

論文の内容の要旨

論文題目 視聴覚不一致を伴う聴覚情報処理の神経基盤に関する皮質脳波研究

氏名 宇野 健志

【序文】

言語機能およびその神経基盤の正確な理解は、外科治療における高次の機能温存などに極めて重要となる。これまで当科では言語の側性化、局在、ダイナミクスなどについて多くの成果を得てきた。本研究では言語機能とその神経基盤の理解をさらに深めるため、言語を形成する最小単位である音素に焦点を絞り、言語処理の最も基礎的な視聴覚認知の神経基盤について検討を行う。

これまでの研究から、音声認知は必ずしも音声情報のみで決定されるわけではないことが明らかになっている。例えば対面での会話では、相手の声（聴覚情報）だけでなく口唇の動きをはじめとした視覚情報も同時に入力されるが、両情報はヒトの脳内で融合的に処理される。その結果、視覚情報が聴覚情報と一致しない状況では、視覚処理によって聴覚情報が歪められ、入力された聴覚情報とは異なる音声認知が発生することがある。このような音声の情報と口唇に関する情報との融合認知は“マガーク効果”と呼ばれる。マガーク効果からは、感覚器官および担当脳領域の異なる情報が融合する機序を捉えることができるため、現在まで多くの研究が行われてきた。その結果、視聴覚情報が一致しない状況では下前頭回（inferior frontal gyrus; IFG）と上側頭溝（superior temporal sulcus; STS）が活動することが示されてきた。しかし、その活動と融合認知（マガーク効果）との直接的な関連は未だ捉えられていない。マガーク効果は視聴覚情報が一致しない状況で生じる。そのため IFG や STS の活動は、視聴覚情報の融合ではなく、視聴覚情報間の不一致の処理を反映している可能性もある。そこで本研究では、マガーク効果（融合認知）および視聴覚不一致の検出に関する脳神経活動を検証する。

研究①では、口唇の動きと音声とが一致していないマガーク条件で観察される IFG と STS の活動が融合認知と正しい聴覚認知（視聴覚不一致の検出）のどちらと関連するのかを検討した。次に研究②では、視聴覚不一致の検出を担う神経機構に焦点を当てて検討した。視聴覚情報が常に融合的に処理されてしまうと、両情報に不一致がある場合には誤った聴覚処理が行われてしまう。したがって、ヒトの脳には正確な聴覚処理を行うために視聴覚情報の不一致を検出する機構が備わっていると考えられる。しかし、視聴覚情報の融合認知の神経基盤とは異なり、視聴覚情報の不一致を検出する機構についてはほとんど検証されていない。そこで研究②では、この神経基盤について更なる検討を行った。先行研究から、マガーク条件と同様に不一致のある視聴覚入

力の処理にも IFG と STS が関与していることが示されているが、両者の機能的差異については明らかとされていない。単一種感覚入力の処理では、目標刺激と妨害刺激の違いの大きさにより情報処理の神経基盤が変化することが知られている。即ち、目標刺激と妨害刺激の違いの程度が、目標刺激の処理に関わる部位の決定因子と考えられている。しかし異種感覚間入力である視聴覚情報処理の神経基盤についても、視聴覚情報の乖離の大きさに応じて変化するのか、この情報処理において IFG と STS の機能的差異はあるのか、不詳のままである。そこで本研究では、視聴覚情報の不一致の程度を操作することで、被験者が視聴覚情報から聴覚情報を選択的に処理する際の脳活動を検討する。これによって視聴覚情報処理で賦活する IFG と STS という 2 領域の機能的差異を明らかにする。

この問題を検討するに当たり、本研究では皮質脳波を用いる。皮質脳波では、70Hz 以上の高周波の律動活動も高い空間解像度と時間分解能で計測することが可能である。高周波脳律動活動、特に High gamma 帯域 (70~150 Hz) の事象関連同期 (High gamma activity; HGA) は、神経発火と強く相関することなどから、近年、大脳皮質における局所的な脳機能を解明するための指標として注目されている。さらに、皮質脳波は信号対雑音比がよく、他の計測手段では精度の低い event related の解析において認知行動成績に基づくトライアルベースの解析を可能にするという利点もある。そこで本研究では、皮質脳波を用いることにより、ヒトを対象とした研究では計測の困難な神経活動を計測する。

【方法と結果】

難治性てんかんの治療を目的に左大脳半球外側に広く頭蓋内電極を留置した 8 名を対象として、下記の研究①と研究②を行った。HGA は、取得した皮質脳波に 70~150 Hz のバンドパスフィルターをかけた後、ヒルベルト変換を行うことで求めた。

研究①では、マガーク効果 (融合認知) の神経基盤を調べるため、口唇の動きがみえる話者の視聴覚動画を提示し、音声 (音素) の聞き取りを求める音素識別課題を行った。課題では、日本人女性が『ば』、『か』、『た』のいずれかを発声している条件 (視聴覚一致条件) に加え、口唇の動きは『か』と音声は『ば』となる条件 (マガーク条件) が提示された。マガーク条件における融合認知の生起率は 50.3% であり、先行研究と類似する結果であった。次に一致条件よりもマガーク条件で HGA が上昇した電極を調べた結果、HGA 上昇は音声提示後 500 ms~1000 ms で IFG と STS 周辺に分布し、特に IFG では非 IFG/STS よりも有意に HGA 上昇電極が集積していた ($p=0.046$ 、対応のある t 検定) (以下記載のないものは対応のある t 検定)。さらに、このような HGA 上昇がどのような認知に関連して起こるのかを調べるため、マガーク条件時の脳活動を認知行動成績に基づいて分類し、HGA 上昇を比較した。結果、融合認知が生じた試行での HGA 上昇は IFG、STS どちらにおいても観察されなかったが、正しい聴覚認知が生じた (視聴覚不

致の検出に成功した) 試行では IFG において有意な HGA 上昇が示された ($p=0.036$)。また、正しい聴覚認知の際に HGA の上昇した電極は、非 IFG/STS に比べて IFG に集積し ($p=0.0046$ 、カイ 2 乗検定)、融合認知の際に HGA の上昇する電極よりも有意に多かった ($p=0.0053$ 、カイ 2 乗検定)。

研究②では、視覚情報と聴覚情報が一致しない状況における正しい聴覚認知(視聴覚不一致の検出)と関連した脳活動を検討した。本研究では、口唇の動きが『か』で音声は『ば』という、口唇と音素で子音のみ異なる条件(不一致(小)条件)と、口唇の動き『す』で音声は『ば』という、子音も母音も異なる条件(不一致(大)条件)を提示して、その際の脳活動を比較した。結果、視聴覚情報が一致している条件に比べ、一致していない条件では正答率が低下した(順に 96.7%と 34.5%、 $p=0.00049$)。特に、視聴覚情報の乖離の小さい(不一致(小)条件)時には、乖離の大きい(不一致(大)条件)時よりも正答率が低下した(順に 30.3%と 43.1%、 $p=0.0099$)。また、一致条件に比べて不一致条件で大きな活動を示した電極は、視聴覚情報の不一致が小さい時には IFG に ($p=0.046$)、不一致が大きい時には IFG と STS に (IFG: $p=0.038$ 、STS: $p=0.016$) 集積した。さらに、認知内容と関連した脳活動を捉えるため、不一致条件における脳活動を正しく聴覚情報を認知できた試行と誤った試行に分けて評価すると、視聴覚不一致が小さい時には IFG ($p=0.018$)、大きい時には STS ($p=0.038$) で HGA 上昇がみられた。

【考察】

本研究では、視覚情報と不一致を伴う音素を識別する際の脳活動が、どのような認知処理に関連するのか、IFG と STS の機能的差異も含めて、信号対雑音比がよく時空間解像度に優れる HGA により検討した。本研究で捉えた IFG および STS の HGA は、視聴覚の融合認知ではなく視聴覚不一致の検出に関与していることが示唆された。また、両領域は同じように視聴覚不一致の検出に関与するのではなく、目標刺激(音声)と妨害刺激(口唇の動き)の不一致の程度(視聴覚不一致の程度)が小さい時には IFG、大きい時には STS が正しい聴覚認知に関与した。これは異種感覚間入力である視聴覚情報処理における神経基盤も、単一種感覚入力における情報処理機構と同様に、妨害刺激と目標刺激との乖離の程度に応じて動的に変化するという可能性を示唆するものである。本研究は、これまで重視されてこなかった視聴覚不一致の検出機構に焦点を当て、不一致の程度に着目したことで視聴覚不一致処理の神経基盤、IFG と STS の機能的差異について新たな知見を得たものである。今後、領域間の同期性に関する検討や各処理過程における皮質電気刺激による影響の検討などを行うことで、本研究結果が示唆した視聴覚情報処理の神経基盤にさらなる知見が得られると期待される。

【結論】

本研究は、言語に関連する視聴覚情報の脳内処理機構を検討したものである。脳活動の解析は、

信号対雑音比と時空間解像度に優れた皮質脳波を用いて行い、神経発火と強く相関する HGA を評価した。我々が捉えた脳活動は、不一致な視聴覚情報が提示された際に、不適切な視聴覚の融合を避け、正しい聴覚認知を得ることと関連していた。この脳活動は、目標刺激と妨害刺激の不一致の程度に基づいて、動的に変化することが示唆された。すなわち、視聴覚不一致を伴う聴覚情報処理において不一致の小さい視聴覚入力には IFG が、不一致の大きい視聴覚入力には STS が関与する可能性が示された。