

## 体表面にある音源の定位

—着信音が鳴る携帯電話を探しまわる理由—\*

○ 平原 達也, 野田 陽平, 松永 悟行, 森川 大輔 (富山県立大学 工学部)

### 1 はじめに

携帯電話が普及し始めたころ、バスや電車の中で誰かの着信音が鳴ると、その周辺にいる乗客が一斉に自分のポケットやバッグの中を探り始めるというコミカルな光景がよく見られた。現在は多様な着信音と振動が利用できるようになったので、その様な光景は少なくなった。しかし、着信音だけを利用している場合、今でも携帯電話の在り処を探し回ることとはしばしばある。これまでの音源定位や音像定位は体から離れた場所にある音源の定位を対象としており、体表面にある音源の定位については何も調べられていない。

本稿では、体表面にある広帯域雑音源に対する音源定位能力を明らかにする。そして、体表面上の音源位置から耳までの身体音響伝達関数 (BRTF: body-related transfer function) と体表面音源定位との関係を論じる。

## 2 体表面にある音源に対する定位実験

### 2.1 方法

36φの小型スピーカ (松下:3P121A) を、被験者の左右の肩の上側、臍および左右の胸、腰、太腿、脛の前側 (前面) と、上腕と下腕の外側、臍および左右の胸、腰、太腿、脛の裏側 (背面) の各位置に取りつけた (Fig.1)。被験者により体格が異なるため、上下腕、太腿、脛では関節と関節の二等分位置とした。総数は、前面が7箇所×2 (左右) +1 (臍)、背面が4箇所×2+1の計24箇所である。

36φ×10mm円筒ケースに収納した小型スピーカは、1kHz以下で約-15dB/oct.、5kHz以上で約-6dB/oct.でレスポンスが低下する。個体差はほとんど無い。5kHz以上のレスポンスは指向性があるが、全帯域(100Hz~20kHz)で見るとほぼ無指向性である。なお、スピーカを体表面に取りつけると、体表がバツフルとなり低域の応答が上がる。

PC上で作成した白色雑音信号を、500Hz~18kHzのスピーカレスポンスを補正する逆フィルタ(2048-tap)に通して、広帯域雑音信号を得た。それをDA変換(44.1kHz, 24bit)し、パワーアンプを通してスピーカに導いた。刺激音の音圧レベルは、スピーカからの距離10cmで70dBとした。

被験者は正面を向いて開眼状態で立ち、体表面に取りつけたスピーカから出力される刺激音を聴き、その位置を口頭で回答した。実験中はできるだけ頭部と体を動かさないように指示した。ランダムな順序で各スピーカから刺激音を3回ずつ呈示したものを1セッションとし、日を変えて10セッションの実験を行った。刺激音の長さや刺激音間隔はいずれも3秒とした。被験者は聴力特性に問題のない20歳代の男性4名である。

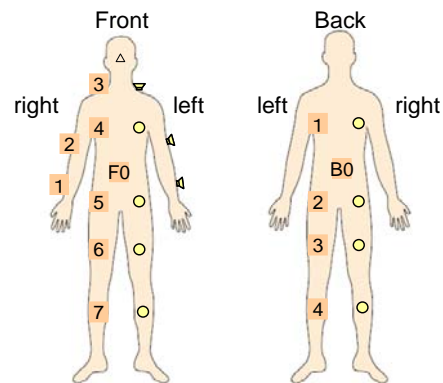


Fig. 1 体表面に取りつけたスピーカの位置。各位置はRF1 (right front 1) 等と呼ぶ。

### 2.2 結果

刺激音は全て頭外定位した。Fig.2は全被験者の全セッションの定位実験結果をまとめたもので、赤丸の面積が回答数に比例している。横軸は音源位置、縦軸は知覚位置で、右側前面(RF: right front)、左側前面(LF: left front)、右側背面(RB: right back)、左側背面(LF: left back)ごとに、図1に示した番号と記号で位置を表

\* Localization of sound sources on the body surface—Why do we dig through all pockets to find a ringing cell phone?—by Hirahara Tatsuya, Noda Yohei, Matsunaga Noriyuki, Morikawa Daisuke (Toyama Prefectural Univ.)

してある。緑色のサブエリアは前後誤り、黄色の対角サブエリアは左右誤り、同じサブエリア内の番号の違いは上下誤りに対応する。

全体の定位正解率は72.3%、前面にある音源の定位正解率は82.3%で、近傍位置への定位誤りと背面への定位誤りが多い。背面にある音源の定位正解率は55.6%で、上下位置への誤りが顕著であった。前後(背)誤りは、スピーカの個数が多い部位(胸と腰は上腕と下腕を含めてそれぞれ6個)と、耳からの距離が遠い脚部で多く生じていた。左右誤りは、主にへそと腰の位置で生じていた。上下誤りは、背面と下半身で多く生じていた。肩に置いた音源の定位誤りはほとんど無かった。

### 3 身体音響伝達関数 (BRTF)

服を着せて模擬脚を取りつけた HATS (Head and Torso Simulator, B&K: 4128C) の体表面位置から耳までの音響伝達関数である BRTF を相反法<sup>1)</sup>を用いて計測した。Fig.3 は前面の体表面位置から左耳までの BRTF のコンター図である。

BRTF スペクトルは、HRTF スペクトルに見られるような高域における特徴的なピークやディップの変化は乏しく、距離に伴う変化<sup>2)</sup>が主であった。BRTF より算出した ITD と ILD は対側の肩と上腕で最大となり(500  $\mu$ s と 25 dB)、下半身では位置に関らず 100  $\mu$ s と 5 dB 程度であった。なお、背面の各位置からの BRTF スペクトルは前面のものと同様で、ITD と ILD も前背面で同じであった。

このような BRTF の特徴から、体表面の広帯域音源の位置の左右は ITD と ILD とスペクトル、前後(背)はわずかなスペクトルの違い、上下は音圧と僅かなスペクトルの違いを頼りにして判断していると考えられる。

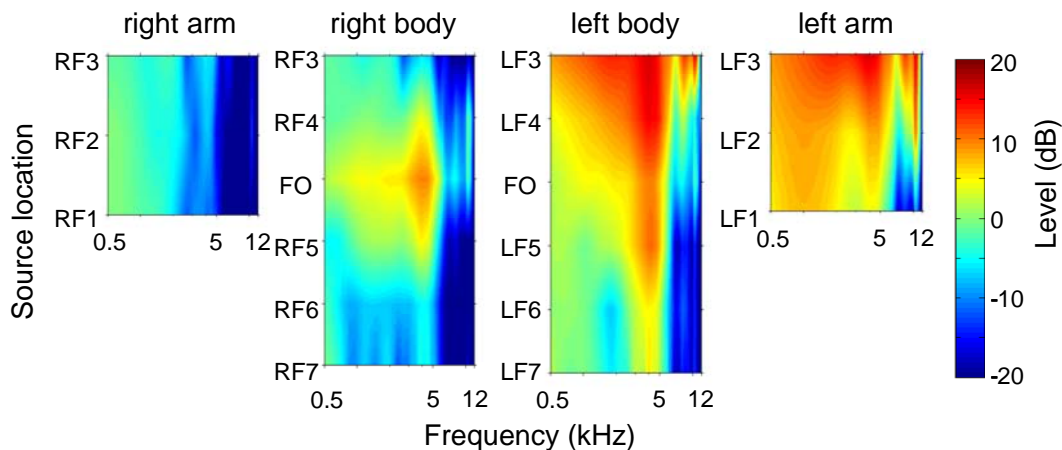


Fig. 3 前面の体表面位置から左耳までの BRTF (body-related transfer function) のコンター図

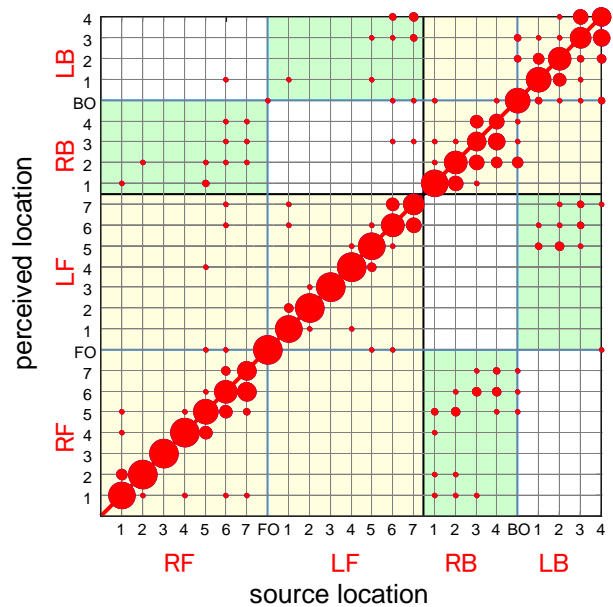


Fig. 2 全被験者の定位実験結果

### 4 まとめ

体表面にある広帯域雑音源に対する音源定位正解率は約72%で、背面と下半身の定位精度が低い。体表面の各位置に対する両耳音響情報は ITD, ILD, BRTF スペクトルであるが、各位置の水平角と仰角の差は少なく、距離が大きく違うために、僅かな ITD, ILD, スペクトルの違いと音圧の違いを頼りに、音源位置を判断せざるを得ない。

広帯域音でさえ3割近く正しく定位できないのであるから、携帯電話の着信音のような高周波の狭帯域音では、定位がはるかに困難になることは想像に難くない。

#### 参考文献

- [1] 松永悟行, 平原達也, "相反法による近接場 HRTF の計測," 音講論, 635-654, (2009.10).
- [2] M. Otani *et al.*, "Numerical study on source-distance dependency of head-related transfer functions," *JASA* **125**(5), 3253-3261, (2009).