

合成バイノーラル信号の周波数帯域が音像の分離知覚の検知限に与える影響*

☆酒井翼, 森川大輔, モクタリパーハム (富山県立大)

1 はじめに

音像の分離知覚とは、音像を異なる2つ以上の塊として知覚することである。この現象は、音色が同じ無相関な2つの刺激音信号であっても、2つの刺激音信号に与える両耳間時間差(ITD)または両耳間音圧差(ILD)が異なれば生じる^[1,2]。また、音色が同じ無相関な2つの刺激音信号に頭部インパルス応答(HRIR)を畳み込み、ITDとILDが同時に作用する場合の音像の分離知覚の条件を前面と背面で比較した結果、主に低域で計算されるITD^[3]が重要であることが示唆された^[4]。

そこで本稿では、ITDとILDの相互作用によって生じる音像の分離知覚の検知限に刺激音の周波数帯域が与える影響を調べるために、HRIRを畳み込んだバイノーラル信号を帯域制限した刺激音を用いて、音像の分離知覚実験を行った結果について述べる。

2 実験方法

2.1 受聴者

受聴者は23歳から35歳の4名である。受聴者の最小可聴閾値は、125 Hzから12 kHzで正常な聴力であることを確認した。

2.2 刺激音

刺激音信号は2つの無相関なピンクノイズである。受聴者個人のHRIRを刺激音信号に畳み込み、その信号を帯域フィルタに通し、刺激音とした。帯域フィルタはLow(0.25~1 kHz)、High(2~8 kHz)、Wide(0.25~8 kHz)の3つである。仰角0度、水平面1.5 mの円周上5度間隔で測定されたHRIRを1度間隔に補間^[5]し用いた。HRIRの時間分解能を上げるために、192 kHzにアップサンプリングした。

2.3 実験条件

受聴者の前面0度から始まり2つの音像が左右に分離するF条件(Front)と、背面180度から始まり2つの音像が左右に分離するB条件(Back)について、それぞれ3つの帯域フィルタを通した刺激音を呈示するF-Low、B-Low、F-High、B-High、F-Wide、B-Wideの6条件で実験を行った。受聴者は各条件でFig.1のように頭外の前面や背面で左右に分離した

音像を知覚する。F条件とB条件の2条件で実験を行ったのは、前面と背面でITDとILDの組合せが異なるためである。

2.4 実験システム

Fig.2に実験システムを示す。PC(Windows10, 64 bit)で生成した刺激音をDA変換機(Fireface UCX, RME)、ヘッドホンアンプ(AT-HA21, audio-technica)を通し、ヘッドホン(HDA 200, Sennheiser)で再生した。サンプリング周波数は192 kHzとした。

2.5 実験手続き

実験は調整法を用いて行った。受聴者はマウスホイールを用いて刺激音信号を制御し、音像がFig.1に示すように分離したところを回答した。各条件で10回の回答を得た。そのうち1~5回目の回答を練習試行、6~10回目の回答を本実験とした。

受聴者はマウスホイールを用いて刺激音信号に畳み込まれるHRIRを連続的に制御した。ホイール1ノッチあたり刺激音信号に畳み込まれるHRIRは、一方が時計回りに1度、もう一方が反時計回りに1度切り替わる。音圧レベルは、Low、High、Wideそれぞれで、水平角0度のHRIRが畳み込まれている刺激音を70 dBとした。

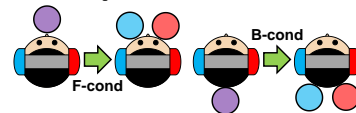


Fig. 1 受聴者が知覚する音像の模式図

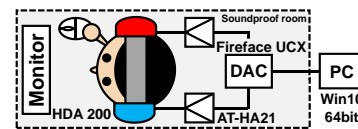


Fig. 2 実験システム

3 実験結果

Fig.3に各条件における検知限でのHRIRの角度差の受聴者4名の平均値 DL_{θ} と標準偏差を示す。F条件とB条件、刺激音の周波数帯域の2要因の分散分析を行った結果、F条件とB条件に有意差があり $[F(1,114) = 10.1, p < 0.05]$ 、刺激音の周波数帯域にも有意差があり $[F(2,114) = 52.5, p < 0.001]$ 、交互作用はなかった。また、Tukeyの方法で多重比較を行った結果、HighとLow、Wideの間に有意差があ

*Effect of frequency band of synthesized binaural signal on detection limit of spatially split sound images, by SAKAI Tsubasa, MORIKAWA Daisuke and MOKHTARI Parham (Toyama Prefectural Univ).

り (Low : $p < 0.001$, Wide : $p < 0.001$)、Low と Wide の間に有意差はなかった ($p = 0.8401$)。

音像が分離したとき、HRIR を畳み込んだ 2 つの刺激音のそれぞれの ITD の差 (DL_{θ}^{ITD})、ILD の差 (DL_{θ}^{ILD}) を算出した。Fig.4 に各条件の DL_{θ}^{ITD} と DL_{θ}^{ILD} 、先行研究^[2]における ITD のみを変化させた条件 ITD-cond と、ILD のみを変化させた条件 ILD-cond の受聴者 4 名の平均値と標準偏差を示す。

各条件間の DL_{θ}^{ITD} について 1 要因の分散分析を行った結果、条件の要因に有意差があった [$F(6, 133) = 10.52, p < 0.001$]。Tukey の方法で多重比較を行った結果、Table. 1 に示す組合せに有意差があった。

各条件間の DL_{θ}^{ILD} について 1 要因の分散分析を行った結果、条件の要因に有意差があった [$F(6, 133) = 43.08, p < 0.001$]。Tukey の方法で多重比較を行った結果、Table. 1 に示す組合せに有意差があった。

4 考察

DL_{θ} の分散分析の結果、F 条件と B 条件に差があることから、分離知覚の検知限は、 DL_{θ} によらないと考えられる。また、Low と Wide の DL_{θ} に差がなく、High との間に差があることから、刺激音が広帯域である場合、低周波成分によって分離を知覚していると示唆される。

各条件の DL_{θ}^{ITD} は、2 つの Low と 2 つの Wide に差がなく、それらは ITD-cond と同じ差がない。一方、High は他の条件と差がある場合が多く、B-High は F-High 以外の全ての条件と差がある。これらは、High 以外の条件には 0.25 ~ 1 kHz の低周波成分が含まれており、主に 1.5 kHz 以下から計算される ITD^[3] による手がかりが使用できるためと考えられる。したがって、Low、Wide、ITD-cond の DL_{θ}^{ITD} が一致し、ITD による手がかりが使用できない High だけ一致しなかったと考えられる。

各条件の DL_{θ}^{ILD} は、多くの条件の組合せに差がみられる。High と Wide だけでなく、F-High と B-High、F-Wide と B-Wide にもがあり、ILD-cond と差がない条件は F-High のみである。2 ~ 8 kHz の高周波成分のみを含み、ITD による手がかりが使用できず、ILD による手がかりが主となる条件間でも違いがみられた。

低周波成分が含まれ、ITD による手がかり

が使用できる条件の DL_{θ}^{ITD} は一致し、高周波成分が含まれ、ILD による手がかりが使用できる条件の DL_{θ}^{ILD} が一致する条件は少なかった。したがって、ITD を計算することができる低域が含まれている場合、ITD が分離知覚に与える影響が大きいと考えられる。

5 まとめ

本稿では、帯域フィルタを通した合成バイノーラル信号に対する音像の分離知覚実験を行った。その結果、1 kHz 以下の周波数帯域を含んでいれば検知限が一致し、ITD と ILD が同時に作用する場合、ITD によって音像分離を知覚していることがわかった。

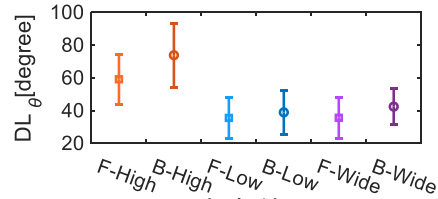


Fig. 3 各条件の DL_{θ}

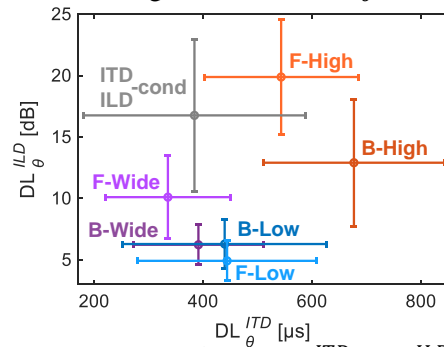


Fig. 4 各条件の DL_{θ}^{ITD} と DL_{θ}^{ILD}

Table. 1 DL_{θ}^{ITD} と DL_{θ}^{ILD} の多重比較結果

DL _θ ITD					
条件		p	条件		p
F-High	F-Wide	< 0.001	B-High	B-Low	< 0.001
F-High	B-Wide	< 0.05	B-High	F-Wide	< 0.001
F-High	ITD-cond	< 0.05	B-High	B-Wide	< 0.001
B-High	F-Low	< 0.001	B-High	ITD-cond	< 0.001
DL _θ ILD					
F-High	B-High	< 0.001	B-High	ILD-cond	< 0.05
F-High	F-Low	< 0.001	F-Low	F-Wide	< 0.001
F-High	B-Low	< 0.001	F-Low	ILD-cond	< 0.001
F-High	F-Wide	< 0.001	B-Low	F-Wide	< 0.05
F-High	B-Wide	< 0.001	B-Low	ILD-cond	< 0.001
B-High	F-Low	< 0.001	F-Wide	B-Wide	< 0.05
B-High	B-Low	< 0.001	F-Wide	ILD-cond	< 0.001
B-High	B-Wide	< 0.001	B-Wide	ILD-cond	< 0.001

謝辞

本研究の一部は科研費(20K19828)、東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究の支援による。

参考文献

- [1] 森川, 信学技報, 114(242), 43-48, 2014.
- [2] 酒井ら, 音講論(秋), 577-578, 2020.
- [3] ムーア, 空間音響学, 誠信書房, 1997.
- [4] 酒井ら, 音講論(春), 614-642, 2021.
- [5] 西野ら, 日本音響学会誌 55(2), 91-99, 1999.