

両耳聴ヘッドトルソを用いた両耳間時間差の推定

日大生産工 (院) ○室 侑介

日大生産工 霜山 竜一

1. はじめに

人は、低い周波数では音圧の両耳間時間差 (ITD), 高い周波数は両耳間強度差 (ILD) を利用して音源方向を推定することが知られている¹⁾。鳥類と哺乳類では、ともに内耳で音の周波数弁別が行われ、各周波数の位相で神経パルスが聴覚中枢へ送られるが、聴覚中枢で ITD を推定するメカニズムは異なる²⁾。人の両耳聴システムで音源方向を推定するメカニズムははまだ解明されていない。

本研究では、両耳聴ヘッドトルソを用いて測定された、2 系統の音響信号間の位相差の周波数特性から両耳間時間差を計算した。音源方向を $0[^\circ] \sim 180[^\circ]$ まで変えて両耳間時間差を求めた結果について報告する。

2. 両耳間時間差の計算法

図 1 に示すように、音源から放射された音はヘッドトルソの頭部や外耳などによって回折し、両耳部に内蔵されたマイクロホンに到達する。両マイクロホンに到達する音圧間の時間差は、回折しない場合より長くなることが予想される³⁾。周波数 f_i における両耳間時間差 Δt_i は音圧の位相差 $\Delta \phi_i$ を用いると次式で表される。

$$\Delta t_i = \frac{\Delta \phi_i}{2\pi f_i} \quad (1)$$

位相差の多義性を考慮すると、式(1)は、

$$\Delta t_i = \frac{\Delta \phi_i + 2n\pi}{2\pi f_i} \quad (2)$$

と変形できる。ここで n は整数である。式(2)は両耳間時間差が周波数に反比例し、位相差

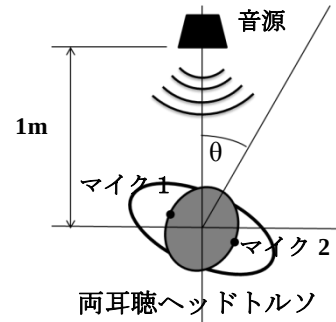


図 1 ヘッドトルソと音源の配置

の多義性により n の値に応じて複数の値をとることを示す。しかし、ある方向から来る音に対して両耳間時間差は一定になるはずである。両耳間時間差は、式(2)で示される時間差値ではなく、周波数軸に沿う時間差の分布として音源方向と関連付けられると考えられる。時間差の分布を評価するために、式(3)の関数 $L(\Delta t)$ が最大となる、周波数に依存しない時間差 Δt を求めた。

$$L(\Delta t) = \sum_n \sum_i \Delta t_{ni} \quad (3)$$

3. 実験結果

両耳聴ヘッドトルソから1[m]離して設置したゴルフボール大のスピーカ (SS-IS15, SONY) から、広域帯雑音を連続的に発生させた。回転台上のヘッドトルソ (Brüel & Kjær, 4100-D) の向きを変えて音源方向を設定した。ヘッドトルソの両耳部に内蔵されたマイクロホンの間隔は約13[cm]である。24[bit]分解能A/D変換ボード (NI, PC-4414) を装備したワークステーション (DELL, GX280) で2系統の音圧波形を同時収録した。サンプリング周波数は24[kHz], 各チャネルの1フレームは4800個のデータを含む。ハ

ニング窓を用いた。

音源方向を $20[^\circ]$ ，式(2)で $n = 0$ とした場合の時間差の周波数特性を示す．条件 $n = 0$ は位相差の多義性を考慮しない場合に相当する．周波数が高いほど1波長分の時間差は短くなることがわかる．音源方向が $20[^\circ]$ で，条件を $n = -12, -11, \dots, -12$ とした場合の時間差の周波数特性を図3に示す．これは図2の分布に n の異なる25種類の分布を重ねて表示したものである．周波数の全範囲にわたり1波長を超える時間差が表示される．位相差の多義性によって縞模様が生じた．式(3)で計算した時間差のヒストグラムを図4に示す．ヒストグラムがピークを示す時間差は $159[\mu\text{s}]$ となった．音源方向を $0[^\circ]$ から $180[^\circ]$ まで変えて両耳間時間差を推定したものを図5に示す．音源方向が $80[^\circ] \sim 110[^\circ]$ の範囲の両耳間時間差は，音源方向に比例せず，ばらつく傾向がみられた．

4. あとがき

両耳聴ヘッドトルソを用いて測定された2系統の音響信号間の位相差の周波数特性から両耳間時間差を計算した．その結果，音源方向が $80[^\circ]$ から $110[^\circ]$ の範囲で，両耳間時間差に，繰り返しによるばらつきがみられた．

参考文献

- 1) E.A Macpherson and J.C. Middlebrooks, "The duplex theory of sound localization revisited," J.Acoust.Soc.Am.Vol.11,NO.5,Pt.1,pp.2219-2235, 2002.
- 2) N.A Lesica, A.Lingner and B. Grothe, "Population coding of interaural time differences in Gerbils and barn owls," J.Neurosci., vol.30, 35, pp.11696-11702,2010.
- 3) 霜山, "両耳聴ヘッドトルソにおける音の回折が両耳間時間差に及ぼす影響について．-" 第12回情報科学技術フォーラム, G-016, 2013, p.p. 429-430

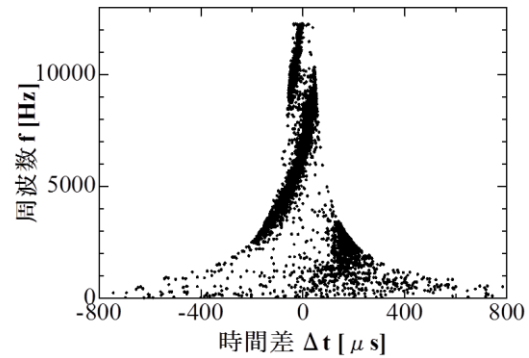


図2 多義性を考慮しない両耳間時間差の周波数特性($20^\circ, n=0$)

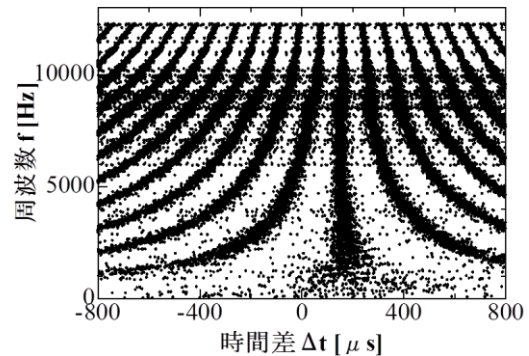


図3 多義性を考慮した両耳間時間差の周波数特性($20^\circ, n=-12, -11, \dots, 12$)

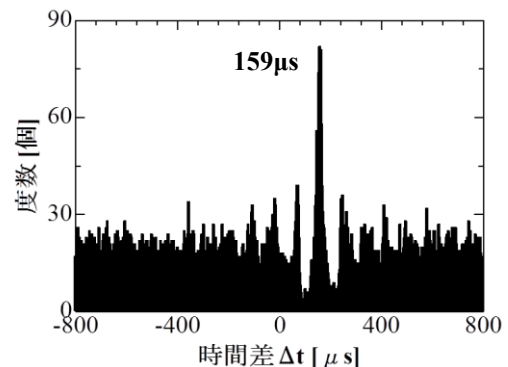


図4 多義性を考慮した両耳間時間差の分布のヒストグラム($20^\circ, n=-12, -11, \dots, 12$)

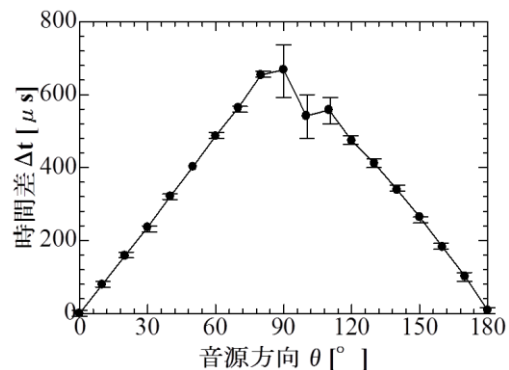


図5 周波数に依存しない両耳間時間差との音源方向の関係