

論文の内容の要旨

論文題目 Modality-independent processing at the sentence level
in the left inferior frontal gyrus

(左下前頭回における入力モダリティーに共通した文レベルの処理)

氏名 保前 文高

音声を聞いたとき、または文字を読んだときに、知覚レベルの処理は入力モダリティーに依存するが、知覚レベルから語彙レベル、さらに高次である文レベルへと処理が進むと、文処理は入力モダリティーに依存しなくなると予想される。語彙の処理に関しては、Petersenらが聴覚・視覚条件下で動詞生成課題を単語復唱課題と比較し、入力モダリティーに依存して左下前頭回の異なる領域が活動を示したことを報告している。しかしながら、単語復唱課題における感覚情報の処理がモダリティー間で等しいとは限らないため、モダリティー間の皮質活動の違いが動詞生成課題と単語復唱課題のどちらの課題における違いを反映するのかが明らかでなかった。文処理については、Bottiniらが視覚条件下で文理解課題と語彙性判断課題を遂行している際の皮質活動を比較し、左下前頭回を含む広い領域の活動を報告している。しかしながら、活動領域全てが文処理に選択性を示すの

かという点については明らかでなかった。本研究では、聴覚・視覚条件で共通した統制課題を新たに用いることで、モダリティー間の比較を可能にした。その上で、言語処理のどの段階で入力モダリティーの違いがなくなるのかを明らかにする。さらに、文の処理と語彙の処理に伴う皮質活動を直接比較し、かつ、文レベルよりも下位のレベルの処理で活動する皮質領域を除くことで、文処理に選択的な活動を示す領域を明らかにする。

日本語を母国語とする右利き男性9名（年齢：23～27歳）を被験者とし、以下の課題を遂行している際の皮質活動を fMRI（functional Magnetic Resonance Imaging、機能的磁気共鳴撮像法）を用いて計測した。文（Sentence、S）課題では会話文が文節単位で提示され、その文が会話の文脈にあっているか否かの判断をしボタン押しで回答する。語彙（Phrase、P）課題ではS課題と同じ文節セットがランダムな順序で提示され、提示された文節が意味を持つか否かの判断をしボタン押しで回答する。この2つの課題の対比により、提示する語順の規則性の有無、すなわち文レベルの処理が必要か否かの差を明らかにできる。S課題とP課題においては刺激を音声で提示する聴覚条件と、文字で提示する視覚条件の両方を別々に行った。さらに、音声または文字の知覚レベルの処理を統制するため、無意味音節列を音声と文字で同時に提示する非単語（Nonword、Nav）課題を行った。この課題では提示された音声と文字の読みが一致しているか否かの判断をする。Nav課題を聴覚、視覚の両モダリティーに共通した統制課題とすることで、モダリティー間の比較を単一の基準に従って行うことが可能となる。各課題における被験者の回答と同期して、大脳皮質の機能画像を水平断面で5秒ごとに撮影し、皮質活動を調べた。空間解像度は平面内で3mm、高さ方向は4mmとした。課題遂行に伴うMRI信号値の変化を解析するソフト、SPM99（Wellcome department of Cognitive Neurology、London、UK）を用いてグループデータの統計解析を行い、5%水準を満たす信号変化を有意な活動と見なした。

各課題の平均正答率は全て90%以上であった。正答率について課題を要因としたF検定をした結果、主効果は有意であった。事後検定の結果、Nav課題の

正答率のみが有意に低かった。入力モダリティー（聴覚、視覚）と課題（S、P）を要因とした2元の分散分析を行った結果、各要因の主効果、交互作用ともに有意ではなかった。この結果は、統制課題である Nav は他の言語課題と比較して難しいのに対し、S と P の課題間では課題の難しさについて統制がとれていることを示している。従って、MRI 信号変化量について S・P 課題を Nav 課題と比較した結果は、課題の難しさを反映するわけではないことが示された。

聴覚条件下と視覚条件下の皮質活動を直接比較することにより、入力モダリティーごとに知覚の処理に関わる皮質領域を同定した。聴覚条件 $[(Sa + Pa) - (Sv + Pv)]$ では、左右両半球の一次聴覚野とその周囲の聴覚連合野が顕著な活動を示した。一方で、視覚条件 $[(Sv + Pv) - (Sa + Pa)]$ では、左右両半球の一次視覚野とその周囲の視覚連合野が顕著な活動を示した。これらの結果は、S・P 課題が入力のモダリティーに依存した言語情報の知覚処理を必要としており、その処理を担う領域がモダリティーによって異なることを示している。

さらに、Nav 課題遂行に必要な聴覚・視覚それぞれの処理に関わる領域を同定した。Nav - Pv の比較は Nav 課題の聴覚情報の処理を反映し、左右両半球の一次視覚野とその周囲の視覚連合野が顕著な活動を示した。また、Nav - Pa の比較は Nav 課題の視覚情報の処理を反映し、左右両半球の一次視覚野とその周囲の視覚連合野が顕著な活動を示した。これらの比較による活動領域はそれぞれ、上で用いた2つの比較、 $(Sa + Pa) - (Sv + Pv)$ と $(Sv + Pv) - (Sa + Pa)$ における活動領域とほぼ一致していた。この結果は、Nav 課題は音声・文字の処理の両方を含んでいるため、知覚の処理を統制する課題として聴覚・視覚条件に共通した統制課題として用いることが有効であることを示している。

P 課題は音声もしくは文字の処理だけでなく、提示された語彙の意味処理を必要とする。Pa - Nav および Pv - Nav の比較は非常に類似した活動パターンを示した。左半球の下前頭回と中前頭回、左右両半球の角回と縁状回では音声および文字提示条件に共通した活動が見られた。知覚処理に関する皮質活動が左右半球でほぼ対称であったのに対し、語彙の処理に関する皮質活動は左半球優位であった。Nav をモダリティーに共通した統制課題とすることで、Pa と Pv の活動パターンを直接比較することができ、語彙の意味処理における皮質活動が入力のモダリテ

ィーに共通していることが示された。さらに、このことは Pa と Pv を Sa と Sv それぞれの統制課題として用いることで、Sa および Sv 課題における皮質活動をモダリティー間で比較することができることを示している。

Sa - Pa および Sv - Pv の比較においては、左半球の下前頭回腹側部、中心前溝、中側頭回で入力のリモダリティーに共通した活動が見られた。左下前頭回腹側部は Pa - Nav および Pv - Nav のいずれでも活動を示さず、この領域が文の処理に選択的な活動を示す可能性があることが示唆された。このことを明らかにするために、上で用いた知覚もしくは語彙の処理を反映する比較において有意な活動を示す領域を Sa - Pa および Sv - Pv の比較において活動を示す領域から除く解析を行った。この解析を用いることにより、知覚処理や語彙の処理による活動が文処理の過程で強められたために Sa - Pa および Sv - Pv の比較において活動を示した領域を除くことができ、文処理に選択的な活動を示す領域が同定できる。この解析の結果、左下前頭回腹側部のみがリモダリティーに共通して活動を示した。以上の結果より、前頭前野の一部である下前頭回腹側部は入力のリモダリティーに依らず、文の処理に選択的に関わっていると考えられる。

本研究では、新しい統制課題を用いることによって、文の処理に選択的な活動を示す皮質領域を明らかにし、その活動が聴覚・視覚の入力リモダリティーに共通していることを示した。この結果は、文の処理と語彙の処理を直接比較することにより、文の処理が特異的であることを脳科学の見地から初めて明確にしたものである。さらに、文の理解をする際に、統語処理の過程でどのようにして文を構成する個々の語彙の意味を統合し、文全体の意味を処理するのかという問題を皮質活動として詳細に明らかにするための基礎を与えるものである。