

博士論文要旨

生成文法における「言語能力」の神経科学的研究

岡田 理恵子

キーワード：生成文法、言語機能、I 言語、fMRI、ワダテスト、聴覚障害

本研究の大きな目的は、ヒトの言語に特異的な特徴のうち、統語処理、文の意味処理、音韻処理の神経基盤を神経科学的手法を用いて明らかにすることである。言語の神経科学的手法による研究が可能であるのは、言語を生成文法の提唱する「言語能力」として定義する点にある。それにより生成文法は、心理学的・生物学的側面を持つことになった。その生物学的なものは何かという答えとして、生成文法では「言語機能」(language faculty) という器官を持って生まれてくると仮定する。そして言語機能の初期状態を普遍文法 (UG) と呼び、それが安定状態に至ったものを母語の「言語能力」あるいは「I 言語」と呼んだ。

ここにさらに言語障害、特に失語症の観点を加えると、「脳内」にある「言語能力」が具体性を帯びる。失語症は、一度獲得された言語が脳損傷により障害を受けた状態と定義される。脳梗塞などで言語を司る脳領域（言語野）を損傷すると、獲得していた言語の表出や理解が障害される。これは、生成文法でいうところの安定状態に至った「言語能力」「I 言語」が障害された状態であると定義できる。脳損傷による言語障害という視点を入れると、言語学で扱うべき対象が脳内で処理される心理現象であることがさらに明確になる。

このように、言語を脳内に存在する言語能力として位置づけた生成文法では、一貫して以下の4つの問題を掲げてきている。

(1) 生成文法が掲げる問題 (Chomsky 1986, 1987)

1. ヒトがある言語を母語として話すとき、どのような「知識」が精神・脳の中にあるのか
2. そのような「知識」はどのようにして獲得されるのか
3. その「知識」はどのようにして使用されるのか
4. 1から3に見られる精神活動を支えている生理的基盤は何か

理論言語学では1について、言語獲得の観点では2を、心理言語学では3の問題を扱ってきている。本研究では4の問題に答えることを目的とし、神経心理学的手法と神経科学的手法を用いて次の3つの点を明らかにした。

(2) 本研究の目的

1. 文処理に關与する I 言語の神經基盤の解明
2. ワダテストと fMRI の比較から見た文の意味処理に關与する I 言語と言語關連認知機能の神經基盤の解明
3. 聴覚障害者の音声言語から見た音韻処理の神經基盤の解明

第 2 章では、Okada et al. (2013) を基に、fMRI を用いて Merge と項構造に關与する神經基盤を明らかにした。Merge とは、2 つの要素（語や句）を併合し、より大きな単位を形成する操作のことである。人の言語の重要な特徴として、回帰的に Merge を行うことができるという点があげられる。この操作により階層構造を持つ無限の長さの文を生成することができる。さらに動詞の持つ項構造（動詞がいくつの名詞句を必須要素としているか、またそれらの名詞句が担う意味役割についての情報）を文中で処理することで文の生成や解釈が可能となる。さらに日本語では助詞の処理に關与する。

これまで統語処理の神經科学的研究で用いられてきた課題は關係節や疑問文など複雑な文を用いたものが多かった。しかし文を複雑にするとワーキングメモリーに負荷がかかり I 言語以外の機能も混在した賦活になっている可能性がある。そこで「() を食べる」の括弧内に当てはまる語を想起する課題（文完成課題）を用い、ワーキングメモリーへの負荷を最小限に抑えた状態での文処理に關与する Merge および項構造の機能とその領域について考察した。

その結果、fMRI では両側の下前頭回と両側の下頭頂小葉が賦活した。しかし fMRI の結果からだけでは賦活した 4 領域が文完成課題の Merge、項構造、助詞の処理のどれを反映したものは明らかではなかった。そこでさらに脳損傷研究を行い、左下前頭回もしくは左頭頂小葉に病巣を持ち失語症を呈した症例を対象に、その言語障害の症状と病巣のある領域とから、どの領域を損傷した場合にどのような症状が出ているかを分析した。その結果、左下前頭回損傷例では 5 例中 4 例で文の短縮や失文法といった Merge と助詞の処理が仮定される統語処理の障害が認められた。左下前頭回は先行研究においても要素の移動や依存關係などの統語処理に關与する領域と言われている。fMRI の結果と脳損傷研究の結果を合わせて考えると、下前頭回の賦活は Merge と助詞の処理を反映していると考えられた。これに対し左頭頂小葉損傷例では、4 例中 1 例しか統語処理障害は認めなかった。しかしこの 1 例は他の 3 例と異なり動詞の語想起も障害されていた。このことから、下頭頂小葉は動詞や名詞の語彙の意味処理を主な機能とするが、その中でも動詞の機能が損傷されると動詞の持つ項構造の処理ができなくなり文処理障害をきたすと考えられた。従って、fMRI で見られた下頭頂小葉の賦活は項構造処理を反映していると考えられた。

このように、要素の移動などの言語以外の認知機能に負担がかかるタスクではなく、文生成の最も基本となる Merge と助詞の解釈、項構造の解釈が仮定されるタスクを使用することでワーキングメモリーの負荷を抑制することができた。その上で賦活を認めた下前頭回および頭頂小葉はやはり文処理に関与する I 言語の脳領域であると考えられた。

第 3 章では、ワダテストと fMRI の比較から文の意味処理の神経基盤について考察した。脳の半球を麻酔薬で一時的に活動を停止させた状態で呼称、音読などの発語を行う臨床手技 (ワダテスト) により、言語優位半球を同定できる。これにより I 言語の機能がどちらの半球に局在しているか (あるいは両側にあるか) が分かる。その結果と fMRI の言語課題施行時の賦活を比較すると、fMRI で見られる賦活が I 言語に関与するものであるか否かを判定することができる。この方法により、文を生成する場合の I 言語とそれ以外の言語関連の機能および領域について考察した。特に、文の意味処理に関与する神経基盤について考察した。第 2 章で行った fMRI の文完成課題では左半球だけでなく右半球の言語野対応部位も賦活することがわかった。ここにおける右半球の賦活が I 言語を反映したものであるのか否かを検証するため、てんかんおよび脳腫瘍で手術適応となった症例を対象に fMRI とワダテストを行い、その結果を比較することで文の意味処理に関する右半球の機能を検証した。

まず、7 症例については fMRI とワダテストの優位半球同定の結果の一致率を調べた。呼称、音韻的語想起、文完成課題の中では音韻的語想起が 71.4% で、一致率が他に比べ有意に高く、この 3 課題の中では最も言語優位半球の同定に鋭敏であると考えられた。fMRI 課題のうちワダテストとの比較から、呼称、文完成課題はワダテストとの一致率が低かったことから、この 2 つの課題は I 言語以外の、言語処理の中核ではない認知処理過程が大きく関わっていると考えられた。

さらにワダテストにより左半球優位と判定された 6 名に絞り、各 fMRI 課題における全脳と頭頂葉、上・中側頭回、下・中前頭回の 3 つの関心領域の Laterality Index (LI、左右半球の賦活の偏りを示す指標) を算出した。この 6 名は、ワダテストで左半球優位と判定されたことから、左半球に言語能力、すなわち I 言語が局在していると考えられた。その上で、fMRI の言語課題施行時に右半球が賦活している、すなわち LI が 25 以下の値をとるならば、その言語課題に想定される処理過程の何かが、I 言語ではない、言語関連の認知機能を反映したものであると考えられた。まず下・中前頭回について見てみると、文完成課題の LI (14.1) は両側性を示した。左下前頭回が文処理の統語論的な処理が行われていると言われていることから、下・中前頭回では文完成課題の統語処理の部分がもっと反映されていてもよいように思われるが、そのような結果とはならなかった。さらに下・中前頭回では、特に呼称で右の賦活が大きかった。つまり呼称、文完成課題の両方において、

これらの課題の処理過程のうちの何かが右の下・中前頭回で処理されているということの意味すると考えられた。さらに、音韻的語想起の結果を考慮すると、下・中前頭回で音韻語想起は強い左優位性を示し文完成課題と呼称は両側性を示すことから、音韻的語想起には仮定されず文完成課題と呼称には共通して仮定される右下・中前頭回での処理が存在することが推察された。そこで各課題の処理過程を見てみると、文完成課題と呼称には「意味処理」が共通していた。従って、右の下・中前頭回はなんらかの意味的処理に関わっていることが推察された。しかも、ワダテストで左半球優位と判定されていることから、右半球に見られるこの賦活は I 言語ではない意味処理に関与するものであると考えられた。

第 4 章では Okada et al. (in press) で行った研究から、聴覚障害者における音声言語から見た音韻処理の神経基盤について明らかにした。先天的に聴覚が遮断されている聴覚障害者は、健聴者と同様の方法で音声をベースとした音声言語 (spoken language) を獲得することはできない。その代わりに文字やリップリーディングを使用し健聴者と異なる方法で音声言語を獲得すると考えられている。音声 (聴覚) モダリティ以外から獲得した音声言語が健聴者の音声言語と同じシステムや機能を持つのか、そして同じ神経基盤を用いているのか否かは、I 言語を追求するのに重要な論点である。言語研究の多くは音声言語を対象にしているため、音声 (聴覚) と切り離して言語を捉えることは難しかった。しかし音声を入力として使用できない聴覚障害者の音声言語のシステムや神経基盤を健聴者のそれらと比較することで、モダリティ依存ではない言語のシステムや神経基盤が明らかとなる。

聴覚障害者は聴覚遮断されているため音声言語の音を聞くことはできないが音韻を理解しているように見える行動を示すことが報告されている。さらに脳機能画像研究により聴覚障害者の音韻処理も健聴者と同様の左上側頭回後方を中心とした領域で行われていることが示されている。しかしどのような場面で音韻表象を利用しているかはあまり論じられていない。特に、聴覚障害者は視覚情報の処理に長けていると言われており、視覚情報が優先されてもよい状況においても音韻情報を優先的に利用しているかどうかは明らかではない。Okada et al. (in press) では、言語が文字で連続的に視覚的に呈示され、それを記憶する状況で聴覚障害者が音韻表象を用いているかどうかを fMRI を用いて明らかにした。視覚情報処理に優れている聴覚障害者にとっては視覚的方略のほうが有用であるように思われるが、もし聴覚障害者が音韻的方略を使用するならば、視覚情報が利用できる状況においても音韻情報処理の優位性が示され、fMRI では左上側頭回および中側頭回の賦活が予測される。

fMRI 実験ではひら仮名 (Kana)、日本手話の指文字 (Finger)、アラビア文字 (Arabic) のそれぞれを連続的に 5 つランダムに呈示しその順序を覚えてもらう課題を行った。健聴

者群は指文字がどの言語音に対応するかを知らないのに対し、聴覚障害者はそれを知っている。そのため、聴覚障害者群では指文字の記憶時に音韻処理が生起することが予測された。仮名はすべての被験者が文字とそれらに対応する言語音を理解していた。アラビア文字はどの被験者も文字と言語音との対応を知らず、文字の記憶時に音韻処理が生起しないと考えられたため、これをベースラインとして使用した。

その結果、聴覚障害者の Kana – Arabic、Finger – Arabic コントラストの両方で左上側頭回が賦活した。聴覚障害者の Finger – Arabic から健聴者の Finger – Arabic を引いたコントラスト得たところ、左上側頭回に賦活が局在した。さらに、聴覚障害者群の Kana – Arabic コントラストのうち、健聴者群の Kana – Arabic コントラストの賦活領域に含まれる領域を抽出し、両コントラストの共通領域を抽出した。これにより両群で音韻化に共通して賦活している脳領域として左上側頭回が得られた。また、聴覚障害者群の Finger – Arabic コントラストのうち、聴覚障害者群の Kana – Arabic コントラストの賦活領域に含まれる賦活を抽出し、両条件の共通領域を抽出した。これにより、聴覚障害者群が Kana タスクでも Finger タスクでも文字の記憶時に共通して左上側頭回が賦活することが分かった。このように、聴覚障害者でも視覚的に呈示された言語の記憶において、健聴者と同様に音韻表象が記憶を助ける方略としての役割を果たしていることを示し、健聴者と聴覚障害者の音声言語の音韻情報処理において同様の神経基盤が用いられていることを示した。

以上の結果から、本研究では生成文法で仮定する言語能力の一部の神経基盤を明らかにすることができ、生成文法が掲げる 4 つ目の問題への答えの一つを呈示することができた。

言語の機能は左半球優位であると古くから言われてきていたが、ここ十数年の間に脳機能イメージングや脳波の研究によって右半球も関与し、両半球でネットワークを成していることが示されてきた。本研究でも文の意味処理には右下前頭回が関与していることを示した。左右半球にどのような機能が局在しどのようなネットワークを経て言語活動が実現されているのか、その全体像を捉えていくことが今後の言語の神経科学的研究の大きな目的であると思われる。それを実現するためには明示的に理論を示し、モデルを立て、それを検証する形での神経科学的研究が望まれる。