

言語処理とその脳の活動領域の考察

佐々祐子⁽¹⁾ 杉浦元亮⁽²⁾ 渡辺丈夫⁽³⁾ 秋月祐子⁽³⁾⁽⁴⁾ 佐藤滋⁽¹⁾ 川島隆太⁽²⁾

(1) 東北大学国際文化研究科 〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内

(2) 東北大学未来科学技術センター 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 04

(3) 東北大学加齢医学研究所 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区星陵町 4-1

(4) 東北大学大学院医学研究科 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区星陵町 2-1

E-mail: (1) {yukos, satos}@insc.tohoku.ac.jp, (2)・(3)・(4) {motoaki, job, akitsuki, ryuta}@idac.tohoku.ac.jp

あらまし 本研究は、functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) を用いて、聴覚言語理解時の統語関係の理解と意味理解に関わる脳の領域を探ることが目的である。被験者には、正しい文、文法の誤った文、意味が不自然な文をランダムに聞かせそれぞれの文の正誤判断をさせた。その結果 左半球の中前頭回、下前頭回、下頭頂小葉に共通に有意な脳の賦活化が観察された。また、文法の誤った文を聞いた時は、下頭頂小葉が最も有意に、一方、意味の不自然な文を聞いた時は、下前頭回が最も有意に脳の賦活化した。以上のことから、文の「誤り」「不自然さ」に関わる領域について、文法情報処理と意味情報処理はそれぞれ異なる領域で行われているというよりはむしろ、前頭連合野から頭頂連合野のネットワークを用い、相補的に処理が行われている可能性が示唆された。

キーワード fMRI, 統語処理過程、意味処理過程、聴覚刺激

Brain Activities for Sentence Processing

Yuko SASSA⁽¹⁾ Motoaki SUGIURA⁽²⁾ Jobu WATANABE⁽³⁾ Yuko AKITSUKI⁽³⁾⁽⁴⁾
Shigeru SATO⁽¹⁾ and Ryuta KAWASHIMA⁽²⁾

(1) Graduate School of International Cultural Studies, Tohoku Univ. Kawauchi, Aoba-ku, Sendai 980-8576, Japan

(2) NICHe, Tohoku Univ., 04, Aoba, Aza, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8576, Japan

(3) IDAC, Tohoku Univ., 4-1, Seiryō-cho, Aoba-ku, Sendai, 980-8579, Japan

(4) Dept. Psychiat., Tohoku Univ. School of Med., 2-1, Seiryō-cho, Aoba-ku, Sendai, 980-8579, Japan

E-mail: (1) {yukos, satos}@babi.insc.tohoku.ac.jp, (2)・(3)・(4) {motoaki, job, akitsuki, ryuta}@idac.tohoku.ac.jp

Abstract When we hear a sentence, we immediately process syntactic and semantic information, which are two distinct types of linguistic information. However, it remains unclear whether both types are processed in different brain networks or not. To clarify this, we investigated the brain regions involved in syntactic or semantic information using functional magnetic resonance imaging (fMRI). These data indicate that the bilateral inferior parietal lobule is more involved in syntactic processing than semantic processing, whereas the inferior frontal gyrus is more involved in semantic processing than syntactic processing. These findings suggest that both syntactic and semantic processing occur in the same network, the fronto parietal network, rather than being spatially dissociated.

Keyword functional magnetic resonance imaging; syntactic processing; semantic processing; auditory

1. はじめに

私たちは文を理解するとき、文の構造を表す統語構造とその意味内容を瞬時に理解する。また、統語構造が誤っていたり、意味が不自然な文に直面すると、どの部分がどのようにおかしいかを無意識に判断する。統語関係と意味理解はそれぞれ脳のどの領域で行っているのだろうか。

これまで言語の情報処理のメカニズムについて、認知科学の観点から、脳内の情報処理過程を想定したモデル化が行われている[1]。しかし、人間の心の働き、言語表現の多様性を考えると脳内の言語の認知機構に対応できるようなモデル化は難しいと考えられる。一方、失語症研究[2]から、脳のある特定の領域が言語処理に関連していることが解明され、脳機能局在についての直接的な研究がすすめられている。さらに、健常者による脳内の自然言語処理過程の解明も進んでいる。現在、脳機能画像法と呼ばれる PET (positron emission tomography) や fMRI (functional magnetic resonance imaging) また MEG (magnetoencephalography) といった手段で非侵襲的に脳の活動を観察できるようになり、健常人における言語認知に伴う脳活動が報告されている[3, 4]。

本研究では、聴覚刺激により健常人の言語処理過程を、fMRI を用いて解析を行った。文法の誤った文を聞いた時の脳の賦活領域と、意味の不自然な文を聞いた時の脳の賦活領域を比較し、日本語の文法処理と意味処理に関わる脳内のネットワークを考察したい。

2. 先行研究

2.1 言語に関わる脳の領域

多数の神経細胞体からなる大脳皮質には、思考、認知、言語、論理や判断といった複雑な思考プロセスや様々な運動と関連した機能の局在化が見られる。

言語に関わる脳機能局在は、失語症研究や脳手術の際の電気刺激による研究に基づき解明され、一般に言語野と呼ばれる(図1)。具体的には、下前頭葉に位置し、発話など運動性の言語機能が局在する Broca 領域や、後上側頭葉に位置し、言語の内容を理解する機能が局在する Wernicke 領域が存在することが分かっている。また、下頭頂葉に位置する角回や縁上回は視覚、聴覚などが連合して働く領域であり、文字や音の情報処理を営む重要な領域と考えられている。最近の脳機能画像法による研究からも、これらの領域と言語機能との関連性が報告されている[5, 6]。同時に、様々な文法構造の文を理解する時、Broca 領域を中心とした領域で処理されているということが報告されている[3, 4, 7]。また単語の指し示す内容が抽象的か具象的か、といったカテゴリー課題でも、Broca 領域を中心

とした領域での賦活化が報告されている[8]。このように、言語野と呼ばれる脳の領域で、失語症や脳損傷例では確認できなかった言語処理過程が報告され、さらに詳しく言語認知、処理過程に関わる脳の領域が特定されつつある。

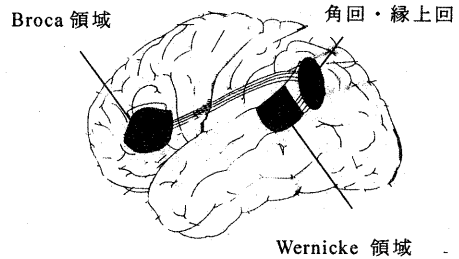


図1 言語機能に関わる脳の領域 [9]より一部改変

2.2 統語処理と意味処理

文を理解する時、音声や単語の認知と同時に、統語情報と意味情報を理解し、処理しなければならない。文理解に関して、時間分解能に優れた ERP (event-related potentials) の手法で、脳波を利用した研究が行われている[10, 11]。意味的に逸脱した文を聞いた時は、言語の相違に関わらず N400 という特定の波形成分が現れることが報告されている[10, 11]。一方、様々な文法的逸脱文に対してそれぞれ N400 成分とはことなる特異的な波形成分が現れることが報告されている[11, 12]。このことから、統語処理と意味処理が独立した処理過程に基づく可能性が考えられる。しかし ERP 実験では、脳機能画像法と比べて空間分解能が低く、それぞれの機能局在を特定するのは難しい。

一方、脳機能画像法を用いて文法処理と意味処理の処理過程を直接的に比較した研究はあまり多くない[13, 14, 15]。先行研究においては、統語処理も意味処理も下前頭回で行われているが、その関係は相補的なものであり、領域は重ならないと報告されている[13]。一方、統語処理は Broca 領域で、意味処理は Wernicke 領域を中心とし領域で行われているという報告もある[14]。このように、脳機能画像法を用いた研究では統語処理過程と意味処理過程は異なる脳の領域で行われていると考えられている。また、統語処理過程と意味処理過程は全く異なる脳の領域で行われているわけではない、とする報告もある[15]。その際、統語処理が意味処理に比べて有意に賦活する領域は見られなかったのに対して、意味処理が統語処理よりも有意に賦活する領域は、右半球の上、中側頭回を中心に確認できたと報告されている。このように、文法処理と意味処

理に関する機能局在化についてはまだ一致した見解が得られていない。また、実験課題に関して、ペア文の意味の同異を問う課題[13]や、文中の単語のカテゴリーを問う課題[14]、文の正誤判断をさせる課題[15]など、それぞれ異なる課題を用いている。これらは、記憶、注意、知覚、判断、などといった他の認知活動による脳の活動と言語機能による脳の活動を区別することが難しいと思われる。

3. 方法

3.1 刺激文選択のための予備実験

実験に使用する刺激文が、曖昧で主観的な分類にならないようにするため、fMRI 実験の被験者とは異なる被験者グループ (日本語母語話者 20 名、男性: 15 名、女性: 5 名、平均年齢: 23.2 才) に対して、2 種類の予備実験を行った。1 つは聴覚刺激による実験、もう 1 つは視覚刺激による実験である。この予備実験では、1000 文の単文を用意した。

聴覚刺激による実験では、正しい文と誤った文をランダムに並べたリストを聞いて、「正しい」か「正しくない」かに分類する。もう 1 つは、そのリストを見てそれぞれの文を「正しい」、「文法が誤っている」、「意味が不自然」、「文法と意味の両方が誤っている」、「よくわからないが不自然」の 5 つのカテゴリーに分類する。これらの予備実験において被験者の解答の一致率が 90% 以上だった文を選び、その中から fMRI の実験で使用する刺激文を選別した。

3.2 被験者について

被験者は日本語母語話者 28 名 (男性: 19 名、女性: 9 名、平均年齢: 21.2 才)、全員右利きの学生にお願いした。また、ヘルシンキ宣言にのっとり、被験者全員に対して、実験前に実験の方法について十分に説明し、書面による同意書にサインをもらった。

3.3 刺激について

実験で使用了刺激は、文法の誤った文、意味の不自然な文、正しい文の 3 つのカテゴリーの文を用いた。これらは、すべて 2.5 秒以内の単文である。表 1 に刺激として使用する例文を示す。また、刺激はすべて女性アナウンサーに読んでもらい、それをデジタル録音したものを使用した。

3.4 fMRI による実験条件及びパラダイム

前述の三つのカテゴリーの文について、それぞれ正しい文 150 文、文法の誤った文 30 文、意味の不自然な文 30 文、を聴覚刺激として呈示した。被験者には、これらの文をランダムに並べたものを 5 秒毎に 1

表 1 実験に使用した刺激の例文
文法の誤り文

- ・格助詞の使用の誤り :
 - *家に花子ををいます。
- ・時制の一致に反する誤り
 - *花子は海に昨日行く。
- ・動詞活用 of the 誤り
 - *先生が教室にいるます。
- ・動詞句の語順の誤り
 - *花子はりんごをだらう食べた。

意味の不自然な文

- *新聞がりんごを食べる。

正しい文 (control)

太郎がコンピュータを壊した。

*文法的に誤った文、または意味の不自然な文を表す。

文ずつヘッドホンを通して聞かせ、それぞれの文が「正しい」か「正しくない」か、正誤判断をさせた。答えは PC のキーボードに接続されているボタンを右手で押してもらい、PC に記録した。なお、刺激呈示後にボタンを押すように指示した。また、撮像音が比較的うるさいため、刺激文と重ならないように、2.5 秒の刺激呈示後すぐ 2.5 秒間で撮像した。実験中にできるだけ他の要素による脳活動変化が起こることを避けるため、モニター画面中央に呈示される十字マークを見つめてもらい、眼球運動をできるだけ抑えられるように、目の位置を固定するよう指示した。また、被験者には、刺激文が 3 つのカテゴリーから構成されていることは知らせず、また、文法の誤りか意味の誤りかについての判断を求めることはしなかった。

MR 画像は、Siemens Vision 1.5T の MRI スキャナを用い、まず、被験者の一人一人の脳の形態画像 (T1 強調画像) を撮像し、次に課題実行中の脳の活動の変化を EPI (echo planar imaging) 画像にて以下の条件で撮像した。TR: 5000 ミリ秒、TE: 60 ミリ秒、スライス厚: 4 ミリ (1 ミリのギャップ)、画像マトリックス: 64 × 64、FOV: 256 ミリ、スライス枚数: 25 枚

3.5 データ解析

課題実行中の脳活動変化を撮像した EPI 画像を処理し、統計検定を行い課題に関わる脳の領域を特定するために SPM99 (Statistical Parametric Mapping99: Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK) を用いた。まず、統計処理のために個人に対して、実験中に頭部の位置のずれを補正し、形態画像 (T1 強調画像) を用いて個人脳画像を標準化し、また平滑化した新しい画像を作った。そのことにより、被

験者間のボクセルごとの平均化が可能になる。次に、一般線形モデルを適応し、「正しい文」、「文法の誤った文」、「意味の不自然な文」の3つの異なるカテゴリーに対する実際の脳活動変化をボクセルごとに統計検定を行った。そこで、「文法の誤った文」、「意味の不自然な文」のそれぞれの賦活領域から「正しい文」の賦活領域を引いて残った領域、「文法の誤った文」から「意味の不自然な文」を引いて残った賦活領域、また「意味の不自然な文」から「文法の誤った文」を引いて残った賦活領域をそれぞれ求めた。さらに、被験者間で共通に見られる賦活領域を求めるため、個人差のある脳の形態をモデル脳に合わせ被験者全員の画像を重ね合わせ、賦活領域の共通性を抽出した。その際、ボクセルごとの統計処理を行い閾値を多重比較補正後のP値(危険率)5%とした。また、共通に見られる賦活領域間のみの統計処理(P値<0.001)も行った。

なお、被験者が予備実験により分類されたカテゴリと異なった解答をした場合、また解答が得られなかった場合はデータから除外した。

4.1 反応時間と正答率

「文法の誤った文」を聞いた時と「意味の誤った文」を聞いた時の被験者の反応時間と正答率の比較を行った。t検定の結果を表2に示す。反応時間については、「意味の不自然な文」を聞いた時の方が「文法の誤った文」を聞いた時よりも速いことが分かる($P<0.0001$)。また正答率については、「文法の誤った文」を聞いた時の方が「意味の不自然な文」を聞いた時よりも高いことが分かる($P<0.05$)。つまり、「文法の誤った文」に対する判断は「意味の不自然な文」よりも遅れるが、正確であることが示された。

表2 被験者の反応時間と正確さの結果

	文法	意味
反応時間(sec)	2.5 ± 0.5	2.3 ± 0.6
正確さ(%)	94.1 ± 6.6	91.5 ± 7.3

データは平均値±標準偏差を表す。

4.2 賦活化された領域

「正しい文」を聞いた時をベースラインとして、「文法の誤った文」と「意味の不自然な文」のそれぞれを聞いた時の脳の賦活領域を図1と2に示す。共通に有意な脳の賦活化が見られた領域として、左半球の下前頭回、中前頭回、下頭頂小葉が観察された。「文法の誤った文」を聞いた時の場合には、左半球の下頭頂小葉での脳の賦活化が最も有意に認められた。また左側同様、右半球の下頭頂小葉にも脳の賦活化が見ら

れた。また、補足運動野での脳の賦活化も見られた。一方、「意味の不自然な文」を聞いた時の場合には、下、中そして上 前頭回にかけて広く脳の賦活化が見られた。得に、中前頭回、下前頭回での脳の賦活化が最も有意に認められた。

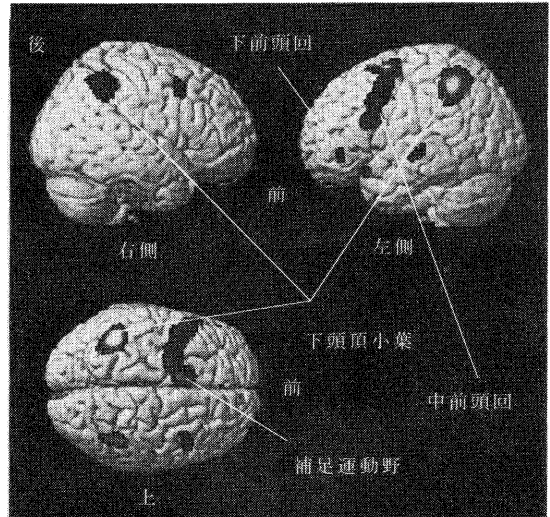


図1 「正しい文」を聞いた時と比較した場合:「文法の誤った文」を聞いた時の脳賦活領域

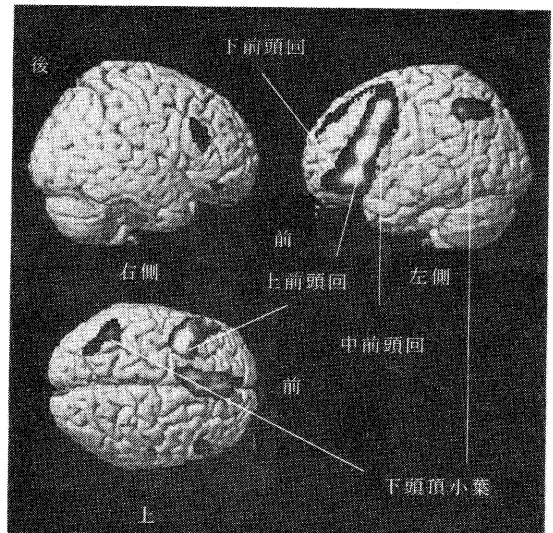


図2 「正しい文」を聞いた時と比較した場合:「意味の不自然な文」を聞いた時の脳賦活領域

さらに、課題同士を直接比較することにより、「文法の誤った文」と「意味の不自然な文」のそれぞれに関わる脳の領域を特定できると考えることができる。そこで、「文法の誤った文」の賦活領域から「意味の不自然な文」の賦活領域を引いた場合、両側の下頭頂小葉で有意な賦活化が見られた。一方、「意味の不自然な文」の賦活領域から「文法の誤った文」の賦活領域を引いた場合、左半球の中前頭回および下前頭回で有意な賦活化が認められた。結果を図3、4に示す。

これらの結果から、「文法の誤った文」と「意味の不自然な文」を聞いた時に、それぞれ有意に賦活化される領域があるとともに、共通に賦活化される領域が存在することが示唆された。

なお、表3に賦活領域とそのピークの値を示す。

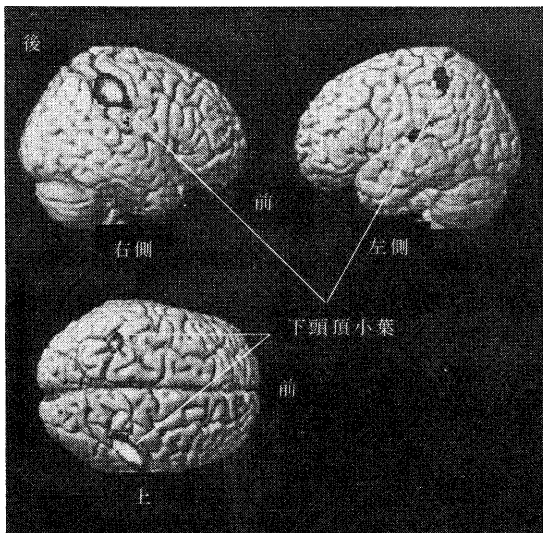


図3 課題同士の直接比較した場合：「文法の誤った文」を聞いた時の脳賦活領域

4. 考察

日本語の文処理過程に関しても、先行研究と同様に、いわゆる言語野と呼ばれる領域において脳の賦活化が認められた。

「文法の誤った文」を聞いた時、両側の下頭頂小葉に、「意味の不自然な文」を聞いた時よりも強く賦活化がみられたのに対し、「意味の不自然な文」を聞いた時、左半球の下前頭回および中前頭回に、「文法の誤った文」を聞いた時よりも強く賦活化が認められた。同時に、「文法の誤った文」を聞いた時と「意味の不自然な文」を聞いた時に、左半球の下前頭回、中前頭回、下頭頂小葉において共通に有意な脳の賦活化が認められた。すなわち、文理解の際、下、中前頭回およ

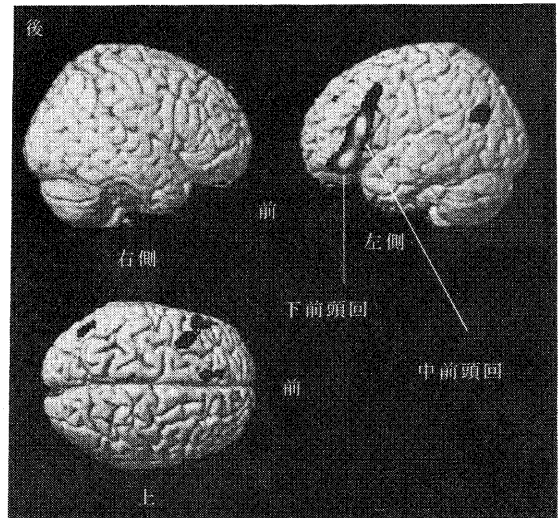


図4 課題同士の直接比較した場合：「意味の不自然な文」を聞いた時の脳賦活領域

表3 課題による脳の賦活領域

比較：「文法の誤った文」対「正しい文」

領域	x	y	z	t
(左) 補足運動野	-10	8	64	5.96*
(左) 中前頭回	-50	12	42	5.12
(左) 下前頭回	-58	16	24	5.17
(左) 下頭頂小葉	-40	-48	46	6.35*
(右) 下頭頂小葉	42	-44	42	4.30

比較：「意味の不自然な文」対「正しい文」

領域	x	y	z	t
(左) 上前頭回	-6	18	50	6.37*
(左) 中前頭回	-40	8	46	8.70*
(左) 下前頭回	-52	36	-2	8.42*
(左) 下頭頂小葉	-46	-54	48	6.11*

比較：「文法の誤った文」対「意味の不自然な文」

領域	x	y	z	t
(右) 下頭頂小葉	48	-34	48	4.93
(左) 下頭頂小葉	-34	-44	48	4.45

比較：「文法の誤った文」対「意味の不自然な文」

領域	x	y	z	t
(左) 下前頭回	-46	24	18	6.09*
(左) 下前頭回	-52	34	-4	6.00*

t は、それぞれの課題を比較した時に、有意に賦活化が見られた領域の T 値を示す。x, y, z は、それぞれ T 値がピークとなった領域の Talairach 座標[16]を表す。

*は P 値が多重比較補正後 5% (corrected)でも統計的に有意であることを示す。

び下頭頂小葉が、文法処理と意味処理に重要な役割を果たしていると考えられる。さらに下、中前頭回を中心とした前頭葉の領域は文法処理よりも意回および下頭頂小葉が、文法処理と意味処理に重要な役割を果たしていると考えられる。さらに下、中前頭回を中心とした前頭葉の領域は文法処理よりも意味処理に、また下頭頂小葉は意味処理よりも文法処理に、より関連性が高いことから、文法処理と意味処理は、前頭葉および頭頂葉における活動の強さが異なっている可能性が示唆された。これは、脳のある領域で異なるタイプの言語処理過程が行われているという考え[15, 17]を示すものである。

本研究では、統語処理過程を Broca 領域に確認することができなかった。しかし、統語処理過程と Broca 領域の関連性 [3, 4]は、日本語に関しても報告されている[7]。これらの実験課題は、主語にかかる関係節を用いた文と目的語にかかる関係節を用いた文の理解を比較したものである。また、より複雑な統語処理が必要な文に対して、Broca 領域に顕著な賦活化が確認できることが指摘されている[18]。したがって、本研究における統語処理過程は容易に判断できるものであり、Broca 領域での統語処理とは性質を異にしていると考えられる。下頭頂小葉は、本来、文字や音の情報処理を営む重要な領域と考えられており、実際、一時的に音声情報を保持しておく働きを担っていることが示されている [19]。使用した統語処理課題は、動詞句内の語順の逸脱、また活用形の誤りなどがあり、誤った語音情報の繋がりとともに考えられ、これらの誤りは音声情報処理と関わっている可能性が推測される。

左半球の下、中前頭回において単語のカテゴリー課題での賦活化が報告されている[8]。また、呈示された名詞に対する動詞を連想する課題でも左下前頭回における脳の賦活化が報告されている[20]。これらのことより、左半球の下、中前頭回における賦活化は、意味処理過程に関連した活動を示していると考えられる。

また、今回の実験では、被験者に文の正誤判断のみを行わせ、文法の誤り、意味の不自然さに対する判断を求めている。しかし、「文法の誤った文」を聞いた時と「意味の不自然な文」を聞いた時では、脳の賦活パターンに違いが見られた。つまり、文の正誤判断に伴い、前頭葉と頭頂葉間で統語処理と意味処理の自動的な検証が行われている可能性が示唆された。

5. 終わりに

日本語の文処理過程に関しても、先行研究と同様に、いわゆる言語野と呼ばれる領域において脳の賦活化が認められた。しかし、脳内における文法処理過程

と意味処理過程が脳の特定の領域で行われているのではなく、下、中前頭回および下頭頂小葉において相補的に行われているものと考えられる。しかし、今回の実験に対して、「誤り」、あるいは「不自然さ」に関連した認知活動としても捉えることもできる。今後は、正しい文に対する脳の活動パターンを確認しながら、統語処理課題を細分化し、それぞれに関与する活動パターンの相違を考察し、言語学的な分類と比較、検討していきたい。また言語による違いなども検証していきたい。

文 献

- [1] 阿部純一 他(編), 人間の言語情報処理, 編者名, サイエンス社, 発行都市名, 1994.
- [2] Damasio AR., "Aphasia," *New England Journal of Medicine*, Vol. 326, pp. 531-539, 1992.
- [3] Stromswold K. Caplan D. Alpert N. Rauch S. "Localization of syntactic comprehension by positron emission tomography," *Brain & Language*. Vol. 52, no. 3, pp.452-473, 1996.
- [4] Just MA. Carpenter PA. Keller TA. Eddy WF. Thulborn KR., "Brain activation modulated by sentence comprehension." *Science*. Vol. 274, no. 5284, pp.114-116, 1996.
- [5] Sakai KL. Hashimoto R. Homae F., "Sentence processing in the cerebral cortex," [Review] *Neuroscience Research -Supplement*, Vol. 39, no. 1, pp.1-10, 2001.
- [6] Price CJ., "The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging," [Review] *Journal of Anatomy*, vol. 197, pp. 335-359, 2000.
- [7] Inui T. Otsu Y. Tanaka S. Okada T. Nishizawa S. Konishi J., "A functional MRI analysis of comprehension processes of Japanese sentences," *NeuroReport*, Vol. 9, no. 14, pp.3325-3338, 1998.
- [8] Chee MW. O'Craven KM. Bergida R. Rosen BR. Savoy RL., "Auditory and visual word processing studied with fMRI," *Human Brain Mapping*, Vol.7, no.1, pp.15-28, 1999.
- [9] 本庄巖 (編), pp. 34-46, 中山書店, 東京, 1997.
- [10] Kutas M. Hillyard JL, "Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity," *Science*, Vol. 207, pp. 203-205, 1980.
- [11] 高沢悟, 中込和幸, 中島平三, 萩原裕子, "脳生理学から言語処理を見る," *言語*, Vol. 26, no. 1, pp.85-97, 1997.
- [12] Neville H. Nicol JL. Brass A., "Syntactically based sentences processing classes: Evidence from event-related brain potentials," *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 3, pp.151-165, 1991.
- [13] Dapretto M. Bookheimer SY., "Form and content: dissociating syntax and semantics in sentence comprehension," *Neuron*, Vol. 24, no. 2, pp. 427-432, 1999.
- [14] Ni W. Constable RT. Mencl WE. Pugh KR. Fulbright RK. Shaywitz SE. Shaywitz BA. Gore JC. Shankweiler D., "An event-related neuroimaging study distinguishing form and content in sentence processing," *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 12, no. 1, pp. 120-133, 2000.

- [15] Kuperberg GR. McGuire PK. Bullmore ET. Brammer MJ. Rabe-Hesketh S. Wright IC. Lythgoe DJ. Williams SC. David AS., "Common and distinct neural substrates for pragmatic, semantic, and syntactic processing of spoken sentences: an fMRI study," *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 12 no. 2, pp 321-341, 2000 .
- [16] Talairach J. Tournoux P., "Co-planar stereotaxic atlas of the human brain," Thieme, Stuttgart, 1988.
- [17] Keller TA. Carpenter PA. Just MA., "The neural bases of sentence comprehension: a fMRI examination of syntactic and lexical processing," *Cerebral Cortex*, Vol. 11, no. 3, pp. 223-237, 2001.
- [18] Caplan D. Alpert N. Waters G. Olivieri A., "Activation of Broca's area by syntactic processing under conditions of concurrent articulation," *Human Brain Mapping*, Vol. 9 pp. 65-71 2000.
- [19] Awh E. Jonides J, Smith EE. Schmacker EH. Koeppel R. Kats S., "Dissociation of storage and rehearsal in verbal working memory: evidence from PET," *Psychological Science*, Vol. 7, pp. 25-31, 1996.
- [20] Wise R. Chollet F. Hadar U., "Distribution of cortical neural networks involved in word comprehension and word retrieval," *Brain*, Vol. 114, pp. 1803-1817, 1991.