

200500620A

厚生労働科学研究費補助金

感覚器障害研究事業

3D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

平成17年度 総括研究報告書

主任研究者 関 喜一

平成18(2006)年 4月

目 次

I. 総括研究報告

3D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 関 喜一	----- 1
--	---------

II. 分担研究報告

聴覚空間認知システムの訓練効果に関する検証 佐藤 哲司	----- 4
--------------------------------	---------

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

----- 14

IV. 研究成果の刊行物・別刷

----- 15

3D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

主任研究者 関 喜一 産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門主任研究員

研究要旨 研究目的は、視覚障害教育・リハビリテーションにおける、聴覚空間認知訓練を行うためのシステムを3Dサウンド技術を用いて開発することにある。今年度は、計画通り、3Dサウンドを利用した聴覚空間認知訓練システム（現在Ver 1.0）を完成させた。現在、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SPRなどによるストレス評価実験によって、本訓練システムのストレス軽減効果などを確認した。

分担研究者 佐藤 哲司 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教官

A. 研究目的

本応募テーマでは、視覚障害教育・リハビリテーションにおける、聴覚空間認知、即ち、光ではなく音を手がかりに自動車や建造物などの物体の存在を知る技能を獲得させるための訓練システムを3Dサウンド技術を用いて開発することを目的とする。

B. 研究方法

研究分担として、主任研究者 関喜一 は音響システムの技術面の構築を担当する。研究分担者 佐藤哲司 は聴覚空間認知訓練のカリキュラムの作成を担当する。研究期間は3年とし、2004年度は、音響システムのハードウェアの構築とカリキュラムの原案の作成、次年度はカリキュラムのソフトウェア化と被験者試験、最終年度は被験者試験結果に基づいた実用化のための改良を行う

C. 研究成果

H17年度は、3Dサウンドシステムと頭部位置センサを装備した訓練システム（H16年度成果）に、足踏み動作を検出する膝位置センサを追加し、仮想空間内でのウォークスルーを可能にした。またシステムソフトウェアは、歩行訓練士が使い易いような実用に近いユーザインタフェースを実装した。これらの成果を基に、H17年度の第1四半期にシステムVer 1.0が完成し、現在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。

本システムで採用した技術原理を以下に上げる。

(1) 「3D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「3D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) 膝位置計測によるウォークスルー

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。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（ウォークスルー）することができる。

(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。

(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、通常の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。

2005年6月にシステムVer 1.0が完成し、現在、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。これらの技術内容は現在特許申請中である。

現在再現可能な移動音源数は6個である。また

東西南北にそれぞれ騒音源を配置した。

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-6dB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2m以内に接近すると反射遮音を再現するものとした）。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。

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。

現在のシステム構成は以下の通り。

(1) ハードウェア

- ・ 3次元音響処理装置 (Roland RSS-10 × 10

台)

- ・ 音源 (Roland AR-3000 × 10台)
 - ・ 位置センサ (Polhemus 3SPACE Fastrak)
 - ・ ミキサ (Roland RFM-186 × 3台 (1台は予備))
 - ・ ヘッドホン (STAX SRS-4040 × 2台)
 - ・ 制御用コンピュータ (Apple iBook G4)
- (2) ソフトウェア
- ・ REALbasicにより作成。Mac OS X上で動作する。

参考までに、図1に本システムの構成図、図2に本システムの訓練士用モニタ画面を示す。

(以上関担当)

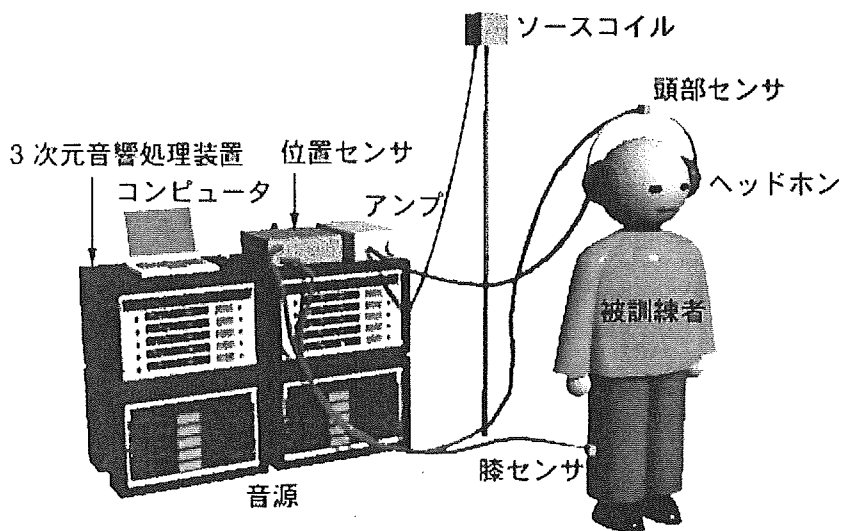


図1 聴覚空間認知訓練システムの構成

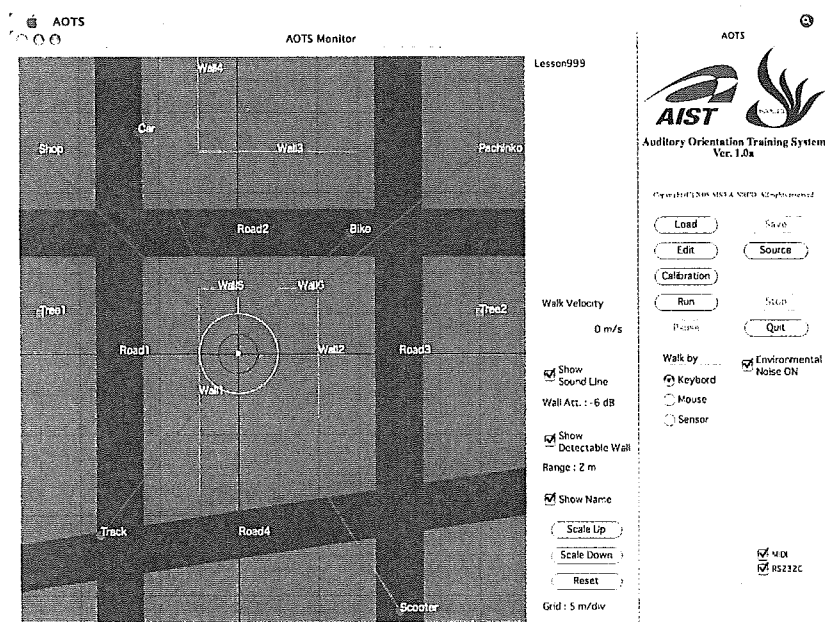


図2 聴覚空間認知訓練システムの訓練士用モニタ画面

また今年度は3Dサウンドを利用した聴覚空間認知システムの訓練効果の検証実験を実施した。実験においては、統制群、歩行訓練群、3D聴覚空間認知システム訓練群の3群において、訓練前後におけるSPR (Stress Pulse Ratio) を用いた、ストレス軽減効果の比較分析を行った。また、同様に、それぞれの群において、訓練前後において、DGPS (Differential Global Positioning System) を用いた、歩行軌跡に関する量的分析の比較分析を行い、車の音を利用した直線歩行技能の上達の度合についても検証した。また、主観的歩行技能・歩行不安評価尺度についても、各群ごとに、訓練前後にその値を比較分析した。これらの結果、本訓練システムを用いて訓練を行うことによって、ストレスが軽減し、歩行技能が上達するということが明らかになった。また、主観的な評価である、歩行技能・不安評価においても、有効性があることが明らかになった。

(以上佐藤担当。詳細は分担研究報告参照)

D. 考察

訓練システムの仕様については、定性的には当初予定していた仕様を満足しているが、障害物知覚の再現のうち、有限距離音源（足音や白杖の音など）の反射がまだ再現できておらず、また壁による遮音の表現や無限距離音源（騒音）の反射の音圧レベルの再現が「定性的」であり、実際の物理現象に則していないなど改良の余地が残った（関担当）

また、SPRなどの評価指標を用いて訓練システムの評価を行ったが、さらに客観的な指標を導入した評価実験が必要である。（佐藤担当）

E. 結論

計画通り、3Dサウンドを利用した聴覚空間認知訓練システム（現在Ver 1.0）が完成し、現在、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SPRなどによるストレス評価実験によって、本訓練システムのストレス軽減効果などを確認した。

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

1. 論文発表

1) 佐藤哲司、関喜一、” 視覚障害者のための3Dサウンドによる聴覚空間認知訓練システム及び訓練プログラムの開発”、国立身体障害者リハビリテーションセンター研究紀要（投稿中）。

2. 学会発表

1) 関喜一、佐藤哲司、” 3Dサウンドを利用した聴覚空間認知訓練システムの開発”、第14回視覚障害者リハビリテーション研究発表大会、(神戸、2005-9)。(図3)

2) 関喜一、佐藤哲司” 3Dサウンドを用いた聴覚空間認知訓練システム(第2報)”、第31回感覚代行シンポジウム、1-4(東京、2005-12)。

I. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

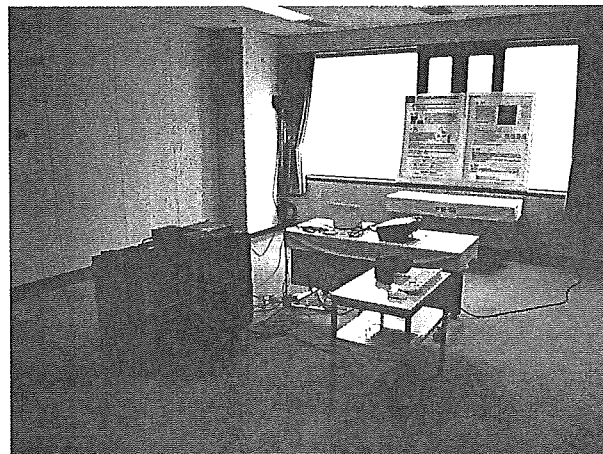
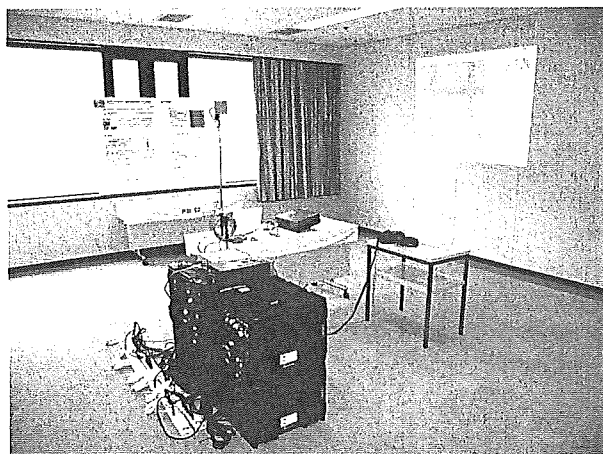


図3 2005年9月の視覚障害者リハ大会（神戸）（学会発表1）における実演用セットアップ

3Dサウンドを利用した視覚障害者のための聴覚空間認知システム
－聴覚空間認知システムの訓練効果に関する検証－

分担研究者 佐藤 哲司 国立身体障害者リハビリテーションセンター学院

研究要旨

今年度は3Dサウンドを利用した聴覚空間認知システムの訓練効果の検証実験を実施した。実験においては、統制群、歩行訓練群、3D聴覚空間認知システム訓練群の3群において、訓練前後におけるSPR（Stress Pulse Ratio）を用いた、ストレス軽減効果の比較分析を行った。また、同様に、それぞれの群において、訓練前後において、DGPS（Differential Global Positioning System）を用いた、歩行軌跡に関する量的分析の比較分析を行い、車の音を利用した直線歩行技能の上達の度合についても検証した。また、主観的歩行技能・歩行不安評価尺度についても、各群ごとに、訓練前後にその値を比較分析した。これらの結果、本訓練システムを用いて訓練を行うことによって、ストレスが軽減し、歩行技能が上達するということが明らかになった。また、主観的な評価である、歩行技能・不安評価においても、有効性があることが明らかになった。

A. 研究目的

本応募テーマでは、前年度の結果に基づき作成した3Dサウンドを利用した聴覚空間認知システムを用いた訓練プログラムの訓練効果の検証を行った。検証には3つの指標を用いた。1つはSPR値（※1）であり、2つ目はDGPS（※2）を用いた歩行軌跡の分析である。3つ目が主観的歩行技能評価と歩行不安評価である。これら3つの指標を訓練前後で比較することで、本訓練システムがストレス軽減と歩行技能、主観的な歩行技能・不安評価に効果があるかどうか分析することが主な目的である。これらを明らかにすることにより、この訓練システムを用いた訓練プログラムの有効性が明らかになり、リハビリ施設や盲学校等において、実用に帰することができると考えられる。

（※1）SPR値

Stress Pulse Ratioのことを指し、ストレス指標の客観的指標として用いられる。実験条件下での心拍数の増加を表し、この値が高い場合はストレス負荷が高いことを意味する。本実験の場合の算出式は以下ようになる。

$$\text{SPR値} = \left(\left(\text{実験歩行時心拍数} \right) - \left(\text{誘導歩行時心拍数} \right) \right) / \left(\text{誘導歩行時心拍数} \right) \times 100 (\%)$$

（※2）DGPS

Differential Global Positioning Systemのことをさす。この装置により実験時の被験者の軌跡を追跡・記録するものである。原理としては、カーナビなどに使用されるGPS（Global Positioning System）を用いて、自己位置の特定やルート記録、検索等を行うものである。しかしながら、カーナビなどに通常用いられるGPSは衛星捕捉の状況等

により、誤差が数十m～100m程度あるといわれている。そのため、より正確な位置特定やルート記録を行うには、この誤差を解消する必要がある。

本実験においては、視覚障害者が単独で白杖歩行する際に訓練効果を示す指標の一つである、歩行の偏り（ベアリング）の度合いを測定する必要がある。そのためには、正確な歩行軌跡を記録することが求められる。そこで、DGPSと呼ばれるシステムを採用した受信機を用いることとした。これは海上保安庁が設置した電波灯台からの補正情報を受信することにより、衛星からの受信信号を補正し、1m以下の精度で位置情報を収集することができるものである。これにより、被験者の歩行偏奇の度合いを、時系列で正確に記録することが可能となり、訓練効果の測定を正確に行うことができると考えられる。

B. 研究方法

研究分担として、分担研究者佐藤哲司は、前年度の結果に基づき作成した訓練プログラムに沿って訓練を実施し、その訓練前後における3指標の変化について、歩行訓練群と統制群との比較を行った。

C. 研究成果

前年度はSPRを用いて道路横断実験と直線歩行実験を行った。その結果、SPRにより被験者のストレスの強さを評価できることがわかった。あわせて、主観的歩行技能評価と歩行不安評価尺度の作成をおこなったが、それらの尺度がSPRと強い相関があることが明らかになった。

また、全国の視覚障害関連施設に行った、歩行訓練の実態調査から聴覚を活用した訓練の実態調査を

行い、訓練プログラム作成において、貴重な資料を得ることができた。

今年度は、これらの結果を踏まえ、3D聴覚技能訓練システムを用いた、訓練プログラムの作成を行った。また、その訓練プログラムを用いて訓練した群と、歩行訓練群、統制群とのSPR値及びDGPSを用いた歩行軌跡の比較分析を行い、本システムにおける、歩行初心者に対するストレス軽減効果と聴覚を活用した歩行技能の上達の度合いを観察した。その結果、どちらにおいても本システムを活用した訓練は効果があることがわかった。

D. 実験方法

1. 歩行訓練プログラムの作成

前年度の実態調査に基づき訓練プログラムを作成した。実験においては、統制群、歩行訓練群、3D聴覚技能訓練群の3群にわかれたが、歩行訓練群と3D聴覚技能訓練群の2群の訓練プログラムについては、訓練内容は同一のものとした。

1. 訓練内容

前年度行った実態調査において、環境中の音源を用いて聴覚評価を行っている施設が約6割と半数を超えた。また、環境中の音源としてはその中の54%が、車やバイク、自転車等の交通音を利用していることが明らかになった。

次に、環境中の音源をどのようにして用いているかということに対しては、37%が方向・距離等を判断する音源定位に用いており、20%が音源を活用して、実際に歩行することができるか評価しているとの回答を得た。また、音源への反応を見る、音源を特定するか見るなどの評価を含むと約9割の施設において、環境中の音源に対して音源定位や歩行の活用に用いていることがわかった。本研究においてもこれらの結果を踏まえ以下のような訓練内容を作成した。

- (1) 車道（車音）と平行に立つ
- (2) 車道（車音）と垂直にたつ
- (3) 車音の大きさを聞く
- (4) 車音と平行に立って50m歩く

以上が今回の訓練プログラムの概要である。この訓練プログラムは基本的に車音をとらえて真っ直ぐ歩行することを目標にしている。

また、当初からの目的であった、歩行初心者に対するストレス軽減に対する効果に対する期待も想定している。

2. 実験内容

1. 被験者

歩行群、歩行訓練群、3D聴覚技能訓練群の3群に分けた。それぞれ10名ずつ、計30名の健常者（平均年齢：28.73歳、標準偏差：7.01歳、男性：9名、女性：21名）。中途失明の歩行初心者を想定した。

各群に共通するのはプレテストとポストテストの

実施である。歩行訓練群、3D聴覚技能訓練群については、プレテストとポストテストの間に1で述べた訓練を5日間実施した。

2. 実験期間

平成18年1月16日（月）～2月17日（金）までの約1ヶ月間。

3. 実験場所

(1) テスト場所（統制群）

国立身体障害者リハビリテーションセンター学院南側道路及びセンター西側の歩道（片側2車線、計4車線の東側に位置する歩道）。歩道幅は約6m。道路側には植え込み、道路の反対側にも植え込みがある。約50mの距離を被験者に歩行してもらった。

(2) テスト場所（歩行訓練群及び3D聴覚技能訓練群）

プレテストについては統制群と同じ場所で実施した。ポストテストについては、プレテスト実施とは異なる東側の歩道にて実施した。距離は同じく約50mの距離を被験者に歩行してもらった。

(3) 歩行訓練群

統制群と同じ場所にて実施。

(4) 3D聴覚技能訓練群

統制群と同じ場所及び国立身体障害者リハビリテーションセンター学院3階、日常生活訓練室にて3D聴覚技能訓練システムを用いて実施した。

4. 実験道具

(1) 心拍計

ポーラ社製S810iスポーツ心拍計

(2) 軌跡記録装置（DGPS装置他）

（株）ティンバーテック社製DGPS受信機（MiniMax）。DGPS受信機操作装置（iPAQhx2410）。軌跡記録ソフト（RoadCap）。

(3) 実験記録用機材

ビクター社製ハードディスクビデオカメラ（EvrioGZ-MG70）。

(4) 計測機器

ストップウォッチ。距離測定器。気象計。騒音計。ICレコーダー。

(5) 訓練機器

3D聴覚技能訓練システム一式。

(6) その他

白杖。アイマスク。

5. 実験方法

(1) プレテスト及びポストテスト

(1) 安静時心拍の測定

実験開始前にアイマスクで遮眼し、安静時心拍を座位で概ね5分間測定した。心拍数が高めである（100拍以上）、あるいは被験者から緊張しているとの報告があった場合は、安定した心拍になるまで（概ね70～80拍程度）、あるいは本人からリラックスしていると言語報告があるまで測定

を続けた。

(2) 運動時心拍の測定

SPRを測定を行うため、運動時心拍を測定した。実験者が被験者を手引きして、実験ルートと同じ距離（50m）を歩行した。歩行回数は2回行った。1回ごとに、心拍が落ち着くまで休憩をとった。歩行速度は、被験者の快適な速度で行った。

(3) テスト測定

環境認知のため、実験者が被験者を手引きし、50mを4回歩行した。1回目は車道が右手、2回目は車道が左手に来るように歩行した。3回目、4回目もこの順序で行った。この際にもSPR測定のため、実験時心拍数を測定した。また、DGP

S

受信機を入れたデイバックを背中に背負ってもらい、歩行軌跡を測定した。実験時には、以下のようなインストラクションを行った。

<インストラクション>

導入

「アイマスクをした状態で白杖をもって、歩行を行ってもらいます。そのとき車音をよく聞いてもらいながら歩いてもらいたいのですが、その聞き方や利用の仕方について、こちらから適宜指示を出しますので、それにしたがって歩いてください。何かにぶつかりそうになる前にこちらで止めますので安心してください。」

「対角線技術（※3）という方法で白杖を持っていただきます。杖先は地面につけたままにしてください。また、白杖は振らないようにしてください。」

「今から歩いていただく歩道について説明します。歩道幅は約6m、車道幅は約12m、車線は、片側2車線4車線、手前側と向こう側、3m右側には植え込み、3m左側には道路と歩道をわける植え込みがあります。」

(※3) 対角線技術

白杖を持つ技術の1つの方法で、自分の身体を腰から下の障害物にぶつかるのを防御するものである。右手で持った場合は、杖先が反対の左側に来ようになる。つまり、体の正面を横切るような形になり、ちょうど白杖が対角線のような状態になる。このとき、左側の杖先は左肩から2~3cmほど出ることによって防御をより強固にする。また、杖を持った手は脱力して右ももの横につける。通常杖先はあげるが、今回の実験では、被験者が白杖操作に不慣れなことや疲労を防ぐ意味で杖先を地面につけて擦ってあるいてもらった。

手引きで基準線上を歩く

「今〇〇さんの前には基準線と呼ばれる架空の線がまっすぐ伸びているとします。この線は〇〇さんの手前から50m真っ直ぐ伸びています。また、この線は車道と平行に伸びています。その線の上を私（実験者）が手引きして〇〇さんに手引きで歩いていただきます。今回の手引きは主にルートに慣れてもらうという目的で歩きます。あまり音に意識を集中せずに、楽にして歩いてください。1回目は道路を右側に聞きながら、2回目は左側に聞きながら歩いてもらいます。また、主に基準線上を歩きますが、途中植え込み側に2回、反対側に2回、基準線に対し垂直方向に約10mの間隔で歩いていきます。道路の幅や植え込みなどの感覚を感じ取ってください。また、適宜指示を出しますので、その指示に従ってください。でははじめます。」

車音と平行に立たせたまま50m×2回歩いてもらう（左右実施、基準線上からs）

「今から、車音を右（左）に聞いた状態で、車道と平行に2回歩いてもらいます。1回目は車道を右に見ながら、2回目は左に見ながら歩いてもらいます。急いで歩く必要はありませんので、先ほど聞いてもらったときのように、車音と平行な状態を十分意識しながら、車音をよく聞いて歩いてください。頭を動かして聞いてみても結構です。なるべく立ち止まらないように歩いてください。また、横歩き（カニ歩き）はしないようにしてください。何かにぶつかりそうになる前に、こちらで止めますので安心して歩いてください。また、その時はぶつかった状況の説明を行い、車道と平行になるよう方向を指示します。その後、歩道の真ん中、つまり、基準線上にご自分で戻ってもらいますので、また車音を聞いて、車道と平行に基準線上をまっすぐ歩いてください。」

事前に心拍を測定すること、及びDGPS受信機により歩行軌跡を測定することを伝えていた。

(2) 統制群

統制群については訓練はないため、プレテスト、ポストテストのみ実施した。

(3) 歩行訓練群

以下のようなインストラクションを行った。

(1) 手引きで基準線上を歩く

プレテスト・ポストテストと同じ。

(2) 車道（車音）に平行に立ってもらう

「今〇〇さんは、先ほど説明した歩道の真ん中、そして、この位置から前にまっすぐに直線が伸びている。これを基準線とします。基準線は道路と平行に伸びています。つまり、この状態が、道路と平行な状態になります。

車音をよくきいて、車道と平行な状態の時の車の音の聞こえ方を覚えておいてください。」（左右2分ずつ実施）

車音をよくきいて、車道と平行な状態の時の車の音の聞こえ方を覚えておいてください。」（左右2分ずつ実施）

後 (3) 車道（車音）に垂直に立ってもらう（前後

実施、基準線上、5分）。

「今〇〇さんは先ほどの基準線上にいます。方向としては基準線に対して垂直な方向に立っています。つまり、これが道路と垂直な状態になります。車音をよく聞いて、車道と垂直な状態の時の車の音の聞こえ方を覚えておいてください。」（車道に向けた時とリハセンター側に向けた時、それぞれ2分ずつ実施する）

(4) 車音の大きさを聞いてもらう（5分）

「今から〇〇さんに車の音の大きさを聞いてもらいます。まず初めに基準線上にいるときの車の音、次に道路に近い時の車の音、最後に壁側にいるときの車の音を聞いてもらいます。それぞれの音の大きさを意識してみてください。」（基準線上に垂直な線で1往復実施。およそ1分程度ずつきいてもらう。）

(5) 車音と平行に立ってもらったまま50m×2回歩いてもらう（左右実施、基準線上から、15分）

インストラクションは、プレテスト、ポストテストと同じ。フィードバックは行わない。

(3) 3D聴覚技能訓練群

(1) 訓練内容説明（2分）

「アイマスクをした状態で、3D聴覚技能訓練システムを用いて、実験を行います。このシステムは音響的バーチャル空間で車の音などをとらえる練習をするものです。このバーチャル空間内を歩いてもらいます。そのとき車音をよく聞いてもらいながら歩いてもらいたいのですが、その聞き方や利用の仕方について、こちらから適宜指示を出します、

また、この空間内で道路に出してしまったりした場合は適宜指示を出しますので、その指示にしたがって歩いてください。」

(2) 3D聴覚技能訓練システムの説明（2分）

「このシステムでは車の音などを、バーチャル空間内で再現します。ヘッドフォンと膝にセンサーがついており、それぞれご自分で装着していただきます。空間内を移動する場合は、行きたい方向を向いて少し上下に大きく（大げさに）足踏みすることにより、バーチャル空間内を自由に動くことができます。」

(3) 練習（音源定位課題＋移動課題）（3分＋3分＝計6分）

練習1（音源定位課題）

「最初に少し練習をします。最初は音のする方向に体を向ける練習です。縁日（おまつ

り）

の音が聞こえます。その音の方向に〇〇さんの体の正面を向けてください。その場の足踏みはいりません。ではやってみましょう。」

「今から〇〇さんを、私が任意の場所に4箇所ほど移動させます。さきほど申し上げたように、音の聞こえる方向に体の正面を向けるようにしてください。その際、こちらへんかなという場所を向いてから、頭を少し左右に動かしてみると、より方向がわかりやすくなります。もし、これでよいと思ったら、私に伝えてください。実際、外に出た場合も音の方向を見つける際に、そのようにすると発見しやすいので、よく覚えておいてください。でははじめます」

この際、練習のため以下のようなフィードバックを行った。正解→「そうですね。いいですね」→「では、次にいきます」。不正解→「もう少し〇ですね」→正解「そうですね。いいですね。」→「では次にいきます。」

また、全部で4回練習を行ったが、以下のように実施した。2箇所目→マウスで移動（1箇所目の側の反対側（後ろに音源が来るようにする））、フィードバックは1箇所目と同じ。

3箇所目、4箇所目も同様。距離はおおよそ10～15m以内にする（3D聴覚技能訓練システムの1つのセルの大きさが5mなので、2～3セル程度離す）。

練習2（音源定位課題＋移動課題）

「今度は音源の方向に体を向けてもらった後に、その音源に近づいていってもらって練習をします。全部で3箇所任意の場所に私が〇〇さんを移動させます。音源に近づく場合は、

その場で上下に大きく足踏みしてください。その際音の大きさの変化を感じとってください。まず音の方向を向いてください。できましたら、私に伝えてください。その後、音源の方向に向かって移動してください。音がかなり大きくなったと感じたら私に伝えてください。」

この練習課題においては以下のようなフィードバックを行った。

1箇所目→マウスで移動→音源定位→正解「そうですね。いいですね。」→「では音に近づいてみてください。」→本人から答え→「はい結構です。次に行きます。」→不正解→「もう少し〇〇ですね。」→正解→「では音に近づいてみてください」→同上。以下2箇所目、3箇所目同様。

距離はおおよそ10～15m以内。・動きが悪い場合は、上下におおげさに足踏みするよう指示をする。

本練習は3D聴覚技能訓練システムそのものに慣れてもらうという目的で実施した。したがって、歩行訓練群にはこのような練習課題は実施していない。

(4)車道（車音）に平行にたってもらう
(左右実施、基準線上、説明2分+車音聴取2×2=4分、計6分)。

「今から訓練課題の説明を行います。今〇〇さんは歩道幅約6mのちょうど真ん中にいると思ってください。道路は〇〇さんの右手側になります。道路の幅は約12mです。〇〇さんの正面には、その道路と同じ方向、つまり道路と平行にまっすぐに線が伸びていると思ってください。この線を基準線とします。3m右手には植え込みがあります。また3m左手側には道路と歩道を区切る植え込みがあります。その状況をよくイメージしてください。よろしいですか。何かご質問はありますか。」

「今〇〇さんは基準線上にいます。車は〇〇さんの右側を前から後ろ、つまり〇〇さんの向いている方向とは同じ方向に動いています。これが車の動く線と平行な状態になります。車音をよくきいて、車道と平行な状態の時の車の音の動きのイメージを覚えてください。頭を動かしても結構です。しばらく聞いてみてください」

(システム一旦停止後)

「〇〇さん、今度は180度回ってもらえますか。今〇〇さんは基準線上にいます。今度は、車は〇〇さんの左側を前から後ろ、つまり、進行方向と逆方向に動いています。これが車の動く線と平行な状態になります。車音をよくきい

て、車道と平行な状態の時の車の音の動きのイメージを覚えてください。頭を動かしても結構です。しばらく聞いてみてください」

(5)車道（車音）に垂直に立ってもらう
(前後実施、基準線上、説明2分+車音聴取2×2=4分、計6分)。

「今〇〇さんは歩道幅約6mのちょうど真ん中の基準線上にいると思ってください。道路は〇〇さんの正面側になります。道路の幅は約12mです。3m前方には道路と歩道を区切る植え込み、3m後方には道路と反対側の植え込みがあります。その状況をよくイメージしてください。よろしいですか。何かご質問はありますか。」

「今〇〇さんは基準線上にいます。道路は〇〇さんの前方にあります。車は〇〇さんの前方を右から左に動いています。つまり、道路が前にあるときに、その道路と垂直な状態になります。車音をよくきいて、道路と垂直な状態の時の車の音の動きのイメージを覚えてください。頭を動かしても結構です。しばらく聞いてみてください」

(システム一旦終了後)

「今〇〇さんは基準線上にいます。今度は、道路は〇〇さんの後方にあります。車は左から右に動いています。つまり、これが道路が後にあるときに、その道路と垂直な状態になります。車音をよくきいて、車道と垂直な状態の時の車の音の動きのイメージを覚えてください。頭を動かしても結構です。しばらく聞いてみてください」

(6)車音の大きさを聞いてもらう（5分程度）

「今から〇〇さんに車の音の大きさを聞いてもらいます。まず初めに基準線上にいるときの車の音、次に道路に近い時の車の音、最後に道路と反対側の植え込みにいるときの車の音を聞いてもらいます。それぞれの音の大きさを意識してみてください。」（基準線上に垂直な線で1往復実施。およそ1分程度ずつきいてもらう。）

(7)音と平行に立たせたまま50m歩いてもらう

(左右実施、基準線上から、説明2分+車音聴取7分×2=16分)

「次の訓練課題について説明します。今度は〇〇さんに、最初に道路が右にある状態で、基準線上を道路と平行に歩いてもらいます。距離はこの空間内で50m歩いてもらいます。急いで歩く必要はありませんので、道路と平行な状態を十分イメージしながら、車音をよく聞いてその場で大きく足踏みしてください。頭を動かして聞いて

みても結構です。左手側に植え込み、右手側にも植え込みがあります。歩行中曲がってどちらかにぶつかってしまった場合は、こちらで適宜指示をいたしますので、それにしがってください。でははじめます。」

3D聴覚技能訓練群においてはシステムへの慣れが重要と考えたため、以下のような配慮及びフィードバックを行った。

<2日目～3日目まで>

当初は検査者がマウスまたキーボードで移動（最初と同方向、道路と平行で壁と植え込み2回ずつ計4回実施）（2日目まで）

<フィードバック（例）>

Q：「今〇〇さんはどこにいますか」

（答えた場合）

→「壁にいますとおもう」→「そうですね。いいですね。」「では、基準線に戻っていただき

たのですが、道路は〇〇さんのどちら側にありますか？」→「〇です」→「はいそうです。では、車の音を頼りに、ご自分で道路に対して垂直な方向を向いてください。」→（もう少し右です等のフィードバック。あったら、「そこで結構です。」）

（現在位置がわからない場合）

→「わかりません」→「では、車の音の大きさはどうですか」→「大きい（小さい）です。」

→「では、道路と反対側ですか道路の植え込み側ですか」→「植え込み（道路と反対側）です」

→「そうですね」→「道路の方向に垂直な方向取りをする」

<4日目～5日目>

道路を右側に聞きながら、基準点よりおよそ50m自分で歩行してもらおう。リカバリー（元の位置に戻る。今回の場合は基準線上とする）の2つの方法について説明をする。1つは、基準線に垂直に向かい、基準線についたら平行な方向取りをする方法。2つ目はぶつかった方向を意識し、同じ角度で基準線に戻る方法。

<フィードバック（例）>

Q：「今〇〇さんはどこにいますか」

（答えた場合）

「壁にいますとおもう」→「そうですね。いいで

すね。」「では、基準線に戻っていただきたいのですが、道路は〇〇さんのどちら側にありますか？」→「〇です」→「はいそうです。では、車の音を頼りに、ご自分で道路に対して垂直な方向を向いてください。」→（もう少し右です等のフィードバック。あったら、「そこで結構です。」）→「では、次に基準線まで歩いてみましょう。」（フィードバックは「もう少し前です」「もう少し後ろです」等。）→（基準線定位後）

→
「では、道路の方向と平行に向いてください」（「もう少し右です」「もう少し左です」、少し音を聞いてもらう）

（現在位置が不明な場合）

「わかりません」→「では、車の音の大きさはどうですか」→「大きい（小さい）です。」→「では、壁ですか植え込みですか」→「壁（植え込み）です」→「そうですね」→「道路の方向に垂直な方向取りをする」→（基準線に移動してもらおう）→（車道と平行な方向取り）

（到着後）「では、今度は車の音を手がかりにして、道路と平行に向いてください」→「ここですか」→「そうですね。」or「もう少し右（左）です」

歩行訓練、3D聴覚技能訓練ともに40分程度で実施した。

E. 実験結果

1. SPR値

統制群、歩行訓練群、3D聴覚技能訓練群（以下3D訓練群）の3群において、1要因3水準の分散分析を行った。その際、外れ値を除外する目的で、各群ごとに危険率1%で区間推定を行った。その結果、99%信頼区間から外れる値については除外した。除外した後の各群の人数は統制群6名（4名除外）、歩行訓練群7名（3名除外）、3D訓練群7名（3名除外）、計20名となった。

また、変数となるSPR値については、（ポストテストのSPR値）－（プレテストのSPR値）とした。SPR値の算出に用いる実験時心拍数については、実験歩行時の最高心拍数を用い、4回行った実験の最高心拍数の平均を用いた。誘導歩行時の心拍数についても2回実施したが、その平均値を用いた。

表1-1 3群のSPR値の平均とSD

	平均	SD
統制群	3.29	7.53
3D訓練群	0.72	5.27
歩行訓練群	-0.19	11.82

分散分析の結果は、表1-2に示したように、条件の効果は有意であった ($F(2, 17) = 4.48, p < .05$)。LSD法を用いた多重比較によると、統制群と3D訓練群の間、統制群と歩行訓練群の間に有意な差があった ($MSE = 22.81, 5\%$ 水準)。歩行訓練群と3D訓練群の間には有意な差は見られなかった。

表1-2 分散分析表 (SPR値)

要因	平方和	df	平均平方	F
条件分散	204.51	2	102.25	4.48 *
誤差	387.80	17	22.81	
	592.30	19		

2. 歩行軌跡

統制群、歩行訓練群、3D聴覚技能訓練群 (以下3D訓練群) の3群において、1要因3水準の分散分析を行った。その際、外れ値を除外する目的で、各群ごとに危険率1%で区間推定を行った。その結果、99%信頼区間から外れる値については除外した。除外した後の各群の人数は統制群6名 (4名除外)、歩行訓練群6名 (4名除外)、3D訓練群7名 (3名除外)、計19名となった。

また、変数となる歩行軌跡の指標については、

(1) 基準線をX軸とした時の歩行軌跡を積分して歩行の偏り具合 (ベアリング) の量的な指標を面積として算出したもの (単位 m^2) (図1-1)、(2) 最大偏軌 (基準線に対する歩行軌跡の垂直方向のズレの最大値、単位はm、 V_{max} とする)、(3) 平均偏軌 (基準線に対する歩行軌跡の垂直方向のズレの平均値、単位はm、 V_{mean} とする) の3指標を用いた。この3指標を、主成分分析し、個人ごとに主成分得点を算出し、それを個人の歩行軌跡の総合値として用いた。これは、当初、歩行軌跡の面積だけを用いることを考えていたが、面積だけを用いると、例えば、(1) 50mの基準線から常時0.3mだけズレて、基準線と平行に歩いた場合と、(2) 49mは正確に基準線上を歩き、最後の1mの区間だけ15m脇にそれてしまった場合とが、同じ評価値 ($15m^2$) となってしまうことがありうる。そのため、今回については、この3指標を用いて、主成分得点を算出し、個人の特性値とした (表2-1, 2)。その結果、第1主成分で70%の寄与率があることから、この3指標はほぼ、1主成分で構成されているとみなすことができる。また、表2-3から、3指標と第1主成分の因子負荷量が大きいことから、第1主成分は歩行偏軌と関連する成分であるといえることができる。

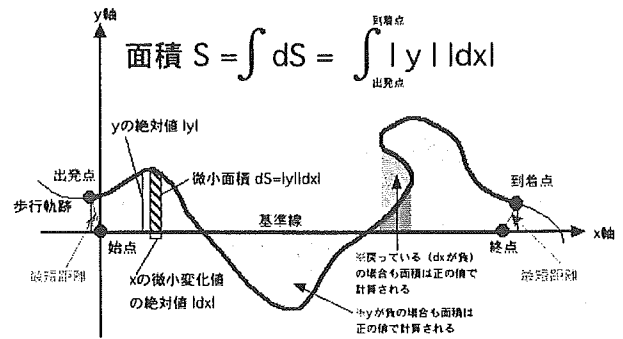


図2-1 面積算出の方法

表2-1 3指標の平均値・SD

	平均値	SD	分析 N
V_{max}	-.278	2.077	30
V_{mean}	-.308	.696	30
面積	-17.13	29.586	30

表2-2 説明された分散の合計

成分	初期の固有値			抽出後の負荷量平方和		
	合計	分散の%	累積%	合計	分散の%	累積%
1	2.11	70.17	70.17	2.11	70.17	70.17
2	.73	24.16	94.33			
3	.17	5.67	100.00			

因子抽出法: 主成分分析

表2-3 各主成分と因子負荷量

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
V_{max}	0.5533	-0.6542	0.5156
V_{mean}	0.6545	-0.0413	-0.7549
面積	0.5152	0.7552	0.4054

この3指標の統合値を、車音を利用した直線歩行技能統合得点とする (以下直線歩行得点とする)。このときの算出法はSPR値と同様、(ポストテストの直線歩行得点) - (プレテストの直線歩行得点) とした。また、4回行った実験の直線歩行得点の平均を用いた (表2-4)。

表2-4 3群の直線歩行得点の平均とSD

	平均	SD
統制群	0.20	0.44
3D訓練群	-0.22	1.13
歩行訓練群	0.02	1.15

分散分析の結果は、表2-5に示したように、条件の効果は有意であった ($F(2,16)=4.00, p<.05$)。LSD法を用いた多重比較によると、統制群と3D訓練群の間、3D訓練群と歩行訓練群の間に有意な差があった ($MSe=0.25, 5\%$ 水準)。統制群と歩行訓練群の間には有意な差は見られなかった。

表2-5 分散分析表(直線歩行得点)

要因	平方和	df	平均平方	F
条件分散	1.96	2	0.98	4.00*
誤差	3.93	16	0.25	
	5.89	18		

*: $p<.05$

3. 主観的歩行技能評価尺度・歩行不安評価尺度 1. 評価尺度の重回帰分析結果

歩行技能評価尺度について、統制群、歩行訓練群、3D聴覚技能訓練群の3群で重回帰分析を行った。

(1) 統制群

(1) 技能評価

回帰式は、 $Y=1.217811X-2.212770$ となり (X: プレテスト時評価得点、Y: ポストテスト時評価得点、以下同様)、相関係数は $r=0.926590$ であり、回帰式は有意であった ($p=0.00001$)。

(2) 不安評価

回帰式は、 $Y=0.944323X+3.388309$ となり、相関係数は $r=0.988094$ であり、回帰式は有意であった ($p<0.0001$)。

(2) 歩行訓練群

(1) 技能評価

回帰式は、 $Y=0.832386X+7.140909$ となり、相関係数は $r=0.661355$ であり、回帰式は有意であった ($p=0.0373$)。

(2) 不安評価

回帰式は、 $Y=0.848834X+2.815242$ となり、相関係数は $r=0.765561$ であり、回帰式は有意であった ($p=0.0098$)。

(3) 3D聴覚技能訓練群

(1) 技能評価

回帰式は、 $Y=1.404736X+2.121636$ となり、相関係数は $r=0.601607$ であり、回帰式は有意傾向であった ($p=0.0658$)。

(2) 不安評価

回帰式は、 $Y=0.785714X+6.328571$ となり、相関係数は $r=0.573395$ であり、回帰式は有意傾向であった ($p=0.0831$)。

2. 主観的歩行評価尺度の分散分析結果

(1) 歩行技能評価

歩行技能評価において2要因4水準 (3群×プレ、ポスト) の分散分析を行った。表3-1は、各条件の平均とSDを示したものである。

表3-1 歩行技能評価得点の平均とSD

群	プレ/ポスト	N	Mean	S.D.
統制	プレ	10	9.70	6.90
	ポスト	10	9.60	9.07
3D	プレ	10	8.10	3.05
	ポスト	10	13.50	7.12
歩行	プレ	10	8.00	5.93
	ポスト	10	13.80	7.47

分散分析の結果、交互作用が有意であった ($F(2,27)=3.66, p<.05$) (表3-2)。そこで、各要因の単純主効果を分析した結果、表3-3に示すとおりになった。すなわち、3D訓練群においてはプレポストに1%水準で有意な差があり、歩行訓練群においてもプレポストで1%水準で有意な差があった。

表3-2 分散分析表 (歩行技能得点)

A(3) = 3群

B(2) = プレ・ポスト

S.V	SS	df	MS	F
A	19.30	2	9.65	0.10 ns
Sub	2407.05	27	89.15	
B	205.35	1	205.35	13.85 **
AxB	108.70	2	54.35	3.66 *
SxB	400.45	27	14.83	

Total 3140.85 59

+ $p<.10$ * $p<.05$ ** $p<.01$

表3-3 A×Bの交互作用分析表 (歩行技能得点)

S.V	SS	df	MS	F
A at B1:	18.20	2	9.10	0.26 ns
(Sub at B1:	921.00	27	34.11)
A at B2:	109.80	2	54.90	0.78 ns
(Sub at B2:	1886.50	27	69.8704)
B at A1:	0.050	1	0.050	0.00 ns
B at A2:	145.80	1	145.80	9.83 **
B at A3:	168.20	1	168.20	11.34 **
(SxB	400.45	27	14.83)	

すなわち、3D訓練群と歩行訓練群において歩行技能尺度評価が上昇していることが明らかになった。

(2) 不安評価尺度

歩行不安評価において2要因4水準 (3群×プ

レ、ポスト)の分散分析を行った。表3-4は、各条件の平均とSDを示したものである。

表3-4 歩行不安評価得点の平均とSD

群	プレ	ポスト	N	Mean	S. D.
統制	プレ	10	41.00	11.54	
	ポスト	10	42.20	11.03	
3D	プレ	10	44.00	5.80	
	ポスト	10	41.00	7.94	
歩行	プレ	10	43.10	6.32	
	ポスト	10	39.40	7.00	

分散分析の結果、交互作用が有意傾向であった(F(2, 27) = 2.70, .05 < p < .10) (表3-5)。そこで、各要因の単純主効果を分析した結果、表3-6に示すとおりになった。すなわち、3D訓練群においてはプレポストで有意傾向、歩行訓練群において5%水準で有意であった。

表3-5 分散分析表 (歩行不安得点)

A(3) = 3群
B(2) = プレ・ポスト

S. V	SS	df	MS	F
A	14.93	2	7.47	0.40 ns
Sub	4060.75	27	150.40	
B	54.15	1	54.15	4.28*
AxB	68.40	2	34.20	2.70*
SxB	341.95	27	12.66	
Total	4540.18	59		

+p < .10 *p < .05 **p < .01

表3-6 A×Bの交互作用分析表 (歩行不安得点)

S. V	SS	df	MS	F
A at B1:	44.07	2	22.03	0.28 ns
(Sub at B1:	2065.80	27	76.51)	
A at B2:	39.27	2	19.63	0.22 ns
(Sub at B2:	2336.90	27	86.55)	
B at A1:	6.050	1	6.050	0.47 ns
B at A2:	48.05	1	48.05	3.79*
B at A3:	68.45	1	68.45	5.40*
(SxB	341.95	27	12.6648	

すなわち、3D訓練群と歩行訓練群において歩行不安評価得点が下降していることが明らかになった。

F. 考察

本研究においては、3Dサウンドを利用した聴覚

空間認知システムの訓練効果の検証を目的とした。明らかになった点は、2つある。ひとつは訓練初心者である視覚障害者を想定したときに、本システムにより訓練を行うことで、ストレスが軽減されるということである。特に実験時心拍の最高値(ピーク値)が訓練実施により、顕著に下がることがわかった。これは、いわゆるドキドキ感が低減することであり、歩行初心者にとっては非常に有効なものである。2つめが車音を聞いて、直線歩行を行うという技能が本訓練システムを用いることにより、歩行訓練と同程度高めることができるとのことである。これらの2つは客観的な指標を用いて分析し、明らかになったことである。一方、前年度から使用している、主観的歩行技能・評価尺度においてもこれらの効果を検証することができた。

3D聴覚空間認知システムで車音を効果的に利用する訓練プログラムの実施は、現場で実際に体験する聴覚的体験や、そこで身につくことのできる、音源定位や移動という課題遂行に不可欠な技能を身につけることができると言うことが示されたといえる。ただし、そのことを明確に示すには、今回は3D訓練群と歩行訓練群だけが実験群であり、他の、例えば、バイノーラル録音や、単なる車音だけを聞かせた群との比較を、今後行う必要があると考えられる。

自省報告では、現場の音と3Dシステムの音は異なると述べる者もいた。実際に音量や音の低減する効果、移動効果などは実際の音とは異なるものであるかもしれない。しかし、実際にストレス軽減や車音を利用した直線歩行技能については、実際の歩行訓練と遜色ないレベルであり、訓練プログラムをさらに改良していくことで、より効率のよいプログラムを作成することができると考えられる。

また、5日間という非常に短い期間であっても、3D聴覚訓練システムを用いた訓練が効果があるということがわかったことは有意義であると考えられる。同様に、実際の歩行訓練でも5日間で効果があることが明らかになった点も、特筆すべきことであると考えられる。

今回は、視覚障害者が被験者になっていないので、一般化することは難しい。しかし、被験者全員が、歩行初心者という意味においては短期間で効果をあげることができたということが明らかになったという点は重要な点であると考えられる。

G. 結論

本研究により、3D聴覚技能訓練システムを用いて、短期間にストレス軽減効果及び車音を用いた直線歩行技能上達に効果があることがわかった。来年度以降は、より細かい分析を行い、訓練プログラムを改良することと、より安価なシステム構築について検討し、このシステムが広く利用される可能性に

ついて研究していく予定である。

H. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 佐藤哲司、関喜一、” 視覚障害者のための3Dサウンドによる聴覚空間認知訓練システム及び訓練プログラムの開発”、国立身体障害者リハビリテーションセンター研究紀要（投稿中）。

2. 学会発表

- 1) 関喜一、佐藤哲司、” 3Dサウンドを利用した聴覚空間認知訓練システムの開発”、第14回視覚障害リハビリテーション研究発表大会、(神戸、2005-9).
- 2) 佐藤哲司、” 主観的歩行技能評価尺度及び不安評価尺度作成の試み”、第14回視覚障害

リハビリテーション研究発表大会、論文集、(神戸、2005-9).

- 3) 関喜一、佐藤哲司” 3Dサウンドを用いた聴覚空間認知訓練システム（第2報）”、第31回感覚代行シンポジウム、1-4（東京、2005-12).

I. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

研究成果の刊行に関する一覧表

著者氏名	論文タイトル	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
なし							

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
佐藤哲司、関喜一	視覚障害者のための3Dサウンドによる聴覚空間認知訓練システム及び訓練プログラムの開発	国立身体障害者リハビリテーションセンター研究紀要	印刷中		2006

国リハ研究紀要投稿票

視覚障害者のための3D サウンドによる聴覚空間認知訓練システム及び訓練プログラムの開発

論文区分	短報						
表題 (和文)	視覚障害者のための3Dサウンドによる聴覚空間認知訓練システム及び訓練プログラムの開発						
表題 (英文)							
著者名 (和文)	佐藤哲司 関喜一						
所属 (和文)	産業技術総合研究所						
著者名 (英文)	Yoshikazu Seki						
所属 (英文)	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST).						
キーワード	歩行訓練、音源定位、障害物知覚、3D サウンド、仮想現実						
チェックリスト (提出前にチェックして確認する。括弧内は「手引き」 「注意」の記載箇所)	<input type="checkbox"/> 原稿の長さとしてレイアウト (「注意」 4. 1) <input type="checkbox"/> アブストラクトおよびその和訳 (「注意」 4. 2、4. 3) <input type="checkbox"/> 表紙ページの項目 (「手引き」 4. 2、「注意」 4. 2-4. 5) <input type="checkbox"/> 人に関する論文における特別の配慮事項 (「手引き」 3. 2)						
以下は事務処理用なので、記入しないこと。							
本文	枚	図	枚	表	枚	写真	枚
アブストラクト				アブストラクト和訳			
受付番号				受付日			
担当編集委員							
論文審査委員							

要旨:

視覚障害者が歩行するためには、聴覚による障害物知覚や音源定位を活用して、空間を認知しなければならぬ。私達は、立体音響技術 (3D サウンド) を駆使し、仮想環境で聴覚空間認知の総合的な訓練が行えるシステムの開発を行った。本システムは、3D サウンドにより、自動車などの移動音源や壁等の反射を再現できる。また頭部と膝の位置センサーにより、頭部の動きや歩行移動を表現できる。このシステムにより視覚障害者は聴覚空間認知を仮想環境内で学ぶことができる。

Abstract:

In order to walk or travel, the blind people should cognize space by using auditory obstacle perception, sound localization, etc. We developed the total training system of the auditory orientation in the virtual environment by using 3-D sound technology. This system can reproduce the moving sound like car, and reflection of wall, by using 3-D sound. It can also represent head motion or walk movement by using head/knee position sensors. This system enables the blind people learn the auditory orientation in virtual environment.

キーワード: 歩行訓練、音源定位、障害物知覚、3D サウンド、仮想現実

Keywords: O&M, sound localization, obstacle perception, 3-D sound, virtual reality,

関喜一、産業技術総合研究所

Yoshikazu Seki, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST).

1. 序論

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のが現状である[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、実際に自動車が必要な手がかかりを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数例存在する[2]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[3]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、3D 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

本訓練システムの原理を説明する。システムは、3D サウンド効果を生成する3次元音響処理装置 (Roland RSS-10 ×10 台)、自動車や環境音を記録する音源 (Roland AR-3000 ×10 台)、制御用のコンピュータ (Apple iBook G4)、頭部と膝の位置を計測する位置センサー (Polhemus 3SPACE Fastrak)、および訓練環境を記述した XML ファイルにより構成される。訓練音響はミキサ (Roland RFW-186 ×3 台 (1 台は予備)) を通してヘッドホン (STAX SRS-4040 ×2 台) で被訓練者と訓練士に提示される (図 1)。

本訓練システムに採用した「3D サウンド」とは、頭部伝達関数 (ヒトの頭部・耳・外耳道などの形状によって決まる音響特性) を DSP でシミュレートすることにより、ヘッドホン聴取で3次元的な音場効果を再現する技術であり、現在アミューズメント目的などで広く使用されている音響技術である。この技術を用いると、聴覚空間認知訓練に必要な自動車等の移動音源や、壁などの反射音をヘッドホン聴取で3次元的に再現できる。位置センサーは、磁気を用いた6自由度位置センサーであり、被訓練者の頭部と膝に取り付けられた。被訓練者の頭部位置を計測することによって、頭部が動いた場合、仮想環境の音場の相対位置をその逆方向に移動する制御を行うことにより、あたかも絶対位置が固定された環境の中に自分がいるかのような没入感を作り出すことができる。これにより、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。また、膝位置を計測することにより、被訓練者の”足踏み”動作を検出し、被訓練者は仮想空間内で歩行することができる。

制御プログラムは Mac OS X 上で動作するものとした。開発環境は REALBasic 5.5 Professional を用いた。この制御プログラムでは、仮想環境内の様子を画面に表示して、訓練士が訓練の進行状態をモニタすることができる (図 2)。また、プロジェクトで拡大投影することにより、ロービジョンの訓練生に視覚を通してフィードバックを与えることができる。

仮想訓練環境は、独自の XML 型式を考案して記述する方法を採用した (図 3)。記述できる内容は現在のところ、音源、道、壁、目印 (ランドマーク) の4つである (図 4)。このシステムでは、移動音源 10 チャネルが再現可能とした。また障害物知覚の訓練に必要な「壁」の表現方法については、有限距離音源については音量制御による遮音を再現 (図

5(a)) し、無限距離音源については鏡像法による反射、および音量制御による遮音を再現 (図 5(b)) する方式を採用した。

3. 結論

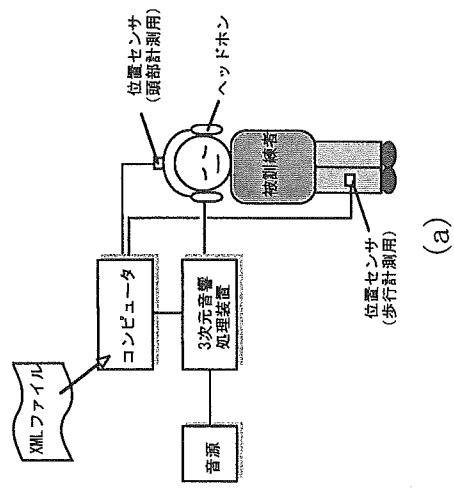
3D サウンドを利用した聴覚空間認知訓練システムを開発した。本システムにより、従来は経験的実地訓練に頼らざるを得なかった訓練が、今度は3Dサウンド技術を用いた仮想音響環境で体系的に行えるようになり、訓練の効率化が見込まれ、視覚障害者の社会復帰への短期間化が期待できる。また、訓練の安全性が向上することにより、視覚障害者の歩行訓練中の事故の危険性の減少、被訓練者の心的ストレスや恐怖感の減少も同時に期待できる。

参考文献

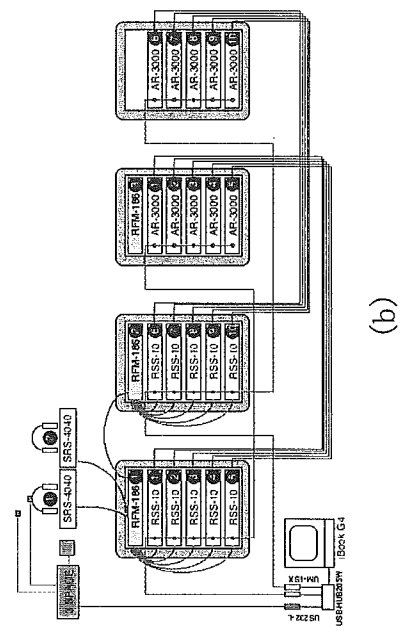
- [1] 例えば、芝田裕一編著、視覚障害者の社会適応訓練 (日本ライトハウス)。
- [2] 例えば、関喜一、”視覚障害者のための VR 技術”、バイオメカニズム学会誌 25 (2)、71-74 (2001)
- [3] 関喜一、”聴覚による障害物知覚とその訓練”、日本音響学会誌 60 (6)、325-329 (2004)。

図の説明

- 図1 システム概略図。(a)ブロック図 (b)装置の構成
- 図2 システム動作画面。制御プログラムは現在、Mac OS X上のアプリケーションとして動作する。
- 図3 訓練環境を記述するXMLファイルの形式。
- 図4 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。
- 図5 障害物知覚に必要な「壁」の表現。(a)有限距離音源の遮音 (b)無限距離音源の反射・遮音



(a)



(b)

図1

