

## 方向決定帯域を卓越させた広帯域信号による音像定位\*

☆竹内彩乃, 石井要次 (千葉工大院・工学研), 飯田一博 (千葉工大)

## 1 はじめに

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. Iida *et al.* [1] は広帯域信号を用いた音像定位実験により、頭部伝達関数の 2 つの ノッチ (N1・N2) 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を示した.

狭帯域信号については、Blauert[2]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. また、Itoh *et al.* [3]は、方向決定帯域には個人差が生じること、1/3 と 1/6 oct. band ノイズでは方向決定帯域に違いはないことを示した. また、1/12 oct. band および純音を用いて正中面内の音像定位実験を行った結果、回答方向に周波数依存性があるとの報告もある[4]. 船岡他[5]は、1/6 oct. band で同じ方向の方向決定帯域が連続して生じていた場合、それらの帯域を繋げても 1/6 oct. band と同様の方向決定帯域が生じることを報告した. しかし、広帯域信号において方向決定帯域が生じるか否かは明らかではない.

本研究では、方向決定帯域を卓越させた広帯域信号を用いて音像定位実験を行い、方向決定帯域と広帯域信号との関係を検証するとともに、広帯域信号と狭帯域信号での方向知覚の手がかりの違いについて検討した.

## 2 実験方法

## 2.1 実験システム

実験に用いたシステム系統図を Fig.1 に示す. 実験システムは、ノートパソコン、オーディオインターフェイス (FireFace UFX)、パワーアンプ (YAMAHA HC3000)、スピーカ×3 個 (スピーカ配置は Fig.1 参照)、イコライザ (YAMAHA Q20318)、DA 変換器 (DA 824)、

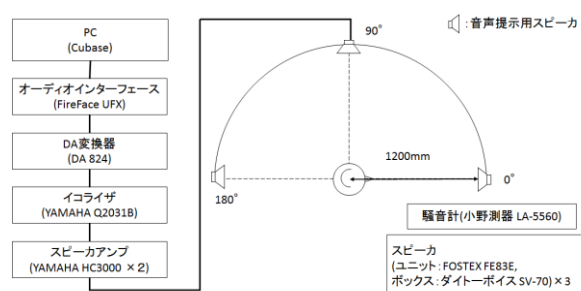


Fig. 1 実験システム系統図

タブレット PC (回答用), 騒音計 (小野測器 LA-5560), RCA ケーブル×2 本, スピーカケーブル×3 本である. 刺激の再生用ソフトは Cubase であり、提示音圧レベルは頭部中心位置において 60 dB(A)とした.

## 2.2 刺激

本実験では、上方の方向決定帯域に焦点をあてて実験を行った. Blauert[2]の実験では上方の方向決定帯域は 8 kHz とされている. また、Itoh *et al.* [3]では、6.3 kHz を上方の方向決定帯域と回答した被験者がもっとも多かった. 以上のことから、本実験では 6.3 kHz と 8 kHz の 1/3 oct. band ノイズを上方の方向決定帯域とした.

実験では、広帯域ホワイトノイズに以下に示す 13 種類のフィルタを積み込んで用いた. フィルタの周波数特性を Fig. 2 に示す.

- 1) all pass フィルタ
- 2) 中心周波数  $f_c = 6.3, 8$  kHz の 1/3 oct.

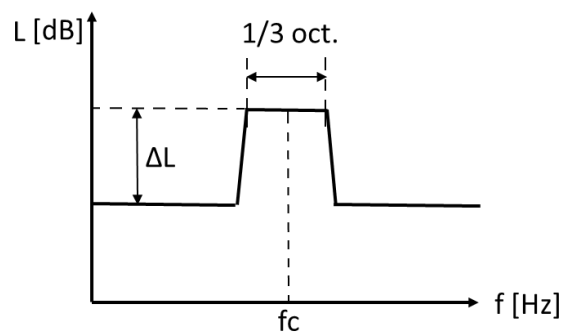


Fig. 2 フィルタの周波数特性

\*Sound localization of broad band signal boosted in directional bands, by TAKEUCHI, Ayano, ISHII, Yohji, and IIDA, Kazuhiro (Chiba Institute of Technology).

band pass フィルタ

- 3) 中心周波数  $f_c = 6.3, 8 \text{ kHz}$  の  $1/3 \text{ oct. band}$  の範囲のレベルを  $\Delta L = 6 - 30 \text{ dB}$  の範囲で  $6 \text{ dB}$  の間隔で卓越させたフィルタ (Fig.2)

### 2.3 刺激の呈示方法および回答方法

実験は、消灯した無響室で行った。作成した刺激 13 種類を 3 方向からランダムに提示したものを 1 試行とし、全 11 試行を行い、最初の 1 回を練習試行として結果から除外した。1 つの刺激は 3.2 秒であり、回答時間は 9 秒である。被験者は正常な聴力を持つ 20 代男性 11 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。

頭内定位をした場合は頭内定位のボタンをクリックし、上昇角についても回答する。音像分離が発生した場合、1 つ目を回答後、ラジオボタンを変更することで 2 つ目を回答することができる。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(高い方の音)」が高い方の音となるようにと教示文で指定してある。

## 3 実験結果

### 3.1 回答分布

回答結果を  $5^\circ$  間隔に分類し、刺激ごとの回答分布を音像分離しない場合・音像分離した場合の 2 個の回答分布に分けてまとめた。結果の一例として被験者 OOT の結果を Fig.3 に示す。(a)は音像分離しない場合、(b)は音像分離した場合を示し、黒は 1 つ目の音像、赤は 2 つ目の音像を示す。

音像分離しない場合(a)について、white noise ではスピーカ方向( $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ )に回答している。 $1/3 \text{ oct. band}$  では中心周波数  $6.3 \text{ kHz}, 8 \text{ kHz}$  とともに上方に回答している。帯域卓越した刺激では、スピーカ方向( $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ )に回答している。

音像分離した場合(b)については、帯域卓越した刺激は中心周波数  $6.3 \text{ kHz}$  では  $12 \text{ dB}, 18 \text{ dB}$  卓越で一回ずつ音像分離し、 $24 \text{ dB}$  からは多数音像分離が発生している。中心周波数  $8 \text{ kHz}$  では  $6 \text{ dB}, 12 \text{ dB}$  卓越で一回ずつ音像分離し、 $18 \text{ dB}$  からは多数音像分離が発生している。知覚方向は中心周波数  $8 \text{ kHz}$  の  $18 \text{ dB}$

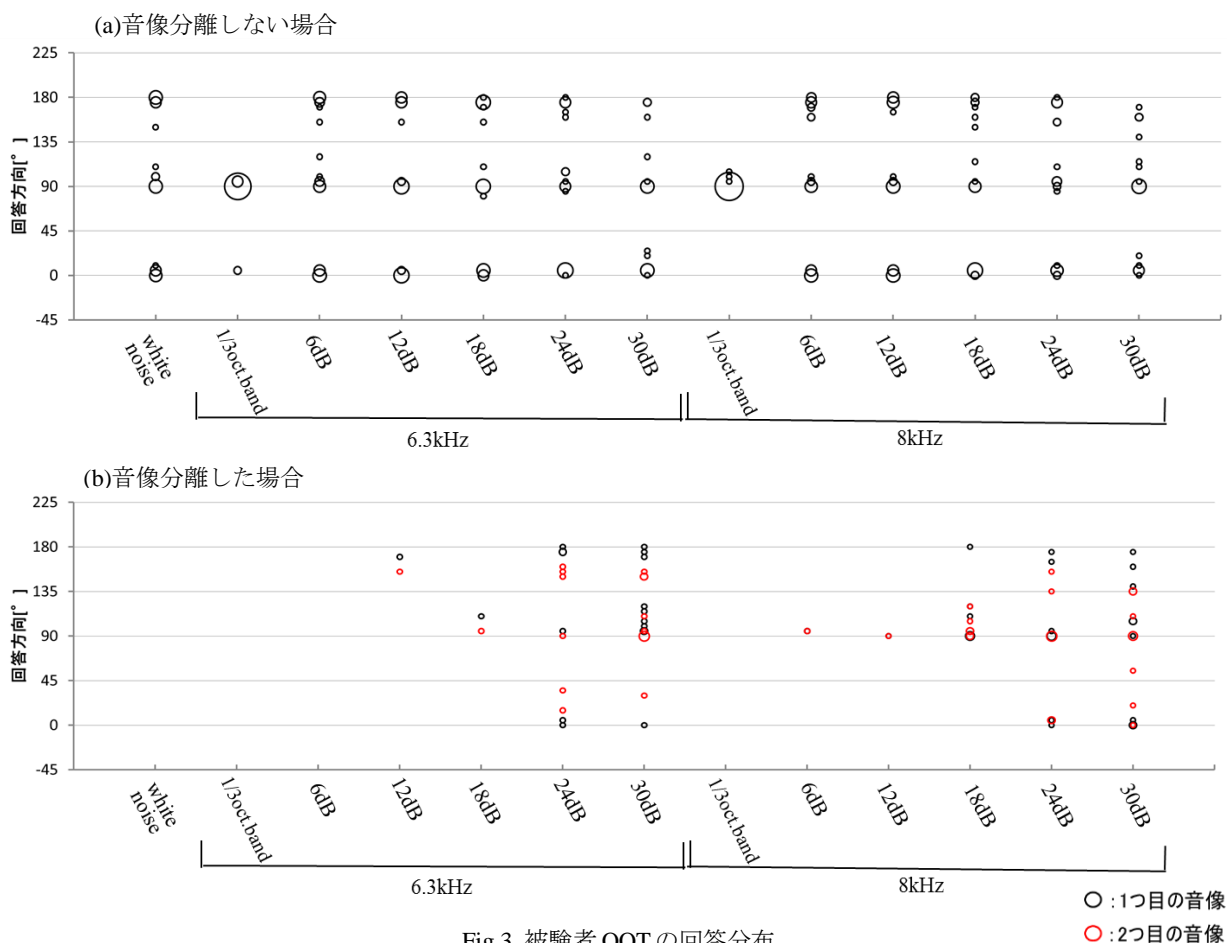


Fig.3 被験者 OOT の回答分布

卓越で上方に知覚し、それ以外はスピーカ方向(0°, 90°, 180°)に回答している。

他の被験者でも同様の傾向が見られた。2人の被験者は音像分離が発生しなかった。

### 3.2 方向決定帯域

被験者の回答を各刺激で前方( $\beta \leq 45^\circ$ ), 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、有意水準 5%で回答数の一番多い方向が、他の2方向の回答数の和より多いとみなせた場合、その方向を方向決定帯域と判定した。その結果を Table 1 に示す。網掛けは有意水準 5%で回答数が多く方向決定帯域と判定されたことを表す。(a)は音像分離しない場合、(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)である。white noise で音源方向に知覚しなかった1人は分析から外した。

音像分離しない場合(a)について、white noise では、全被験者で方向決定帯域と判定されなかった。1/3 oct. band ノイズでは、被験者10人中9人の被験者で中心周波数 6.3 kHz と 8 kHz の両方が方向決定帯域と判定され、被験者 AOY は中心周波数 6.3 kHz のみ方向決


定帯域と判定された。帯域卓越した刺激では、6人の被験者で方向決定帯域と判定されなかった。残り4人のうち3人の被験者(MKI, OOS, TTK)の一部の回答で前方の方向決定帯域と判定され、2人の被験者(TTK, SMB)の一部の回答で上方の方向決定帯域と判定された。

音像分離した場合の1つ目の音像(低い方の音)(b)について、帯域卓越した刺激では、3人の被験者で方向決定帯域と判定されなかった。残り5人のうち、2人の被験者(KWJ, TTK)の一部の回答で前方の方向決定帯域と判定され、2人の被験者(OOT, AOY)の一部の回答で上方の方向決定帯域と判定され、1人の被験者(NKK)の一部の回答で後方の方向決定帯域と判定された。

音像分離した場合の2つ目の音像(高い方の音)(c)について、帯域卓越した刺激では、7人の被験者の一部の回答で上方の方向決定帯域と判定され、残り1人の被験者(FJT)のみ方向決定帯域と判定されなかった。

また、卓越量が多くなるほど上方の方向決定帯域と判定された回答が多くなり、1つ目の音像よりも2つ目の音像の方が上方の方向決定帯域と判定される回答が多かった。

被験者 AOY は、中心周波数 8 kHz の 1/3 oct. band ノイズが上方の方向決定帯域と判定されなかったが、音像分離が発生した際、2つ

Table.1 方向決定帯域の検定結果  (a)音像分離しない場合

subj.	white noise	6.3kHz						8kHz						
		1/3oct.band	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB	+30dB	1/3oct.band	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB	+30dB	
OOT														
MKI														
NKK														
AOY														
KWJ														
OOS														
TTK														
FJT														
HRE														
SMB														

(b)音像分離した場合の1つ目の音像(低い方の音)

subj.	white noise	6.3kHz						8kHz						
		1/3oct.band	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB	+30dB	1/3oct.band	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB	+30dB	
OOT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MKI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NKK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AOY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KWJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TTK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FJT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(c)音像分離した場合の2つ目の音像(高い方の音)

subj.	white noise	6.3kHz						8kHz						
		1/3oct.band	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB	+30dB	1/3oct.band	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB	+30dB	
OOT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MKI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NKK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AOY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KWJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TTK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FJT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Table.2 方向決定帯域が生じた被験者の人数

(a)音像分離しない場合 (全 10 人)

上昇角	white noise	6.3kHz						8kHz					
		1/3oct.band	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB	+30dB	1/3oct.band	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB	+30dB
前方				1	1	1							
上方		10		1		1	2	9		1	1	1	1
後方													

(b)音像分離した場合の 1 つ目の音像(低い方の音) (全 8 人)

上昇角	white noise	6.3kHz						8kHz					
		1/3oct.band	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB	+30dB	1/3oct.band	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB	+30dB
前方							1					1	2
上方										1		1	
後方						1							

(c)音像分離した場合の 2 つ目の音像(高い方の音) (全 8 人)

上昇角	white noise	6.3kHz						8kHz					
		1/3oct.band	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB	+30dB	1/3oct.band	+6dB	+12dB	+18dB	+24dB	+30dB
前方													
上方							3				2	3	5
後方													

目の音像の 24 dB 卓越が上方の方向決定帯域と判定された。

方向決定帯域が生じた被験者の人数を Table 2 に示す。空欄は 0 人である。(a)は音像分離しない場合(全 10 人), (b)は音像分離した場合の 1 つ目の音像(低い方の音)(全 8 人), (c)は音像分離した場合の 2 つ目の音像(高い方の音)(全 8 人)である。

音像分離しない場合(a)で上方の方向決定帯域が生じたのは、1/3 oct. band ノイズの 6.3 kHz では全被験者、8 kHz では 10 人中 9 人であった。帯域卓越した刺激では、最大で 2 人であった。

音像分離した場合の 1 つ目の音像(b)では、6.3 kHz に上方の方向決定帯域は生じなかった。8 kHz では、18 dB、24 dB 卓越で 8 人中 1 人に上方の方向決定帯域が生じた。

音像分離した場合の 2 つ目の音像(c)では、6.3 kHz の 30 dB 卓越で 8 人中 3 人に上方の方向決定帯域が生じ、8 kHz の 18 dB 卓越で 8 人中 2 人、24 dB 卓越で 8 人中 3 人に、30 dB 卓越で 8 人中 5 人に上方の方向決定帯域が生じた。

### 3.3 考察

今回の実験で多くの被験者が広帯域信号では音源(スピーカ)方向に知覚した。

広帯域信号で方向知覚の手がかりとして、卓越帯域が優先されれば方向決定帯域として上方に知覚すると考えられ、頭部伝達関数のノッチが優先されれば、音源(スピーカ)方向に知覚すると考えられる。

以上より、今回の実験結果から広帯域信号では方向知覚の手がかりとしては卓越帯域よ

りもノッチが優先されると考えられる。

また、音像分離が発生した際に上方の方向決定帯域と判定される回答が増えたことから、音像分離が発生し狭帯域信号となることで頭部伝達関数のノッチを手がかりとして利用できない場合には方向決定帯域が利用されているのではないかと考えられる。

## 4 まとめ

今回の実験の結果を以下にまとめる。

- 1) 広帯域信号において上方の方向決定帯域を卓越させても 12dB 程度までは音像が空間的に分離せず、音源方向に知覚する。
- 2) 18dB 以上卓越させると音像分離が発生し、分離した音像は上方へ知覚する傾向がある。

今回の実験では上方の方向決定帯域しか検証を行っていないため、前方・後方の方向決定帯域を今後検証していく必要がある。

### 謝辞

本研究の一部は科研費(基盤研究(A)15H01790)により実施した。

### 参考文献

- [1] Iida *et al*, Applied Acoustics, 68, pp.835-850 (2007)
- [2] Blauert, Acustica 22, pp.205-213 (1969/70)
- [3] Itoh *et al*, Applied Acoustics, 68, pp.909-915 (2007)
- [4] ブラウエルト他, 空間音響, pp.103-104, 鹿島出版会 (1986)
- [5] 船岡と飯田, 日本音響学会講演論文集, 773-776 (2014)