

## モノラル音像定位における頭部運動の効果\*

○ 平原達也, 渡辺 亮, 森川大輔 (富山県立大学)

### 1 はじめに

両耳で広帯域音を聴く場合、両耳間時間差 (ITD: interaural time difference) と両耳間レベル差 (ILD: interaural level difference) という両耳手がかりと、耳介の凹凸の反射によって約 6 kHz 以上の高域に生じるスペクトルの特徴 (SC: spectral cue) という単耳手がかりが音像位置の「計算」に利用できる。そして、頭部を動かすと、それらの時間変化である  $\Delta$ ITD,  $\Delta$ ILD,  $\Delta$ SC も音像位置を計算する手がかりとなる。事実、両耳受聴時の頭部旋回運動は音像の頭内定位と前後定位誤りを減じ、頭部運動条件の音像定位正答率は頭部静止条件のものよりも高くなる。

一方、単耳で広帯域音を聴く場合、ITD は不定、ILD は異常に大きな値となり音像位置の「計算」に利用できず、開放耳側の SC だけが音像位置を「計算」する手がかりとなる[1,2]。単耳受聴時に頭部を動かしながら広帯域音を聴くと、頭部運動によって生じる  $\Delta$ SC は音像の動きをもたらす、頭部旋回運動は音像定位に資さない。しかし、 $\Delta$ ITD あるいは  $\Delta$ ILD がわずかでも利用できれば、単耳受聴時においても両耳受聴時と同様に頭部旋回運動は音像定位に資すると考えられる。

本稿では、このことを確かめるために、健聴者が片耳を耳栓で塞いだ単耳受聴条件で広帯域雑音の水平面音像定位実験を、二種類の刺激音圧レベルで行った結果について述べる。

## 2 方法

### 2.1 音像定位実験装置と刺激音

PC 上で生成した刺激音信号を D/A 変換器 (RME, Fireface UFX) から出力し、パワーアンプ (Onkyo, CR-N755) で電力増幅し、半径 1 m の水平面円周上に 30° 間隔で 12 方向に設置したラウドスピーカ (Vifa, MG10SD-09-08) を駆動した。サンプリング周波数は 48 kHz である。

刺激音は立ち上がり立ち下がりに 30 ms の線形テーパをかけた持続時間 3 s の白色雑音

で、ISI は 3 s とした。また、刺激音の A 特性補正音圧レベル ( $L_A$ ) は、スピーカアレイの中心で 40 dB あるいは 70 dB とした。

$L_A$  が 40 dB の刺激音の 400 Hz~7 kHz のスペクトル成分のレベルは最小可聴閾値より上にあり、 $L_A$  が 70 dB の刺激音のスペクトル成分のレベルは耳栓装着時の最小可聴閾値より下にある。また、実験室内には低レベルのハムノイズがあるが、ノイズフロアレベルは最小可聴閾値以下である。

### 2.2 実験手順

まず、受聴者の両耳に耳栓 (Moldex, Pura-fit) を装着する。この耳栓の遮音量は 100 Hz ~ 20 kHz で 35~50 dB である<sup>[3]</sup>。次に、受聴者をスピーカアレイの中心に置いた椅子に座らせ、閉塞する側の耳の真横のラウドスピーカから  $L_A$  が 40 dB の刺激音を呈示する。そして、なにも聴こえないことを確認したうえで、開放する側の耳から耳栓を取り外す。この手順をふむことにより、 $L_A$  が 40 dB の刺激音に対しては単耳受聴条件であること、即ち、閉塞耳では刺激音が聴こえていないことを担保する。

耳栓で片耳を閉塞した受聴者は、眼を閉じてスピーカアレイの一つから呈示された刺激音を聴き、音像を定位した。頭部静止条件では刺激音呈示時に頭部を動かさず、頭部運動条件では刺激音呈示時に頭部を自由に回旋させた。回答する定位方位は 12 方向の強制選択とした。

1 セッションでは、12 方向のラウドスピーカから 5 回ずつ刺激音をランダムに呈示した。各受聴者は 4 セッションの実験を行った。受聴者は 20 歳代の健聴な男性 6 名で、全員が両耳による頭部静止・運動条件の音像定位実験を単耳受聴条件での音像定位実験の前に行っている。なお、 $L_A$  が 40 dB の頭部運動条件の受聴者は、健聴な男性 2 名である。

## 3 結果

### 3.1 頭部静止条件

$L_A$  が 40 dB の刺激音に対する音像定位結果を Fig. 1 に示す。開放耳側半面から呈示した刺

\* Effect of head rotation on monaural sound image localization,  
by HIRAHARA Tatsuya, WATANABE Ryo, MORIKAWA Daisuke (Toyama Prefectural Univ.)

激音はほぼ刺激音の呈示に定位されたが、閉塞耳側半面から呈示した刺激音はほとんどが開放側半面に定位された。

$L_A$  が 70 dB の刺激音に対する音像定位結果を Fig. 2 に示す。片耳に耳栓を装着しているにもかかわらず、刺激音の音像の多くは刺激音の呈示方位に定位された。音像定位正答率（対角線上に回答した割合）は左耳開放時に 64%、右耳開放時に 78%であった。

### 3.2 頭部運動条件

$L_A$  が 40 dB の刺激音の音像は頭部回旋に伴って動き、定位しなかった。頭部回旋によって刺激音の呈示方位が閉塞耳半面と開放耳半面の間を移る場合に頭部回旋に伴う音像の移動角度は大きく、刺激音の呈示方位が閉塞耳半面あるいは開放耳半面内にとどまる場合は、頭部回旋に伴う音像の移動角度は小さかった (Fig. 3)。また、これらの音像の移動角度は受聴者によって違いが大きかった。

$L_A$  が 70 dB の刺激音の音像のほとんどは刺激音の呈示方位に定位されたが、左耳開放時には閉塞した右耳後方の 90, 120, 150°、右耳開放時には閉塞した左耳後方の 210, 240, 270° から呈示された刺激音の音像は頭部回旋に伴って動き、定位しなかった (Fig. 4)。音像定位正答率は左耳開放時に 75%、右耳開放時に 86% で、頭部静止条件よりも有意に高かった。

## 4 まとめ

$L_A$  が 40 dB の刺激音に対するモノラル音像定位実験の結果は、両耳手がかりが利用できない状況において、脳は SC を手がかりとして音像位置を「計算」していることを再確認する。

$L_A$  が 70 dB の刺激音スペクトルは、耳栓装着時の最小可聴閾値以下の音圧レベルでラウドネスの知覚を生じない。しかし、それらが両耳手がかり系を活性化し ITD が「計算」されたと考えられる。その結果、頭部運動条件では  $\Delta$ ITD も利用でき「動けよ、**されば**定位されん」が成立したといえる。

また、頭部運動条件で閉塞耳の斜め後方から呈示した刺激音が頭部運動に伴って動くという結果は、この方位角の刺激音に対しては SC しか利用できないことを示す。恐らく、閉塞耳への入力音圧レベルが低くなり、ITD が「計算」されなくなったからであろう。

この仮説の検証は今後の課題である。

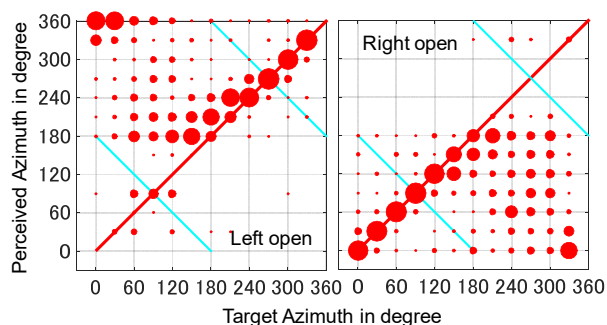


Fig.1  $L_A$ :40 dB、頭部静止条件のモノラル音像定位

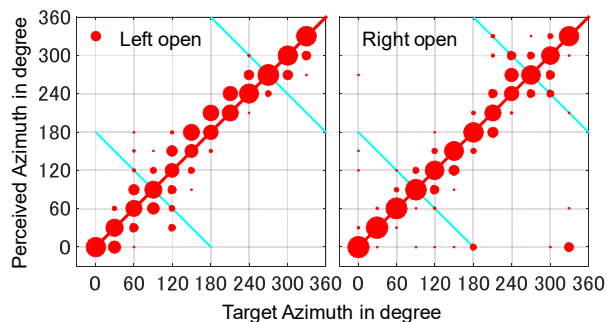


Fig.2  $L_A$ :70 dB、頭部静止条件のモノラル音像定位

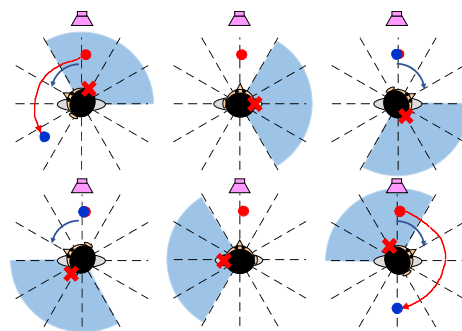


Fig.3  $L_A$ :40 dB、頭部運動条件での音像の動きの例。頭部を正面を向けると赤丸の位置に定位した音像は頭部を左右 60° まで回すと青丸の位置まで動いた。

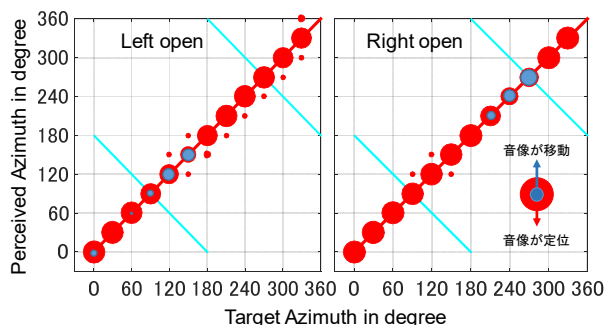


Fig.4  $L_A$ :70 dB、頭部運動条件のモノラル音像定位

謝辞 本研究は科研費 (17K00244) による。

### 参考文献

- [1] F. Wightman, D. Kistler, "Monaural sound localization revisited," JASA 101(2), 1050-1063, 1997.
- [2] 小島, 平原, "モノラル水平面音像定位," 応用音響研究会技術報告 155(359), 31-36, 2015.
- [3] 平原, 小島, "耳栓の遮音量の測定方法," 音講論 585-588, 2014.09.