研究速報

音響 Augmented Reality により障害物自体に警告音を発声させる
視覚障害者歩行支援装置Mobility Support Device for Visually Impaired People by Using Acoustic Augmented Reality
Generated by Parametric Loudspeakers正会員 宮里 勉[†]
Tsutomu Miyasato[†]

Abstract We propose a new mobility support device that helps the visually impaired person to avoid colliding with objects in his/her path. The device uses auditory localization of a sound source generated by ultrasonic phased array. The acoustic image is emitted at the real position of the obstacle, so the distance and direction to the obstacle are recognized by the usual auditory lateralization ability of the user. Therefore, using our device needs no special training over a long period of time, which is an advantage over using the white cane and the conventional so-called electronic white cane.

キーワード：超音波距離センサ，パラメトリックスピーカ，視覚障害，視覚代行，歩行支援

1. ま え が き

本報告では，視覚障害者の街中での歩行をより安全で容易なものとするため，視覚障害者がパラメトリックスピーカを携帯して歩行することが可能となるように，前方の障害物の存在の知覚を支援する装置を新たに提案する．提案装置は，白杖を利用する視覚障害者を対象とし，白杖との併用を想定したものである．装置の特徴は，音響 Augmented Reality，すなわち，障害物の位置に音像を提示することにより，あたかも障害物自体が発する可聴音を自分自身の耳で直接聞くことにあり，通常の音像定位により障害物までの距離や方向を認識させることである．そのため，使用に際しての特別な訓練は不要となる．

視覚障害者の多くは，白杖によって前方の状況を確認しているが，白杖の届く 1.5 m 程度より遠方の情報を得ることは不可能である¹⁾．したがって，白杖による探索からはずれた障害物，例えば，トラックの荷台や看板などのように空中に突き出た物に激突することも少なくない．

従来から行われてきた視覚代行装置の研究開発では^{1)～10)}，超音波距離センサなどを利用する装置が提案されている．超音波距離センサを利用する方法は，電子白杖と呼ばれるものであり，指向性のある距離測定機能を有する超音波

発振器と反射超音波の受信センサを用いて，前方の障害物の有無を検知することを原理としている．検知後には，障害物までの距離と性質等の障害物情報を可聴音に変換して，イヤホンからの注意音の音量や音色，あるいは皮膚振動刺激の周波数や振幅を変化させて，白杖や器機を持つ手や額部に提示する．

超音波センサを利用した電子白杖は，「反響定位」に基づいている．「反響定位」とは，動物が自ら発した音が何かに反射してきたものを受信し，送受信の時間差に基づいて音の反射物との距離を知ることである．視覚障害者の反響定位による障害物知覚のメカニズムはその要因が詳細に調べられている¹¹⁾．

ところで，われわれは両耳に入力される音響信号から音源の位置を認識することができる．視覚障害者においても，反響定位に加えて，音源から直接発せられる音は周囲の状況を知るための重要な情報源である¹²⁾．したがって，上述の電子白杖における音の変化に変換しての障害物までの距離情報の伝達では，周囲の音の取得を阻害してしまうことになる．また，皮膚感覚では，振動周波数や振幅の微妙な変化を感知することが困難であり，使用に際しては白杖の使用訓練と同様に長期間の訓練が必要となる⁷⁾．

そこで，特別な訓練をせずに前方障害物の有無の情報取得が可能となる歩行支援装置を試作した¹³⁾．試作した装置は超音波を使用するが，障害物までの距離の検知に反響定位を利用せず，利用者の両耳に入力される音響信号から利用者自身の聴覚機能で音像を認識してその位置を知覚するものである．なお，あたかも障害物自体が発するようにす

2013年3月24日受付，2013年6月10日再受付，2013年7月1日採録

[†] 京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科 デザイン経営工学部門
(〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎御所海道町，TEL 075-724-7479)[†] Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology
(606-8585, Japan)

るため、音像の生成・提示には、パラメトリックスピーカを使用している。

2. パラメトリックスピーカを利用した視覚障害者歩行支援装置の提案

パラメトリックスピーカは、指向性を持って音を発する超音波スピーカを平面に複数個並べたものである。発せられる音波は、可聴域周波数の音声でも超指向性を持つものであり、ある特定の領域に位置する人にだけ音を聴かせることができる¹⁴⁾。パラメトリックスピーカからの音を壁などに反射させた場合、受聴者は音源すなわち超音波スピーカの位置ではなく、反射した壁面から音が放射されているように音像を知覚する。したがって、パラメトリックスピーカでは、レーザポインタのように音波の放射方向を動かして、実際の音源の位置とは異なる位置に音像を移動・配置することができる。

福留ら¹⁵⁾によると、約1.5mまでは音源距離と音像距離が一致する。そこで本論文では、パラメトリックスピーカによる超指向性スピーカアレイを利用して、障害物の位置に音像を提示する。それにより利用者は、あたかも障害物自体が発する可聴音をイヤホン装着することなく、普段通りに自分の耳で直接聞き、障害物までの距離や方向を認識することが可能である。

なお、パラメトリックスピーカには、実験キット^{16) 17)}を使用した。以下に、使用したパラメトリックスピーカの仕様を示す。

〔超音波発振器〕50個

〔スピーカ基板〕98mm×55mm

〔駆動電圧〕DC12V

〔超音波発振子〕中心周波数：40.0±1.0KHz、送信音圧：MIN 116dB (40KHz)

〔可聴範囲〕約10°

〔距離-音圧レベル〕1cm：101dB、5m：40dB

音源は音楽プレーヤや電子メトロノームのイヤホン端子からの出力をパラメトリックスピーカに入力して、探信音（ピンガー）の音像としている。後述の実験では、電子メトロノームセイコー デジタルメトロノーム DM100) を使用し、予備実験により選定したリズム音 (Rhythm：♩, Tempo：106, Pitch：445Hz) を用いた。なお、本装置は白杖との併用を前提としているので、スピーカ以外はウェストポーチ内に収め、ピンガーのオン・オフを片手で操作できるようにしている。パラメトリックスピーカ部分は、利用者の首から下げて名札カードのように胸元に位置するようにしている（図1）が、帽子の額部分に取り付けることもできる。

3. 歩行時の障害物知覚支援の評価実験

前述のように白杖を使用する視覚障害者を想定しているので、晴眼者3名を観察者としてアイマスクをつけさせて、

図1 装置の全体構成と胸部への装着の様子
Overview of the proposed device.

図2 歩行実験時における障害物
Object in the path of the user.

障害物を設置した空間を歩行させた。なお、観察者は、視力が1.0の24歳の女性、視力が0.8の40歳の女性および視力が1.2の58歳の男性の3名である。彼らの聴力に異常はない。歩行空間には、京都工芸繊維大学のセンターホールの舞台（約12m×7m）を使用し、舞台中央に置いた障害物の周囲3.5m以内には、音を反射する壁などはない。観察者（＝歩行者）には、一度アイマスクで目隠しをして障害物に触れさせて、その時の音像を確認させた。歩行時には、観察者は目隠しをしたままで約3mの距離から歩き、前方に障害物の存在とそれへの衝突の危険を感じたらその場で立ち止まる。その後、障害物の位置から足先までの水平距離を測定した¹⁸⁾。障害物の材質は木製ベニヤ板あるいは真鍮金板で、サイズは図2と図4に示す通りである。障害物の高さは歩行者のほぼ顔の高さとした。

3.1 前額平行面内障害物までの停止距離の測定

評価実験では、(1) パラメトリックスピーカがOFFの状態での測定と、(2) パラメトリックスピーカがONでの測定、の2測定を観察者ごとにランダムに実施した。また、測定の都度スタート位置を変えて、1名の観察者につき3回の繰り返し試行が行われた。なお、測定(1)と(2)共に歩行者が障害物に気付かず歩き続けて衝突しそうな場合には実験者が停止させた。その場合の停止距離を0cmとした。

図3 停止時の障害物までの距離
Distance between the object and the walker.

図4 障害物の傾き
Slant angle of the object.

図3に、歩行者が障害物を知覚して停止したときの障害物と歩行者の足先までの距離の測定結果を示す。スピーカがOFFで障害物からの音像がない場合と比較した。スピーカがONで音像がある場合には、障害物までの停止距離が長くなっている。また、ベニヤ材と真鍮金属板との比較では、真鍮金属板の方が停止距離が長い。

3.2 障害物の反射面の傾斜対峙による影響の評価

障害物の向きを図4のように正対から回転させて観察者に対する角度を変え、障害物の存在を感じて立ち止まった位置と障害物の回転中心間の距離を測定した。この実験は、パラメトリックスピーカによる音像が、障害物に反射して別の位置に生成されることを懸念してのことである。結果を図5に示す。図5から、ベニヤ材と真鍮のいずれにおいても、障害物反射面の歩行者への前額平行面からの傾き角度が増加すると停止距離が減少している。

3.3 障害物の大きさによる影響の評価

この装置を用いると、どの程度小さいサイズ(面積)の障害物を知覚できるかを調べた。加工の容易性からスチレンボード製の円盤を障害物として用い、観察者の前額平行面内でスピーカの高さ(150cm)に設置した。スピーカアレイ面のサイズが9.8cm×5.5cmであるので、円盤の直径は5cm, 10cm, 20cm, 40cmとし、その他の条件は、3.1節の測定の場合と

図5 障害物の傾きによる停止距離への影響
Result of the distance when the object slanted.

図6 障害物の大きさによる停止距離への影響
Result of the distance according to the object sizes.

同じである。結果は図6に示すように、障害物円盤の直径の減少に対して停止距離が減少している。

4. 考 察

図3のパラメトリックスピーカがONにおける障害物までの停止距離の増加は、探信音像提示の有効性を示すものであると考えられる。また、ベニヤ材と真鍮金属板との比較では、音の反射率が高い真鍮金属板の方が生成される音像が比較的明瞭になると考えられ、その結果、停止距離が長くなったと考えられる。

図5に関しては、原理的にパラメトリックスピーカによる可聴音音像は、超音波スピーカの位置ではなく反射物から音が放射されるため、障害物の向きによっては音像が最初の反射ではなく、多重反射後の位置に生成される。したがって、図5の結果は、障害物が観察者の前額平行面に存在していても、障害物の反射面の角度が増加するにつれて、音像による障害物が知覚されにくくなったと考えられる。同じことは、超音波の反射を利用する電子白杖にもあり、機器自体を左右に振ることで、多重反射による誤差・誤検知を防ぐようにしている⁹⁾。今回の実験では、パラメトリックスピーカを利用者の胸の位置に配置したが、顔の向きとの連動を考慮すると、胸部よりも額に配置した方が障

害物の探索の自由度・範囲が広がると考えられる。また、複数台のスピーカを、利用者の身体を中心に前後左右あるいは反射面の傾斜を考慮して、放射方向をずらして探信音を放射することにより、一度に周囲の障害物の有無の知覚と反射音像のズレの軽減が可能になると考えられる。

図6から、観察者の前額平行面にある障害物は、直径20cmの円盤の面積まで知覚可能であると考えられる。ただし、図3の結果を考慮すると、障害物の音響反射率の大小により停止時の距離は変動するものと考えられる。

ところで、超音波使用時の安全性に関して、労働安全衛生の観点では、40kHzの周波数の音で、耳のところで音圧105～115dBになるようにするのが目安となっている^{14) 19) 20)}。今回使用したパラメトリックスピーカの音圧レベルは、距離1cmの位置で101dB以下とガイドライン内であるので、使用者および対面通行者への超音波暴露の悪影響は少ないと考えられる。

5. む す び

白杖や手の届かない距離範囲にある障害物の存在を、視覚障害者に伝達する歩行補助・支援装置を試作して、有用性を調べた。提案・試作した装置では、パラメトリックスピーカによる超指向性スピーカアレイを利用して、障害物の位置に音像を提示することによって、あたかも障害物自体が発する可聴音を自分の耳で直接聞くことにより、通常の音像定位に基づく障害物までの距離や方向を認識することができる。そのため、使用に際しての特別な訓練は不要である。

なお、今回は視覚情報と音像位置の対応の学習が確立していると思われる、後天盲あるいはロービジョンを対象とするため、健常者を観察者にして評価実験を行い、報告した。

この装置は先天盲への対応も可能と考えるが、安全性などを考慮して先天盲や後天盲の参加を求めずに、晴眼者のみにアイマスクを装着して観察を行った。また、今回の実験では、観察者の数も少なかった。今後は、観察者数を増やしながら加齢の効果を検討したい。同時に、音像用の最適な音源もさらに検討する予定である。

〔文 献〕

- 市川, 大頭, 鳥居, 和気編: “視覚障害とその代行技術”, 名古屋大学出版会 (1984)
- J.M. Benjamin: "The new C-5 laser cane for the blind", Carnahan Conf. On Electronic Prosthetics, pp.77-82 (1973)
- 伊福部達: “音の福祉工学”, コロナ社 (1997)
- 関喜一: “視覚障害者の歩行支援技術の変遷”, 信学技報, WIT 福祉情報工学, 111, 58, pp.87-90 (2011)
- “視覚障害者用歩行補助携帯器具”, 特許公開2001-033552
- “視覚障害者用歩行支援装置および視覚障害者用歩行支援システム”, 特許公開2010-158472
- 河井良浩: “視覚支援”, 映像学誌, 53, 1, pp.30-33 (1999)
- 佐藤泰正: “視覚障害学入門”, 学芸図書, pp.172-173 (1991)
- パームソナー, <http://www.palmsonar.com/jp> (Mar. 2013)
- 梶本, 菅野, 館: “額に装着する電気触覚ディスプレイ (第3報)”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1P1-B11 (1) -1P1-B11 (4) (2007)
- 関, 伊福部, 田中: “盲人の障害物知覚における障害物の遮音効果の影響”, 音響誌, 50, 5, pp.382-385 (1994)
- 慎英弘: “視覚障害者に接するヒント”, 解放出版社, pp.54-55 (1997)
- 宮里勉: “超指向性スピーカを用いた可聴音アクティブソナー方式による視覚障害者歩行支援装置”, 第38回感覚代行シンポジウム講演論文集, pp.23-26 (Dec.2012)
- 鎌倉, 酒井: “パラメトリックスピーカの原理と応用”, 信学技報, US超音波, 105, 554, pp.19-24 (2006)
- 飯田, 森本編: 福留, 三好, 宇佐川: “空間音響学”, コロナ社, p.30 (2010)
- トライステート社, <http://www.triState.ne.jp>
- 安藤英由樹: “パラメトリック・スピーカ・実験キットレポート”, 日本VR学会誌, 14, 4, p.248 (2009)
- M. Supa, M. Cotzin and K.M. Dallenbach: "Facial Vision", The Perception of Obstacles by the Blind, The American Journal of Psychology, LVII, 2, pp.133-183 (1944)
- 鎌倉, 伊藤, 野村: “超音波暴露の調査: パラメトリックスピーカを話題にして”, 音響誌, 67, 5, pp.200-203 (2011)
- 高橋, 蘆原: “超音波暴露調査研究委員会活動報告”, 音響誌, 67, 5, pp.189-193 (2011)

宮里 勉 1978年, 東京工業大学大学院総合理工学研究科修士。同年, (株) KDD (現KDDI) 入社, 研究所勤務。1983年～1984年, 米国MIT留学。1993年～1996年, (株) ATR通信システム研究所知能処理研究室主幹研究員。1996年～2001年, (株) ATR知能映像通信研究所第五研究室長。2000年～2001年, 琉球大学工学部非常勤講師。1996年～2001年, 大阪大学大学院電子情報エネルギー工学専攻非常勤講師。1999年～2001年, 東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報システム創造専攻客員教授。2001年, 京都工芸繊維大学教授, 2006年, 同大学院工芸科学研究科デザイン経営工学部門教授, 現在に至る。VRおよびHIに関する研究に従事。博士(工学)。正会員。