

正中面内のパラメトリック頭部伝達関数と 両耳間時間差による上半球面音像制御*

©石井要次 (千葉工大院・工研), 飯田一博 (千葉工大)

1 はじめに

受聴者本人の頭部伝達関数(HRTF)を鼓膜上で再現することで任意の方向に音像を制御できることが知られている[1]. また, Iida *et al.*[2]は, HRTF の振幅スペクトルの特定のピーク・ノッチで再構成したパラメトリック HRTF を提案し, それを用いて音像定位実験を行った. その結果, 第 1, 第 2 ノッチ(N1,N2)で再構成したパラメトリック HRTF で正中面内の音像制御が可能であることを示し, 上昇角知覚のスペクトラルキューが HRTF の N1, N2 であることを明らかにした. ただし, HRTF には耳介形状などによる個人差が存在する. 他人の HRTF を用いると, 前後誤判定や音像の上昇などがしばしば発生してしまう. したがって, 任意の方向について音像を再現するためには, すべての目標方向において HRTF の個人差の問題を考える必要がある.

Morimoto and Aokata[3]は, Fig. 1 に示すような矢状面座標系を提案し, 側方角と上昇角はそれぞれ両耳間差キューと正中面内の HRTF のスペクトラルキューによって独立に制御できるのではないかと仮説を立てた. Morimoto *et al.*[4]は, この仮説に基づき, 正中面内の実測 HRTF と両耳間差を用いて音像定位実験を行った. その結果, 上半球面内の音像制御が可能であることを示した. また, 東岡ら[5]は受聴者本人の全てのピーク・ノッチで再構成した正中面内のパラメトリック HRTF(all)と両耳間差を用いて音像定位実験を行い, 上半球面内の音像制御が可能であることを示した. これらのことは, HRTF の個人差の問題を正中面内の HRTF と両耳間差に限定できることを示している. なお, 両耳間時間差(ITD)については, 身体特徴量に基づく予測式が提案されている[6].

以上の知見から, 著者らは, 全てのピーク・ノッチを用いずとも, 上昇角知覚の手がかり

である N1, N2 で再構成した正中面内のパラメトリック HRTF と水平面の ITD だけで Morimoto *et al.*[4]や東岡ら[5]と同様の制御が可能ではないかと仮説を立てた. もしこの手法による 3 次元音像制御が実現できれば, HRTF の個人差の問題を正中面内の N1, N2 と水平面内の ITD に限定できる.

前報[7]で, 水平面(仰角 0°)内を目標方向とし, 被験者本人の N1, N2 で再構成した正面と真後ろのパラメトリック HRTF(N1,N2,P1)と水平面内の ITD を用いて音像定位実験を行った. その結果, 水平面内全周への音像制御が可能であることを確認し, HRTF の個人差の問題を正中面内の N1, N2 に限定できる可能性を示した. 本報では上半球正中面内 7 方向のパラメトリック HRTF (N1,N2,P1)と水平面内の ITD を用いて音像定位実験を行い, 上半球面内への音像制御が可能であるか検討した.

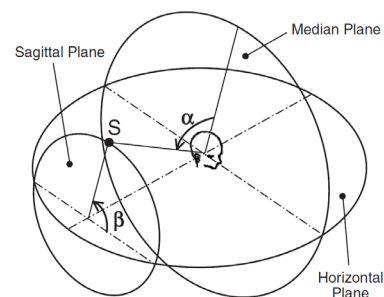


Fig. 1 Definition of the interaural-polar-axis coordinate system. α is the lateral angle and β is the vertical angle of a sound image S.

2 音像定位実験

2.1 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, パワーアンプ, オープンエア型ヘッドホン(AKG K-1000), A/D コンバータ, イヤーマイクロホンで構成した. 音源信号は 200 - 20000 Hz のホワイトノイズで, 刺激の提示時間は 1.2 秒

* Upper hemisphere sound localization using parametric head-related transfer functions in the median plane and interaural time differences in the horizontal plane, by ISHII, Yohji and IIDA, Kazuhiro (Chiba Institute of Technology).

(前後に 0.1 秒の立ち上がり／下がりを含む)である。実験で用いた HRTF は被験者本人の N1, N2, P1 で再構成した上半球正中面内 7 方向のパラメトリック HRTF(N1,N2,P1)である。N1, N2, P1 の抽出には飯田ら[8]が提案した手法を用いた。ITD は、水平面前方の右側(側方角 0, 30, 60, 90°)で測定した被験者本人の両耳の HRTF から両耳間相互相関度が最大となる時間差を用いた。刺激は、音源にパラメトリック HRTF (N1,N2,P1)を畳み込み、さらに ITD を付加した 28 種類である。全ての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 つのセクションに分けて行った。被験者は 20 代男性 2 名である。被験者はマッピング法で方位角と仰角を回答し、これを側方角と上昇角に変換して考察した。

2.2 実験結果

Fig. 2, 3 に回答結果を示す。回答結果は 5° 間隔にまとめてプロットした。図の半径方向は側方角を、円周方向は上昇角を表す。目標方向の側方角と上昇角はそれぞれ太線で示した。なお、全回答 560 回のうち、頭内定位したという回答が 3 回あった。

全体の傾向をみると、回答の側方角 α は、側方でややばらつくが、概ね目標方向に分布している。上昇角 β については、側方でややばらつくが、概ね目標方向に分布している。被験者 GMU は矢状面間で共通して $\beta=60, 90^\circ$ の刺激で回答がばらついた。

次に、各矢状面を目標方向とした場合ごとにみていく。側方角 $\alpha=0^\circ$ (正中面)では、被験者 ISY では、 $\beta=90, 120^\circ$ の刺激でやや前方方向に寄って回答する傾向がみられたが、その他の刺激では概ね目標方向に分布していた。被験者 GMU では、 $\beta=60, 90^\circ$ の刺激でやや回答がばらつくが、概ね目標方向に分布していた。

側方角 $\alpha=30^\circ$ の矢状面では、被験者 ISY では、概ね目標方向に分布していた。正中面定位の $\beta=90, 120^\circ$ の刺激でみられた回答のばらつきは減少した。被験者 GMU では正中面定位と同様に、 $\beta=60, 90^\circ$ の刺激で回答がばらつくが、その他の刺激では概ね目標方向に分布していた。

側方角 $\alpha=60^\circ$ の矢状面では、被験者 ISY では、回答の側方角がややばらつくが、概ね

目標方向に分布していた。被験者 GMU では、やや側方に寄って回答する傾向がみられた。また、正中面定位と同様に、 $\beta=60, 90^\circ$ の刺激で回答がばらついた。また、 $\beta=180^\circ$ の刺激で前後誤判定が 4 回みられた。

側方角 $\alpha=90^\circ$ では、被験者 ISY では、 $\beta=30, 60^\circ$ の刺激は概ね目標方向に分布していた。その他の刺激では、やや正中面方向に回答する傾向がみられた。被験者 GMU では、概ね目標方向に回答が分布していた。

以上をまとめると、側方角 $\alpha=30^\circ$ の矢状面では正中面定位と同程度の回答の分布の傾向であり、本研究の仮説を支持する結果が得られた。しかしながら、側方角 $\alpha=60^\circ$ の矢状面ではやや回答にばらつきがみられた。

次に、目標方向と回答方向の差をそれぞれの方向のなす角 θ (Fig. 4)で算出した。Table 1 に求めた全回答の平均値と、音源の側方角ごとの平均値を示す。

$$\theta = \arccos \frac{S \cdot R}{\|S\| \|R\|} \quad (1)$$

ここで、 S : 目標方向, R : 回答方向,

どちらの被験者も全回答の平均誤差は 20° 程度であった。被験者 ISY では、すべての矢状面で正中面定位の誤差と同程度であった。被験者 GMU では、 $\alpha=90^\circ$ で誤差が小さい。その他の矢状面では正中面定位の誤差と同程度であった。

各矢状面で正中面と同程度もしくはそれ以下の定位誤差であったことから、本研究の仮説を支持する結果が得られたと考えられる。

Table 1 Mean localization error in the angle between target direction and response direction (degree).

Subject	Average	Source angle α			
		0°	30°	60°	90°
ISY	18	22	16	17	18
GMU	20	20	27	24	9

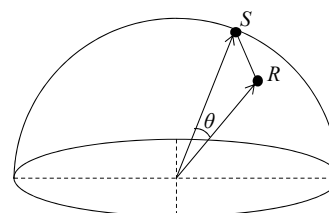


Fig. 4 Angle between target direction (S) and response direction (R), θ .

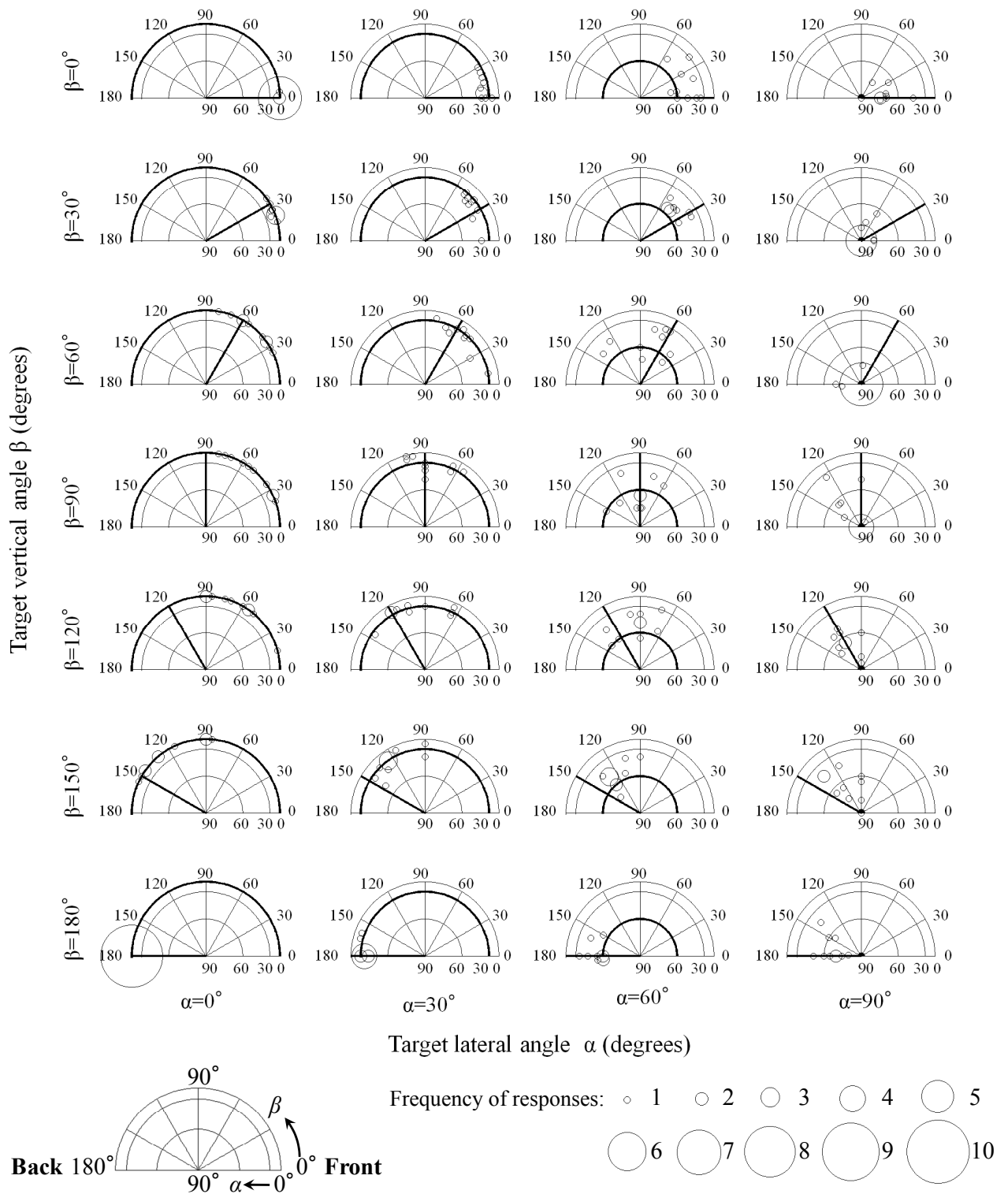


Fig. 2 Responses to the stimuli which simulated parametric HRTF(N1,N2,P1) in the median plane and interaural time differences in the horizontal plane for subject ISY.

3 結論

上昇角知覚の手がかりである第1, 第2ノッチで再構成した上半球正中面内のパラメトリック HRTF(N1,N2,P1)と水平面内の両耳間時間差によって上半球面内の音像制御が実現

できる可能性を示した。

今後は、各矢状面で実測した HRTF を用いて音像定位実験を行い、今回の結果と比較を行う。

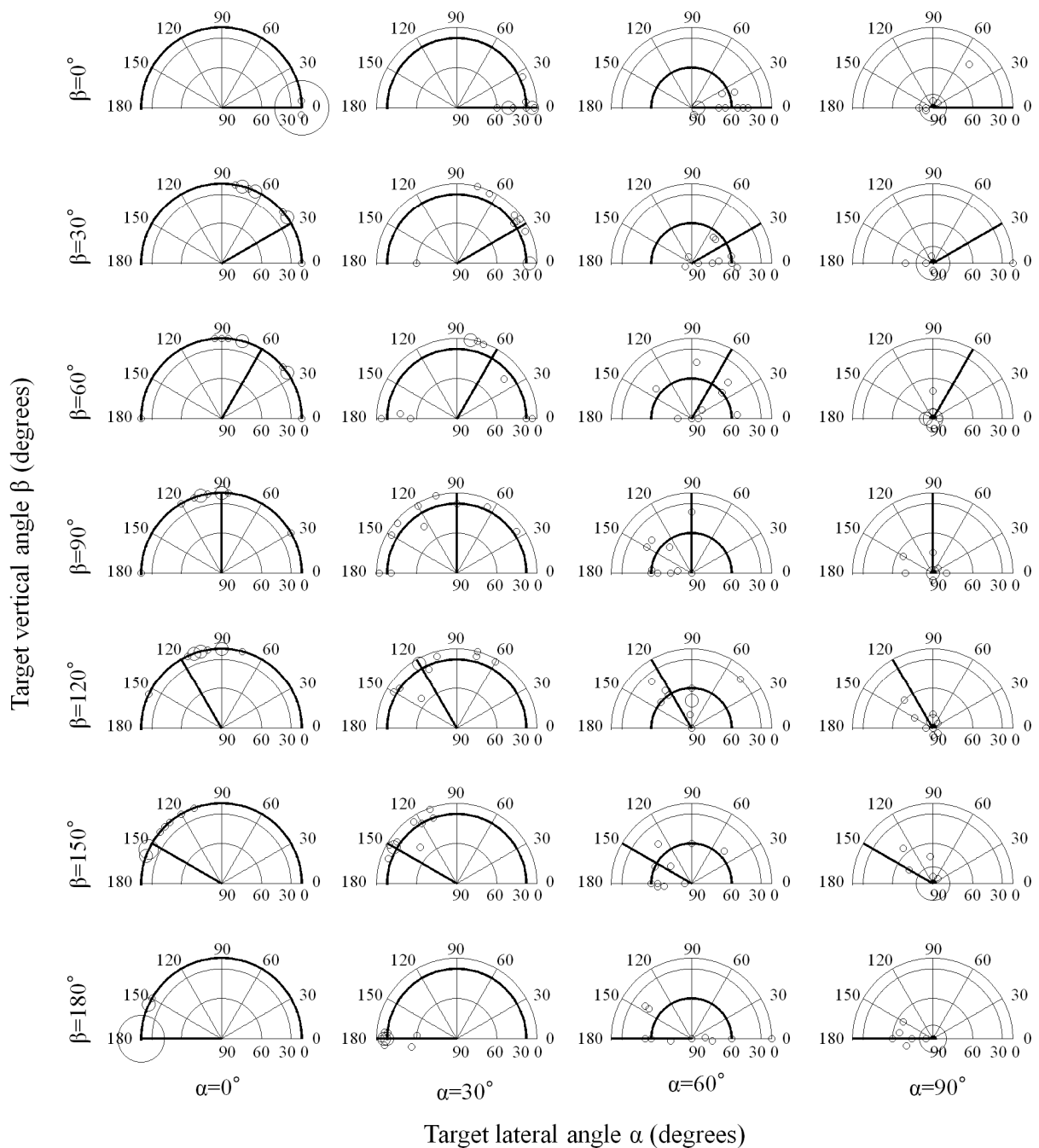


Fig. 3 As Fig. 2 for subject GMU.

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。

音像定位実験に協力を頂いた千葉工業大学飯田研究室の学生諸君に感謝する。

参考文献

[1] M. Morimoto and Y. Ando, J. Acoust. Soc. Jpn. (E), vol.1, pp. 167-174, 1980.
 [2] K. Iida *et al.*, Applied Acoustics, vol.68, pp. 835-850, 2007.

[3] M. Morimoto and H. Aokata, J. Acoust. Soc. Jpn. (E), vol.5, pp. 165 - 173, 1984.
 [4] M. Morimoto *et al.*, Acoust. Sci. & Tech., 24(5), pp. 267 - 275, 2003.
 [5] 東岡ら, 音講論(秋), pp. 531 - 534, 2009.
 [6] 渡邊ら, 音講論(秋), pp. 663 - 664, 2005.
 [7] 石井, 飯田, 音講論(秋), pp. 477 - 478, 2010.
 [8] 飯田ら, 音講論(秋), pp. 477 - 478, 2010.