

## 音源近傍の反射壁による反射波が音像定位に与える影響\*

○森川大輔, △河内悠希 (富山県立大)

## 1 はじめに

正中面を壁と平行に座り、壁に向かって直線移動する音を受聴した場合、音源が反射壁に近づくと音像は頭部に沿って曲がって知覚される[1]。倉地らはこの現象の移動音像の軌跡を測定し、音源が反射壁近傍にある場合、音像は音源方向より後ろに知覚されること、低い帯域雑音ほど音像方向のずれが生じやすいことを明らかにした[2]。また、静止時にも音像が音源方向とずれることを確認した[3]。そして、両耳に届く直接波と反射波の組み合わせで「計算」される各両耳間時間差(ITD)と、反射波による両耳間音圧差(ILD)の変化から、反射壁側の耳に届く直接波と対側の耳に届く反射波による「長い」ITDが、この現象に重要な役割を果たしていることを示唆した[2]。

本稿では、反射壁と対側の耳に届く反射波が、音像がずれて知覚される現象に寄与しているかを検証するために、反射波の有無を変更した合成バイノーラル信号を用いて、音像定位実験を行った結果について述べる。

## 2 インパルス応答の計測

バイノーラル信号を合成するために、反射壁近傍の音源からダミーヘッドまでのインパルス応答を測定した。測定系を図1に示す。測定は、反射壁から150 mmの位置に配置したラウドスピーカ(Micro Satellite, Anthony Gallo)から Log-TSP 信号を再生し、ラウドスピーカの正面方向に250 mm、反射壁から650 mmの位置に配置したダミーヘッドに装着したマイクロホン(EM-158, Primo)を用いて收音することで行った。測定には受聴者とは別人のダミーヘッドを用いた。測定は音源近傍に反射板がない条件とある条件で行い、直接波のみのインパルス応答 $IR_{left}$ ,  $IR_{right}$ 、反射波を含んだインパルス応答 $IR_{left}^r$ ,  $IR_{right}^r$ を得た。また、反射壁とダミーヘッドがない状態の頭部中心位置のインパルス応答 $IR_c$ も測定した。

反射壁は厚さ2 mmの塩化ビニル板(W 1822 mm, H: 912 mm)である。測定したインパルス応答を図2に示す。

## 3 実験方法

健聴な受聴者10名が実験に参加した。

刺激音は100 Hzから15 kHzで帯域制限した2秒間の白色雑音に、計測したインパルス応答を畳み込んで合成したバイノーラル信号で、反射を含まない $S^o$  ( $IR_{left}$ と $IR_{right}$ で合成)、両チャンネルに反射を含む $S_{bi}^r$  ( $IR_{left}^r$ と $IR_{right}^r$ で合成)、片チャンネルのみ反射を含む $S_{left}^r$  ( $IR_{left}$ と $IR_{right}^r$ で合成)と $S_{right}^r$  ( $IR_{left}^r$ と $IR_{right}$ で合成)の計4種である。通常、バイノーラル信号は、周波数領域で $IR_{left}$ ,  $IR_{right}$ を $IR_c$ で除算し、音響系と電気系の特性を補正した頭部インパルスレスポンス(HRIR)を畳み込んで合成する。しかし、本実験では音源が近傍でILDが過大になるため[4]、 $IR_c$ の周波

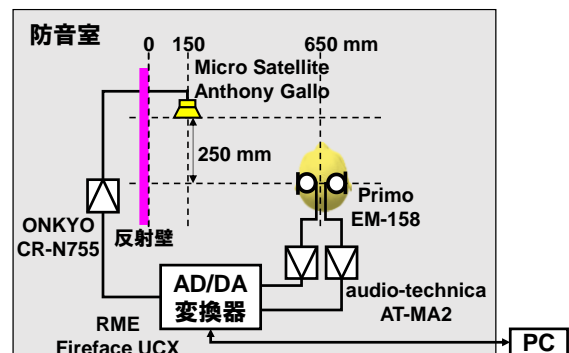


Fig. 1 インパルス応答計測系

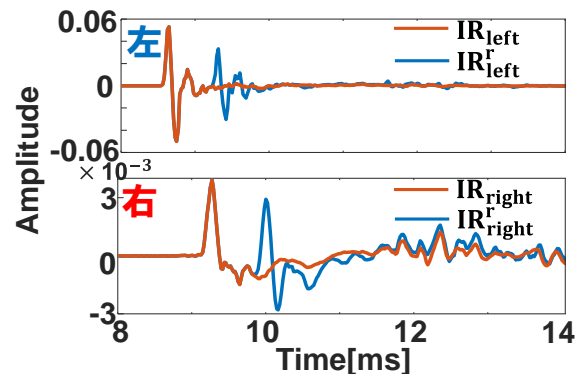


Fig. 2 インパルス応答

\* Effect of reflected waves from a reflective wall near a sound source for sound localization, by MORIKAWA, Daisuke, KAWACHI, Yuki (Toyama Prefectural University).

数特性から逆フィルタを作成して補正した。刺激音の音圧レベルは、 $IR_{left}$ を畳み込んだ信号で70 dBとし、他の音圧レベルは畳み込むIRによって変化している。

実験系を図3に示す。合成バイノーラル信号は、DA変換器(Fireface UCX, RME)で出力し、ヘッドホンアンプ(AT-HA21, audio-technica)を通して、ヘッドホン(HDA 200, Sennheiser)で再生した。また、ヘッドホンの周波数特性は逆フィルタで補正した。

受聴者には2つの刺激音を対にして0.5秒間隔で呈示し、先に呈示した基準音に対して後に呈示した比較音が、前方、後方、同じのいずれの方向にあるかを回答させた。4種の刺激音をそれぞれ基準音と比較音とした4×4の16組のランダム呈示を1セッションとし、1名の受聴者が4セッションを行った。

#### 4 結果

同じ刺激音を連続で呈示する4組で、方向を同じと回答した割合は全体で92%であった。

同じ刺激音を連続で呈示する4組を除いた12組について、シェッフェの一対比較の浦の変法を用いて分析した結果を図4に示す。 $S^0$ と $S_{left}^r$ に対して $S_{bi}^r$ と $S_{right}^r$ は有意に後方で、 $S^0$ と $S_{left}^r$ 、 $S_{bi}^r$ と $S_{right}^r$ の方向に有意差はなかった。

#### 5 考察

同じ刺激音を同じ方向と回答した割合が高いことから、受聴者の回答精度は信頼できると考えられる。また、 $S^0$ より $S_{bi}^r$ が後方に知覚される結果は、倉地らによる実音源の知覚[2]と一致している。

$S^0$ と比べ $S_{bi}^r$ から得られる方向情報には、反射壁側の耳に届く直接波と対側の耳に届く反射波による「長い」ITDが加わり、両耳間音圧差(ILD)は小さくなる。「長い」ITDは音像が後方であること、小さいILDは音像が前方であることを主張する[2]。

対側の耳に届く反射波を含む $S_{bi}^r$ と $S_{right}^r$ の音像方向が近く、 $S^0$ より後方であったことから、「長い」ITDが音像方向がずれる現象に重要な役割を果たすという仮説のとおりである。

$S_{right}^r$ ではILDは $S_{bi}^r$ よりさらに小さくなり音像が前方であることを主張する。しかし、 $S_{right}^r$ と $S_{bi}^r$ の音像方向が近く、 $S^0$ より後方であった。一方、 $S_{left}^r$ ではILDは $S_{bi}^r$ よりさらに大きくなり音像が後方であることを主張する。

しかし、 $S_{left}^r$ と $S^0$ の音像方向は近く、 $S_{bi}^r$ より前方であった。したがって、ILDは音像方向がずれる現象に寄与していないと考えられる。

#### 6 結論

本稿では、音源近傍の壁からの反射波によって音像方向がずれて知覚される現象の成因を明らかにするために、反射波の有無を変更したバイノーラル信号を用いて音像定位実験を行った。その結果、音源近傍の反射板から対側の耳に届く反射波が、音像方向がずれる現象に寄与していることがわかった。

#### 謝辞

本研究の一部は科研費(20K19828)の助成を受けた。

#### 参考文献

- [1] Kurachi *et al.*, "Measuring sound-image trajectory of a moving sound source approaching a reflective wall in steps," *Acoust. Sci. Tech.*, 40(4), 273-275, 2019.
- [2] 倉地 他, "室内壁に接近する直線移動音の音像軌跡," *音響誌*, 76(3), 136-145, 2020.
- [3] Kurachi *et al.*, "The effect of head orientation on the sound-image localization of sound source near a reflective wall," *Acoust. Sci. Tech.*, 41(1), 428-429, 2020.
- [4] 寺島 他, "水平面上の頭部伝達関数および両耳聴手がかりの音源距離依存性," *信学技報*, 119(306), 23-30, 2019.
- [5] 高木, "使える!統計検定・機械学習-III," *システム/制御/情報*, 58(12), 514-520, 2014.

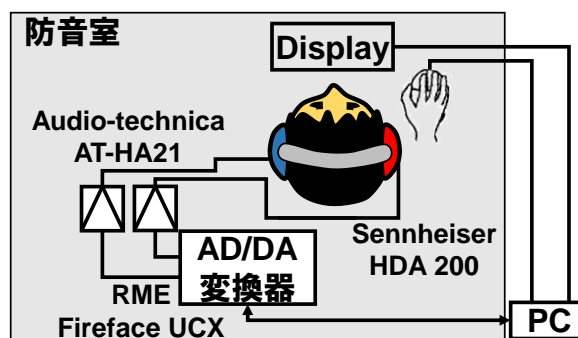


Fig. 3 実験系

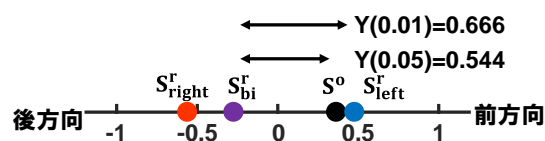


Fig. 4 各刺激音の方向の関係