

合成バイノーラル信号の音像の分離知覚の検知限*

☆酒井翼, 森川大輔, モクタリパーハム, 平原達也 (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2つの刺激音であっても、2つの刺激音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]。この報告では、ITDまたはILD一方だけが異なる場合の音像の分離知覚について調べられているが、実空間ではITDとILDは同時に作用していると考えられる。

そこで本稿では、ITDとILDが同時に作用する条件での音像の分離知覚の検知限を明らかにするために、頭部インパルス応答(HRIR)を用いて合成したバイノーラル信号の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 実験システム

PC (Windows10, 64bit) で生成した刺激信号をDA変換器 (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。

2.2 実験手順

刺激音に畳み込むHRIRの初期値が前方水平角0度から始まる条件 (F-cond) と、後方水平角180度から始まる条件 (B-cond) の2条件で調整法による実験を行った。F-condとB-condの2条件で実験を行ったのは、バイノーラル信号は前方と後方でITDとILDの組み合わせが異なるからである。

受聴者はマウスホイールをスクロールし、刺激音に畳み込まれるHRIRの水平角を連続的に切り替え、音像が分離したところを回答した。受聴者が知覚する分離音像の模式図をFig.1に示す。マウスホイール1スクロールあたり一方の音像は時計回りに1度、もう一方の音像は反時計回りに1度動く。

条件毎に10回の回答を得た。そのうち、1~5回の回答を練習試行、6~10回の回答を本実験とした。受聴者は健全な聴力を有する23~35歳の6名である。

2.3 HRIR

HRIRは水平面1.5mの円周上で5度間隔で測定したものを1度間隔に補間^[3]して用いた。用いたHRIRの仰角はすべて0度である。

HRIRはサンプリング周波数48kHzで測定したが、時間分解能を上げるために、192kHzにアップサンプルした。

2.4 刺激音

刺激音は2つの無相関なピンクノイズを250 Hz ~ 8 kHzの帯域フィルタに通し、受聴者個人のHRIRを畳み込み合成したバイノーラル信号である。HRIRの水平角を滑らかに切り替えるためにオーバーラップアッド法を用いた。ある受聴者の水平角0度のHRIRを畳み込んだ刺激音のスペクトルをFig.2に示す。刺激音の音圧レベルは、水平角0度のHRIRを畳み込んだ信号を70 dBとした。

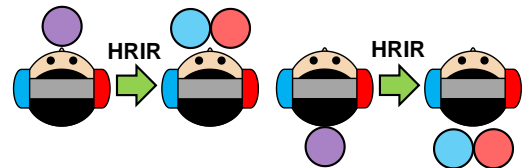


Fig.1 受聴者が知覚する分離音像の模式図

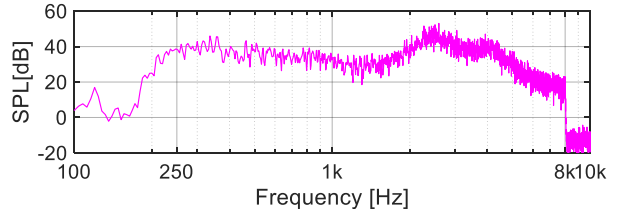


Fig.2 刺激音のスペクトル

3 実験結果

Fig.3に合成バイノーラル信号の音像の分離知覚の検知限 DL_{θ} を示す。 DL_{θ} は2つの刺激音に畳み込まれているHRIRの角度差である。F-condの DL_{θ} の平均値(青線)は約39度、B-condの DL_{θ} の平均値(赤線)は約43度であった。

受聴者2と5の一回の回答の推移をFig.4に示す。Fig.4より、受聴者2(黒線)はHRIRの水平角を上下法のように調整し、回答している。この傾向は受聴者1,3,4,6も同様である。一方、受聴者5(赤線)はHRIRの水平角を極限法のように調整しており、検知限より大きい水平角のHRIRが畳み込まれた刺激音を受

*Detection limit of sound images spatially split by synthesized binaural signal, by SAKAI Tsubasa, MORIKAWA Daisuke, MOKHTARI Parham and HIRAHARA Tatsuya (Toyama Prefectural Univ).

聴していない。また、受聴者 5 以外の受聴者の回答時間は約 13 ~ 26 秒で、受聴者 5 の回答時間は約 4 秒であった。

音像が分離したときの 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.5 に F-cond (青線)、B-cond (赤線) の DL_{θ}^{ITD} または DL_{θ}^{ILD} と、ITD または ILD だけを変化させた条件 ITD-cond と ILD-cond (灰線) の平均値と分散を示す。ただし、用いた結果は受聴者 1,2,3,6 の 4 名分である。受聴者 4 は、ILD-cond で分離知覚が生じなかったため、受聴者 5 は F-cond の DL_{θ} と B-cond の DL_{θ} の平均値が極めて小さく、回答時間も短いため平均から除外した。

F-cond の DL_{θ}^{ITD} の平均値 $F-DL_{\theta}^{ITD}$ は 384 μ s、B-cond の DL_{θ}^{ITD} の平均値 $B-DL_{\theta}^{ITD}$ は 407 μ s、ITD-cond の分離知覚の検知限の平均値 ITD-DL は 384 μ s であった。条件 (F-cond, B-cond, ITD-cond) と受聴者で 2 要因の分散分析を行った結果、条件の要因に有意差はなく ($F(2,48) = 0.48, p > 0.5$)、受聴者の要因に有意差があった ($F(3,48) = 75.39, p < 0.001$)。また、条件と受聴者の要因に交互作用が認められた。

F-cond の DL_{θ}^{ILD} の平均値 $F-DL_{\theta}^{ILD}$ は 11 dB、B-cond の DL_{θ}^{ILD} の平均値 $B-DL_{\theta}^{ILD}$ は 7 dB、ILD-cond の分離知覚の検知限の平均値 ILD-DL は 17 dB であった。条件 (F-cond, B-cond, ILD-cond) と受聴者で 2 要因の分散分析を行った結果、条件の要因に有意差があり ($F(2,48) = 110.9, p < 0.001$)、受聴者の要因にも有意差があった ($F(3,48) = 76.42, p < 0.001$)。また、条件と受聴者の要因に交互作用が認められた。

4 考察

$F-DL_{\theta}^{ITD}$ 、 $B-DL_{\theta}^{ITD}$ 、ITD-DL は、条件間の要因に有意差はなかった。一方 $F-DL_{\theta}^{ILD}$ 、 $B-DL_{\theta}^{ILD}$ 、ILD-DL は、条件間の要因に有意差があった。したがって、ITD と ILD が同時に作用する場合の音像の分離知覚には、ITD が与える影響が大きいと考えられる。

5 まとめ

本稿では、合成バイノーラル信号を用いて ITD と ILD が同時に作用する実験を行った。その結果、F-cond の DL_{θ} の平均値が約 39 度、B-cond の DL_{θ} の平均値が約 43 度であり、 $F-DL_{\theta}^{ITD}$ 、 $B-DL_{\theta}^{ITD}$ 、ITD-DL は一致し、 $F-DL_{\theta}^{ILD}$ 、 $B-DL_{\theta}^{ILD}$ 、ILD-DL は異なった。したがって、

合成バイノーラル信号の音像の分離知覚には主に ITD が寄与していると考えられる。

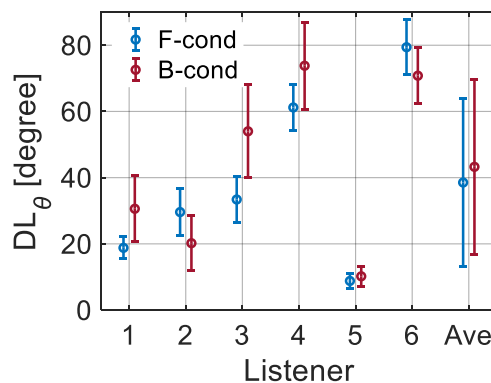


Fig.3 合成バイノーラル信号の DL_{θ}

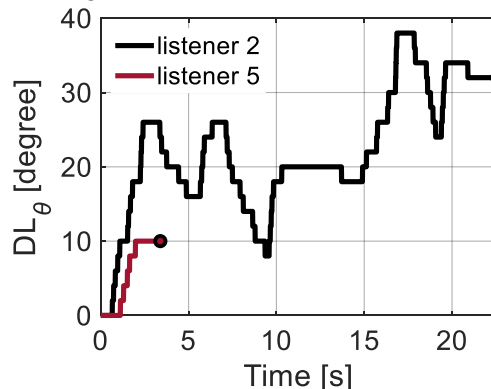


Fig.4 回答の推移

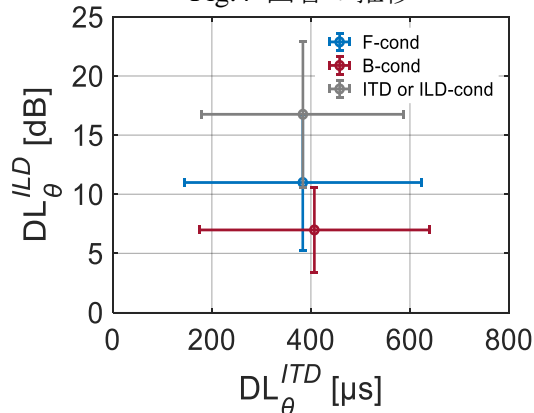


Fig.5 各条件の DL_{θ}^{ITD} と DL_{θ}^{ILD}

謝辞

本研究の一部は科研費(20K19828)の支援を受けた。

参考文献

- [1] 森川, “両耳間差による音像の分離知覚,” 信学技報 114(242), SP2014-83, 43-48, 2014.
- [2] 酒井ら, “両耳間時間差・音圧差による音像の分離知覚の検知限,” 音講論(秋), 577-578, 2020.
- [3] 西野ら, “水平面上の頭部伝達関数の補間,” 日本音響学会誌 55(2), 91-99, 1999.