

# 三次元音響 VR エデュテイメントシステムによる 視覚障害者の空間認識能訓練効果

## Effectiveness of 3D VR Audio Edutainment System for spatial recognition for visually impaired person

大内 誠<sup>†</sup>  
Makoto Ohuchi

岩谷 幸雄<sup>‡</sup>  
Yukio Iwaya

鈴木 陽一<sup>‡</sup>  
Yôiti Suzuki

棟方 哲弥<sup>§</sup>  
Tetsuya Munekata

### 1. はじめに

視覚障害者にとって、視覚の代替感覚である聴覚や触覚、嗅覚などから得られる情報は非常に重要であることは言うまでもない。中でも聴覚から得られる情報は、自分が今置かれた環境を知る手がかりになったり、危険を察知し回避する手がかりになるなど極めて重要度が高い。そのため、盲学校や中途失明者のためのリハビリテーション施設などにおいては、聴覚訓練を兼ねたスポーツやレクリエーションなどが行われてきた。たとえば、盲人卓球やフロアバレーボール、グランドボールなどである。これらの球技は、ボールが発する音を手がかりにボールの行方を追うことから音源の位置や方向を特定する能力、すなわち音像定位能力の向上が見込まれる。しかしながら、これらを行うことによって音像定位能力がどの程度向上したのかを定量的に測る手法はなく、また、訓練技法も確立されていない。

そこで筆者らは、視覚障害者の音像定位能力や空間認識能を向上させるための訓練装置を開発した [1]。本システムは、三次元音響 VR (Virtual Reality) を実現するための聴覚ディスプレイ部と、訓練を行うためのエデュテイメントソフト部から構成される。聴覚ディスプレイ部は、音源から鼓膜に至るまでの音響伝達特性である頭部伝達関数 [2] を音源に畳み込むことによって任意の空間に音像を定位させる。また、エデュテイメントソフト部は、三次元位置センサによって手の位置を検出することにより仮想音源に触れられるようにした。

本研究では、視覚障害者の空間認識能訓練のためのシステム開発を目指して、独自の三次元音響 VR 技術により、頭部の回転や位置変化に応じて、仮想的に音像を提示し、音とインタラクティブに関わるエデュテイメントシステムを構築した。今回は、システムの定量的評価のための実験として、晴眼者 10 名を被験者に、統制群を用意して、手の届く範囲の音源位置を把握し、そこに手を伸ばす能力 (これを局所的空間認識能と呼ぶこととする) の向上の有無を確認する実験を行ったので報告する。

### 2. 空間認識能訓練エデュテイメントシステム

#### 2.1 聴覚ディスプレイ部

聴覚ディスプレイ部のシステム構成図を、図 1 に示す。この聴覚ディスプレイは、音像定位させたい方向の頭部伝達関数を音源データにリアルタイムに畳み込み、ヘッドフォンを通して聴取者に提示するものである。畳み込み演算は、専用の DSP ボード (SDS 製 PCI-DSP6701F) で行う。音源データ、ならびに頭部伝達関数のサンプリング周波数は 32 kHz である。一般にヘッドフォン受聴においては、頭部の動きに追従して音像も移動してしまい、絶対的な位置の把握が困難である。そこで、本シ

テムでは頭部を動かしても音像の位置が変化しないように頭部の動きとは相対的に反対方向へ音像位置を動かした。頭部位置を把握するため、ヘッドフォン頭頂には電磁場式三次元位置センサ (Polhemus 社 3SPACE FASTRAK) を取り付け RS-232C 経由でデータを取り込んだ。取り込み間隔は、毎秒 60 回である。

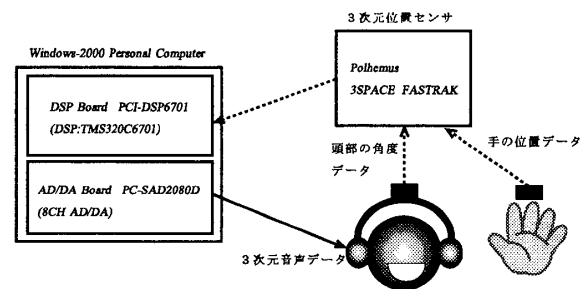


図 1: 聴覚ディスプレイ部のシステム構成図

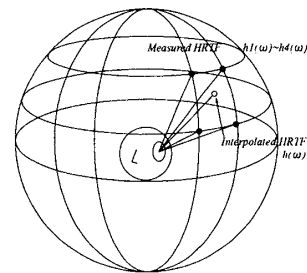


図 2: 頭部伝達関数の補間方法

#### 2.2 頭部伝達関数の測定と補間処理

畳み込まれる頭部伝達関数は、無響室に設置してある球状スピーカアレイにより測定した。このスピーカアレイは、半径が 1.5 m の球状をしており、球の中心に座った被験者の両耳の外耳道入口までの様々な角度の伝達関数を測定することが可能である。測定間隔は、水平方向が 5 度おき、垂直方向が 10 度おきである。ところで、聴覚における方位角の分解能、すなわち最小可聴角度 (Minimum Audible Angles: MAA) は、正面方向の精度が最も高く、約 1 度とされている [3]。このため、頭部運動による位置の変化、および絶対的な音像の位置を正確に反映するためには、測定した間隔では粗すぎる。そこで、本聴覚ディスプレイでは、所望の頭部伝達関数を、定位させたい位置から最も近い 4 つの頭部伝達関数をリアルタイムに選択し、補間処理によって求めている (図 2)。また、距離感には 1.5 m からの音圧を基準に、距離の逆 2 乗則により演算して表している。これらの補間により頭部伝達関数の切り替え時に発生する周波数特性の変化を緩やかにすることができ、また、頭部伝達関数の測定時間を短縮することができるようになった。

<sup>†</sup> 東北大学大学院情報科学研究科 / 東北福祉大学

<sup>‡</sup> 東北大学電気通信研究所・大学院情報科学研究科

<sup>§</sup> 独立行政法人国立特殊教育総合研究所

## 2.3 エデュテイメントソフト部

この聴覚ディスプレイ上で稼働する、ゲーム仕立てのエデュテイメントソフトを、次のような仕様で開発した。ゲームが開始されると仮想の音声生物ホイピッピーが、「ホイピッピー!」と声を発しながら、ランダムな位置に出現し、プレーヤーの頭部の周囲(頭部の中心から半径30~50 cmの間)を耳の高さで水平に飛び回る。これを手に持った発泡スチロール製の棒の先端でたたき落とすと「イテー」と声を発して消滅し、得点となる、言わば三次元音声によるモグラたたきゲームである。これを実現するためには、棒がたたいた位置を知る必要があるため、ヘッドフォンに装着した位置センサと同じものを棒の内部に取り付けた。ホイピッピーは、ゲーム開始から終了までに20回、1回当たり約2秒間出現する。その間にたたき落とせなければ、別のランダムな場所に出現する。また、体の背面方向には出現しないが、出現して消滅するまでの間に移動して背面に回り込む場合がある。なお、ホイピッピーの大きさは3種類で、一辺が12 cm, 16 cm, 20 cmの立法体である。また、移動速度(角速度)も3種類で、毎秒22.5度, 45度, 0度のいずれかである。これらは、難易度に応じて選択できるようにした。

## 3. 訓練実験

### 3.1 訓練効果の評価方法

訓練の前後で局所的空間認識能がどのように変化したかを測定するために、次のような実験を行った。

まず、被験者の頭部中心から半径90 cmの円周上(水平面)にスピーカを12個配置する。このとき、被験者の正面を0度とし、時計回りに15度間隔でスピーカを配置する。したがって、スピーカは被験者の右側の半円上に存在することになる。これらのうちの任意のひとつから刺激音(70 dBAのピンクノイズを2秒間)を提示し、提示し終わると同時に被験者に音源の位置を右手の人差し指で指し示してもらい、実験者は刺激音を提示したスピーカの中心から被験者が指し示した位置との差異(被験者の頭部中心からの角度)、すなわち音像定位誤差を測定する。このとき、スピーカの中心を指し示したならば差異は0度、被験者から見てスピーカの中心よりも右側を指し示した場合は正の値、左側を指し示した場合は負の値で表現する。なお、ひとつのスピーカにつき5回ずつ測定を行い、その平均を算出して角度別の局所的空間認識能の尺度とした。この実験を、ホイピッピーを用いた訓練に入る前(プリテスト)と後(ポストテスト)にそれぞれ行い、プリテストとポストテストにおける局所的空間認識能を比較することによって訓練効果の有無を確かめた。被験者は10名である。なお、今回の実験では、聴覚の正常な晴眼者を被験者として用いたため、実験室に入る前に目隠しをした。

### 3.2 ホイピッピーによる訓練とポストテスト

プリテストが完了した被験者10名のうち、任意の5名(訓練群)を選んでホイピッピーによる訓練を行った。使用した頭部伝達関数は、被験者本人のものではなく第三者のものである。訓練は、ひとりの被験者につき1日15分ずつ10日間行った。訓練が完了した後、ポストテストを行った。また、統制群である非訓練群5名についても比較のためにポストテストを行った。

## 4. 実験結果と考察

訓練群におけるプリテストとポストテストの音像定位誤差の平均を図3に示す。横軸が音源の角度、縦軸が

音像定位誤差を表している。訓練前には音像定位に偏りが大きかった15度、30度、45度、60度、75度、90度方向において、訓練後には小さくなっているのが見て取れる。ここで、定位誤差の絶対値を求めた後、プリテストとポストテスト間の差異を角度ごとに求めて訓練群と非訓練群の間で $t$ 検定を行った結果、有意差が見られ( $T_{(11)}=2.66, p<.05$ ), 訓練群における音像定位誤差の減少幅が大きかったことが確認された。また、分散分析を行った結果、訓練群の60度( $F_{(1,48)}=5.45, p<.05$ )と75度( $F_{(1,48)}=5.26, p<.05$ )において、ポストテストにおける音像定位誤差がプリテストよりも有意に減少していた。一方、非訓練群においては、有意差はなかった。したがって、テストの繰り返しによる慣れの効果は現れていないと思われる。以上の結果より、ホイピッピーによって訓練をすることにより、局所的空間認識能を向上させることができることが分かった。

ところで、訓練効果は体の前半面にのみ現れ、後半面には現れていない。これは、ホイピッピーが体の前半面にのみ出現し、後半面に移動する前にホイピッピーをたたいてしまうが多かったために、後半面における訓練ができなかったことに起因すると思われる。視覚障害者にとっては、どの方向から到達する音声も均等に重要であるため、ホイピッピーを後半面にも出現させる必要がある。

本システムを用いて訓練することにより、音源位置の正確な同定、体と音源との位置関係の把握、音源位置への正確な移動などができるようになり、さらには空間認識能力の向上にもつながることが予想され、視覚障害者にとっては有益であると思われる。今後は、エデュテイメントソフト部の機能やコンテンツの種類を充実させ、実際に視覚障害者の訓練に応用したい。

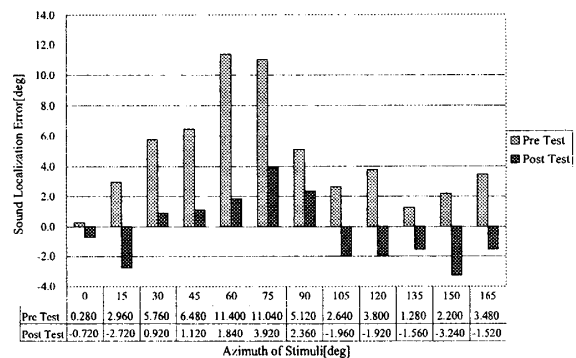


図3: 訓練前後における角度別音像定位誤差の比較

## 謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金萌芽研究(課題番号:14658054)、ならびに、経済産業省地域新生コンソーシアム研究開発事業の補助を受けて行われた。

## 参考文献

- [1] M.Ohuchi, Y.Iwaya, Y.Suzuki, & T.Munekata, "A game for visually impaired children with a 3-D virtual auditory display", ICAD2003, 309, 2003
- [2] J. Blauert, "Sound localization in the median plane", *Acustica*, vol.22, 205-213, 1969
- [3] Mills, A. W, "On the minimum audible angle", *J.Acuust.Soc.Amer.*, vol.30, 237-246, 1958