

## 頭部を横に向けたときのHRTF\*

☆松永悟行, 平原達也 (富山県立大学)

## 1 はじめに

頭部伝達関数 (HRTF: Head-related Transfer Function) は頭部や耳介の形状だけではなく胴体の影響も受ける。実頭の HRTF スペクトルには音源と同側で 1.2 kHz 付近に肩からの反射に起因するスペクトルノッチが認められるが、胴体のないダミーヘッドの実測 HRTF スペクトル[1]や頭部形状から算出した HRTF スペクトル[2]にはそのようなスペクトルノッチはない。

頭部運動は音像定位を容易にする。動的バイノーラル信号を用いた音像定位実験では正面を向いた状態で計測・計算した HRTF を用いて頭部運動をシミュレーションしているが、実頭を運動させた場合と比較すると上述したような HRTF スペクトルを正確に再現していない。なぜならば、被験者に頭部を横に向けた状態を長時間保持させることは極めて困難なために、計測に長い時間を要する従来の HRTF 計測法では頭部を横に目標状態での HRTF 計測がされていないからである。しかし、短時間で HRTF が計測できる相反原理を用いた HRTF 計測法を利用することにより、これまで困難であった頭部を横に向けた状態の HRTF が計測できる。本報告では、我々が構築した 36 チャンネルの高速 HRTF 計測システム[3]を用いて頭部を横に向けた状態の HRTF を計測した結果について述べる。

## 2 計測システム

計測システムは、円周状のマイクロフォンアレイの中心に、耳栓スピーカを挿入した被験者を背もたれのない椅子に座らせたものである (Fig. 1(a))。マイクロフォンアレイは、マイクロフォンソケットに ECM (Primo, EM133) を装着したものを 10 度間隔で配置したものである (Fig. 1(b))。耳栓スピーカはイヤホン用のドライバとして使用される小型スピーカ (Knowles, DTEC-30008) をシリコン印象材に埋め込んだものである (Fig.1 (c)) [4]。

計測は内寸 3.24×3.54×2.30 m、暗騒音レベル 16.5 dB、室温 28°C の防音室で行った。インパルス応答計測用の TSP 信号は OATSP 信号を使用した。サンプリング周波数は 48 kHz、信号長は 65,536 点、加算平均回数は 20 回とした。

被験者の頭部を正面、左右それぞれ 20、40、60 度に向けたときの HRTF を計測した。頭部の向きを合わせる際はレーザー墨だし器を使用した。垂直方向のレーザーを鼻梁に合わせることで頭部の向きを、水平方向のレーザーを外耳道入口に合わせることで頭部の高さを調整した。

## 3 HRTF の計測結果

頭部を左 60 度から 20 度ずつ右 60 度までに向けたときの実頭左耳の HRTF のコンター図を Fig. 2 に示す。方位角は頭部を正面に向けたときのものを基準として、正面を 0 度、左側を負、右側を正の角度としたものである。

頭部を横に向けると HRTF スペクトルは頭部の旋回角度だけ方位角方向へシフトした。頭部を横に向けても 5 kHz 以上の HRTF スペクトルに変化は見られなかった。

一方、5 kHz 以下では、頭部を正面に向けたときの方位角 0~-90 度、1.3 kHz 付近に生じるスペクトルノッチ  $N_S$  は頭部を右に向けると低域側へ、頭部を左に向けると高域側へシフトした。方位角 0 度の HRTF に注目する



Fig. 1: Reciprocal system for HRTF measurement (a) Overview of system, (b) Close up of microphone, and (c) earplug speaker.

\* Horizontal head-related transfer function when a head turned away, by MATSUNAGA, Noriyuki and HIRAHARA, Tatsuya (Toyama Prefectural University).

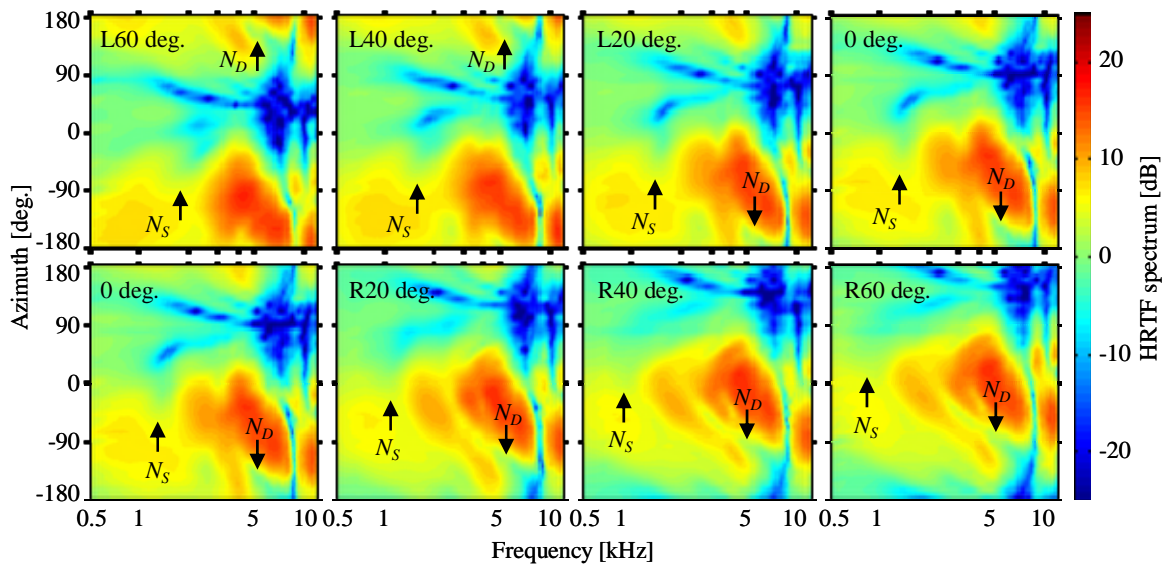


Fig. 2: HRTF contour patterns when subject's head turned from -60 degrees to 60 degrees.

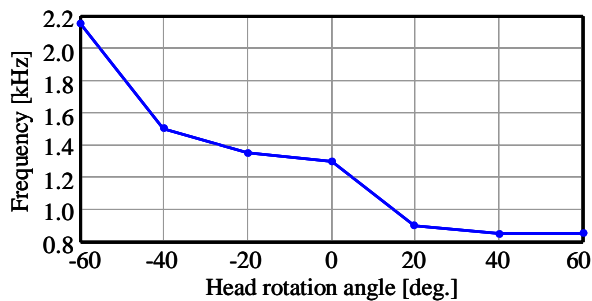


Fig. 3: Relationship between head rotation angle and frequency of HRTF spectral notch  $N_S$  at azimuth 0 degree.

と、 $N_S$  の生じる周波数は、頭部回転角が 40 度までは緩やかに高域にシフトするが、頭部回転角が 40 度以上となるとその変化は大きくなり、急に高域へシフトする。右を向く場合、頭部回転角が 20 度までは  $N_S$  の生じる周波数は大きく低域にシフトするが、20 度以上頭部を回転させるとその変化は小さくなり緩やかに低域へシフトした (Fig. 3)。また、 $N_S$  の深さは頭部回転角が -60 度のとき最も深く、60 度のとき最も浅くなった。

頭部が正面を向いているときの方位角 -120 ~ -180 度、5 kHz 付近のスペクトルノッチ  $N_D$  は頭部を右に向けると、方位角の正の方向に 2.5 kHz まで伸びた。しかし、頭部を左に向けても  $N_D$  は変化しなかった。

#### 4 考察

胴体が存在する場合、1.3 kHz 付近にスペクトルノッチ  $N_S$  が生じる。1.3 kHz の波長は約 27 cm で、この半波長は外耳道入口から肩までの距離に相当する。頭部を横に向けたとき

も同様に  $N_S$  の生じる周波数の波長と外耳道入口から肩までの距離に関係性があり、その距離が小さくなると  $N_S$  の生じる周波数は高くなり、大きくなると  $N_S$  の生じる周波数は低くなる。このように、 $N_S$  は肩からの反射波によって生じていることがわかる。

また、頭部を回転させることにより 5 kHz 付近のスペクトルノッチ  $N_D$  も変化するが、その成因は定かではない。

#### 5 まとめ

頭部を横に向けたときの実頭の HRTF を相反法によって計測した。その結果、頭部を横に向けることで外耳道入口から肩までの距離が変化し、5 kHz 以下の HRTF スペクトルが変化することがわかった。このスペクトルの変化の知覚的効果が合成バイノーラル音の音像定位に及ぼす影響については今後の課題である。

#### 参考文献

- [1] 平原達也 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), 68-85, 2009.
- [2] 大谷真 他, 水平面上の頭部伝達関数の距離依存性の数値的検討, *音響誌*, 63(11), 646-657, 2007.
- [3] 松永悟行 他, 相反法による近接場 HRTF の計測, *音講論(春)*, 1-5-2, 2010.
- [4] 松永悟行 他, 相反法による HRTF 計測の問題点, *信学技法(EA)*, 109(240), 107-112, 2009.