

水平面音像定位に必要な周波数帯域*

◎森川大輔, 島倉希, 平原達也 (富山県立大・工)

1 はじめに

現在、ステレオフォニック方式やバイノーラル方式、サラウンド方式等の再生方式によって、音像の3次元呈示が可能になっている。

このような3次元音像の知覚特性については多くの研究がなされており、音像定位に頭部伝達関数の両耳間時間差と両耳間音圧差が大きく寄与していることや、音像定位の弁別限が明らかになっている^[1]。また、1 oct. の帯域雑音では水平面の定位が完全にはできないこと^[2]や、周波数帯域によって定位しやすい方向が異なること^[1,3]が明らかになっている。高域成分は水平面・正中面定位にあまり寄与しないという報告もある^[4]。しかし、3次元音像の定位に必要な周波数帯域は明らかになっていない。そこで、本報告では帯域制限した刺激音を用いた実音源による水平面音像定位実験を行い、3次元音像の定位に必要な周波数帯域を明らかにする。

2 実験方法

2.1 システム

PC上で作成した信号をD/A変換器(Roland, UA-101)から出力し、パワーアンプ(BOSE, 1705 II)を通してスピーカー(Vifa, MG10SD-09-08)を駆動した。サンプリング周波数は48 kHzとした。スピーカーは半径1 mの水平面円周上に30°間隔で並べ、すべてが円の中心に向くように設置した。スピーカーの高さは1.1 mで、被験者は中心に置いた椅子に座り実耳で受聴した。

また、実験室の壁と天井には吸音材を貼り付け、床にはフロアカーペットが敷き詰めである。暗騒音レベルは53 dBAである。

2.2 刺激音

刺激音には白色雑音と白色雑音に遮断周波数(f_c) = 8、4、2、1、0.5 kHzのローパスフィルタ(LPF)を通した帯域制限雑音、 f_c = 2、4、8、12、16 kHzのハイパスフィルタ(HPF)を通した帯域制限雑音の計11種類を用いた。

FIR型フィルタを使用し、次数は512、阻止帯域減衰量は-60 dBとした。以後遮断周波数 f_c HzのLPF、HPFをそれぞれLPF f_c Hz、HPF f_c Hzと表す。

刺激音の持続時間は3 s、ISIは3 sで、刺激音の最初と最後に30 msの線形テーパをかけた。白色雑音の音圧は頭部中心で80 dB SPLとし、他の刺激音はフィルタによる減衰分だけ音圧が下がっている。

2.3 実験方法

1セッションの実験では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した。刺激音は11種類で、種類ごとに実験を行った。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、刺激音が止まった後に回答するよう指示した。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い、1方向あたり20回の回答を得た。

2.4 被験者

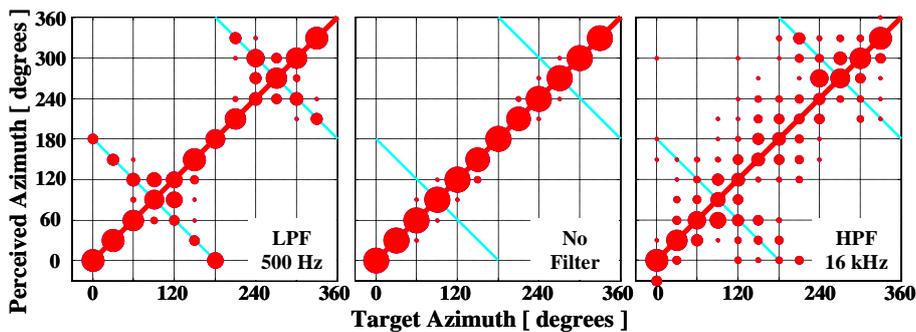
被験者は20代の男性4名、女性1名である。すべての被験者について聴感度特性を測定し、125 Hz~18 kHzで聴力損失は25 dB以内であることを確認している^[5]。

3 実験結果

Fig. 1は、LPF500HzとHPF16kHzを通した白色雑音と全帯域を用いた白色雑音に対する5名の被験者の結果を描いたものである。LPF500Hzを通した帯域制限雑音では、前後誤りが多くなり、HPF16kHzを通した帯域制限雑音では正答率が減り、おおよその位置しか判断できていない。

また、Fig. 2に被験者5名の各刺激音の定位正答率の平均と標準偏差を示す。青線がLPFを通した帯域制限雑音、赤線がHPFを通した帯域制限雑音の結果を示している。LPFを通した帯域制限雑音に対しては、全ての被験者で f_c = 4 kHz以上の場合85%以上の定位正答率があり、 f_c が低くなるにつれて定

* Signal frequency range necessary for horizontal sound localization, by MORIKAWA, Daisuke, SHIMAKURA, Nozomi, HIRAHARA, Tatsuya (Toyama Prefectural University).



横軸は刺激音の呈示角度。縦軸は被験者の回答角度。角度は、正面を 0° として時計回り。円の面積は回答回数に比例。赤線が正答、水色の線が前後誤り。5名の被験者の4セッションの合計。

Fig. 1 3種類の刺激音に対する被験者5名の音像定位結果

位正答率は緩やかに低下した。

HPFを通した帯域制限雑音に対しては、全ての被験者で $f_c = 8 \text{ kHz}$ 以下の場合90%以上の定位正答率があり、 $f_c = 12 \text{ kHz}$ で80%以上に低下し、 $f_c = 16 \text{ kHz}$ では50%以下まで急激に低下した。

4 考察

LPFを通した帯域制限雑音において前後誤りが増加したのは、高周波成分を遮断することで、音像の方向を主として位相差のみで判断しているためと考えられる。また、HPFを通した帯域制限雑音において、定位正答率が低下しおおよその位置しか判断できなくなったのは、低周波成分を遮断することで、音像を音圧差で判断しているためと考えられる。

LPF、HPF共に遮断する帯域を広くするにつれて音像定位が困難になった。各被験者の結果は同様の傾向を示しているが、刺激音の種類ごとに比較すると個人差があり、特にLPFを通した刺激音では個人差が大きい。

Fig. 2から、2 kHz以下または12 kHz以上の周波数帯域だけの刺激音では水平面の音像定位は十分にできないことがわかる。特にHPF16kHzを通した刺激音では定位正答率が急激に低下しているため、16 kHz以上の高域成分だけでは音像定位が極めて困難であることがわかる。これは、水平面の頭部伝達関数には5~10 kHzに大きなスペクトルディップがあり、そのディップ周波数が角度によって変化し、それを手がかりに定位がなされていることに関連している^[1]。

5 まとめ

実音源を用いて、水平面12方向の音像定位実験を行った。その結果、各被験者の結果は同様の傾向を示すが、刺激音ごとに比較すると個人差があり、特にLPFを通した刺激音で

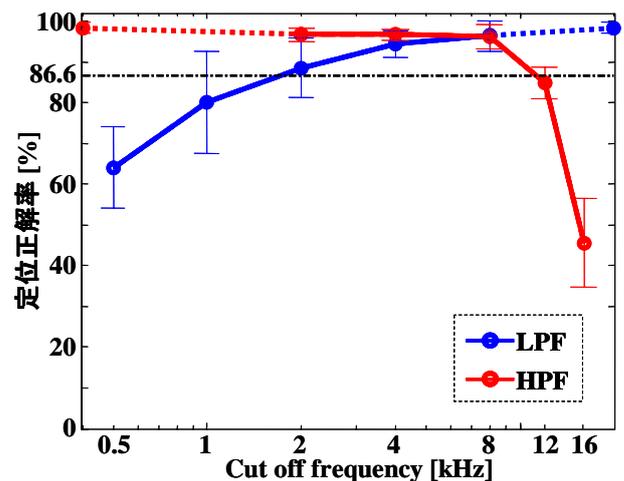


Fig. 2 帯域制限雑音のカットオフ周波数と音像定位正答率の関係

個人差が大きいことがわかった。また、2 kHz以下または12 kHz以上の周波数帯域だけの刺激音では水平面の音像定位は十分にできないことがわかった。特に16 kHz以上の高域成分だけでは音像定位が極めて困難であることがわかった。

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] 中林 克己, “水平面内における方向定位,” 音響誌, 30(3), 151-160, 1974.
- [3] 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.
- [4] Robert B, Simon R, “The Impact of Signal Bandwidth on Auditory Localization: Implications for the Design of Three-Dimensional Audio Displays,” Human Factors, 39(2), 287-295, 1997.
- [5] Takeshima *et al.*, “Threshold of hearing for pure tone under free-field listening conditions,” J. Acoust. Soc. Jpn(E), 15(3), 159-169, 1994.