

## 接近・遠離音の知覚\*

○岡田脩平, 今井悠貴, 平原達也 (富山県立大・工学部)

### 1 はじめに

我々は日常生活で様々な移動音を聞いている。その中でも、音を発しているモノまでの距離判断や、音が自分に近づいているかどうかの判断は、危険回避のために欠かせない。静止した音までの距離の知覚は、音圧レベルや音のスペクトルや視覚情報など、多くの要因が関与している。また、一つの音源の距離を絶対的に判断するだけでなく、その周囲に存在する他の音と何らかの比較を行うことで、相対的な判断をしていると考えられている<sup>[1]</sup>。そのため、単一の音源に頭部伝達関数(HRTF)を畳み込むだけでは、狙った距離に音像を呈示することは難しいとされている。

本報告では、頭部中心から放射状に直線移動する接近・遠離音の聴こえ方を明らかにするために、(1) 移動音源を実耳受聴した場合、(2) その接近・遠離音を受聴者の実耳でバイノーラル収録したものをバイノーラル再生した場合、(3) 受聴者の HRTF を用いて合成した接近・遠離バイノーラル音を再生した場合の音像の動きについて述べる。

### 2 スピーカを接近・遠離させた移動音

#### 2.1 音源と移動方法

PC 上で生成した白色雑音を 44.1 kHz/24 bit の DA 変換器(Roland, UA-101)から出力し、パワーアンプ(Denon, PMA-1500AE)で増幅し、直径 10 cm の小型球形スピーカ(Anthony Gallo Acoustics, Micro)から出力した。スピーカが頭部表面から 10 cm の距離にあるときの外耳道入り口での音圧レベルを 90 dB とした。

スピーカは長さ 1 m のアルミ棒に取りつけ、訓練を積んだ実験者が直線上に移動させた。スピーカの移動方向は頭部中心から 45°毎の 8 方向で、頭部表面から 5 cm~1 m の間を 5 秒間で 1 往復させた (Fig.1)。このとき、3次元位置センサ(Ascension Technology, Flock of Bird)でスピーカの動きを測定した。Fig.2 に 270°方向のスピーカ移動の様子を示す。

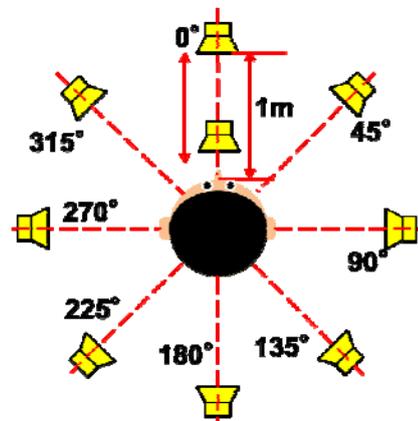


Fig.1 接近・遠離音の呈示方向

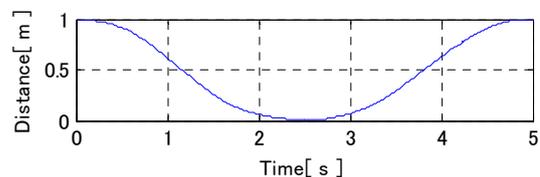


Fig.2 スピーカの移動の様子 (270°方向)

#### 2.2 聴こえ方

接近・遠離音を5名の被験者が実耳受聴した結果、全ての被験者が45°と315°以外の方向において音像は音源の移動方向に接近・遠離移動した、と報告した。45°と315°の方向では、Fig.3に示すように、音源が頭部に接近した時に、音像がこめかみあたりに近づいてから耳元にシフトした、と全ての被験者が報告した。

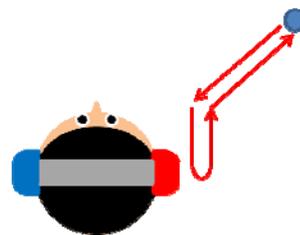


Fig.3 45°方向の接近・遠離音の音像移動

### 3 バイノーラル収録音

#### 3.1 接近・遠離音のバイノーラル収録法

5名の被験者それぞれの両耳に耳栓マイクロホン挿入し、2節で述べた接近・遠離音をバイノーラル収録した。耳栓マイクロホン

\*Perception of approaching and retreating sound, by OKADA Shuhei, IMAI Yuki and HIRAHARA Tatsuya (Toyama Prefectural University).

は6φのEMC(Primo, EM-158)をシリコーン印象材に埋め込んだものである。その出力をマイクアンプ(audio technical, AT-MA20)で増幅し、44.1 kHz/24 bit のAD変換器(Roland, UA-101)に入力した。

### 3.2 聴こえ方

5名の被験者が、自分の耳でバイノーラル収録した接近・遠離音を密閉型ヘッドホン(Sennheiser, HDA200)と開放型ヘッドホン(Sennheiser, RS220)を用いて聴いた。その結果、正面(0°)方向の音像は頭内定位する場合があったが、その他の方向では音像の移動方向は音像の移動距離とほぼ一致した。また、45°と315°方向の接近・遠離音は、実耳受聴の場合と同様に、音像がこめかみあたりに近づいてから耳元にシフトした。更に、正面以外の方向の接近・遠離音は、遠方のものほど仰角が高く聴こえた。ヘッドホンはRS220を用いた場合の方がより距離感があり、音像の移動が明瞭であった。

## 4 バイノーラル合成音

### 4.1 接近・遠離音のHRTF合成法

距離を変化させたHRTFを相反法により測定し、白色雑音に畳みこんで合成した。距離方向のHRTFの測定には1.0mの銅パイプ(6mmφ)にマイクロホン(Primo, EM-158)を0.1m間隔で10個取り付けたマイクロホンアレイを2つ使用した<sup>[2]</sup>。被験者の頭部表面から一番近いマイクロホンまでの距離を5cmとし、被験者の頭部を挟むように、0°, 45°, 90°, 135°方向に2つのマイクロホンアレイを設置した<sup>[2]</sup>。測定したHRTFを10cm間隔で補間し、それらを白色雑音信号に畳みこんで、接近・遠離移動するバイノーラル音を合成した。

### 4.2 聴こえ方

5名の被験者が、それぞれのHRTFを用いて合成した接近・遠離移動するバイノーラル音を3節と同様のヘッドホンを用いて聴いた。その結果、0°方向では頭内定位する場合があったが、その他の方向では音像とHRTF測定した方向はほぼ一致した。また、45°と315°方向の接近・遠離音の音像は、実耳受聴の場合と同様に、こめかみあたりに近づいてから耳元にシフトした。ヘッドホンはRS220を用いた場合の方がより距離感があり、音像の移動も明瞭であった。

## 5 考察

2, 3, 4節に共通して、45°と315°において、耳元にシフトする音像の動きが認められた。HRTF合成した接近・遠離音においても、45°と315°方向で耳元に音像がシフトする動きが認められたため、接近・遠離音を呈示したスピーカの反射が原因ではないと考えられる。接近・遠離音の呈示を、移動範囲を頭部表面から10cm~1mにすると、45°と315°方向でも音像が耳元にシフトする動きは認められなかった。このことから、頭部に非常に近い位置でのみ音像が耳元にシフトする動きが起こると考えられる。

また、頭部表面から5cmの位置に45°間隔で配置したスピーカを用いて、予備的な音像定位実験を行った。その結果、それらの音は正しく定位ができていた。したがって、45°と315°における耳元にシフトする音像の動きは、移動音に特有の知覚であるとも考えられるが、その成因については今後の検討が必要である。

## 6 まとめ

小型スピーカを移動させた接近・遠離音を実耳受聴した場合、それをバイノーラル収録しバイノーラル再生した場合、距離を変化させたHRTFで合成したバイノーラル音を呈示した場合、の音像の動きを比較した。いずれの場合も音像は接近・遠離移動したが、45°と315°方向では、音像は直線移動せず、こめかみあたりに近づいてから耳元にシフトした。この変則的な音像の移動が起こるのは、頭部表面から10cm以内に音源を近づけた場合であった。

### 謝辞

本研究の一部は科研費(25330203)による。

### 参考文献

- [1] 金海永, 鈴木陽一, 高根昭一, 小澤賢司, 曾根敏夫, “絶対判断と相対判断による音像距離知覚の比較” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 4(2), 455-460, 1999
- [2] 今井悠貴, 森川大輔, 平原達也, “相反法による頭部伝達関数の測定,” 電子情報通信学会技術研究報告 EA 112(226), 43-48, 2012.