

## 頭部伝達関数における基準点に関する検討\*

☆今井悠貴, 森川大輔, 平原達也 (富山県立大)

### 1 はじめに

頭部伝達関数 (HRTF) は、頭部がある場合の音源から外耳道入り口までの音響伝達関数  $H(\omega)$  を、頭部が無い場合の音源から頭部中心までの音響伝達関数  $H_C(\omega)$  で除算して求める。これは、音響系と電気音響系の伝達特性と距離減衰をキャンセルするためである<sup>[1]</sup>。しかし、音源から外耳道入り口までの距離と頭部中心までの距離は厳密に言えば異なる。そのため、実際に我々の両耳に届くバイノーラル音と HRTF を用いて合成したバイノーラル音とでは両耳間レベル差 (ILD) に差異が生じる。

本報告では、基準点を  $H(\omega)$  を測るときと同じ外耳道入り口位置に置いて近接場の HRTF を相反法で計測し、従来の頭部中心を基準点とした HRTF との物理的な差異とそれらを用いた合成バイノーラル音の聴こえの違いを検討した結果について述べる。

### 2 HRTF 計測方法

#### 2.1 計測システム

HRTF の計測は、外耳道に装着した耳栓スピーカから放射した信号を、被測定頭の周囲に設置したマイクロホンアレイで同時収録する相反法を用いた<sup>[2]</sup>。HRTF を算出する基準点は、頭部中心 C と左右それぞれの外耳道入り口位置 E とした。

耳栓スピーカは、超小型動電型スピーカをシリコン印象材に埋め込んだものである。マイクアレイは、小型エレクトレット・コンデンサ・マイク (Primo, EM-133) を高さ 1.1 m、半径  $r = 0.22$  m の水平面円周上に 10 度間隔に並べたものである。

計測場所は暗騒音レベルが 16.5 dB の防音室内で、サンプリング周波数 48 kHz、信号長 65,536 点の OATSP 信号を放射し、20 回加算平均してインパルス応答を算出した。

#### 2.2 信号処理

頭部がない場合の C で測ったインパルス応

答  $ir_C$  と頭部があるときの外耳道入り口で測ったインパルス応答  $ir$  から計算した  $HRTF_C$  は、観測点の角度による伝播時間が変わらない  $ir_C$  を基準としているため、 $ir_C$  と左右の  $ir$  の時間差が両耳間時間差 (ITD) として反映される。一方、頭部がない場合の E で測ったインパルス応答  $ir_E$  から計算した  $HRTF_E$  は、角度によって伝播時間が変わる  $ir_E$  を基準とし、それは  $ir$  とほぼ同じであるため、 $ir_E$  と左右の  $ir$  の時間差が ITD にならない。そこで、正面から  $\pm 90^\circ$  の位置で測った左右の  $ir_E$  の時間差から、各方位角  $\theta$  の  $ir_E$  が頭部中心位置までの伝播時間になるように  $ir_E$  を時間シフトした。この前処理により、 $H(\omega)/H_E(\omega)$  から  $ir$  の ITD を反映した HRTF が得られる。

### 3 計測結果

#### 3.1 HRTF のコンター図

ある被験者の左耳  $HRTF_E$  のコンター図を Fig.1 に示す。同図に示されるように、 $r = 0.22$  m の近接場の HRTF は相反法により問題なく計測できる。

Fig.1 の  $\theta = -90^\circ$  における  $HRTF_E$  の振幅スペクトルを描いたものが Fig.2 の赤線である。同図の青線は、 $HRTF_C$  の  $\theta = -90^\circ$  における振幅スペクトルである。両者のスペクトル形状は全く同じだが、前者の振幅レベルは後者よりも全帯域で約 3 dB 低い。

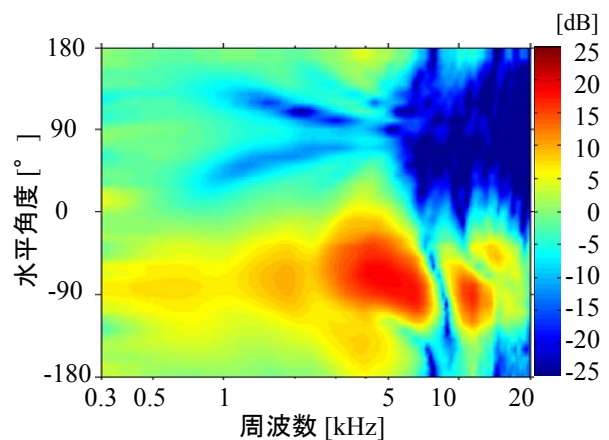


Fig.1 相反法で測定した左耳 HRTF のコンター図

\* Study on the reference point in measuring head-related transfer functions, by IMAI, Yuki and MORIKAWA, Daisuke and HIRAHARA, Tatsuya (Toyama Prefectural University).

### 3.2 両耳間レベル差

HRTF<sub>C</sub>とHRTF<sub>E</sub> から算出したILD<sub>C</sub>とILD<sub>E</sub>の絶対値を Fig.3 に示す。側方の測定位置では、頭部中心までの距離が外耳道入り口位置までの距離よりも長くなったり短くなったりするために、両者のILDには最大6 dBの違いが生じていた。

### 3.3 両耳間時間差

HRTF<sub>C</sub>およびHRTF<sub>E</sub>から算出したITD<sub>C</sub>とITD<sub>E</sub>は完全に一致していた。

## 4 受聴実験

HRTF<sub>C</sub>およびHRTF<sub>E</sub>を白色雑音に畳みこみ、水平面上を2 rad/sで回転移動するバイノーラル音を合成した。それをヘッドホン(Sennheiser, HDA200)から呈示し、3名の被験者に音像の聴こえ方の違いを判断させた。

HRTF<sub>C</sub>を用いた合成バイノーラル音では、正面から±50°あたりで音像距離が変動して聴こえた。一方、HRTF<sub>E</sub>を用いた合成バイノーラル音の音像は滑らかに水平面を一周した。また、真正面位置でも音像は頭外に定位した。

## 5 考察

HRTFを計測した被測定頭の頭部中心から外耳道入り口位置までの距離は約0.07 mであった。r = 0.22 m のとき、θ = -90°では音源から受音点までの距離は、外耳道入り口位置から0.15 m、頭部中心からは0.22 mで、両者では理論上3.3 dBの音圧レベル差が生じる。

Fig.4は、ILD<sub>C</sub>とILD<sub>E</sub>の差の最大値を、スピーカレイの半径rが0.15~1.5 mの範囲で描いたものである。近接場になるほどILD<sub>C</sub>は過大に算出されており、r < 0.4 mではILD<sub>C</sub>がILD<sub>E</sub>よりも3 dB以上過大になっているため、基準点をCとした場合、近接場のHRTFには音圧レベルの誤差が含まれる。

## 6 まとめ

近接場のHRTFを相反法で計測し、HRTFを算出する基準点の影響を検討した。その結果、従来の頭部中心を基準点にするとr < 0.4 mではILDが3 dB以上過大に算出されていることが分かった。また、近接場の場合は、外耳道入り口位置を基準点に用いた方が、音像は正確に再生できることも分かった。

### 謝辞

本研究の一部は科研費(22300061)の助成を受けた。

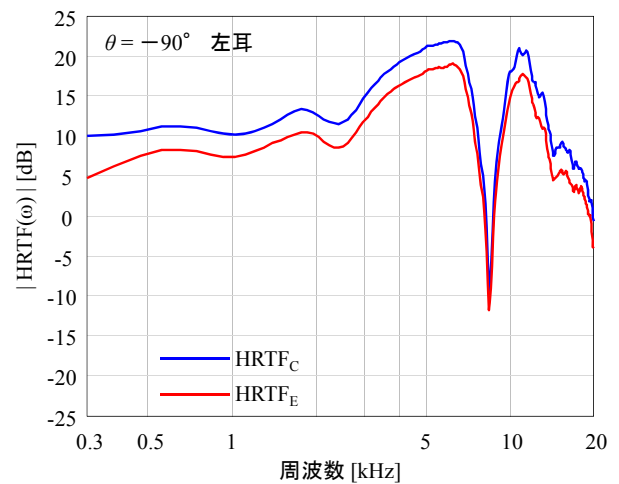


Fig. 2. 左耳 HRTF の振幅スペクトル(θ = -90°)

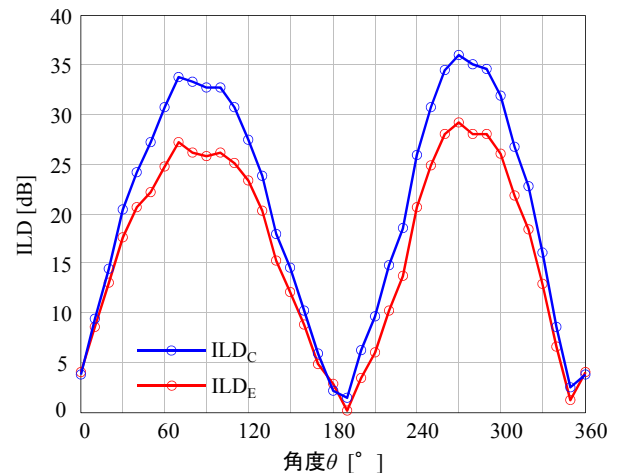


Fig. 3. 基準点が異なる HRTF の ILD の比較

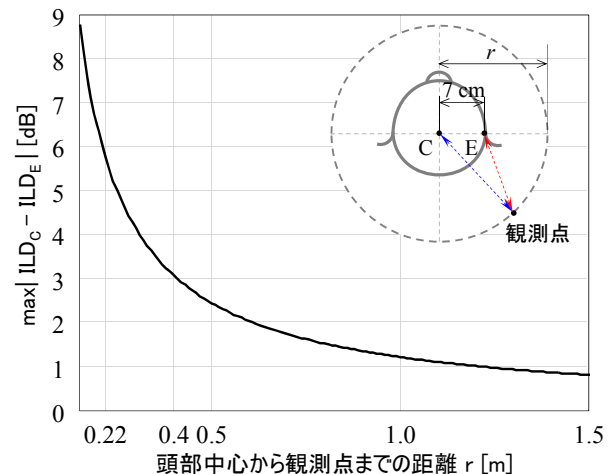


Fig. 4. 基準点を頭部中心と外耳道入り口位置としたときのILDの差の最大値

### 参考文献

- [1] 平原 他, “頭部伝達関数の計測とバイノーラル再生にかかわる諸問題,” *Fundamentals Review*, **2**(4), pp.68-85, 2009.
- [2] Matsunaga, *et al*, “Reexamination of fast head-related transfer function measurement,” *Acoust. Sci. & Tech.*, **31**, 414-416, 2010.