

平成 31 年 4 月 19 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12958

研究課題名（和文）音の移動感を利用した視覚障がい者のための移動支援システム「音響矢印」の開発

研究課題名（英文）Development of a mobility assist system "acoustic arrow" for the visually impaired using perceived movement of sound

研究代表者

森本 政之（Morimoto, Masayuki）

神戸大学・工学研究科・名誉教授

研究者番号：10110800

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、知覚される音の動きを利用して「矢印」の方向を聴覚情報として伝達することにより、視覚障害者のための新しい移動支援システムを開発することである。聴取者前方の左右に配置した2つのスピーカーから交互に音を出す最小限のシステムで、聴取者によらず特定の方向の「矢印」を知覚させることが可能かどうかを検討した。その結果、心理学の「プレグナンツの法則」に基づいて音の時間間隔と音の強さを最適化することで特定の方向を知覚できることを明らかにした。この結果は提案方法の実用化の可能性を実証している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的な特色は、近未来の移動支援システムとして主流になることが予想される情報端末等特別な装置に依存した方法に頼らずに、人間の聴覚の空間知覚能力を利用し、騒音や残響音等の環境音に対して頑健でかつ有効な移動支援システムを実現しようとする点である。また、この研究の結果として、上述した移動支援システムが確立されれば、視覚障がい者の移動時の安全性を高め、より活発な社会参加を促すとともに、音環境そのものを静かで快適にすることができる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this this research is to develop a new mobility assist system for the visually impaired by transmitting a direction of "arrow" as auditory information using perceived movement of sound. We examined whether it is possible to make a specific direction of "arrow" be perceived regardless of the listener, with a minimal system that alternately presents sound from two loudspeakers on the left and right in front of the listener. As a result, it became clear that a specific direction can be perceived by optimizing the time interval between sounds and the strength of sound based on the "law of prägnanz" in psychology. This result demonstrates the feasibility of the proposed method.

研究分野：環境音響学

キーワード：ユニバーサルデザイン 音響案内 視覚障がい者 音の移動感

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは、音案内の最適化について検討を重ね、騒音や残響音の影響を明らかにしてきた。その成果の一部は、既に JIS 0902:2014 に採用されている。しかし、現在の音案内のように誘導目的地点に設置された 1 個のスピーカによる誘導には限界がある。背景騒音の大きい所や目的地点から少し離れた所では、背景騒音に埋もれてしまうし、大きな音で鳴らすと必要でない人には不快感や喧騒感を与えることになる。また、スピーカからの距離が離れるほど残響音の影響も大きくなり、誘導性能は低下する。

そこで、従来の音案内が人間の音の方向感だけを利用しているのに対し、音の移動感を利用する方法を着想した。すなわち、離散的に配置された複数のスピーカから逐次音を鳴らし、あたかも方向を知らせる矢印のように知覚させることで誘導するシステムである。視覚障がい者はこの音の移動感による矢印にしたがって移動することにより、目的地点まで正確かつすばやく移動できる。この方法であれば、スピーカは被誘導者のすぐ近くにあることから、小さな音で充分聞こえ、不快感や喧騒感を軽減できる。また、残響音の影響も小さくできることから、背景騒音や残響音に頑健な視覚障がい者の移動支援システムを構築できることが期待される。

2. 研究の目的

複数のスピーカから逐次音を鳴らすことにより知覚される音の移動感を利用した、新しい視覚障がい者の移動支援システムを開発することを目的とする。

3. 研究の方法

研究当初は、(1) 音の移動感を知覚するのに最適な逐次提示される音の特性及びスピーカ配置、(2) 本システムの適用限界：背景騒音及び残響音の影響、(3) 実際の現場における実証実験の 3 つのテーマについて検討する予定であった。しかし、最初に取り組んだ(1)のテーマにおいて、想定外の要因が影響することが判明したため、(1)のテーマに特化して研究を進めることとした。

無響室において図 1 に示すように聴取者の前方にスピーカを 2 個配置した。スピーカの高さは 1.2 m であり、着座した聴取者の耳の高さと同程度である。図 2 に示すようなタイムパターンで左右のスピーカから交互に音刺激を聴取者に呈示し、音が移動していると感じる方向について「左から右」、「右から左」、「分からない」のいずれかで回答させる心理実験を行った。聴取者は判断が定まるまで音刺激を聴き続けることができる。

音案内として実用化するためには、聴取者によらず、音の移動感に基づく矢印の向きの判断が「左から右」あるいは「右から左」のいずれか一方のみに限定されることが必要である。研究成果の項で詳細は述べるが、人間が視覚刺激をゲシュタルト（点や線といった要素ではなくそれらから構成される全体的な枠組み）として知覚する際の「プレグナンツの法則」を考慮してデザインした音刺激を実験に用い、矢印の向きの判断を一方向に限定するための音刺激の条件を検討した。

なお、スピーカの数を増やすことにより、矢印の向きの判断を一方向に限定するための音刺激のデザインは比較的容易になると推測されるが、本研究では最小限のシステムを提案するためにスピーカの数に 2 個に限定した。

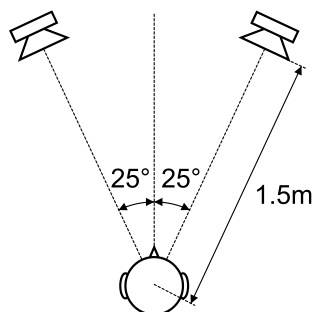


図 1 スピーカ配置

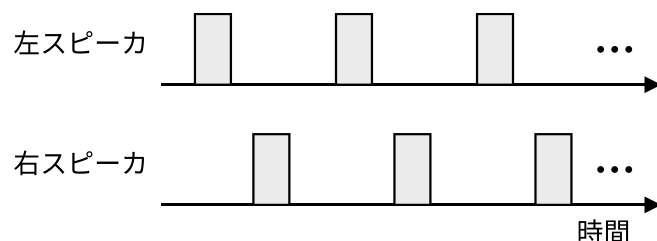


図 2 音刺激の代表的なタイムパターン

4. 研究成果

聴取者が音の移動感を知覚する際には、ある 2 つの音をゲシュタルトとして群化し、時間的な順序が先の音の到来方向から後の音の到来方向への移動感を知覚すると考えられる。ゲシュタルト知覚の法則としてプレグナンツの法則が知られており、「近接の要因」、「類同の要因」、「よ

い連続の要因」といった要因がある。

(1) 「近接の要因」を考慮した場合

「近接の要因」は、空間的距離あるいは時間的距離が近いほど群化されやすいという法則である。本研究の場合、空間的距離は図1に示したスピーカ配置で固定しているため、時間的距離のみがパラメータとなる。

図3に実験で用いた音刺激のタイムパターンの概形を示す。音刺激は継続時間が80msのノイズバーストを左右のスピーカから交互に提示するものである。図3の場合、左と右の音刺激の時間間隔(Δt_1)と、右と左の音刺激の時間間隔(Δt_2)を比較すると $\Delta t_1 < \Delta t_2$ である。このため、「近接の要因」により、視覚情報として図3を知覚する場合、左→右と並ぶ2つの音刺激が1つのまとまりとして群化されるように見える。聴覚情報として提示した場合にも同様になるかを心理実験により検討した。

図4に実験結果の例として、 Δt_1 が80ms、 Δt_2 が200msの場合の結果を示す。聴取者は6名である。図3(a)のタイムパターンの場合、「左から右」の回答がほとんどであり、「右から左」の回答は0%である。この結果は、「近接の要因」にしたがって2つの音刺激が群化され、その時間的順序に応じた音の移動感が知覚されたことを意味する。

しかし、図3(b)のタイムパターン、つまり Δt_1 と Δt_2 は(a)と同じだが、右のスピーカから音刺激が呈示され始める場合、「右から左」の回答が20%程度生じる。この結果は、1番目と2番目に呈示された音刺激を群化して知覚した音の移動方向が聴取者の意識において固定され、「近接の要因」の影響を受けずに、3番目と4番目、5番目と6番目、といった2つの音刺激を群化し続ける場合があることを意味する。以下では、時間的に先行する刺激が後行する刺激の知覚に影響することを示す「プライミング効果」でこの要因を表すものとする。

一般に音案内はループ再生されており、聴取者が音案内のどの部分から聴き始めるかは不定である。したがって、同じ音案内でも図3(a)と(b)のどちらで聴取者が聴くかはわからないため、(b)のようにプレグナントの法則による音刺激の群化とプライミング効果による音刺激の群化が相反する場合、図4に示した結果のように音の移動感の判断が一方向に限定されない問題が生じる。このプライミング効果の影響は事前に想定していなかったが、音の移動感を用いた音案内のデザインにあたり考慮が不可欠である。そこで、プライミング効果を打ち消すほど強い音の群化の手がかりを明らかにすることを研究の主目的とした。

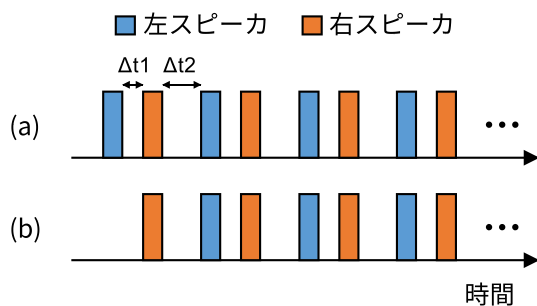


図3 「近接の要因」を考慮したタイムパターン

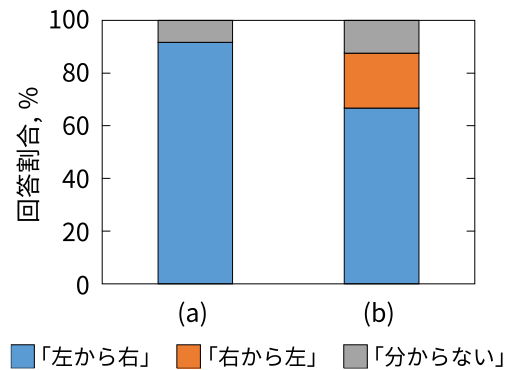


図4 「近接の要因」の実験結果

(2) 「よい連続の要因」を考慮した場合

「よい連続の要因」は、空間的あるいは時間的変化が滑らかに連続しているものが群化されやすいという法則である。本研究では、音刺激の周波数を時間的に滑らかに変化させることにより、2つの音刺激を群化させる方法で検討した。

図5に実験で用いた音刺激の時間一周波数パターンを示す。音刺激は低い周波数(440Hz)から高い周波数(700Hz)に連続的に変化するスイープ音の中間を無音区間としたものであり、前半(継続時間 Δt_1)を左のスピーカ、後半(継続時間 Δt_1)を右のスピーカから時間間隔 Δt_2 を空けて呈示する。ここでは「近接の要因」の影響を取り除くため、次のスイープ音は Δt_2 の時間間隔を空けて呈示を開始する。図5においても、視覚情報としては「よい連続の要因」により、左→右と並ぶ2つの音刺激が途切れてはいるが1つの右上がりの曲線として群化されて見える。プライミング効果の影響を検討するため、(a)左のスピーカから呈示開始、(b)右のスピーカから呈示開始の両者について実験した。

図6に実験結果の例として、 Δt_1 が200ms、 Δt_2 が125msの場合の結果を示す。聴取者は4

名である。(a)の条件では「よい連続の要因」あるいはプライミング効果によると考えられる「左から右」の回答が最も多いが、60%程度しかない。一方、20%程度見られた「右から左」の回答は「よい連続の要因」とプライミング効果のいずれでも説明できない。この結果は、音の高さそのものに群化の手がかりがあり、この場合「高→低」の順序で音刺激を群化したことが考えられる。なお、音の高さを手がかりとして音刺激を群化する場合があることは本研究における別の実験でも確かめられている。(b)の条件では、「右から左」の回答が75%と支配的となり、プライミング効果の影響が強く見られた。周波数変化の方向、 $\Delta t1$ 、 $\Delta t2$ を様々に変えた実験も行ったが、「よい連続の要因」のみを用いて音の移動感の判断を一方向に限定することができる組み合わせは確認できなかった。

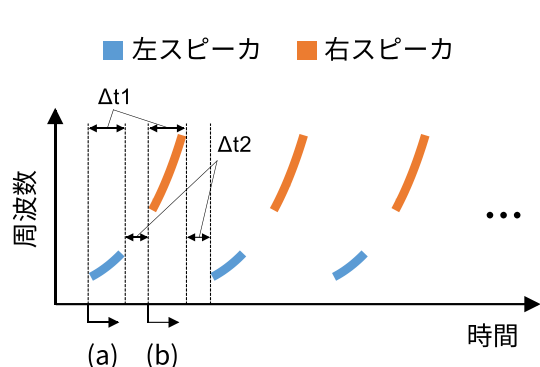


図5 「よい連続の要因」を考慮した音刺激のパターン

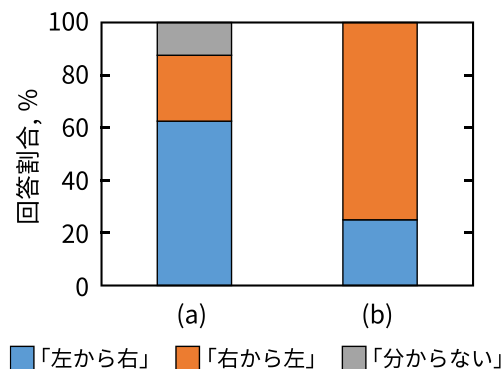


図6 「よい連続の要因」の実験結果

(3) 「類同の要因」を考慮した場合

「類同の要因」は質的に似ている要素が群化されやすいという法則である。本研究では音の質的要素として大きさ(ラウドネス)に着目し、音圧レベルに10 dB差をつけた2種類のラウドネスの音刺激を用い、ラウドネスが等しい2つの音刺激が群化させる方法を検討した。

図7に実験で用いた音刺激の時間-強度パターンを示す。音刺激は継続時間200 ms、周波数440 Hzのトーンバーストを、200 msの時間間隔を空けて左右のスピーカから交互に呈示するものである。ただし、2つごとに音圧レベルを60 dB、50 dBと変化させる。図7を視覚情報として見た場合、棒の長さの類似性による「類同の要因」により、左→右と並ぶ2つの音刺激が1つに群化されて見える。プライミング効果の影響を検討するため、(a)左のスピーカから呈示開始、(b)右のスピーカから呈示開始の両者について実験した。

図8に実験結果を示す。聴取者は4名である。(a)の条件では「左から右」の回答が100%となった。(b)の条件でも「左から右」の回答が75%と高いが、「右から左」の回答も25%で見られた。ただし、(b)の条件では明確な個人差が見られ、3名がすべて「左から右」、1名がすべて「右から左」と回答した。

ここまで検討した要因の中では「類同の要因」を考慮した音刺激が、音の移動感の判断を一方向に限定できる可能性が最も高いと考えられるが、プライミング効果の影響を完全に打ち消すことはできなかった。

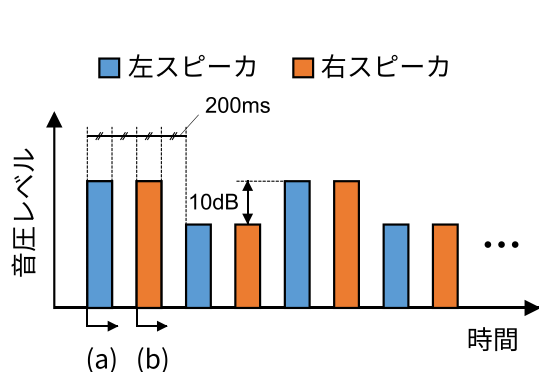


図7 「類同の要因」を考慮した音刺激のパターン

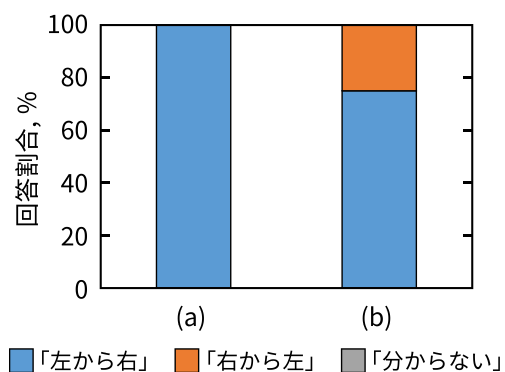


図8 「類同の要因」の実験結果

(4) 2つの要因を同時に考慮した場合

「近接の要因」、「よい連続の要因」、「類同の要因」をそれぞれ単独に考慮した場合、本研究の範囲ではプライミング効果の影響を打ち消すことはできなかった。そこで、比較的影響が強いと考えられる「近接の要因」と「類同の要因」の2つを同時に考慮した音刺激を検討した。

図9に実験で用いた音刺激の時間-強度パターンを示す。音刺激は継続時間200msのノイズバーストを最小構成要素とする。まず「近接の要因」を考慮し、ノイズバーストの時間間隔を200msと400msの2種類とし、200msの時間間隔を間に持つ2つのノイズバーストを群化しやすくする。次に「類同の要因」を考慮し、前述の2つのノイズバーストごとに音圧レベルに10dBの差(50dBと60dBを使用)を持たせることにより、群化のしやすさをさらに高めるものとした。プライミング効果の影響を検討するため、(a)左のスピーカから呈示開始、(b)右のスピーカから呈示開始の両者について実験した。

4名の聴取者を用いて実験を行った。なお、図9における音圧レベルの差を持たせずに「近接の要因」のみを考慮した音刺激を用いた実験を併せて行い、4名中1名がプライミング効果のみで音の移動方向を判断することを確認した。図10に近接と類同の両者を考慮した音刺激を用いた実験の結果を示す。(a)と(b)の条件の両者において「左から右」の回答が100%となり、「近接の要因」のみを考慮した音刺激ではプライミング効果のみで判断した聴取者も含めて、音の移動感の判断を一方向に限定することができた。左右の呈示順序を入れ替えて右から音刺激を呈示し始める条件で同様の実験を行った結果、実験の初期でわずかにプライミング効果の影響が出る場合があったが、ほぼプレグナンツの法則から予測される音の移動方向を回答する結果が得られた。

以上より、プレグナンツの法則を考慮して最適化すれば、スピーカ数を2個に限定した場合でも、単純な音の組み合わせで特定の方向を表す矢印を聴覚情報で伝達することが可能であり、本研究で提案する移動支援システムの実用化の可能性を実証できたとと言える。

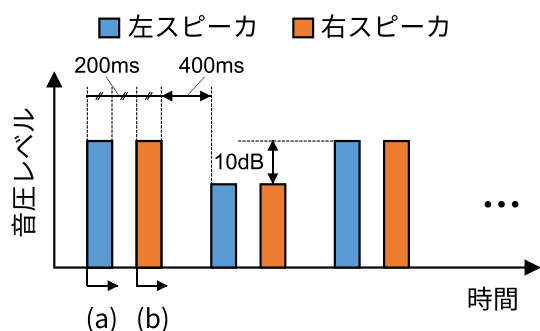


図9 近接と類同を考慮した音刺激のパターン

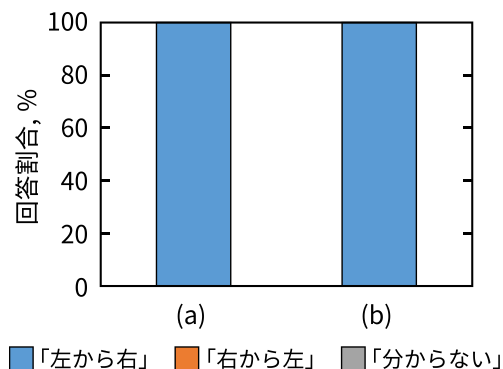


図10 近接と類同を考慮した実験結果

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2件)

- ① 土岐奈々, 佐藤逸人, 森本政之, 佐藤洋, 音の移動感を用いた音響案内に関する基礎的研究—信号の時間間隔の影響—, 日本建築学会近畿支部研究発表会, 2017.6.25, 大阪保健医療大学 (大阪府)
- ② 土岐奈々, 佐藤逸人, 森本政之, 佐藤洋, 音の移動感を用いた音案内に関する基礎的研究—スピーカを2つに限定した場合—, 日本音響学会秋季研究発表会, 2017.9.25, 愛媛大学 (愛媛県)

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 佐藤 洋

ローマ字氏名: (SATO, Hiroshi)

所属研究機関名: 国立研究開発法人産業技術総合研究所

部局名: 情報・人間工学領域

職名: 研究部門長

研究者番号 (8桁): 10260423

研究分担者氏名：佐藤 逸人
ローマ字氏名：(SATO, Hayato)
所属研究機関名：神戸大学
部局名：大学院工学研究科
職名：准教授
研究者番号 (8 桁)：30346233

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。