

方向決定帯域を卓越させた広帯域信号による音像定位

- ヘッドホン再生による検証 -*

☆竹内彩乃, 飯田一博 (千葉工大)

1 はじめに

広帯域信号に対する前後・上下方向の知覚の手がかりは、頭部伝達関数の振幅スペクトル(スペクトラルキュー)であることが知られている[1]。さらに、ノッチとピークを組合せたパラメトリック頭部伝達関数を用いた音像定位実験により、2つのノッチ(N1・N2)と2つのピーク(P1・P2)がスペクトラル・キューとして重要な役割を果たしていることが報告されている[2,3]。

一方、狭帯域信号については、Blauert[4]が正中面内の前方、上方、後方からランダムに提示して音像定位実験を行い、どの方向から提示しても特定の方向に知覚する周波数帯域があることを報告し、この帯域を方向決定帯域と呼んだ。

このように、広帯域信号と狭帯域信号で異なる手掛かりが報告されている。前報[5]では、正中面に配置したスピーカから前方・上方・後方のいずれかの方向決定帯域に相当するスペクトルのエネルギーを卓越させた広帯域信号を提示して音像定位実験を行った。この刺激には、卓越した帯域には方向決定帯域の情報があり、その他の広帯域部分には音源方向のノッチの情報が含まれている。被験者は、卓越量が12 - 18 dBまでは1つの音像を音源方向に知覚し、それ以上卓越すると音像が分離し、2つの音像を音源方向と方向決定帯域の方向にそれぞれ知覚した。これより、1つの音像を知覚する場合は、上昇角知覚に与える影響としては、卓越周波数帯域よりもノッチが強いと考えられる。一方、音像分離する場合は、ノッチと卓越周波数帯域のそれぞれが上昇角知覚に影響すると考えられる。

しかし、ヘッドホン再生のようにノッチ情報のない場合の広帯域信号に対して、卓越周波数帯域が上昇角知覚に及ぼす影響は明らかではない。本研究では、方向決定帯域に相当するスペクトルのエネルギーを卓越させた広

帯域信号をヘッドホンにより提示して音像定位実験を行った。

2 実験方法

実験は消灯した防音室で行った。実験システムは、PC(Lenovo G510)、オーディオインターフェイス(FireFace 800, FireFace UFX)、パワーアンプ(Marantz)、マイクアンプ(EDIROL)、耳栓型マイクロホン、ヘッドホン(AKG-K1000)で構成した。

200 Hz - 17 kHzの広帯域白色雑音に以下に示す13種類のフィルタを畳み込んで音源信号とした。

- 1) all-pass フィルタ
- 2) 本人 HRTF(90°, 180°)
- 3) 中心周波数 8 kHz(上方の方向決定帯域)または 1.25 kHz(後方の方向決定帯域)の 1/3 oct. band-pass フィルタ
- 4) 中心周波数 8 kHz または 1.25 kHz の 1/3 oct. band のレベルを $\Delta L = 6 - 24$ dB の範囲で 6 dB の間隔で卓越させた(band-boost)フィルタ(Fig.1)

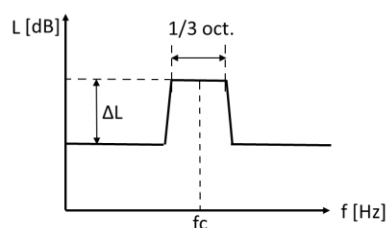


Fig. 1 フィルタの周波数特性

被験者はヘッドホンと耳栓型マイクロホンを装着し、M系列信号を用いて再生系の伝達特性 $G(\omega)$ を測定した。測定後耳栓型マイクロホンを取り外し、刺激 $P(\omega)$ を式(1)によって算出し、被験者に提示した。

$$P(\omega) = S(\omega) \times F(\omega)/G(\omega) \quad (1)$$

ここで、 $S(\omega)$ は音源信号、 $F(\omega)$ はフィルタである。

*Sound localization of broad band signal boosted in directional bands – Localization tests through headphones -, by TAKEUCHI, Ayano, and IIDA, Kazuhiro (Chiba Institute of Technology).

作成した刺激 13 種類をランダムに提示したものを 1 試行とし、全 10 試行を行った。1 つの刺激は 3.2 秒(前後に立上がり/立下り 0.1 秒を含む)である。被験者は正常な聴力を持つ 20 代男女 5 名である。被験者は知覚した音像の上昇角をマッピング法により回答した。被験者には音像分離が発生した場合「1 つ目の音像」が低い方の音、「2 つ目の音像」が高い方の音となるよう回答してもらった。

3 実験結果

3.1 回答分布

回答結果を 5° 間隔で丸め、各刺激の回答分布を 1 つの音像を知覚した場合と、音像が分離し 2 つの音像を知覚した場合に分けて分析した。Fig.2, 3 に代表的な被験者 OOT, SNK の結果を示す。

被験者 OOT(Fig.2)においては、1 つの音像を知覚した場合(8 kHz)(a)の all-pass では音像を上方もしくは後方に回答している。本人 HRTF(90°)では上方に回答している。band-pass では上方に回答し、Blauert の方向決定帯域と一致している。band-boost では、上方から後方にかけて音像を知覚した。これは all-pass とほぼ同様の傾向である。1 つの音像を知覚した場合(1.25 kHz)(b)では、本人 HRTF(180°)では後方に回答している。band-pass では後方に回答し、Blauert の方向決定帯域と一致している。band-boost では、上方から後方にかけて音像を知覚した。これは all-pass とほぼ同様の傾向である。

音像分離した場合(8 kHz)(c)では、18 dB 卓越以上で音像分離が発生するが、その発生回

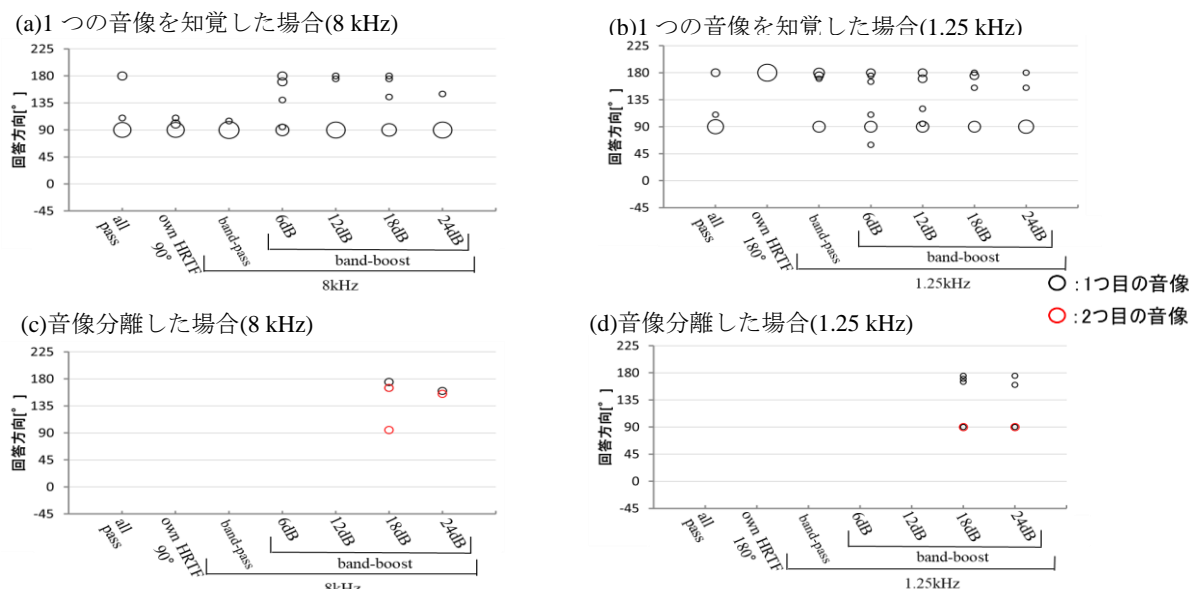


Fig.2 被験者 OOT の回答分布

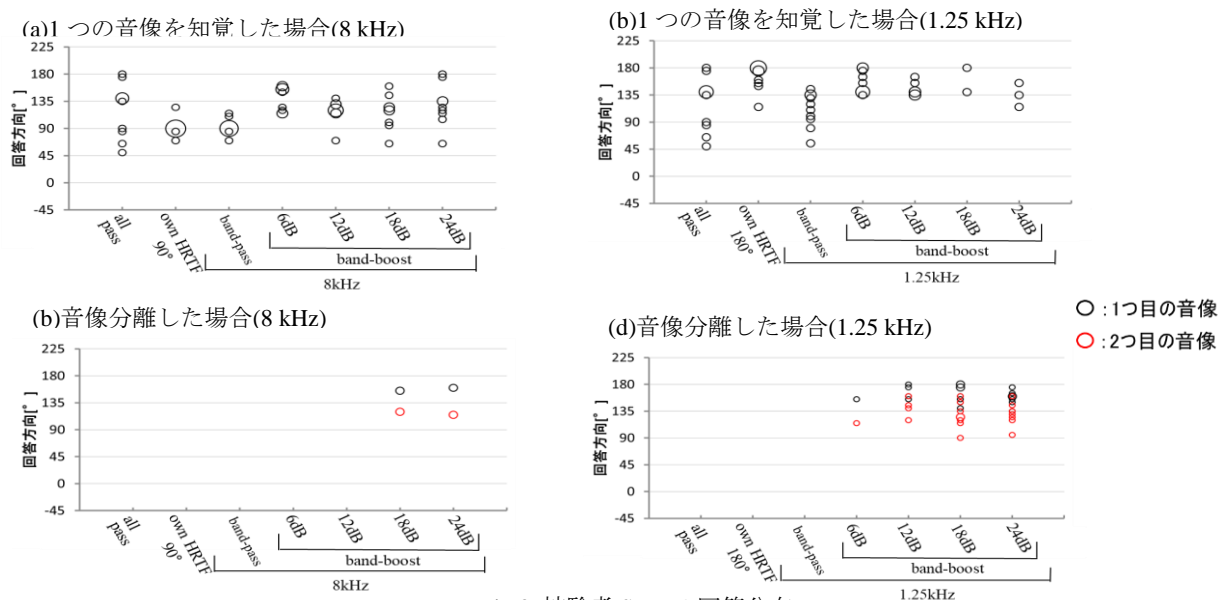


Fig.3 被験者 SNK の回答分布

数は少ない。知覚方向としては上方もしくは後方に回答している。音像分離した場合(1.25kHz)(d)でも同様に18 dB 卓越から音像分離が発生するがその発生回数は少なく、知覚方向も上方もしくは後方に回答している。

被験者 SNK(Fig.3)においては、1つの音像を知覚した場合(8 kHz)(a)では、all-pass は特定の方向には知覚せず 45° - 180°の間で広く回答した。本人 HRTF(90°)では上方に回答している。band-pass では上方に回答し、Blauert の方向決定帯域と一致している。band-boost では、上方から後方にかけて音像を知覚し、卓越量が多くなると all-pass と同様の傾向を示した。1つの音像を知覚した場合(1.25 kHz)(b)において、本人 HRTF(180°)では後方に回答している。band-pass では上方から後方にかけて知覚した。band-boost では、概ね後方に回答した。

音像分離した場合(8 kHz)(c)では、18 dB 卓越以上で音像分離が発生するが、その発生回数は少ない。知覚方向としては上方から後方にかけての範囲で回答した。音像分離した場合(1.25 kHz)(d)では、6 dB 卓越から音像分離が発生し卓越量が大きくなるにつれ音像分離の発生回数も増えた。知覚方向は上方から後方に広く回答した。

以上まとめると、1つの音像を知覚した場合においては、band-boost の回答は概ね all-pass の回答と同様の傾向を示した。

3.2 回答方向の偏り(前方・上方・後方)の判定

被験者の回答した上昇角 β を各刺激で前方 ($\beta \leq 45^\circ$)、上方 ($45^\circ < \beta \leq 135^\circ$)、後方 ($135^\circ < \beta$) の3方向に振り分け、各刺激の振り分けた回答数で、回答数の一番多い方向と他の2方向の回答数の和の2つに分類し、二項検定を行った。その結果、回答数の一番多い方向が、他の2方向の回答数の和より有意に多いとみなせた場合、回答方向に偏りがあると判定した。その結果を Table 2, 3 に示す。

(a)は1つの音像を知覚した場合、(b)は音像分離した場合の1つ目の音像(低い方の音)、(c)は音像分離した場合の2つ目の音像(高い方の音)であり、(b)(c)については全被験者で音像が分離していない刺激は表から除外した。赤・青・緑の網掛けはそれぞれ前方・上方・後方に偏りがあると判定されたことを表す。

グレーの網掛けは回答がなかったことを表す。

中心周波数 8 kHz(Table 2)について1つの音像を知覚した場合(a)では、all-pass は2名(OOT, TKU)が上方、2名(HRM, SBT)が後方に偏り、1名は偏りがみられなかった。本人の HRTF(90°)では全被験者で上方に偏りがみられた。また、band-pass では全被験者が上方に偏りがみられた。これは、Blauert の方向決定帯域と一致する。また、band-boost では、2名(OOT, TKU)は all-pass と同様の方向に偏りがみられた。1名(HRM)は12 dB 卓越までは all-pass と同様の方向に偏り、それ以降は上方に偏りがみられた。1名(SNK)は上方への偏りがみられた。1名(SBT)は特定の方向への偏りはみられなかった。

音像分離は卓越量が12 dB を超えると生じ始める。音像分離した場合の1つ目の音像(低い方の音)(b)では、3名は特定の方向に偏りはみられなかった。1名(HRM)は all-pass と同様の方向に偏りがみられた。1名(SBT)は all-pass での知覚方向と異なり上方への偏りがみられた。

音像分離した場合の2つ目の音像(高い方の音)(c)では、2名(OOT, SNK)は特定の方向に偏りはみられなかった。1名(TKU)は all-pass と同様の方向に偏りがみられた。2名(HRM, SBT)は all-pass での知覚方向と異なり上方への偏りがみられた。3名(TKU, HRM, SBT)は band-pass と同様の方向に知覚している。

中心周波数 1.25 kHz(Table 3)について1つの音像を知覚した場合(a)では、本人の HRTF(180°)では5名中4名で後方に偏りがみられ、1名は偏りがみられなかった。また、band-pass では5名中2名が後方に偏りがみられた。これは、Blauert の方向決定帯域と一致する。残り3名中2名は偏りがみられず、1名は上方に偏りがみられた。また、band-boost では、2名(OOT, HRM)は all-pass と同様の方向に偏りがみられた。2名(TKU, SNK)は all-pass での知覚方向とは異なり後方への偏りがみられた。TKU は方向決定帯域を卓越したことにより all-pass での知覚方向から変化したと考えられる。しかし、SNK は band-pass での知覚方向が上方であったので方向決定帯域の方向への変化ではなかった。1名(SBT)は特定の方向への偏りはみられなかった。

音像分離は卓越量が6dB を超えると生じ始

Table 2 回答方向の偏りの判定結果(8 kHz) (p < 0.05)

■:前方 ■:上方 ■:後方 ■:回答なし

(a)1つの音像を知覚した場合

subj.	all pass	own HRTF above	8 kHz band-boost				
			band pass	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB
			OOT	■	■	■	■
TKU	■	■	■	■	■		
HRM	■	■	■	■	■		
SNK	■	■	■	■	■		
SBT	■	■	■	■	■		

(b)音像分離した場合の

subj.	8 kHz band-boost		
	+12dB	+18dB	+24dB
	OOT	■	■
TKU	■	■	■
HRM	■	■	■
SNK	■	■	■
SBT	■	■	■

(c)音像分離した場合の

subj.	8 kHz band-boost		
	+12dB	+18dB	+24dB
	OOT	■	■
TKU	■	■	■
HRM	■	■	■
SNK	■	■	■
SBT	■	■	■

1つ目の音像(低い方の音)

2つ目の音像(高い方の音)

Table 3 回答方向の偏りの判定結果(1.25 kHz) (p < 0.05)

■:前方 ■:上方 ■:後方 ■:回答なし

(a)1つの音像を知覚した場合

subj.	all pass	own HRTF above	1.25 kHz band-boost				
			band pass	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB
			OOT	■	■	■	■
TKU	■	■	■	■	■		
HRM	■	■	■	■	■		
SNK	■	■	■	■	■		
SBT	■	■	■	■	■		

(b)音像分離した場合の1つ目の音像(低い方の音)

subj.	1.25 kHz band-boost			
	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB
	OOT	■	■	■
TKU	■	■	■	■
HRM	■	■	■	■
SNK	■	■	■	■
SBT	■	■	■	■

(c)音像分離した場合の2つ目の音像(高い方の音)

subj.	1.25 kHz band-boost			
	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB
	OOT	■	■	■
TKU	■	■	■	■
HRM	■	■	■	■
SNK	■	■	■	■
SBT	■	■	■	■

める。音像分離した場合の1つ目の音像(低い方の音)(b)では、1名(OOT)は特定の方向に偏りはみられなかった。1名(HRM)は all-pass と同様の方向に偏りがみられた。3名は all-pass での知覚方向と異なる方向に偏りがみられた。知覚方向としては2名(TKU, SNK)が後方、1名(SBT)が上方への偏りがみられた。しかし、SNK は band-pass での知覚方向は上方に偏りがみられ、SBT は band-pass での知覚方向に偏りはみられなかったので方向決定帯域を卓越したことによる変化ではないと考えられる。

音像分離した場合の2つ目の音像(高い方の音)(c)では、2名(OOT, SNK)は特定の方向に偏りはみられなかった。1名(HRM)は all-pass と同様の方向に偏りがみられた。2名(TKU, SBT)は all-pass での知覚方向と異なり上方への偏りがみられた。一方、band-pass での知覚方向と比べると、3名(OOT, TKU, HRM)は band-pass と同様の方向に知覚している。

4 まとめ

本研究では、方向決定帯域に相当するスペクトルのエネルギーを卓越させた広帯域信号をヘッドホンにより提示して音像定位実験を行い、以下の結果を得た。

- 1) 卓越量が18 dB以下(8kHz)、もしくは12 dB以下(1.25kHz)では、1つの音像を知覚した。ほとんどの被験者および卓越量においては、all-pass 信号に対する知覚方向から方向決定帯域の方向に音像方向が変化することはなかった。しかし、5名中2名(8 kHz)、1名(1.25 kHz)では変化する場合があった。
- 2) 卓越量がこれらを超えると、2つの音像を知覚した。ほとんどの被験者および卓越量においては、方向決定帯域を卓越させたことによる変化はなかった。5名中2名(8 kHz)、1名(1.25 kHz)では all-pass の知覚方向から方向決定帯域の方向(上方、後方)に変化する場合があった。ただしこれらは1)とは異なる被験者であった。

以上より、広帯域信号に対して方向決定帯域を卓越させても、音像の上昇角にはほとんど影響しないと考えられる。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP15H01790 の助成を受けた。

参考文献

- [1] 飯田, 頭部伝達関数の基礎と3次元音響システムへの応用, pp.29-35, コロナ社(2017).
- [2] Iida *et al*, Applied Acoustics, 68, pp.835-850 (2007)
- [3] Iida and Ishii, Applied Acoustics, 129, pp.239-247(2018)
- [4] Blauert, Acustica 22, pp.205-213 (1969/70)
- [5] 竹内と飯田, 音講論(秋), 665-668, 2017