

刺激音の音圧レベルが片耳遮音時の 音像定位に及ぼす影響

高井沙綾¹ 森川大輔¹ モクタリパーハム¹ 平原達也¹

概要：片耳遮音時に頭部運動を伴う水平面音像定位実験を行うと、頭部運動に伴って音像が動いて定位されない場合と定位される場合がある。これは、耳栓の装着によって、定位されない場合には単耳受聴状態に、定位される場合には両耳間時間差が検出可能な半両耳受聴状態となっているからと推測される。そこで、刺激音の音圧レベルを変えて片耳に耳栓を装着した健聴者による水平面音像定位実験を行った。

Effect of stimulus sound pressure level on sound localization with one ear plugged

SAAYA TAKAI^{†1} DAISUKE MORIKAWA^{†1}
PARHAM MOKHTARI^{†1} TATSUYA HIRAHARA^{†1}

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), 耳介の凹凸の反射によって生じるスペクトルの手特徴 (SC: spectral cue) の手がかりによって脳は音像位置を計算している。そして、頭部を動かしながら音を聴くと、それらの時間変化である Δ ITD と Δ ILD, Δ SC も手がかりとして利用できるために、頭部を静止して音を聴く場合よりも音像の定位誤りは減少する[1]。

片耳を耳栓で塞いだ受聴者は、耳栓装着時の最小可聴閾値よりも音圧レベルが低い刺激音に対して、塞いでいる耳への入力がないため単耳受聴状態となる。そして、ITD と ILD を利用できない脳は、単耳特徴である SC だけを手がかりにして音像位置を計算することになる。その結果、頭部を静止して受聴すると音像は全て耳栓を装着していない耳側に定位され、頭部を動かして受聴すると頭部運動に伴って音像が動き、定位しない[2]。

一方、耳栓装着時の最小可聴閾値よりも音圧レベルが高い刺激音に対しては、片耳を耳栓で塞いだ受聴者は頭部静止時において音像が耳栓装着側に定位し、頭部運動時においても音像が定位する場合がある[2]。これは、ILD は異常に大きな値だが、耳栓を装着した側の耳にも入力があるために ITD が計算され、それを音像定位の手がかりとして利用できる半両耳受聴状態となっているからと推測される。

本稿では、この仮説を検証するために、片耳に耳栓を装着した健聴者による頭部静止条件と頭部運動条件での水平面音像定位実験を、刺激音の音圧レベルを変えて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で刺激音を作成して、D/A変換器 (RME, Fireface UFX) とパワーアンプ (Onkyo, CR-N755) を介してラウドスピーカ (Anthony Gallo, Micro Satellite) から出力した。サンプリング周波数は 48 kHz である。ラウドスピーカは高さが 1.1 m で、半径 1 m の水平面円周上に 30° 間隔で 12 方向に設置した。また、受聴者の頭頂部には磁気モーションセンサを装着し、リアルタイムで頭部回転角度を取得した (Fig.1)。

刺激音は立ち上がりとしち下がり 3 ms の線形テーパーをかけた持続時間 3 s の広帯域雑音 (200 Hz~ 20 kHz) である。また、刺激音の L_A はスピーカアレイの中心で 40 dB, 50 dB, 60 dB, 70 dB とした。

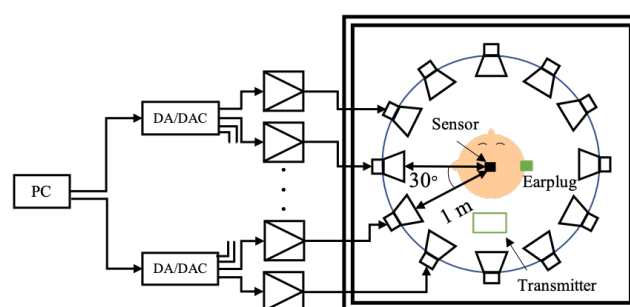


Fig. 1 音像定位実験装置

2.2 実験手順

実験は 4 種類の L_A でそれぞれ、右耳開放時の頭部右回転、左回転と左耳開放時の頭部右回転、左回転の 4 条件で行った。

まず受聴者はスピーカアレイの中心に座り、耳栓 (Moldex, Pura-fit) を両耳に装着する。この耳栓の遮音量は 100 Hz~ 20 kHz で 35~ 50 dB である[3]。次に耳の真横のラ

¹ 富山県立大学
Toyama Prefectural University

ウドスピーカから L_A が 40 dB の刺激音を呈示する。受聴者には全く聴こえていないことを確認したうえで、片耳の耳栓を外す。

次に、片耳に耳栓を装着した状態の受聴者は、(1) 正面を向き静止した状態で刺激音を受聴し、音像位置を確認する。(2) 右または左に 60° 頭部を回転させて静止して刺激音を受聴し、音像位置を確認する。(3) 正面から右または左に 60° 頭部をゆっくり動かしながら刺激音を受聴し、口頭で音像が定位したかどうかを回答する。(1)~(3) を 12 方向のラウドスピーカでランダムな順序で一回ずつ行う。受聴者は、20 歳代の健聴な女性 1 名と男性 4 名である。

3. 結果

刺激音の L_A 、閉塞耳、および頭部回転方向別に描いた、刺激音の呈示方位毎の頭部運動に伴って音像が大きく動いたと回答した割合を Fig. 2 に示す。音像が大きく動いたとは、音像の移動角度が握りこぶし 1 つより大きな幅である。

L_A が 40 dB の場合、頭部を開放耳側へ回転する条件では、閉塞耳半面から呈示した刺激音は頭部運動に伴って音像が動いた。一方、頭部を閉塞耳側へ回転する条件では、受聴者の前半面からの刺激音の音像は動いた。 L_A が 50 dB の場合、頭部を開放耳側へ回転する条件では、 L_A が 40 dB の場合と音源方向 θ は概ね同じだが、音像が大きく動いたと回答した割合 P はわずかに減少した。 L_A が 60 dB の場合、頭部を開放耳側へ回転する条件では、閉塞耳真横と斜め後方の P が高かった。一方、頭部を閉塞耳側へ回転する条件では、閉塞耳の斜め後方の P が高かった。 L_A が 70 dB の場合、頭部回転方向によらず、音像が大きく動いたのは閉塞耳の斜め後方から呈示した刺激音であった。

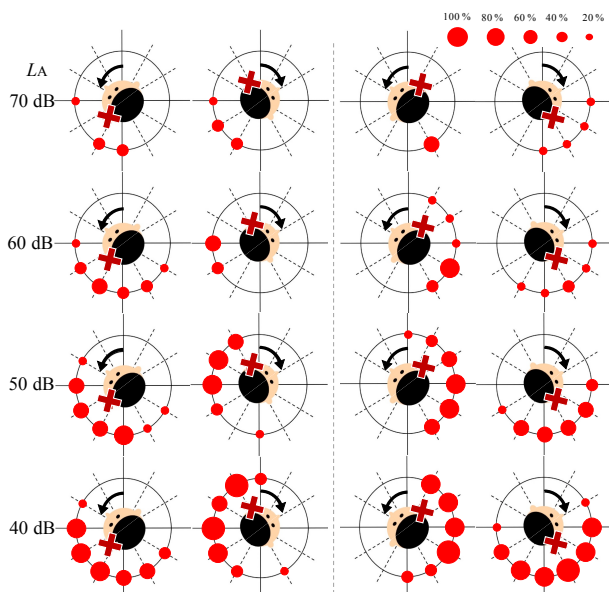


Fig. 2 刺激音の音圧レベル、閉塞耳、および頭部回転方向別に描いた、刺激音の呈示方位毎の頭部運動に伴って音像が動いた割合

4. 考察

L_A が 40 dB の場合、 P が大きな値をとる θ は、開放耳が音源から遠ざかる場合の方位である。このとき受聴者は単耳受聴状態で、開放耳の SC だけが音像方位を計算する手がかりである。そのため頭部回転に伴う頭部伝達関数、つまり SC の変化によって音像位置の計算結果が変化するために、動く音像を知覚すると考えられる。

L_A が 70 dB の場合、 P が大きな値となる θ は、頭部を回転した状態の頭部の閉塞耳側方とその斜め後方であり、これらの θ に対する対側耳側の頭部伝達関数のゲインは低い。 L_A が 70 dB の刺激音のスペクトルレベル L_p は 40 dB 程度であり、頭部伝達関数を考慮すると、それは耳栓装着時の最小可聴閾値を下回る。したがって、斜め後方の θ に対しては単耳受聴状態とみなせる。他の θ については、頭部伝達関数のゲインがあるので、刺激音のスペクトルレベルが耳栓装着時の最小可聴閾値を上回る帯域がある。その方位に対しては、ILD は異常に大きい ITD は計算可能な半両耳受聴状態にあると考えられる。

L_A が高くなるにつれて、 P が大きな値となる θ の範囲が狭くなるという結果からも、刺激音の L_A が高くなると半両耳受聴状態となる刺激音方位 θ が増えていると考えられる。

5. まとめ

本稿では、片耳に耳栓を装着した健聴者による頭部静止条件と頭部運動条件での水平面音像定位実験を、刺激音の L_A を変えて行った。その結果、刺激音の L_A が 40 dB では、閉塞耳側方とその周辺の方位 θ で、頭部運動に伴って音像が大きく動いた。そして、 L_A が増加するにつれて θ の範囲は狭くなり、 L_A が 70 dB では閉塞耳側方とその斜め後方の θ だけで頭部運動に伴って音像が大きく動いた。これは、頭部伝達関数の影響により、刺激音の L_A が高くなると、ITD が計算可能な半両耳受聴状態になる刺激音方位 θ が増えたためであることが示唆された。

各受聴者の頭部伝達関数と実験結果との関係の対応を確認することが今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は科研費 (20K19828) の支援を受けた。

参考文献

- [1] 平原達也, 他, “音と人間,” (コロナ社, 東京, 2013), pp.176-189.
- [2] 平原, 渡辺, “モノラル音像定位における頭部運動の効果,” 音講論, 739-740, 2019.3.
- [3] 平原, 小島, “耳栓の遮音量の測定方法,” 音講論 585-588, 2014.09.