

3—5—18 方向決定帯域と頭部伝達関数との関係について
 - II 方向決定帯域とマスキングを考慮した卓越周波数帯域との関係* -

○飯田一博, 伊藤元邦(松下電器), △西久保進一, 森本政之(神戸大・工)

1. はじめに

Blauert は前後方向の HRTF の振幅スペクトルを帯域ごとに比較し, 一方の帯域レベルが他方に対して有意に大きい場合, その帯域を卓越周波数帯域(Boosted Band)と呼び, それが方向決定帯域(Directional Band)と一致すると報告している[1]. さらに, 音源信号が広帯域信号の場合, 知覚される音像の方向は耳入力信号のパワーが最大となる周波数によって決定され, それは方向決定帯域と一致するという仮説を示した.

しかし, Blauert は, 10 名の被験者の平均値を用いて考察しており, 前報[2]で示した方向決定帯域や HRTF の個人差の影響は考慮されていない. また, 前後 2 方向だけの HRTF の比較により上記の仮説を導いており, 正中面の任意の方向に対して, 同様のことが言えるかについても明らかでない.

本報では, 各被験者の方向決定帯域と HRTF との関係を検証者ごとに検討する.

2. 方向決定帯域と卓越周波数帯域の関係

まず, 方向決定帯域と HRTF から算出した帯域レベルとの関係を検討した. HRTF は ear-mic[3]を用いて測定した. ear-mic は被験者毎に外耳道の型を採取し, その逆型にシリコンと直径 5mm の小型コンデンサマイク (松下 WM-64AT102) を注入して作成した. このマイクを外耳道に挿入すると, シリコンにより外耳道を塞いだ状態で, 外耳道入口で HRTF を測定できる(blocked entrance). 無響室において, このマイクを用いて各被験者の正中面内 7 方向(正面 0° - 真後ろ 180°まで 30°間隔)の HRTF を測定した. Fig. 1 に HRTF の帯域レベルの測定結果の一例(被験者 A)を示す. この被験者は, 前報[2]の Fig.3 に示したように約 3kHz 以下は前方または上方の方向決定帯域で, 11.2kHz が後方の方向決定帯域となっている. Fig.1 によると, 3kHz 以下では前方または上方のレベルが卓越しており, 方向決定帯域と卓越周波数帯域は一致している. 一方, 11.2kHz では, 30°方向の帯域レベルが卓越しており, 方向決定帯域と卓越周波数帯域は一致しない.

同様に, 多くの被験者で 6.3 - 10kHz が上方の, 10 - 12.5kHz が後方の方向決定帯域となっている

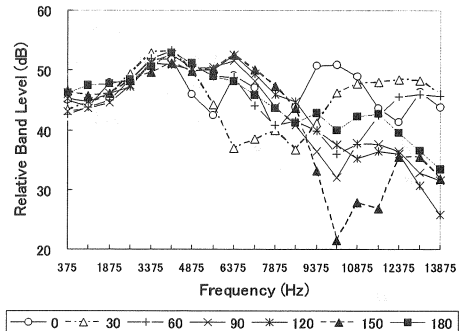


Fig. 1. Relative band level of HRTFs (subject A).

が, これらの周波数帯域では, 前方の帯域レベルが大きくなり, 単純な帯域レベルでは, 方向決定帯域との関連を説明できない. Blauert が示した卓越周波数帯域と方向決定帯域が一致するのは, 約 5kHz 以下だけであった.

3. 方向決定帯域とマスキングを考慮した卓越周波数帯域との関係

3.1 仮説

正中面内の HRTF は, 約 5kHz 以下では頭部(回転楕円体)が支配的であるが, 5kHz 以上では Pinna の影響が支配的となり, 方向に依存した顕著なピークディップが生じる. 各被験者の 5 kHz 以上の上方および後方の方向決定帯域付近の HRTF を詳細に観察すると, 多くの場合において, 方向決定帯域に隣接する低い側の周波数帯域にディップが生じていることがわかった. このディップが及ぼす影響として, 隣接する高い周波数へのマスキングの低減と, それによる感覚レベルの上昇が考えられる. そこで, 次の仮説を設定した.

仮説: 方向決定帯域は, HRTF 上でその帯域の感覚レベルが最大となる方向に生じる.

3.2 同時マスキングを考慮した帯域レベル(MBL)の算出方法

上記仮説を検証するため, マスキングを考慮した帯域感覚レベル (Masked Band Level, 以下 MBL と表記) を各被験者の HRTF から算出した. 算出過程は, (1)HRTF の帯域レベル算出, (2)マスキ

* On the relation between directional bands and HRTFs. - II. The relation between directional bands and boosted masked level bands

By K. IIDA, M. ITOH (AV Core Technology Development Center, Matsushita Electric Ind. Co., Ltd), S. NISHIKUBO, and M. MORIMOTO (Fac. of Eng., Kobe Univ.)

グ量算出, (3)MBL 算出の 3 つからなる。マスキング量は, ISO/IEC MPEG-1 Psychoacoustic Model [4]に基づき, 等間隔な(750Hz)帯域ごとに算出した。その概略は以下に示すとおりである。

- (1) 各周波数成分を, 純音性成分(tonal component)と非純音性成分(non-tonal component)に分類。
- (2) 分類された各成分のうち, 最小可聴値以下の成分, および互いに近接する tonal component のうちレベルが小さい方の成分を間引く。
- (3) 各成分について, 周辺周波数への個別マスキング量 LT_{tm} , LT_{nm} を算出。
- (4) 各個別マスキング量, ならびに最小可聴値を足し合わせるにより, 帯域ごとの総マスキング量 LT_g を算出。

算出された総マスキング量をもとに, バンド感覚レベル MBL は以下の式により求める。

$$MBL(k) = BL(k) - LT_g(k)$$

ここで, BL は帯域レベルを表す。

3.3 算出結果と考察

上記手法により求めた MBL の一例 (被験者 A) を Fig.2 に示す。約 5kHz 以下では, MBL の方向による差異は帯域レベルの場合とほぼ同じである。一方, 後方の方向決定帯域である 10 - 12kHz 付近においては, 180°の MBL が他の方向と比べて大きくなっていることが分かる。

Fig.3 は, 11.2kHz(後方方向決定帯域)の帯域レベルと MBL を角度の関数として示したものである。ここでは, それぞれの 0°方向を基準とした相対値である。単純な帯域レベルでは, 30°で最大値をとるのに対し, MBL では 180°で最大となっている。つまり, 方向決定帯域の方向は, HRTF 上で MBL が最大となる方向と一致している。この結果は本研究で設定した仮説を支持している。

4. 考察

約 5kHz 以下で方向決定帯域と単純な帯域レベルでの Boosted Band が一致したのは, この周波数帯域の HRTF は頭部(回転楕円体)が支配的であり, 顕著なピークディップ生じず, マスキングの方向依存性が低いためと考えられる。

一方, 5kHz 以上では, 入射方向と被験者に依存したピークディップが HRTF 上に現れる。Hebrank and Wright[5]は HRTF 上のピークとディップの双方が音像方向と関連していると述べているが, ピーク周波数だけではなく, ディップ周波数も関与するという事は, Blauert の卓越周波数帯域の概念では説明できなかった。本研究で設定した仮説に基づけば, ディップ周波数の存在により隣接の高い周波数への同時マスキングが低減され, 隣接帯域の感覚レベルがピークを形成すると解釈することが可能である。

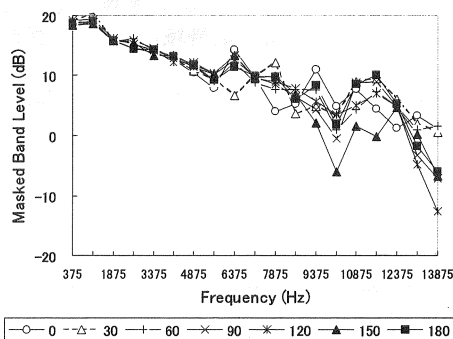


Fig.2. Band sensation level of HRTFs (subject A).

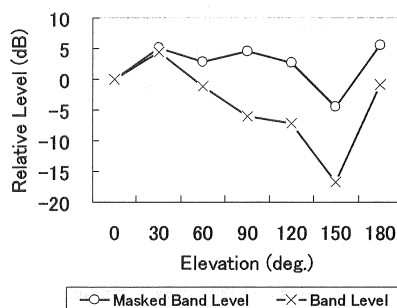


Fig.3 Comparison between band level and masked band level of a "rear" directional band of subject A (11.2kHz).

5. まとめ

方向決定帯域と頭部伝達関数との関係について個人ごとに分析を行い, 以下のことを明らかにした。

- (1) Blauert が提唱した卓越周波数帯域と方向決定帯域が一致するのは約 5kHz 以下だけである。
- (2) 同時マスキングを考慮した帯域レベル(MBL)の概念を導入し, 「HRTF から算出した MBL が最大となる方向と, 方向決定帯域の方向が一致する」という仮説を設定した。各被験者の HRTF から MBL を算出し検証したところ, 上記仮説を支持する結果が得られた。

文献

- [1] J. Blauert, *Acustica* 22, 205-213 (1969/70).
- [2] 伊藤他, 音講論, 545-546 (2004.9).
- [3] 飯田他, 音講論, 295-296 (2000.9)
- [4] ISO/IEC 11172-3:1993(E), 109-127
- [5] J. Hebrank and D. Wright, *JASA*, 56, 1829-1834 (1975).