

# チュートリアル「音で臨場感を創るための基礎知識」

渡邊 貫治<sup>1,a)</sup>

**概要:** 人工的に空間を創り、あたかもその空間にいるかのような感覚、すなわち臨場感を与えるシステムは、バーチャルリアリティの分野において重要である。音に関しては、音空間を提示する“聴覚ディスプレイ”と呼ばれるシステムの研究が盛んに行われてきた。本稿では、音空間知覚やシステムの基となる、音像定位や頭部伝達関数について解説する。

## Tutorial: Background to create a realistic sensation by acoustic techniques

WATANABE KANJI<sup>1,a)</sup>

### 1. はじめに

空間音響分野において、任意の音空間を人工的に創り、あたかもその空間にいるかのような高い臨場感を聴取者に与えるシステムが盛んに研究されている。このようなシステムは、映像におけるディスプレイ装置になぞらえ、“聴覚ディスプレイ”と呼ばれる。聴覚ディスプレイを実現するために必要な技術は、所望の音場における音信号を物理的に忠実に再現することと、聴覚の空間知覚の性質を考慮して音信号を制御することに分けられる。前者は、対象とする音空間における音の伝搬あるいは両耳に入射する信号を、物理的に厳密に再現することを目指している。一方、後者は、物理的な厳密さよりも、聴取者の知覚が所望の音空間における知覚と等しくなるような情報を提示することを考えている。

本稿では、聴覚ディスプレイの実装と空間知覚に関する最も基礎的な事項である、音像定位、頭部伝達関数について説明し、聴覚ディスプレイの原理についても簡単に解説する。

### 2. 音像定位

音空間知覚において、聴覚が音から得る空間的な情報として、音源の位置や響き、部屋の広がり感が挙げられる。特にある位置に音像を知覚することを“音像定位”と呼び、古くから研究が行われている。図1に示すように、両耳に入射する音の伝搬過程を考えると、音源から両耳までに経路差があり、頭部や耳介における反射・回折の影響も受ける。そのため、両耳間で音の到達時間差や、回折・距離減衰によるレベル差が生じ、それぞれ両耳間時間差、両耳間レベル差と呼ばれる。また、反射・回折は音源信号の周波数特性を変化させる。それらは、音源位置によって異なり、音像定位の手がかりであることが知られている。さらに、頭部の動きによって生じる両耳信号の動的変化も利用することで、静止している場合よりも定位精度が向上することもわかっている [1]。

### 3. 頭部伝達関数

音像定位の手がかりは、前節で述べたものの他に、室内の反射・残響が距離感や広がり感に関わっていることが知られている。それらを総合的に含むものとして、伝達関数の形で表現することが多い。特に、自由空間において「頭部の中心に相当する1点と耳道内の1点との間の伝達関数」と定義されるものを頭部伝達関数 (head-related transfer

<sup>1</sup> 秋田県立大学  
Akita Prefectural University 84-4 Ebinokuchi, Tsuchiya,  
Yuri-Honjo, Akita 015-0055, Japan

<sup>a)</sup> kwatanabe@akita-pu.ac.jp

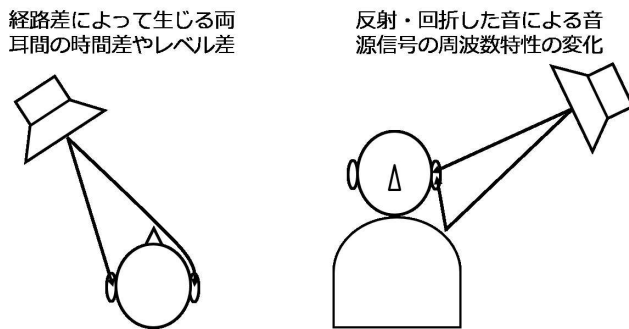


図 1 定位の手がかりの要因  
Fig. 1 Factor of localization cues.

function: HRTF) と呼ぶ [2]. この定義に従い, 各音源方向から外耳道入口までの伝達関数と, 各伝達関数を聴取者がいない状態での音源から頭部中心相当の点までの伝達関数をそれぞれ測定しその比をとることで, 実測の HRTF が得られる.

HRTF をフィルタの一種として考えれば, 任意の音源信号に畳み込むことで, 耳入力信号を模擬できるため, 聴取者は HRTF に対応した位置に音像を知覚することとなる. つまり, 聴覚ディスプレイのように音像を制御するシステムにおいて HRTF はよく用いられている. また, HRTF には定位の手がかりが含まれていると考えられるため, 音空間知覚の研究において非常に重要である.

#### 4. 聴覚ディスプレイ

聴覚ディスプレイを実現するために, 音信号に定位の手がかりを付加するものや, 聴取者を囲む周囲の音空間を物理的に制御する方法など, 様々なアプローチで検討がなされている. HRTF に基づくシステムは, 定位の手がかりを付加する方法の一つで, 図 2 のような構成で実装される. 音源信号に HRTF を畳み込んだ音をヘッドホンで提示することで両耳に入射する信号を物的に再現する. 音源が複数ある場合でも, 対応する HRTF を畳み込み足し合わせることで実現できる. また, HRTF を頭部の動きをセンサーで取得し, 対応する HRTF を実時間で切り替えることができれば, 動的な変化も再現可能である. その他の実装法として, 聴取者の周囲の空間を所望の音空間となるように制御する方法も研究されている. 理論的には非常に多くの音源を必要するため, シミュレーションによる検討が多かったが, コンピュータの性能が向上したことで大規模な再生系の実装もされてきている. そのようなシステムを用いて, 音空間知覚において重要な情報を音信号に付加する, いわゆる音空間レンダリングの研究も進められている [3].

#### 5. まとめ

空間的な情報を提示するシステムは, いわゆるバーチャルリアリティ (VR) への応用が期待される. 視覚の VR は

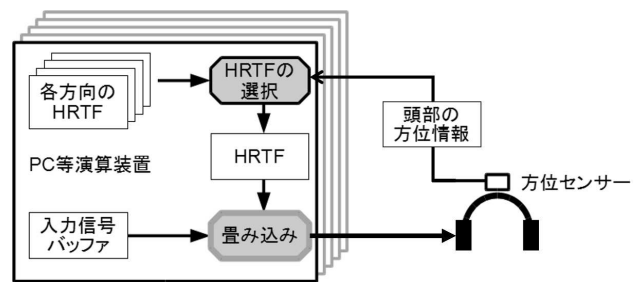


図 2 聴覚ディスプレイの例  
Fig. 2 Example of the auditory display.

既に商用のものが出ており, 一般家庭への普及も見込まれる状況にある. 一方, 聴覚の空間知覚には未解明の事項があり, 聴覚 VR の実現にはまだ課題が残されているといえる. 聴覚ディスプレイと音空間知覚の研究は, それぞれが盛んに行われており, 相補的に発展してきたものでもある. システムの規模や処理の負荷の点で, 物理的な再現が困難な場合も多く, 空間知覚の性質を踏まえた処理の簡略化・効率化につながる. 一方, 高精度なシステムが実現できれば, ヒトの空間知覚能力の解明につながることも考えられる.

#### 参考文献

- [1] 飯田一博, 森本正之編著: 空間音響学, コロナ社 (2010).
- [2] Blauert, J.: *Spatial Hearing*, The MIT Press, Cambridge, MA, 1983.
- [3] 土屋隆生, 岩谷幸雄, 大谷 真, 井口 寧, “包囲型マイクロホン・スピーカアレイによる音空間レンダリングの試み,” 信学技報, EA2013-57, 23-28(2013).