

鉄道駅での盲導鈴の方向定位機能の改善

Improvement of directional guidance function of acoustic signals in railway stations

曾田 章稔

Akitoshi Soda

法政大学情報科学部コンピュータ科学科

akitoshi.soda.7h@stu.hosei.ac.jp

Abstract

The purpose of this study is to improve directional guidance function of acoustic signals, which is a movement support device for visually impaired by non-voice guidance sound, in actual environment. Based on field survey on use of acoustic signals at Yamanote Line station, we will analyze spectral structure of recorded data collected. Here, we improve frequency components of 5 to 10 kHz required for orientation localization, and evaluate whether sound source of acoustic signals is effective. In evaluation experiment, subjects listened to the data obtained by applying HRTF to sound source assuming noise, and measured localization accuracy and time required for direction localization. This showed that increasing Signal-to-Noise ratio tends to reduce front-back misjudgement rate and shorten direction localization time. This proposed method was effective in preventing masking due to background noise for 5 to 10kHz frequency components of acoustic signals.

1 はじめに

国によるバリアフリー法 [1] の施行や、全国各地の自治体の街づくり条例の制定にともなって、公共施設においてバリアフリー環境の整備が推進されている。これらは、高齢者や障がい者の安全かつ円滑移動できる環境が、我が国においてますます必要となっていることによる。

バリアフリー環境の整備が進む中、視覚障がい者向け移動支援装置も公共施設で幅広く見かける。聴覚情報を示すものとして音響式信号機、視覚障がい者用音響案内（以降、音響案内）が用いられている。また、触覚情報を示すものとしては、視覚障がい者用誘導ブロック（点字ブロック）、触知盤案内板などがある。聴覚情報を用いた移動支援施設は、旅客施設における音による移動支援方策ガイドライン [2]（以降、ガイドライン）の指針により増加傾向にある。

このうち、非音声案内音による移動支援装置である音響案内は、駅、市役所、病院、図書館などの公共施設に設置されており、スピーカーから「ピン・ポーン」や「鳥のさえずり」などが流れる。JIS T0902[3] は各場所で音響案内を設置する際の技術仕様であり、音の性質、音量選択、案内範囲などの基準が詳細に示されている。

鉄道駅に設置されている音響案内に関して、ガイドラインは公共交通事業者の旅客施設の整備のあり方を具体的に示した目安である。これには、鉄道駅の旅客施設において音声・音響案内の必要性の高い 5 か所が選定され、その標準仕様が示されている（表 1）。技術仕様に関しては前述の JIS T0902 と整合している。表 1 におけるピン・ポーン音（基本周波数は 770Hz と 640Hz）と鳥の鳴き声を模した音響の 2 種に関して、盲導鈴の対象とする。

盲導鈴は方向情報や場所情報を正確に伝達することにより、

表 1. 音声・音響案内の標準仕様

場所	音の種類
駅の改札口	「ピン・ポーン」
エスカレーター	音声案内 「行き先/上下方向/エスカレーターです」
トイレ	音声案内 「向かって右が男子トイレです等」 (男女別を知らせる)
プラットフォームの階段	鳥の鳴き声を模した音響
地下鉄の入口	「ピン・ポーン」

安全で円滑な移動を促進する。つまり、正しい方向に定位し誘導方向を示すことが盲導鈴に求められる役割である。よって、盲導鈴の発信方向に関して素早く正確に定位可能であることが必要となっている。特に、移動支援を行う上で最も問題となるのは目標と反対方向に誘導してしまうことである。この誤りのうち、前後の誤りが大半を占めると明らかになっている [4]。ヒトの方向定位に影響を及ぼすとされる 5~10kHz の周波数成分盲導鈴が周囲の騒音にマスキングされることが前後の誤りを生じる要因である [5] が、実環境を踏まえた盲導鈴の方向定位の改善策の提案はない。

以上を踏まえ、本研究では、盲導鈴の方向定位機能が向上するよう改善を目指す。そのために、山手線駅での音響案内の使用に関する現地調査を踏まえ、採取した録音データのスペクトル構造の分析を行い、5kHz~10kHz の範囲の周波数成分を改良する。改良した音源の有効性を評価するために、ヘッドホンでのシミュレーションによる方向定位実験を行い、定位精度と方向定位までに要する時間を測定する。これにより、盲導鈴の前後誤判定率を減少させること、方向定位までに要する時間を短縮することを目標とする。

2 音響案内の定位機能に関する現地調査

2.1 概要

山手線駅を対象とした実環境において、盲導鈴を用いたときに方向を誤る要因を調査した。音響案内が鳴っているスピーカー 1 個につき 1 地点とすると、調査を行った総数は計 159 地点（山手線全駅の 45 % の 13 駅）であった。ただし、エスカレーターに関しては 1 基につき複数スピーカーが設置されている場合があるため、1 基につき 1 地点と見なした。調査の実施項目は以下の通りである。

- 音響案内の方向定位性能の評価（過、良、やや悪、悪の 4 段階）
- 音響案内の録音
- 音響案内の最大騒音レベル L_{max} の測定
- スピーカーと測定位置との距離の測定
- スピーカーの写真の撮影
- その付近の環境騒音レベル L_{eq} の測定

方向定位性能に関する評価基準は次の通りである。

過：音響案内の音量が非常に大きいと感じる。方向定位に関し

て全く問題はないが、聴いていて耳障りである。

良：音響案内がよく聴き取れる。音響案内が鳴るスピーカーの方向がすぐに分かる。

やや悪：音響案内そのものはある程度聴き取れるが、方向定位に時間が掛かる。

悪：注意深く聴かないと、音響案内自体を聴き取ることが難しい。

録音機材としてバイノーラルマイク・イヤホン BME-200 と IC レコーダー Voice-Trek DS-750, 距離の測定機材としてレーザー距離測定器 LD050P, 騒音レベル測定機材として高機能型騒音計 LA-5560 を使用した。騒音レベルに関しては、鉄道の走行音などの突発的な騒音は除外し測定を行った。

2.2 調査結果

表 2 に現地調査を実施した山手線駅における音響案内の方向定位性能の評価結果を示す。

表 2. 音響案内の方向定位性能評価

場所	地点数	過	良	やや悪	悪	環*1	大*2
有人改札前	73	5	40	23	5	68.1	78.9
エスカレーター	34	0	32	2	0	64.9	72.6
ホーム階段前	28	0	22	2	0	64.5	75.1
地下出口	21	0	20	1	0	60.5	72.0
触知案内板	3	0	3	0	0	66.1	76.2
トイレ前	1	0	1	0	0	63.5	74.0
計 (全体)	159	5	101	28	5	66.1	76.4

方向定位性能に関して問題箇所(「やや悪」,「悪」)は、有人改札前 28 地点、エスカレーター 2 地点、プラットホーム階段前 2 地点、地下出口 1 地点となっている。このうち、特定の駅のみに問題箇所が集中していることはなかった。有人改札前に関しては、問題箇所の割合が 38 % と他と比べて最も高かった。有人改札前の問題箇所である 28 地点に関して、23 地点が JIS T0902 の「音案内の音圧レベルは、暗騒音の音圧レベルに対して約 10dB 以上大きいことが必要である」という基準が満たされていない。理由としては、周辺住民や近隣で働く人への配慮、システムの出力の限界が考えられる。

環境騒音レベルに関して、調査箇所によって 55dB~75dB と大きく差が生じた。これは、駅やその周辺の人通りの数に起因する。具体的には、歩行時の足音、改札機へのタッチ音、周辺店舗の BGM などが環境騒音レベルを上昇させる要因となっていた。また、一部の駅では近くの幹線道路の自動車の騒音があつた。

3 データ分析

次に、2 で収録した録音データの分析を行う。方向定位性能の評価が「過」または「良」である地点と、「やや悪」または「悪」である地点に分けて、スペクトル構造の分析をする。関連研究 [5] で明らかとなっているように、ヒトの方向定位に影響を及ぼすとされる 5~10kHz の周波数成分を比較をした。

方向定位性能の評価が「過」である地点の一例として、東京駅の東北新幹線乗換改札前(以降、A 地点)、「やや悪」である地点の一例として東海道新幹線南乗換改札前(以降、B 地点)の盲導鈴に着目する。A 地点、B 地点共にスピーカーから流れる音源は、基本周波数が 770Hz と 640Hz のピン・ポーン音であった。ここで、東京駅の環境騒音レベルは 73.1dB であった。A 地点の最大騒音レベルは 86.5dB で、これは盲導鈴の影響による測定値である。B 地点の最大騒音レベルは 81.3dB であったが、盲導鈴自体の騒音レベルは 81.3dB よりも小さく、暗騒音にマスキングされていた。

図 1 に A 地点の録音データのスペクトログラム(左)と B 地点の録音データのスペクトログラム(右)を示す。A 地点に関しては音源の 5kHz 以上の周波数成分がはっきりと現れている一方、B 地点に関しては音源の 5kHz 以上の周波数成分は暗

騒音によってマスキングされている。B 地点が方向定位性能に問題が生じている要因の一つに、音源の 5kHz 以上の周波数成分の不足が考えられる。

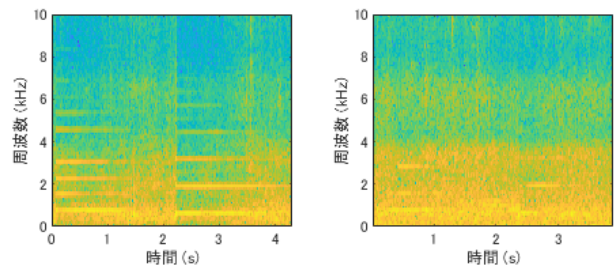


図 1. A 地点と B 地点のスペクトログラム

4 評価実験

4.1 盲導鈴の音源の作成とシミュレーション

評価実験で用いるために 3 で分析したピン・ポーン音(基本周波数は 770Hz と 640Hz)を正弦波加算法で作成した。周波数が異なる正弦波を足し合わせ、音の減衰には ADSR を用いた。JIS T0902 に記載されている音案内の時間パターンの基準に合致するように、各パラメータを $A=0.003$, $D=1.997$, $S=0$, $R=0$ と調整した。各倍音成分のスペクトル比については録音した実例に合わせた。

次に、作成した音源について、周囲の騒音の影響で盲導鈴の方向定位性能に問題が生じている状態でのシミュレーションを行った。駅の環境騒音としてピンクノイズを使用する。シミュレーションの結果、5~10kHz 帯の周波数成分がピンクノイズによってマスキングされていた。ここで、該当する周波数成分の正弦波に関して実際の音源の 50 倍加算した改良音源を作成した。この改良音源は改良前と比較して信号全体で 1.2dB の増加となっている。この音源を用いることにより、ノイズ下でも 5~10kHz 帯の周波数帯がマスキングされないようにした。図 2 に騒音下での改良音源のシミュレーション(S/N 比は -10dB)のスペクトログラムを示す。

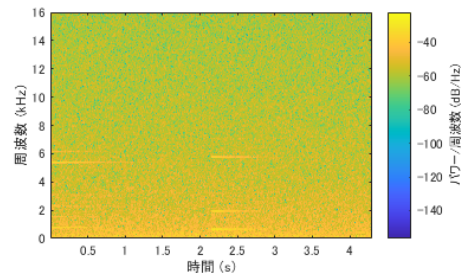


図 2. 騒音下でのシミュレーション(ピン・ポーン改良)

4.2 方向定位実験

4.1 で述べたピン・ポーン音の改良音源の性能を評価するため、鉄道駅での実環境を想定した方向定位実験を行った。

4.2.1 頭部伝達関数の個人化

音像定位とは、音像の空間位置を知覚することである。音源から放出される音は両耳鼓膜上に到達し、人間は聴覚器官を介することによりこれを音として知覚する。HRTF とは、耳殻、人頭および肩までふくめた周辺物によって生じる音の変化を伝達関数として表現したものである。つまり、人が周囲で鳴っている音を聴く時左右の耳にどのように届くか、というヒトの方向知覚の手掛かりを表した関数のことである [10]。受聴者の鼓膜上に HRTF を反映した音像信号を再現することで頭上、背後、耳元など任意の方向に音像を制御することができる。

しかし、HRTF には受聴者の耳介のひだの形状や頭部への角度に起因する個人差がある。そのため、他人の HRTF を用いると音像の前後や上下の誤判定、頭内定位などの現象が発生し、音像定位精度が低下する。したがって、HRTF を畳み込んだデータを使用してヘッドホンでの 3 次元音像制御を実現する

*1 環境騒音レベルの平均 (dB)

*2 最大騒音レベルの平均 (dB)

には、受聴者本人の HRTF もしくは受聴者に適合する HRTF が必要となる。そこで、本研究では聴取者に高い音像定位感を与える頭部伝達関数を、あらかじめ用意されたものの中から選択する手法 [11] を用いて実験を行った。

まず、聴取者にはあらかじめ提示する軌道を伝えておく。そして、2つの異なる HRTF を畳み込んだピン・ポーン音の音像を聞かせ、軌道のイメージにより合う音像を選択させる。提示する 24 種類の音像はあらかじめトーナメントを組んでおき、勝ち抜き戦をさせる。提示された HRTF を畳み込んだ音像に関して 2 つずつ比較を繰り返すことで、それぞれの被験者に合った HRTF を 24 の中から 1 つ選択させた。

4.2.2 実験条件

続いて、開放型ヘッドホン ATH-AD900X を装着した状態で聴音し、騒音下での盲導鈴または音声の音場シミュレーションを行った。ヘッドホン以外の外部から音が入らないよう防音室で実施した。HRTF は部屋の反射や残響は含まない環境で測定されることが通例であるため、今回は実環境で起こりうる盲導鈴の反射や残響については考慮しないものとした。提示する盲導鈴の音源は、正中面内において頭部中心から 1.2m の半球上に仰角 55°、水平面 45° 間隔で 8 個配置した。これは、頭部からの直線距離が 1.2m、床からの高さ 2.6m のスピーカーを想定している (図 3)。騒音に関しては、水平面内において頭部中心から 1.2m の円周上に 45° 間隔で 8 個の音源を配置した。盲導鈴に関しては 8 個のうち 1 箇所、騒音に関しては 8 箇所すべてから、信号音が流れるものとする。

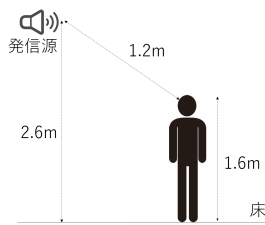


図 3. 想定する盲導鈴のスピーカー位置

被験者の正面を 0°、そこから右方向を+、左方向を-、被験者の真後ろを 180° とする。被験者は晴眼者 12 名 (20~25 歳) を対象とした。使用した信号音は、ピン・ポーン音、改良したピン・ポーン音、ウグイスの鳴き声、女声の 4 種類である。駅を想定した騒音としてピンクノイズを使用した。いずれの信号音の場合も、S/N 比は 0dB、-10dB、-20dB の 3 種類とした。実験では、S/N 比 3 種類、信号音 4 種類、音源 8 方向を掛け合わせた 96 条件からランダムに実施した。

被験者は、45° 刻みで 8 分割した円が描かれた用紙と押しボタンスイッチを手元に用意した状態で、音像方向の回答と方向同定時間の計測を行った。はじめに、被験者が音像方向を同定したと同時に押しボタンスイッチ押ししてもらい、信号音提示開始から信号提示方向を同定するまでの時間を計測した。この計測された時間を方向同定時間と呼ぶ。次に、音像を知覚した方向を、実験用紙の 8 方向の中から一つ選択させた。方向を判断する際の頭や体の向きについては、日常的な判断の過程を観察することを目的としたため、特に指示を与えなかった。実験により、前後誤判定率、方向同定時間それぞれのデータを収集することで、信号音の種類や S/N 比と方向定位性能との関係性について検証した。

5 実験結果と考察

5.1 信号音の提示方向と同定した方向の関係

信号音の提示方向と被験者が同定した方向の関係について、図 4 に改良したピン・ポーン音を定位したときの例を、図 5 にウグイスの鳴き声を定位したときの例を示す。円の面積は、横軸で示した方向から提示したときに縦軸で示した方向に音像定位した人数を示す。右上がりの対角線上にプロットされる円は、提示された方向と同定された方向が同じことを表す。本研究では、前後誤判定を、0° (正面) または ±45° の方向から

提示した信号音を ±90° より後方の ±135° および 180° で回答した場合、及びその逆の場合 (図に色で示した領域) と定義する。

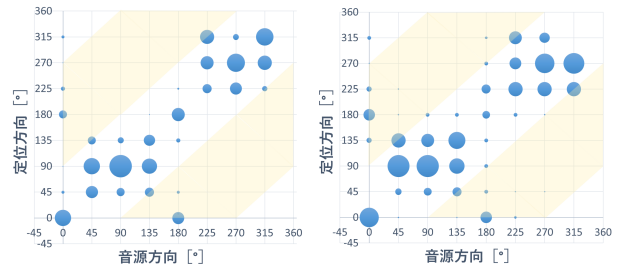


図 4. 音像定位結果 (ピン・ポーン改良) 図 5. 音像定位結果 (ウグイス)

ピン・ポーン改良とウグイス双方について、方向判断の際に ±45° の多少のばらつきが存在している。これは、すべての信号音に関して同様の状況であった。前後誤判定が生じている回数に着目すると、ピン・ポーン改良の前後誤判定率は 24.0 % である。一方で、ウグイスは 30.2 % となっており、ピン・ポーン改良と比較して高かった。

5.2 前後誤判定率

図 6 に各信号音を提示レベルごとに分類した前後誤判定率を示す。ピン・ポーン、ウグイス、音声では、S/N 比が増加するにつれて前後誤判定率が減少した。

信号音別 (全 S/N 比条件の前後誤判定率) では、ピン・ポーン 27.8 %、ピン・ポーン改良 24.0 %、ウグイス 30.2 %、音声 26.7 % となっている。信号音全体のうちピン・ポーン改良は 24.0 % と前後誤判定率が最も低かった。一方で、ウグイスは 30.2 % と前後誤判定率が最も高かった。また、ウグイスはすべての S/N 比において前後誤判定率は 25 % 以上となっており、S/N 比に関わらず高い水準で前後の誤りが生じていた。

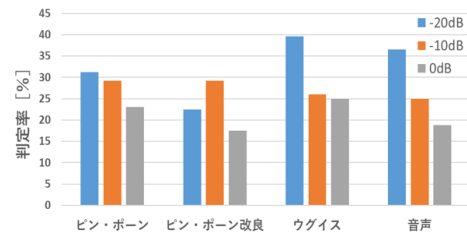


図 6. 各信号音の前後誤判定率

5.3 方向同定時間

図 7 に各信号音を提示レベルごとに分類して平均した方向同定時間を示す。すべての信号音で、S/N 比が増加するにつれて方向同定時間が短縮された。

信号音別 (全 S/N 比条件の方向同定時間) では、ピン・ポーン 3.81 秒、ピン・ポーン改良 3.61 秒、ウグイス 4.03 秒、音声 3.86 秒となっている。信号音全体のうちピン・ポーン改良は 3.61 秒と方向同定時間が最も短かった。一方で、ウグイスは 4.03 秒と方向同定時間が最も長かった。

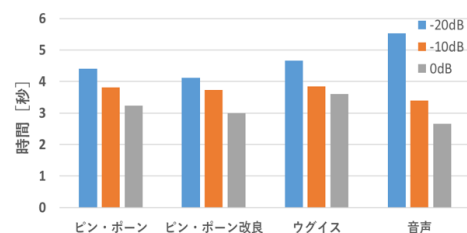


図 7. 各信号音の方向同定時間

5.4 考察

4種類の信号音（ピン・ポーン、ピン・ポーン改良、ウグイス、音声）を用いて方向定位実験を行い、前後誤判定率と方向同定時間について検証した。ここで、図8にS/N比が -20dB のときに前後誤判定が生じたスペクトログラムの例を示す。信号音はピン・ポーンであり、提示されたのは右斜め前方 45° 方向、被験者12名中9名が誤って右斜め後方 135° 方向と同定していた。ここでは、信号音に存在する 5kHz 以上の周波数成分は現れていない。よって前後誤判定が生じた理由として、現地調査やシミュレーションで示したものと同様に、盲導鈴の信号音が騒音によってマスキングされ 5kHz 以上の周波数成分が聴き取りにくい状態になっていることが原因だと考えられる。実験では、全帯域のS/N比が低下するにつれて信号音の 5kHz 以上の周波数成分が騒音によりマスキングされる傾向があった。よって、 5kHz 以上の帯域のS/N比が盲導鈴の方向定位機能に影響を及ぼしていると考えられる。

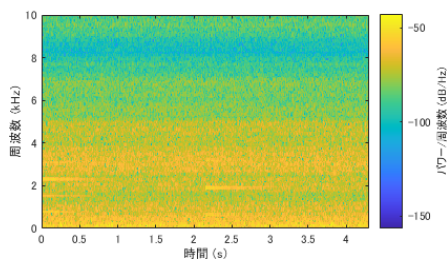


図8. 前後誤判定の一例

続いて、図9に実験で用いたすべての条件下における各信号音ごとの $5\sim 10\text{kHz}$ 帯域のS/N比を示す。5.2, 5.3より、方向定位性能が最も良いものがピン・ポーン改良、最も悪いものがウグイスという結果となった。ここで、 $5\sim 10\text{kHz}$ 帯域のS/N比に関して、ピン・ポーン改良は $-25.1\text{dB}\sim 11\text{dB}$ と信号音の中で最も高くなっており、ウグイスは $-19.8\text{dB}\sim -50.8\text{dB}$ と信号音の中で最も低くなっている。よって、 $5\sim 10\text{kHz}$ 帯域の周波数成分が少ない信号音ほど方向定位性能が悪くなる傾向があると考えられる。

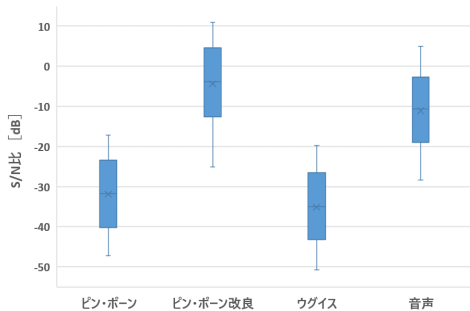


図9. $5\sim 10\text{kHz}$ 帯域のS/N比

ここで、ウグイスの方向定位性能が最も悪い理由について検証する。各信号音の $5\text{kHz}\sim 10\text{kHz}$ の周波数成分に着目するとウグイスのみがほとんど含まれていない（図10）。正中面全体に良好な音像定位を得るためには、少なくとも $5\text{kHz}\sim 10\text{kHz}$ の周波数範囲を含んでいなければならない[12]。そのため、ヒトの方向定位に影響を及ぼす成分が他の信号音と比べて少なく、方向定位性能が最も悪い結果となったと考えられる。

本研究では20代の年齢の晴眼者のみを対象として実験を行った。しかし、関連研究で実施された盲導鈴の方向定位実験において、高齢層は中年層以下と比較して異なる傾向が生じている。具体的には、高齢層では前後誤判定率が上昇するとともにS/N比に関わらず方向同定時間が短くなっている[4]。今回実施した方向定位機能の評価においては若年層を対象とした。そのため、全年齢層に対して前後誤判定率が低く方向同定時間が長い結果となっている可能性がある。

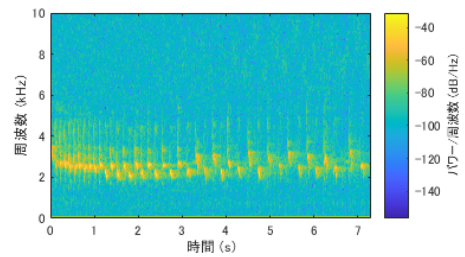


図10. ウグイスの周波数帯

6 まとめ・今後の展望

本研究では、鉄道駅の盲導鈴の方向定位機能を向上させることを目的として、山手線駅での現地調査を踏まえ方向定位に必要とされる $5\sim 10\text{kHz}$ の周波数成分を改良した音源を作成し評価実験を行った。これにより盲導鈴の方向定位機能の向上には、 $5\text{kHz}\sim 10\text{kHz}$ の周波数成分に関して、背景騒音によるマスキングを防止することが効果的であることを示した。この提案手法で示した改良音源を実際の鉄道駅で使用する際には、システムの値段や性能、騒音レベルの向上による晴眼者への配慮などを考慮する必要がある。

今後の展望としては、信頼性向上のため被験者をさらに追加して実験を行う予定である。今回は20代の晴眼者のみを対象に評価実験を行ったが、幅広い年代の被験者を追加して実験を行う必要がある。これにより、前後誤判定率と方向同定時間において被験者の年齢との関係性について調査を行う。また、今回は音源の反射や残響について考慮しなかったが、公共空間により近い形でシミュレーションを行うため、これらが方向定位機能に及ぼす影響について把握し検証する必要がある。

参考文献

- [1] 高齢者、障がい者等の移動等の円滑化の促進に関する法律（平成十八年法律第九十一号）。
- [2] 公共交通機関の旅客施設に関する移動等円滑化整備ガイドライン（バリアフリー整備ガイドライン 旅客施設編）、国土交通省総合政策局安心生活政策課、平成30年7月発行。
- [3] 日本工業規格 JIS T0902 「高齢者・障がい者配慮設計指針—公共空間に設置する移動支援用音案内」、2014年5月20日制定。
- [4] 佐藤他，“騒音下における音響案内の種類と視覚障がい者による方向定位及び方向同定時間との関係”，日本福祉のまちづくり学論，11刊2号，2010，pp.41-48。
- [5] 森本他，“盲導鈴の方向定位”，音響春季全大，2006，pp.425-426。
- [6] 船場他，“視覚障がい者のための音による移動支援に関するアンケート調査”，音響誌62巻12号，2006，pp.839-847。
- [7] 武田他，“鉄道駅改札口におけるチャイムに関する研究—視覚障がい者へのヒアリング及び現場実測調査を通して—”，環境工学総合シンポジウム講演集，2006，pp.57-60。
- [8] 音サインによる交通拠点移動支援の事例基礎研究報告書，交通エコロジー・モビリティ財団，平成22年3月発行。
- [9] 永幡幸司，“視覚障害者には役立たない視覚障がい者のための音によるバリアフリーデザインの事例について”，騒音制御，29，2005，pp.390-396。
- [10] 石井他，“耳介形状と頭部伝達関数のなぞ”，音響誌71巻3号，2015，pp.127-135。
- [11] 海野他，“音場シミュレーションと選択式頭部伝達関数システムを用いた2ch立体音響システム”，第82回情処全大，2020，pp.561-562。
- [12] 森本他，音の正中面定位について：刺激の周波数範囲と強さの影響について”，音響学会聴覚研資 H-40-1，1977。
- [13] 牧田他，“盲導鈴の方向定位に及ぼす暗騒音の影響”，音響秋季全大，2006，pp.311-312。
- [14] 永幡他，“視覚障がい者が音響信号及び盲導鈴に求める音量について”，騒音制御秋季全大，2005，pp.237-240。