



上下ベクション知覚時の正中面音像定位

崔正烈¹⁾, 寺本渉²⁾, 坂本修一¹⁾, 鈴木陽一¹⁾

1) 東京大学 電気通信研究所 (〒 980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1, sai@ais.riec.tohoku.ac.jp)

2) 熊本大学 文学部 (〒 860-8555 熊本市中央区黒髪 2-40-1, teramoto@kumamoto-u.ac.jp)

概要: 我々の先行研究では、自己身体軸を基準とした場合の上下方向のベクションの有無および加速度感覚が正中面の音像定位に及ぼす影響を調べた。音像定位の脳内表現には、自己中心座標系と環境中心座標系の 2 通りがあり、どちらの表現を用いるかで異なる音像定位が行われる可能性がある。本研究では、環境中心座標系において先行研究と同様の課題を実施し、空間表象の参照枠による違いを検討した。実験の結果、ベクション知覚時には音像を自己運動方向とは反対側に定位することが分かった。

キーワード: ベクション, 自己運動, 音像, 音像定位

1. はじめに

音が左右の耳に到達するまでの時間差や音圧レベル差、頭部伝達関数に起因するスペクトルキューなどといった聴覚的手がかりは、自己運動によって変化する。自己運動の知覚は、前庭感覚や体性感覚、視覚など複数の感覚系がかかわっているが、そのうち視覚系は速度と加速度の両方の情報を取得できることから、前庭系を補う働きも有すると思われる。このような観点から、視覚刺激の提示によって生じる自己運動感覚(ベクション)が音空間知覚に及ぼす影響について、従来から多くの研究がなされてきた [1-2]。

しかし、従来研究のほとんどは等速運動を伴う場合であり、加速運動を知覚する場合の音像定位の様相については不明なところが多い。Teramoto ら [3] は、加速ベクションを知覚する場合の音像定位について調べたが、自己運動の方向が前進若しくは後退の場合に限定しており、上下方向についての検討はなされていない。上下方向の音像定位は、前進若しくは水平面方向とは知覚現象の様相が異なる可能性がある。また、我々は日常重力加速度のある状態で生活しており、エレベータに乗って上下移動をするなど、日常上下運動を伴いながら音を聞く場合が多々ある。

我々は、先行研究 [4] において上下方向のベクション感覚と音空間知覚との関係について調べ、上下方向においてはベクション知覚が音像定位に影響を及ぼさないことを報告した。しかし、先行研究で用いた音像定位の課題は、音像が自分自身を基準としてどこにあるかを示させる自己中心の作業課題であった。従来、空間対象の脳内表現には、自己身体軸を基準とする表現と、空間内の対象を基準とする表現の 2 通りがあるとされており、どちらの表現を用いるかで異なる空間定位が行われる可能性がある。そこで本研究では、環境中心座標系において先行研究と同様の課題を実施し、空間表象の参照枠による違いを検討した。

2. 実験内容

2.1 実験環境

実験環境を図 1 に示す。被験者は、シールド室内のイスに座り、正面に設置された 120 インチの大型音響透過スクリーン(キクチ科学: Stewart サウンドスクリーン)を観察した。スクリーンには、プロジェクタ(PDG-DHT100JL: SANYO)を通してランダム・ドット・パターンを提示した。被験者とスクリーンとの距離は 140 cm、目の高さは 140 cm に設定した。1 つのドットサイズは 0.5×0.5 deg の緑 (65 cd/m^2) であり、密度は 20% であった。ランダムドットを提示する領域は 114×87 deg であった。

スクリーンの背後には、被験者の正中面に 7 個のスピーカを垂直方向に並べて取り付けた。スピーカは、直径 3 cm のソフトエッジタイプのユニット(ホシデン, 7N101)を円筒形のプラスチックケースに取り付けたものであり、被験者の目の高さの位置を基準として、上下 0 (目の高さの位置), ± 2 , ± 4 , ± 6 deg に設置した(+は上方向, -は下方向を指す)。音刺激は、持続時間 200 ms のホワイトノイズを音圧レベル 50 ± 1 dB で提示した。

2.2 実験手順

被験者は、視力、聴力ともに正常な大学生及び大学院生 10 名であった。ドットは、下方向へ 10 cm/s の等速度で移動させた。実験は、目の高さの位置に設置した赤色の十字の注視点のみの提示条件(NoImage)、ベクションが生じない条件(NoVection)、等速ベクション条件(Constant)と加速ベクション条件(Acceleration)の計 4 つの視覚条件を設けた。NoVection 条件は、ドットを 1 s 間のみ提示した。

ターゲット音の提示タイミングは以下の通りであった。NoImage 条件では、被験者がジョイスティックのボタンをクリックして 1 s 後に、ランダムに任意のひとつのスピーカから提示した。NoVection 条件では、視覚刺激を 1 s 間提示した後、Constant 条件では、被験者がジョイスティックをクリックしてベクション状態に入ったことを報告するまで

Zhenglie CUI, Wataru TERAMOTO, Shuichi SAKAMOTO, Yôiti SUZUKI

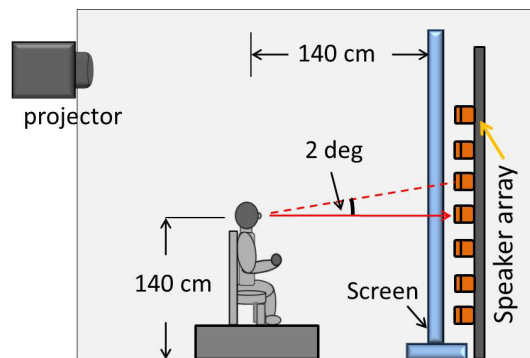


図 1: 実験環境

ドットを提示し続け、その 1 s 後に提示した。Acceleration 条件では、10 cm/s の等速でベクション状態に入った後、更に 3 cm/s^2 の加速度で加速させ、最高速度 30 cm/s に達した 1 s 後に提示した。ターゲット音を提示して 1 s 後、視座点以外のすべての視覚刺激の表示をなくし、更に 4 s 後、音源位置 0 deg に設置したスピーカから基準音として同じホワイトノイズを 200 ms 間提示した。基準音は、視覚刺激提示後の残像効果をなくすために 4 s の時間間隔を設けた。

作業課題は、ターゲット音が後続の基準音と比べて上下どちらの方向から聞こえたかを答える二肢強制選択であった。回答は、ジョイスティックの前後ボタンをクリックして行った。1 試行は各スピーカの位置で 10 回ずつ、全部で 70 回 (スピーカ 7 個 \times 10 回) 行った。各視覚条件の試行順番は、NoImage 条件を最初に行い、その次に NoVection, Constant, Acceleration の順番で行った。

3. 結果と考察

音が基準音より「上」と回答した割合を計算し、最尤法を用いて近似した心理測定関数を求めた。その上で、主観的等価点 (PSE) と、確率が 0.75 となる丁度可知差異 (JND) を算出した。被験者全員の平均心理測定関数を、図 2 に示す。

PSE と JND それぞれについて、4 つの視覚条件を被験者内要因として、1 要因の分散分析を行った。分析の結果、PSE の場合、視覚条件の主効果 ($F(3, 27) = 10.5, p < .05$) に有意差が認められた。多重比較の結果、各視覚条件間に有意差は認められなかった。JND の場合は、視覚条件の主効果に有意差が認められなかった。

多重比較の結果に有意差が認められなかったが、視覚条件の主効果に有意差が見られたこと、また、2 つのベクション条件における PSE 値が NoImage 及び NoVection 条件と比べて小さいことから、全体としてはベクション知覚時に音像定位が変移すると言える。図 2 から、2 つのベクション条件の心理曲線が全体的に上方向へシフトしており、音像がベクション方向とは反対方向へシフトして定位されていることが見て取れる。

先行研究 [4] では、自己身体軸を基準とした場合の上下方向のベクション感覚が正中面の音像定位に及ぼす影響を調べた。その結果、垂直方向においては音像定位の精度が悪

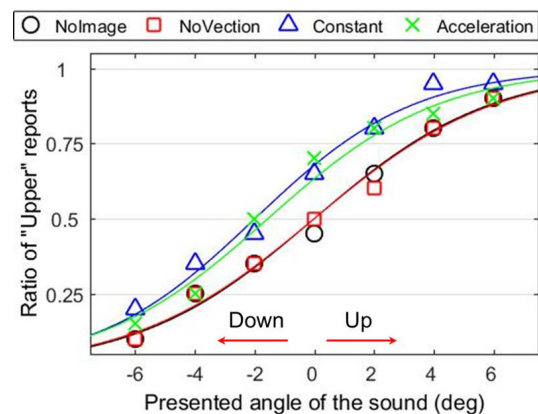


図 2: 実験結果

く、個人間の定位誤差が大きいため、ベクション知覚による音像定位の変移が生じなかったと考察した。自己中心座標系において音像定位精度が低下する理由として、自己運動時に生じる座標系の更新負荷の影響が考えられる。自己運動時は、自己身体軸が刻々と変化するため、音像定位を行う度に自己の身体を基準とした座標系上に物体 (音像) を配置しなおす必要がある。一方、環境中心座標系では、自己中心座標系で見られる座標軸不同による「負荷」は生じず、音像定位の精度が比較的高かったと考えられる。

本研究において、音像定位が自己運動方向の反対側にシフトする理由として、空間知覚における衝突回避の予測機能が影響した可能性が考えられる。Teramoto らは、直線加速度運動の場合、進行方向側の音空間が圧縮して脳内に表現され、そのため前方の音源を真横と知覚したと報告した [5]。本研究においても、音像をベクション方向とは反対側にシフトして定位した。上昇運動を知覚する場合に、対象物の位置を本来の位置より自己の近くに定位することで、衝突回避準備時間を設けることができるとも考えられる。これらについては、頭部の上下両側の音源位置も含め詳細に調べる必要があり、今後の課題としたい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17K00263 の助成による。

参考文献

- [1] H. Wallach, The role of head movements and vestibular and visual cues in sound localization, *Journal Exp Psychol*, 27, 339-368, 1940.
- [2] 崔正烈他, ベクションが頭部前後における水平方向の音像定位に及ぼす影響, *ヒューマンインタフェース学会誌*, 14(2), 41-48, 2012.
- [3] W. Teramoto et al., Distortion of auditory space during visually induced self-motion in depth, *Frontiers in Psychology*, 5(848), 1-7, 2014.
- [4] 崔正烈他, 上下方向のベクションが正中面音像定位に及ぼす影響, *日本バーチャルリアリティ学会第 20 回大会論文集*, 306-307, 2015.
- [5] W. Teramoto et al., Compression of Auditory Space during Forward Self-Motion, *PLoS ONE*, 7(6), 2012.