

## 論文の内容の要旨

論文題目 頭部運動や視覚を伴う音源定位の研究

氏名 加藤正晴

本論文は音源定位の研究であり、特に音源定位に対する頭部運動や視覚の影響について、その心理物理学的研究を行うものである。

人は、何か外界で変化が生じたときに、まず聴覚によってその大まかな方向を把握し、つぎに聞こえた方向に首を動かしたり目を向けたりして詳しい場所を特定しようとする。この行動は、視野の及ばない背後、左右、上下方向からの刺激に対しても聴覚が反応することができるということと、視覚の空間分解能が、聴覚的な空間分解能よりも優れていることを考慮すると合理的であることがわかる。しかしそれだけなのであろうか。本研究によれば、頭部を動かしたり、目を向ける行為によって、聴覚的な空間知覚、すなわち音源定位の精度それ自体もまた向上するという結果が得られた。

頭部運動によって音源定位が向上することは、いくつかの研究において確認されている。しかし、定位精度は向上しないという結果を出している研究もあり、その有効性ははっきりしていなかった。今までの研究で頭部運動によって定位精度が向上することを示した研究と、そうでない研究では、利用できる音響的な手がかり、音源の提示位置、頭部運動の方向がそれぞれ異なっており、この違いが結果の差の原因であると考えられた。そこで本論文ではこれらの違いを統一的に扱うことによって、どのような状況で頭部運動が音源定位の定位精度に貢献するかを調べた。また頭部運動によって生じる両耳性、単耳性手がかり

りを分類し、今まで有効な手がかりと考えられてきた運動性両耳手がかり(頭部運動によって誘発される両耳手がかりの変化)だけでなく、運動性単耳手がかりにも注目し、この手がかりが有効性を検討した。

その結果、全体として聴取者は、頭部が静止しているときに得られる手がかりがあいまいであったり、あるいは不正確な場合には、頭部運動によって生じる手がかりを有効的に利用していることが示された。例えば水平面定位の場合、頭部を静止しているときに得られる両耳手がかりには前後判断を除いてはあいまい性がないので、頭部運動による精度の向上はほとんど見られなかったが、正中面定位では頭部運動によって定位精度に向上が見られた。そのときに運動性両耳手がかりだけでなく、運動性単耳手がかりも定位精度の向上に有効な手がかりであることを示すことができた。更に、単耳条件かつ耳甲介の凹みを埋めて、頭部が静止しているときに得られる手がかりをすべて狂わした場合でさえ、頭部運動によって定位精度が改善することを示した。

一方で、自由な頭部運動時の運動軌跡の分析を行い、聴取者が実際に行う頭部運動を定量的に評価し、自由運動時にどのような手がかりを得ているかについて考察を行った。

次の章では頭部運動を伴いながら音源定位を行う際、聴覚によって察知されるもの以外の知覚情報(視覚、平衡感覚、体性感覚など)が音源定位の精度に及ぼす影響について検討した。この検討を行うために、三種類の条件で定位実験を行い、それぞれの場合の定位精度を比較することで、聴覚以外の情報の重要性を評価した。

最初に、音源が自動的に移動し聴取者は静止した状態の場合、すなわち音響的变化は生じるが、その他の感覚器からの情報は何もない場合の定位について実験を行った。その結果、頭部を動かさなくても音源が動くことによる音響的变化のみで定位精度が向上することがあることを見出した。

つぎに音響的变化にくわえて、自分がどれだけ動いたかという情報を与えることによって定位精度がどう変わるかを検討した。具体的には被験者の座る椅子が自動的に回転することによって被験者に次の情報が聴覚情報以外に加わることとなる：(1) 周囲の画像が動いたことによる視覚からの情報、(2) 頭部が動くことによる前庭系からの加速度の情報、(3) 回転されることによって椅子から受ける反力による自己受容感覚。この場合、手がかりが増えたにもかかわらず、逆に定位精度が低下する結果が示された。

最後に、自発的に頭部を動かすことにより、最も自然で情報量の多い場合の音源定位の精度について検討した。このときの定位精度は音源が自動的に運動する場合とほぼ同様であることがわかった。

これらの実験結果は次のように解釈することが可能である。まず、一つ目の実験結果より、音源あるいは聴取者が運動しているときに生じる音響的变化は、定位精度を向上させる働きがある。二つ目及び三つ目の実験結果より、聴覚以外の情報が増えたとしても、それが能動的に獲得されたものでない限り逆に定位精度を悪化させる原因となることを示し

た。

次の章では、視覚刺激及びサックード（スピードの速い眼球運動）の音源定位に及ぼす影響について調べた。今までに視覚的な手がかり刺激によって生じるサックードによって聴覚刺激に対する反応時間が短縮することや、先行音によって後続音に対する空間分解能が変化することが報告されているが、視覚的な手がかり刺激によって、聴覚的空間分解能が変化することを示した研究はなかった。しかし、生態学的にも、視界が悪いあるいは夕暮れやくらやみの中では、聴覚による音源定位のほうが役に立つため、先行する光によって、その方向の聴覚的空間分解能が向上するならば生物にとっては有用で、このような仕組みが、進化の過程で聴覚系に備わってきたと考えても不思議ではない。

本実験によって、(1) 光刺激の提示された方向にサックードを行った場合、サックードを行う方向の聴覚的空間弁別がサックードを行わないほうの聴覚的空間弁別よりも良いこと。(2) 光刺激による聴覚的空間弁別能の向上は、サックードが発生していない SOA=100ms のときに最も見られた、ただしサックードを行わない場合は、弁別に変化は見られないこと。(3) SOA が 300ms になるまでは、弁別は時間とともに向上することが示された。

このことは、音源定位を行うプロセスそのものに聴覚以外の現象が影響を及ぼすことを示した結果である。

聴覚的な空間情報は、体性感覚や視覚的な空間情報と同様、脳の上丘に収束しており、これは互いに対応関係を保った構造になっていることが生理学的に知られている。上丘は更に眼球運動を指令するコントロールセンタでもあり、人間の複数感覚統合において重要な働きを担っていると考えられている。この結果は上丘が聴覚的な空間把握に関与していることを心理物理学の観点から示唆するものである。

我々は常に複数感覚から大量の入力を受けているにもかかわらず混乱することなく、行動している。この説明として、脳が各感覚ごとに独立して処理しているからだとする考えは広く支持されている。しかし絶えず変化する外界に適応的に対応するためには独立性と同時に協調性もまた必要である。本論文では、直前に提示した光刺激に近い地点で、聴覚的空間分解能が向上する一方、離れた地点では低下する現象を報告した。これは、ある感覚が別の感覚の感度調整を行うことであり、すなわち複数感覚の出力間による協調ではなく、より低次のレベルでの協調が生じていることを示す事例である。また頭部運動により音源定位の精度が向上することは、外界に人が自ら働きかけることによって生じた手がかりを利用していることであり、運動と聴覚の協調性の例であると考えられる。

以上のことにより、人の音源定位は、頭部運動や、視覚、眼球運動という、他の感覚による情報によって、より頑健になったり、精度を向上させたりすることがわかった。この

知見は、バーチャルリアリティやテレプレゼンスといった工学的技術の発展にも貢献できると考えている。従来の頭部伝達関数（音源から発せられた音波を入力とし、鼓膜に到達した音波を出力とする 1 つの系と考えたときの系の入出力応答を表現したもの。系の振る舞いは主に耳介や頭部によって生じる音響的な影や回折により決まる）を用いる手法では、頭部伝達関数は個人差が大きかった。そのため正しい場所に音源定位させるためには聴取者毎に頭部伝達関数を測る必要があり、聴取者の負担が大きかった。また、聴取者の頭部が動くとともに仮想音源も動いてしまう問題点があった。しかし手がかりとともに動きを積極的に利用すれば、単純化した頭部伝達関数を使用することによって、少ないデータ量でより精度やリアリティが向上したり、個人差を吸収できる可能性がある。