

論文の内容の要旨

論文題目 聴覚による環境理解過程に関する心理物理学的研究

氏名 川島尊之

1. 研究の背景 (第1章)

日常的な場面では、私たちの耳に到達する音は、複数の音源からの音が重畳したものであることが多い。このような入力から、それぞれの音源がどこにあり、それが何であるのかを決定することは、計算論的にはなんらかの制約条件がないと一意に解の定まらない不良設定問題である。一方、普段私たちは音源がどこにあり、それが何であるのかをそれほど苦労せず半ば無意識的に知覚しており、聴覚系はこの意味で不良設定問題に解を与えている。

この聴覚による環境理解過程の顕著な特徴の一つはそれが効率的である点にある。例えば私たちの聴覚系は、数百ミリ秒という比較的短時間のうちに音入力进行处理し、音源の定位と識別という困難な問題になんらかの解を与えている。本研究では、こうした聴覚情報処理の効率性について、それがどのように実現されているのか、そしてその限界はどの程度なのかという2つの側面から心理物理学的に研究した。

2. 聴覚情報処理の効率はどのように実現されているのか (第2章, 第3章)

一般に並列的な処理は比較的迅速な情報処理が可能であり、聴覚系の高い処理効率は適切な音の特徴を並列的、同時的に検出し、処理することで実現されている可能性が高い。本研究ではこの可能性について、特に音の両耳間時間差の処理に着目して検討した。

両耳間時間差とは、主に音源の水平方向の位置の違いに応じて左右の耳の間で生じる数百マイクロ秒程度の音の到着時間差のことである。こうした両耳間時間差は、日常的な場面では、音源の定位に加え、

音源間の聞きわけ（音源の識別）にも貢献しており，聴覚による環境理解の過程で重要な役割を果たす音響的特徴である。

両耳間時間差が聴覚系内で並列的に検出されている可能性は，主に人間以外の動物を用いた研究から示唆されており，例えばネコなどの哺乳類については両耳間時間差に選択的な神経細胞の存在やその詳細な性質が多く報告されてきた。一方人間の聴覚系において直接的に並列処理の可能性を検討した研究は皆無ではないが内容的に大きく限られたものである。例えばそうした研究は，これまで 1500 Hz 程度以下の比較的低い周波数帯域における両耳間時間差についてのみを対象としており，結果として低周波数域における並列的な処理過程の存在を示してきた。しかしこれまでに複数の証拠が，およそ 1500 Hz 以下の比較的低い周波数帯域とそれ以上の比較的高い周波数帯域との間で，聴覚系内で両耳間時間差の処理の仕方が異なる可能性を示している。

本論文の第 2 章では，定位残効という知覚現象を通して，比較的高い帯域での両耳間時間差（振幅包絡の両耳間時間差）が両耳間時間差に選択的な処理単位（チャンネル）を介して並列的に検出されているか否かを検討した。定位残効とは，比較的長い時間ある音を聞いた後では，続けて聞いた別の音源の位置が，先に聞いていた音から遠ざかるように変化して知覚される現象である。定位残効は，音源定位の過程でチャンネルによる並列的な処理が行なわれていることを示すとしばしば考えられている。

一連の実験では，比較的高い周波数帯域にのみエネルギーが存在する振幅変調音に対して被験者を順応させたのち，別の音に対する被験者の頭内音像の定位がどのように変化するかを調整法（実験 1），あるいは二肢強制選択（実験 2 から実験 5）により測定した。実験の結果，振幅包絡の両耳間時間差は定位残効に寄与していること，さらに順応は音の変調周波数そのものの周波数の純音には転移しない性質があることなどが明らかになった。これらのことは，高い周波数帯域において，両耳間時間差が並列的なチャンネルにより検出されていること，そしてそうした並列処理は変調周波数そのものに相当する信号の両耳間時間差の処理とは独立して行なわれていることを示すと解釈された。低周波数域の両耳間時間差の処理過程についてこれまで知られていたことと合わせると，第 2 章におけるこうした実験の結果は，高低の周波数帯域間では音から聴覚系末梢で抽出される情報が異なるが，より中枢における両耳間時間差の処理過程は等しいとする仮説を支持する新しい証拠を提供した。

本論文の第 3 章では両耳間時間差の変化の処理過程を検討した。両耳間時間差については，一定の値を持つ両耳間時間差の検出，つまり静止した音源の定位が主に注目されてきた経緯があり，両耳間時間差の変化を処理する過程についてはあまり研究されてきていない。両耳間時間差の変化は日常的には音源の運動を示すことを考えると，両耳間時間差の変化を検出することは，聴覚による環境理解にとって音源の運動の検出などの重要な意味を持つと考えられる。

本論文の第 3 章では，聴覚運動残効という知覚現象を通して，両耳間時間差の変化方向が変化方向に選択的なチャンネルを介して並列的に検出されているか否かを検討した。聴覚運動残効とは，比較的長時間一定方向に運動する音を聞きつづけた後では，すぐ後に提示される静止音が，先の音とは逆方向に運

動して知覚される現象である。聴覚運動残効は、音源の運動が音の運動方向に選択的なチャンネルによって検出されていることを示すと考えられてきた。

実験では、両耳間時間差のみが変化する純音に対して被験者を順応させたのち、静止状態を含む様々な速度で移動する純音の運動方向の知覚がどのように変化するかを二肢強制選択により測定した。2つの実験の結果、両耳間時間差の変化によって聴覚運動残効が生起すること、そしてそれはある程度両耳間時間差に選択的であることが示された。これらのことは、両耳間時間差の変化方向が、変化方向に選択的なチャンネルにより並列的に検出されていることを示し、さらにそうした個々のチャンネルは限られた範囲の両耳間時間差のみを入力として受け入れていることを示すと解釈された。両耳間時間差の変化方向の検出がこのように並列的に行なわれている可能性は、ラットなどの単一神経細胞について神経科学的に得られていた知見と良く符合している。

以上のことは、聴覚によって外界を理解する際に重要な役割を果たす両耳間時間差の処理過程において、ある範囲の両耳間時間差や、両耳間時間差の変化方向に選択的なチャンネルを介した並列的な処理が行なわれていることを示しており、聴覚による環境理解の優れた効率性が、適切な特徴を並列的に処理することで実現されているという考えを支持している。

3. 聴覚情報処理の効率は何の程度か (第4章)

本論文の第4章では、音源分離知覚の限界を指標として聴覚の処理効率を定量的に測定することを試みた。音源分離知覚の限界とは、同時に提示された複数の音源から被験者が分離して知覚する音源の最大個数を意味する。実験ではおよそ800ミリ秒という比較的短時間の信号(日本語音声単語)について、音源を1つから6つ程度同時に提示したときの分離知覚の限界を測定した。音源分離知覚の限界は、外界で別々に存在する音源の情報を、聴覚系がどの程度分離したまま処理しているかを示し、この点で比較的短時間内の聴覚の処理効率について定量的な指標を与えてくれる。

これまで音源分離知覚の限界については、複数の音源を同時に提示し、そこにいくつの音源が存在していたかを被験者に数字で回答させる課題(音源数判断課題)から、それがおよそ音源2つ程度である可能性が示唆されていた。しかし、音源数判断課題は音源数知覚の性質を私たちに教えてくれるものの、音源分離知覚の限界を測定する方法としてはいくつかの点で不適切だと考えられた。音源数判断課題では、被験者が重畳信号から個々の音源を分離知覚して数を回答しているという保証が無いこと、さらに音源数判断課題は分離知覚のみならず、分離知覚した音源の数を計数する過程の性質を反映している可能性があることなどがその理由である。

そこで、ある音源をプローブとして単独提示し、そのプローブが重畳信号に含まれているか否かを二肢強制選択により回答させる課題(マッチング課題)を用いて音源分離知覚の限界を測定した。マッチング課題では、先に音源数判断課題について挙げた問題は存在しない。実験の結果、被験者は4つから6つ程度の音源が同時に存在するとき、そのうちの少なくとも3つ程度を分離し、知覚していることが

示された。言い換えるならばこの結果は、聴覚による認知過程において聴覚系は少なくとも50%（6つの音源があるとき3つ程度を分離しているため）から75%（4つの音源があるとき3つ程度を分離しているため）程度の効率で音源情報を処理、伝達していることを示している。

これまで音源分離知覚の限界を測定する妥当な方法が無く、さらにその限界は音源数判断課題から暗黙的に2つ程度であると推測されてきたことを考えると、本研究は音源分離知覚の限界を指標として聴覚系の処理効率を定量的に測定する方法を新たに確立したとともに、聴覚系の処理効率が従来考えられてきたよりも優れていることを示したとすることができる。

4. まとめ（第5章）

本研究では聴覚による環境理解過程の優れた処理効率について、それがどのように実現されているのか、そして処理効率の限界はどの程度なのかという点を検討した。

第2章では比較的高い周波数帯域における振幅包絡の両耳間時間差が、両耳間時間差に選択的なチャンネルにより並列的に処理されていること、第3章では両耳間時間差の変化方向が、変化方向に選択的なチャンネルにより並列的に処理されていることを新たに示した。これらは聴覚による環境理解の優れた効率性が、環境理解の上で重要な特徴を並列的、同時に処理することで実現されている可能性を示す結果である。

第4章では音源分離知覚の限界を新しい方法で測定し、その限界値は音源が4つから6つ程度のときには3つ程度であるという結果を得た。これにより本研究は、聴覚系の処理効率を定量的に測定する方法を新たに確立したとともに、聴覚系の処理効率が従来考えられてきたよりも優れていることを示したとすることができる。