

車の走行音を手がかりにした道路横断アプリ（PC版）の開発

伊藤精英^{†1 †2} 菊池雅一^{†1 †3} 前島慶太^{†1 †4}

概要: 本研究の特徴は、「道路横断」という行動の習得を、音を手がかりにした「聴覚訓練」によって行おうとする点にある。重度視覚障害者が社会に積極的に参加するためには、自立して移動できることが必須であり、「道路横断訓練」は、重度視覚障害者にとって重要なニーズであると言える。しかし、実際の道路横断場面では、事故の危険性が伴うため、試行錯誤的な訓練を行うのが困難である。訓練用のソフトウェアは、当事者参加型アプローチをとることによって、重度視覚障害者ユーザーの視点から開発を行った。実際の横断場面の音状況をリアリティーあるものとするために、路上で様々な車を走行させて録音し、それらの音源を元に音響VRを作成した。ソフトウェアは視覚障害児及び中途失明の重度視覚障害者でも操作できるように、ユーザー・フレンドリーな操作性を実現し、当事者自身が高い動機づけを維持しながら訓練を進めることができるようにプログラムされた。

キーワード: 音響VR, 歩行訓練, 視覚障害者, 学習アプリ

The PC App for Learning to Cross Roads: Hearing Cars Sounds in a Virtual Acoustic Space

KIYOHIDE ITO^{†1 †2} MASAKAZU KIKUCHI^{†1 †3}
KEITA MAEJIMA^{†1 †4}

Abstract: We developed software for the visually impaired to learn safety judgment for crossing road. The software presents the acoustic situations where cars are running on a road in a virtual acoustic space. For example, a car came from right and ran away to the left, then another car is coming from right again, and a parked car started-up engine. Trainees are asked to listen carefully to the presented sounds, press a space key when they think they can cross the road safely. The software gives feedback if the judgments were safe or not by synthesized speech. A teacher of a blind school and five visual impaired tried the software for evaluation. They all reported that the auditory situations were real enough as if cars were running in front of them. In response to their advices, we changed the key assignment, order the tasks in appropriate order, and added explanation of situation in feedback. These improvements made the software more user-friendly and effective for learning.

Keywords: Acoustic Virtual Reality, Orientation and mobility training, Visually impaired, Learning apps

1. はじめに

重度視覚障害者が社会に積極的に参加するためには、視覚障害者自身が自力で何の制約もなしに自立して移動できることが重要である。ITが進歩し、携帯GPSも現実味を帯びてきた現代であるが、GPSナビゲーションでは解決できない「危険性」を回避できない限り、重度視覚障害者の自力移動はやはり困難なままであろう。

重度視覚障害者の自力移動の際、最も危険なのは車道を横断する時である(図1参照)。目的地に歩いてたどり着くためには大抵は車道を横断しなければならないが、横断歩道があったとしても音響装置付信号機がないことの方が多い。この様な場合、自力で安全確認を行い、適切なタイミ

ングで車道を横断しなければならないが、判断を間違えると車両と衝突する危険性をはらんでいる。

2015年度に起きた交通事故のうち、被害者が重度視覚障害者だったケースは全国で44件であった。日本の人口に占める重度視覚障害者の率を考えると、この件数は決して少なくない。

車道を安全に横断するためには、「走行車両の知覚情報から接近時間を推定し、自己の横断に要する時間の予測と照らし合わせて、横断できるか否かを決定する」という認知機能が働く。晴眼者であれば視覚情報から、重度視覚障害者であれば聴覚情報から、車両の接近時間を推定するのが一般的である。

視覚障害者の移動訓練においては、歩行訓練士が経験に基づいて指導にあたっており、体系的な訓練手法は確立されていない。その主たる理由は、道路横断に果たす知覚的情報が明らかになっていなかったこと、交通事故の危険性から試行錯誤的な実地学習が極めて難しいこと、の2点だと我々は考えている。

†1 道路横断訓練アプリ開発グループ
RCTS Development Team

†2 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

†3 フェノメナエンターテインメント株式会社
Phenomena Entertainment Inc.

†4 株式会社エス・シー・アライアンス
S.C.ALLIANCE Inc.

現状を鑑みると、車道の横断という技術習得の困難さが重度視覚障害者の積極的な外出を阻害していることは否めない。故に、車道の横断訓練は重度視覚障害者の社会参加を支援するという点で極めて重要である。

道路を横断する場面を大まかに分類すると、①音響装置付信号機のある横断歩道、②音響装置が付いていない信号機のある横断歩道、③信号機のない横断歩道、④生活道路などで横断歩道がない場合、となる。音響装置付信号機がある場合を除き、道幅、車線数、歩道の有無、交通量などの条件が違って、安全に横断するためには耳をすまして周囲の音から判断する必要がある。中でも最も信頼できる手がかりは往来する車両由来の音である。これは、横断歩道における横断の正確性に関する研究[1]、ラウンドアバウト（環状交差点）の歩行横断を扱った研究[2]からも示唆されている。

伊藤らは、これまでも重度視覚障害者の移動音源定位の正確性と横断判断に果たす音響情報の検討を行ってきた。間接音（残響音・路面からの反射音）強度と走行車両の正確な定位との関連を検討した研究[3][4]は、音響VRにより横断場面の音場を再現したものである。これらの研究の結果、移動する車両音の強度変化、路面反射音、及び街路の残響音レベルが音響情報として有用であることが明らかになった。この知見は、視覚障害者の「目的地移動ナビゲーション」についての研究[5]で得られたインタビュー報告とも合致している。



図 1 車道を横断するタイミングを測る重度視覚障害者

これまで目的地への移動訓練を可能にするシステムとして、広範囲聴覚空間認知訓練システム（Wide-Range Auditory Orientation Training System, 以下 WR-ATOS™）が開発されている。WR-ATOS™は産業技術総合研究所が東北大学と共同で開発した聴覚空間認知の訓練を行うシステムであり、広範囲測位技術を用いて、実際に訓練生が歩行しながら訓練を実施できることが特徴である[6][7][8]。WR-ATOS™は汎用性に優れており、多様な場所、個々の訓練対象者に対応した訓練カリキュラムを作成することがで

きるという長所を有する。一方、同システムは操作が複雑なため、重度視覚障害者自身が使用するのには容易ではないと思われる。重度視覚障害者が自分で手軽に操作できるシステムがあれば、当事者が訓練に対してより高い動機づけを維持できるのではないかと考える。

2. 目的

本研究の目的は、重度視覚障害者にとって重要なニーズである「道路横断訓練」を、聴覚訓練によって行うことができるソフトウェア（Road Crossing Training Software: RCTS）を開発することにある。「道路横断」という行為の習得を、聴覚訓練によって行おうという点が特長である。

RCTS は重度視覚障害者ユーザーの視点から開発する「当事者研究者参加型」のアプローチをとり、視覚障害児及び中途失明者でも容易にかつ手軽に操作できるソフトウェアとする。試作したソフトウェアについてユーザーの印象評価を実施して、有用性を明らかにする。本研究の成果を元にソフトウェアの実用化を目指す。

3. RCTS の作成

3.1 RCTS の概要

RCTS は、「あたかも眼前を車が往来する音状況」を複数提示し、それらを聴きながら視覚障害者自身が横断可能かを判断し、その正誤をフィードバックするソフトウェアである。これを実現するために、我々は RCTS に組み込むサウンドコンテンツの作成、ユーザーインターフェースのデザイン、プログラムの作成を行った。

3.2 サウンドコンテンツの作成

直線走行路にて、実際に車両を個別走行させ、等速音（30km/h, 60km/h）、加速音、減速音、アイドリング音を録音した。使用した車種は、乗用車（ガソリン車、ハイブリッド車）及びトラックであった。環境音として、街の雑踏音と自然環境音を PCM 方式で録音した。録音された車両走行音と環境騒音は個別にサウンドスペースプロセッサ（Roland RSS-10）で加工し、音響 VR 空間内に配置できるようにした。

その後、個々の音ファイルを波形編集ソフトで合成し、10種類の横断状況場面を作成した。横断状況場面は、等速走行場面、加速・減速・アイドリング場面の2種類とした。

3.3 ユーザーインターフェースのデザイン

ソフトウェアの横断場面として、細い道を横断する場面、信号機のない横断歩道場面を設けた。音状況が再生されると、車両走行音が予め規定された様々な間隔で再生される。ユーザーは、安全に渡れると思った時にスペースキーを押す。その判断が安全なタイミングだったかどうかのフィードバックが、合成音声により提供される。

車両が等速走行する場面では、「1台の車が正面を通過してから、次の車が通過するまでの間に、車道を横断できる

かどうか」の判断についてフィードバックされる。実際には横断行動を行わないので、横断時間は対象道路をゆっくりと歩行した場合の所用時間とした。音状況の難易度は、同時に聞こえる走行車両の台数、速度、車種、車間距離により変化させた。

加速・減速・アイドリング場面では、横断歩道付近にアイドリングしていた車両が発進したり、走行してきた車両が横断歩道の手前で減速、停止したりする。ユーザーのキー押しが、車両の停止後あるいは通過後になされたかどうかで正誤のフィードバックを与える。

3.4 プログラムの作成

上記のユーザーインターフェースを実現すべく、表1の仕様を満たすプログラムを作成した。横断状況として5つの異なる場面が設定された。

表1 RCTS プログラム仕様

動作環境	Microsoft Windows 上で動作すること。
GUI	晴眼者と視覚障害者が共に操作できるよう、直感的であること。
操作	操作ガイドが音声でなされること。マウスを使わず、キーボードのみで操作できること。
音状況	音声ファイル(wav, mp3 形式)を複数組み込み再生できること。
フィードバック	道路横断判断の正誤が音声でなされること。

4. 試作 RCTS のユーザビリティ評価

試作した RCTS (以下、試作ソフトウェア：図2 参照) を実際に視覚障害者5名及び盲学校教員(晴眼者)1名に使用してもらい、難易度、操作性、フィードバックの妥当性、音状況の聴覚印象に関してユーザビリティ評価を行った。全て口頭による自由回答であった。

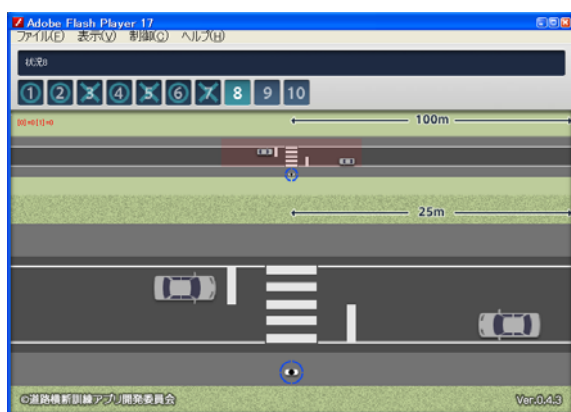


図2 RCTS における画面表示例

4.1 難易度の評価

再現される音状況から安全に横断できるタイミングを見つける課題について、難易度の印象を求めた。等速走行場面の難易度に関して、5場面のうち4場面において、横

断判断が難しいという回答が得られた。具体的には、「横断できるタイミングが見つからない」、「なぜ横断できるのかが分からない」、などの回答が得られた。

加速・減速・アイドリング場面では、5場面全てにおいて難易度が高いという判断がされた。具体的には、「車両が路上駐車しているのか、横断歩道の手前で停止したのかが分からず、横断の判断ができない」、「ハイブリッド車のアイドリング音が聞こえず、停止している車があることが分からない」などであった。

これらを解決するためには、音声による具体的な横断状況の説明と、音状況に含まれる車両音の修正が必要であると思われた。

4.2 操作性の評価

合成音声ガイド及びキーボード操作のみで本ソフトウェアが使用できるか否か、及び操作の問題点などについて回答してもらった。

試作ソフトウェアでは、単独キーの操作で制御できる機能が限定されていたため、キー操作についての改善を要望する意見が多く寄せられた。具体的には、「音状況の強制的な停止」、「ソフトウェアの終了」、「同じ音状況の再生」、「任意の状況の再生」などを単独キーに割り当てて欲しい、とのことであった。

4.3 フィードバックの妥当性評価

試作ソフトウェアでは、横断判断のタイミングについてのフィードバックが合成音声で提供された。しかし、「今の判断は安全です」「今の判断は危険です」の2種類のフィードバックしか用意されていなかった。全ての評価者より、2種類のフィードバックだけでは学習しにくいとの指摘を得た。特に「危険な判断」については、具体的な理由が分かるようなフィードバックを要求された。

4.4 音状況の聴覚印象評価

音響 VR の臨場感の聴覚印象を求めた。具体的には、横断状況の音場が、現実の横断場面に類似しているか否かを回答してもらった。

「まるで目の前を車が実際に通過している気がする」という様に、本ソフトウェアで再生される音状況の全てにおいて、全評価者が高い臨場感を抱いた。このことから、再生される音状況の音質、音場空間については妥当だと考えられた。

5. RCTS の改良

これらのユーザビリティの評価を受け、難易度、操作性、フィードバック方法に変更を加え、改良版ソフトウェアを作成した。改良版ソフトウェアでは、異なる横断状況が10場面設定された(表2参照)。

5.1 難易度の改良

難易度及びソフトウェアのゲーム性を考慮して、個々の音状況と提示順序を改良した。

表 2 RCTS 改良版における 10 状況説明

状況 1	横断歩道のない小道。乗用車(60km/h). 右から左へ、繰り返し通過。
状況 2	横断歩道のない小道。乗用車(60km/h). 右から左へ、繰り返し通過 繰り返しの間隔は、状況 1 より短い。
状況 3	横断歩道のない小道。乗用車(60km/h). 左から右、右から左と交互に通行。
状況 4	横断歩道のない小道。軽トラック(30km/h). 左から右へ、等間隔で繰り返し通過。
状況 5	横断歩道のない小道。色々な車両(60km/h). 左から右へ、右から左へ、等間隔で繰り返し通過。
状況 6	横断歩道のない小道。 左から乗用車、右からハイブリッド車が通過。
状況 7	信号機のない横断歩道がある 2 車線道路。 右からきた軽トラックが横断歩道の手前で停止。
状況 8	信号機のない横断歩道がある 2 車線道路。 左奥に軽トラックが停車中 (アイドリング). 右からきた車が横断歩道の手前で停止。 <正解>横断せずに待つ。
状況 9	信号機のない横断歩道がある 2 車線道路。 左から軽トラックが通過。 右手前にトラックが停車 (アイドリング) しているが、しばらくすると発進。 <正解>横断せずに待つ。
状況 10	信号機のない横断歩道がある 2 車線道路。 左奥にハイブリッド車が停車中 (アイドリング). 右からきた車が横断歩道の手前で停止。 <正解>横断せずに待つ。

状況 1 から状況 6 は横断歩道がない道を横断する場面とし、等速の通過車両音のみが提示された。状況 1~6 は 1 車線しかない生活道路を想定しており、走行車両の間隔を一定にした。安全に横断できる時間(SM)を長くとり、渡るタイミングをより分かりやすくした。

状況 5, 6 も 1 車線の道路ではあるが、走行車両の間隔は再生される度にランダムに変化させることで難易度を上げた。SM も状況 1~4 と比べて短くし、すばやい判断が求められる課題とした。これは、横断できるタイミングを見つけたというゲーム性を高めることを意図したものである。

状況 7~10 は 2 車線道路であり、横断歩道はあるが信号機は設置されていない場面である。このうち状況 8~10 は、安全に横断できるタイミングがない様に作られている。「横断せずに待つ」のが正しい判断となる課題であるが、これは再生場面の音を、より注意深く聴くことを促すことを意図している。

昨今、走行音の静音化が進み、ハイブリッド車の接近に気づきにくいという印象を、視覚障害者から報告されることが多い。ハイブリッド車は低速走行の際の音が小さく、視覚障害者にとって大きな問題となっている。状況 8 はガソリン車、状況 10 はハイブリッド車の走行音を用い、その他の条件は全く同じにすることで、ハイブリッド車への注意喚起を学習できる様に配慮した。

5.2 操作性の改良

音状況について、それぞれの場면을説明する音声を追加し、事前に状況を知りたい時には説明ガイダンスを再生できるようにした。また、一時停止、繰り返し再生、再生中にメインメニューへ戻る、指定した音状況にジャンプで進める等の動作を単独キーで容易にできるように変更し、操作性を高めた。

5.3 フィードバック内容の改良

横断のタイミングの判断が不適切であった場合、「今のタイミングは危険です。エンジンをかけた駐車中の車がいまいます。」等、危険だった理由を説明する音声をフィードバックする様に改良した。これにより、重度視覚障害者の単独使用においても、学習が進むことが期待できる。

6. 今後の課題

今回改良したソフトウェアをベータ版として一般公開し、改良を進めると同時に、リハビリテーション施設、特別支援学校の協力を得て、ベータ版ソフトウェアを使用した聴覚訓練が実際の横断判断に有効であることを実地調査・検討する。その後、正式版ソフトウェアを公開することを目指す。

謝辞 本稿の基礎となった研究に対して JSPS 科学研究費補助金 (26560014) から研究費の助成を受けた。また、本稿作成にあたり、高橋美保氏、長崎康子氏の協力を得た。記して謝意を表したい。

参考文献

- [1] 大倉元宏, 天野陽介, 小林裕介, 村上琢磨, 清水美知子, 箭田裕子. 横断場所の交通環境と視覚障害者による横断可否の判断. 視覚リハビリテーション研究, 2011, vol. 1, no.1, p. 19-22.
- [2] Guth, D., Ashmead, D., Long, R., Wall, R., and Ponchillia, P.. Blind and Sighted pedestrians' Judgments of Gaps in Traffic at Roundabouts. Human Factors. 2005, vol. 47, no. 2, p. 314-331.
- [3] 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, 2005, vol. 59, no. 12, p. 1847-1850.
- [4] Shiose, T., Ito, K., and Mamada, K.. Identification of Acoustic Factors for Perception of Crossability Common to Blind and Sigh. In: Miesenberger, K., Klaus, J., Zagler, W. L., Karshmer, A. I. (eds.) ICCHP 2006 – Computers Helping People with Special Needs, 10th International Conference. 2006, p. 1273-1279.
- [5] 佐々木正人. 光学の境界をこえる: 視覚障害の生態心理学試論. 教育學研究, 1997, 64(3), p. 317-326.
- [6] 関喜一, 岩谷幸雄, 大内誠, 鈴木陽一. 広範囲聴覚空間認知訓練システム WR-ATOS の実用化. 第 39 回感覚代行シンポジウム, 2013, p. 69-72.
- [7] 関喜一, 岩谷幸雄, 大内誠, 鈴木陽一. 広範囲聴覚空間認知訓練システム WR-ATOS のアップデート. 第 40 回感覚代行シンポジウム, 2014, p. 71-74.
- [8] 関喜一, 岩谷幸雄, 大内誠, 鈴木陽一. 広範囲聴覚空間認知訓練システム WR-ATOS における歩行検出方法の改良. 第 41 回感覚代行シンポジウム, 2015, p. 1-4.