

指向性マイクロホンを用いた音源位置推定に関する基礎的検討

日大生産工(院) 渡邊 尚樹
日大生産工 山崎 憲

1. はじめに

近年、家電製品やオフィス機器、建設機械などから発生する騒音に関心が高まっており、我々の生活環境において不快な音環境の改善を図るためには騒音源の特定が必要となっている¹⁾。また音源位置の推定は騒音源に限らず、音源の対象を人や動物に代えた場合は対象物の追跡や異常検出、対象を車に代えた場合は道路交通の無人監視システムなど、測定の対象物を代えることで幅広い利用が可能となることが考えられる。これらの音源位置推定の方法として音響インテンシティ法やマイクロホンアレーによる推定が広く用いられている。

音響インテンシティ法のシステムは特性のそろった 1 対の無指向性マイクロホンを組み合わせた測定が一般的であり、測定の原理上次のような問題点が挙げられる^{2) 3)}。

マイクロホン間位相が測定のバイアス誤差となり、測定可能な下限周波数が制限される。マイクロホン間距離によって、測定可能な上限周波数が制限される。

精密なシステムなため、インテンシティプロープ等のシステム自体が非常に高価である。またマイクロホンアレーの測定では一般的に、マイク間の音波の伝搬時間差を用いるため近距離の推定に大きな誤差が生じる⁴⁾。

多数のマイクが必要になることや、マイクを固定するシステムが大型になるため低コスト化の障害となる¹⁾。

などの問題点が挙げられる。これらの問題点が

解決できれば、より実用的になりさらに広い範囲での利用が可能となることが考えられる。

これまで筆者らは上記の問題解決のために比較的安価な単一指向性マイクロホンを用いた音源方向の推定について検討を行ってきた。その結果、先に挙げた方法と比べて安価なシステムで音源方向の推定が可能であることや、音圧の変化による影響をあまり受けず、同程度の精度での推定が可能であることがわかった⁵⁾。しかし、音源特定のためには測定対象物から発生する音の到来方向の推定に加え、音源までの距離の推定が必要であるが、まだその検討が不十分である。

そこで、本実験では音源距離の推定を行うため単一指向性マイクロホンを用いたマイクロホンシステムを同心円上に回転させ、音源までの距離推定を行った。

2. 推定原理

2.1 音源方向の推定

音源方向の推定には指向性マイクロホンを直交座標軸方向に 180 度反対向きに向かい合わせたマイクロホンシステムを用い、向かい合わせた 2 本のマイクロホンの感度差を利用して音源方向の推定を行う⁶⁾。

一対の指向性マイクロホンの指向特性例として 0 度と 180 度に向かい合わせたマイクロホンの指向特性を図 1 に示す。また図 2 にはこの向かい合わせたマイクロホンの方向別感度差(0 度-180 度)を示した。図 2 の 45 度~135 度、225 度~315 度の区間で感度差がほぼ直線

になっている。この直線部分を用いることで推定精度の偏りが少なく音源の方向推定を行うことができる⁶⁾。x軸方向のマイク対でそれと直交するy軸方向の45度～135度、225度～315度の範囲を、y軸方向のマイク対で-45～45度、135度～225度の範囲を推定する。

2.2 音源距離の推定

今回の実験は、マイクロホンシステムを同心円上に回転させることで複数の測定点を設け、各測定点で音源方向を推定し、その結果から音源の位置を推定しようとするものである。測定点は回転を始める点を基準として、一定角度ごとの点とした。

音源距離推定のために、まず各測定点で推定した音源方向角度より、傾きと切片を求める。図3のように横軸をx軸、縦軸をy軸とした平面で考えると、測定点 m_1 で測定された音源方向角度 φ_1 とマイクロホンシステムの回転角度 θ_1 より、音源への傾き a_1 は、

$$a_1 = -\tan(\varphi_1 - \theta_1) \quad \dots (1)$$

となり、y軸との交点である切片 b_1 は測定点の座標 $(r \cos \theta_1, r \sin \theta_1)$ を代入すると、

$$b_1 = r \sin \theta_1 - a_1 r \cos \theta_1 \quad \dots (2)$$

となる。(1)、(2)式より測定点 m_1 を通る直線が求めることができる。同様に任意の測定点を m_2 として、 m_1 と m_2 からの2直線の交点座標 (S_x, S_y) は、

$$S_x = \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} \quad \dots (3)$$

$$S_y = a_1 \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} + b_1 \quad \dots (4)$$

と求めることができる。また、マイクロホンシステムの回転軸Oと音源までの距離 L は、

$$L = \sqrt{(S_x)^2 + (S_y)^2} \quad \dots (5)$$

と求めることができる。

また、今回推定を行うための任意の測定点は180度反対の測定点とした。そのため音源が2つの測定点の延長線上にある場合の推定にお

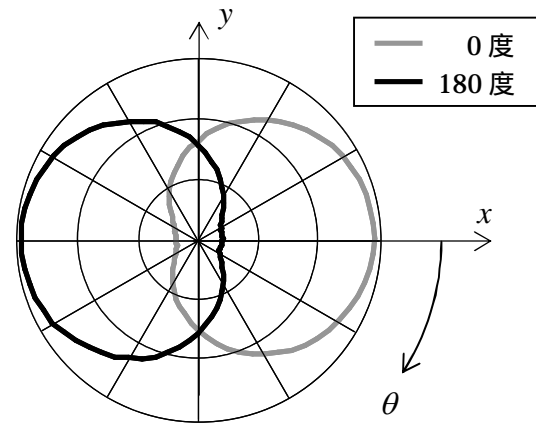


図1 0度-180度のマイクロホン指向特性

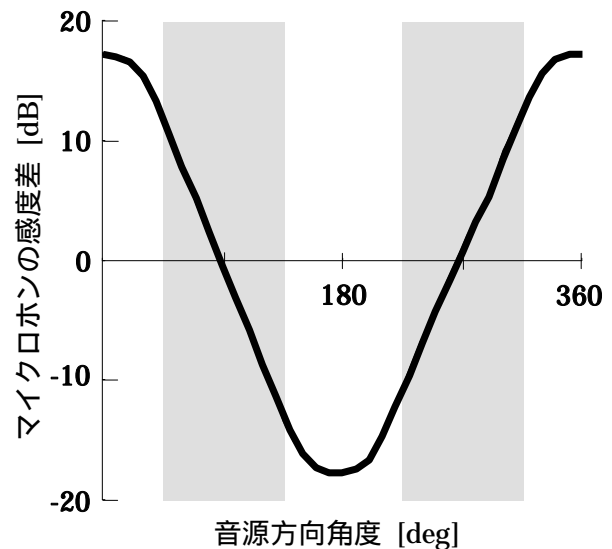


図2 マイクロホンの方向別感度差
(0度～180度の場合)

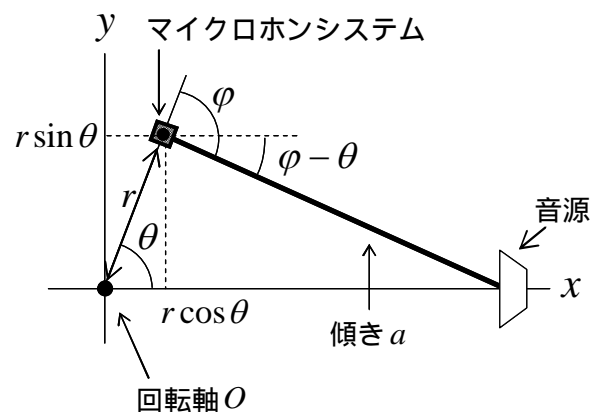


図3 測定原理図

いては、測定の原理上音源位置ではなく音源側のマイクの位置で交差するため、距離推定に用いることができない。しかし、測定点を複数設けることで、測定点の延長上以外の測定点から推定を行うことができ、すべての方向の音源位置の推定が可能である。

3. 実験方法

室内における音源位置推定の基礎的な実験を行うため、無響室を使用した。マイクロホンシステムと音源を図 4 に示すように配置し実験を行った。

マイクロホンシステムを回転させ始める測定点と回転軸 O を結ぶ線を基準線とし、マイクロホンシステムを半径 r の同心円上に反時計回り方向に回転させた。回転角度 10 度ごとに音源方向の推定を行い(3)式、(4)式より音源位置の推定を、(6)式より回転軸 O から音源までの距離の推定を行った。

今回の測定では基準線上に音源を設置した場合の推定と、基準線以外に音源を設置した場合の推定を行った。基準線以外に音源を設置した場合には、基準線から反時計回り方向の角度を正の角度として、音源を角度 α 度ずらした位置に設置した。それぞれの測定で、音源距離 L は 0.5m とした。

4. 実験結果

図 5 に回転角度に対する音源方向角度を示す。各測定点で測定値が計算結果と同じような値をとっていることから、マイクロホンシステムを回転させても音源方向の推定がほぼできていることがわかる。

この音源方向角度を用いて、図 6 に音源方向 0 度とした場合の音源位置の推定結果を示す。この図より音源位置を推定することが可能であることがわかった。0-180 度の結果を除外した場合、推定距離の平均誤差は 4.5cm、推定角度の平均誤差は 1.9 度となった。

図 7、図 8 に音源を基準からそれぞれ 30 度、150 度正方向に移動して設置した場合の推定

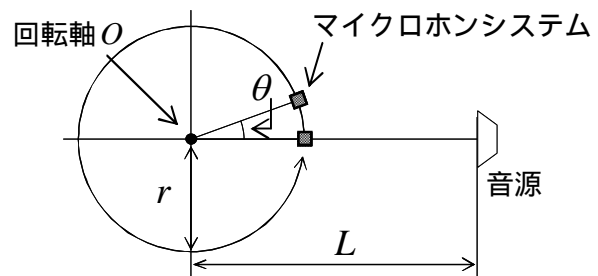


図 4 測定配置図 (上面図)

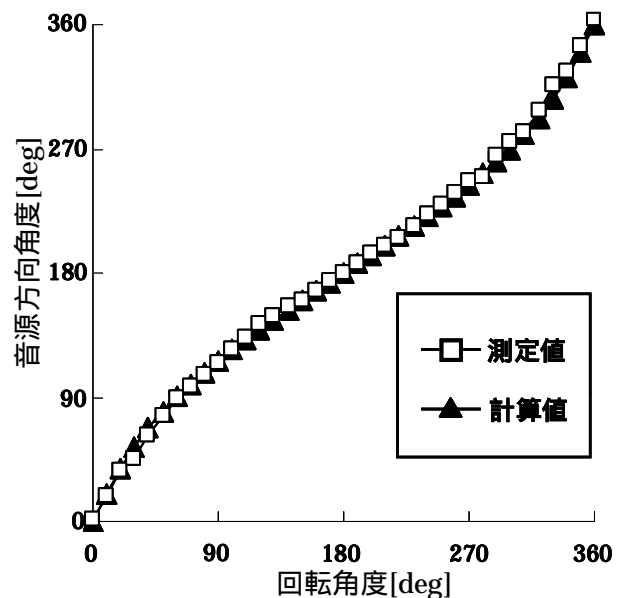


図 5 回転角度に対する音源方向角度

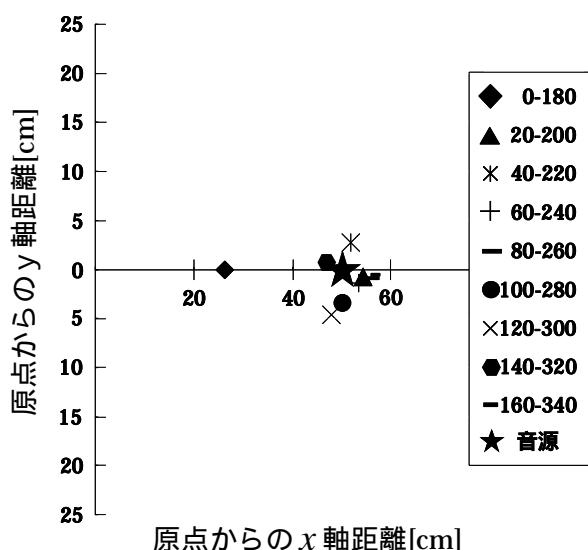


図 6 音源位置推定結果 (α = 0 度の場合)

結果を示す。これらの図より基準以外に設置した場合でも先ほどと同様に音源位置を推定することが可能であることがわかった。 $\alpha = 30$ 度とした場合の推定距離の平均誤差は 5.0cm、推定角度の平均誤差は 1.7 度、 $\alpha = 150$ 度とした場合の推定距離の誤差は 4.1cm、推定角度の誤差は 1.5 度となった。

図 9 に半径 r を変化させた場合の音源位置の推定結果の距離、角度の誤差を示す。この図より、角度の誤差は 2.0cm 前後とほとんど差はみられなかったのに対し、距離の誤差は半径 r を小さくするほど大きくなった。これは、2 点の測定点の間隔 $2r$ が短くなるほど、音源までの距離 L に対して音源の推定角度の角度分解能が低くなることから、このような結果となったことが考えられる。

5. まとめ

音源距離の推定を目的として、マイクロホンシステムを同心円上に回転させて音源距離の推定の検討を行った。その結果、音源方向、音源距離の推定が、音源がどの方向にあった場合でも可能であることを示した。

今後の課題として、3 次元の音源位置の推定、複数の音源のある場合での推定、騒音下における推定などについて検討していく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 吉住夏輝, 中村健太郎, 上羽貞行「手持ちマイクロホンによる音場可視化システム」 日本音響学会誌, 62 巻 3 号, pp.282-289(2006)
- 2) F.J.Fahy[著], 橋秀樹[訳] 「サウンドインテンシティ: 理論と応用」 オーム社, (1998)
- 3) 「音響インテンシティ」 Bruel & kjaer
- 4) 永瀬竜道, 大石邦夫, 久保田一「音源と反射物の位置関係を考慮した円形マイクロホンアレーによる音源位置推定」 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No204, pp.11-16(2006)
- 5) 渡邊尚樹, 山崎憲「複数の指向性マイクロホンを用いた音源方向推定に関する基礎的検討」 日本大学生産工学部第 40 回学術講演会, pp.71-74(2007)
- 6) 羽入敏樹, 星和磨, 関口克明「複数の指向性マイクロホンの方向別感度差を利用した音源探査」 日本音響学会講演論文集, pp.781-782(2003)

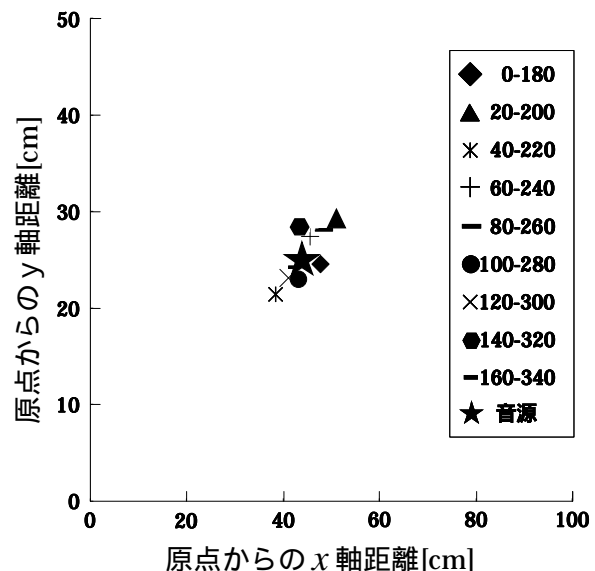


図 7 音源位置の推定結果 ($\alpha = 30$ 度の場合)

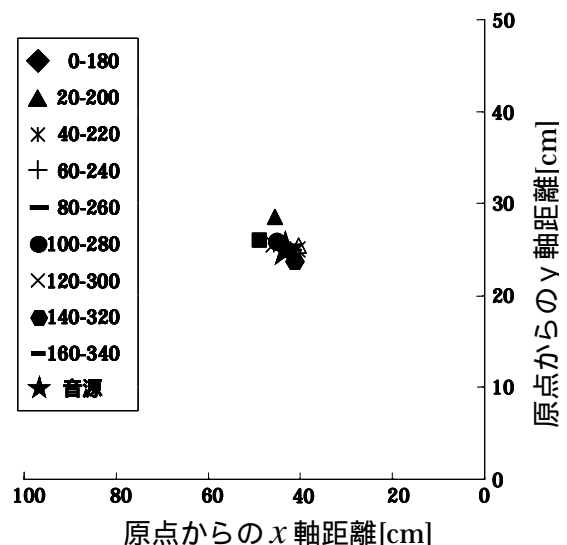


図 8 音源位置の推定結果 ($\alpha = 150$ 度の場合)

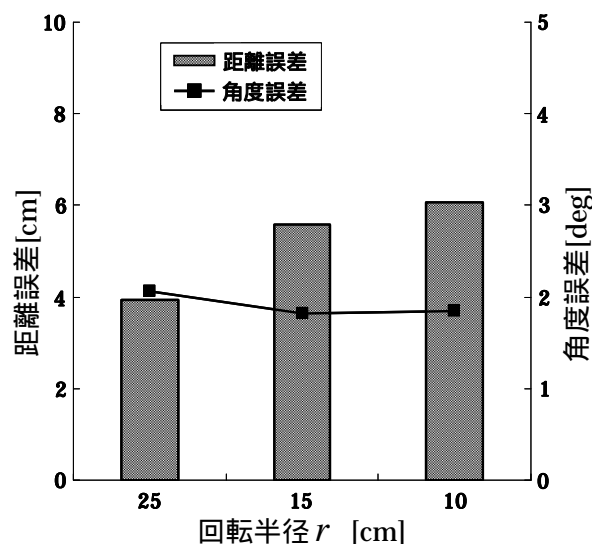


図 9 回転半径 r の変化による誤差