

近接4点法とドップラー効果による移動音源の位置推定*

金子穂積 武岡成人 山崎芳男(早大)

1. まえがき

1976年山崎らによって提案された近接4点法は,さまざまな音場の空間情報の測定に用いられてきた。近年は1933年にN.Wienerにより提案された一般化調和解析と合わせ,音源分離や音場分析にも適用されている。移動音源に着目した研究には,観測された信号の特定周波数の振幅の時間変化を算出してその到来時間差から音源位置推定を行った小野らの研究がある[1]。また吉田らによるドップラー効果に着目した音源方向の推定が報告されている[2]。

人間は周波数,振幅,位相情報の全てを巧みに用いて音場を認識している。そこで到達時間差のみでなくあらゆる音情報に基づいた4点法の精度の向上を試みている。本報告では周波数成分の変化に着目し,ドップラー効果を用いて特に移動音源に対する音源の位置推定の精度の向上を試みた。また多少無謀ではあるが,周波数成分の変化のみでの音源の位置推定を試みたので報告する。

2. 近接4点法

近接4点法とは,同一平面上にない近接する4つのマイクロホンで収録した信号の時間構造のわずかな違いに着目して,短時間相互相関あるいはインテンシティなどの手法により音源の位置や大きさ等の空間情報を算出する手法である。4つのマイクロホンから音源までの距離が分かれば音源の位置を特定することができる。

3. 分析手法

原周波数を f_0 ,音速を c ,移動音源の速度を v ,静止した受音点から移動音源とのベクトルの角度を θ とすると,ドップラー効果は以下のようになる。

$$f = \frac{c}{c - v \cos \theta} f_0 \quad (1)$$

受音点から r 離れた直線軌道上を音源が移動した場合,周波数の時間変化 $f_{(s)}$ は

$$f(s) = \frac{f_0}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \left[1 - \frac{tv^2/c}{\sqrt{r^2(1 - \frac{v^2}{c^2}) + t^2v^2}} \right] \quad (2)$$

となる。

音源が受音点に最も近づいた時刻を $s=0$ として, $f_0=1500\text{Hz}$,速度が 30km/h の場合,(2)式は図-1のようになる。

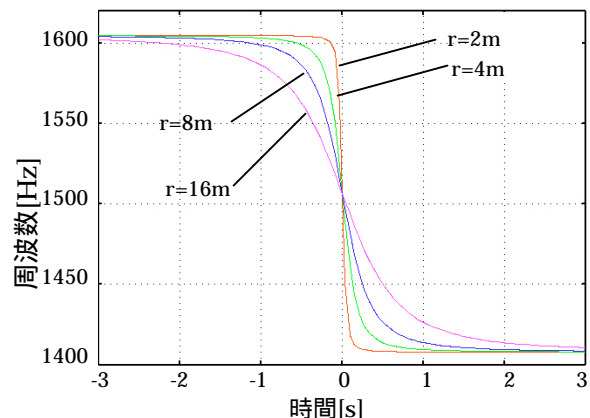


図 - 1 時間による周波数変化の違い

この曲線の時間変化を距離の変化に置きかえて,複数のマイクロホンで録音した実験データをカーブ・フィットさせることにより音源の距離を推定する先行研究が土肥らから報告されている[3]。

本稿ではまず音源がマイクロホンに最も近くときに,周波数変化が最大となる時間における周波数を純周波数とし,次に収録された周波数の時間変化と,考えられうる速度,距離と \cos の変化の値を算出し,実データからの残差が最小となるものを求めることにより未知の速度と距離を推測する。そしてこれらを4つのマイクロホンで収録された音にそれぞれ行い,ある時間における4点から音源までの距離を求めて3次元での位置を推定する。

*Estimation of source position by using adaption type closely located four microphone method and doppler effect, by Hozumi Kaneko, Naoto Takeoka and Yoshio Yamasaki(Waseda University).

4. 実験及び結果

本実験で用いた信号は、標本化周波数 44.1KHz, 16bit 量子化, 6.6s のデータである。自動車の側面に設置したスピーカから 1500Hz の純音を放射し、時速 28km/s で 30m の距離を移動した際の信号を録音した。気温 7.2℃, 各マイクロホンは 0.05m 間隔で配置した。その他の状況は図 - 2, 3 のようになる。

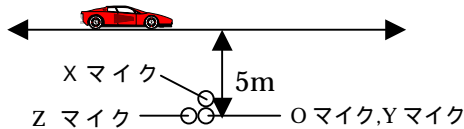


図 - 2 マイクロホンと軌道の距離

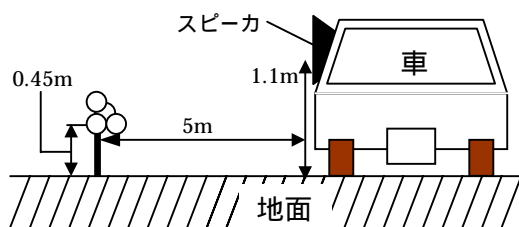


図 - 3 マイクロホンと車の位置

収録した o, x, y, z のマイクロホン信号をそれぞれ 23ms の方形窓で切り出し、一般化調和解析を行い、振幅が最大のものを抽出し、周波数の時間変化を求めた。o マイクロホンに最も近づいた時刻を $t=0$ として、4.0s 分の o マイクロホンの周波数の変化を図-4 に示す。

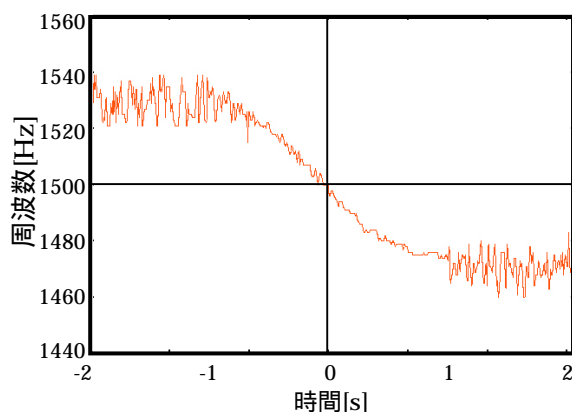


図 - 4 O マイクロホンの周波数変化

最小二乗法を用いて周波数変化の近似関数を求め、変化率の最大となる点を音源が最もマイクロホンに近づいた時刻とみなし、それを音源の純周波数とした。得られた純周波数をもとに、速度を 10km/s から 100km/s の間で 0.05m/s の幅で変化させ、また距離を 1m から 100m の間で

0.01m の幅で変化させ、考えられうる距離と周波数の変化の組み合わせを計算し、それらと実データの残差が最小となる組み合わせを算出することにより求めた距離と速度を表 - 1 に示す。

表-1 推定した速度と距離 (カッコ内は誤差)

マイクロホン	速度[km/s]	距離[m]
O	28.1(+0.1)	5.1(+0.058)
X	28.26(+0.26)	5.0(+0.0751)
Y	28.44(+0.44)	5.1(+0.0642)
Z	26.1(-1.9)	4.3(-1.12)

これらの結果を元に、誤差の大きい z を理論値に補正して、音源の移動の様子を X-Z 平面に表示したものが図 - 5 である。

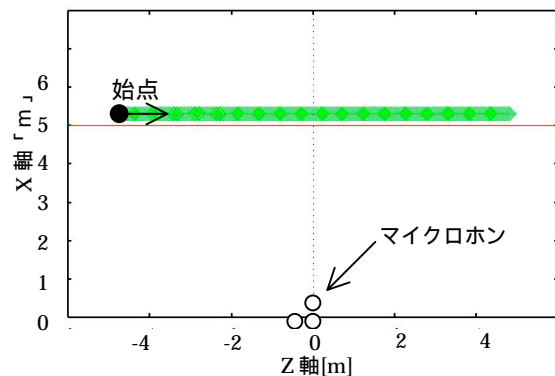


図 - 5 測定音源の移動

5. むすび

測定方法により誤差は出るものの、ドップラー効果の特徴を用いて未知の速度と位置が推定可能であることが分かった。マイクロホンに音源が最も近づく時点を正確に求めないと、今回の z のデータのように大きな誤差が出る。今後は実音源で今回の方法を検証し、また振幅、位相の変化も使い定音源と移動音源との分離などを見当していく所存である。

[参考文献]

- [1] 小野, “近接 4 点法を用いた屋外の移動音源の計測”, 音講論集, pp.489-490, (2000.9).
- [2] 吉田, 山崎, “周波数変動を考慮した近接 4 点法による音源位置推定”, 音講論集, pp.491-492, (1997.9).
- [3] 土肥, 廣江, 加来, “移動体上の騒音発生源の同定 - ドップラー効果を利用した位置推定方法について - ”, 音講論集, pp.663-664, (1997.9).

