

空間定位における視覚的／聴覚的エゴセンターの位置

助宮 治*・中溝 幸夫**・花田 カヲル***・吉松 政春***

*九州大学大学院 人間環境学府
〒812-8581 福岡市東区箱崎6-19-1
**九州大学大学院 人間環境学研究院
***福岡県立福岡高等盲学校

1. はじめに

日常生活において、我々は、様々な感覚から得られる情報に基づいて、事物の位置や空間全体の構造を把握し、行動を適応的に制御している。これまでに多くの心理物理学的研究から、視覚あるいは聴覚を通して定位された事物の空間的な位置情報は、頭部のどこかを基準とする自己中心座標において表現されることが示されている^{1,2)}。その中でも、視空間座標の原点（視覚的エゴセンター）の位置を調べた研究は多く、それは頭部正中面と両眼軸の交点であることが分かっている^{3,4)}。一方、聴空間座標の原点（聴覚的エゴセンター）の位置に関する研究は、わずか2つしかなく^{5,6)}、両者の間で推定された聴覚的エゴセンターの位置は異なる。さらに、視覚健常者と全盲の視覚障害者の音源定位行動を比較した研究から、視覚経験を通して獲得される視覚イメージが、音源定位行動に影響することが示唆されているが⁷⁾、聴覚的エゴセンターの位置に視覚イメージがどう影響するかについては、全く議論されていない。

本研究では、視覚的エゴセンターの推定方法の一つである Howard & Templeton 法⁸⁾を聴覚に応用し^{5,6)}、①聴覚的エゴセンターの位置に及ぼす音源の位置の効果（実験1）、ならびに②視覚イメージの影響（実験2）の検討を通して、視覚ならびに聴覚的エゴセンターの位置の特定を行った。

2. 実験 1

2.1 方法

被験者 視力・聴力ともに正常な成人25名（平均年齢：21.3歳）。

刺激と装置 図1は、実験に用いた刺激と装置の配置を表す。刺激音はホワイトノイズ（60dB）で、スピーカーから提示された。標準刺激提示用のスピーカーは、被験者の頭部を中心とした半径90cmの円周上に、正中面に対して左右30°、60°、120°および150°の方向に固定された。比較刺激提示用のスピーカーは、半径の異なる3つの円周上を可動する台車に設置された。被験者は目隠しを装着し、頭部と胴部の正中面が一致するように、頭部をあごのせ台に固定した。

完全無響室条件と、特別な反響音およびノイズ音の統制を行っていない通常実験室条件の間で、音源定位特性に有意な差は認められなかったので^{9,10)}、本実験は、完全暗所下の通常実験室内で実施した。

手続き 一試行では、標準刺激が500ms提示され、その後無音の遅延時間を500msおいて、標準刺激が500ms提示された。被験者の課題は、後から聞こえた音（比較刺激）の方向が、先に聞こえた音（標準刺激）の方向より右あるいは左のどちらであったかを、口頭で答えることであった。比較刺激の位置は、被験者の頭部に対する標準刺激の方向に対して、左右（あるいは前後）20°の範囲を、1試行につき1°ずつ実験者によって動かされた。

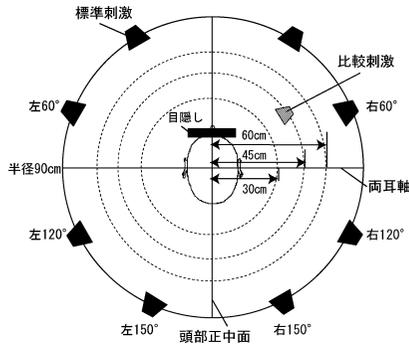


図1 実験1の刺激と装置.

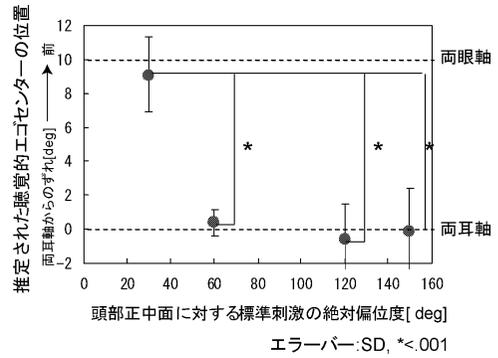


図2 聴覚的エゴセンターの推定位置.

2.2 結果と考察

比較刺激の距離条件ごとに測定された各標準刺激の知覚位置3点に、回帰直線をあてはめた。Howard & Templeton法に基づいて、標準刺激の提示方向条件ごとに、2本の回帰直線の交点を算出し、その位置を聴覚的エゴセンターと定義した^{6,7)}。

図2は、各標準刺激の提示方向条件における、頭部正中面上の聴覚的エゴセンターの位置を表す。頭部正中面上のエゴセンターの位置について、標準刺激の提示方向(4)の1要因分散分析を行った結果、提示方向の主効果は有意であった($F(3, 15)=33.805, p<.001$)。Ryan法による多重比較の結果、30°条件における頭部正中面上での位置に対して、60°, 120°および150°条件では、聴覚的エゴセンターの位置が有意に後方へと偏位し30°条件では両眼軸、60°, 120°および150°条件では両耳軸とほぼ一致することが分かった(すべて $p<.05$)。なお、いずれの提示方向条件においても、頭部正中面に対して左右方向へ有意なずれは認められなかった(すべて $p<.05$)。

以上の結果から、目隠しをした視覚健常者の音源定位においては、頭部に対する音源の位置に依存して聴覚的エゴセンターの位置が異なり、頭部正中面に対して左右30°範囲では、その位置は両眼軸と頭部正中面の交点、すなわち視覚的エゴセンターの位置とほぼ一致するが、60°よりも後方では、両耳軸と頭部正中面の交点、すなわち頭部中心と一致することが分かった。

この結果は、視覚健常者の視野範囲における聴覚的エゴセンターの位置を調べた Neelon らの知見とも一致する⁶⁾。頭部正中面に対して左右30°の範囲は、視野に置き換えると、比較的空間解像度の高い視野中心部に相当する。視野中心部での視覚健常者の音源定位において、視覚的エゴセンターと聴覚的エゴセンターの位置がほぼ一致するという結果は、音源の位置表象の形成において、視空間座標を優位に機能させるか、あるいは、その利用の割合を増大させるといったメカニズムが存在することを示唆している。

3. 実験2

3.1 方法

被験者 聴力の正常な中途失明者13名(平均年齢:43.6歳, 平均視覚経験年数:20.5歳), ならびに先天盲者4名(平均年齢:32.5歳)。

刺激と装置, および手続き 実験1と同じであった。本実験では、聴空間定位において最も視覚の影響を受けると考えられた視野中心部、すなわち実験1で用いた標準刺激のうち、頭部正中面に対して左右30°においてのみ、各被験者群の聴覚的エゴセンターの位置を調べた。

3.2 結果と考察

図3の◆は、目隠しをした視覚健常群(実験1と同じ)、中途失明群、ならびに先天盲群の聴覚的エゴセンターの位置を表す。頭部正中面上の聴覚的エゴセンターの位置について、被

験者群 (3) の 1 要因分散分析を行った結果、被験者群の主効果は有意であった ($F(2, 21) = 6.42, p < .01$)。Ryan 法による多重比較の結果、視覚健常群と中途失明群の間に有意差は認められず ($p > .10$)、両被験者群の聴覚的エゴセンターの位置は、両眼軸とほぼ一致した。一方、先天盲群の聴覚的エゴセンターの位置と、視覚健常群および中途失明群との間には有意差が見られ (いずれも $p < .05$)、先天盲群のそれは両耳軸に近づくことが分かった。なお、いずれの被験者群とも、頭部正中面に対する左右方向への有意なずれは認められなかった (いずれも $p < .05$)。

以上の結果から、聴覚的エゴセンターは、現時点で視覚が機能しているか否かではなく、視覚経験を持つか否かによって、頭部正中面上の異なる位置に存在することが示された。視覚経験を通して獲得される視覚イメージを持たない先天盲者では、聴覚的エゴセンターが頭部中心に近い位置に推定されたことから、視覚の影響を受けない純粋な聴空間座標の原点は、頭部中心付近に位置すると考えられる。一方、視覚イメージを持つ視覚健常者および中途失明者では、視野中心部の音源を聴覚定位するとき、定位に際して視覚入力を得られない場合でも、視覚優位の聴空間座標が機能している可能性がある。

ここで、中途失明群の中には、生後 3 年未満で失明した被験者が 3 名含まれており、彼らの聴覚的エゴセンターは、視覚的エゴセンターとほぼ一致した。このことは、発達過程の初期段階において、視覚を優位に機能させる聴空間表象メカニズムが獲得されると、失明後の年数に限らず機能が続けることを示唆している。しかし一方では、成人後に失明した中途失明者 3 名の聴覚的エゴセンターの位置は、頭部中心とほぼ一致した。このことは、失明後の訓練や生活様式などによって、聴空間座標の原点の位置が頭部中心へと変調することを示唆しており、聴空間座標の形成過程には、発達の・学習的側面があると考えられる。

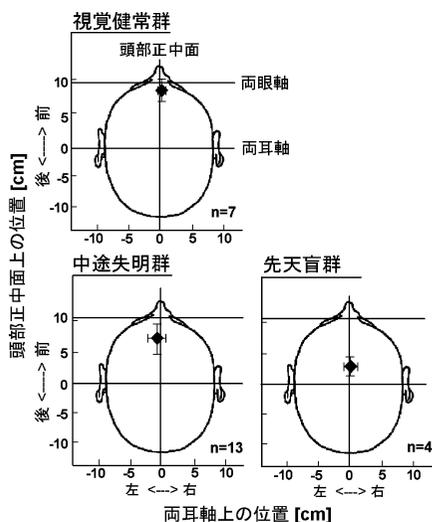


図 3 各被験者群における聴覚的エゴセンターの推定位置。

4. まとめ

本研究では、2 通りの実験によって、聴覚的エゴセンターの位置に及ぼす音源の位置の影響、ならびに視覚イメージの影響を検討した。その結果、以下の点が明らかとなった。

①目隠しをした視覚健常者の音源定位において、聴覚的エゴセンターは、音源の位置に依存して、頭部の異なる位置にシフトする：音源が視野中心部にある場合、聴覚的エゴセンターは視覚的エゴセンターとほぼ一致するが、視野辺縁部および視野外では、頭部中心とほぼ一致する。

②視野中心部での音源定位における聴覚的エゴセンターは、視覚イメージを持つか否かによって、頭部正中面上の異なる位置に存在する：視覚イメージを持つ被験者群の聴覚的エゴセンターは、視覚的エゴセンターとほぼ一致するが、視覚イメージを持たない場合は、頭部中心とほぼ一致する。

これらの結果は、出生後の空間定位行動における視聴覚相互作用を通して、聴空間座標が形成され、その過程において、自己の身体と音源との位置関係に応じて、視空間座標あるいは純粋な聴空間座標のどちらかを優位に機能させるといった聴空間表象メカニズムが獲得されるこ

とを示唆している。また、中途失明群の中には、生後間もなく失明したにもかかわらず、視覚優位の聴空間座標が機能していることを示す被験者がいたが、一方では、成人後に失明した被験者の中には、純粋な聴空間座標が機能していることを示す者も見られた。このことから、聴空間表象メカニズムは発達過程の早期に獲得されるが、その後の生育暦における訓練や経験を通して発達的に変化する可能性が示された。

我々の空間定位行動に立ち返ると、視力・聴力ともに機能が正常である場合、音源を視覚的に捉えるという行動は、日常的に頻繁に見られる行動パターンの一つである。視野中心部に音源が位置するとき、ほとんどの場合は、サッカーボール運動によって対象を中心窩に捉える。一方、視野辺縁部あるいは視野外に音源が位置するときには、まずその方向に頭部または身体を回転させ、その後、中心窩に対象を捉えるだろう。前者のような行動パターンにおいては、空間解像度の高い視空間座標を用いて音源の視覚的・聴覚的位置情報を表現することで、正確かつ効率的な空間把握が実現可能となるだろう。これに対して、後者のような行動パターンにおいては、音源の位置情報を、頭部あるいは身体の運動に利用する上での効率性が重要な問題となる。頭部中心は、頭部運動の回転軸と一致し、複数の感覚モダリティからの入力を統合する座標系の原点とも考えられる¹¹⁾。頭部中心(≡両耳軸中点)を原点とする聴空間座標は、聴覚的な空間表象メカニズムが、頭部や身体の運動と密接に相互作用していることを反映しているのかもしれない。身体と音源との位置関係に依存した聴空間座標の形成過程が、どのような発達を遂げるのかについては、さらなる検討が必要である。

謝辞 本研究の実施に際して、福岡県立福岡高等盲学校・福岡盲学校、福岡市立心身障害センター(あいあいセンター)、広島県立盲学校の教職員の皆様、福岡県立古賀養護学校 河邊秀美校長、ならびに福岡県と広島県在住の視覚

障害者の方々からのご協力をいただきました。また、九州大学 三浦佳世教授および河邊隆寛氏から、多大なご指導をいただきました。これらの方々にお礼申し上げます。

文 献

- 1) A. Pouget, J. C. Ducom, J. Torri and D. Bavelier: Multisensory spatial representations in eye-centered coordinates for reaching. *Cognition*, **83**, B1–B11, 2002.
- 2) J. Lewald and W. H. Ehrenstein: The effect of eye position on auditory lateralization. *Experimental Brain Research*, **108**, 473–485, 1996.
- 3) R. Barbeito and H. Ono: Four methods of locating the egocenter: a comparison of their predictive validities and reliabilities. *Behavioral Research Methods and Instrument*, **11**, 31–36, 1979.
- 4) 西田佐希子, 齊藤崇子, 中溝幸夫: 視覚的エゴセンターの位置. *VISION*, **13**, 37–39, 2001.
- 5) P. H. Cox: An initial investigation of the auditory egocenter: evidence for a “cyclopean ear.” PhD thesis, North Carolina State University, 1999.
- 6) M. F. Neelon, D. S. Brungart and B. D. Simpson: The isoazimuthal perception of sounds across distance: A preliminary investigation into the location of the audio egocenter. *Journal of Neuroscience*, **24**, 7640–7647, 2004.
- 7) N. Lessard, M. Pare, F. Lepore and M. Lassonde: Early-blind human subjects localize sound sources better than sighted subjects. *Nature*, **195**, 278–280, 1998.
- 8) I. Howard and W. Templeton: Human spatial orientation, Chap 11. Wiley, London, 1966.
- 9) 助宮 治, 黒木大一郎, 中溝幸夫: 音源定位における聴覚的エゴセンターの位置の推定. *電子情報通信学会技術報告*, **104** (526), 1–6, 2004.
- 10) 助宮 治, 中溝幸夫, 三浦佳世: 音源定位における聴覚的エゴセンターの位置の推定Ⅱ. *電子情報通信学会技術報告*, **105** (165), 65–70, 2005.
- 11) J. King and R. A. Andersen: Models of the posterior parietal cortex which perform multimodal integration and represent space in several coordinate frames. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **12**, 601–614, 2000.