

学 位 論 文 題 名

聴覚における特徴の抽出と統合機構に関する
生理心理学的研究

学位論文内容の要旨

感覚情報から知覚体験を構成する機構の解明は、心理学の主要課題の一つである。例えば、雑踏で友人と話している時には、受容器が受け取るのは時空間的に重なりを持つ様々な音響信号の複合体であるにも関わらず、私たちはその中から必要な信号（この場合、友人の声）を取り出し、利用することができる。このような知覚は、聴覚事象を構成する複数の特徴を時間軸上のある範囲に渡って統合する、いわば知覚の体制化の上に成立する。これまで現象学的、あるいは計算論的アプローチにより体制化をもたらす刺激の物理的配置、すなわち体制化の法則がいくつか明らかにされてきた。しかしながら、複数の特徴が知覚過程のどの段階でどのように統合されるかに関しては、未解決の点が多い。知覚過程の諸段階をある程度分離して検討することを可能とする方法の一つに、生理学的指標の利用があげられる。本研究では、聴覚事象における特徴を抽出・統合して知覚体験を構成する心理学的および神経学的機構を事象関連電位（脳波）を指標として明らかにしていくことを目的とした。

第1章では、知覚情報の抽出と特徴に関する主要な理論的研究である Treisman と Bregman の研究を比較した。Treisman が特徴の統合が注意の焦点化によって成立する（特徴統合理論）と考えるのに対して、Bregman は特徴統合が前注意的過程で成立することを示唆した。両者の差異が、Treisman が視覚、Bregman が聴覚を扱ったというモダリティの違い、および Treisman が色や線分の方向など単純な物理的特徴を扱ったのに対して Bregman はより複雑でグローバルな特徴を扱った、という特徴のタイプの違いに起因すると整理した。

第2章では、事象関連電位を用いた聴覚認知研究に関して先行研究の知見をまとめることにより、到達点と課題を整理した。本研究では、聴覚刺激系列中の稀な変化によって惹起され、聴覚野を主要な生成源とする Mismatch Negativity（以下、MMN）と呼ばれる成分に焦点をあてた。MMN は刺激の物理的特徴だけでなく、呈示パターンのような複雑でグローバルな特徴における変化によっても惹起される。さらに、MMN 惹起の基盤となる表象は、刺激の物理的特徴ではなく知覚体験とより緊密に結びついている。このような MMN の特性は、前注意過程における特徴処理の様相を観察可能とする。

MMN を指標とした先行研究では、聴覚事象を構成する諸特徴が前注意過程において別々に処理されることを示唆する研究と1つの表象に統合されて処理されることを示唆する研究の双方が報告されている。双方の研究で用いられた実験変数と結果の関係を分析することにより、特徴処理の独立性と統合性を決める要因として、用いられた実験パラダイムの違いが特徴統合の異なる側面を反映するとともに、用いられた特徴のタイプが重要な決定因であると整理した。

第3章では、聴覚の前注意的過程における変化の検出に関する代表的モデルである Schroger のモデルと第2章で得られた知見とを照合することにより、本研究において解明すべき課題として、以下の2点を設定した。すなわち、Schroger のモデルは、特徴毎の処理のモジュール性を仮定したが、(1) 特徴処理の独立・並行性を示唆する研究では、物理的特徴が扱われており、タイプの異なる複数の特徴間における処理の独立・並行性に関しては検討されていない、(2) 知覚過程が扱う特徴は、刺激の物理的特徴、あるいは実験者が操作した特徴と一致するとは限らない。様々な特徴がどのように区分され、異なるモジュールに配分されるかは明らかではない。

第4章では、第3章で提議した2つの課題に関して5つの実験を通して検討した。

実験1では、刺激の音響特徴が統合処理されるのかを検証した。周波数と音圧の結合関係を変化させると MMN が惹起したことから、特徴結合が前注意的過程で符号化されることが示唆された。

実験2と実験3では、特徴結合と個々の特徴に関する処理の関係性を検討した。実験2では、特徴結合が、結合を構成する各々の特徴とは別に処理されるのかを脳磁図を用いて MMN の生成源の位置を指標に検討した。特徴結合の変化によって惹起された MMN と、個々の特徴単独の変化により惹起された MMN の生成源が異なることから、特徴結合と個々の特徴の処理には、少なくともある程度異なる神経学的機構が介在することが示唆された。実験3では、特徴結合が個々の特徴と独立・並行して処理され得るかを検討した。ある二つの特徴結合における逸脱と別の特徴における逸脱が同一刺激において同時に生じた時に惹起された MMN が、それぞれの逸脱が単独に生じた時の MMN を加算した結果と等しいことから、特徴結合と個々の特徴が独立・並行して処理されうることが示唆された。

実験4と5では、タイプの異なる特徴間における処理の独立性と統合性を検討した。特徴の統合処理を示唆する研究では、音響特徴のみが扱われてきた。そこで実験4では、聴覚系列中において刺激の音響特徴とその刺激をもたらす時間的パラメタ、すなわち刺激間間隔が統合されて処理されうるかを検討した。刺激間間隔の変動性が周波数の逸脱による MMN の振幅に影響したことから、刺激の音響特徴と刺激をもたらす時間的パラメタは統合処理されることが示唆された。実験5では、刺激の音響特徴(周波数と音圧の特徴結合)、刺激呈示の時間的パラメタ(刺激間間隔)、刺激呈示のパターン構造(左右の耳への交互呈示)に関する処理の関係性を MMN の加算性を利用して検討した。その結果、刺激の音響特徴とパターン構造における逸脱に対する MMN の間には加算性が見られ、この2つの特徴が独立・並行して処理されることが示唆された。一方、刺激呈示の時間的パラメタとパターン構造における逸脱に対する MMN の間には非線形的な相互作用が認められたことから、この2つの特徴は一つの特徴に収束されて処理されることが示唆された。

第5章では、総合考察として第4章で述べた5つの実験から得られた知見に基づき、聴知覚における特徴の抽出と統合機構の特徴を考察するとともに、今後の課題を提議した。本研究で得られた主な知見としては、以下の5点があげられる。

- (1) 聴覚事象に含まれる諸特徴から、いくつかの異なるタイプの表象が並行して形成される(実験2、3)。
- (2) 個々の特徴毎の表象だけでなく、複数の特徴が統合されて一つの表象を構成しうる(実験1から実験5)。音響特徴間だけでなく、刺激の物理的特徴と刺激呈示の時間パラメタのような、性質の異なる特徴も統合される(実験4)。
- (3) 特徴統合は、前注意段階で成立しうる(実験1、2、3、4、5)。
- (4) 知覚機構において処理される特徴は、刺激系列中に存在する物理的に定義される特徴とは必ずしも同じではない。刺激系列における諸特徴は、前注意段階で階層的に統合されて知覚される(実験5)。

以上の実験によって得られた知見と考察を第6章において結論としてまとめた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 諸 富 隆

副 査 教 授 森 谷 絜

副 査 教 授 沖 田 庸 嵩 (札幌学院大学社会情報学部)

副 査 講 師 矢 部 博 興 (弘前大学医学部神経科精神科)

学位論文題名

聴知覚における特徴の抽出と統合機構に関する 生理心理学的研究

本論文の主題は、聴覚事象における特徴（例えば、周波数や音圧）を抽出・統合して聴知覚体験を構成する心理学的および神経学的機構を事象関連脳電位のMMN (Mismatch Negativity, ミスマッチ陰性電位) および事象関連脳磁場のMMNm (Magnetic Mismatch Negativity, ミスマッチ陰性磁場) を指標として明らかにすることである。

MMNは、一様な聴覚刺激（標準刺激）の連続提示中に時折提示される異質刺激（逸脱刺激）に対して生起する事象関連脳電位で、1978年Naatanenによって発見されたものである。MMNは、音刺激を無視した状態（前注意状態）でも生じるということにおいて注意状態における逸脱刺激によって生じるP300とは区別される。MMNは、一次聴覚野近傍から誘発され、逸脱刺激と感覚記憶内に形成される標準刺激の神経表象 (neural representation) との不整合（ミスマッチ）を反映し、単なる求心性の感覚入力の処理を反映する電位とは異なることから聴知覚機構を解明する指標として重要である。

MMNの発生が、感覚記憶内の個々の刺激特徴の神経表象との比較によるのか、それらの刺激特徴を統合した神経表象との比較によるのか、あるいは、それら両者の比較によるのかについては、感覚記憶構造の解明にとって重要な点であるが、この点についてはまだ明らかになっていない。本研究は、この事実を踏まえて次の5点を検証することを目的としている。(1) 個々の刺激特徴に対するものだけでなく、それらの刺激特徴の結合 (feature conjunction, 特徴結合) 自体の神経表象が存在するかどうか、(2) 特徴結合の神経表象が存在するとすれば、それは個々の特徴の神経表象から独立して存在するかどうか、(3) 特徴結合の検出処理は、個々の特徴のそれと独立・並行しているかど

うか、(4) 性質の異なる複数の特徴（周波数と刺激開始間隔）は、神経表象として統合されるかどうか。(5) 単純な特徴（周波数と音圧）と複雑な特徴（左右の耳への交互提示や刺激開始間隔等の系列パターン構造をもつ刺激）の処理はどのような関係にあって持続時間のみが変わる）を用い、特徴結合は強化されるが、音刺激全体は強化されないという刺激系列を構成し、特徴結合のみの逸脱する刺激によってMMNが生起することを明らかにし、特徴結合自体の神経表象が感覚記憶内に存在することを実証している。

(2) 脳磁図による発生源双極子(ダイポール)推定を用いることによって、特徴結合に対するMMNmと個々の刺激特徴に対するMMNmの発生源の比較を行い、両者の発生源の位置が異なることを見出し、各々の神経表象が独立して存在することを示唆している。

(3) 個々の刺激特徴に対するMMNと特徴結合に対するMMNとの間で加算性が成立するかどうかの検討を行い、主観的音源位置の逸脱に対するMMNと周波数と音圧の特徴結合に対するMMNを加算したMMNは、両者が逸脱する刺激（二重逸脱刺激）に対して惹起されるMMNと全く等しく、両者の間に完全な加算性が成立することを明らかにしている。即ち、各々の神経表象に関連する処理は独立・並行していることを実証している。

(4) ランダムあるいは交替する2種類の刺激開始間隔と固定した刺激開始間隔を用いた場合の周波数変化に対するMMNの比較を行い、ランダム、交替に係わらず2種類の刺激開始間隔の場合にMMNは減衰することを見出し、音響特徴と時間特徴という性質の異なった特徴が統合されることを明らかにしている。

(5) の課題についてもMMNの加算性による検討が行われ、左右耳交互刺激パターンからの逸脱と刺激開始間隔の規則性から逸脱に対するMMNは加算性を示さず、左右耳交互刺激パターンからの逸脱と周波数と音圧の特徴結合の逸脱に対するMMNは加算性を示すことを見出し、前者の特徴間では相互作用を示し、後者の場合は独立性を示すことを明らかにしている。前者の場合に相互作用を示したことは両特徴間に共通の時間パラメータという特徴によって神経表象は統合されることを示唆している。

以上の研究の中で最も評価される点は、刺激の特徴結合に対する神経表象が個々の特徴に対する神経表象と独立に存在し、それらが並列処理されることを一連の組織的な実験によって初めて実証したことである。また、周波数や音圧のような静的（static）な特徴と左右耳交互刺激や刺激開始間隔のような動的（dynamic）な特徴が統合されて神経表象が形成されることを示したことである。尚、上述の(3)と(4)の事実は、神経科学の速報誌であるNeuroscience letterにそれぞれ掲載され、(5)の事実については、Psychophysiology誌に審査をパスし掲載が決定している。本研究によって明らかにされた知見は、MMNの発生機序に重要な示唆を与えるだけでなく、聴知覚の成立に深く係わって

いる感覚記憶構造の解明に大きく貢献している。

以上から審査員一同は、竹形理佳の学位請求論文を博士論文に相当すると判断し、竹形理佳を博士（教育学）の学位を受けると認める。