

7月号・峯岸英雄氏の ダミーヘッドマイクに関する投稿記事について

JAS ジャーナル編集委員
春井 正徳

1. はじめに

7月号の峯岸英雄様からの「ダミーヘッドを作ってみよう」の記事を興味深く拝見いたしました。愛らしいダミーヘッド達には何の偏見もありませんし、オーディオファンとして、自分の耳で聴かれて納得の音が取れているのなら何の問題もないのですが、日頃私が問題視している点について、気になった記載がありましたので、コメントさせていただきます。

2. 音源方向定位と頭部伝達関数

まずは、復習から。

「おい、〇〇さん！」と右斜め後方から声をかけられたとします。ほとんどの方は、迷わず右斜め後ろを振り向かれることでしょう。水平面上のどの方向から音が聞こえてくるかは、左右の耳に聴こえる音の大きさの差（両耳間レベル差）と音が到達する時間差（両耳間時間差）によって判断していると考えられます。詳しい話は、専門的な本（例えば文献[1]）に譲るとして、右の方から聴こえる音は、頭によって遮られない分、左耳より右耳の方が大きく聴こえるし、鼓膜に伝わるのも左耳より右耳の方が早いことは容易に想像できると思います。人間の耳は、というか、脳を含めた聴覚は、すばらしくて、左右の微妙な音の大きさの差や聴こえるタイミングの差を聴き分けて、数度の精度で音の到来方向を判別できるようです。これは、両耳間時間差でいうと、音源位置の5°の差を聴き分けられるとして10 μ secのオーダーで聴き分けていることになります。

ここまでの理屈で、ダミーヘッドを作って、バイノーラル録音をしようとする、何も人の頭の形に似せて作る必要はありません。人の頭とほぼ同じ大きさのボールに、おおよそ耳に当たる直径の両端位置に穴を開けてマイクを取り付ければ、両耳間レベル差と両耳間時間差とは記録できますので、その音をヘッドホンで聞けばある程度の左右の定位が得られます。

しかし、このボールのダミーヘッドは前後対称・上下対称なので、録音された音も、前から聴こえてくるのか、後ろから聴こえてくるのか、あるいは上から聴こえてくるのか、の判断ができません。もう一度、最初に戻って、「おい、〇〇さん！」と声をかけられたシーンを想像してみましょう。普通の聴力の持ち主ならば、右斜め後ろから声をかけられたのか、右斜め前方から声をかけられたのか、あるいは、2階から声をかけられたのか、判別できると思います。両耳間レベル差も両耳間時間差もほとんどないのにどうやって、前後・上下の判別を行うのでしょうか？そこに、人間の頭は、前後非対称、上下非対称で、その非対称を強調するかのよう、耳介がついていることが関わっていると考えられます。非対称なので、音の到来方向によって、周波数特性に差がでることがキーになります。もちろん音圧差も生じますが、周波数特性の差を聴き分けて前後・上下の判別をしていると考えられています。音が音源から外耳道入口まで伝わる際の周波数特性を頭部伝達関数（HRTF, Head Related Transfer Function）と呼んでいます。

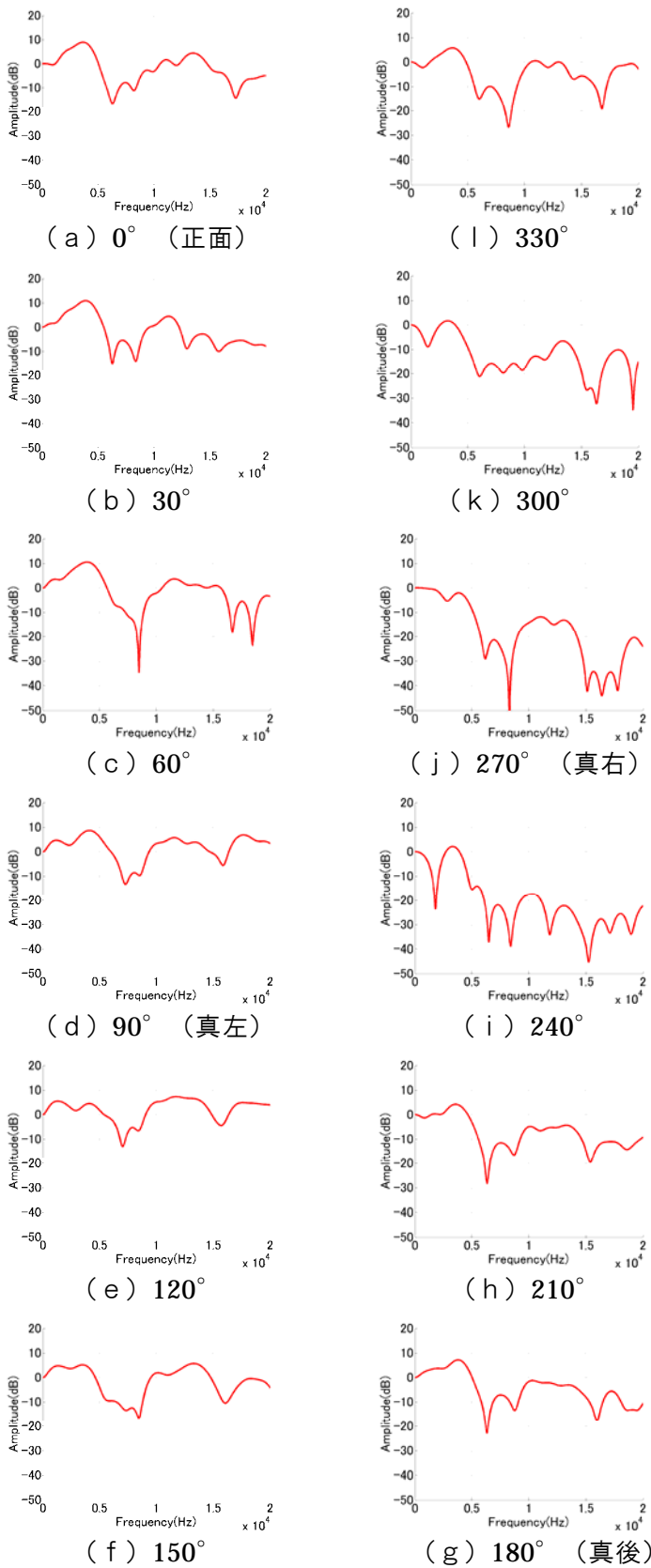


図1 筆者の左耳の HRTF
(水平面)

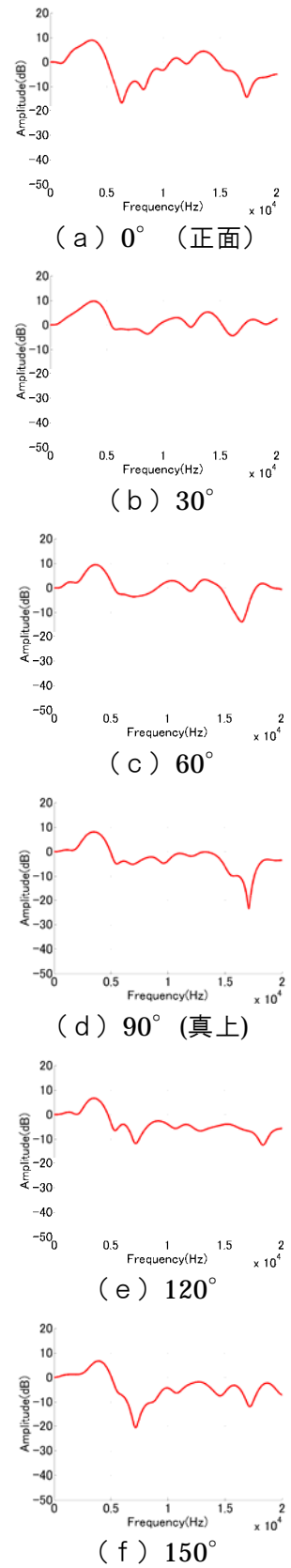


図2 筆者の左耳の HRTF
(正中面)

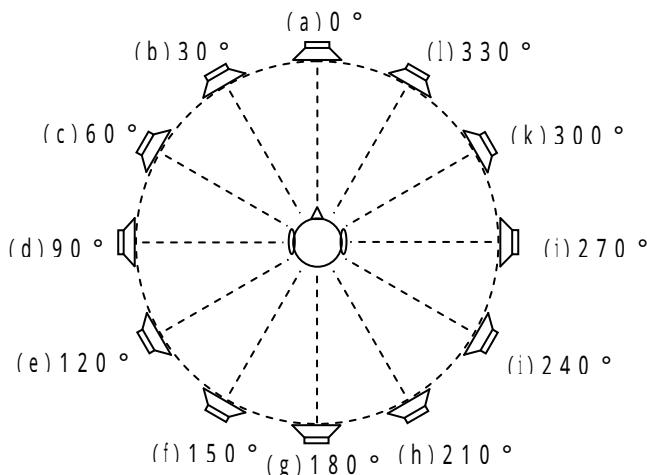


図3 水平面方向

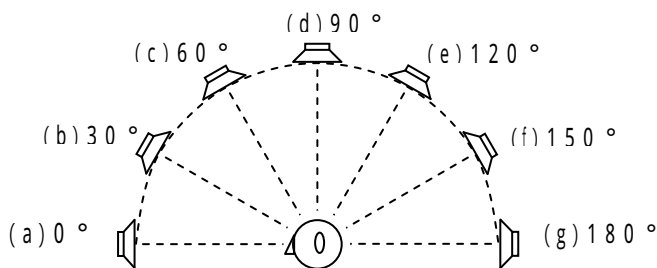


図4 正中面方向

筆者の左耳の HRTF を無響室で測定した結果を示します。図 1 は、図 3 に示すように耳の高さの水平面上で、音源を回転させたときの HRTF です。図 2 は、図 4 に示すように正面から頭の真上を經由して真後ろに至る面（正中面）での HRTF です。それぞれ 30° 間隔で表示しています。

縦軸は 1 目盛 10dB となっています。HiFi オーディオファンにとっては目を覆いたくなるような特性です。リスニングルームの定在波の影響による音響特性の乱れがしばしば問題になりますが、HRTF も同様に、あるいは、それ以上に無視出来ないと思います。両耳間レベル差と両耳間時間差は、あまり個人差は生じないのですが、厄介なことに、HRTF の個人差は非常に大きいようです。これは、主に耳の形状の個人差によるものと考えられています。

一般的な HRTF は、4kHz 辺りに大きなピーク（P1 と呼びます）があり、6kHz 以上の帯域にいくつかのディップがあります。この P1 にはあまり個人差がなく、耳介によって生じているのではなく、頭によって生じていると考えられます。それに対して、6kHz より上のディップは、現れる周波数も、ディップの深さも個人によってまちまちです。

ダミーヘッドでバイノーラル録音された音声を聴くときには、ダミーヘッドの HRTF とご自身の HRTF の差が問題になります。両耳間レベル差と両耳間時間差によって左右の定位が得られて、臨場感が増しますが、HRTF が合っていないと、前後、上下の定位が不明瞭になり、なによりも周波数特性が乱れた音声に聞こえます。このことはバイノーラル録音された音声、特に音楽を聴くときに大きな問題になります。

3. 峯岸氏の投稿記事について

作成されたダミーヘッドの周波数特性を測っておられましたが、測定方法によるものかダミーヘッドの特性によるものかわかりませんが、P1 も、6kHz 以上のディップも認められず、ノイズはあるものの比較的フラットな特性になっていました。その点が気になりましたので、コメントさせていただいた次第です。

実際の特徴がフラットなのだとしたら、ダミーヘッドの耳介の形状が適していないのではないかと思います。耳介の形がわかる写真が 2 枚ありましたが、ともに人間の耳介の形状に比べて平らで、外耳道入り口の位置もずれているように見受けられます。外耳道入り口周りの窪みの形

状が一番 HRTF に影響するようです。最近では DIY のお店で、耳型をとるのに必要な材料が揃いますので、一度ご自身と同じ形の耳の付いたダミーヘッドを試されてみては如何でしょうか。自分ひとりで自分の耳型を取るのには難しいのが問題ですが、手間をかけただけの効果は得られると思います。ただ、P1 は耳介の形状に依らずに、頭によって生じると考えられますので、本編で説明した測定方法を採用した場合にはこのピークがないことが説明できません。

仮に、反射のある部屋でホワイトノイズを流して測定したとするとこのピークが生じないのかもしれませんが。試しに、図 1 に示した水平面 12 方向の HRTF を平均したグラフを図 5 に示します。この図でも、P1 は認められ、音の到来方向に関わらず、P1 は生じますので、測定環境だけの問題とも言えないようです。

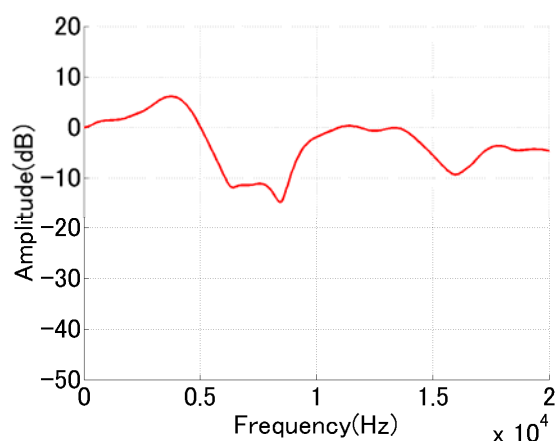


図 5 水平面の HRTF の平均

5. 課題提起

定位の問題を無視したとしても、HRTF による周波数特性の乱れはもっと問題にされるべきではないでしょうか。スピーカで再生された音声を聴く場合は、音源の信号に部屋の特性と HRTF とが掛け合わされた音声を聴くことになります。スピーカと部屋の相性がよくて、再生される音声をダミーヘッドでない普通のマイクで測定したときの周波数特性がいくらフラットでも、図 1 と図 2 に示したようにフラットとは程遠い HRTF を掛け合わせるので、外耳道入り口での音声はフラットになりません。

人間の脳の学習効果によって、自分の HRTF を掛け合わされた音声をフラットと感じるような補正が働いているのでしょうか？ そうだとすると、ヘッドホンでフラットな音声を聴くと、HRTF の逆関数分だけ、フラットでない音声になります。もう少し厳密に言えば、オーバーヘッドホンの場合、更にヘッドホンから外耳道入り口まで、耳介の形状の影響を受けた伝達特性が掛け合わされます。この伝達特性は、耳からの距離の離れたスピーカからの HRTF とは異なります。

インナホンやカナルホンの場合は耳介の形状に依存した伝達特性の影響は受けませんが、外耳道の入り口を塞いでしまうため、音響管としての外耳道の共振周波数が 2 倍高くなるという影響があります。

市販のヘッドホンでもこの辺りの特性はある程度補正した上で音響特性を決められていると思いますが、如何せん、個人差までは補正し切れません。HiFi なヘッドホンオーディオには、個

人の種々の伝達特性を測定した上で、その補正をする機能が必要ではないでしょうか。それに、左右のクロストークを、両耳間レベル差と両耳間時間差を考慮して加えてやれば、理想に近い頭外定位ヘッドホンが出来ます。個人の伝達特性補正の施された頭外定位ヘッドホンこそ、理想の HiFi ヘッドホンと思うのですが、如何でしょうか？

謝 辞

HRTF の測定にご協力をいただいた、国立大学法人東北大学電気通信研究所鈴木研究室に深く感謝いたします。

文 献

[1] 飯田一博、森本政之 編著 “空間音響学”

筆者プロフィール

春井 正徳 (はるい まさのり)



1960 年生まれ。1983 年京都大学卒。

同年松下電器産業株式会社（現パナソニック株式会社）入社。

CD プレーヤ用 IC、1 ビット DAC、デジタルオーディオ信号処理の開発に従事。現在は AVC 機器の製品環境法令担当。

趣味はウルトラマラソン。