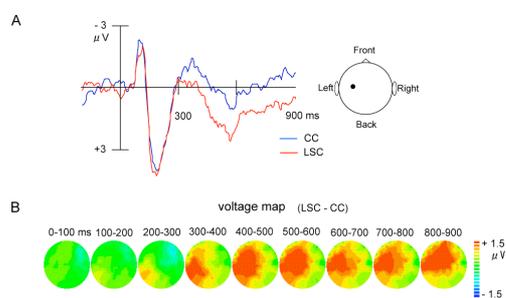


図 3 長距離かき混ぜ文の第三名詞句における、名詞句の構造的統合を反映する P600 (A) とその差波形電位マップ (B)

ではこの種の文では、文章の意味解釈はどの時点で行われるのであろうか。動詞が出現して初めて名詞句に意味役割が付与されるのだが、逐次処理を仮定すると、第一動詞句 (補文動詞「探している」) で何らかの ERP 成分が表れると期待されるが、実際は、第一動詞では何も認められずに、第二動詞句 (主節動詞「言った」) で顕著な前頭部陰性波が出現した。さらに興味深いことに、MSC と LSC の2つのかき混ぜ文の間には、波形の振幅や潜時に違いがなかった。このことは、フィラーとギャップの距離ではなく、移動の有無それ自体が文章の意味理解の困難さの要因となっていることを示唆している。文末の主節動詞では、名詞句の文法役割と動詞のもつ意味役割との照合を行っていると考えられ、この前頭部陰性波は、そのプロセスにかかる負荷を反映したものと解釈できる。

さらに、長距離かき混ぜ文 LSC では、目的語である第一名詞で、300-500 ミリ秒という潜時帯で左前頭・側頭部に顕著な陰性波が認められた。この成分は、前述の通り、一般に英語やドイツ語の統語的逸脱文にみられる LAN (left anterior negativity) に類似し

ている。しかし(3c)は非文ではなく正文であることより、構造上予期していた主語の位置には当てはまらない目的語が表れたため、脳は瞬時に統語的違反と判断したものと思われる。

(2) かき混ぜ文処理の MEG 研究

上記 ERP 研究では、かき混ぜ文の処理における時間的経過を詳細に検討した。次にこれらの電気信号の脳内発生源を特定すべく、標準語順文 CC と中距離かき混ぜ文 MSC について、204 チャンネル全頭型 MEG を用いて実験を行った。加算平均応答は左脳と右脳にチャンネルを分け、それぞれの RMS (Root Mean Square) 値を計算し、さらにそれぞれのピークが見られたところで信号推定を行った (L1 ノルム法)。その結果 MSC の「社長を 検察官が探している」と CC の「検察官が 社長を 探している」について句毎に分析した結果、下線部の名詞句においてのみ CC に比べて MSC の方が高く、反応の差は、左前頭前野 ($p < 0.01$)、左頭頂葉背側部 ($p < 0.06$)、左中心溝前後の運動野と体性感覚野の手を司る部分 ($p < 0.07$) において有意であった。左前頭前野は、「目的語-主語」の語順において目的語を保持しながら主語を分析するというワーキングメモリの処理を反映しているものと思われる。運動体性感覚野の手を司る部分の活動は、ミラーニューロン回路のように、運動や発話を伴わない言語処理においてもこれらの領域が活動する可能性を示唆している。

(3) 音韻処理、統語処理、意味処理の ERP 研究

文処理において、音韻、統語、意味の情報、いつどのように利用されるのかを調べるために、ERP を用いて実験を行った。意味と統語は先行研究における脳内指標として N400 と LAN/P600 があるが、音韻については日本語では確かな指標が存在しない。そこで、日本語音韻情報の一例として語彙のピッチアクセントを取り上げて、その処理を反映した脳内指標および意味や統語処理と比べ、それぞれの処理の相対的な順序を検討した。音韻条件では、日本語の一段活用動詞の接尾辞とアクセントの関係を用いてピッチアクセントの逸脱文 (*ご飯をたべる) と正しい文 (ご飯をたべる) を聞かせた。意味条件では、文末動詞の接尾辞を変えて動詞を非単語に変えた意味的に逸脱した文 (*毛布をあとで運ぶ) と意味的に正しい文 (毛布をあとで運ぶ) を聞かせた。統語条件では、疑問詞 (いつ) と終助詞 (の/よ) の統語的關係を操作して統語的に逸脱した文 (*穴をいつ掘るよ) と正しい文 (穴をいつ掘るの) を聞かせた。

その結果、音韻条件の逸脱文では正しい文に比べて前頭に陰性成分 (Anterior Negativity, AN) (潜時約 400-750 ms) と後方

に P600(潜時約 750-9000 ms)が観察され、陰性成分は、語彙の誤ったピッチアクセントに対する反応だと考えられた。意味条件の逸脱文では、正しい文に比べて全頭に広がる N400(潜時約 450-750 ms)と P600(潜時約 750-1200 ms)が観察され、N400 は非単語によって阻害された意味処理を反映するものだと解釈された。最後に、統語条件の逸脱文では、正しい文に比べて全頭に広がる P600 (潜時約 700-1100 ms)が惹起された。全条件を通して観察された P600 については、誤った文を解釈しようとするためにかかる統合の負荷だと解釈された。開始潜時については、陰性成分のそれを比較したところ、音韻処理の陰性成分の方が意味処理のそれよりも開始潜時が速いことが示され、音韻処理が意味処理に先行すると解釈された。

(4) 言語産生の NIRS 研究：復唱実験における母語と非母語の比較

言語の脳機能研究において、これまでは理解 (comprehension) の側面を中心に研究が進み、多くのことが明らかになった。しかし、言語産生 (production) における脳活動については、計測上の困難が伴い、多くの課題が未解明のままである。Fodor (1983) の、言語機能の入力と出力がモジュール化されているという前提に立つと、言語産生の脳内基盤の解明は、極めて重要である。今回は、発話時の脳活動のデータを安定して収集するために、単語の復唱という極めて簡単な課題を用いた。

日本人の小学生と大学生を対象に、近赤外分光法を用いて、日本語 (母語) と英語 (非母語) の単語の復唱課題での脳反応について比較検討した。その結果、子供は日本語の単語を、大人は英単語を復唱している時に前頭部と側頭-頭頂部に活動が見られた (図 4 参照)。大人は英単語を復唱しているときに同様の反応がみられた。日本語復唱時の子供と大人の活動の差は、両グループの脳の発達度合いの違いである可能性が示唆された。

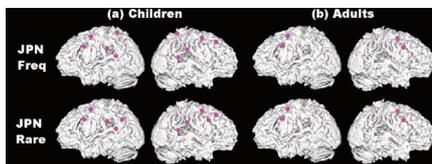


図 4 日本語の高頻度語と低頻度語を復唱している時の子供と大人の脳反応

一方、英単語復唱時の子供と大人の脳活動の差は、英語学習開始時期、生涯英語接触量、英語学習法の 3 点が関与していることが示唆された。次に、大人は、日本語に比べて英単語復唱時でより広範囲で脳活動が認めら

れた。非母語の処理は母語の処理に比べて困難であると予測され、この処理の負荷の違いが脳反応に現れたものと思われる。一方、子供は、英語に比べて日本語単語復唱時により広範囲で脳活動が観察された。これは子供の脳が未発達なために、英単語の復唱では脳が活動しないとも考えられる。これらの結果より、子供と大人が母語と非母語の単語を処理しているときの神経構造や脳機能に違いがあるということが示唆された。

近赤外分光法という新しい手法を用いた挑戦的な研究で、大人と子供との言語能力の比較、発話に伴う脳計測上の技術的課題など難問が多く未開拓の分野であるが、独自の視点で切り込み、一定の成果を挙げた

(5) 単語の表出に関する ERP 研究

統語処理を含む単語の表出における脳活動を測定し、その神経生理学的基盤を明らかにすることを目的とした。実験では 4 条件の課題を設定した (条件 A: 提示された名詞と意味的な関連がある動詞を想起 (例: 「子供」→「遊ぶ」)、条件 B: 提示された名詞と意味的にも統語的にも関連がある動詞を想起 (例: 「子供を」→「育てる」)、条件 C: 提示された文字を語頭にもつ単語を想起 (例: 「あ」→「あひる」)、条件 D: 提示された計算式の答えを出す (例: 「1+2」→「3」)。参加者には、視覚提示された単語に結びつく別の単語を条件に従って想起あるいは計算してもらい、その単語・答えを発話してもらった。その結果、全条件で、刺激提示後、500 ミリ秒から 1000 ミリ秒の潜時帯にて、下側頭後方部に左半球優位の陽性の成分が観察された。よって、動詞産生課題に付加した統語処理が ERP 成分に影響しなかったことが示された (条件 A vs. 条件 B)。また、条件 C や D でも同様の ERP 効果が見られたことから、これらの時間帯で左下側頭後方部の活動に何らかの共通した認知処理があることが示唆された。語の検索は言語処理固有のネットワークに基づくのではなく、より広範な知識の検索に関連する側頭葉の長期記憶へのアクセスと共通した神経基盤があるものと示唆された。

上記 (4) と (5) の研究は、いずれも言語産生に関する脳反応で、これまで未開拓の分野を切り開く手法として、今後の研究が期待される。

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 8 件)

- ① Hagiwara, H. How the brain processes scrambled word order in on-line sentence comprehension: Event-related potential studies. In Hoshi, H. (Ed.) *The Dynamics of the Language Faculty*. pp.

- 253-272. (2009). [査読有]
- ② Hagiwara, H., Soshi, T., Ishihara, M., and Imanaka, K. A topographical study on the ERP correlates of scrambled word order in Japanese complex sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 175-193. (2007). [査読有]
- ③ Koso, A., Hagiwara, H., and Soshi, T. Event-related potentials associated with Japanese scrambled ditransitive sentences. In Sakamoto, T. (Ed.) *Schizophrenia, Aphasia, and Therapy of (Non)verbal Processing in the Brain*. Pp. 335-352, Tokyo, Hitsuji Shobo. (2007). [査読有]
- ④ 萩原裕子「言語理論と脳」『科学』pp. 300-302. (2007). [依頼原稿]
- ⑤ Hagiwara, H. Neural bases of Japanese syntactic processing. In Nakayama, M., Mazuka, R., and Shirai, Y. (Eds.) *Handbook of East Asian Psycholinguistics*, London, Cambridge University Press. Pp. 298-306. (2006). [査読有]
- ⑥ 萩原裕子「多チャンネル事象関連電位を用いた文理解研究—言語学的アプローチ—」『人工知能学会誌』21 巻, 234-241 頁. (2006). [依頼原稿].
- ⑦ 渡邊直紀、竹内文也、栗城慎也、萩原裕子、「日本語複文読解時における統語処理の MEG 計測」『生体医工学』43 巻, 631-637 頁. (2006) [査読有]
- ⑧ 萩原裕子「統語解析における「統合」の諸相 -P600 を指標として-」鈴木右文他 (編) 『中島平三教授還暦記念論文集』開拓社、369-383 頁. [依頼原稿]

[学会発表] (計 3 件)

- ① Koso, A., Ojima, S., and Hagiwara, H. Brain potentials evoked by phonological, semantic and syntactic processes of auditory Japanese. Cognitive Neuroscience Society Annual Meeting, San Francisco, USA. 2008 年 4 月 12 日～15 日.
- ② 高祖歩美、尾島司郎、萩原裕子、日本語の音韻処理における事象関連電位研究. 日本言語学会第 134 回大会 2007 年 6 月 17 日、千葉、麗澤大学.
- ③ Hagiwara, H. How the brain processes scrambled word order in sentence comprehension: Event-related potential studies.” *International Symposium on Language, Mind and Brain 2006* October 10-12, 2006. Akita University, Tegata Campus, Akita, Japan. (2006)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

萩原 裕子 (HAGIWARA HIROKO)
 首都大学東京・人文科学研究科・教授
 研究者番号：20172835

(2) 研究分担者

無

(3) 連携研究者

今中 國泰 (IMANAKA KUNIYASU)
 首都大学東京・大学院人間健康科学研究科・教授
 研究者番号：90100891
 多氣 昌生 (TAKI MASAO)
 首都大学東京・大学院理工学研究科・教授
 研究者番号：60145670

(4) 研究協力者

栗城 慎也 (KURIKI SHINYA)
 北海道大学・電子科学研究所・教授
 高祖 歩美 (KOSO AYUMI)
 首都大学東京・大学院人文科学研究科
 笠井 咲 (KASAI SAKI)
 首都大学東京・大学院人文科学研究科
 梶川 洋子 (KAJIKAWA YOKO)
 首都大学東京・大学院人文科学研究科