

シンプルなモノラル音によるユーザの 左右情報認知に関する実験的考察

Experimental Consideration on User's Perception of L/R Direction Information by Simple Monaural Sounds

山田 雅博¹ 小松 孝徳² 山田 誠二^{3,4,5}

Yamada Masahiro¹, Komatsu Takanori², and Yamada Seiji^{3,4,5}

¹ 明治大学先端数理科学研究科

¹Department of Advanced Mathematical Sciences, Meiji University

² 明治大学総合数理学部

² Department of Frontier Media Science, Meiji University

³ 国立情報学研究所

³ National Institute of Informatics

⁴ 総合研究大学院大学

⁴ SOKENDAI

⁵ 東京工業大学

⁵ Tokyo Institute of Technology

Abstract: The purpose of this study is to confirm whether the monaural auditory displays indicating the leftward and rightward to users can be used together with the speech sounds in order to convey the positional information to users. Specifically, we conducted two experiments; the experiment 1 is to investigate how the speech sounds followed by these auditory displays can convey three positions “right,” “center” and “left” in front of the participants, and the experiment 2 is to explore the effects of the durations of these auditory displays on the users’ interpretations of these positional information. As a result of experiment 1, we could confirm that the speech sounds followed by 0.25, 0.50, and 0.75 sec durations’ monaural auditory displays succeeded in conveying the three directional positional information to users. And as a result of experiment 2, we could confirm that the speech sounds followed by 0.25, 0.50, and 0.75 or 1.00 sec durations’ auditory displays were interpreted by users correctly.

1. はじめに

私たちの身の回りでは、あらゆるユーザインタフェースにおいて、液晶などのディスプレイ上に表示される視覚情報やスピーカから発せられる音情報を用いて、様々な種類の情報をユーザに伝えている。現在ではビープ音や自然言語などの音声を組み合わ

せることによって、より豊かな表現が行われるようになり、伝えることができる情報量が増している。また、視覚情報が表示されるディスプレイを使用することでユーザに豊富な情報を伝えることができる一方で、例えば視覚障害者や目の前の作業に集中しているユーザにとっては視覚情報に頼らない情報の提示方法が必要である。そのため、音や音声を用い

¹ 明治大学 先端数理科学研究科

〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1

TEL:090-1508-2643

て情報を呈示する方法は重要であると考えられる。このうち、方向情報を呈示する際には音声を用いられるケースが多いが、音声を用いることには長所と短所が存在すると考えられる。具体的には、音声で情報を呈示することはユーザに正確に情報を伝達できる長所がある一方で、使用される言語が理解できないユーザにしか情報を伝達できない短所があると考えられる。また、Nass & Brave[1]は、性別、イントネーション、リズム、声質などのパラ言語情報が意図していない解釈を引き起こす可能性があるとして述べている。さらに Rouben & Terveen[2]は、このようなパラ言語情報をユーザが理解することは認知的負荷をかけ、作業に干渉する可能性があるとして報告している。これらとは対照的に音声以外の音で情報を伝達することは、ユーザがどのような情報を与えられているのか直感的に理解できる必要がある。ユーザに直感的に情報を伝達するための音情報として、「聴覚ディスプレイ」と呼ばれる研究がされている。聴覚ディスプレイの利点としては、視覚と異なり聴覚が全方位からの音も聞き取れることが挙げられる。Walker & Kramer[3]は、聴覚ディスプレイは、システムとユーザとの間で情報をやり取りするように設計されている意図的な非言語音であると定義している。また、ユーザとエンティティ間の情報をユーザに提供するためのインタフェースで用いられるオーディオメッセージとして Earcon[4]が様々な研究されている。Earcon は特定のイベントを音のモチーフ（楽曲を構成する最小単位の音）として用意し、複数のモチーフの組み合わせで複雑な事柄を表現するために使用される。さらに Blattner ら[4]は、視覚的シンボルと聴覚的メッセージの両方に共通する設計原則を識別し、抽象的なアイコンと Earcon の使用について説明しており、Earcon のモジュールを設計するために使用できるオーディオパターンの例を示している。また、Komatsu ら[5]は、ASE (Artificial subtle expressions) を用いた時の方が音声を用いた時と比較して、ユーザの応答時間が短いという結果が得られたことを報告している。ASE とは、心理的発見に基づく意味へのマッピングの役割を持つ短い音である。また、応答時間が音声水準と比較して ASE 水準の方が有意に短かったことから、ASE 水準の方がユーザへの認知負荷が低いことが示されている。また、Komatsu らは ASE の利点として、不完全なシステムに適していること[6]、および言語に依存しない解釈が可能であったこと[7]について報告している。以上より、音声以外の音情報を用いることでもユーザに情報を呈示することは可能であると考えられる。

方向情報を伝達する音情報に関する研究として Roffler & Butler[8]は、「高音は一貫して高い位置にマ

ッピングされている」ことを述べており、このマッピングの結果は様々なアプリケーションに使用されてきた[9]。さらに、方向情報を効果的かつ直感的にユーザに伝えるためのモノラル聴覚ディスプレイを構築する研究もおこなわれている。Komatsu & Yamada[10]は、ヘッドホンを着用したり、複数のスピーカを用いることなく、上下左右の方向情報をモノラル音で伝える事を目的とした実験を行っている。実験では、三角波から作成された5セットのモノラル音を用意して、どのセットが実験参加者により方向情報を伝達することができたかを確認している。その結果、音の長さが違うシンプルなモノラル音のセットにおいて、左右方向が最も高い正答率で回答された結果が得られている。

そこで本研究では、音自体の性質によって方向情報を直感的に伝える事ができるかどうかを実験的に考察した。具体的には、Komatsu & Yamada[10]が報告しているモノラル音の長さの違いによってユーザに左右の方向情報を伝達することができるのか、また、どのようなモノラル音を用いるべきなのかを考察することを目的とした。

2. 実験 1

2.1 実験 1 概要

実験 1 では本研究の目的の1つである、モノラル音で方向情報を伝達する際の伝達方法を確認した。具体的には、ユーザに具体的な状況を想起させるために「宝探しゲーム」(図1)を用いて、ユーザに左、中央、右の方向情報を伝達する際のモノラル音を呈示する適切な伝達方法を考察した。

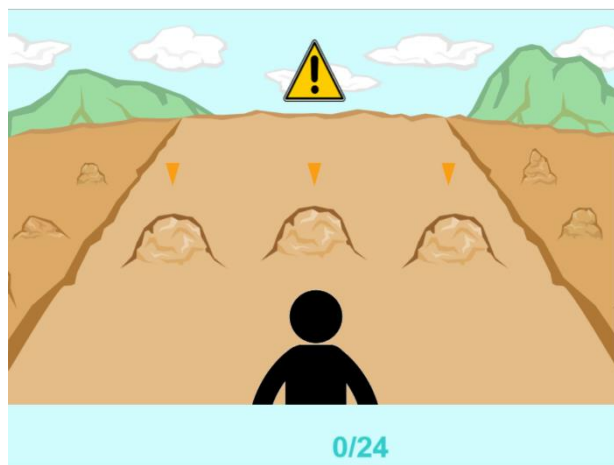


図1：「宝探しゲーム」

「宝探しゲーム」の内容は、3つの山のうちの1つの山に隠されている金貨をできるだけ多く獲得することを目指すもので、金貨の選択は24回行われる。また、ゲームシステムが音や音声で宝の位置を

予想し、この予想は実験参加者に呈示され、実験参加者はその予想を聞いた上で3つの山の中から1つの山を選択するといった内容である。さらに、金貨が隠されている山の位置は試行ごとに変化し、実験参加者は山を掘った後にコインがあったかどうかは確認できず、24回の試行が完了した後に初めて獲得できたコインの総数が通知された。

2.2 実験1の実験条件

実験1では2つの条件を用いて「左」「中央」「右」の方向情報の伝達を目指した。具体的に条件について説明すると、1つ目は、「掘って」という山を掘る指示を与える音声の直後に3種類の長さのモノラル音(0.25秒、0.50秒、0.75秒)が流れる条件(実験1-1)である(図2)。2つ目は、「掘って」という音声の直後に2種類の長さのモノラル音(0.25秒、0.75秒)が流れる音情報に加え、「掘って」という音声のみが流れる条件(実験1-2)である(図3)。

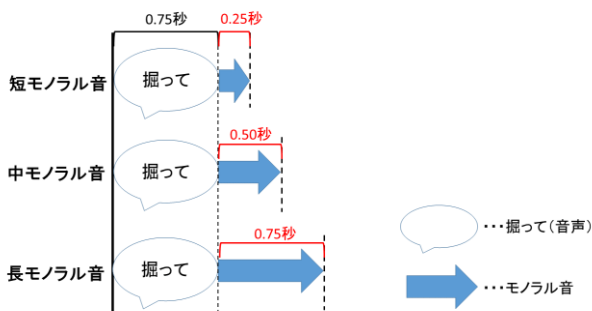


図2：実験1-1の音情報

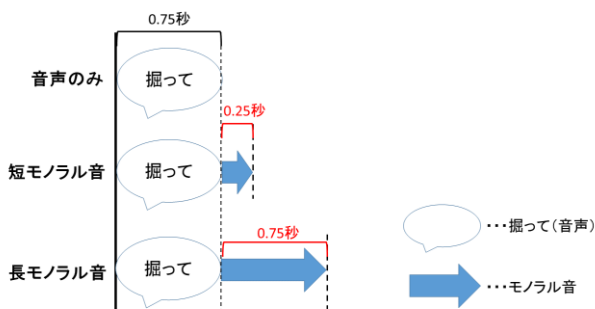


図3：実験1-2の音情報

2.3 実験1の実験環境

本実験は研究室に入室してもらい、PCが置いてある座席に着席してもらった。実験参加者には、普段使用しているPC接続が可能なヘッドホンもしくはイヤホンを持参してもらい、これを実験に使用した。また、実験に使用するWebブラウザをGoogle Chromeに指定した。

2.4 実験1-1の実験参加者

実験1-1には、大学生・大学院生(19~25歳)の男女30名(男性20名、女性10名)が参加した。

2.5 実験1-1の実験結果

本実験では、全実験参加者が選択した山の位置の総選択数を対象に、それぞれのモノラル音の長さごとにカイ二乗検定を行った。それぞれのモノラル音における全実験参加者の総選択数は、実験参加者30名に各モノラル音8回が流れるため、これらを掛け合わせた240回である。また、データの解析にカイ二乗検定を用いた理由は、理論上の期待度数と観察度数の違いを比較することができるからである。これにより、モノラル音の長さの違いが、選択された山の位置にどのような影響を与えたかを明らかにすることができる考えた。また本実験における理論上の期待度数は、「宝探しゲーム」の山の個数が3つであるため、これらが均等に選択された場合の33.3%とした。つまり、実験1-1における理論上の期待度数はそれぞれのモノラル音における全実験参加者の総選択数240回の33.3%にあたる79.99回である。

以下より実験1-1の結果を示す。図4のグラフでは、モノラル音の長さごとにカイ二乗検定を行った結果を示している。なお黒色の線は条件内での5%水準での有意差を示している。また、図中の棒グラフの青色が左、オレンジ色が中央、灰色が右の山を選択した回数を表している。まず、短モノラル音が流れた際に選択された山の位置についてカイ二乗検定を行った結果、有意差があることが確認された($\chi^2(2)=34.303$, $p<.01$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、左の山の総選択数が中央の山の総選択数よりも有意に多かった($p=0.0052$)。また、左の山の総選択数が右の山の総選択数よりも有意に多かった($p<0.0002$)。また、中央の山の総選択数が右の山の総選択数よりも有意に多かった($p=0.0028$)。次に、中モノラル音が流れた際に選択された山の位置についてカイ二乗検定を行った結果、有意差があることが確認された($\chi^2(2)=54.080$, $p<.01$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、中央の山の総選択数が左の山の総選択数よりも有意に多かった($p<0.0002$)。また、中央の山の総選択数が右の山の総選択数よりも有意に多かった($p<0.0002$)。次に、長モノラル音が流れた際に選択された山の位置についてカイ二乗検定を行った結果、有意差があることが確認された($\chi^2(2)=29.203$, $p<.01$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、右の山の総選択数が左の山の総選択数よりも有

意に多かった ($p < 0.0002$). また、右の山の総選択数が中央の山の総選択数よりも有意に多かった ($p = 0.0048$). また、中央の山の総選択数が左の山の総選択数よりも有意に多かった ($p = 0.015$) (図 4).

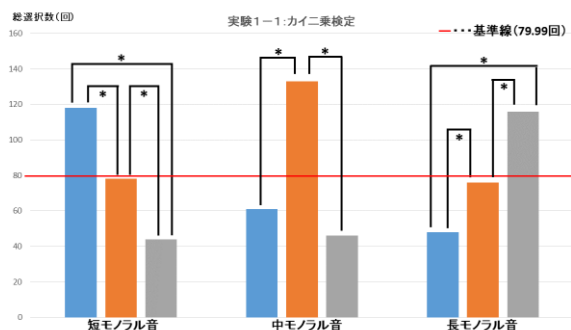


図 4 : 実験 1 - 1 カイ二乗検定結果

2.6 実験 1 - 2 の実験参加者

実験 1 - 2 には、大学生・大学院生 (18~24 歳) の男女 28 名 (男性 21 名, 女性 7 名) が参加した。

2.7 実験 1 - 2 の実験結果

本実験では、全実験参加者が選択した山の位置の総選択数を対象に、それぞれのモノラル音の長さごとにカイ二乗検定を行った。それぞれのモノラル音における全実験参加者の総選択数は、実験参加者 28 名に各モノラル音 8 回が流れるため、これらを掛け合わせた 224 回である。また、実験 1 - 2 における理論上の期待度数はそれぞれのモノラル音における全実験参加者の総選択数 224 回の 33.3%にあたる 74.66 回である。

以下より実験 1 - 2 の結果を示す。図 5 のグラフでは、モノラル音の長さごとにカイ二乗検定を行った結果を示している。なお黒色の線は条件内での 5%水準での有意差を示している。また、図中の棒グラフの青色が左、オレンジ色が中央、灰色が右の山を選択した回数を表している。まず、音声のみが流れた際に選択された山の位置についてカイ二乗検定を行った結果、有意差があることが確認された ($\chi^2(2) = 21.681, p < .01$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、左の山の総選択数が右の山の総選択数よりも有意に多かった ($p < 0.0002$)。また、中央の山の総選択数が右の山の総選択数よりも有意に多かった ($p < 0.0002$)。次に、短モノラル音が流れた際に選択された山の位置についてカイ二乗検定を行った結果、有意差があることが確認された ($\chi^2(2) = 74.588, p < .01$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、中央の山の総選択数が左の山の総選択数よりも有意に多かった ($p < 0.0002$)。また、中央の山の総選択数が右の山の総選択数よりも有意に多かつ

た ($p < 0.0002$)。また、左の山の総選択数が右の山の総選択数よりも有意に多かった ($p = 0.015$)。次に、長モノラル音が流れた際に選択された山の位置についてカイ二乗検定を行った結果、有意差があることが確認された ($\chi^2(2) = 33.762, p < .01$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、右の山の総選択数が左の山の総選択数よりも有意に多かった ($p < 0.0002$)。また、右の山の総選択数が中央の山の総選択数よりも有意に多かった ($p = 0.0004$) (図 5)。

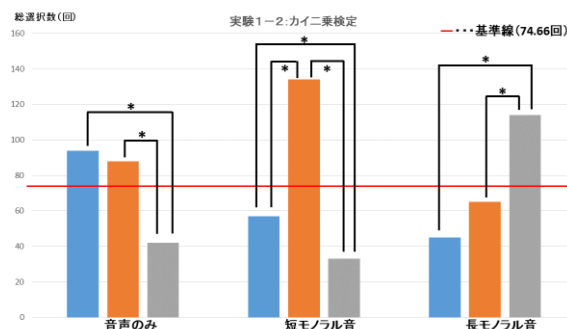


図 5 : 実験 1 - 2 カイ二乗検定結果

2.8 実験 1 考察

実験 1 - 1 では、0.25 秒の短モノラル音が左、0.50 秒の中モノラル音が中央、0.75 秒の長モノラル音が右の方向情報を伝達できたことが明らかとなった。一方で実験 1 - 2 では、0.25 秒の短モノラル音が中央、0.75 秒の長モノラル音が右の方向情報を伝達できたが、音声のみが流れた際には左と中央の 2 つの方向情報に解釈されてしまった。また実験 1 - 1 では、モノラル音が長くなるにつれて左から右の方向情報を伝達できていた。これは、ユーザの解釈が SNARC 効果によって説明できると考えられる。以上より、モノラル音の数と伝達する方向情報の数は同じ数である方がうまく伝達できるということが明らかとなった。

3. 実験 2

3.1 実験 2 概要

実験 1 では、3 種類の長さのモノラル音を用いた実験 1 - 1 で正確に左右の方向情報を伝達することができた。具体的には 0.25 秒の短モノラル音が左、0.50 秒の中モノラル音が中央、0.75 秒の長モノラル音が右の方向情報を伝達できることが示された。しかしながら実験 1 では、より正確に左右の方向情報を伝達できるモノラル音の長さは明らかにされていない。そこで実験 2 では、モノラル音の長さが変わることによって、これらの方向情報の解釈に与える影響を

明らかにすることを目的とした。つまり、より左右の方向情報を伝達することに適しているモノラル音の長さや、同じ条件で用いるモノラル音の長さの間隔について調査するために、「宝探しゲーム」を用いた実験を行い、考察した。

3.2 実験2の実験条件

実験2では、モノラル音の長さの組み合わせが異なる3つの条件で実験を行った。具体的には、モノラル音の長さ実験1-1と同じ0.25秒、0.50秒、0.75秒の組み合わせである実験2-1、モノラル音の長さが実験2-1の半分の条件である0.125秒、0.25秒、0.375秒の組み合わせである実験2-2(図6)、そしてモノラル音の長さをWeber-Fechnerの法則[11]を参考に0.25秒、0.50秒、1.00秒に設定した実験2-3(図7)の3条件である。

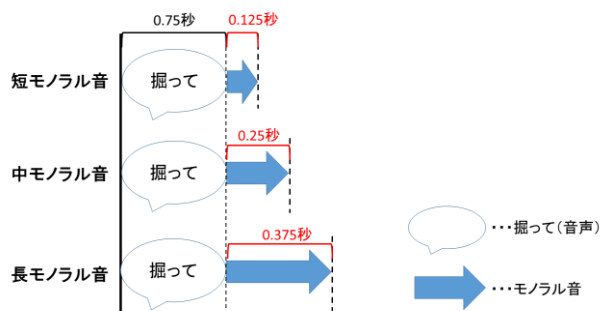


図6：実験2-2の音情報

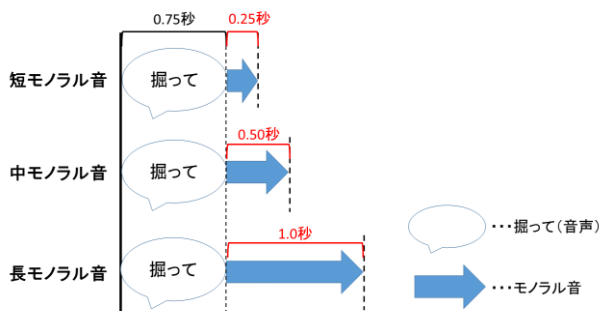


図7：実験2-3の音情報

なお、実験2でも実験1と同じ「宝探しゲーム」を用いた実験を行った。「宝探しゲーム」の内容については、上述の「2.1 実験1概要」に記載されている通りである。

3.3 実験2-1の実験参加者

実験2-1では、Yahoo!クラウドソーシング²を用いて実験参加者を募集し、23~63歳の男女74名(男

性53名、女性17名、無回答4名)が参加した。

3.4 実験2-2の実験参加者

実験2-2では、Yahoo!クラウドソーシングを用いて実験参加者を募集した、23~66歳の男女101名(男性80名、女性19名、無回答2名)が参加した。

3.5 実験2-3の実験参加者

実験2-3では、Yahoo!クラウドソーシングを用いて実験参加者を募集した、20~64歳の男女78名(男性62名、女性14名、無回答2名)が参加した。

3.6 実験2の結果

実験2では、どの条件のモノラル音の組み合わせが最も左右の方向情報を伝達できたかどうか比較するために、実験2の条件要因におけるそれぞれのモノラル音の長さごとに2要因混合計画による分散分析を行った。1つ目の要因は実験2のモノラル音の組み合わせであり、実験2-1、実験2-2、実験2-3の3水準である(以下、独立変数1)。2つ目の要因は選択された山の位置であり、左、中央、右の3水準である(以下、独立変数2)。また、従属変数は山の位置の選択回数である。

短モノラル音

短モノラル音が流れた際の分散分析を行った結果、独立変数1と独立変数2の交互作用に有意差がみられた($F(4, 308) = 2.94, p < .05$)。そこで、短モノラル音が流れた際に選択された山の位置ごとに独立変数1の単純主効果を検定したところ、中央の山および右の山が選択されたことは有意でなかったが、左の山が選択されたことは5%水準で有意だった($F(2, 154) = 4.12, p < .05$)。Holm法を用いた多重比較の結果、短モノラル音が流れた際に左の山を選択することについては、実験2-1および実験2-3が実験2-2よりも有意に多かった($MSe = 9.3209, p < .05$)。

また、独立変数1の水準別に選択された山の位置の違いについての単純主効果を検定したところ、実験2-2では有意でなかったが、実験2-1では1%水準で有意であり($F(2, 308) = 19.51, p < .01$)、実験2-3では1%水準で有意であった($F(2, 308) = 15.41, p < .01$)。Holm法を用いた多重比較の結果、実験2-1では左の山が選択された回数が、中央の山および右の山が選択された回数よりも有意に多かった($MSe = 10.3325, p < .05$)。また、実験2-3でも左の山が選択された回数が、中央の山および右の山が選択された回数よりも有意に多かった($MSe =$

² <https://crowdsourcing.yahoo.co.jp/>

10.3325, $p < .05$).

また、独立変数 2 の主効果にも有意差が確認され ($F(2, 308) = 30.88, p < .01$), Holm 法による多重比較の結果、左の山が選択された回数が中央の山および右の山が選択された回数よりも有意に多いことが確認された ($MSe = 10.3325, p < .05$).

つまり、短モノラル音が流れた際には左の山を有意に多く選択させる効果があったと考えられる。また条件間を比較した結果、実験 2-1 および実験 2-3 の方が実験 2-2 よりも左の山を選択させることができたことが確認された。

以下の図 8 では、短モノラル音での分散分析において 5% 水準で有意差がみられた項目に線を引いている。なお黒色の線が条件内での有意差、緑色の線が条件間での有意差を示している。また、図中の棒グラフの青色が左、オレンジ色が中央、灰色が右の山を選択した回数を表している。

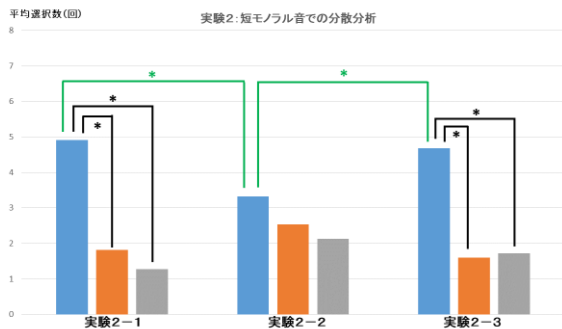


図 8 : 実験 2 の短モノラル音での分散分析

中モノラル音

中モノラル音が流れた際の分散分析を行った結果、独立変数 1 と独立変数 2 の交互作用に有意差がみられた ($F(4, 308) = 5.32, p < .01$). そこで、中モノラル音が流れた際に選択された山の位置ごとに独立変数 1 の単純主効果を検定したところ、左の山が選択されたことは 1% 水準で有意であり ($F(2, 154) = 8.30, p < .01$), 中央の山が選択されたことは 1% 水準で有意であり ($F(2, 154) = 5.15, p < .01$), 右の山が選択されたことは 5% 水準で有意であった ($F(2, 154) = 3.36, p < .05$). Holm 法を用いた多重比較の結果、中モノラル音が流れた際に左の山を選択することについては、実験 2-2 が実験 2-1 および実験 2-3 よりも有意に多かった ($MSe = 2.1660, p < .05$). また、中モノラル音が流れた際に中央の山を選択することについては、実験 2-3 が実験 2-2 よりも有意に多かった ($MSe = 5.5392, p < .05$). また、中モノラル音が流れた際に右の山を選択することについては、実験 2-1 が実験 2-3 よりも有意に多かった ($MSe = 2.8179, p < .05$).

また、独立変数 1 の水準別に選択された山の位置

の違いについての単純主効果を検定したところ、実験 2-1 では 1% 水準で有意であり ($F(2, 308) = 57.24, p < .01$), 実験 2-2 では 1% 水準で有意であり

($F(2, 308) = 36.03, p < .01$), 実験 2-3 でも 1% 水準で有意であった ($F(2, 308) = 97.96, p < .01$). Holm 法を用いた多重比較の結果、実験 2-1 では中央の山が選択された回数が、左の山および右の山が選択された回数よりも有意に多かった ($MSe = 5.2615, p < .05$). また、実験 2-2 でも中央の山が選択された回数が、左の山および右の山が選択された回数よりも有意に多かった ($MSe = 5.2615, p < .05$). また、実験 2-3 でも中央の山が選択された回数が、左の山および右の山が選択された回数よりも有意に多かった ($MSe = 5.2615, p < .05$).

また、独立変数 2 の主効果にも有意差が確認され ($F(2, 308) = 180.59, p < .01$), Holm 法による多重比較の結果、中央の山が選択された回数が左の山および右の山が選択された回数よりも有意に多いことが確認された ($MSe = 5.2615, p < .05$).

つまり、中モノラル音が流れた際には中央の山を有意に多く選択させる効果があったと考えられる。また条件間を比較した結果、実験 2-3, 実験 2-1, 実験 2-2 の順で中央の山を選択させることができたと考える。

以下の図 9 では、中モノラル音での分散分析において 5% 水準で有意差がみられた項目に線を引いている。なお黒色の線が条件内での有意差、緑色の線が条件間での有意差を示している。また、図中の棒グラフの青色が左、オレンジ色が中央、灰色が右の山を選択した回数を表している。

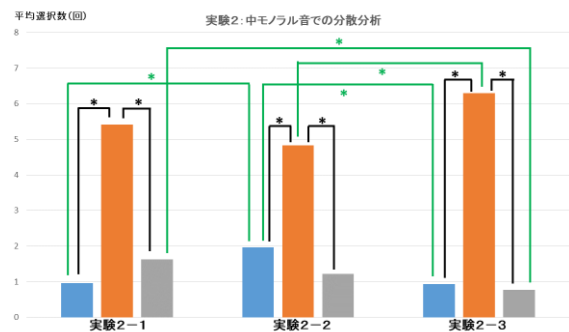


図 9 : 実験 2 の中モノラル音での分散分析

長モノラル音

長モノラル音が流れた際の分散分析を行った結果、独立変数 1 と独立変数 2 の交互作用に有意差がみられた ($F(4, 308) = 5.29, p < .01$). そこで、長モノラル音が流れた際に選択された山の位置ごとに独立変数 1 の単純主効果を検定したところ、左の山が選択されたことは有意でなかったが、中央の山が選択されたことは 1% 水準で有意であり ($F(2, 154) = 7.90,$

$p < .01$), 右の山が選択されたことも1%水準で有意であった ($F(2, 154) = 6.99, p < .01$). Holm法を用いた多重比較の結果, 長モノラル音が流れた際に中央の山を選択することについては, 実験2-2が実験2-3よりも有意に多かった ($MSe = 4.1467, p < .05$). また, 長モノラル音が流れた際に右の山を選択することについては, 実験2-1および実験2-3が実験2-2よりも有意に多かった ($MSe = 8.5484, p < .05$).

また, 独立変数1の水準別に選択された山の位置の違いについての単純主効果を検定したところ, 実験2-2では有意でなかったが, 実験2-1では1%水準で有意であり ($F(2, 308) = 14.81, p < .01$), 実験2-3でも1%水準で有意だった ($F(2, 308) = 22.18, p < .01$). Holm法を用いた多重比較の結果, 実験2-1では右の山が選択された回数が, 左の山および中央の山が選択された回数よりも有意に多かった ($MSe = 9.3680, p < .05$). また, 実験2-3でも右の山が選択された回数が, 左の山および中央の山が選択された回数よりも有意に多かった ($MSe = 9.3680, p < .05$).

また, 独立変数2の主効果にも有意差が確認され ($F(2, 308) = 27.09, p < .01$), Holm法による多重比較の結果, 右の山が選択された回数が左の山および中央の山が選択された回数よりも有意に多いことが確認された ($MSe = 9.3680, p < .05$).

つまり, 長モノラル音が流れた際には右の山を有意に多く選択させる効果があったと考えられる. また条件間を比較した結果, 実験2-1および実験2-3では右の山を選択させることができたと考えられる.

以下の図10では, 長モノラル音での分散分析において5%水準で有意差がみられた項目に線を引いている. なお黒色の線が条件内での有意差, 緑色の線が条件間での有意差を示している. また, 図中の棒グラフの青色が左, オレンジ色が中央, 灰色が右の山を選択した回数を表している.

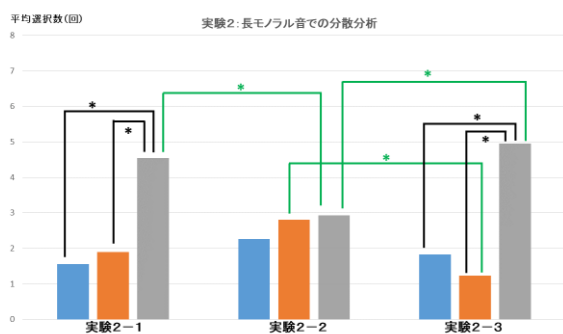


図10: 実験2の長モノラル音での分散分析

3.7 実験2考察

実験2の結果, 実験2-1および実験2-3で用いた0.25秒, 0.50秒および0.75秒または1.00秒のモノラル音がそれぞれ方向情報「左」, 「中央」および「右」を効果的に伝えることができることを明らかとなった. 一方で, 実験2-2の結果は他の2つの実験条件よりも有意に低かったため, これらのモノラル音は方向情報を示すためには短かったと考えられる. 以上より, 左右の方向情報を伝達するためのモノラル音は, 用いられるモノラル音の長さを変えることよりも, 用いられるモノラル音が分類できる相対的な間隔をユーザに認識させることが重要であると考えられる.

4. おわりに

本研究では, 音自体の性質によって方向情報を直感的に伝える事ができるかどうかを実験的に考察した. 具体的には, モノラル音の長さの違いによってユーザに左右の方向情報を伝達することができるのか, またユーザにどのようなモノラル音を用いるべきなのかを実験的に考察した.

実験1の結果, 0.25秒, 0.50秒, 0.75秒のモノラル音が3つの方向情報をユーザに伝えられたことが確認された. また実験2の結果, 0.25秒, 0.50秒, 0.75秒または1.00秒のモノラル音が, 短モノラル音の組み合わせと比較して正確に方向情報を伝達できたことが確認された.

以上2つの実験の結果より, 著者らは方向情報をユーザに伝えることができるモノラル音の特徴は以下の通りだと考えた.

- これらのモノラル音は, 方向情報をユーザに伝えるために一定の間隔を有するべきである (実験2-2のモノラル音の長さは参加者が解釈するには短く, 実験1-2の音声のみの解釈は曖昧であった).
- これらのモノラル音の長さと左右の方向情報の関係性は, SNARC効果と一致している.

上記の特徴は, 正確に方向情報をユーザに示すために必要とされる聴覚ディスプレイの設計指針となると考えられる.

本研究では, 方向情報を効果的にユーザに伝えることができるモノラル音の特徴を明らかにできたと考えられる. しかし, 最も正確に左右の方向情報を伝達できた実験2-1および実験2-3でも, 60~70%程度でしか正確に伝達できていない. そのため, ほぼ完璧な解釈を必要とするような状況でこれらのモノラル音を単独で使用することは望ましくないと考えられる. したがって, これらのモノラル音は, 例えば「左に曲がる」という音声の後に「左」の方向を示すモノラル音が続くような, 音声情報の意味

を補うために用いる役割が望ましいと考えられる。

参考文献

- [1] Nass, C. and Brave, S.: *Wired for Speech: How Voice Activates and Advances the Human-Computer Relationship*, Cambridge, MA: The MIT Press, (2005).
- [2] Rouben, A. & Terveen, L.: *Speech and Non-Speech Audio: Navigational Information and Cognitive Load*, *Proceedings of the 13th International Conference on Auditory Display*, pp. 468-475, (2007).
- [3] Walker, B. N. and Lindsay, J.: *Navigation Performance with a Virtual Auditory Display: Effects of Beacon Sound, Capture Radius, and Practice*, *Human Factors*, 48 (2), pp. 265-278, (2006).
- [4] Meera M. Blattner, Denise A. Sumikawa, and Robert M. Greenberg, *HUMAN-COMPUTER INTERACTION*, Volume 4, pp. 11-44, (1989).
- [5] Komatsu, T., Yamada, S., Kobayashi, K., Funakoshi, K., & Nakano, M.: *Response Times when Interpreting Artificial Subtle Expressions are Shorter than with Human-like Speech Sounds*, *Proceedings of the 28th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3501-3505, (2017).
- [6] Komatsu, T., Kobayashi, K., Yamada, S., Funakoshi, K., and Nakano, M.: *How Can We Live with Overconfident or Unconfident Systems?: A Comparison of Artificial Subtle Expressions with Human-like Expression*, In *Proc. CogSci2012*, pp. 1816-1821, (2012).
- [7] Komatsu, T., Kobayashi, K., Yamada, S., Funakoshi, K., and Nakano, M.: *Investigating Ways of Interpretations of Artificial Subtle Expressions Among Different Languages: A Casa of Comparison Among Japanese, German, Portuguese and Mandarin Chinese*, In *Proc. CogSci2015*, pp. 1159-1164, (2015).
- [8] Roffler, S. K. and Butler, R. A.: *Factors that influence the localization of sound in the vertical plane*, *Journal of Acoustic Society of America*, 43 (6), pp. 1255-1259, (1968).
- [9] Meijer, P. B. L.: *An Experimental System for Auditory Image Representations*, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 39 (2), pp. 112-121, (1992).
- [1 0] Komatsu, T. and Yamada, S.: *Can Monaural Auditory Displays Convey Directional Information to Users?*, *CogSci2016*, pp. 930-935, (2016).
- [1 1] Fechner, Gustav Theodor.: *Elemente der Psychophysik [Elements of psychophysics]. band 2*. Leipzig: Breitkopf und Härtel, (1860).