

盲人の道路横断判断における音響情報の有効性に関する学際的研究

The Interdisciplinary Study on the Role of Auditory Information on Judging Crossability of a Road by Blind Pedestrians

研究代表者 伊藤 精英 公立はこだて未来大学 准教授

Kiyohide Ito, associate professor, School of systems information science, Future University-Hakodate

共同研究者 塩瀬 隆之 Takayuki Siose

間々田 和彦 Kazuhiko Mamada

要旨 重度視覚障害者（以下盲人と示す）にとって社会参加と自立を阻害する主要な要因の1つは、独力で街中を移動することが容易ではないということである。特に、道路の横断行為は生命の危険を感じる課題となっており、そのため盲人の積極的な外出が阻害されていることは否めない。しかしながら、道路横断の際、どのような音響情報を利用すれば最も安全な横断行為が可能となるのかについては未解決である。そこで、本研究では道路横断場面を取り上げ、工学・心理学・教育現場の観点から学際的な研究を立案した。具体的には、音響仮想現実技術を利用して街路の音環境を再現するシステムを構築し、道路横断行為の正確性に果たす音響情報の役割を心理学的に解析した。幾つかの心理学的実験により、接近してくる車輛の直接音のみならず、残響音や反射音が道路横断行為に果たす役割の大きいことが示唆された。得られた知見を基に、盲人の街路移動訓練プログラムを立案した。教育現場での評価を行うことが課題として残された。

Abstract One of the challenges that inhibit the people with severe visual impairment (“the blind”) from social participation and self-sustainability is independent locomotion in town. Road-crossing is particularly life-threatening, making the blind less likely to go out. Nevertheless, no studies have determined effective acoustic information for the safest crossing because of the risk inevitable for studies and trainings on real streets. Focusing on road-crossing, therefore, we conducted an interdisciplinary study of engineering, psychology and pedagogy: namely, we developed a virtual reality system that reproduces street environment acoustically, and undertook a psychological analysis of the acoustic information for accuracy in road-crossing. Several psychological experiments indicated that not only direct sound of vehicles approaching but also reverberant sound and reflected sound had a lot of effects on road-crossing. These findings underpinned the development of a training program of the blind’s locomotion on the street. On-site assessments in the field of education remained to be completed.

1. 研究目的

盲人が社会に積極的に参加するためには、自立して移動を行うことは必須となる。これにより盲人は自由に街路を移動することが可能となり結果的に社会参加が促進されるのである。盲人が街路を移動する際、もっとも重要かつ危険な場面は道路横断である。その際、最も有効なのは音響情報と考えられるが、未だその詳細については不明確である。そのため、訓練プログラムも体系化されていない。

本研究は主として以下の3点を目的とした。

(1) 音響仮想現実技術を用いて、車道の横断場面の音環境を再現するシステムを構築した。

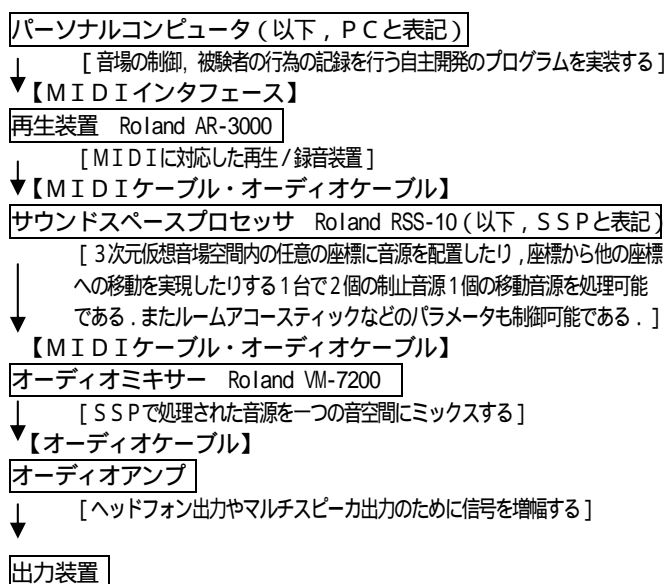
(2) 試作したシステムを用いて音響情報の有効性を検討するための心理学的実験を実施した。

(3) 実験で得られた知見を基に道路横断訓練用学習プログラムを試作する。

2. 研究経過

2.1. 仮想音場提示システムの開発

まず、本研究で想定した音場を述べると、2車線道路で両側に壁面が存在する道路場面とした。次に本研究で開発した3次元仮想音場提示システムについてその構成を述べる。出力方法の違いのみでヘッドフォン受聴とマルチスピーカ受聴とに分けられる。



2.1.1. ヘッドフォン受聴による提示システム

ヘッドフォン受聴の利点は小規模のシステムで実現できること、3次元音源をバイノーラルでコンパクトディスクなどに録音すれば多くの人が試聴することが可能となる。しかしながら、欠点としては頭の形状には個人差があり、頭部伝達関数も同一ではない。従って音場の再現には限界がある。

2.1.2. マルチスピーカによる提示システム

一方、マルチスピーカによる出力方式の利点としては頭部の形状を考慮せずに音場を再現できる。また、いわゆるスイートスポット内では聴取者は身体を動かす自由度が高い。しかしながら、欠点としては、なにより、スピーカ-の数を多くする必要があり、ある程度規模の大きなシステムとなってしまう。

2.1.3. PCに実装された仮想音場提示システムの制御ソフトウェア

前述の信号の流れのように、PC上のソフトウェアからMIDIを介して各オーディオ装置を制御した。ソフトウェアは、主として、再生装置の制御、SSPの制御、被験者の行為の記録を行った。特にSSPの制御では、各種音場のパラメータを扱った。つまり、音源の残響時間、残響音レベル、反射音レベル、ドップラーシフトである。このSSPが備えているパラメータの特徴として自然界で最も強い1次反射音である地面や道路からの反射音の音量や音色を再現できることである。

2.2. 認知心理学的実験

2.2.1. 到達までの残り時間の推定における反射音・残響音の効果に関する実験

目的 1個の移動音源（中型乗用車音）が正面に到達する時点の推定における間接音（残響音・路面からの1次反射音）の強度の果たす役割を検討した。

手続き 被験者は10名の健常な大学生とした。右から左に等速で移動する車輻音が、正面に到達する1秒以前からミュートされ聞こえなくなるような音材料を作成した。被験者はその乗用車の走行音をヘッドフォンにより聴取し正面に到達すると推測される時点でキーボードを押すことを求められた。

条件は、「残響音最大」（図1中、Rev-max）、「残響音中程度」（同、Rev-mid）、「反射音最大」（同、Ref-max）、「反射音中程度」（同、Ref-mid）、そして、「間接音強度最小」（同、-）であった。残響音・1次反射音の強度は、最大・中程度・最小それぞれ、0 dB・-30dB・- dBに相当していた。加えて、路面からの反射音のスペクトルが変化するとと思われる乾いた路面条件と雨天時の濡れた路面条件とが設定された。

各被験者の成績に基づいて平均判断誤差（「判断された到達時間」-「実際の到達時間」）及び、標準偏差を求めた。

結果 図1(a)・(b)に平均判断誤差を示した。乾いた路面では、間接音強度を変化させることで判断誤差も変化していることがわかる。「反射音中程度」すなわち、直接音に対する反射音の音響パワー比が約1/1000の時、最も判断が正確であった。一方、濡れた路面条件では強度が変化してもあまり判断誤差がかわらないことがわかる。注目すべきは「間接音強度最小」（- dB）の際に判断が最も悪かった。

図1(c)・(d)に、標準偏差の平均値を示した。乾いた路面では間接音強度の差異によりSDの差異が大きくなっているのに対し、濡れた路面ではSDが近似している。つまり、乾いた路面条件では間接音強度を変化させることにより判断誤差のばらつきが変化するものの、濡れた路面条件では間接音強度を変化させても判断誤差のばらつきには影響していないことが示唆された。

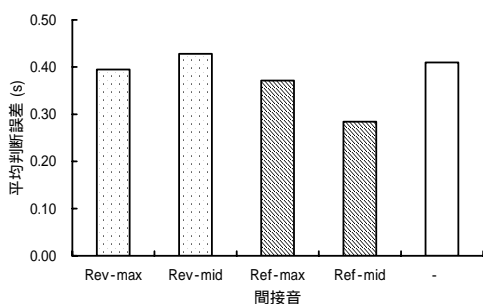


図1(a) 平均判断誤差の絶対値(乾いた路面)

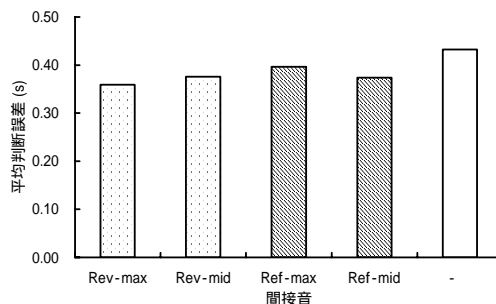


図1(b) 平均判断誤差の絶対値(濡れた路面)

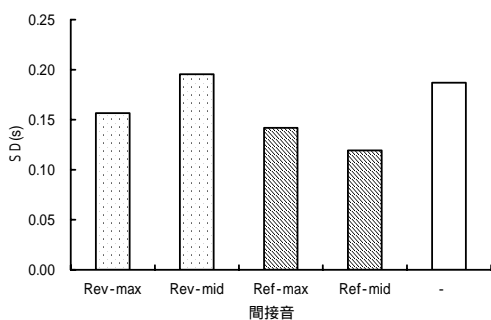


図1(c) 判断誤差の標準偏差(乾いた路面)

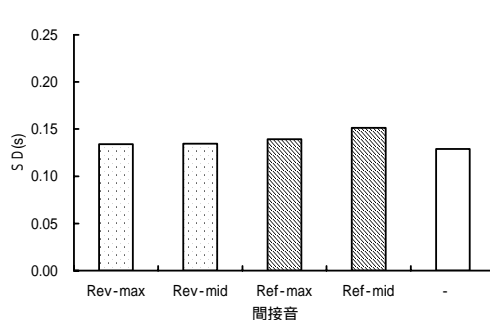


図1(d) 判断誤差の標準偏差(濡れた路面)

本実験により間接音強度の変化・路面の状況などが移動車両の定位判断に影響すること、間接音の影響が路面の状態（つまり、路面からの反射音のスペクトル構造）により異なること、開発したシステムによりこれらを訓練変数として利用可能であることが示唆された。

2.2.2. 移動する車両音の定位に果たす間接音の役割に関する実験

目的 本稿では移動音源定位（以下、 t_a と略す）の正確性が聴取者を中心とした聴空間内で間接音によりどのように影響を受けるのかについて比較検討した。

方法 盲人群13名、晴眼群13名の計26名が実験に参加した。盲人群は全て先天盲であり、聴力に問題はみられなかった。音の再生、間接音レベル、速度は、MIDIを介して制御され、被験者の応答もPCにより行われた。条件として、間接音（路面反射音及び残響音レベル）が0dB～-60dBにわたり8段階で提示された。

手続き バイノーラル受聴空間内で右から左に耳軸に平行に1台の車両音が移動した。また、正中線から右側方向約8mの距離とされる位置に固定音源（白杖のタッピング音）を試行中提示した。被験者は、右から到来する音をヘッドフォンにより聴取し、タッピング音と車両音象の先端が重なったと判断した時点でコンピュータのキーを押し、さらに、正中線上に車両音象の先端が到達したと判断した際にも同様の動作を求めた。仮想実験状況を図2に示した。例えば、タッピング音象の位置に車両が到達するのに実際6s、必要とする。被験者は移動音象から到達時間を8sと推定したとする。このとき、+2sの時間誤差が生じる。これをoverestimationとした。一方、被験者は4sで到達すると判断したならば、-2sとなる。これをunderestimationとした。

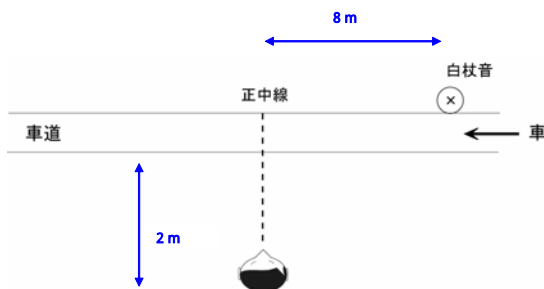


図2 仮想実験状況

結果と考察 図3を見ると、盲人群と晴眼群との時間誤差に差があることがわかる。注目すべきは盲人群の平均値は間接音レベル -40dBの時、 t_a の推定が正確であり、これを転換点としてoverestimationからunderestimationへと変化している。しかしながら晴眼群は常にoverestimationであった。明らかに言えることは、間接音レベルの変化に応じて盲人と晴眼者とはパフォーマンスに差異があるということである。

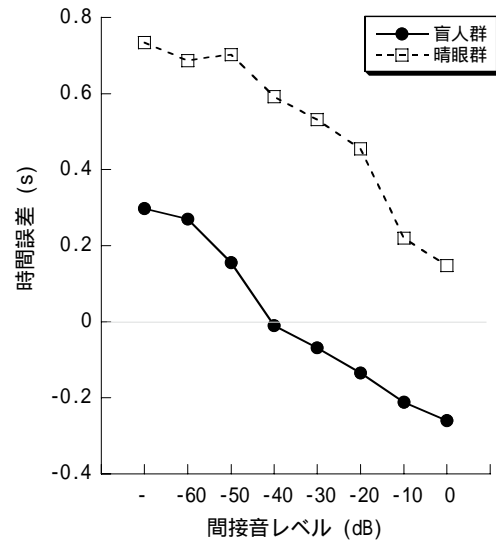


図3 間接音レベルと時間誤差の関係

2.2.3. 2台の車両音の到達までの残り時間の推定に関する実験

目的 左右から正中線に接近してくる中型乗用車音を用い、1次反射音の果たす役割を検討した。

手続き 被験者は10名の高校生であった。左右より速度ランダムで中央に接近してくる車両音をヘッドフォンにより聴取し、どちらが先に正面に到達するかを推定しわかった時点でPCのキーボードを押すことを求められた。その際、反射音に注目することを求めた群と何も指示しなかった群に分けた。

結果 反射音に注目した被験者はそうでない被験者よりも左右の車両のどちらが先に正面に到達するかの判断が正確であった。

2.2.4. 車道幅の推定に関する実験

目的 2車線を走行する車両音と対岸に想定した音源の音そして間接音からどの程度正確に車道幅を推定できるかどうかを検討した。

手続き 被験者は盲人13名とした。被験者には日本の交通規則と同様に2車線を走行する車両音と車道の反対側の音源（今回は噴水の音を使用）をヘッドフォンにより聴取し音源まで移動するのに要する歩数を言語報告することを求めた。音源までの車道幅すなわち距離は4mから順次複数の段階で変化した。それに伴う音量・間接音の持続時間も制御された。

結果 ほとんどの被験者は歩数を過小評価していた。また、個人差も大きかった。しかし、図4は被験者WAの結果であるが、この場合、ほぼ歩数と車道幅とが綺麗な相関を示していた。車道幅の推定にはどのような音響情報が必要なのかさらなる検討が求められる。

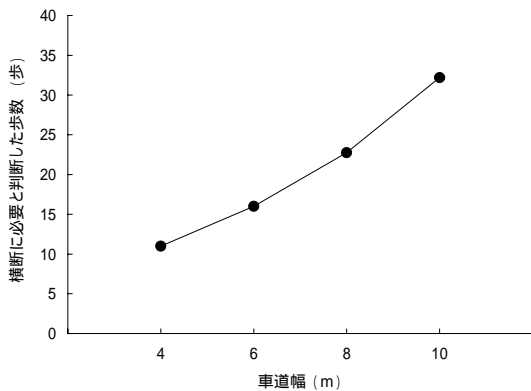


図4 被験者WAの車幅推定

3. 研究成果

まとめると以下ようになった。

- (1) 盲人用3次元音響VR提示システムをほぼ構築した。
- (2) 直接音に対し反射音の強度が-30dBから-40dBなどの一定の減衰量の時、盲人は最も車輦の接近を正確に認知しやすい。
- (3) 直接音のみでなく1次反射音及び残響音レベルが音響情報として利用可能であることが明らかとなった。
- (4) 得られた知見から間接音を用いた訓練プログラムの開発に着手できた。
- (5) 街路の音響環境をバリアフリーにするためには、反射音や残響音の特性を考慮することが必要である。

4. 今後の課題と発展

幾つかの検証が未だ実施できなかった。

- (1) マルチスピーカシステムにより3次元仮想音場を提示し、ヘッドフォン提示と同様の結果が得られるかを再確認する必要がある。
- (2) 道路横断訓練プログラムは試作段階に留まっている。今宮教授が開発した「真耳」のような完全な学習訓練カリキュラムの完成を目指す。

5. 研究発表

- (1) Shiose, T., Nomura, S., Ito, K., Mamada, K., Kawakami, H., & Katai, O. Auditory navigation interface featured by acoustic sensitivity common to blind and sighted people. The Proceeding of the 3rd International Conference on Enactive Interfaces (ENACTIVE06), 91-92, 2006, 11.
- (2) 宇都宮卓也・塩瀬隆之・伊藤精英・間々田和彦・川上浩司・片井修. 移動音源定位に対する主観座標系の3次元位置計測システムによる同定. ヒューマンイン

- タフェースシンポジウム2006, 709-712, 2006, 9.
- (3) 塩瀬隆之・伊藤精英・間々田和彦・川上浩司・片井修. 視覚障害者と晴眼者の間接音変化に対する態度. ヒューマンインタフェースシンポジウム2006, 1017-1020, 2006, 9.
- (4) Shiose, T., Ito, K., & Mamada, K. Identification of acoustic factors for perception of crossability common to blind and sighted pedestrians. Proceedings of 10th International Conference on ICCHP 2006, 1273-1279, 2006, 7.
- (5) 伊藤精英・塩瀬隆之・間々田和彦. 仮想3次元音場提示技術を用いた視覚障害者用道路横断訓練システムの開発. 画像ラボ, 17(7), 30-34, 2006, 7.
- (6) 伊藤精英・塩瀬隆之・間々田和彦. 盲人の道路横断課題における移動音源定位の正確性に果たす移動音源の速度及び間接音レベルの効果. 日本音響学会聴覚研究会, 36(4), 363-368, 2006, 6.
- (7) 伊藤精英. アナログシステムとしての知覚. 日本デザイン学会誌, 13(3), 40-44, 2006, 3.
- (8) 伊藤精英・塩瀬隆之・間々田和彦. 視覚障害者の道路横断訓練用仮想3次元音場提示システムの開発. 映像情報メディア学会誌, 59(12), 1847-1850, 2005, 12.
- (9) 野島弥一・伊藤精英・間々田和彦・Shiguo Nomura・土永将慶・塩瀬隆之・川上浩司・片井修. 3次元音場環境における知覚の個人差に配慮したコツの伝達プログラムの開発. 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2005, 421-426, 2005, 11.
- (10) Shiose, T., Nomura, S., Ito, K., Mamada, K., Kawakami, H., & Katai, O. Auditory navigation interface featured by acoustic sensitivity common to blind and sighted people. The Proceeding of the 3rd International Conference on Enactive Interfaces (ENACTIVE06), 91-92, 2006, 11.
- (11) 塩瀬隆之・伊藤精英・間々田和彦・Shiguo Nomura・土永将慶・野島弥一・川上浩司・片井修. 2つの移動音源間の横断可能性知覚訓練システム. ヒューマンインタフェースシンポジウム2005, 257-260, 2005, 9.
- (12) 塩瀬隆之・伊藤精英・間々田和彦・ノムラシゲオ・大矢智子・川上浩司・片井修. 移動音源の定位訓練における生態心理学的アプローチ. ヒューマンインタフェースシンポジウム04, 2124 (CD-ROM), 2004, 10.
- (13) 塩瀬隆之・伊藤精英・間々田和彦・ノムラシゲオ・大矢智子・川上浩司・片井修. 3次元音響VRによる移動音源の定位訓練. 人工知能学会第5回AI若手の会 MYCOM2004, 107-108, 2004, 6.