

被験者の聴感度が水平面音像定位精度に及ぼす影響*

森川大輔, 平原達也 (富山県立大学 工学部)

1 はじめに

近年、音響再生技術の向上によって3次元音像呈示が比較的容易になり、3次元音像の知覚特性について多くの研究がなされている。これまでの研究から両耳間時間差、両耳間音圧差、両耳間スペクトル差、そしてそれらを含んだ頭部伝達関数(HRTF)が音像定位に大きく寄与していることが知られている^[1]。また、音像定位の弁別限^[1]や、周波数帯域によって定位しやすい方向が異なること^[1,2]、ある周波数帯域だけの刺激音では音像定位が十分に出来ないこと^[3]などが明らかになっている。しかし、被験者の聴感度と音像定位精度の関係については調べられていない。そこで、本報告では被験者の聴感度を把握した上で高域/低域通過雑音を用いた実音源による水平面音像定位実験を行い、聴感度が水平面音像定位精度に及ぼす影響を明らかにする。

2 被験者

被験者は20歳代8名、30歳代1名、40歳代2名、50歳代3名の計14名(男性9名、女性5名)である。すべての被験者について125 Hz ~ 18 kHzの10周波数で、左右の耳それぞれの聴感度特性を測定した^[4]。なお、測定は暗騒音レベル16.5 dBAの防音室内でヘッドフォン(HDA200, Sennheiser)^[5]を用いて行った。Fig. 1に被験者14名の聴感度特性の平均値と標準偏差を示す。同図から、聴感度は高域(4 kHz以上)で個人差が大きく、低域での個人差は小さいことがわかる。

3 水平面音像定位実験

白色雑音、白色雑音に遮断周波数(f_c) = 2, 4, 8, 12, 16 kHzのハイパスフィルタを通した高域通過雑音(HPN)および f_c = 8, 4, 2, 1, 0.5 kHzのローパスフィルタを通した低域通過雑音(LPN)の計11種類の刺激音を水平面12方向のスピーカー(Vifa, MG10SD-09-08)で再生し、音像定位実験を行った。スピーカ

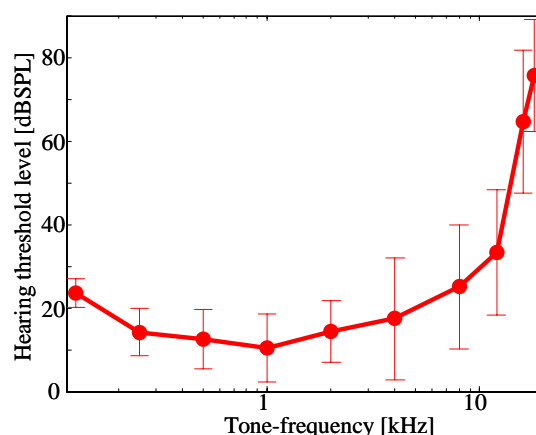


Fig. 1 被験者の聴感度特性の平均値

ーは高さ1.1 mで、半径1 mの水平面円周上に30°間隔で配置し、被験者は中心に置いた椅子に座り実耳で受聴した。12方向のスピーカーから5回ずつ計60回の刺激音をランダムに呈示する実験を1セッションとし、1被験者は各種類の刺激音について4セッションの実験を行った。被験者には刺激音の呈示中は目を閉じ、正面を向いて頭部を静止させ、刺激音の呈示後に回答するよう指示した。

実験は壁と天井に吸音材を貼り付け、床にフロアカーペットを敷き詰めた実験室で行った。暗騒音レベルは53 dBAであった。

4 実験結果

Fig. 2に被験者14名の各刺激音の定位正解率の平均と標準偏差を示す。赤線がHPN、青線がLPNの結果である。

HPNの定位正答率は、 f_c = 8 kHz以下の場合に85%以上であり、 f_c = 12 kHzで60%に低下し、 f_c = 16 kHzでは30%以下まで大きく低下した。また、高域の聴感度は被験者間で大きく異なっているにも関わらず、4 kHz以上の周波数成分があれば全ての被験者が十分に音像定位できることがわかる。LPNの定位正答率は、 f_c = 2 kHz以下の場合に85%以上であり、 f_c が低くなるにつれて定位正答率は緩やかに低下した。

* Effect of subjects' hearing threshold on horizontal sound localization performance, by MORIKAWA, Daisuke, HIRAHARA, Tatsuya (Toyama Prefectural University).

5 聴感度と水平面音像定位精度の関係

聴感度と水平面音像定位精度の関係を明らかにするために、測定した聴感度と水平面音像定位精度の比較を行った。Fig. 3に16 kHz、500 Hzの聴感度とHPN16kHz、LPN500Hzの音像定位正答率の関係を示す。16 kHzの聴感度(閾値)とHPN16kHzの音像定位正答率の相関係数は-0.93で、無相関検定の結果は有意($p < 0.001$)であった。一方、500 Hzの聴感度とLPN500Hzの音像定位正答率の相関係数は-0.28で、無相関検定の結果は有意ではなかった($p > 0.05$)。相関係数が負となっているのは、閾値と正答率の間の相関のためである。

各聴感度と各刺激音の組み合わせについて無相関検定を行ったところ、一般的傾向として、高域の聴感度とHPNの定位正答率の相関は高く、低域の聴感度とLPNの定位正答率の相関は無かった。

6 考察

HPNの場合、 f_c が高くなり帯域が狭くなるにつれて定位が難しくなった。これは両耳間時間差(ITD)の計算に必要な低周波成分が少なくなり、高域のHRTFスペクトルの左右差に起因する両耳間音圧差(ILD)も利用できなくなるからである。また、刺激音の感覚レベル(SL)が20 dB以下では音像定位が困難になる^[6]。HPN16kHzのSLは0~30 dBであり、低SLのために定位正答率が低下したとも考えられる。

LPNの場合も、 f_c が低くなり帯域が狭くなるにつれて定位が難しくなった。しかし、LPN500Hzの定位正答率はHPN16kHzの定位正答率に比べはるかに高かった。これは、低周波成分から算出されるITDとILDを定位に利用できるからである。なお、LPN500HzのSLは25~45 dBで低SL故の定位精度低下は無いと考えられる。

7 まとめ

被験者の聴感度を把握した上で、実音源を用いた水平面音像定位実験を行い、聴感度と水平面音像定位精度の比較を行った。その結果、HPNでは12 kHz以上、LPNでは1 kHz以下の成分だけでは水平面音像定位正答率は85%以下になった。また、高域の聴感度は個人差が大きい、4 kHz以上の周波数成分があれば全ての被験者で十分に音像定位が可能

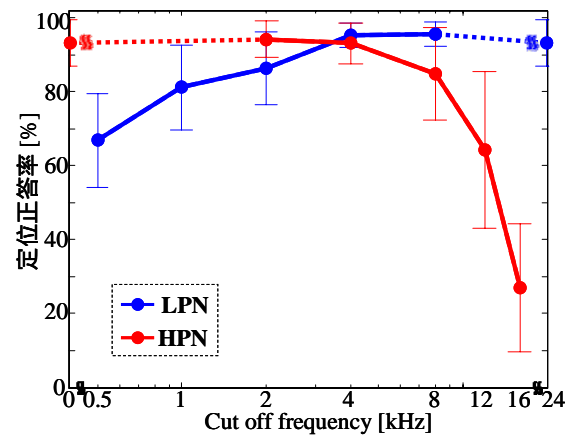


Fig. 2 高域/低域通過雑音の平均定位正答率と標準偏差

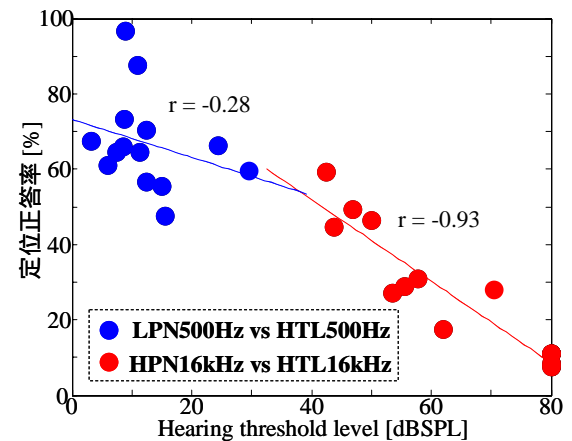


Fig. 3 聴感度(閾値)と水平面定位正答率の関係

であった。また、高域の聴感度が低いと高周波数成分だけを含む刺激音での水平面音像定位正答率は低くなるが、低域の聴感度が低くても低周波成分だけを含む刺激音での水平面音像定位正答率は低くならなかった。

参考文献

- [1] ブラウエルト 他, “空間音響,” 鹿島出版会, 東京, pp.54-126, 1986.
- [2] 近藤 他, “再生周波数帯域が音像定位処理に及ぼす影響に関する一考察,” 1996 信学総大, 284, 1996.
- [3] 中林 克己, “水平面内における方向定位,” 音響誌, 30(3), 151-160, 1974.
- [4] 森川 他, “水平面音像定位に必要な周波数帯域と聴感度特性の関係,” 信学技報, EA2009-70, 83-88, 2009.
- [5] 平原達也, “聴覚実験に用いられるヘッドホンの物理特性,” 音響誌 53(10), 798-806, 1997.
- [6] Inoue Jinro, “Effects of Stimulus Intensity on Sound Localization in the Horizontal and Upper-hemispheric Median Plane,” J UOEH, 23(2), 127-138, 2001.