

耳介モデルの窪みの幅が伝達関数に及ぼす影響*

☆岡松俊哉（千葉工大院・工学研），海老沼佑輔（千葉工大・工），
竹本浩典（NICT），飯田一博（千葉工大・工）

1 はじめに

精度の高い3次元音像制御を行うためには、受聴者に適合した頭部伝達関数(HRTF: Head-Related Transfer Function)を提供する必要がある[1].

Blauert は写真などから得た受聴者の耳介寸法データから、その受聴者に適合したHRTFを推定し、提供するシナリオを示している[2]. しかし、HRTFに含まれる情報全てを推定することは困難であり、実現に至っていない. そこで、ヒトの方向知覚の手掛かりを推定することを考える.

従来、HRTFに含まれる情報のうち、両耳間差および第1、第2ノッチ(N1,N2)[3]が、それぞれ左右方向および前後・上下方向知覚の手がかりであると報告されている.

そのうち、両耳間差情報は受聴者の両耳間距離から比較的容易に推定できる. しかし、N1,N2情報は、受聴者の耳介形状とN1,N2との定量的な関係が明らかにされていないため、推定は容易ではない.

著者らは、耳介形状とN1,N2との定量的な関係を明らかにするために、耳介を単純な形状でモデル化し、モデルの寸法やプロポーシオンからN1,N2周波数を求める方法を検討している[4-5].

Takemoto *et al.*は、耳介を3つの連続する直方体でモデル化する方法(three-step model)を提案し、three-step modelの伝達関数のピーク・ノッチの方向依存性は、定性的には実耳介のそれと類似することを報告している[4]. また、岡松らはthree-step modelの幅がN1,N2周波数に影響を及ぼす可能性を示した[5].

本研究では、耳介形状と伝達関数の関係を明らかにするために、three-step modelを用いて、耳介モデルの全体の幅とそれぞれの窪みの幅が伝達関数に及ぼす影響を検討した.

2 耳介モデル全体の幅・長さ・深さの伸縮と伝達関数の関係

まず、three-step modelの全体の幅・長さ(長軸方向)・深さのうち1つを伸縮させ、それらが伝達関数に及ぼす影響を検討した.

2.1 耳介モデル

実耳介とそのモデルを Fig. 1 に示す. 111名の両耳についてx1~x12の寸法を計測し、その平均値でモデル化したものを基準モデル(1.00倍)とした.

この基準モデルに対し、全体の幅・長さ・深さのうち1つを伸縮させた. 伸縮率は0.15間隔で0.70~1.45倍の6種類である. 各伸縮率のモデルを Fig. 2 に示す.

なお、x6~x8はx9を3等分する値とし、それぞれの深さはx10を3等分した. 外耳道入口にあたる測定点は最下段の窪みの左端から4mm,下端から7mmとした.

2.2 伝達関数の測定方法

測定は無響室で行った. 測定音源にはswept-sine信号を用いた. 音源信号のサンプリング周波数は48000Hzである. 音源方向は外耳道入口を通る矢状面内の仰角7方向(0 - 180°, 30° 間隔)である. 音源から外耳道入口までの距離は1.2mである. 耳介モデルは

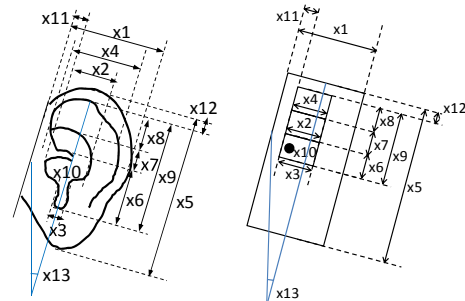


Fig. 1 実耳介とモデルの対応

* Effects of the width of the cavities of the pinna model on the transfer function -, by OKAMATSU, Toshiya, EBINUMA, Yusuke(Chiba Institute of Technology), TAKEMOTO, Hironori (NICT), and IIDA, Kazuhiro (Chiba Institute of Technology).

真上から見て窪みが前方に向くように 5° 傾け(Fig. 3(a))[4], 真横から見て上端が後方に向くように 25° 傾けて配置した(Fig. 3(b)).

2.3 伝達関数の測定結果

測定結果の一例として, 全体の幅・長さ・深さをそれぞれ伸縮させたモデルの正面方向の伝達関数を Fig. 4 に示す. 幅および長さを伸縮させたモデル(a),(b)では, ピーク, ノッチの周波数は, 伸縮率が小さくなるに従って高くなる傾向にある. しかし, 幅を伸縮させたモデルで 0.70~1.15 倍では, N1 周波数はほとんど変化しない.

深さを伸縮させたモデル(c)では, 0.70~1.00 倍ではピーク, ノッチの周波数は変化しているが, 1.00~1.45 倍ではノッチの周波数はほとんど変化しない.

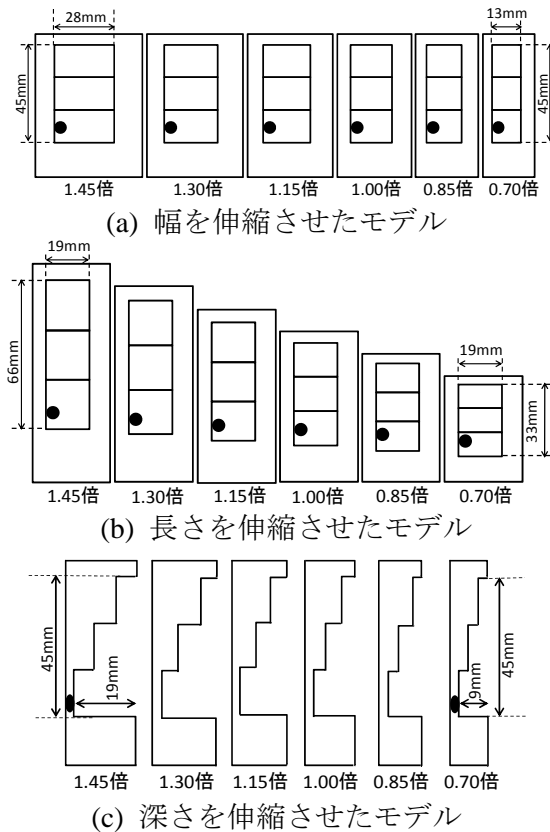


Fig. 2 全体の幅・長さ・深さを伸縮させた耳介モデル(●:測定点)

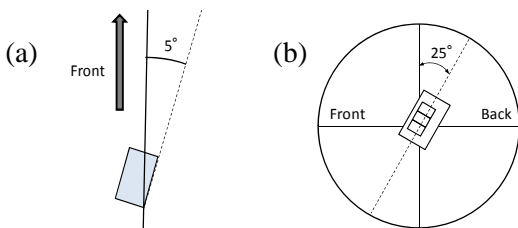


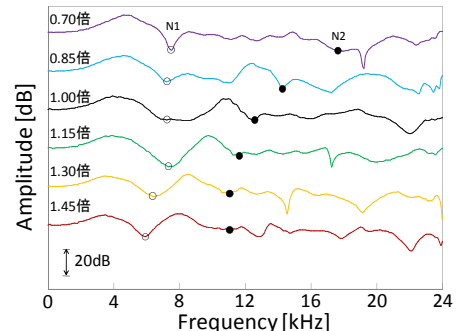
Fig. 3 耳介モデルの配置

また, 全体の幅・長さ・深さを伸縮させたモデルにおける全方向の N1,N2 周波数を Fig. 5 に示す. 幅を伸縮させたモデル(a),(b)では, N1,N2 周波数は伸縮率が小さくなるに従って高くなる. しかし, 120° では伸縮率が変化しても, 周波数はほとんど変化しない.

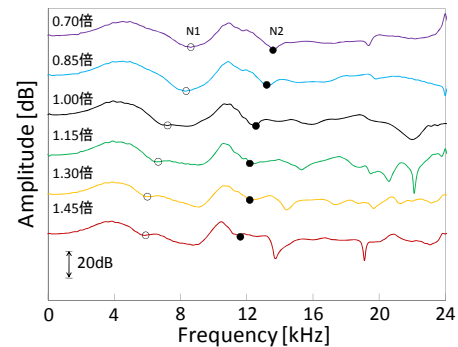
長さを伸縮させたモデル(c),(d)では, 90° および 120° 方向で N1,N2 周波数は伸縮率が小さくなるに従って高くなる. 他の方向では伸縮率の変化による N1,N2 周波数の変化は小さい.

深さを伸縮させたモデル(e),(f)では, すべての方向において, 伸縮率の変化による N1,N2 周波数の変化は小さい.

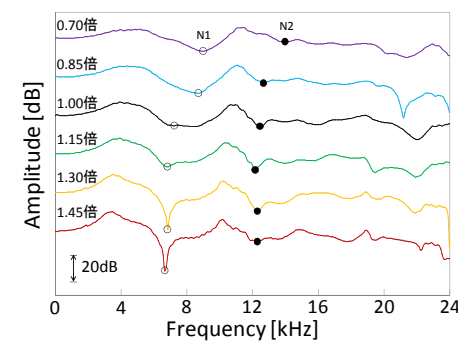
耳介モデルは 25° 後方に傾けて配置しているため, 120° はモデルの長さ方向のほぼ延長線上である. この方向の N1,N2 周波数は,



(a) 幅を伸縮させたモデル



(b) 長さを伸縮させたモデル



(c) 深さを伸縮させたモデル

Fig. 4 全体の幅・長さ・深さを伸縮させたモデルの正面方向の伝達関数

モデルの幅、深さの影響は受けず、長さの影響を受けると考えられる。

これらの結果より、モデルの幅は 120° 以外で N1,N2 周波数に強く影響し、モデルの長さは $90^\circ, 120^\circ$ で強く影響すると言える。モデルの深さはほとんど影響を及ぼさない。

3 耳介モデルの各窪みの幅の伸縮と伝達関数の関係

次に、three-step model の各窪みの幅のうち 1 つを伸縮させ、それが伝達関数に及ぼす影響を検討した。

3.1 耳介モデル

2.1 節で用いた基準モデルに対し、各窪みの幅(x4, x2, x3)のうち 1 つを伸縮させた。伸縮率は 2.1 節と同様、0.15 間隔で 0.70~1.45 倍の 6 種類である。各伸縮率のモデルを Fig. 6 に示す。なお、0.70, 0.85 倍のモデルの x1 は 1.00 倍のそれと同じとした。

3.2 伝達関数の測定方法

測定方法は 2.2 節と同様である。

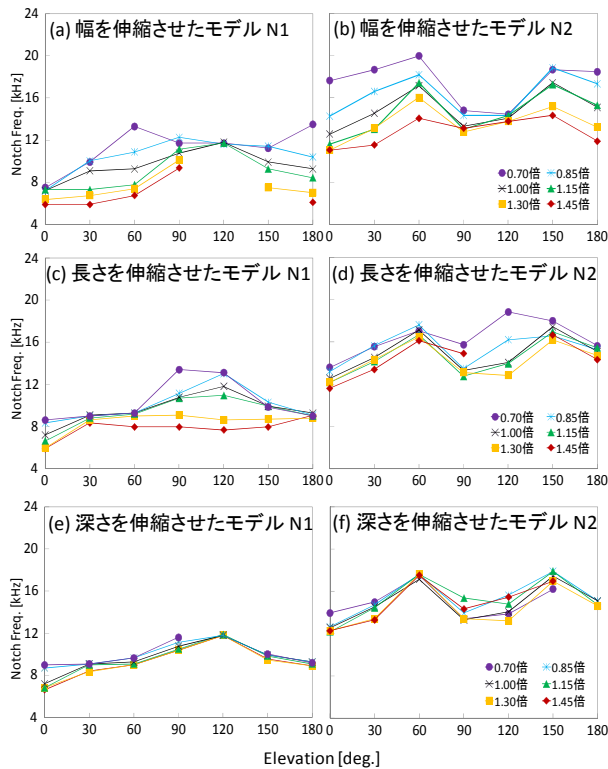


Fig. 5 全体の幅・長さ・深さを伸縮させたモデルの N1,N2 周波数

3.3 測定結果

各窪みの幅を伸縮させたモデルにおける全方向の N1,N2 周波数を Fig. 7 に示す。x4 を伸縮させたモデル(a),(b)では、どの方向においても伸縮率による N1,N2 周波数の変化は小さい。

x2 を伸縮させたモデル(c),(d)では、x4 を伸縮させたモデルと同様、どの方向においても伸縮率による N1,N2 周波数の変化は小さい。

x3 を伸縮させたモデル(e),(f)では、伸縮率が小さくなるにつれ、N1,N2 周波数は高くなる。しかし、N1 については、 120° ではほとんど変化せず、N2 については、 $90^\circ, 120^\circ$ では変化が小さい。

次に、全体の幅および x3 の伸縮率と N1,N2 周波数の関係を Fig. 8 に示す。 90° の N1 を除き、全体の幅を伸縮させた N1,N2 周波数と x3 を伸縮させた N1,N2 周波数はほぼ一致する。

これらの結果より、耳介モデルの窪みの幅が N1,N2 周波数に及ぼす影響においては、x3 が支配的であると言える。

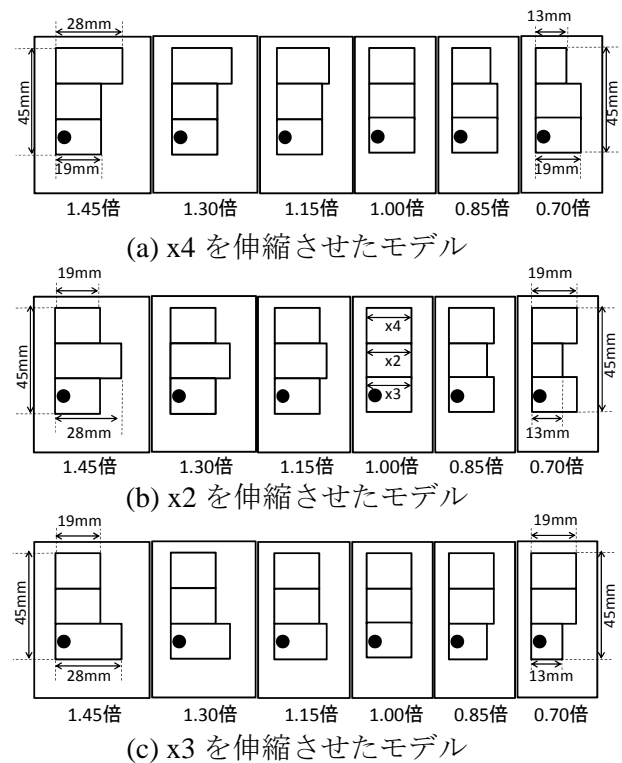


Fig. 6 各窪みの幅を伸縮させた耳介モデル (●: 測定点)

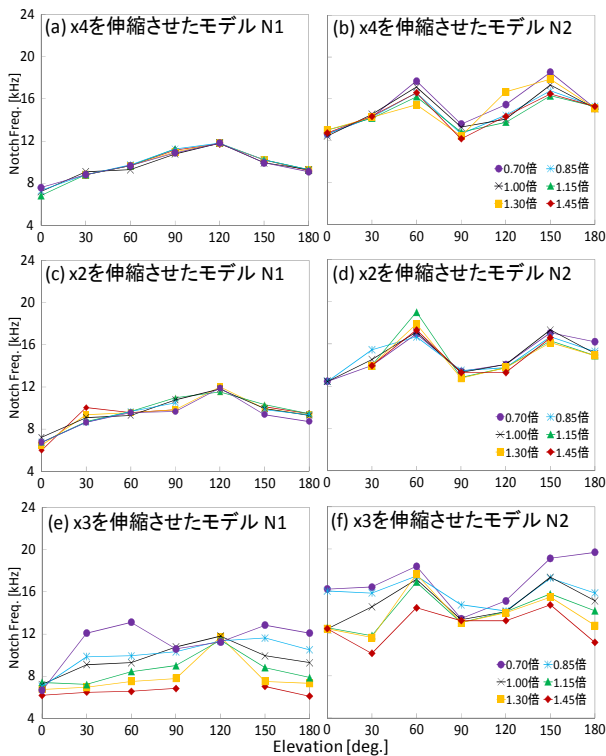


Fig. 7 各窪みの幅を伸縮させたモデルの N1,N2 周波数

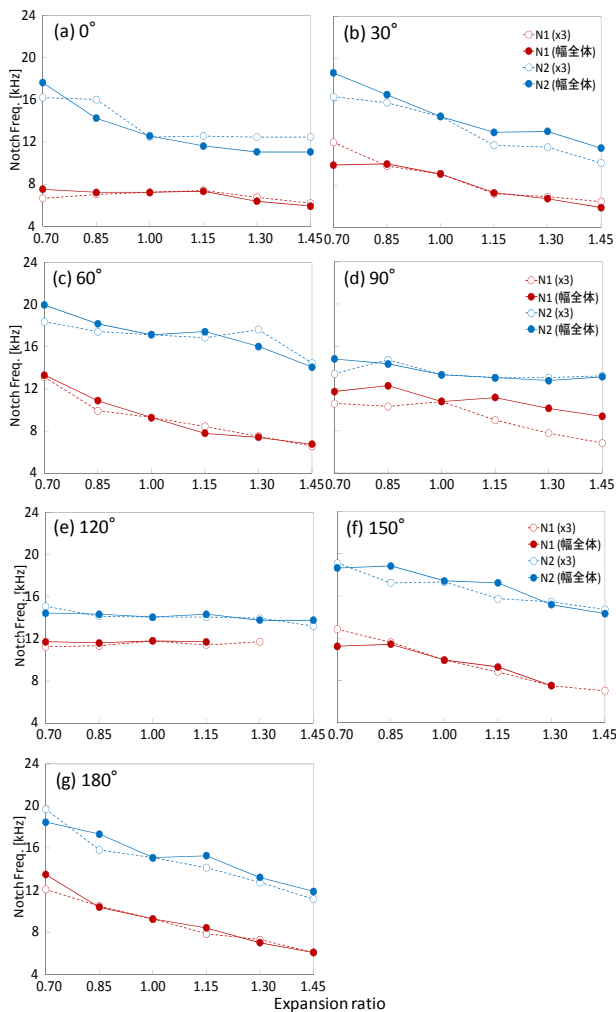


Fig. 8 全体の幅および x3 の伸縮率と N1,N2 周波数の関係

4 おわりに

本研究では耳介モデルの幅・長さ・深さのうち、いずれかを伸縮させたモデルの伝達関数を測定し、以下の知見を得た。

- (1) モデルの幅は 120° 以外で N1,N2 周波数に強く影響する。
 - (2) モデルの長さは $90^\circ, 120^\circ$ で強く影響する。
 - (3) モデルの深さはほとんど影響を及ぼさない。
- 次に、耳介モデルの各窪みの幅を伸縮させたモデルの伝達関数を測定し、以下の知見を得た。
- (4) x3 の伸縮率が小さくなると N1,N2 周波数は高くなり、その伸縮の影響は幅全体の伸縮の影響とほぼ同等である。
 - (5) 窪みの幅と N1,N2 周波数の関係においては x3 が支配的である。

謝辞

本研究の一部は科研費(基盤研究(A) 22241040)により実施した。

参考文献

- [1] M. Morimoto and Y. Ando, J. Acoust. Soc. Jpn (E), 1, pp.167-174, 1980
- [2] R. Sottek and K. Genuit, Proc. DAGA, 1999
- [3] K. Iida *et al.*, Applied Acoustics 68, pp. 835-850, 2007
- [4] H. Takemoto *et al.*, Proc. 20th ICA, 2010
- [5] 岡松他, 音講論(春), pp.563-564, 2012