

3次元サウンドを用いた視覚障害者用聴覚空間認知訓練システム

関 喜一* 佐藤 哲司**

Auditory Orientation Training System by using 3-D Sound for Persons with Visual Impairment.

Yoshikazu SEKI* and Tetsuji SATO**

Abstract

Additional training in the virtual environment is effective for the novice trainee of orientation and mobility (O&M) to reduce the danger and fear in the travel in the real environment. Authors have developed a training system that assists acquisition of the "auditory orientation" such as sound localization or obstacle perception, and skill to travel with the auditory orientation, by using 3-D sound technologies. The system can reproduce the training environments for the sound localization of plural sound sources, the obstacle perception of walls, and their combination. As the result of evaluation experiments, by using this training system we can get more effects than by using the normal O&M training on the three training tasks. One is the task that you walk parallel with cars, second is the task that you walk perpendicularly with the cars, and third task is hearing the sound of cars from the end to the far end of the road.

キーワード：視覚障害者、歩行訓練、音源定位、障害物知覚、3次元サウンド、仮想現実

1. はじめに

傷病等により失明した視覚障害児・者にとって、光ではなく音によって周囲の状況を認知する技能を獲得することは歩行・生活能力を獲得する上で不可欠である。現在視覚障害教育・リハビリテーションの現場における生活・歩行訓練の現状は、本物の生活環境・歩行環境において実際に被訓練者が歩行し、ひたすら周囲の音情報を聞き取って周囲の状況を認知する聴取経験を積み重ねて行くことに依存している。^[1]しかし、訓練を開始したばかりの「初心者」の視覚障害者には、

実際に自動車が往来する実環境での訓練は危険を伴う場合があり、また様々な音響が混在する実環境から必要な手がかりを選択的に聴取することは困難を極める場合がある。訓練の安全性を向上させ、また訓練の効率化、さらには社会復帰までの短期間化を計るためには、実環境でやみくもに聴取経験を蓄積する訓練を行うだけではなく、音響シミュレータなどによる安全かつ体系的な聴覚空間認知訓練を行うことが必要不可欠である。

聴覚空間認知訓練システムの開発の試みは国内外に

* 産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門
** 国立身体障害者リハビリテーションセンター学院
視覚障害学科

* Institute for Human Science and Biomedical Engineering, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST).
** Course of Rehabilitation for Persons with Visual Disabilities, The College of National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities.

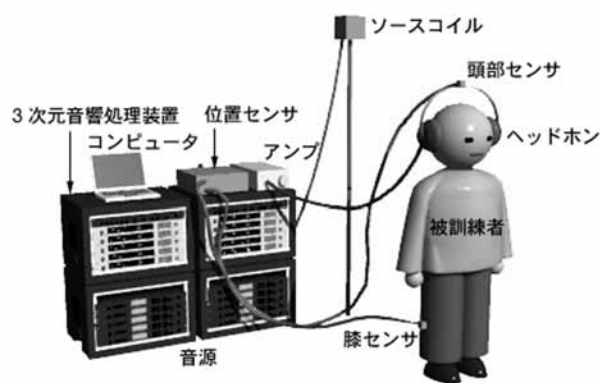
数例存在する^{[2][3][4]}が、それらの試作システムでは、「音源定位（自動車のように音を発している物体を知覚すること）」の訓練のみが考慮されているだけで、「障害物知覚（壁や柱のように音を発していない物体を反射音などにより知覚すること）」の訓練は考慮されておらず全く不十分であり、実用に供した物はない。また関ら^[5]の訓練システムは、障害物知覚の基礎訓練のみを想定したものであり、「音源定位」の訓練は想定していない。

このような背景を踏まえ、筆者らは、「音源定位」と「障害物知覚」の両方の訓練に対応した実用的な聴覚空間認知訓練システムを、3次元サウンドと呼ばれる立体音響技術を用いて開発した。

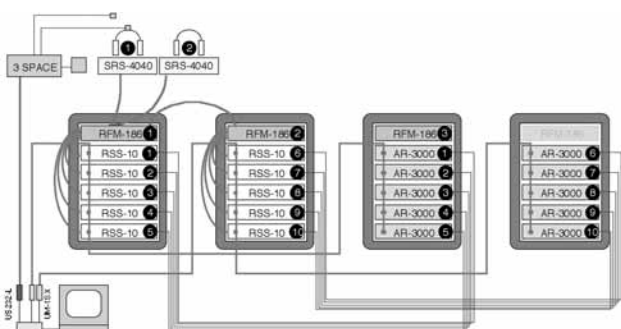
2. 方法

2.1 開発した訓練システムの構成

現在のシステム構成は以下の通りである（図1）。ハードウェアは、音像を3次元の任意の位置に定位させるための信号処理を行う3次元音響処理装置（Roland RSS-10）が10台、自動車などの音素材を記録したレコーダ（Roland AR-3000）が10台、10チャ



(a)



(b)

図1 (a)システム外観 (b)システム構成。本システムは、10台の3次元音響処理装置、10台の音源（レコーダ）、ミキサ、位置センサ、ヘッドホン、および制御用コンピュータからなる。

ネルの音を2チャンネルのステレオヘッドホン信号に合成するミキサ（Roland RFM-186）、訓練生の頭部と膝の位置と方向を計る6自由度位置センサ（Polhemus 3SPACE Fastrak）、ヘッドホン（STAX SRS-4040）、および制御用コンピュータ（Apple iBook G4）により構成される。

制御用ソフトウェアは、REALsoftware社のREALbasicにより作成した。制御用ソフトはMac OS X上で動作する。制御用ソフトはGUI（Graphical User Interface）を有し、訓練士は画面を見ながら簡単にシステムを操作できる（図2）。

このシステムでは、複数移動音源に対する音源定位訓練環境や壁に対する障害物知覚訓練環境、及びこれらを組合せた総合的な訓練環境が再現可能である。また記述できる仮想訓練環境の要素は現在のところ、音源、道、壁、および目印（ランドマーク）の4つである（図3）。

このシステムで再現可能な音源の数は10個である。そのうち4つを東西南北にそれぞれ騒音源として配置

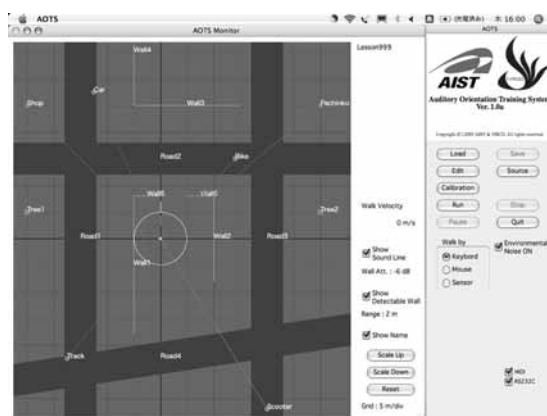


図2 システム動作画面。制御用ソフトウェアは現在、Mac OS X上のアプリケーションとして動作する。GUIを有し、訓練士は画面を見ながらシステムを操作できる。

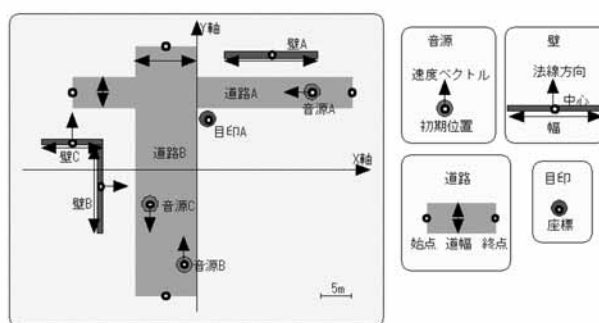
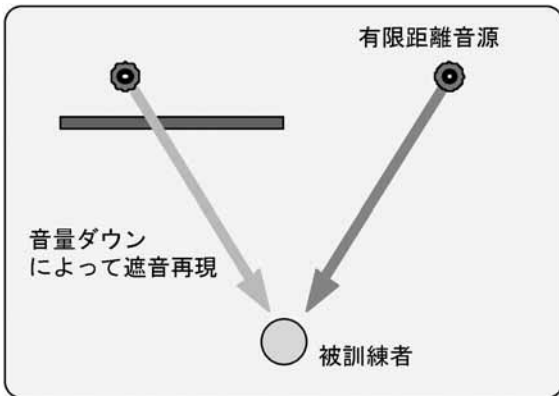
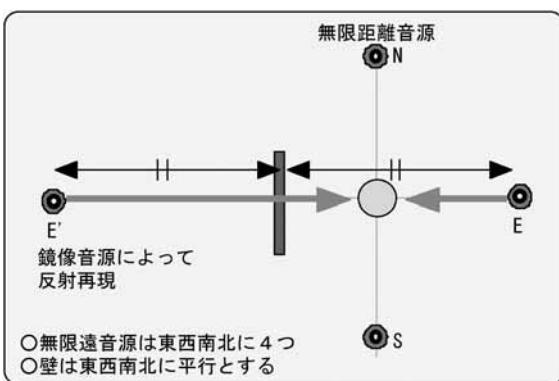


図3 仮想空間の構成要素。音源、道、壁、目印（ランドマーク）の4つで構成する。



(a) 有限距離音源の遮音：壁の影に隠れた音源からの音の音圧レベルを減少させ、壁による遮音を再現する。



(b) 無限距離音源の反射・遮音：壁に対して「鏡像」の位置に音源を映し、壁による反射音を再現する。

図4 障害物知覚に必要な「壁」の表現。

した。残り6個は自動車、歩行者、店などの音源として使用可能である。音源は等速直線運動をすることができ、速度は自由に設定できる。

また、現在再現可能な障害物知覚のための音響現象は、有限距離音源（自動車など）の壁による遮音（単純に -6 dB減衰するものとした）、および無限距離音源（騒音など）の壁による反射、遮音の2つである（壁の2 m以内に接近すると反射遮音を再現するものとした）（図4）。有限距離音源の壁による反射は現在のところ音源不足のため再現できないが、白杖音や足音の反射を再現する上で必要となるため、今後検討が必要である。

なお4つの要素のうち、道と目印は音響的に意味がなく、単に訓練環境を作成する上で、地図を作りやすくするための要素である。

2. 2 本システムの特徴と使用法

(1) 「3次元サウンド技術」の採用

本システムでは、頭部伝達関数（ヒトの頭部・耳介・外耳道等の音響伝達特性）をデジタル信号処理でシミュレーションすることにより仮想音響環境を3次的に作り出す「3次元サウンド技術」を採用した。これにより被訓練者は、自動車や建造物が存在する仮想環境をヘッドホン聴取で安全に体験することができる。

(2) 頭部位置計測による仮想空間制御

頭部位置センサからの情報を基に、被訓練者の頭部が動いた場合、仮想環境の音像の相対位置をその逆方向に移動する制御を行う方式を採用した。これにより、あたかも絶対位置が固定された環境の中にいるかのような没入感を作り出すことができ、被訓練者が自分の頭部の動きによる周囲の音の聞こえ方の変化を学習することができる。

(3) 膝位置計測による歩行動作検出

膝位置センサからの情報を基に、被訓練者の“足踏み”動作を検出する方式を採用した。被訓練者はその場で“足踏み”動作をすることにより、仮想環境内で歩行（歩行動作検出）することができる。歩行方向は膝の向き（つまり体の向き）で決定し、歩行速度は足踏みの早さで決定する。

(4) 障害物知覚要因の再現

反射や遮音を再現することにより、音源定位だけではなく、障害物知覚の訓練も可能とした。（図4）

(5) XMLによる仮想環境表現

仮想訓練環境は、XMLにより記述される。訓練士は、本システムソフトウェアを用いて訓練環境を編集できる他に、通常テキストエディタなどを用いても訓練環境を記述することができる。（図5）

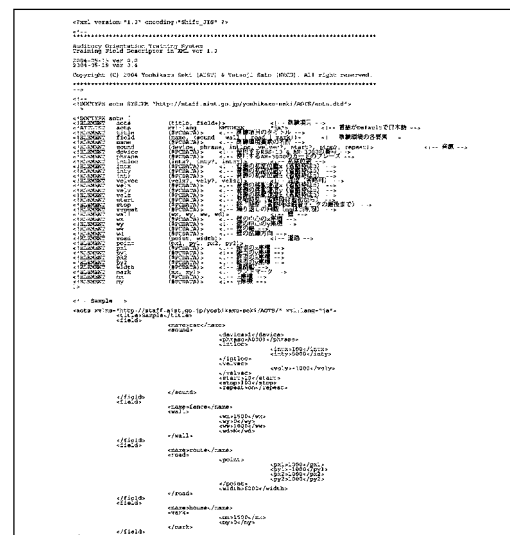


図5 訓練環境を記述するXMLファイルの例。

2. 3 被験者

被験者は晴眼者10名（平均年齢：26.4歳、標準偏差：4.62歳、男性：4名、女性：6名）とした。

また、本評価訓練実験実施にあたり、全被験者に対しインフォームド・コンセントを得た。また、平成16年度国立身体障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会において審査、承認を得た（平成16年6月29日付）。

3. 結果

本訓練システムを用いることで以下のような訓練を実施することが可能になった。

- (1) 車音と平行に方向取りをし、歩行する
- (2) 車音と垂直に方向取りをし、歩行する
- (3) 車音の大きさを聞き比べる
- (4) 雑音がある中で(1)～(3)を行う
- (5) 道路横断を行う
- (6) 雑踏の中を歩行する（人の流れの利用）
- (7) 障害物知覚訓練

これらの訓練内容のうち、(1)～(3)について実施した結果は次のとおりである。

(1) 車音と平行に方向を取り、歩行する

この課題は、視覚障害者が車の音を利用して、直線歩行をする際に必要とされる技能のトレーニングを意図している。本システムを用いて、車音と平行に方向取りをし、歩行してもらう課題を作成し、被験者10名に対し、1台～複数台の車音を聞いてもらい車音と平行に一日10分程度の訓練を5日間実施した。

結果、システム上のバーチャル空間で車音と平行に方向を取り、歩行することができるようになった。また、実環境においても通常の歩行訓練と同等以上の効果が見られた。被験者の主観報告においても「平行という感覚がわかった」と同時に「不安感が減少した」等の報告も得られた。

(2) 車音と垂直に方向を取り、歩行する

この課題は、視覚障害者が車の音を利用して、その音に対して垂直に方向取りをしたり、道から外れてしまった際などに、車道を見つける際などに用いる技能のトレーニングを意図している。本システムを用いて、車音と垂直に方向を取り、歩行してもらう課題を作成し、被験者10名に対し、1台～複数台の車音を聞いてもらい、一日10分程度の訓練を5日間実施した。

結果、システム上のバーチャル空間で車音と垂直

に方向を取り、歩行することができるようになった。また、実環境においても通常の歩行訓練と同等以上の効果が見られた。被験者の主観報告においても「垂直に方向をとることが出来た」等の報告が得られた。

(3) 車音の大きさを聞き比べる

この課題は歩道内で道からそれてしまった時に、歩道内での自分の位置を特定するために用いる技能のトレーニングを意図している。本システムを用いて、車音のすぐそば（1m程度）と車道から離れた場所（5m程度）を設定し、被験者10名に対し、音の大きさを聞き比べてもらった。

結果、すぐそばと離れた場所の弁別が行えるようになった。また実環境においても、意識化することが容易になったため、歩行訓練と同等以上の効果が見られた。

4. 考察

筆者らは、3次元サウンドによる仮想音響環境を用いて、音源定位や障害物知覚などの「聴覚空間認知」の技能の獲得、および聴覚空間認知に基づき歩行する技能の修得を支援するための訓練システムを開発し、実用化に向けて検証実験を行った。

歩行訓練を実際に行う場合、時間や道路事情により、車の通行が無いあるいは少ない、継続して車の音を聞くことが出来ないなどの問題がある。また、季節や地域の事情により、極端に暑い中や寒い中などの厳しい環境の中、車の音を聞くという課題を集中して行わなければならない。加えて、訓練導入時には不安感や恐怖感があることも多い。これらにより、車の音を利用して歩行するという基礎的な技能を短時間に効率よく行うことが困難になるという問題がある。本システムを用いることにより、これらの問題点を解消した訓練が可能になった。

本訓練システムを用いて実際に行った、(1)車音と平行に歩行する、(2)車音と垂直に歩行する、(3)車音の音を聞き比べるという課題は歩行訓練においては実際に行われるものである。本システムを用いることで、5日間という短期間で、安定した状態で車音を利用する訓練が行えることができた。結果、実際の歩行訓練と同等以上の効果が見られたものと考えられる。

本システムを用いた被験者の内省報告からみて、音の聞こえ方に個人差があることがわかった。これは頭部伝達関数が固定されていることに原因があるためと考えられる。また、「微妙なズレなどは判断しにくい」「足踏みをしているだけなので、歩いている実感がな

い」などの報告もあった。

その他、訓練実施においてはセンサーの問題により、被験者の位置が急に飛んでしまったりすることや複数のケーブルが被験者の足に絡んでしまうこともあった。これらの問題は今後の改善課題である。

謝辞

本研究は、厚生労働省の平成15年度厚生労働科学研究費補助金感覚器障害研究事業「3次元サウンドを利用した視覚障害者のための聴覚空間認知訓練システム」(課題番号：H15-感覚器-006)の助成を受けた。

参考文献

- 1) 芝田裕一. 視覚障害者の社会適応訓練. 日本ライトハウス.
- 2) 棟方哲弥, 鈴木陽一, 魚住超, 詫間晋平. 頭部伝達関数を用いた聴覚情報提示システムの障害児教育への適用. 日本音響学会聴覚研究会資料. 1993, p.78-98.
- 3) Inman, D. P., Ken Loge. M. S., Teaching orientation and mobility skills to blind children using simulated acoustical environments, Proc. of HCI International '99, 1999-02, p.1090-1094.
- 4) 小林真, 太田道男. 全方位センサと3次元音響を利用した視覚障害者用歩行誘導システム. バイオメカニズム学会誌. 24(2), 2000, 123-125.
- 5) 関喜一. 聴覚による障害物知覚とその訓練. 日本音響学会誌. 60(6), 2004, 325-329.