

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25282182

研究課題名(和文) 運用現場における音案内の誘導性能をリアルタイムに評価するツールの開発

研究課題名(英文) Development of an on-site evaluation tool for auditory guide signal in public spaces

研究代表者

佐藤 洋 (SATO, Hiroshi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域戦略部・総括企画主幹

研究者番号：10260423

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では実験室実験による人間の方向定位能力の計測と環境内の音響計測結果の関係を求め、運用現場において音案内の性能評価をリアルタイムに可能になる計測器を作成した。音案内の現場において両耳に入力される信号のリアルタイム分析により評価値が算出される。計測値の表示に用いるタブレットPCには数値の他、両耳に装着するマイクロホンの入力から求められる人間の音源定位能力を反映する物理指標との対応を表示する機能がある。計測器の表示は人間の音源定位能力を反映し、水平面においては人間の感覚に適合するものである。ただし、垂直方向は視覚的注意と音源定位との関係性を正確に求められなかった。

研究成果の概要(英文)：This study was consisted of measurement of sound localization performance of listeners in experimental rooms, and in-situ measurement of physical properties of acoustical environment. The relationship between both measurement results enabled to realize a measurement tool for sound localization performance of auditory guide signals in public spaces. Results of a measurement is presented on a screen of tablet PC with numerical values and graphical presentation of estimated sound localization from acoustical input to both ears of a listener. The presented result of the measurement tool is well correlated with sound localization of listener on horizontal plane but not well estimate on vertical plane. It was more difficult to obtain accurate sound localization of listeners on vertical plane than horizontal plane with visual attention measurement, which was used to confirm sound localization of listeners with gaze measurement.

研究分野：音響工学、福祉工学

キーワード：音案内 音の方向定位 音環境 視覚障害者 視覚的注意 動的測定評価 立体音響

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我が国では公共空間における高齢者・身体障害者の安全かつ円滑な移動を確保することは、大きな課題となっており、2000年11月には「高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律（交通バリアフリー法）」が施行された。また、平成23年3月8日に閣議決定された交通基本法では、人々自身による移動を円滑に促進するための公共空間の整備が重視されている。

このような社会的背景を受けて、研究代表者らは音による視覚障害者等の円滑な移動を支援し、かつ騒音にならない誘導鈴の音デザインおよび公共空間の音環境整備に資する研究を行ってきた。これまでの我々の研究により、音案内に関するJIS規格原案の開発および国土交通省のガイドライン改定に寄与してきた。

これまでの取り組みでは実験室実験および大空間における歩行実験により、音案内が機能するための空間の響き、騒音および信号の音響的特性について明らかにし、うるささを抑制した音案内の実現に寄与する基礎データを構築してきた。

一方、実際に設置された音案内がどの程度機能するのかについて、音環境の物理的な計測以外は、現場における評価は単なる感覚評価、つまり音案内による誘導方向がわかりやすいかどうかのみより頼っている。そのため、音案内設置後に定量的な音の定位に関する定量的かつ実用的な評価は全くできない状況であった。

これまでの音の空間定位については主に水平面定位という2次元平面で検討されてきた。研究分担者の森本による研究により、3次元での音の空間定位を説明する適切な座標系など開発されてきた。一方、音案内の発音装置は、建築的制限から空間の高所に設置されることが多いが、高所に設置されたときの誘導性能に対する影響、特に遠方で音を知覚し、歩行により近づいていき、歩行者と音源の相対的な高さ関係が変化したときに2次元平面上の動きである歩行の方向誘導にどのように影響があるかは検討されてこなかった。

音の知覚に関する高さ方向の変化および動的な音像の移動についての評価を現場で実現するにはこれまでの被験者の申告に頼る方法論、動画により歩行状況を観察する方法では計測が困難であった。そこで視覚的注意計測の技術を援用し、空間内の3次元の音源定位の評価を可能とすることを目指した新たな実用的な音の方向定位性能の計測を実現し、最終的には現場における計測ツールの一部にその機能を組み込むことを着想した。

2. 研究の目的

本研究の目的は現場における音案内の評価を、設置高さの影響および動的な音案内の効果を含めて可能にするツールの開発を行い、

現場における音案内の性能評価を実現することである。

そのためにまず、「(1) 従来の方法論による実験室実験による音の方向定位試験」を実施した。ここでは、音案内を音源とした音源定位に関する実験室実験を行い、空間内における響きや騒音の影響を考慮した実用的な評価方法を構築する。

次に、「(2) 視覚的注意特性の計測を取り入れた新しい音の方向定位評価実験」を実施した。ここでは、音源位置に対する視覚的注意に着目し、視線計測技術を用いて、現場における音案内の方向指示性能評価方法の開発を実施する。これにより、これまでの音の定位実験をよりの確に且つ簡便に、かつ現場でも使えるようにする。

次に、「(3) 運用現場における立体音響観測分析を併用した評価ツールの開発」を実施する。ここでは、(1)と(2)において開発した評価方法をもとに、現場において歩行時に両耳に入力される音信号の音響分析および両耳間特性の時系列変化の分析にもとづく音案内方向定位性能に関連する計測を実現する計測システムを開発する。それにより、リアルタイムに音案内の誘導性能を評価できる評価ツールの実現を目指す。

3. 研究の方法

本研究は、従来の方法論による実験室実験による音の方向定位試験を神戸大学において行い、視覚的注意特性の計測による新しい音の方向定位試験を産業技術総合研究所において行う。これらの結果と先行研究の知見を統合し、現場計測ツールのアルゴリズム開発を産業技術総合研究所と神戸大学とで共同開発する。最終的に運用現場における視覚注意の計測と両耳音響入力分析を併用した評価ツールの開発を行う。本研究の内容は大きく以下の3項目による。項目ごとの概略と実施方法を以下に記す。

(1) 従来の方法論による実験室実験による音の方向定位試験

実験室における音の方向定位実験により音案内信号の時間的・周波数的・空間的特徴と音の方向定位の関係を導き出す。

1) 音の時間的・周波数的特性が音の方向定位に及ぼす影響の定量化実験

2) 高さ方向の設置位置が音の方向定位に及ぼす影響の定量化実験

(2) 視覚的注意特性の計測を取り入れた新しい音の方向定位試験

音の方向定位実験に視覚的注意計測を導入し、空間的に動的な音案内信号に注意が引きつけられるかどうかを定量的に評価し、性能が高い音案内信号の提案に結びつける。

(3) 運用現場における立体音響観測分析を併用した評価ツールの開発

現場において受聴者の両耳において観測される音響信号による音案内の方向指示性能評価を実現する計測機器を開発する。

4. 研究成果

(1) 従来の方法論による実験室実験による音の方向定位試験

上半球面における音響案内の方向定位について、図1に示す共同研究者の森本らが提案している座標系を用いて説明した。ピン・ポーン音の方向定位が、側方角 α については、たくさんの周波数成分を含み定位しやすいホワイトノイズとの差が見られないが、上昇角 β の正答率はピン・ポーン音ではホワイトノイズと比較して低下することが示された。

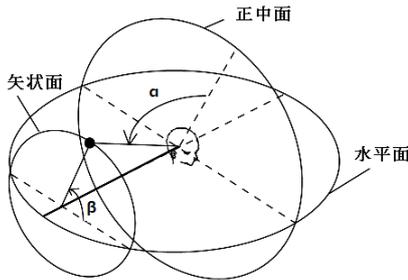


図1 側方角 α と上昇角 β を用いた座標系

音響案内の時間特性と残響音の関係については残響音場において断続音が音響案内として有効であり、その有効性の評価に短い時間窓をかけて算出した両耳間時間差の時間変動が利用できる見込みが明らかとなった。

代表的な音響案内であるピン・ポーン音を用い、これまで行われていなかった上半球面定位実験を、頭を固定した条件において行った。その結果を用いてスピーカの設置高さについて考察し、次の2点を明らかにした。

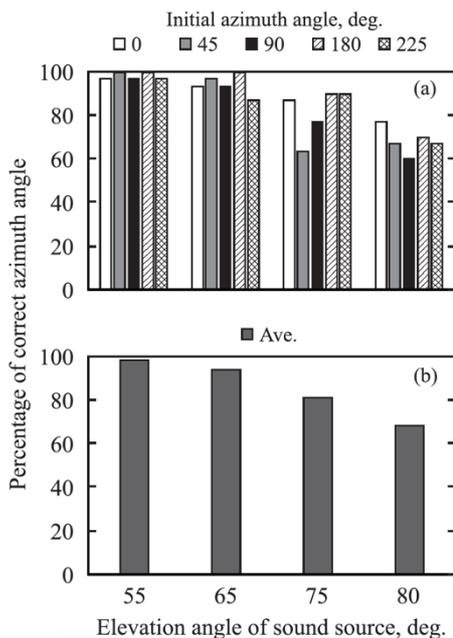


図2 受聴者から見た音源の上昇角(横軸)と音源位置の正答率(縦軸)の関係。(a)は上昇角および水平角ごとに正答率を表示、(b)は上昇角ごとの平均値を示す。

(1) 前方のスピーカに対する方位角の正答率は75%以上であるが、後方のスピーカについては前後誤判定が多く正答率が50%以下であった。(2) 上昇角が45度の位置に設置したスピーカから提示した場合、水平面の場合と比較して方位角の正答率に大きな差は見られなかった。

さらに、頭部運動を強制させた条件で定位実験を行った結果を図2に示す。音源の仰角と方位角の定位精度の関係から次の2点を示した：①頭部固定条件と同様に、音源の仰角が大きくなるにつれて、定位精度は低下すること、ただし、頭部固定条件で見られた前後誤判定はほとんど見られない。②頭部運動を前提とすれば、音源の仰角が65度になる距離まで誘導可能である。

(2) 視覚的注意特性計測を取り入れた新しい音の方向定位実験

音を提示した時の視覚的注意特性は眼球運動の計測により注視点を抽出することにより行った。その結果と動画撮影の結果をオーバーラップさせ、注視点とその時刻における音の提示位置と合致するか否か、どの程度ずれののかを評価した。

まず、スピーカの前に幕を張り、スピーカが受聴者から見えない状態で音が出ている場所を注視するように被験者に伝えて、水平方向で音源位置が変化する状態で視線計測を実施した。その結果、従来の実験室実験における音像の方向定位の精度の報告に比べ、視線計測のばらつきの結果が、特に垂直方向に大きいことが判明し、視線計測時の音方向計測者(視線を計測されている者)の視線の動きを制御する必要があることがわかった。

次に、実験室実験により、進行方向に対して2次元の平面において、音響条件と視線の安定度の関係性を明らかにした。図3に騒音がある条件下で計測した音源の位置と視線の頻度のヒートマップの例を示す。すべてのスピーカから1回ずつランダムな順番で音を提示した。図3の左図はスピーカが見える状態での視線計測である。音が提示されていない時には中心を見つめるように指示した。おおよそスピーカの中心に視点が定まっているのがわかる。一方、右図はスピーカの前に音響透過型スクリーンを設置してスピーカを視覚的に隠した条件での計測結果であり、左図に比べて視点がずれていたり、音が出ているのに注意されていないスピーカが下方に存在したりしている。図4は同じ提示順でスピーカが見える状態と見えない状態と比較した視点の画素上の位置を比較したものである。図3に見られたように両曲線が一致すれば視覚情報と無関係に音により視線が誘導されていると言える。

図3、図4より、2次元で音を提示した場合でも水平方向の方向定位は従来の知見と同程度であり、被験者ごとに大きな違いは見られなく、視覚情報の有無による視点の違いは小

さい。一方、垂直方向については個人差が大きく、被験者間に一定の傾向が見られなかった。さらに、実験の際に音の発生位置に関する視覚情報の有無により、視線が示す音の発生位置の同定結果が垂直方向については異なった。

以上より、視線計測による音源定位計測について、水平方向は可能であるが、上昇角に相当する垂直方向は視覚情報の有無および個人ごとにばらつくことが示された。このことは、視線計測により空間的に音源定位を計測することが困難なことを意味した。

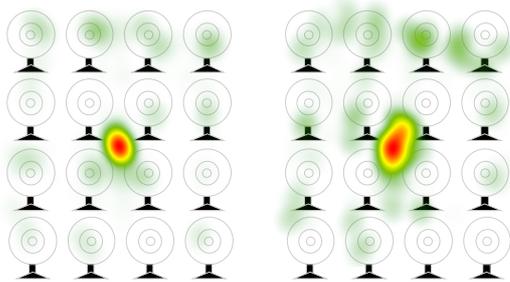


図3 視覚的注意に関するヒートマップとスピーカ市の関係。左図はスピーカ可視の状態、右図はスピーカが見えない状態にて計測。音が出ていないときは中心点を見つめることを教示した。

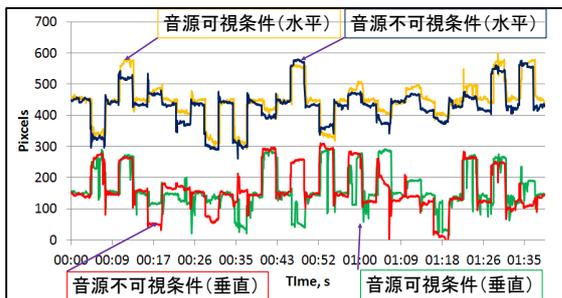


図4 水平面定位と上昇角方向の定位に関するスピーカの可・不可視条件間の比較

(3) 運用現場における立体音響観測分析を併用した評価ツールの開発

音案内の誘導性能評価に不可欠な高さ方向の評価が、視線計測では十分な精度でできないことについて検討を進めた。その際、視線計測の安定性向上についても検討を重ねたが、図4の結果などから、空間内に存在する視覚情報の有無により音源の位置推定が変化することと考え、視覚情報が多様に存在する公共空間内における安定的な計測結果を得ることは困難と考えた。この結果、上昇角については、視線計測による感覚とマッチさせるツールの開発としての成功には至らなかったが、現在持ち得る知見により、計測ツールを作成した。

計測ツールは耳入力信号から、両耳間相関関数および Lindemann 両耳聴モデルを用いて音源方向に相当する両耳間時間差の計測を

基本とした。音案内として使用される頻度が高いピン・ポーン音を対象にソフトウェアの性能の検証を行なった。特に残響音と騒音が妨害音として存在する条件下での検証の結果、直接音と反射音の干渉を避けるために基本周波数だけでなく倍音成分も含めた分析を行うことにより、比較的良好な位置検出が可能となった。

図5に響きと騒音がない無響室での計測結果、図6に響きが存在する実空間で距離が異なる条件で、正面にピン・ポーン音の音源を設置した時の、時々刻々の定位計測結果の一例を示す。図5、図6の横軸は左右の耳に入力される信号の時間差を示し、縦軸は時間差ごとの最大の相関値であり、この値が大きいほど音源定位がはっきりしていることを示す。

図5の無響室のデータでは正面に音源があることを示す横軸0のプロットと無音状態のその他の音の位置の明確さを示す LMax 値がゼロのプロットがあり、正面に音源があることが明確に示されている。

図6に示した、響きと騒音がある場合、響きにより音源位置が若干右にずれて感じられること、そして曖昧さが増加していることがわかる。また曖昧さと LMax 値は距離が遠ざかるほど大きくなる。

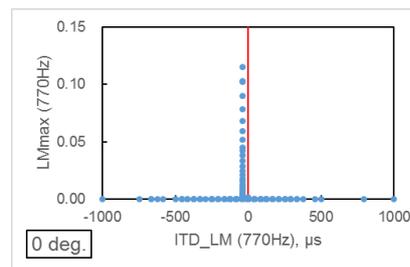


図5 無響室における音源定位計測の結果

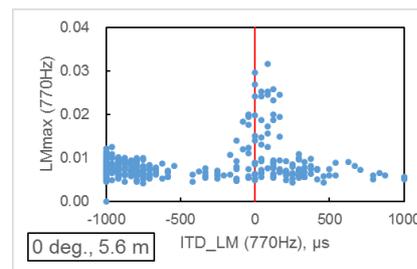
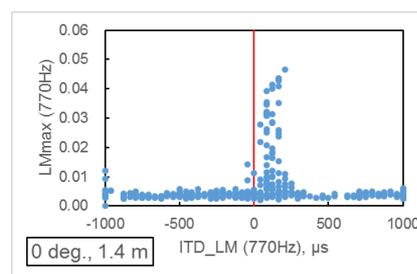


図6 実空間における計測結果の一例。上図は音源と計測点の距離が 1.4 m の条件、下図は 5.6 m の条件で計測。

このような結果を逐次表示していくことにより、さらには多くのプロットから統計分布をポスト処理で求めることにより、音案内の方向指示性能を示すことができるようになる。

<引用文献>

- ① JIS T 0902:2014 高齢者・障害者配慮設計指針—公共空間に設置する移動支援用音案内, 日本規格協会 2014年5月20日.
- ② 国土交通省, 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)), 2007年7月.

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計8件)

- ① 倉橋竜一, 佐藤逸人, 森本政之, 佐藤洋, 上半球面における音響案内の方向定位, 日本建築学会近畿支部研究発表会, 2014年6月22日, 大阪工業技術専門学校 (大阪府).
- ② 倉橋竜一, 佐藤逸人, 佐藤洋, 森本政之, 方向定位精度に基づく音響案内の設置位置に関する基礎的検討, 日本音響学会秋季研究発表会, 2014年9月5日, 北海学園大学 (札幌市).
- ③ Hiroshi SATO, Measurement of attention to auditory signal in noisy environment, internoise2014, 2014年11月17日, メルボルン国際会議場 (オーストラリア, メルボルン)
- ④ 佐藤逸人, 佐藤洋, 西浦永史郎, 森本政之, 残響音場における音案内の最適化—信号の時間特性の影響—, 日本音響学会建築音響研究会, 2015年7月21日, ジーベックホール (兵庫県神戸市)
- ⑤ 佐藤洋, 佐藤逸人, 森本政之, 視覚的注意により音源定位は評価できるか?, 日本音響学会建築音響研究会, 2015年7月21日, ジーベックホール (兵庫県神戸市)
- ⑥ Hayato Sato, Masayuki Morimoto, Hiroshi Sato, A consideration on localization accuracy of acoustic guide signals in reverberant sound fields, 12th Western Pacific Acoustics Conference 2015, 2015年12月7日, Grand Copthorne Waterfront Hotel, (シンガポール).
- ⑦ Hiroshi Sato, Hayato Sato, Masayuki Morimoto, Measurement of Accuracy of Sound Localization of Auditory Signal with Gaze Measurement and Its Improvement in Noisy Environment, 12th Western Pacific Acoustics Conference 2015, 2015年12月7日, Grand Copthorne Waterfront Hotel, (シンガポール)

- ⑧ 佐藤逸人, 倉橋竜一, 佐藤洋, 森本政之, 音案内の設置高さ誘導可能距離の関係に関する検討—頭部運動を考慮した場合—, 日本音響学会秋季研究発表会, 2016年9月15日, 富山大学 (富山県富山市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 洋 (SATO, Hiroshi)
産業技術総合研究所・情報・人間工学研究領域・研究戦略部・総括企画主幹
研究者番号: 10260423

(2) 研究分担者

佐藤 逸人 (SATO, Hayato)
神戸大学大学院・工学研究科・准教授
研究者番号: 30346233

関 喜一 (SEKI, Yoshikazu)
産業技術総合研究所・人間情報研究部門・主任研究員
研究者番号: 60357316

森本 政之 (MORIMOTO, Masayuki)
神戸大学大学院・工学研究科・名誉教授
研究者番号: 10110800

伊藤 納奈 (ITOH, Nana)
産業技術総合研究所・人間情報研究部門・主任研究員
研究者番号: 80392588

倉片 憲治 (KURAKATA, kanji)
産業技術総合研究所・人間情報研究部門・総括研究主幹
研究者番号: 90356931