

## 反射壁近傍における移動音源の音像軌跡の測定\*

☆ 倉地俊哉, 森川大輔, 平原達也 (富山県立大)

### 1 はじめに

反射がある防音室内で受聴者の目前で直線水平運動する音源が低域成分を含んでいると、その音像は壁の傍で頭部に沿って曲がることを先に報告した<sup>[1,2]</sup>。ただし、これは移動音源の音像が曲がったか否かを口頭で回答したものであり、音像軌跡を描いたものではなかった。本稿では、反射がある空間における移動音の音像知覚を明らかにするために、モーションセンサを用いて反射壁の傍まで壁と垂直に直線水平運動する音源の音像軌跡をトラッキングして測定した結果について述べる。

### 2 音像軌跡の測定方法

実験はカーペット敷きの床と吸音パネルが貼られた天井と壁を持ち、暗騒音レベル24 dBの防音室 (W: 3.2 m, D: 3.5 m, H: 2.3 m) の中で行った。防音室の左壁には塩化ビニル製の反射板 (912×1822×2 mm) を設置した。

#### 2.1 ラウドスピーカの移動

ラウドスピーカ (Anthony Gallo, Micro Satellite) は、ステッピングモータの制御によりアルミフレームに載せたスライダー上を水平移動させた。ラウドスピーカの移動距離は1 mで、ラウドスピーカが最も左端に来た場合に、反射壁からの距離は110 mmとした。

音像軌跡を測定するとき、ラウドスピーカは0.2 m/sの移動速度で右端から動かして、2往復半させ、左端で停止させた。また、右端と左端ではそれぞれ2秒間停止させた。

なお、ラウドスピーカ移動時の駆動騒音レベルは33 dBであった。

#### 2.2 音像軌跡の測定

音像軌跡は、ラウドスピーカ移動範囲の中心から0.25 m離れた位置に頭部中心が来るように座した被験者が、磁気モーションセンサ (Liberty, Polhemus) のセンサを保持した手を顔の前で音像の方向に向け、音像の動きを追うことで測定した。モーションセンサのトランスミッタは頭部後方の水平台上に置いた。

また、もう一つのセンサによってラウドスピーカの位置をトラッキングし、その始動時間と停止時間を測定した (Fig.1)。ここで音源位置  $L$  は左端で  $-0.5$  m、右端で  $0.5$  m とし、被験者の頭部中心から見た音源の方位角  $\theta_s$  は左端で  $-63.4^\circ$ 、右端で  $63.4^\circ$  である (Fig.2)。

測定では、ラウドスピーカが2往復する間は練習とし、最後の半周を本番として右端から左端へ移動する音源の音像軌跡とした。

#### 2.3 実験条件

刺激音は中心周波数  $f_c$  が 0.375, 0.75, 1.5, 3, 6 kHz の 1/3oct. 帯域雑音で、真正面の位置での A 特性補正音圧レベルを 70 dB とした。

被験者は音像定位実験の経験がある健聴者4名であり、測定は各被験者、各  $f_c$  で3セッションずつ行った。

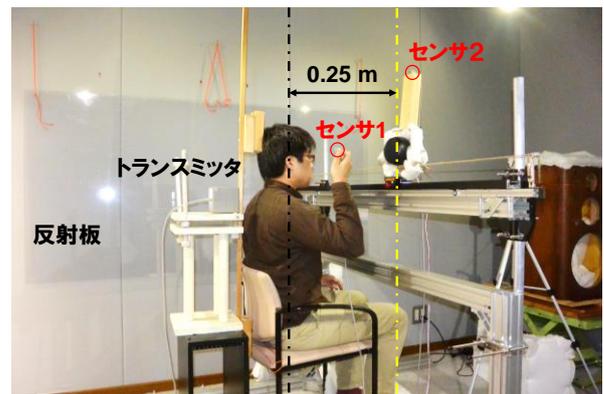


Fig.1 音像軌跡を測定している様子

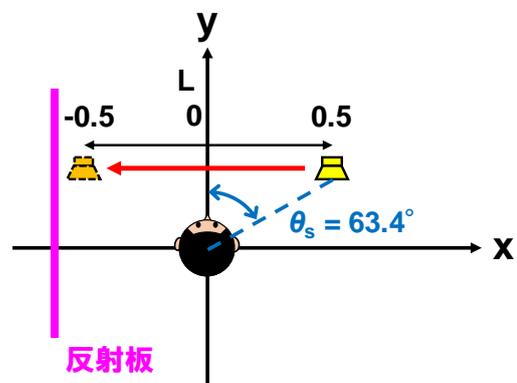


Fig.2 音源の移動角度

\* Measurement of the sound image trajectory of a moving sound source near the reflective wall, by KURACHI, Shunya, MORIKAWA, Daisuke and HIRAHARA, Tatsuya (Toyama Prefectural Univ.).

### 3 音像軌跡の測定結果

代表的な被験者の、あるセッションにおける音像軌跡を Fig.3 に示す。同図に示されるように、 $f_c$  が 3 kHz と 6 kHz では音像軌跡は曲がらなかった。これは全被験者において同じであった。なお、音像軌跡が直線でないのは、手でセンサを動かしているためである。

$f_c$  が 1.5 kHz でも音像軌跡は曲がらなかったが、被験者によっては音像軌跡が曲がる場合もあった。

$f_c$  が 750 Hz では音源が反射壁側にあると音像軌跡は曲がった。L が -0.30 m で音像の位置は急に頭部側方に曲がり、音源が最左端 (L が -0.5 m) にある場合の音像の方位角  $\theta_i$  は  $-72.1^\circ$  であった。なお、被験者によって音像軌跡が曲がらない者や、同じ被験者でもセッションによって音像軌跡が曲がらない場合があった。音像が曲がったのは全 12 セッション中 5 回であった。

$f_c$  が 375 Hz では音源が反射壁側にあると音像軌跡は曲がった。L が -0.29 m で音像の位置は急に頭部側面に曲がり、音源が最左端にある場合の  $\theta_i$  は  $-84.3^\circ$  であった。音像軌跡が曲がるという結果は、全 12 セッション中 10 回のセッションで同様であった。

Fig.4 は全被験者、全セッションにおける音源が最左端にあるときの平均音像角度  $\bar{\theta}_i$  と標準偏差を描いたものである。同図に示されるように、 $f_c$  が 750 Hz 以下では、その音像軌跡は反射壁側に近い最左端で曲がる傾向がある。また、 $f_c$  が 750 Hz の場合は音像軌跡が曲がる場合と曲がらない場合が半々であるため、標準偏差が大きい。

### 4 考察

$f_c$  が低い刺激音の音像軌跡は曲がる傾向があり、 $f_c$  が高い刺激音の音像軌跡が曲がらなかったことから、この音像が曲がる現象は両耳間時間差 (ITD) によるものといえる。音像が左側に曲がるということは右耳に音波が遅れて届いたということであり、直接音から遅れて右耳に届く左壁からの反射音が ITD の計算に影響を与えたと考えられる。

なお、ヒトの聴覚が ITD の計算に用いる周波数の上限附近の  $f_c$  が 1.5 kHz の刺激音に対して、一人の被験者は低域成分だけが分離して曲がったという内観を報告した。

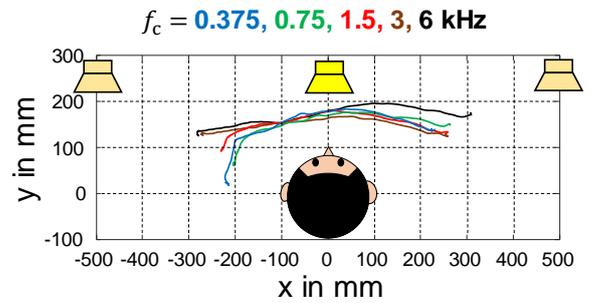


Fig.3 代表的な被験者の音像軌跡

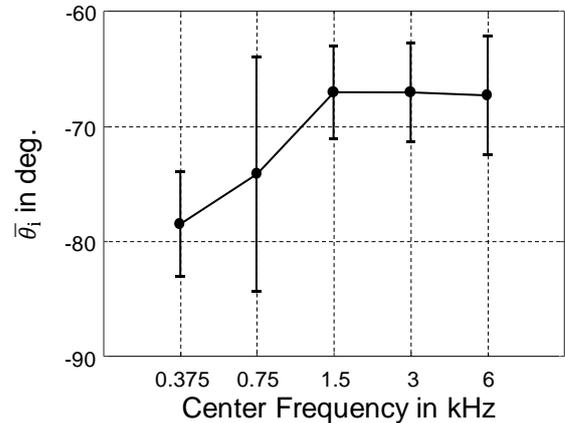


Fig.4 全被験者における音源が最左端にあるときの平均音像角度と標準偏差

$f_c$  が 750 Hz では、1/3oct.帯域雑音の音像軌跡は曲がらない場合があった。一方、帯域幅 315 Hz の狭帯域雑音は全て曲がっていた<sup>2)</sup>。したがって、刺激音の帯域幅が音像軌跡に影響したと推察される。

### 5 まとめ

反射壁近傍における移動音の音像軌跡を測定した結果、 $f_c$  が 750 Hz 以下の刺激音の音像軌跡は音源が反射壁の傍に来たときに曲がる傾向があり、 $f_c$  が 1.5 kHz 以上の刺激音の音像軌跡は曲がらなかった。したがって、この知覚現象は ITD によるものであることがわかった。両耳への直接音と反射音の到来時間と知覚の関係について詳細に調べることが今後の課題である。

#### 謝辞

本研究は科研費 (16H01736) による。

#### 参考文献

- [1] 倉地, 森川, 平原, "音源近傍の反射壁による両耳特徴の変化," 音講論 463-464, 2017.09.
- [2] 倉地, 森川, 平原, "音源近傍の反射壁が両耳特徴に及ぼす影響," 聴覚研究会資料, 47(7), 567-572, 2017.10.