

壁面配置マイクロホンを用いた收音による音源推定 \*

及川靖広 小野政一郎 山崎芳男 (早大理工)

1. まえがき これまで、我々は近接4点法マイクを用いた收音による音源推定に関する研究を行ってきた[1]。近接4点法マイクでは主にマイクロホンで囲まれる空間の外側にある音源の推定を行うが、今回壁面配置マイクロホンを用いてマイクロホンで囲まれる空間の内側にある音源の推定を行った。

2. 原理 簡単のため2次元平面で説明する。図-1に示すような空間において直行座標軸上にマイクロホンを配置する。音源の座標を  $P(x, y)$  とし、音速を  $c$  とする。配置したマイクロホンの座標を  $ch1(0, B)$ ,  $ch2(0, -B)$ ,  $ch3(-A, 0)$ ,  $ch4(A, 0)$  とする。 $ch3, ch4$  に音源から発せられた音が到達する時間差を  $\Delta tx$ ,  $ch1, ch2$  の時間差を  $\Delta ty$  とする。時間差に音速をかけた距離差をそれぞれ  $CX$   $\Delta tx = 2Lx$ ,  $CX\Delta ty = 2Ly$  とすると、対面する壁面に配置したマイクロホンへ到達する音の時間差より距離を計算し

$$\sqrt{(x+A)^2 + y^2} - \sqrt{(x-A)^2 + y^2} = \pm C \cdot \Delta tx = \pm 2Lx \quad (1)$$

$$\sqrt{x^2 + (y+B)^2} - \sqrt{x^2 + (y-B)^2} = \pm C \cdot \Delta ty = \pm 2Ly \quad (2)$$

となる。この連立方程式の解を求めることにより音源位置が求められる。式(1)は  $ch3, ch4$  を焦点とする双曲線、式(2)は  $ch1, ch2$  を焦点とする双曲線を表しており、それらの交点が音源位置となる。

上式を整理すると

$$(A^2 - Lx^2) \cdot x^2 - Lx^2 \cdot y^2 = Lx^2 \cdot (A^2 - Lx^2) \quad (3)$$

$$(B^2 - Ly^2) \cdot y^2 - Ly^2 \cdot x^2 = Ly^2 \cdot (B^2 - Ly^2) \quad (4)$$

となり、これを解くと

$$x^2 = \frac{Lx^2 \cdot (B^2 - Ly^2)(A^2 - Lx^2 + Ly^2)}{(A^2 - Lx^2)(B^2 - Ly^2) - Lx^2 \cdot Ly^2} \quad (5)$$

$$y^2 = \frac{Ly^2 \cdot (A^2 - Lx^2)(B^2 + Lx^2 - Ly^2)}{(A^2 - Lx^2)(B^2 - Ly^2) - Lx^2 \cdot Ly^2} \quad (6)$$

となる。さらに、式(5),(6)より  $x, y$  は次のようになる。

$$x = \pm \sqrt{\frac{Lx^2 \cdot (B^2 - Ly^2)(A^2 - Lx^2 + Ly^2)}{(A^2 - Lx^2)(B^2 - Ly^2) - Lx^2 \cdot Ly^2}} \quad (7)$$

$$y = \pm \sqrt{\frac{Ly^2 \cdot (A^2 - Lx^2)(B^2 + Lx^2 - Ly^2)}{(A^2 - Lx^2)(B^2 - Ly^2) - Lx^2 \cdot Ly^2}} \quad (8)$$

解は  $x, y$  の符号により4点求められるが、マイクロホンの時間差により1点が決められる。また、3次元空間で考える場合にも同様に  $z$  軸上にマイクロホンを配置し交点を求める。

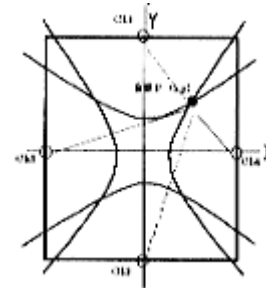


図 - 1 マイクロホン配置及び音源

3. 実験 図-2に示すように早稲田大学マルチメディアスタジオにおいて6個のマイクロホンを配置し実験を行った。図のように座標をとり  $(0, 275, 0)$  に  $ch1$ ,  $(0, -275, 0)$  に  $ch2$ ,  $(-250, 0, 0)$  に  $ch3$ ,  $(250, 0, 0)$  に  $ch4$ ,  $(0, 0, -100)$  に  $ch5$ ,  $(0, 0, 100)$  に  $ch6$  を配置した。音源位置は図に示すように、原点を  $P0$ , それぞれ  $x$  座標を  $125\text{cm}$ ,  $y$  座標を  $150\text{cm}$  ずらした点を  $P1, P2, P3, P4$  とした。

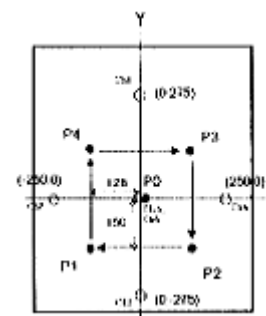


図 - 2 スタジオ平面図

\* The estimation of sound source by using microphones on the wall.  
By Yasuhiro Oikawa, Masaichiro Ono and Yoshio Yamasaki (Waseda University).

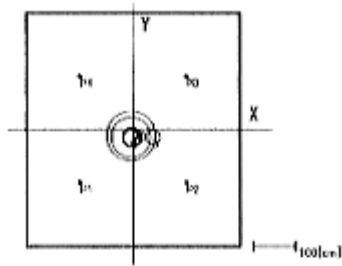


図 - 3 P0の音源分布

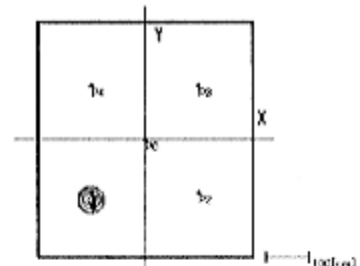


図 - 4 P1の音源分布

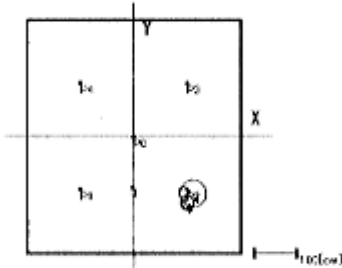


図 - 5 P2の音源分布

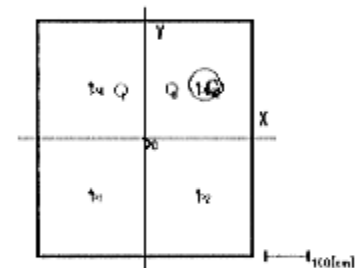


図 - 6 P3の音源分布

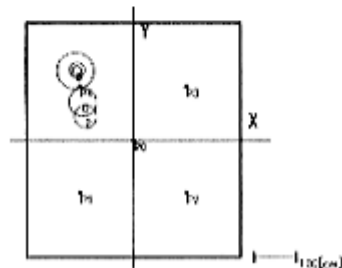


図 - 7 P4の音源分布

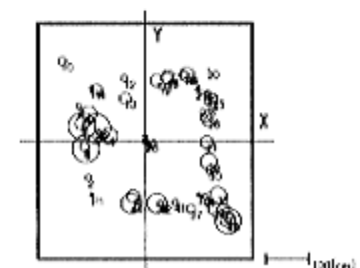


図 - 8 移動音源の音源分布

解析手順としては、収録した波形を解析区間ごとに区切りマイクロホン間の相互相関関数を計算し、その値が最大となるサンプル数のずれより時間差を計算した。その時間差から距離差を計算し、式(7)、(8)により座標を計算した。

まず、パルス音を用いて基礎的実験を行った。P0からP4においてそれぞれパルス音を5回ずつ出した。それぞれの音について計算した結果を図-3から図-7に示す。

次に、より一般的な音を用いて実験を行った。今回はバイオリン楽曲により実験を行った。P1からP4、P3、P2、P1とバイオリンを演奏しながら移動した場合の結果を図-8に示す。楽曲による場合の移動音源の位置の特定も可能であった。

4. むすび 近接4点法マイクでは主にマイクロホンで囲まれる空間の外側にある音源の推定を行うが、今回壁面配置マイクロホンを用いてマイクロホンで囲まれる空間の内側にある音源の推定を行った。パルス音源のみならず、一般的な楽器を用いた楽音でも音源の特定が可能であった。今回は単一音源についての実験であった。今後、複数音源の音源位置の特定について検討を加えていく所存である。

#### 文献

- [1] Y. Yamasaki and T. Itow, "measurement of spatial information in sound fields by closely located four point microphone method," J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 10, 101-110, (1989).