

KIM  
金

JUNG  
情

HO  
浩

学位の種類	博士(文学)
学位記番号	文博第 210 号
学位授与年月日	平成18年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	東北大学大学院文学研究科(博士課程後期3年の課程) 言語科学専攻
学位論文題目	日本語他動詞文の文処理に関する研究 —L1・L2話者を対象として—
論文審査委員	(主査) 教授 千種真一 教授 後藤 齐 教授 齋藤倫明 助教授 小泉政利

## 論文内容の要旨

### 第1章 序論

主に理論言語学や心理言語学の観点から議論されてきた、日本語他動詞文における基本語順文とかき混ぜ語順文の文処理に関する様々な見解を本稿ではfMRIという新しい手法を用いて認知脳科学の観点から考察を行った。本研究は、人間固有の「文法」の処理、特に日本語他動詞文における「かき混ぜ」の処理を司る脳内神経基盤はどのような性質を持っているのか、もしそういった機能を持つ脳内部位が局在するとしたら、それはどこなのかを明らかにするのが第一の目的である。そして、日本語を第二言語として習得している母語以外の学習者の文法処理は(母語話者との比較を含めて)どこで、どのように行われているのかを究明するのが第二の目的である。本研究では、それらを明らかにするための3つの実験を行った。

### 第2章 脳の解剖と脳機能画像

第2章では、本研究の実験で用いられたfMRIをはじめ、ERP、PET、MEGなどの脳機能画像法の原理やデータの解析方法などについて概説した。特に、fMRIは従来の解剖などの手法を用いず生きた人間の脳内の働き(脳機能)を直に観察することが可能であり、他のイメージング手法より空間分解能において優れていて、近年fMRIを用いた様々な研究が行われている。また、fMRI実験に用いられるデザイン(ブロックデザインとイベントデザイン)の実験構造や実験から得られた生のデータを処理するためのSPM2によるデータ解析の流れについても簡単に触れた。さらに、ヒトの大脳皮質の構造や従来から

言語処理システムに関連すると考えられてきた脳の領域についても概観した。

### 第3章 日本語他動詞文の統語構造の脳内処理メカニズム

1980年代、Hale (1980) と Farmer (1984) などにより日本語にはVPが存在しないので、主語も動詞も同じ位置にあらわれるフラットな構造を持つ言語であると提案されて以後、Saito and Hoji (1983) や Miyagawa (1989) などにより、弱交差、代名詞化などの文法現象から日本語は階層構造を持つ言語であることが証明された。日本語の統語構造が非階層構造ではなく階層構造をもつ言語であるという理論言語学からの主張が正しいと仮定した場合、基本語順文から派生されたかき混ぜ語順文は、依存関係 (filler-gap dependency) により基本語順文に比べ統語的に複雑な句構造をもつので、オンライン上での文処理もかき混ぜ語順文の方が難しくなることが予想される。実際、心理言語学の観点からもかき混ぜ操作による統語構造の複雑さを確かめるため、オフラインまたはオンラインでの刺激文に対する読み時間の測定や移動の痕跡による再活性化 (reactivation) 効果、眼球運動 (eye-movement) などの手法を用いて、これを支持するような研究報告が多数なされている (中條, 1983; Sakamoto, 2002; Miyamoto and Takahashi, 2002; Koizumi and Tamaoka, 2004; Tamaoka et al., 2005)。また、認知脳科学の観点からはfMRIやERP、PETなどの手法を用いて言語を構成する3つのモジュール (統語論、意味論、音韻論) と脳内処理システムとの関連性を究明するための様々な研究がなされている。特に、統語処理と左脳のブローカ野 (下前頭回) の活動が強い相関を持っていることを支持するような実験結果が数多く見られる (Caplan et al., 1998; Just et al., 1996; Stromswold, 1994; Sakai, 2005)。

### 第4章 日本語他動詞文におけるスクランプリングの効果

#### <実験1>

##### 目的

Miyamoto and Nakamura (2003) は、日本語は主語の位置にギャップをもつ関係詞節文に比べ目的語の位置にギャップをもつ関係詞節文のほうが読み時間が長かったと報告している。実際、Just et al. (1996) のfMRI実験でも目的語位置にギャップをもつ関係詞節文で、言語野 (ブローカ野とウェルニッケ野) の活動増加を報告している。しかしながら、そのほとんどの研究は、ドイツ語や英語などの言語における移動 (WH移動/主題化文/受動文など) を含む刺激文を用いた研究であり、日本語を対象としたイメージング研究はほとんど行われていないのが現状である。そこで、日本語他動詞文におけるスクランプリングの統語操作が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化とブローカ野の活動増加との関連性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なものなのかを究明するための研究を行った。

##### 被験者

東北大学の大学生および大学院生42名 (男性32名、女性10名、平均年齢22.3歳、SD=3.88) がfMRI実験に参加した。すべての被験者は右利きの健常者で、日本語の母語話者であった。実験に先立ち、東北大学内のガイドラインに沿って、実験の内容と安全性について十分に説明した上、同意書にサインしてもらった。また、エディンバラ利き手テスト (Oldfield, 1971) を用いて利き手調査を行った。

##### 実験課題とデザイン

fMRI実験課題は基本語順文条件 (C=Canonical sentence) とかき混ぜ語順文条件 (S=Scrambled

sentence)、単語条件 (W=Working Memory task)、安静条件 (R=Rest) の4つの実験条件で構成された。刺激文は基本語順文36文とかき混ぜ語順文36文、36の単語リストを用意した。基本語順文条件 (C)とかき混ぜ語順文条件 (S)のそれぞれの刺激文のうち、18文は意味的に正しい文、18文は意味におかしい文で構成された。さらに、3文節目の動詞が出てくる前に意味的に正しい文なのかそれともおかしい文なのかを判断できないように、非文の18文は、主語と動詞が意味的に合わない文 (9文) と目的語と動詞が意味的に合わない文 (9文) に分けられた。単語条件 (W) は、基本語順文条件とかき混ぜ語順文条件で使われた単語を組み合わせて作成した。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 (3a)、それとも1つでも同じ単語が入っているのかを判断してもらった (3b)。3つの単語がすべて違うリストを「正」、同じ単語が混ざっているリストを「誤」としてデータ処理した。また、文節間の長さの違いにより読み時間に差 (刺激文の長さによる差) が生じるのを防ぐため、すべての刺激文の文節を4モーラに揃えた。

(1) 基本語順文条件 (36文)

- a. 教師が生徒をまもった。 (Correct)
- b. ケーキが患者を運んだ。 (Incorrect)

(2) かき混ぜ語順文条件 (36文)

- a. 生徒を教師がまもった。 (Correct)
- b. 患者をケーキが運んだ。 (Incorrect)

(3) 単語条件 (36の単語リスト)

- a. 機会を 両手を 時計を (Correct)
- b. 信じた 感じた 信じた (Incorrect)

被験者には動詞または3番目の文節がでてきてから「+」が出ている間に、できるだけ速くできるだけ正確に読んで、できるだけ速くできるだけ正確にボタンを押すよう指示した。各文節はスクリーンの中央に0.5秒間提示された。また、被験者が文節間の切れ目を認識できるように、文節と文節の間には0.1秒間のポーズをおいた。これは、例えば単語条件で「探した 治した 治した」のように「治した」が続いて提示された場合などに、被験者が同じ単語が2回続けて出てきたかどうか判断できなくなるのを防ぐためである。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提示された。被験者には本実験の前に本課題とまったく同じデザインの練習を行ってもらった。すべての実験が終了してから課題に関する感想やMRI装置内でボタンの押し間違いなどがあつたかどうかを確認するための簡単なアンケート調査を行った。また、ある特定部位の脳活動は差分法 (subtraction) を用いて特定を行った。差分法とは、ある特定の脳活動 (A) における脳の活動領域の画像から別の脳活動 (B) における脳の活動領域の画像の差をとることで、(A) と (B) で共通している脳の活動領域が除かれ、(B) と比較して (A) のほうに固有に関与している脳の活動領域を同定するというものであり、たとえば、(A) の脳活動量が「3」で、(B) の脳活動量が「2」だとすると、「 $3 - 2 = 1$ 」で、(A) の脳活動量は (B) の脳活動量よりも「1」強いということになる。条件ごとの脳活動領域を特定するため、(4) のように条件間の差分をとった。基本語順文条件 (C) から安静条件 (R) を差分することで、基本語順文条件固有の脳活動領域を特定することができ、かき混ぜ語順文条件 (S) から安静条件 (R) を

差分することで、かき混ぜ語順文条件遂行時にだけかかわる脳活動領域を特定することができる。また、基本語順文条件(C)から単語条件(W)、かき混ぜ語順文条件(S)から単語条件(W)を差分することで、文処理における単語（語彙）や格助詞の影響を取り除くことができ、その結果得られた脳活動領域は基本語順あるいはかき混ぜ語順における純粋に文レベルの処理にだけかかわる領域だと解釈できる。

- (4) a. 基本語順文条件 vs. 安静条件
- b. かき混ぜ語順文条件 vs. 安静条件
- c. 基本語順文条件 vs. 単語条件
- d. かき混ぜ語順文条件 vs. 単語条件
- e. 基本語順文条件 vs. かき混ぜ語順文条件
- f. かき混ぜ語順文条件 vs. 基本語順文条件

上記の条件間の差分により、特定された脳活動領域は、「Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain」(Talairach and Tournoux, 1998) を用いて場所を特定した。

#### 反応時間と誤答率

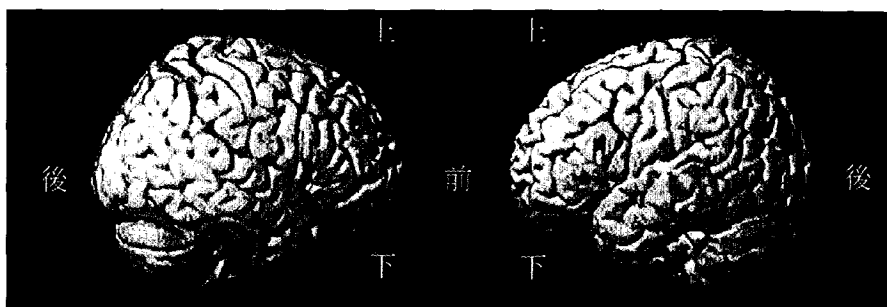
3番目の文節または単語が提示されてからボタンを押すまでの時間を計測した（最大2.8秒）。各被験者の条件ごとの平均から標準偏差の±2.5倍よりも外れた値を境界値（平均±2.5×標準偏差）で置き換えた。3つの条件（基本語順文条件、かき混ぜ語順文条件、単語条件）について、反応時間および誤答率に対して反復測定による分散分析を行った。反復測定による分散分析の結果、反応時間では条件間の主効果が有意でなかったが[F(2, 82)=1.99, p=0.14]、誤答率では条件間の主効果が有意であった [F(2, 82)=3.39, p<.05]。より詳細な検討を行うために、誤答率について3つの条件間の単純比較を行った。その結果、基本語順文条件と単語条件の単純比較では有意傾向が見られた [F(1, 41)=4.06, p=0.051]。しかし、かき混ぜ語順文条件と単語条件の単純比較では有意差が見られなかった [F(1, 41)=0.19, p=0.67]。基本語順文条件とかき混ぜ語順文条件の単純比較では有意な差が見られた [F(1, 41)=6.37, p<.05]。

#### fMRIデータと考察

(4a~d) の差分の結果から、基本語順文（主語・目的語・動詞）あるいはかき混ぜ文（目的語・主語・動詞）の語順にかかわらず、すべての条件において文処理にかかわる領域が基本的に共通していることが分かった（ブローカ野、ウェルニッケ野など）。これらの領域は従来、古典的な言語野として知られている領域と一致している。さらに、基本語順あるいはかき混ぜ語順に固有に関与するモジュールを特定するため、「基本語順文条件 vs. かき混ぜ語順文条件」「かき混ぜ語順文条件 vs. 基本語順文条件」の差分を行った結果、前者の差分（C vs. S）では有意な脳活動領域は見られなかったが、後者の差分、つまり「かき混ぜ語順文条件(S) vs. 基本語順文条件(C)」で左脳の下前頭回 (x, y, z = -58, 20, 20) に賦活が観察された（図1）。認知脳科学において、下前頭回（ブローカ野）は主に統語的に複雑な構造を持つ文処理を行うときに賦活されることが数多く報告されている（Caplan et al., 1998; Hashimoto & Sakai, 2002; Indefrey et al., 2001; Just et al., 1996; Stromswold et al., 1996）。

本研究の結果は、かき混ぜ語順文はスクランプリング操作によって産み出された空所とその埋語の依存関係 (filler-gap dependency) をもつという点で基本語順文に比べ、統語構造が複雑であるとする理

論言語学の仮説が認知脳科学の観点からも支持されたと言える。また、本研究の結果は、Hagiwara and Caplan (1990) で報告されている、ブローカ失語症患者がかき混ぜ語順文の理解に困難を伴うという心理実験の結果とも整合的である。



(図1) 「S vs. C」 ( $P < 0.05$ , FWE)

## 第5章 日本語他動詞文の文処理 — L2話者（韓国人・中国人）の場合

### <実験2>

#### 目的

実験1では刺激文を文節毎に提示したが、この方式は日本語L2話者（特に日本語初級者）には記憶の負荷などの点で難しすぎる可能性がある。そのため、外国人が日本語を第二言語として習得していく過程に見られる脳内変化を調べる研究には、一文全体を一度に提示する方式（全文提示）を用いることにした。その研究の予備実験として、日本語母語話者を対象とする全文提示によるfMRI実験を行った（習得過程に見られる脳内変化の実験は今現在も進行中である）。

#### 被験者

本実験には東北大学の大学生と大学院生の36名が参加した（男性28名、女性8名、平均年齢20.8歳（18～24）、 $SD=1.72$ ）。すべての被験者は日本語の母語話者で健常者であった。また、エディンバラ利き手テストを用いて利き手調査を行った結果、全員が右利きであった。

#### fMRI実験課題とデザイン

fMRI実験課題は4つの条件で構成された（実験1と同様）。ただし<実験1>は文節提示で行われた実験であるが、本実験は全文提示で行われた。基本語順文条件とかき混ぜ語順文条件は正しい文が28文、おかしい文が14文の合計42文、単語条件も同様に42個（正：28、誤：14）が用意された。

#### 反応時間と誤答率

反復測定による分散分析の結果、反応時間では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の比較で有意な差が観察された。誤答率では、基本語順文条件とかき混ぜ語順文条件間で、そしてかき混ぜ語順文条件と単語条件間で、有意であったが [ $F(1, 35)=5.191$ ,  $p < .05$ ] [ $F(1, 35)=8.679$ ,  $p < .01$ ]、基本語順文条件と単語条件間では、有意な差は見られなかった [ $F(1, 35)=2.871$ ,  $p=0.099$ ]。

## fMRIデータと考察

全文提示で行われた本実験からも〈実験1〉の文節提示の実験結果と類似の結果を得た。まず、「C vs. R」「S vs. R」「C vs. W」「C vs. W」の差分から語順（SOV語順またはOSV語順）にかかわらず古典的に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して賦活が観察された。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語順文の理解にかかわる領域でもあることを示すものと見られる。特に、左脳の前頭前野（prefrontal cortex）は文の理解に関与するモジュールであることを示すものでもある。次に、基本語順文の文処理に固有に関わる領域とかがき混ぜ語順文の文処理に固有に関わる領域を特定するために行った「C vs. S」「S vs. C」の直接比較の結果、前者の差分からは統計的に有意な賦活領域が観察されなかったが、後者の差分からは下前頭回（L.IFG）と中前頭回（L.MFG）、上前頭回（L.SFG）に賦活が観察された（図2）。本実験の結果もまた、前章の結果と同様、日本語他動詞文のかがき混ぜ語順文は基本語順文に比べより複雑な統語構造をもつとする理論言語学や心理言語学の理論を支持するものであると同時に、言語を構成する3つのモジュール（統語論、意味論、音韻論）の中で、統語処理はブローカ野と深くかかわっていることを支持するものである。



(図2) 「S vs. C」(P<0.05, FWE)

### <実験3> (韓国人と中国人の日本語上級者)

#### 第二言語習得における習得年齢 (AOA) と習熟度 (PL) の問題

Chomsky (1965) は幼児が外部から与えられる言語刺激が量的にも質的にも不十分であるにもかかわらず、生後数年間で成人と同様にほぼ完璧な母語の文法を習得することが可能なのは、ヒトの脳内には言語を獲得し使用するための特別な仕組み (LAD=language acquisition device) が備わっているからだと述べている。また、Lenneberg (1967) は、ヒトが言語を習得するに当たり「習得の臨界期仮説 (CPH=critical period hypothesis)」が存在することを主張した。言語習得に臨界期が存在することを支持する証拠としてレネバーグは、幼いときに何らかの原因で脳損傷を被った子供はその回復のスピードと度合いが速くて高いのに対して、脳損傷を受ける年齢が上がるに従って次第に回復のスピードと度合いが遅くかつ低くなることをあげている (Lenneberg, 1967; Bates et al., 1997)。第二言語習得における臨界期の存在を支持する研究としてJohnson and Newport (1989) の研究報告があげられる。Johnson and Newport (1989) は、アメリカに在住し英語を勉強している46人の中国人と韓国人を対象とした実験で、文法性判断課題に対する正答率が7歳以降になると急激に落ちることを報告している。一方、イメージング研究ではKim et al. (1997) で成人になってからL2を習得したバイリンガルグループ (late bilingual) とL1とL2をほぼ同時に習得したバイリンガルグループ (early bilingual) に文生成課題 (sentence-generation task) を行ってもらったところ、ウェルニッケ野はearly bilingualにおいてもlate bilingualにおいても類似の脳活動が見られたが、ブローカ野の活動はlate bilingualにだけ観察されたと報告している。この実験の結果からウェルニッケ野の活動は習得年齢 (AOA=age of

acquisition) や個別言語 (英語や韓国語、スペイン語など) にかかわらず観察されるが、ブローカ野の活動は習得年齢と深くかかわっていると結論付けている。その後、L 2 の習得年齢 (AOA) や習熟度 (PL=proficiency level) が違っても、ブローカ野の活動に差が見られなかったという実験結果 (Chee et al., 1999) や L 2 の習得時期が遅いほうが活動が強まるという報告 (Wartenburger et al., 2003) があらわれて、L 1 と L 2 におけるブローカ野の役割は未だに明らかになっていないのが実情である。

## 目的

日本に住んでいる韓国人と中国人の日本語上級者の L 2 話者を対象として日本語他動詞文の基本語順文とかき混ぜ語順文の文処理の際、日本人と同じような脳の使い方をするのかそれとも日本語と典型的に類似な母語を持つ L 2 話者 (韓国人被験者グループ) とそうでない L 2 話者 (中国人被験者グループ) でそれぞれ独自の脳の使い方をするのかを調べるための実験を行った。

## 被験者

東北大学に在学している留学生13名 (韓国人が7名、中国人が6名) がfMRI実験に参加した。全員韓国語だけ、あるいは中国語だけを母語とする被験者で、韓国語と中国語の両言語を母語とする中国朝鮮族は被験者グループに含まれていない。被験者は全員健常者で、平均年齢は28.3歳だった (20~35歳、SD=5.17、男性:3名、女性:10名)。韓国人の平均年齢は30.6歳 (20~35歳、SD=5.41、男性2名、女性5名)、中国人は25.7歳 (22~31歳、SD=3.67、男性1名、女性5名) だった。被験者募集の段階で日本語能力試験1級の資格を持っていることと日本に少なくとも3年以上連続して居住していることを実験参加条件として設けた。韓国人グループと中国人グループの日本滞在期間と日本語学習期間に統計的な有意差はなかった [ $F(1, 11)=1.10, p=0.32$ ]、 $[F(1, 11)=0.001, p=0.98]$ 。日本語を第二言語 (L 2) として習得し始めたのは、韓国人が平均22.6歳 (16~28) から、中国人が平均19.3歳 (13~22) からで、いわゆる「言語習得の臨界期」を過ぎてからであり、全員臨界期を過ぎてから日本語学習を始めた日本語上級者、すなわちLAHP (late acquisition high proficiency subject) である。日本語能力試験の成績 (1級レベル) も両グループ間に有意な差は見られなかった [ $F(1, 11)=0.01, p=0.92$ ]。エディンバラ利き手テスト (Oldfield, 1971) を用いて利き手調査を行った結果、全員が右利きだった。

## 予測

韓国語は格助詞を用いる言語であると同時に目的語を主語の前へ移動させるかき混ぜ語順が可能である。中国語の場合は孤立語の性質をもつ言語であり語順が文の意味を解釈する上で最も重要な手がかりとなる。しかし、SVO語順を持つ中国語にも話題化構文 (topicalization) による移動現象が見られる (Ernst and Wang, 1995)。

## 韓国人グループ

日本人グループと同様、基本語順文に比べかき混ぜ語順文の方が反応時間が長く、誤答率が高くなることが予想される。また統語的に複雑な構造をもつかき混ぜ語順文の方が基本語順文に比べ文処理に負荷がかかることが予想されるので「S vs. C」の直接比較で日本人グループの実験結果と同じく下前頭回 (ブローカ野) の賦活が期待される。

## 中国人グループ

中国語と日本語の言語類型的な性質だけを考慮するのであれば、日本語とは異なり、中国語は格助詞よりは語順によって文の意味が決定されるので、母語の影響によりかき混ぜ語順文をすべて誤文として判断してしまうことも考えられる。つまり、基本語順文の方がかき混ぜ語順文に比べ文処理の負荷が高くなることが予想されるので、「C vs. S」の直接比較で下前頭回（ブローカ野）の賦活が観察されることが予測される。ただし、本実験に参加してもらった中国人被験者グループは日本人ネイティブ並みの日本語能力を持っていることと話題化による目的語の主語の前への移動現象が中国語にもあることを考慮すれば、かき混ぜ語順文に対して日本人と類似した文処理を行っている可能性も考えられる。もし文頭にあらわれた目的語を動詞の補部に埋め込むというような文処理を中国人グループでも行っているのであれば、「S vs. C」の差分で下前頭回（ブローカ野）を始めとした脳領域に賦活が観察されることが期待される。

## fMRI実験課題とデザイン

fMRI実験には<実験2>と同様、4つの条件が用意された。すべての刺激文は過去10年間（1990～2000）の「日本語能力試験」に出てきた単語をモーラ数ごとに分けて調べたあと、出てきた回数が多いほうから選んだ（1998年度の日本語能力試験の問題は入手することができなかったので、データには含まれていない）。また、1級から4級レベルの中で、3級と4級で出てきた語彙だけを刺激文に採用した（4級レベルを最優先で選んだ）。fMRI実験はブロックデザインを用いた。

## 反応時間と誤答率

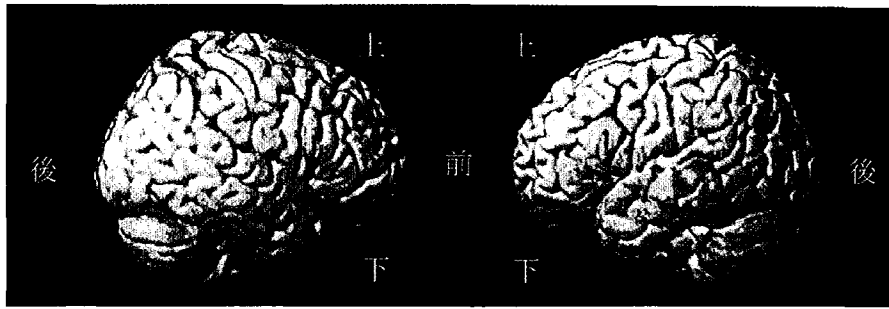
反復測定による分散分析の結果、反応時間は条件間の主効果が有意であった [ $F(2, 12)=20.68, p<.001$ ]。しかし誤答率は各条件間の主効果が有意ではなかった [ $F(2, 12)=3.16, p=0.08$ ]。より詳細な検討を行うために反応時間について3つの条件間の単純比較を行った。その結果、「C vs. W」と「S vs. W」の反応時間には統計的に有意な差が見られたが [ $F(1, 6)=18.71, p<.005$ ] [ $F(1, 6)=23.55, p<.005$ ]、  
「C vs. S」の反応時間は有意傾向にとどまった [ $F(1, 6)=5.39, p=0.059$ ]。中国人被験者グループ6人の反応時間と誤答率について分散分析を行った結果、反応時間と誤答率は各条件間の主効果が有意であった [ $F(2, 10), p<.001$ ] [ $F(2, 10)=18.52, p<.001$ ]。最後に、被験者全員（13人）について分散分析を行った結果、反応時間と誤答率は各条件間の主効果が有意であった [ $F(2, 24)=54.02, p<.001$ ] [ $F(2, 24)=13.68, p<.001$ ]。

## fMRIデータと考察

### 中国人被験者（6名）

中国人6名のfMRIデータ解析の結果、「C vs. W」の差分で左脳の下前頭回と中前頭回に、「S vs. W」の差分では左脳の下前頭回、中前頭回、中側頭回に賦活が観察された。そして、「C vs. S」の直接比較では有意な賦活領域が見られなかったが「S vs. C」の差分で左脳の下前頭回に賦活が観察された（図3）。

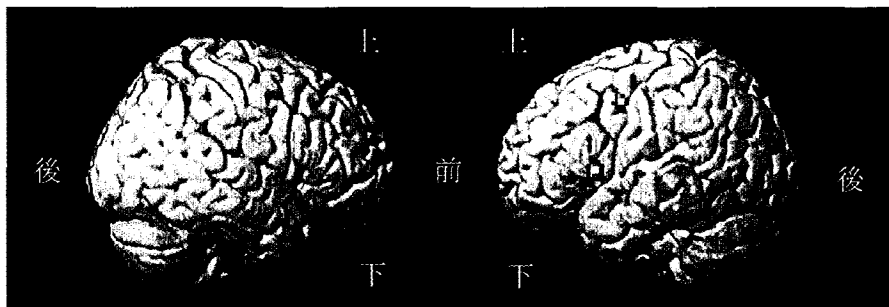




(図3) CHI\_「S vs. C」(P<0.05, FWE)

#### 韓国人被験者 (7名)

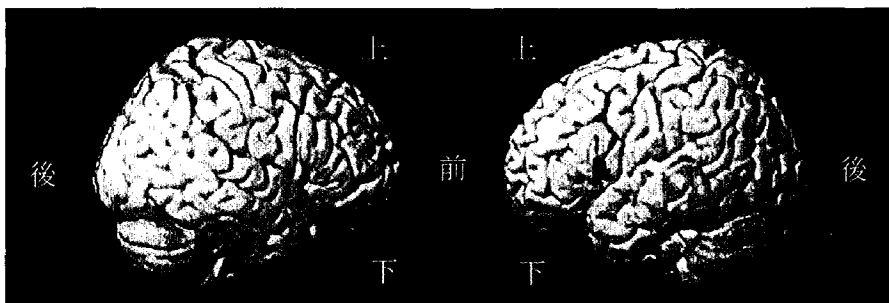
韓国人被験者7名のfMRIデータ解析の結果、「C vs. W」の差分で左脳の中側頭回と上側頭回、中前頭回に賦活が観察された。「S vs. W」の差分では左脳の下前頭回、中前頭回、上側頭回、中側頭回に賦活が見られた。「C vs. S」の直接比較では有意な賦活領域が見られなかったが「S vs. C」の差分では左脳を中心前回、下前頭回に賦活が観察された(図4)。



(図4) KOR\_「S vs. C」(P<0.001, Uncorrected)

#### 被験者全員 (13名)

基本語順文あるいはかき混ぜ語順文の文処理に固有に関わる領域を特定するために「C vs. S」「S vs. C」の直接比較を行った。差分の結果、「C vs. S」の直接比較では統計的に有意な賦活領域が見られなかったが「S vs. C」の直接比較では、かき混ぜ語順文の文処理に固有に関わる領域と考えられる下前頭回(BA 44/45)に優位な脳活動が観察された(図5)。



(図5) KOR+CHI\_「S vs. C」(P<0.05, FWE)

韓国語は日本語と同様、比較的語順が自由な言語である。また、両言語とも膠着語の性質をもち、格助詞(case particles)により文法機能(主語、目的語など)が決まる言語である。一方、中国語は主に中国、東南アジアなどで話されている言語で、シナ・チベット語族(Sino-Tibetan family)に属する

言語として韓国語や日本語とは違って孤立語の性質をもち、英語と同様に語順 (word order) が意味を解釈する際の最も重要な手がかりとなる言語である。ただし、上記のような言語類型的な性質の違いにもかかわらず、かき混ぜ語順文の反応時間や誤答率は日本人ネイティブとほぼ類似した傾向を見せた。本実験に参加してもらった被験者は日本語能力がかなり高い上級者グループで実際、かき混ぜ語順文の正答率は韓国人被験者グループでも中国人被験者グループでも85%以上であった (韓国人グループ: 88.8%、中国人グループ: 85.3%)。本実験の結果と先行研究 (Tamaoka et al., 2002; 玉岡, 2005) の結果はいずれも、日本語上級者 (韓国人と中国人) の場合、日本人ネイティブと同様な文処理、つまり文頭の目的語を主語が出てくるまで保持し主語の次に埋め込む操作 (ギャップ補充解析 = gap-filling parsing) を行っていることを支持するものと考えられる。

<実験3>の結果は第一に、ブローカ野の賦活は言語の類型的な性質の違い (SOV vs. SVO) にもかかわらず、統語処理にモジュール化された特殊な領域であるとするMusso et al. (2003) の議論を支持するものであると同時に、英語を母語とする子供と日本語を母語とする子供が外部からの十分な言語刺激が与えられていないにもかかわらず生後数年間で母語を完璧に習得できるのは、英語の計算システムあるいは日本語の計算システムといった言語ごとの処理体系の本質は究極的には遺伝子に帰する問題であるとしたChomskyの議論を支持するものでもある。そして第二に、「S vs. C」の直接比較で日本人ネイティブにおいてもL2話者のグループにおいてもブローカ野の活動が観察されたが、中国人グループと韓国人グループでは、ブローカ野の中でもその下部に賦活が確認された。この領域はより複雑な統語処理を行う部位であるとする見解もあり、日本語上級者レベルとはいえ、日本人ネイティブよりはその負荷、言い換えればかき混ぜ語順文の文処理の負荷が高いことがその要因であると考えられる (Koizumi et al., 2005; Fiebach et al., 2004)。

## 第6章 結論と今後の課題

子供が生後数年間で母語を完璧に習得できるのは、外部からの言語刺激の入力とは別に、子供の脳内には言語を獲得し使用するための特別な仕組みを持って産まれてくるからだとするChomskyの生成文法の考え方を実験などの手法で検証するのは困難であった。しかし、本稿で報告した一連の研究からは、ヒトの心の中に取り込まれている言語システム、例えば、英語システムや日本語システムなどの生理的基盤、つまり言語ごとの処理体系の本質は同じであることを支持するような結果が得られた。今後は、第二言語の習得 (文法獲得) 過程に見られる言語習得のメカニズムを解明するための研究が求められる。例えば、日本語他動詞文のかき混ぜ語順文の処理システムを獲得していく過程に見られる脳内変化を日本語学習の初期段階から縦断的に認知脳科学の手法を用いて解明し、その成果をL2話者の日本語学習に応用することなどが期待される。

# 論文審査結果の要旨

本論文は、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を用いて、日本語母語話者と外国人日本語学習者が日本語の文を読解する際に活動する脳部位を調べることによって、統語処理を司る脳内神経基盤の局在および母語と外国語の統語処理神経基盤の共通性を実証しようとしたものである。

「第1章 序論」では、まず、人間の言語処理の脳内神経基盤を解明するためには、脳機能イメージングの観点からの研究が必要でありかつ有効であることが説かれ、次に、本研究の目的が、機能的磁気共

鳴画像法 (fMRI) を用いた実験によって、統語処理を司る脳内神経基盤の局在および母語と外国語の脳内処理基盤の共通性を実証することにあると述べられている。

「第2章 脳の解剖と脳機能画像」では、本研究の実験で用いられたfMRIをはじめ、ERP、PET、MEGなどの脳機能計測法の原理やデータの解析方法などについて概説している。特に、fMRIが他の脳機能計測法に比べて空間解像度が高く、文法処理を司る神経基盤の局在を実証しようとする本研究にとって最適な装置であることが述べられている。

「第3章 日本語他動詞文の統語構造の脳内処理メカニズム」では、日本語のかき混ぜに関する理論言語学および心理言語学の先行研究を概観し、「かき混ぜ」の処理を司る神経基盤を解明するためには、脳機能イメージングの観点からの研究が必要であることが説かれている。

「第4章 日本語他動詞文におけるスクランプリングの効果」では、日本語母語話者が他動詞文を読解するときの脳活動をfMRIで調べた実験結果が報告されている(実験1)。実験の概要と結果の考察は以下の通りである。

実験1： これまで行われた脳機能イメージングによる文解析の研究は、そのほとんどが英語やドイツ語における移動(WH移動/主題化文/受動文など)を含む刺激文を用いた研究であり、日本語を対象とした研究は非常に少ない。そこで、日本語他動詞文におけるスクランプリングの統語操作が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化とブローカ野の活動増加との関連性は英語やドイツ語などの個別言語特有のものなのか、あるいは移動の統語現象を持つ言語に共通してみられる普遍的なものであるのかを究明する必要がある。fMRIの計測データの条件間の差分の結果から、基本語順文(主語・目的語・動詞)読解中もかき混ぜ文(目的語・主語・動詞)読解中も、語順に関わらず文処理にかかわる様々な領域が共通して賦活することが分かった(ブローカ野、ウェルニッケ野など)。これらの賦活領域は従来、古典的な言語野として知られている領域と一致している。さらに、基本語順あるいはかき混ぜ語順に固有に関与するモジュールを特定するため、「基本語順文条件 vs. かき混ぜ語順文条件」「かき混ぜ語順文条件 vs. 基本語順文条件」の差分を行った結果、前者の差分では有意な脳活動領域は見られなかったが、後者の差分、つまり「かき混ぜ語順文条件 vs. 基本語順文条件」で左脳の下前頭回に賦活が観察された。この結果は、左脳の下前頭回(ブローカ野)がかき混ぜの処理に重要な役割を果たしていることを示しており、ブローカ失語症患者がかき混ぜ語順文の理解に困難を伴うという先行研究の結果とも整合的である。さらに、左脳の下前頭回は、主に複雑な統語的処理を行うときに賦活されることが先行研究から知られており、本実験の結果は、かき混ぜ語順文は基本語順文に比べて統語構造が複雑であるとする理論言語学の仮説を支持するものと言える。

「第5章 日本語他動詞文の文処理 - L2話者(韓国人・中国人)の場合」では、第4章の結果を受けて、日本語母語話者(実験2)、および韓国人と中国人の日本語学習者(実験3)が日本語の他動詞文を読解する際の脳活動をfMRIで調べた結果が報告されている。実験の概要と結果の考察は以下のとおりである。

実験2： 第4章の実験1では、刺激文を文節毎に提示したが、この方法は外国人の日本語学習者には難しすぎるのが予備調査で判明したので、外国人の実験では一文全体を一度に提示する方法(全文提示)を用いることにした。刺激の提示方法を変えると実験結果が変わる可能性があるため、まず日本語母語話者を対象に全文提示によるfMRI実験を行った。その結果、実験1の結果と同様に、かき混ぜ語順文読解時のほうが基本語順文読解時よりも左下前頭回の活動が高まることが判明した。

実験3： 日本に住んでいる韓国人と中国人の日本語上級学習者(L2話者)を対象として、基本語順とかき混ぜ語順の日本語他動詞文を読解する際、日本人と同じような脳の使い方をするのか、それと

も日本語と類型的に類似した母語を持つL2話者（韓国人被験者グループ）とそうでないL2話者（中国人被験者グループ）でそれぞれ独自の脳の使い方をするのかを調べるための実験を行った。その結果、ブローカ野の賦活は言語の類型的な性質の違い（SOV vs. SVO）によらず、統語処理にモジュール化された特殊な領域であるとするMusso et al. (2003) の仮説が支持された。さらに、「かき混ぜ語順文条件 vs. 基本語順文条件」の直接比較を行ったところ、日本語母語話者においてもL2話者のグループにおいても下前頭回の活動が観察されたが、賦活の焦点は日本語話者では背側寄り、L2話者では腹側寄りであった。これは、日本語母語話者が主に下前頭回背側部でほぼ無意識のうちに自動的に統語解析を行っているのに対して、日本語学習者は主に下前頭回腹側部で意識的な処理を行っていることを示唆している。

「第6章 結論と今後の課題」では、統語処理の神経基盤が母語と外国語で基本的に同一であるとする本研究の結論が言語機能生得説にどのような意味を持つかの考察と、今後、外国語の習得過程を初級段階から縦断的に追跡調査する必要があるとの認識とが示されている。

以上のように、本論文は、認知脳科学の手法を用いて、(1)「日本語のかき混ぜ」などの統語処理には左脳の下前頭回が重要な役割を果たしていること、(2)外国人日本語学習者も日本語母語話者と同様に統語処理の負荷が高まると左脳の下前頭回の活動が活発になること、(3)日本語母語話者が主に下前頭回背側部でほぼ無意識のうちに自動的に統語解析を行っているのに対して、日本語学習者は主に下前頭回腹側部で意識的な処理を行っていること、などを明らかにした。実験結果の理論的考察にやや不十分な点が見られるが、言語学と心理学、生理学という異なる分野にまたがる学融合的な研究プロジェクトに果敢に挑戦し、母語と外国語の脳内統語処理基盤の共通点と相違点を明らかにしており、この研究領域の今後の発展に寄与するところ大である。よって、本論文の提出者は、博士（文学）の学位を授与されるに相応しいと認められる。