

位相差スペクトルによる音源までの距離推定
 -測定環境と位相差値のばらつきについて-

Distance Estimation to a Sound Source Using Phase Difference Spectrum Images
 -On the Relation between Room Measurements and Dispersion of Spectrum Images-

櫻井 智章†

Tomoaki Sakurai

霜山 竜一†

Ryuichi Shimoyama

1. はじめに

Bronkhorst らは心理物理学実験を通じ、人が音源までの距離を推定する上で、直接音と反射音の比が距離知覚に顕著な影響を与えることを報告した¹⁾。著者らは、室内で測定された音圧の位相差の周波数特性のばらつきが直接音と反射音の比に依存するものと考え、そのばらつきと音源までの距離の関係について調べてきた²⁾。しかし、位相差の周波数特性は測定される部屋の反響特性に依存するものと考えられる。移動するロボットが未知の環境で未知の音の発生位置を推定する状況を想定して、音響特性や大きさの異なる複数の部屋で、両耳聴ヘッドトルソを用いて音源までの距離と音圧の位相差の周波数特性のばらつき関係を求めた。部屋の大小に応じてみられる規則性について報告する。

2. 推定アルゴリズム

両耳聴ヘッドトルソで検出された音圧の位相差スペクトルのばらつきが、距離に依存する特徴を利用して、音源とヘッドトルソ間の距離を推定する。周波数帯域幅 Δf に含まれる $2m+1$ 個の位相差値の標準偏差をその中心周波数 f_i を変えながら式(1)、(2)から求める。周波数 f_i における標準偏差 ρ_i は、

$$\rho_i = \sqrt{\frac{1}{2m+1} \sum_{j=i-m}^{i+m} (\varphi_j - \bar{\varphi}_i)^2} \quad (1)$$

$$\bar{\varphi}_i = \frac{\sum_{j=i-m}^{i+m} \varphi_j}{2m+1} \quad (2)$$

で与えられる。ここで φ_j は周波数 f_j における位相差、 $\bar{\varphi}_i$ は帯域幅 Δf 内の位相差の平均値である。周波数帯域 ΔF で標準偏差値を平均した値とヘッドトルソと音源間距離の関係を実測する。音源までの距離はこの平均値を線形補間して推定する。

表 1 部屋の寸法と残響時間

測定環境	部屋の寸法 L[m] × W[m] × H[m]	残響時間 (RT60)[s]
A	8 × 6 × 3	0.4
B	17 × 14 × 3	0.4
C	18 × 14 × 3	0.4
D	39 × 20 × 12	0.7

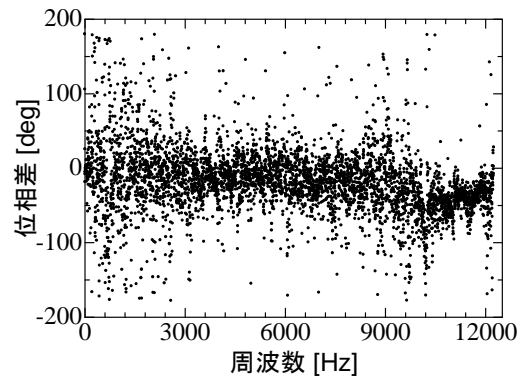


図 1 距離 2[m]において測定された音圧の位相差の周波数特性 (部屋 C)

3. 実験結果

室内にヘッドトルソ(Brüel&Kjær,4100-D)を設置し、XYステージの移動台に固定されたゴルフボール大のスピーカの位置をシーケンサ(日立,EH-150)で変え、ヘッドトルソとスピーカ間の距離を調整した。常にヘッドトルソの正面になるように配置したスピーカから広帯域雑音を発生させた。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。24bit 分解能の A/D 変換ボード(NI,PCI-4474)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測定した。サンプリング周波数は 24[kHz]、各 ch 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。

測定に使用した部屋の寸法と残響時間を表 1 に示す。部屋 A, B, C は机等を片側に寄せた講義室, D は体育館である。残響時間はシュレーダー積分(RT60)で求めた³⁾。部屋 D(体育館)の残響時間は他の部屋の約 2 倍となった。スピーカとの距離が 2[m]の場合に、部屋 C においてヘッドトルソ

† 日本大学大学院生産工学研究科電気電子工学専攻
〒275-8575 習志野市泉町 1-2-1

で測定された音圧の位相差の周波数特性を図 1 に示す。スピーカは正面に位置するため、直接音による位相差は零となるはずだが、反射音が混在するため零付近で不規則にばらついている。音源とヘッドトルソの距離を変えながら、同一条件で繰り返し測定された位相差値間の差を求めた。そのばらつきと距離の関係を図 2 に示す。部屋 B, D とも、繰り返し測定による標準偏差値は、距離にほぼ比例して上昇することが分かる。距離が 2[m] の場合に、部屋 B, D の標準偏差値はそれぞれ 46[°], 32[°]であり、狭い部屋ほど位相差値の再現性は悪いことが分かる。また標準偏差値は繰り返し測定してもほとんど変わらなかった。これは、音圧の位相差値を直接評価するより、標準偏差値で評価した方が、再現性という点で有効であることを意味する。

位相差値の周波数軸に沿うばらつきと音源とヘッドトルソ間の距離の関係を図 3 に示す。音源がヘッドトルソから離れるほど位相差値のばらつきは大きくなった。標準偏差値と距離はほぼ線形関係にあるがその傾きは部屋により異なった。部屋の寸法が似た B と C は同様の傾向を示したが、体育館(D)では、傾きが B, C より小さくなった。

図 3 において、音源とヘッドトルソが 1[m] 離れている場合の位相差の標準偏差値とその傾きの関係を図 4 に示す。標準偏差値の傾きは最小二乗法で求めた。距離 1[m] では、標準偏差値と距離に対する標準偏差の傾きはともに、部屋の容積が大きいほど小さくなる様子がみられた。体育館のような広い空間では、周囲に障害物がなく、壁面と十分離れた位置で測定されるため、位相差値の再現性は比較的良好と考えられる。因みに、反響音のない無響室では標準偏差値、傾きとも零である。

図 4 にみられる特性を利用すれば、未知の環境であっても距離 1[m] における標準偏差値が既知ならば、その傾きが推定できるため、図 3 の関係を補間して任意の距離が求められる可能性がある。

4. あとがき

音響特性や大きさの異なる複数の部屋で両耳聴ヘッドトルソを用いて、音圧の位相差の周波数特性と音源までの距離の関係を求めた。その結果、1)位相差値の再現性は狭い部屋ほど悪いこと、2)距離 1[m] では、標準偏差値と距離に対する標準偏差値の傾きはともに部屋の容積が大きいほど小さいこと等が分かった。

未知の環境であっても距離 1[m] における位相差の標準偏差値が既知ならば、音源までの任意の距離が推定できる可能性がある。

今後は、壁やコーナーの近傍、廊下等での位相差値やロボット視覚との連携について検討する予定である。

参考文献

- [1]A. W. Bronkhorst & T. Houtgast
"Auditory distance perception in rooms,"
Nature, 397, 1999, pp.517-520.
- [2]霜山, "位相差スペクトルイメージによる音源までの距離推定-音源が正面に位置しない場合,"
FIT2009 H-060, 2009.
- [3]M. R. Schroeder
"New method of measuring reverberation time,"
J. Acoust. Soc. Am., 37, 3,1965, pp.409-412.

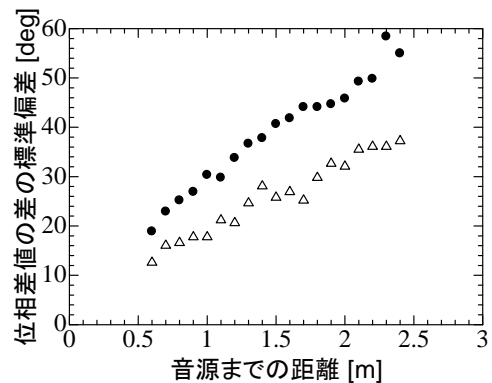


図 2 音源とヘッドトルソ間の距離と位相差値の、繰り返しによるばらつきの関係 (●:部屋 B,△:部屋 D)

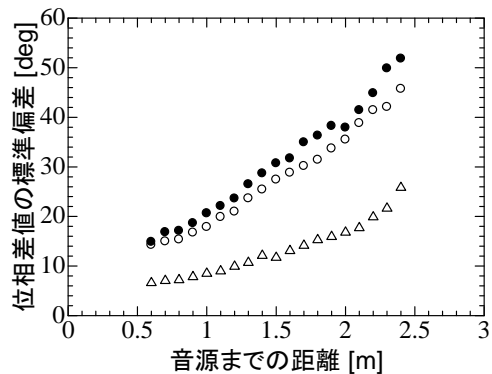


図 3 音源とヘッドトルソ間の距離と位相差値の周波数軸に沿うばらつきの関係 (●:部屋 B,○:部屋 C,△:部屋 D)

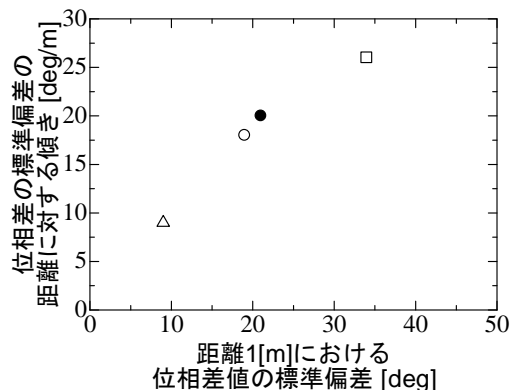


図 4 距離 1[m] における位相差の標準偏差値と距離に対する傾きの関係 (□:部屋 A,●:部屋 B,○:部屋 C,△:部屋 D)