

平成 22 年 4 月 1 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008 ～ 2009

課題番号：20820006

研究課題名（和文） 日本語文処理の脳内メカニズム

研究課題名（英文） The cortical mechanisms of Japanese sentence processing

研究代表者

金 情 浩 (KIM JUNGHO)

東北大学・大学院文学研究科・助教

研究者番号：70513852

研究成果の概要（和文）：

日本語かき混ぜ文の二つの語順を理解する際のヒトの脳活動を直接比較することで、かき混ぜの処理を司る脳内神経基盤の解明を試みた。その結果、かき混ぜ文の理解には、左脳の下前頭回(L. IFG, left inferior frontal gyrus)と背側前頭前野(L. DPFC, left dorsal prefrontal cortex)を含む神経ネットワークが重要な役割を果たすことが分かった。

研究成果の概要（英文）：

Using fMRI, we investigated the effects of scrambling on cortical activation by directly comparing the brain regions involved in the processing of Japanese transitive sentences with canonical and scrambled word order. The result showed more activation at the L. IFG and the L. DPFC during the comprehension of scrambled sentences than that of canonical sentences.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合 計
2008 年度	1, 210, 000	363, 000	1, 573, 000
2009 年度	1, 150, 000	345, 000	1, 495, 000
年度			
年度			
年度			
総 計	2, 360, 000	708, 000	3, 068, 000

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：言語学・言語学

キーワード：文処理、かき混ぜ語順文、心理言語学、認知脳科学

## 1. 研究開始当初の背景

1980年代には、日本語の「かき混ぜ文」が英語に見られる疑問詞の文頭への移動（WH 移動）や話題化などのように、名詞句が意味役割上の解釈を受ける位置と異なる位置で発音される現象と同様に移動の一種であるかどうか理論上の争点となった。1980年代末までには、理論言語学的には「かき混ぜ」も

WH 移動などと同様に統語的な「移動」の一種であるという結論が得られた（Saito 1985 など）。1990年代に入って失語症の研究から「かき混ぜ」が移動の一種であるとする分析を支持する証拠が見つかった。このように、「かき混ぜ」が移動の一種であるとする分析は、理論言語学と神経言語学（失語症研究）双方の観点から支持されている。これらのことか

ら、「かき混ぜ」がWH移動など他の移動と同様の脳内処理基盤を持つであろうことが推測される。統語的移動に関する研究は、理論言語学や心理言語学、さらには認知脳科学など、多方面で行われてきた。しかし、認知脳科学の場合、その研究対象の多くは英語やドイツ語などで、日本語の移動現象を認知脳科学の見地から解明しようとした試みはほとんどない。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、日本語かき混ぜ文の二つの語順を理解する際のヒトの脳活動を直接比較することで、かき混ぜの処理を司る脳内神経基盤の解明を試みた。

## 3. 研究の方法

fMRI（脳機能画像法）による日本語他動詞文の文理解時の脳活動の計測を行った。

## 4. 研究成果

理論言語学の研究において、いわゆる自由語順言語に見られる主語や目的語などの語順の入れ替え（かき混ぜ）が統語的な移動の一種であるかどうかは1980年代に理論上の争点となり、1980年代末までに日本語など多くの自由語順言語のかき混ぜがWH移動などと同様に統語的な移動の一種であるという結論が得られた。1990年代に入ると、心理言語学の観点から、かき混ぜが統語的移動であるとする分析を支持する実験結果が多数報告されるようになった。また、それと並行して、失語症の研究からもこの分析にたいする証拠が見つかった。このように、かき混ぜが移動の一種であるとする分析は、理論言語学だけでなく、心理言語学や神経言語学（失語症研究）の観点からも支持されている。

これらのことから、かき混ぜがWH移動など他の統語的移動と同様の脳内処理基盤を持つであろうことが推測される。しかし、脳機能画像法を用いた移動の研究のほとんどはWH移動や話題化に関するもので、かき混ぜの処理がそれらと同様の神経ネットワークによって司られているかどうかを直接確かめた研究はほとんど行われていないのが現状である。そこで、日本語他動詞文のかき混ぜ操作がヒトの脳活動にどのような影響を及ぼすのか、また移動による統語構造の複雑さとブローカ野活動の上昇に見られる相関関係は、英語やドイツ語などの個別言語特有のものなのか、それとも移動の統語現象を持つ言語において普遍的に見られるものなのかを検討するために、機能的磁気共鳴画像法（fMRI, functional magnetic resonance imaging）を用いた実験を行った。

**被験者** 東北大学の大学生と大学院生の36名がfMRI実験に参加した（男性28名、女性8

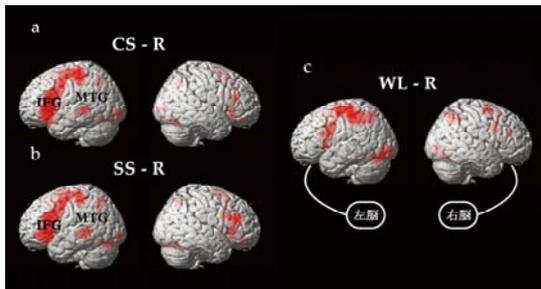
名、平均年齢20.8歳（18-24）、SD=1.72）。被験者はすべて神経学的異常も精神的異常も認められない右利きの健常者で、日本語の母語話者であった。

**実験課題とデザイン** 基本語順文条件（CS, Canonical Sentence task）とかき混ぜ文条件（SS, Scrambled Sentence task）、単語リスト条件（WL, Word List task）、安静条件（R, Rest）の4つの実験条件を設けた。刺激文は基本語順文42文とかき混ぜ文42文、42の単語リストを用意した。CSとSSのそれぞれの刺激文のうち、28文は意味的に正しい文、14文は意味的におかしい文で構成された。さらに、提示された文が意味的に正しい文なのかそれともおかしい文なのかを動詞を読む前に判断できないように、非文の14文を主語と動詞が意味的に合わない文（7文）と目的語と動詞が意味的に合わない文（7文）に分けた。WLは、CSとSSで使われた単語を組み合わせて文にならないリストを作成した（42個）。被験者には3つの単語（正確には文節）がすべて違う単語で構成されているのか、それとも同じ単語が混ざっているのかを判断してもらった。前者を「正」、後者を「誤」として統計処理した。被験者には刺激文が提示されてから次に「+」が出ている間（最大4500msec）にできるだけ速く正確に読んで、できるだけ速く正確に正誤判断ボタンを押すよう指示した。最後に安静条件（R）では、眼球運動を抑えるためモニターの中央に十字マークの固視点を提示し、被験者にはそれを凝視するように指示した。すべての刺激文は、視覚刺激としてプロジェクターを介しMRI室内のヘッドコイル上のスクリーンに全文提示（whole-sentence presentation）された。実験デザインはブロックデザイン（blocked design）を用いた。

**fMRI データ撮影** fMRI 実験は、東北大学のSiemens Vision 1.5TのMRI装置を用い、課題遂行中の脳活動の変化をEPI（echo planar imaging）画像によって撮像した（TR: 3800 ms, TE: 50 ms, FOV: 192 mm, スライス厚: 3 mm, スライス枚数: 42枚、画像マトリックス: 64×64 mm）。EPI撮像の後、各被験者の全脳の形態画像（T1強調画像）を撮像した（TR: 1900 ms, TE: 3.93 ms, スライス厚: 1.0 mm, FOV: 256 mm）。

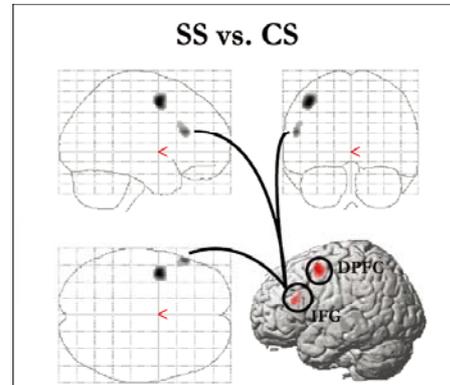
**反応時間と誤答率** 反復測定による分散分析の結果、反応時間における各条件間の主効果が有意であった $[F(2, 70)=72.53, p<.001]$ 。誤答率も各条件間の主効果が有意であった $[F(2, 70)=5.99, p<.01]$ 。さらに詳細な検討を行うために、反応時間と誤答率について3つの条件間の単純比較を行った。その結果、反応時間ではすべての条件間（CS, SS, WL）の比較で有意な差が観察された $[CS \text{ vs. } SS, F(1, 35)=57.9, p<.001]$   $[CS \text{ vs. } WL,$

$F(1, 35)=55.2, p<.001$ ][SS vs. WL,  $F(1, 35)=85.8, p<.001$ ](SS>CS>WL)。誤答率では、CS vs. SS 間と SS vs. WL 間で有意であったが[ $F(1, 35)=5.2, p<.05$ ][ $F(1, 35)=8.7, p<.01$ ]、CS vs. WL 間では有意な差は見られなかった[ $F(1, 35)=2.9, p=.099$ ](SS>CS, WL)。**fMRI データと考察** 日本語他動詞文の文理解(処理)時の大脳皮質の活動領域を特定するために「CS vs. R」、「SS vs. R」の比較を行った。その結果、ブローカ野(Broca's area)を含む両側の下前頭回(IFG, inferior frontal gyrus)と前頭前皮質(prefrontal cortex)、および左脳の中側頭回(L. MTG, left middle temporal gyrus)後部(ウェルニッケ野 Wernicke's area)に賦活が観察された。



しかし「WL vs. R」の比較では、左脳の下前頭回と左脳の中側頭回の脳活動が観察されなかった。被験者は WL 条件で 3 つの単語がすべて違うかどうかを判断するよう指示されていたため、WL 課題遂行中に統語処理や意味処理を行っていなかったことに起因するものと思われる。中側頭回は語彙・意味処理 (lexical-semantic processing) や文処理に関わる領域として知られている (Demonet et al., 1992, Wise et al., 1991)。「CS vs. R」「SS vs. R」の比較で、語順(SOV 語順、または OSV 語順)にかかわらず古典的言語野として知られているブローカ野とウェルニッケ野に共通の賦活が見られた。これは基本語順文の理解にかかわる賦活領域は同時にかき混ぜ文の理解にかかわる領域でもあることを示す。また、左脳の前頭前皮質が文レベルの理解に関与するモジュールであることを示唆する。最後に、基本語順文あるいはかき混ぜ文の文理解に固有に関わる脳活動領域を特定するために、「CS vs. SS」と「SS vs. CS」の直接比較を行った。その結果、前者の比較では統計的に有意な賦活領域が見られなかったが、後者の比較では左脳の下前頭回(L. IFG)と左脳の背側前頭前皮質(L. DPFPC)に賦活が観察された。左半球のブローカ野を含む下前頭回は、統語的に複雑な文理解にかかわる領域であるとする研究結果をはじめ (Friederici et al., 2006, Hashimoto and Sakai 2002, Inui et al., 1998, Stromswold et al., 1996)、ワーキングメモリ負荷 (working memory load) と相関を示すとする

研究報告や (Ben-Shachar et al., 2003, Fiebach et al., 2005)、さらには文法性判断 (Embick et al., 2000) や文法規則の獲得 (Musso et al., 2003, Opitz and Friederici 2003) などに固有に関与する領域であるとする研究報告など、これまでの認知脳科学の研究から言語理解(処理)に深くかかわる領域であると考えられている。



Stromswold et al. (1996) は、PET (Positron-Emission Tomography) の実験で、英語の「中央埋め込み文 vs. 右枝分かれ構文」の比較を行い、左脳の弁蓋部 (pars opercularis, BA 44) の局所脳血流量 (rCBF, regional cerebral blood flow) の上昇を確認した (弁蓋部はブローカ野の一部)。この結果は、統語構造の複雑さとブローカ野活動量との相関を示唆する (Ben-Shachar et al., 2003, Cooke et al., 2001)。英語の場合、心理実験などで主格の関係代名詞を含む右枝分かれ構文に比べ、目的格の関係代名詞を含む中央埋め込み文のほうが高い誤答率を示し、文処理により長い反応時間を要すると報告されている (Caplan et al., 1994, King and Just, 1991)。

一方、Cooke et al. (2001) の研究グループは、文法構造 (Subject-relative vs. Object-relative) と短期記憶 (short vs. long) の課題条件を取り入れた  $2 \times 2$  デザインを用いた fMRI 実験で、短期記憶 (STM, Short-Term Memory) とブローカ野活動の相関を示した。また、Fiebach et al. (2005) は、文の長さは同じであるが「語順 (SO vs. OS)」と「移動距離 (short vs. long)」が異なる 4 つの WH 疑問文課題 (Short-subject, Short-object, Long-subject, Long-object) を用いた実験で、語順による効果 (大脳皮質の賦活) は現れず「移動先と元の位置 (trace) の距離 (移動の距離)」と「ブローカ野の活動量」が相関関係にあると報告している。いずれの結果もブローカ野の賦活量の上昇は、語順のような統語構造上の複雑さ (syntactic complexity) ではなく移動距離の違いによるワーキングメモリ負荷 (working memory load) の増加と相関関係にあることを示唆す

るものであった。

しかし、上記の一連の研究結果は、長文の文処理(例えば、長距離移動を含むかき混ぜ文)における統語処理とブローカ野活動の相関、あるいはワーキングメモリ負荷とブローカ野の活動量の相関を示唆するに留まっておらず、短距離移動を含むかき混ぜ文の文処理とブローカ野活動の相関を確かめることは出来なかった(Wartenburger et al., 2003)。本研究は、日本語他動詞文を構築する最も単純な構成素(主語、目的語、動詞)を用いた最小対(minimal pair)の他動詞文で行った実験で、その結果、基本語順文とかき混ぜ文の文処理にかかわる大脳皮質の領域はほとんど共通しているが、かき混ぜ文の文処理の際に左脳の下前頭回(L. IFG)が、基本語順文の文処理時に比べより強く活動することが確認できた。この結果は、かき混ぜ文は移動操作によって生み出された空所とフィラーの依存関係を持つという点において、基本語順文よりも複雑な統語処理が必要であるとする理論言語学や心理言語学の仮説を支持するものである。また、先行研究のほとんどが英語の WH 構文やドイツ語のかき混ぜ文を用いて行われているが、これらの言語とは系統的にも類型的にも異なる日本語のかき混ぜ文でもブローカ野活動の上昇を確認できたことから、統語処理の複雑さとブローカ野の活動との相関が、移動のタイプの違い(WH 移動 vs. かき混ぜ)や個別言語の違い(英語 vs. ドイツ語 vs. 日本語)にかかわらず全ての言語に共通して見られる普遍的な性質である可能性が高いことが示唆された。

#### 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 5 件)

- ① Satoru Yokoyama, Jungho Kim, 他 5 名 (2009) Left middle temporal deactivation caused by insufficient second language word comprehension by Chinese-Japanese bilinguals. *Journal of Neurolinguistics* 22-5, 476-485, 査読有
- ② Satoru Yokoyama, Jungho Kim, 他 4 名 (2009) Learning effect of L2 words in non-fluent second language learners: an fMRI study. Ryan L. Jikal and Samantha A. Raner (Eds.), *Second Languages: Teaching, Learning and Assessment*. Nova Science Publishers, 147-156, 査読無
- ③ 金情浩 (2009) 日本語短距離かき混ぜ文の脳内処理機構、「言語・脳・認知」科学と外国語習得、ひつじ書房, 85-97, 査読

無

- ④ Jungho Kim, Masatoshi Koizumi, 他 9 名 (2009) Scrambling effects on the processing of Japanese sentences: An fMRI study. *Journal of Neurolinguistics*, 22, 151-166, 査読有
- ⑤ Koizumi, Masatoshi, Naoki Kimura, and Jungho Kim (2008) Syntactic positions of arguments in Japanese clause structures: A psycholinguistic perspective. T. Sano, M. Endo, M. Isobe, K. Otaki, K. Sugisaki, and T. Suzuki (Eds.), *Enterprise in the Cognitive Science of Language*, Hituzi Syobo, 481-493, 査読無

[学会発表] (計 5 件)

- ① Sanae Yamaguchi, Jungho Kim, 他 6 名 (2009) Effects of L2 input quantity on L2 pronunciation. Foreign Language Learning and Teaching (FLLT) 1, 2009.10.16, Bangkok, Thailand.
- ② 山口早苗, 金情浩, 他 4 名 (2009) 「接触量による発音習得への影響—早期英語教育の事例研究—」、全国英語教育学会 (第 35 回)、2009. 8. 8、鳥取大学。
- ③ 江村健介, 金情浩, 他 5 名 (2009) 名詞複合語の獲得と構造、信学技報、2009. 7. 18、九州大学、570-579。
- ④ Noriaki Yusa, Jungho Kim, 他 7 名 (2008) A Neurological Index of Instructed SLA: Evidence from fMRI. Eurosla 18, 2008. 09. 12, Aix-en-Provence, France, 230-231.
- ⑤ 金情浩 (2008) 「日本語かき混ぜ文の文処理」、日本語教育世界大会 (第 7 回)、2008. 7. 12、釜山外国語大学、韓国。

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

金 情浩 (KIM JUNGHO)

東北大学・大学院文学研究科・助教

研究者番号：70513852