

前・後方音源から到来する音の位相差スペクトル分布の違い

日大生産工 ○霜山 竜一 日大生産工 山崎 憲

1 はじめに

人の聴覚は両耳を使って前後の音を聞き分けられる。外耳を切除したチンチラを用いた動物実験によると、外耳が前後検出に重要な役割を果たすという結果が得られている¹⁾。人や動物が前後の音を聞き分けるメカニズムはいまのところ解明されていない。多くのロボットでは通常、前部や後部にマイクロホンを追加することで前後の音を区別させている。前後の検出機能を実現するだけなら、マイクロホンを追加するか他のセンサで代用すれば足りるが、人や動物の聴覚機能を模擬するには少なくとも、2本のマイクロホンを用いて前後の音を区別する必要がある。しかし、人間のもつ機能を機械で実現させるのは不可能である、原理上無理であるという、よく分からない状況を背景とする思い込みは往々にして科学の進展を妨げる²⁾。

筆者らはこれまで、2本のマイクロホンを用いて得られた音圧の位相差スペクトル分布の傾きを利用して、前方に位置する1音源の方向を高精度に推定する方法を提案した³⁾。またメンフクロウが水平面内の音源定位に用いるメカニズムを周波数領域に適用したアルゴリズムで、反響のある室内で複数音源を定位できることを示した⁴⁾。さらに、これを2次元に拡張したアルゴリズムで3本のマイクロホンを用いて広帯域音源のカラーの画像化を行った⁵⁾。

本報では、2系統の信号の同時収録装置を用いた広帯域音源の前・後方検出法を提案する。位相差一周波数平面上の位相差スペクトル分布を周波数について12等分し、それぞれの区間で標準偏差を求める。マイクロホンとスピーカの間隔を変えて(1m, 3m), 標準偏差の周波数特性を一次近似した直線の傾きと音源の前後の関係を示す。音圧の位相差スペクトル分布を統計的に処理することで、2本のマイ

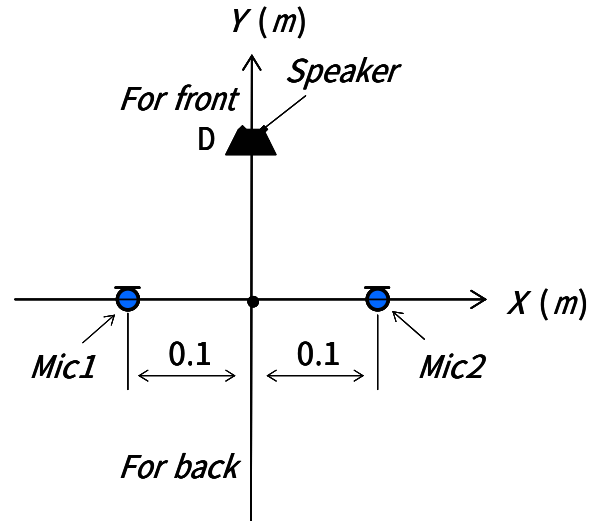


Fig. 1 マイクロホンとスピーカの配置

クロホンを用いた音の前後検出が可能なことを示す。

2 検出・評価法

前方の任意の方向から到来する音の位相差は、その方向と180°の角度をなす後方からの音の位相差と等しい。後方から到来する音はマイクロホンの本体や支持台などに遮られるため、回折した音が検出される。音の回折効果は遮る物体の寸法や音の波長に依存する。一般的に周波数が高い音ほど回折せず直線的に進むため、後方からの音は周波数が高いほどマイクロホンで検出されにくい。これはマイクロホンの指向性が前方に偏ることを意味する。2本のマイクロホンで同時に音圧を検出することによって、音を音圧レベルと、到来方向と関係する位相差からなる一種のベクトルとして扱える。したがって音圧の位相差は直接音と、様々な方向から到来する反響音が合成されたベクトルの位相とみなせる。

The Phase Difference Spectrum Images for Front-Back Detection
on the Source Localization

Ryuichi SHIMOYAMA and Ken YAMAZAKI

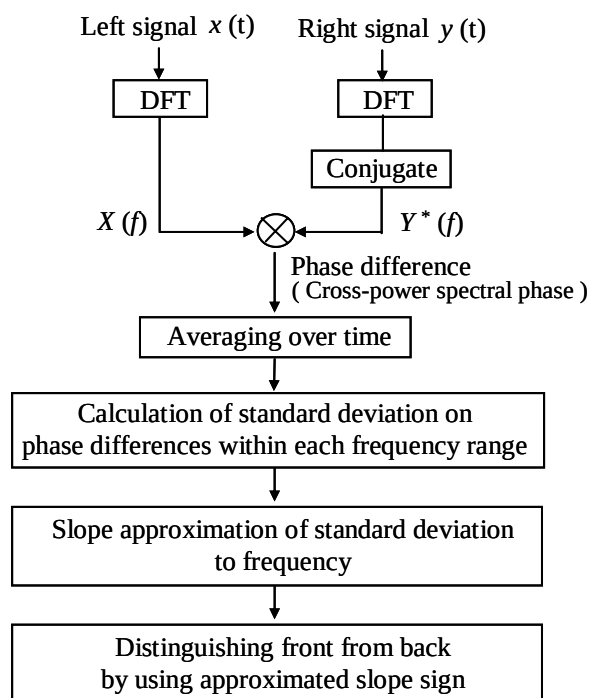
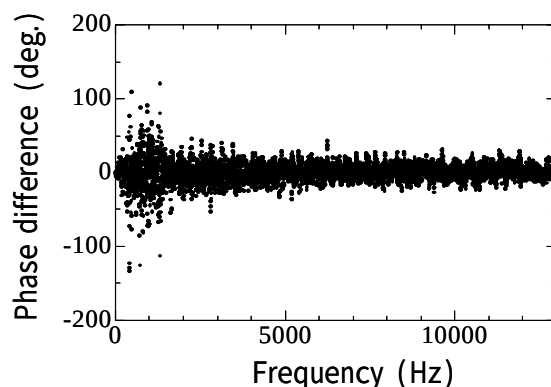


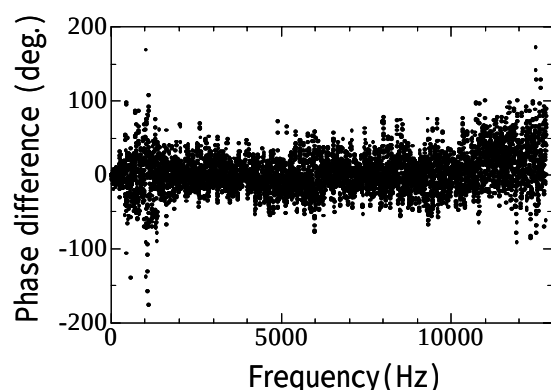
Fig.2 アルゴリズム

ここでは位相差スペクトルの分布を統計的に定量評価することで到来する音が前方か後方を判定する。

Fig.1に示すように、1対のマイクロホンから距離D離れた位置に1台のスピーカを設置し、テープレコーダで再生した連続的な広帯域音（ノイズ）をスピーカから発生させた。マイクロホンはB&K製Type 4190、測定装置はB&K製マルチアナライザシステムPulse3560Cを用いた。同時サンプリングされた2系統の時系列信号からDFTでクロスパワースペクトルの位相（位相差スペクトル）を求めた。計測データの再現性を考慮してハニング窓を用い1フレーム500 ms、オーバーラップ75%で10フレームの平均を求めた。本研究では実環境での性能を確認するため反響のある室内で計測した（残響時間0.5 s）。位相差スペクトルの分布をFig.2に示すアルゴリズムで定量的に評価した。測定周波数範囲は0.2kHz～12.8kHzである。位相差一周波数平面上に測定された位相差値をプロットする。ここで周波数範囲を12等分し、分割された区間内の標準偏差を求める。12個の標準偏差値の周波数特性を最小2乗法で直線近似し、得られた直線の傾きを求める。直線の傾きが正なら後方、負なら前方からの音と判定する。



(a) 前方からの音 (D=+1 m)



(b) 後方からの音 (D= -1 m)

Fig.3 前方または後方から到来する音の位相差スペクトル分布 (D=±1m)

3 結果

マイクロホンのそれぞれ真正面と真後ろにスピーカを設置した場合の音圧の位相差スペクトル分布をFig.3に示す。マイクロホンとスピーカの間隔は前後とも1mである (D=±1m)。Fig.1のy軸上にスピーカがあれば両マイクロホンまでの伝播距離は等しいから、周波数にかかわらず直接到達する音の位相差値は理論上ゼロである。スピーカが前方正面にある場合 (Fig.3(a)) に得られた位相差値は±30°程度の幅でゼロ付近に分布した。位相差の値が周波数2kHz以下でばらつきが大きい理由は主に反響音の影響と考えられる。周波数が高いほど分布のばらつきは小さくなった。これは周波数が高いほど波長は短くなり、空間の単位角度あたりの分解能が高まるためである⁶⁾。スピーカが後方にある場合 (Fig.3(b)) は、前方と比べて全体的にばらつきが大きく、位相差値は逆に、周波数が高いほど広い範囲に分布する傾向がみられた。位相差値の分布

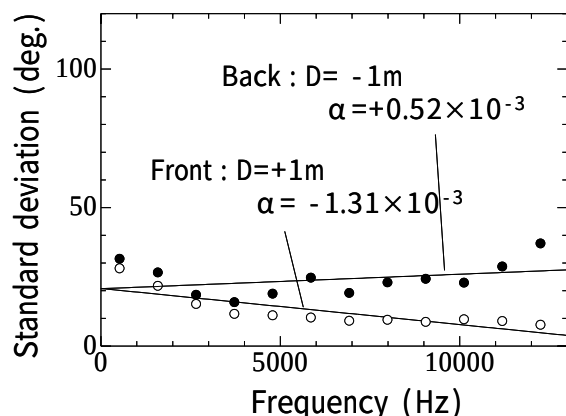


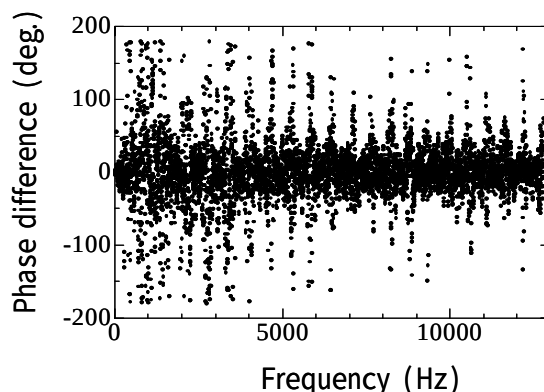
Fig.4 位相差スペクトル分布の周波数区間の標準偏差値 ($D = \pm 1$ m, Fig. 3 (a), (b)に対応) アルゴリズム

の様子を周波数の区間毎に標準偏差値で示したものがFig.4である。標準偏差値の分布を一次近似した直線の傾きは、スピーカが前方にある場合では -1.31×10^{-3} 、後方にある場合に $+0.52 \times 10^{-3}$ となった。前方では負、後方では正の傾きになることが分かる。

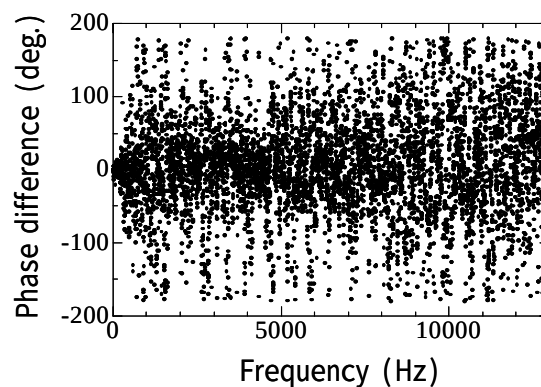
次にマイクロホンとスピーカの間隔を前後とも3mにした場合を検討した($D = \pm 3$ m)。Fig.5に前方と後方から到来する音の位相差スペクトル分布の違いを示す。Fig.3(a), (b)と比べて位相差値は広い範囲に分布する様子が分かる。位相差値は、前方から音が到来すると周波数が低いほど広範囲に分布するが、後方の場合は周波数が高いほど広い範囲に分布した。間隔を1mから3mに変更してもこの傾向は変わらなかった。位相差スペクトルの分布を標準偏差値で表わしたものがFig.6である。分布を一次近似した直線の傾きは前方では -3.20×10^{-3} 、後方では $+2.07 \times 10^{-3}$ になった。傾きの大きさはマイクロホンとスピーカの間隔に依存するが、それらの符号は変わっていない。符号が正なら後方、負なら前方からの音と判定できる。

4. まとめ

2系統の信号の同時収録装置を用いた広帯域音源の前・後方検出法を提案した。位相差一周波数平面上の位相差スペクトル分布を周波数について12等分し、それぞれの区間で標準偏差を求めた。標準偏差値の周波数特性の一次近似式の傾きと音源の前後の関係を、2通



(a) 前方からの音 ($D = +3$ m)



(b) 後方からの音 ($D = -3$ m)

Fig.5 前方または後方から到来する音の位相差スペクトル分布 ($D = \pm 3$ m)

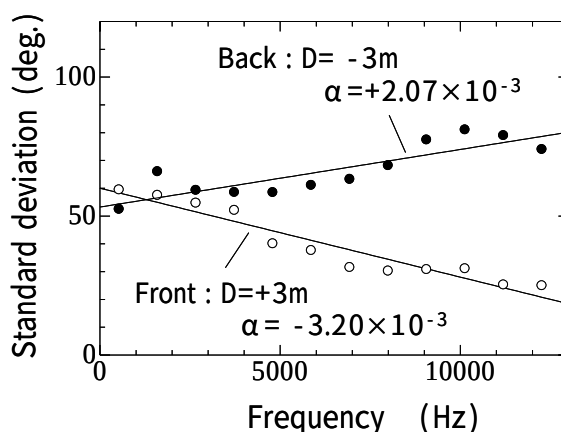


Fig.6 位相差スペクトル分布の周波数区間の標準偏差値 ($D = \pm 3$ m, Fig. 5(a), (b)に対応)

りのマイクロホンとスピーカの間隔 (1m, 3m) で検討した。その結果, 位相差スペクトル分布から求めた標準偏差値の周波数特性は, 音源が前方にある場合に負, 後方にある場合に正の傾きをもつことが分かった。この特徴を利用すれば2本のマイクロホンを用いた音の前後検出が可能であると考ええる。

[参考文献]

- 1)Heffner, W.S., Koay, G. and Heffner, H.E.,
「Sound localization in chinchillas III: Effect of pinna removal」 Hearing Research, 99(1996) pp.13-21
- 2)山崎芳男, 「人間の聴覚と音場制御」 情報処理, 36-3 (1995) pp.244-252
- 3)Shimoyama, R. and Yamazaki, K., "Acoustic source localization using phase difference spectrum images" Acoust. Sci. & Tech., 24, 4 (2003) pp.161-171
- 4)Shimoyama, R. and Yamazaki, K., "Multiple acoustic source localization using ambiguous phase differences under reverberative conditions" Acoust. Sci. & Tech., 25, 6 (2004) pp.446-45
- 5)Shimoyama, R. and Yamazaki, K., 「2-D acoustic source images using ambiguous phase differences under reverberative conditions" Proceedings of Complex Systems, Intelligence and Modern Technology applications, PHS-1-2 (2004) pp.82-88
- 6)霜山竜一, 山崎憲, 「多義性を有する位相差から推定された2次元音像一位相の多義性を用いる利点について」 日本音響学会講演論文集, 1-10-9 (2007) pp.1211-1212