

耳介の側面観で陰になる部分が伝達関数に及ぼす影響

☆金子祐太郎, 竹本浩典 (千葉工大)

1 はじめに

精度の高い3次元音像制御を実現するためには、個人に最適な頭部伝達関数 (Head-Related Transfer Function: HRTF) を用いる必要がある。特に、正中面では、HRTF の第1, 2ピーク (P1, P2) と第1, 2ノッチ (N1, N2) が音像の上昇角知覚の手掛かり (スペクトラルキュー) として重要[1]である。

そこで、個人に最適な HRTF を簡便に提供するために、側方から耳介をカメラ等で撮影し、耳介形状を計測することで得られる形状パラメータから重回帰により HRTF を生成する研究[2]が進められている。しかし、形状パラメータには奥行情報や耳介の陰となる部分の情報に含まれていない。生成する HRTF の精度を向上させるためには、これらの情報を検討する必要がある。

本研究の目的は、側方より耳介を撮影したときに陰となる部分が伝達関数におよぼす影響について検討することである。そのために、耳介の3次元形状モデルを用いて陰となる腔の部分埋めて伝達関数へ及ぼす影響をシミュレーションしたので報告する。

2 材料と方法

2.1 耳介形状

磁気共鳴画像法で撮像した男性4名 (M1~M4) と女性4名 (F1~F4) の頭部の3次元形状データから左耳周辺を切り出した形状 (ORG) を材料に用いた。全被験者に対して、側面観で ORG の陰になる全てのボクセルを埋めたモデル (SHD) を作成した。Fig. 1 は F1 の ORG の形状と ORG で耳介と陰となる部分のボクセルである。

2.2 PRTF の計算

正中面 HRTF は耳介形状から計算された耳介伝達関数 (Pinna-Related Transfer Function : PRTF) で近似できる[3]。そこで、本稿では ORG と SHD から時間領域差分法[3]で PRTF を計算し、それぞれ TF_{ORG} , TF_{SHD} として比較する。

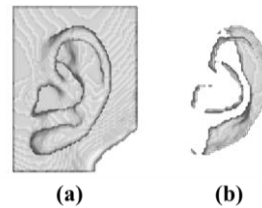


Fig. 1 F1 の ORG (a), F1 の ORG で耳介の陰となる部分のボクセル (b)

PRTF の計算は、まず、外耳道入り口に音源点を置き、音源点と同じ矢状面にあつて音源点から半径 10 cm の円周上に 10° 間隔で 36 の観測点を置いた。次に、相反定理により、観測点から音源点までのガウシアンパルス応答を計算した。そして、ガウシアンパルスの特性を除去して PRTF を求めた。なお、空間離散化間隔は 1 mm とし、時間離散化間隔は $1.00 \mu s$ とした。

2.3 スペクトラルキューの抽出

仰角 γ 方向 (仰角 $0 \sim 180^\circ$, 30° 間隔) の TF_{ORG} の第1, 2極大値を P1, P2, 第1, 2極小値を N1, N2 とした。 TF_{SHD} の P1, P2, N1, N2 (以下, P1P2N1N2) は、 TF_{ORG} の P1P2N1N2 とスペクトル上で対応する極大値, 極小値とした。

2.4 P1P2N1N2 周波数とレベルの変動量

各被験者の仰角 γ 方向で、 TF_{ORG} に対する TF_{SHD} の P1P2N1N2 周波数とレベルの変動量を求めた。なお、周波数の変動量はオクターブで求めた。

3 結果と考察

Fig. 2 は M2 の TF_{ORG} と TF_{SHD} のパワースペクトルである。横軸が周波数, 縦軸が仰角で色相がレベルを示す。ピークのレベルは、低い周波数領域では減少し、高い周波数領域では増加した。特に $5 \sim 12$ kHz の帯域の 0 度以下と 180 度以上の仰角のピークのレベルは低下し、 12 kHz 以上の帯域ではほとんど全ての仰角でピークのレベルが増加した。一方、ノッチのレベルは、N1 では 90 度以下と 180 度以上で増加 (浅くなる) し、それ以外の仰角では変化しないか減少 (深くなる) した。N2

* Effects of shadow parts of the pinna from lateral view on transfer functions, by KANEKO, Yûtarô, and TAKEMOTO, Hironori (Chiba Institute of Technology).

ではほとんど全ての仰角で増加した。これらの傾向は多くの被験者で共通していた。

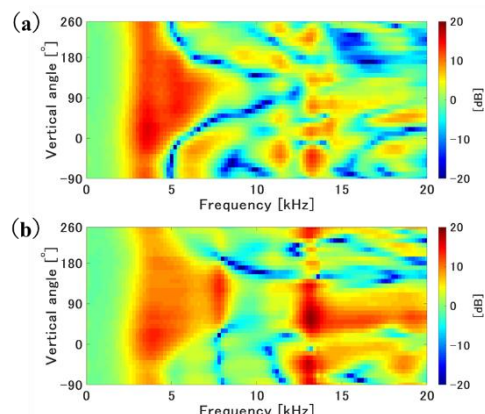


Fig. 2 M2 の TF_{ORG} (a)と TF_{SHD} (b)

3.1 P1P2N1N2 周波数の比較

Table. 1 は全被験者の仰角 0° における P1P2N1N2 周波数の変動量を示す。変動量は全被験者で正、すなわち耳介の陰になる部分を埋めると周波数は上昇した。他の仰角でもごく少数の例外を除き、周波数は上昇した。これは、耳介の陰になる部分を埋めることにより、元の耳介に比べて耳介が小さくなったためと考えられる。特に、P2 周波数の変動量は全被験者（8名）の仰角 7 方向、計 56 の変動量のうち 32 で、P1N1N2 周波数の変動量より大きくなった。すなわち、耳介の陰となる部分を埋めると、P2 周波数が顕著に変動したことを示す。なお、N1N2 周波数は音像の上昇角知覚に参与し、正面方向の弁別閾は 0.1~0.2 オクターブ程度[4]である。Table. 1 が示すように、N1N2 周波数の変動量は 8 名中 5 名で弁別閾を超えていた。これは、耳介の影になる部分を埋めた耳介形状から得られた HRTF では、被験者によっては音像定位精度に問題が生じることを示す。

Table. 1 全被験者の仰角 0° における P1P2N1N2 周波数の変動量[oct], 赤 : N1N2 周波数の変動量が 0.2oct 以上

被験者	F1	F2	F3	F4	M1	M2	M3	M4
P1	0.07	0.13	0.06	0.07	0.22	0.08	0.07	0.07
P2	0.32	0.26	0.19	0.18	0.51	0.19	0.60	0.15
N1	0.27	0.23	0.08	0.08	0.44	0.44	0.04	0.08
N2	0.15	0.21	0.13	0.13	0.34	0.08	0.20	0.10

3.2 P1P2N1N2 レベルの比較

Table. 2 は全被験者の仰角 0° における P1P2N1N2 レベルの変動量を示す。全被験者で P1 レベルは減少し、N2 レベルは増加した。一方、P2 と N1 のレベルの変動に共通した傾向は見られなかった。全被験者（8名）の仰角 7 方向、計 56 の変動量のうち、レベルが増加したのは P1 で 1、P2 で 20、N1 で 31、N2 で 40 であった。これに加え、浅くなってノッチが消失したのは N1 で 4、N2 で 2 であった。すなわち、レベルは P1 では減少し、N1 と N2 では増加する傾向があった。P1 レベルの減少は、耳介の陰になった部分を埋めることにより、共鳴腔である耳甲介腔が浅くなったためと考えられる。N1、N2 レベルの増加は、耳介に生じる節と腹の位置が変動したためと考えられる。

Table. 2 全被験者の仰角 0° における P1P2N1N2 レベルの変動量[dB]

被験者	F1	F2	F3	F4	M1	M2	M3	M4
P1	-1.5	-2.0	-1.2	-1.2	-1.0	-2.5	-1.1	-1.7
P2	6.6	-1.1	1.6	6.0	-2.8	-4.5	-2.8	1.6
N1	7.9	-1.3	5.3	-1.6	1.2	0.0	-2.6	-11.5
N2	7.0	6.0	1.0	8.6	12.4	4.2	9.0	5.5

4 まとめ

本稿では耳介の陰となる腔の部分を埋めることが伝達関数におよぼす影響を検討した。その結果、P1P2N1N2 の周波数は上昇し、特に P2 で顕著であった。また、正面方向の N1N2 周波数の変動量は半数の被験者で弁別閾を超えていた。さらに、P1 レベルは減少し、N1N2 レベルは増加、すなわちノッチが浅くなる傾向が見られた。

謝辞

本研究はJSPS科研費 JP19K12068の助成を受けた。

参考文献

- [1] Iida *et al.*, Applied Acoustics, 129, 239-247, 2018.
- [2] Iida *et al.*, Applied Acoustics, 155, 280-285, 2019.
- [3] Takemoto *et al.*, JASA, 132, 3832-3841, 2012.
- [4] 石井他, 音講論 (春), 581-584, 2010.