

超指向性スピーカーによる音のカーテンは失明者に安全な空間知覚をもたらせることができるか？音楽の違いの影響はあるか？

木村 朗¹

概要：本研究の目的は、模擬的な駅のプラットフォーム環境で超指向性スピーカー音による”音のカーテン”に用いる音楽の違いが及ぼす、失明者が移動開始後、指示された停止線で停止する成績への影響をあらかじめにすることであった。

対象と方法：被験者は草津町および前橋市、東京都で生活する失明者(n = 19)。デザイン:単一盲検無作為化対照試験。シミュレートされた環境において、被験者に白線まで垂直に歩行するよう指示し、全方向性スピーカーのノイズの中で白線に平行な方向に垂直方向に縦に3台の超指向性スピーカーを配置した音を面的に知覚した場合に、この音のカーテン前で止まるように指示した。介入条件は、音がある状態とし、365歩のマーチと津軽三味線の2つを用いた。対照条件では、このスピーカーの音がない条件で、最低1回の介入条件の試行後に、白線で制止するように指示した。同時に胸部に心電図測定装置を貼付し、この試行中の自律神経系の活動情報を調べた。音楽の違いによる成功確信度は2種類の音楽による停止成功率の母比率の95%信頼区間と、オッズ比有効性を95%有意水準で検定した。

結果:全試行でノイズの中で超指向性の音を聞くことに成功した。成功率は行進曲が89.6%、95%信頼区間(CI)88.7~90.1、三味線が98.2%、95%CI98.1~98.3、対照条件では5.3%、95%CI4.5~5.6であった。試行前後の平均心拍数の変化は、常時安静時より高く、条件群間で差を認めなかった。

結語：歌詞を含まない津軽三味線の音楽を用いると超指向性スピーカー音による”音のカーテン”に用いる音源によって、失明者が移動開始後、指示された停止線で有意に止まれる確率が高くなる。この組み合わせによる安全な空間知覚・定位をもたらすことが期待される。

キーワード：失明者、超指向性スピーカー、空間定位、三味線

Can a Curtain of Sound with a Super Directive Speaker Provide a Safer Space Perception for Blind People? Is There any Influence of Music Differences?

AKIRA KIMURA^{†1}

Abstract: Subjects and Methods: Subjects were blind and living in Kusatsu and Maebashi, Tokyo (n = 19). Design: Single-blind randomized controlled trial. In a simulated environment, the subjects were instructed to walk up to the white line vertically, and in the noise of the omnidirectional speaker, three super directive speakers arranged vertically in the direction parallel to the white line. I instructed to stop in front of the curtain of this sound when He/She perceived The intervention condition was that there was a sound, and two 365-step march and Tsugaru shamisen were used. Control conditions were instructed to stop at the white line after at least one trial of the intervention condition in the absence of this speaker sound. At the same time, an electrocardiogram measurement device was attached to the chest, and the activity information of the autonomic nervous system during this trial was examined. Success confidence due to differences in music was tested at the 95% confidence interval of the mother ratio of the stopping success rate of the two types of music and the odds ratio effectiveness at the 95% significance level. Result: All trials succeeded in hearing the super-directional sound among the noise. Success rates were: Marching 89.6%, 95% Confidence Interval (CI) 88.7-90.1, Shamisen 98.2%, 95% CI 98.1-98.3, Control Condition 5.3%, 95% CI 4.5-5.6. The change in average heart rate before and after the trial was higher than that at rest at all times, and there was no difference between the condition groups.

Conclusion: With the use of Tsugaru-Shamisen music that does not include lyrics used for the "sound curtain" by the super directive speaker sound increases the probability that the blind person will be significantly stopped at the designated stop line after the start of the movement. It is expected that this combination will lead to safer spatial perception and localization.

Keywords: Blind person, Super-directional speaker, Spatial perception, Shamisen

1. はじめに

失明者が鉄道のホーム等を移動中に線路への転落を生じる事故が報告されている。2018年の日本盲人会連合会の報

告ではおよそ二人に一人の失明者が線路に転落した経験を持っているとされる。ホームの線路側の端を知覚するための点字ブロックが設置されていないホームも存在し、安全な停止支援方法を地上の触覚情報に加えて考える必要がある。

我々は、音を直進的に伝える性質をもつ超指向性スピー

¹ 群馬パース大学大学院保健科学研究科
Gunma Paz University Graduate School of Health Sciences.

カーを用いた”音のカーテン”を作ることによって視覚に依存せず人に空間知覚を与えることを確かめた[1]。この超指向性スピーカーを用いた”音のカーテン”が失明者に空間知覚をもたらし、さらに”音のカーテン”の色にあたる有効な音楽が存在する可能性を直観的に得た。この”音のカーテン”と有効な音楽の組み合わせが、奏効するとホーム端での事故を防ぐ方法の実装性が高まるものと期待している。この技術は、この四半世紀において視覚障害者の移動支援技術の一つとして、感覚代行・代償機器・装置として、ETA (Electronic Travel Aids)、電子式歩行補助具と呼ばれて開発されてきた物体検知型装置と境界認知型装置[2]のどちらにも分類されない、新たなカテゴリーの情報技術と位置付けられる。このような新たなカテゴリーの情報技術は他にも、1990年代の後半に比べ、30年経過した現在では、移動補助だけでなく、知覚保障を超え認知機能代償を伴う、自動運転技術の流用による視覚障害者用移動ナビゲーションシステムの実装実験の段階まで来ている[3]。

田内らは、視覚障害者の視覚障害者用移動支援技術の課題について、その歩行特性の研究を総括して、1995年当時に、いくつかの要因を挙げている。

1.音源定位の信頼性の低さが、音源の上下や音源までの距離の弁別が不可能ではなくても、正確にできない。

2.エコー定位というコウモリが壁などに自ら発した超音波の反射時間から距離を定位するようなことが、視覚障害者が自身の足音や杖の反射音を利用して行っているようであるが、ホームの端では電車の入線放送によって、身をよけたところ天井を支える柱が突然エコー定位により検出され、方向を見失ってしまう。

3.偏執傾向という視覚情報をもたない人がある点から数メートル離れた他の点に直進する際、実際の歩行軌跡が左右どちらかに必ず曲がってしまう。

4.視覚障害者が単独歩行をおこなうとき、心理的ストレスを被り、単独歩行におけるストレスの高さから、二次課題の成績が低下する現象が生じる。皮膚への振動刺激の弁別が単独歩行のストレスによって著しく低下する。

これらを踏まえ、視覚障害者が手掛かりのない移動路のある目標に向かって歩きだすときの方向定位に最大の注意を払うことの重要性は高いが、当時、これらを単独の技術で解決する方法はまだ開発されておらず、決め手に欠けていた。したがって、ETAの現実的処方としては、わかりやすいランドマーク(触覚、音響、視覚情報)を環境の困難さに応じて適切な量を応分に配置することによって、移動すべき方向が連続的に確保できる移動路を形成することを推奨していたものと思われる。

我々が注目した、超指向性スピーカー(パラメトリックスピーカー)は、1984年には原理は紹介されていた。

しかし、製品としては非常に高額であったことから、規模の小さい実験室レベルでは扱うことが困難であった。

このパラメトリックスピーカーとは超音波を搬送波とした振幅変調信号で駆動され、空気非線形性によって空气中で復調された可聴音を再生するスピーカーである。この原理であるパラメトリックアレイ現象は水中での現象として1960年にWesterveltによって報告された[4]。これは周波数の異なる2つの有限振幅音波を放射すると、媒質中で互いに干渉し高調波以外に差音と和音が発生し、この現象によって新たに発生する2次波の仮想音源は1次波の伝搬に伴って次々に生成され、ビームの伝搬方向に対してすべて同位相になり加算される。2次波は蓄積的に振幅を増し、増幅作用は1次波の振幅が音波吸収や球面拡散によって減衰するまで持続する。このような差音の生成過程はアンテナ工学における縦型アレイと動作原理が似ており、パラメトリックアレイと名付けられた。差音のパラメトリックアレイは周波数が低いにも関わらず指向性が鋭くなるのが特徴である。パラメトリックアレイ振幅が増すことによって瞬時音速の変化が無視できなくなる音波を有限振幅音波という。パラメトリックスピーカーには、大きく分けて2つのタイプが存在する。ひとつは、2つの超音波の周波数のずれを用いた方法で、一定の周波数を持つ超音波と周波数変調(FM)をかけた超音波を同時に発生させて、超音波の交差する空間に可聴域の音を再生する方法である。2つの超音波の周波数差のうなりを聞くことができるとされる[5]。もうひとつの方法は、超音波に振幅変調(AM)、DSB変調、SSB変調などをかける方法である。本研究では、DSB変調を行うものを採用した。この方法のように約110dbを超える強力な音圧で変調された超音波を発生させると、空气中を超音波が伝播する際の「非線形特性」により、可聴音が出現する。「非線形特性」で生じた可聴音は、ひずみが多いのが特徴である。「非線形特性」とは、空気分子が圧縮される時よりも、圧縮が元に戻る時に時間がかかることが原因となっている。超音波に限らず、空气中を伝播する振動は、空気分子集団の濃淡が伝播することに起因する。音圧が高く、周波数が高い場合、圧縮されて戻りきらない空気分子に、後から来た空気分子が衝突すると衝撃波が生じて、可聴音となる。振動の周波数が高くなると空気の粘性により「非線形特性」は顕著になる傾向がある。これらの変調方式では搬送波と側波帯の差音が可聴音として再生され、搬送波の両側に側波帯が生ずるAM方式のように側波帯同士の差音が生じないのでひずみが低減される振動子の特性を利用した周波数特性の平坦化パラメトリックスピーカーの復調音圧は超音波の音圧に依存するので、超音波帯域の周波数特性が復調音の周波数特性を決定する[6]。この原理が米山らによってスピーカーとして応用されたのがパラメトリックスピーカーの起源と考えられる[7]。その復調音は指向性が鋭く、目的の場所にのみ音を届けることができる。しかし、パラメトリックスピーカーには実用化にあたっていくつかの課題が残されてきた。その1つ

は音質が低いということであった。原理的に高域に比べ低域の周波数の再生が困難であり、復調音に高調波ひずみが多く含まれるので、実用に際してひずみが少なく平坦な周波数特性が求められた。このような弱点は数十年の経過を経て、改良され実用化されている。実際には超音波の減衰(拡散,空気による吸収,可聴音の放射)により先に行くほど音源の振幅が小さくなるとされる。

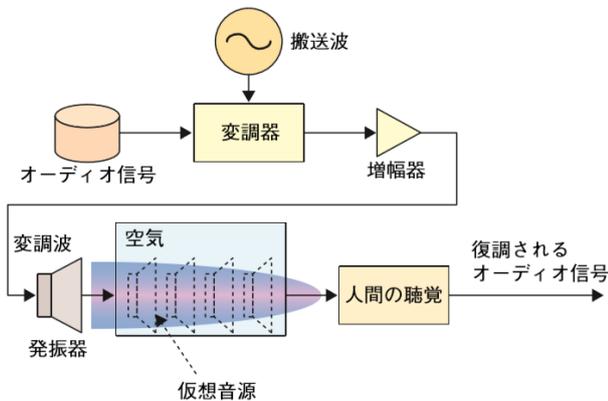


図 1 本研究で用いた装置の原理の概要 中島ら. より引用 [8]

2 種類あるパラメトリックスピーカーのうち、本研究では、超音波に振幅変調(AM)、DSB 変調、SSB 変調をかける方法を利用したものを採用した。約 110db を超える強力な音圧で変調された超音波を発生させると、空气中を超音波が伝播する際の「非線形特性」により、可聴音が出現する。「非線形特性」で生じた可聴音は、ひずみが多いのが特徴である。そのため、製品化されたパラメトリックスピーカーでは、ひずみを軽減するために DSP による信号処理を行っているものがある。

この超指向性スピーカーは空気の非線形性により生じる仮想的な音源(パラメトリックアレイ)と人間の聴覚特性を利用して、指向性の高い音場を形成する。

超指向性スピーカーは、20kHz 以上の高い周波数で人間が音として知覚できない超音波を搬送波として、音声や音楽のオーディオ信号で振幅変調された変調波を、非線形性が生じる大きな振幅で空气中に放射するものである。

変調波が空气中を伝播する過程で空気の非線形により 2 次歪が生じる。2 次歪が波長の短い変調波の音場に沿って生じ、仮想的な音源となって指向性の高い音場が形成できる。超音波帯域の音は人間の聴覚特性により聞き取ることができず、2 次歪に含まれる可聴帯域のオーディオ信号のみが復調され聞き取ることができる。

「非線形特性」とは、空気分子が圧縮されるときよりも、圧縮が元に戻る時に時間がかかることが原因となっている。超音波に限らず、空气中を伝播する振動は、空気分子集団の濃淡が伝播することに起因する。音圧が高く、周波

数が高い場合、圧縮されて戻りきらない空気分子に、後から来た空気分子が衝突すると衝撃波が生じて、可聴音となる。振動の周波数が高くなると空気の粘性により「非線形特性」は顕著になる傾向がある。

これらの特徴をもつパラメトリックスピーカーを Kazunori Miura 氏によって、elektor 誌で紹介された電子回路に基づき [9]、従来の製品に比べ実験用ではあるが 1/100 の価格で入手可能な状況になったことから、デジタル音源を利用して、音のカーテンがもたらす空間定位に基づく、視覚障害者の歩行移動中に安全な位置での停止行動が、超指向性スピーカーによって伝達された異なる音楽の特徴によって、異なる成功率を示す可能性を調べることを目指した。

2. 目的

視覚障害者が白杖を利用して、模擬的な駅のプラットフォーム環境で歩行開始した後、停止線で停止させる試みにおいて、超指向性スピーカー音から発せられる、歌詞付きの音楽と楽器のみの音楽の違いによって成功率に違いが生じるかを確かめることであった。

3. 対象と方法

対象者は、失明者もしくは強度弱視者として、先天性および中途失明者のどちらも含めた。

研究組み入れ基準は、歩行時に白杖を使用していること、公共交通機関を利用していること、関東地区に在住していることとした。リクルートメントは草津町視覚障害者の会および群馬県視覚障害者協会、日本盲人会連合会に協力を要請し、実験参加に応じた 19 名であった。

研究デザインは比較対象条件をランダムに設定したシングルアームの実験研究とした。

研究期間は 2018 年 8 月 23 日および 10 月 29 日、2019 年 3 月 2 日の午前 9 時 30 分から 16 時の間、場所を群馬県草津町福祉センターおよび群馬県福祉センター、日本盲人会会館の一室に設定した 10m×7m の空間を確保して実施した。模擬プラットフォームは 5m の直線路上に床上 2 cm の幅 2 cm のウレタンテープを床上に設置して設定した。アイマスクを用いて視覚を遮断した弱視者 1 名に対し、5m の歩行路を白杖により歩行するよう指示した。デザイン: 単一盲検無作為化対照試験。介入条件は、シミュレートされた環境において、被験者に白線まで垂直に歩行するよう指示し、全方向性スピーカーから上野駅のホームのアナウンスも含め雑踏を録音した大きなノイズを流した。このノイズの大きさは 1m 以内の会話がさげざられる程度の大きさとした。この中で白線に平行な方向に垂直方向に縦に 3 台の超音波に振幅変調を DSB 変調でかけ 40kHz の超音波を発生させる方式の超指向性スピーカーを配置した音を空間上の限られた範囲で知覚した場合に、これを音のカーテンと名付け、このカー

テンの前で止まるように指示した。音楽は”水前寺清子氏歌唱の365歩のマーチ(以下行進曲)”と”高橋竹前氏演奏の津軽三味線(以下三味線)”をYouTubeよりMP3データとして取得し、超音波の発信にかかるDSB変調による人の可聴域音響化を図って利用した。対照条件では、この音楽のスピーカーの音源を止め、情報が提供されない条件で、一度だけ白線位置を記憶させ、同白線で制止するように指示した。

測定の実際として、試行実施中の動画を1フレーム30コマおよびkinectにおいて1フレーム25コマで撮影し、動画を再生して、画像上のランドマークを手掛かりにして、事象発生コマ数を特定し、成功と失敗を判定して、記録した。

試行開始10分間に、対象者の胸部に心拍センサー及び加速度センサー(My Beat、株式会社ユニオンツール)を貼付し、動画測定時刻と同期させて、試行終了安静座位5分経過するまでのデータを測定した。

効果指標は、超指向性スピーカーの音源と駅構内ノイズ音との区別の可否、超指向性スピーカー音源による歩行停止の成否とした。副効果指標は、各試行前後の1分間中の心拍数のピーク値とした。

統計学的分析として、音楽の違いによる成功確信度を2種類の音楽の成績と対照条件による停止成功率、その母比率の95%信頼区間として求めた。(図2)。

倫理的配慮として、本研究は群馬パース大学倫理委員会において審査の上、承認を受け実施した(承認番号30-07)。研究は実施前に臨床試験登録がなされた(CTR-ID:UMIN000027880)。



図2 測定環境の様子

この図は、実験場面を示している。対象者が画面中央の遠方に立っている。画面の左には測定補助者が二人立っている。画面中央のウレタンテープで白杖を誘導する点字ブロック様の凸を設け、5mの歩行路を設定した。

実験の実際



図3 三味線の音源での実験

対象者は停止線上でオーバーランすることなく停止している。



図4 365歩のマーチでの実験

対象者は停止線上でオーバーランしてから停止している。



図5 超指向性スピーカー音源がない状況での実験

対象者は停止線上を乗り越え、停止していない。

4. 結果

参加者は19名であった。先天性失明者は5名、中途失明者は13名、弱視者1名であった。

参加者の属性情報は以下であった。

全試行でノイズの中で超指向性スピーカーの音を聞くことに成功した。

表 1 超指向性スピーカー音から発せられる、歌詞付きの音楽と楽器のみの音楽の違いによる停止線上の停止の成功回数と成功率

| | 行進曲 | 三味線 | 雑音のみ | 小計 |
|----------|-------|-------|------|-------|
| 成功 (回数) | 43 | 56 | 3 | 99 |
| 失敗 (回数) | 5 | 1 | 54 | 6 |
| 全試行 (回数) | 48 | 57 | 57 | 105 |
| 成功率% | 89.58 | 98.25 | 5.26 | 94.29 |

| | 行進曲 | 三味線 | 雑音のみ | 小計 |
|----------|-------|--------|------|-------|
| 成功 (回数) | 28 | 39 | 0 | 67 |
| 失敗 (回数) | 2 | 0 | 36 | 2 |
| 全試行 (回数) | 30 | 39 | 36 | 69 |
| 成功率% | 93.33 | 100.00 | 0.00 | 97.10 |

*上段は先天性失明者と中途失明者のデータ。下段は中途失明者における成績を示している。

超指向性スピーカー音源のある介入条件では 105 試験中 99 回成功し、6 回の失敗は用いた音楽が行進曲であった。三味線の音楽を用いた試行では 100%の成功率を示した。コントロール状態は 57 の試験のうち 3 回成功した。成功率は音楽の違いによる成功率は行進曲で 89.6%、95%信頼区間 (CI) は 88.7~90.1、三味線で 98.2%、95%CI は 98.1~98.3、対照条件で 5.3%、95%CI は 4.5~5.6 であった。

また、先天性と中途失明者 (アイマスク使用の弱視者を含む) の別による成績は表 1 に示す通りであった。試行前後の平均心拍数の変化は、条件群間で差を認めなかった (図 6)。

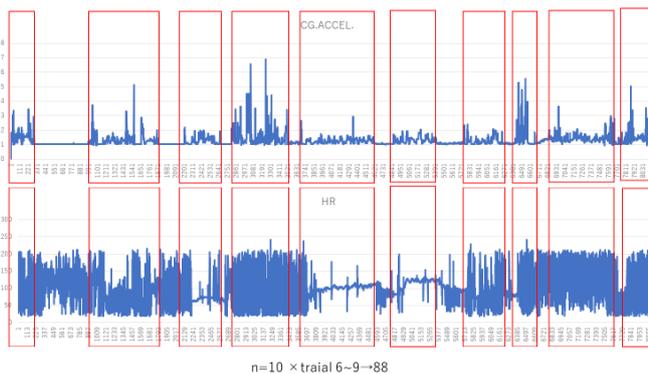


図 6 実験中の心拍数の推移の全体像 (前橋市における実験データ抜粋)

*赤枠は被験者 1 人分の実験試行を表している。上段は加速度、下段が心拍数を示している。1つのセンサーを付け外して貼付し、データを取得している。

研究の限界: この実験は例数の少なさに基づく一般化に限界がある。また、実験の制約により一度に試行するしかなかったことから、連続試行による疲労効果、慣れなどが生じ、回帰分析における誤差項のプール値が増加した可能性がある。

5. 考察

本研究は、ETA における境界認知型装置にそのものではないが、新しい空間定位をもたらす感覚代行を行うシステムに該当するであろう。この装置自体のもたらす、空間定位性は、類例がないほど、期待以上に高い性能を示した。

この実験で得られた成績は、情報機器のシステムにおけるコンテンツの役割を示すものである。歌詞のある” 365 歩のマーチ” は、参加者の平均年齢からみて、なじみの曲であったと思われるが、我々は、知覚しやすさを念頭に、この楽曲を選択し、超指向性スピーカーが得意とする高周波域での旋律が鮮明な三味線の曲” 竹田竹善による津軽三味線” と比較することにしたが、無指向性の駅雑踏の雑音の中で、聞き分けることにおいては、両者に差は認めなかったことから、音楽の違いは、無指向性音響に対して、超指向性音響の物理的な性能を凌ぐほど影響をもたらさなかったものと考えられる。

直進性の高い超音波は耳には聞こえないはずであるが、音声信号を変調した、周波数差のある 2 つの超音波を混合した結果、周波数差の音声に聞こえるという仕組みが機能しているものと考えられる。無指向性スピーカーによる駅構内の雑音の中にあつて、超指向性スピーカーの音源がその中から、浮き上がるように音源が聞こえる。これは、回路の中で別の周波数を混合して周波数を落とすスーパーヘテロダイン方式のラジオのチューニングに例えられる仕組みが機能していたものと考えられる。これと同じ原理で、この研究で用いたパラメトリックスピーカーは、作成されている。波の拡散角度が 3 度と小さく、最大 15m の一地点に音を伝送することが可能であったこと、単一指向性音波を発生するアンプも機能したものが考えられる。

成功率の差は、この結果において有意な影響を示しており、ここに音楽の違いがもたらす影響が示されたものと考えられる。無線通信工学的な理由としては、音源に含まれるより周波数の高い成分をもつ三味線の音源の方が、行進曲よりも周波数帯域が高くなったことから、人の聴覚特性において有利に聞こえた可能性がある。一方で、このような工学的な理由と異なる次元で、人間特性とでもいうべき理由として、行進曲には歌詞が含まれていたことから、この歌詞が「休まないであるけ、そらワンツーワンツー」という、この対象者層にはなじみ深い歌であり、つい無意識に歩き過ぎしてしまうという現象が生じた可能性もある。一方、三味線の曲は、歌詞による暗示効果がなく、聞きこんでしまうことがなかったものと考えられる。

失明者の経緯の違いが及ぼす結果への影響、すなわち先天性と中途失明の影響は、この違いによる成功率の差に比べ、この楽曲の違いの効果が大きいことから、障害の起点については、我々が得た心理ストレスによる特異的な反応が存在することを参照すると [10]、何らかの影響があるものと思われるが、本研究では例数の限界を踏まえ言及でき

ない。

実用性を考慮すると、視覚障害者が駅や公共施設などを歩行移動する速度で、単独歩行による心理ストレスの下、超指向性スピーカーの音のカーテンを聞き取るということは二次課題的な弁別課題に似た課題が生じることも考えられることから、より実際の場面に近い実験環境などで、この空間定位成功率について、歩行速度・身体活動時の加速度特性から検出限界・行動限界を見極める必要がある[11]。

普及を視野に入れた場合、高性能かつ低コストであることは重要な要件となる。この実験で用いたパラメトリックスピーカーのコストは従来の100分の1ほどであることは注目に値する。

情報保証の観点からは、このような知覚に関する情報は、高次の認知情報とは異なり、一見、プリミティブな情報のように感じられるが、センサーの空間定位に基づく移動支援ナビゲーションシステムによる認知支援技術とは異なり自己の残存感覚を使った空間定位を促す知覚支援情報は、マンマシンインターフェースにおける自己認識再形成化という過程を視覚情報の代替情報で再形成させることが可能かもしれない。将来、実験段階を経過したのちに、AIシステムと人間が組み合わさる新たなユニバーサルデザインを目指した製品化を目論む場合等には、超指向性音響に空間定位性能のみならず、嗜好性の要因を取り入れるための音楽の選択について、様々な年齢層の好みを取り入れて決定する等の際に、研究開発や製品開発段階で、当事者が参加できる仕組みを構築することが情報アクセシビリティ上重要となるだろう。

これらの実験の成績は、これまで報告されてきたETAの開発において、単独の音響による空間定位情報を与える(得る)ことは困難とされた研究成果と一見矛盾するように思われるが、その理由としては、従来の音響出力装置の指向性性能が不十分であったこととも考えられた。小規模な実験室では、安価な超指向性スピーカーを自由に操作することが難しかったかもしれない。いずれにせよ、超指向性スピーカーは音響による空間定位が期待されるとともに、そのコンテンツとして音源・楽曲の内容といったソフト面がもたらす錯覚の誘発のような人間特性を考慮した新たなこの分野の開発における興味をもたらすものである。

この知見がもたらすものは、当事者および開発に携わる人々にとって関心を高め、オリエンテーション・モビリティシステムへの確信度への効果が明確になったことは、技術的関心のみならず人間特性の利活用に道を開く一歩となると考える。

6. 結語

失明者は、三味線の音源による超指向性スピーカーで作成された音のカーテンを知覚することが可能であった。模擬駅プラットフォームの白線内の空間知覚を得て、安全を

担保する停止させることに98%成功率の成績を得た。超指向性スピーカーの音源の違いはホーム端の位置での停止行動の成功率に影響することが示唆された。

謝辞

本研究の実施に際し、協力いただきました群馬県草津町身体障害者の会・盲人会、群馬県視覚障害者福祉協会の皆様、日本盲人会連合会の皆様、実験の協力をいただいた群馬パース大学大学院保健科学研究科臨床身体活動学教室のOB、院生の皆様に心よりお礼申し上げます。

本研究は科学研究助成費(17K12417)によって実施された。

参考文献

- 1 Akira Kimura. Influence of Complex Factors Electric Stimulus Alert under Noise on the Success Rate of Avoidance of Persons with Blindness-Overrun avoidance effect of super-directional speaker warning with visually handicapped person-. 日本公衆衛生学療法雑誌 6(2).1-10.2018.
- 2 田内雅規.大倉本宏.視覚障害者支援技術の現状と問題点:単独歩行について.J.SICE34 (2) .140-146.1995.
- 3 <https://accessibility-tech.blogspot.com/2019/05/blog-post.html>.(参照 2019-7-28).
- 4 P. J. Westervelt, "Parametric End-Fire Array", J.Acoust.Soc.Am. 32.934.1960.
- 5 青木 茂明.鎌倉 友男.池谷 和夫."平面波の自己復調—広帯域信号伝送のための1次波変調方式の検討."日本音響学会誌 40(5). 349-356. 1984.
- 6 H. O. Berkay. "Possible exploitation of nonlinear acoustics in underwater transmitting applications," . J. Sound and Vib.2. 435-461.1965.
- 7 米山正秀."空気中でのパラメトリック現象のスピーカーへの応用" .非線形音響研究会 第3回研究懇談会. 1981.
- 8 file:///C:/Users/lenovoPC/Desktop/パラメスピーカー/vol14_1_025jp_%20超指向性スピーカー.pdf (参照 2019-7-28)
- 9 Kazunori Miura. Ultrasonic Directive Speaker. Elector.56-59. 2011.
- 10 Akira Kimura, An experiment to classify the clinical fear seen during aerobic movement acquisition in adults with visual impairment J Phys Ther Sci.28 (6).2409-241.2016.
- 11 木村 朗. 通電警告装置を用いた歩行中の視覚障害者が実際に制止可能な接近者の上限速度の検討-.研究報告アクセシビリティ(AAC)6. p 1-5.2019.