

# 個人に適合した頭部伝達関数の探索方法に関する一考察\*

◎石井要次, 和田万正, 蒲生直和, 飯田一博 (千葉工大・工)

## 1 はじめに

頭部伝達関数(HRTF)には耳介や頭部形状による個人差が存在し, 他人の HRTF を用いると誤った方向に定位する現象がしばしば発生する[1]. したがって, 精度の良い3次元音像定位を実現するためには, 本人の HRTF がデータとして存在しない場合は, その被験者に適合する HRTF をデータベースから探索する必要がある.

探索する方法の一例として, Iwaya[2]はデータベース中からトーナメント法で適合する HRTF を求める方法を提案している. しかし, HRTF データの個数が多くなると探索に多大な時間が必要となる.

本研究では, 仰角知覚のスペクトラルキューが HRTF の第 1,2 ノッチ(N1,N2)であること[3]に着目し, N1 と N2 で再構成した parametric HRTF (pHRTF)を用い, N1,N2 周波数を系統的に変化させて, 被験者に適合する HRTF を探索する手法を提案する.

## 2 探索方法

以下のような方法で pHRTF を提示することによって被験者に適合する HRTF を探索する.

**手順 1)** N1,N2,P1 で再構成した pHRTF の N1,N2 周波数を変化させ, Notch Frequency Distance (NFD) [4]の許容範囲を求める. HRTF<sub>j</sub> と HRTF<sub>k</sub> の NFD は式(1)-(3)で表わされる.

$$\text{NFD}_{1,j,k} = \log_2 \{ f_{N1}(\text{HRTF}_j) / f_{N1}(\text{HRTF}_k) \} [\text{oct.}] \quad (1)$$

$$\text{NFD}_{2,j,k} = \log_2 \{ f_{N2}(\text{HRTF}_j) / f_{N2}(\text{HRTF}_k) \} [\text{oct.}] \quad (2)$$

$$\text{NFD}_{j,k} = |\text{NFD}_{1,j,k}| + |\text{NFD}_{2,j,k}| [\text{oct.}] \quad (3)$$

ここで,  $f_{N1}, f_{N2}$  はそれぞれ N1, N2 の周波数を表す.

**手順 2)** 多人数の実測 HRTF より N1, N2 周

波数の個人差の分布範囲を求め, その範囲を NFD の許容範囲周波数の間隔で分割し, その格子点における N1, N2 周波数で探索候補 pHRTF を作成する.

**手順 3)** 探索候補 pHRTF と音源信号を畳込んだ刺激を提示して, 受聴者に適合する pHRTF を探索する. 受聴者に提示する探索候補 pHRTF の個数はデータベースの大きさに関わらず一定で, しかも少数である. これらの pHRTFs の中に少なくとも1つはその被験者に適合する pHRTF が存在する. これを用いることによって3次元音像定位が実現できる.

**手順 4)** 実測 HRTF を使いたい場合は, 手順 3) で求めた pHRTF に対応する実測 HRTF をデータベースから選定する.

本稿ではこのような方法のうち, 手順 1) について報告する.

## 3 音像定位実験

pHRTF(N1,N2,P1)を用いて, その N1, N2 周波数を変化させて音像定位実験を行い, NFD の許容範囲を求めた.

### 3.1 実験方法

実験は無響室で行った. 実験システムは, ノート PC, オーディオインターフェース (RME Hammerfall DSP), ヘッドホン (SONY MDR-F1), A/D コンバータ (Rolland EDIROL M-10MX), イヤーマイクで構成した. 音源信号は 200 Hz – 20 kHz のホワイトノイズで, 刺激の提示時間は 1.2 秒 (前後に 0.1 秒の立ち上がり/下がりを含む) である. 被験者はイヤーマイクとヘッドホンを装着した状態で座り, 再生系の伝達関数  $C(\omega)$  を測定した.

刺激  $P(\omega)$  を式(4)によって算出し, 被験者に提示した.

$$P(\omega) = S(\omega) \cdot H(\omega) / C(\omega) \quad (4)$$

ここで,  $S(\omega)$  は音源信号,  $H(\omega)$  は pHRTF である.

\* A consideration on a searching method for individualized HRTF. – by ISHII Yohji, WADA Kazumasa, GAMOH Naokazu, IIDA Kazuhiro (Chiba Institute of Technology)

pHRTF は、被験者本人の正面方向の実測 HRTF の N1, N2, P1 で再構成したもの(以下 pHRTF<sub>1</sub>)を基準とし、N1, N2 周波数をそれぞれ  $\pm 0.1$ ,  $\pm 0.2$ ,  $\pm 0.4$ ,  $+0.6$  oct. 移動したものをを用いた。ただし、N1 と N2, あるいは、P1 と N1 の周波数の差が小さく、Peak や Notch を形成できない場合は除いた。このようにして作成した pHRTF の N1, N2 周波数を Fig.1 に示す。

被験者は知覚した音像の上昇角をマッピング法により回答した。刺激は回答が終わるまで何回でも繰り返し聞くことができる。ただし、次の刺激に移った後は戻ることができない。刺激は各 pHRTF を音源に畳み込んだ 26 種類である。全刺激をランダムに並べたものを 1 試行とし、全 10 試行からなる実験を 5 つのセッションに分けて行った。被験者は正常な聴力を持つ男性 1 名である。

### 3.2 実験結果

Figure 2 に各刺激に対する被験者の回答方向を  $5^\circ$  で丸めてプロットした。円の直径は回答頻度に比例する。

被験者本人の正面方向の parametric HRTF である pHRTF<sub>1</sub> では、ほぼ正面方向に回答し、後方に知覚したのは 1 回だけである。

pHRTF<sub>1</sub> との NFD が 0.1 oct. の刺激(23,25)では、全て正面方向に回答している。

NFD が 0.1 - 0.2 oct. の刺激(15,18,22,24,26)では、ほぼ正面方向に回答し、後方に知覚したのは刺激 22 において 1 回だけである。

NFD が 0.2 - 0.4 oct. の刺激(10,14,16,17,20)では、全て正面方向に回答している刺激(10,14,16)があるものの、刺激 17 では 8 回、刺激 20 では 3 回後方に知覚している。

以上より、0.2 oct. から 0.4 oct. の間に NFD の許容範囲の境界線が存在すると考えられる。

次に各 pHRTF の NFD と定位方向の関係をみてみる(Fig. 3)。定位方向  $30^\circ$  までを許容範囲とすると、NFD が 0.2 oct. 以内の全ての刺激は許容範囲に入っている。したがって、pHRTF における NFD の許容範囲は 0.2 oct. 程度であるとみなせる。

50 名の正面方向実測 HRTF の N1, N2 周波数の分布範囲を求め、0.2 oct. 間隔で分割すると、その格子点は 15-20 個であった。したがって、受聴者に提示する探索用 pHRTF は 15-20 個程度で済むと言える。

## 4 おわりに

pHRTF における NFD の許容範囲を検証した。今後、探索用 pHRTFs を用いて音像定位実験を行い、個人適合 HRTF の探索方法の有用性を検証する。

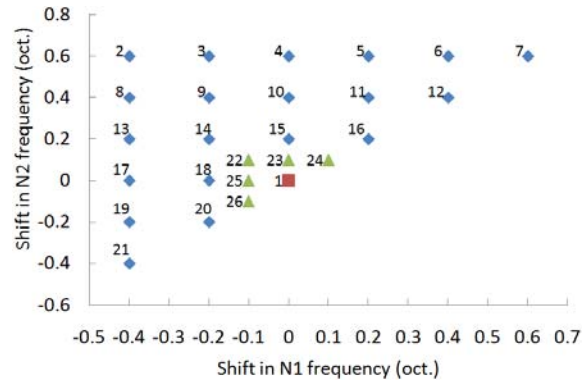


Fig. 1 Parametric HRTFs used in the experiments. ■: subject's own pHRTF, ▲: shift in frequency within 0.1 oct.

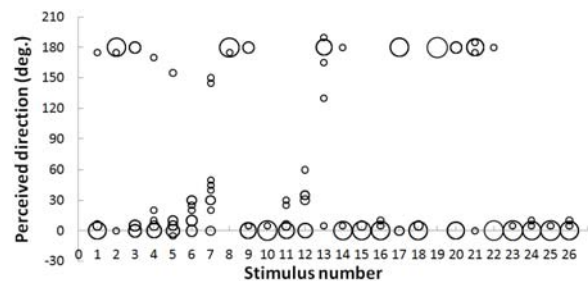


Fig. 2 Localization responses for each pHRTF.

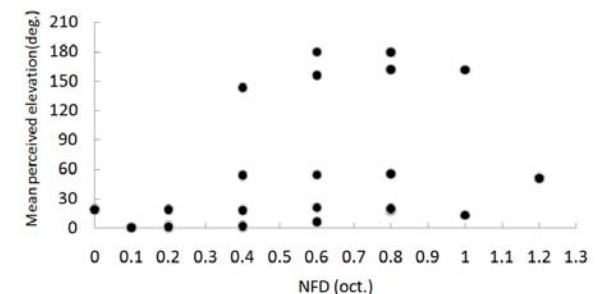


Fig.3 Mean perceived elevation for each pHRTF.

## 謝辞

本研究の一部は文部科学省の学術フロンティア推進事業による私学助成を得て行われた。

## 参考文献

- [1] M. Morimoto and Y. Ando, J. Acoust. Soc. Jpn. (E), vol.1, 167-174, 1980.
- [2] Y. Iwaya, Acoust. Sci. Tech., 27(6), 340-343, 2006.
- [3] K. Iida *et al.*, Applied Acoustics, vol.68, 835-850, 2007.
- [4] 飯田, 森本 音講論(春), 1473-1476, 2009.