

記憶性を高める 空間音響を用いた通知システムの提案 ～情報の受け取りに適した角度の調査～

飯塚 陸斗^{1,a)} 川口 一画^{2,b)}

概要：人々は PC やスマートフォン等のデバイスから画面上のポップアップや音、振動を用いた通知を介して情報を受け取る。ここで音による通知は視覚情報が占有される作業を行っている際に、その妨げになりにくいという特徴を持つ。既存の研究では、音による通知が行われた際に、それがどのような情報を示すかを直感的に理解させるため、弁別性・学習性が高い音響設計を実現することに焦点を当てた調査が行われてきた。これに対し、本研究では音の通知が作業下において利用されることを想定し、記憶性を高める設計を明らかにすることを目的とする。この目的を達成するために、本研究では空間音響を用いた通知システムを提案する。提案手法において、情報に応じて音が聞こえてくる方向が異なることにより、音の高さや音色、大きさだけでなく、方向といった空間的性質から情報を受け取ることができ、それにより記憶性が高まると考えられる。本論文では、提案するシステムにおける設計のための予備的な調査として、一般的な頭部伝達関数を用いて、より明確に角度の弁別が可能な音源配置を調査するための実験を行った。実験の結果、頭の正面方向、および両耳を結んだ直線の延長線上にグリッド状に配置することで音の空間的性質を知覚しやすくなることが明らかになった。

1. はじめに

昨今、人々は PC やスマートフォン等のデバイスから多くの情報を受け取っている。特に何らかの作業を行う際、人々はデバイスのバックグラウンドで起動されているアプリケーションより通知を介して情報を受け取っている。通知には主に音や振動、画面中のポップアップ表示が用いられる。特に音による通知は視線の移動を必要としないため、何らかの作業下において使用される。しかし、音による通知は予め決まった限られた情報しか伝達することができないため、詳細な情報を伝達することが難しい。例えば、メールを受信した際の通知では、通知の音の種類から「メールを受信した」という情報は得られるものの、それ以上の詳細な情報は伝達されない。

この課題に対し、視線の移動を必要としない音による通知を介して直感的に多くの情報を弁別できるような音の設計が研究がされてきた。それらの研究は、音を聴いて直感的に何の通知であるかを弁別できるようにすることを目的とし、音の質的性質（大きさや高さ、音色等）および情報

の関係を調査している [1], [2]。それらの結果から、直感的に何の通知であるかを弁別することができる通知は、フォアグラウンドで行われる作業を妨げることなく情報を伝達することが可能であることが明らかになった。

一方で、日常的な作業場面において、通知を受け取ってすぐに通知が示す内容を確認することが困難な場面がある。例えば、フォアグラウンドで行っている作業に集中していて、通知を行ったアプリケーションをすぐに開いて内容を確認できない場合がある。このような状況では、ユーザは通知が示す内容の確認を後回しにする。さらに、作業の間に複数回の通知を受け取る場面も考えられる。ユーザは作業の終了後、それらの後回しにした通知が示す内容を確認しなければならない。ここで、ユーザは作業中に何の通知を受け取ったかを記憶しておく必要がある。すなわち、我々は直感的に何の通知であるかを弁別できる設計だけでなく、何の通知であったかの記憶を保持しやすい音の設計が必要であると考えた。

しかし、これまでの研究では、音による通知の直感性に焦点が当てられ、作業下において利用される音による通知の記憶性に焦点を当てた研究はほとんどない。よって本研究では何らかの作業場面における、音による通知の記憶性を向上させることを目的とする。そのためのアプローチと

¹ 筑波大学 情報理工学位プログラム

² 筑波大学 システム情報系

^{a)} iitsuka@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

^{b)} kawaguchi@cs.tsukuba.ac.jp

して空間音響を用いて通知に仮想的な指向性を持たせる。

本研究において、空間音響を「頭部伝達関数を用いて生成された空間的性質が再現された音」とする。これを通知に利用することにより仮想的な指向性（聴こえる方向）を持たせる。ここで人間の記憶に関連するワーキングメモリに関する知見 [3] において、人間は外界から取得した情報を、「音韻ループ」および「視空間スケッチパッド」という2つの下位機構で一時的に保持するとされている。ワーキングメモリの各機構は独立して働き、それらが互いに干渉することによりワーキングメモリが効率的に運用され、記憶性が高まる。これらのメカニズムを考慮すると、指向性のない通常の音による通知は主に「音韻ループ」によって情報が保持されることが考えられる。これに対し、指向性を持つ音による通知は「音韻ループ」および「視空間スケッチパッド」の両機構において保持され、それらが互いに干渉することにより記憶性が高まることが期待される。

以上より音による通知の記憶性を向上させるために、本研究では空間音響を用いた通知システムを提案する。本研究では、システムの広い普及を視野に入れ、一般的な頭部伝達関数を用いてシステムを実装する。しかし、一般的な頭部伝達関数を用いる場合、方向の誤認識が起こる可能性が高い [4]。そこで本論文ではシステムの設計に先立ち、明確に空間的性質の弁別が可能な空間的配置を調査するために実施した予備的評価の内容について報告する。

2. 関連研究

本章では、まず既存の音による通知に関する研究について説明する。次に、人間の記憶に関わるワーキングメモリに関する知見について説明し、その後空間音響を用いた研究について説明する。最後に本研究の立ち位置について述べる。

2.1 音による通知の研究

多くの研究が、通知を行うための音の設計について調査している [5], [6], [7]。Gardenfors は通知に使われる音はフォアグラウンドで行われる作業を妨げることなく情報を伝える必要があると述べた [8]。また Garzonis らは適切な音による通知は、情報を直感的に伝え、情報を受け取った後の行動を容易に選択することができると述べた [2]。

既存の研究において、通知のための音の設計は主に3つに分類される [1]。1つ目は Earcon である [9]。これは強度、音色、音域が変化する短いリズムカルなピッチのシーケンスで構成される非言語的な音である。様々なパターンが考えられるため、柔軟に音と情報を対応づけることができる。一方で情報と意味的な関係はなく、情報を受け取るには学習が必要になる。2つ目は Audio icon である [10]。これは、情報をその情報に関連する実際の音（例えば、ドアの閉まる音やガラスの割れる音）を用いた通知により伝達

する。これにより、情報を音に対応づけるのではなく、情報を出来事に対応づけることができる。情報と音の関連が高いほど、学習性および長期的な記憶性が高くなることが明らかになっている。3つ目は Speech である。これは言語である音声を用いて情報を伝達する。言語を用いることで恣意的に音と情報を対応づけることが可能である。Speech は Earcon および Audio icon に比べ、詳細な情報の受け取りに適する。一方で、Speech は情報の受け取りに時間がかかり、また頻繁な通知は作業の妨げになると考えられる。

2.2 ワーキングメモリに関する知見

人間の記憶は、短期的な記憶と長期記憶の2種類に分類される [11]。そのうち、ワーキングメモリとは人間の短期的な記憶に関するメカニズムである [12], [13]。ワーキングメモリは活動や課題を達成するために情報を一時的に、かつ能動的に保持する。また、ワーキングメモリは活動の遂行に必要な情報を選択し、操作する機能などが複雑に絡み合ったものである。Baddeley [3], [14] はワーキングメモリが、制御機能を担う中央実行系のもと、言語的意味を理解する音韻ループ、空間的意味を理解する視空間スケッチパッド、および長期記憶からエピソードや知識を参照するエピソードバッファと呼ばれる3つの下位機構が協調しながら働くと述べた。ワーキングメモリの容量は限定的であるため、より多くの情報を処理するためには効率的な運用が求められる。ワーキングメモリの各機構は独立して働くため、異なる機構が同時に働くことで互いに干渉し、効率的な運用が実現される [15]。つまり、ある刺激に対して音韻ループおよび視空間スケッチパッドが同時に働くことにより、音韻ループのみが働く場合に比べて、処理することが可能な情報が増加する。加えて、様々な機構において複雑に情報を保持することにより、その記憶の再生が容易になる。また音韻的情報とは異なる、音のピッチ情報について、宮澤ら [16] は、音韻的情報とは異なる独立した機構にて処理されていることを示唆した。

ここで音による通知において、Earcon および Audio icon は音の質的性質（大きさや高さ、音色等）から情報を受け取るため、その処理はピッチ情報を処理する機構および音韻ループが働くと考えられる。また Speech において、言語である音声を用いて情報を受け取るため、音韻ループが働くと考えられる。一方で既存の音による通知において視空間スケッチパッドは働かない。

ここで、人間は耳を用いて位置や方向を特定すること（音源定位）が可能である。音源定位によって聴覚的に特定された空間情報に対する記憶について、Golob ら [17] は視空間スケッチパッドの空間要素によって保持されることを示唆している。また、空間的な情報が音韻的符号に再符号化（「真横」や「斜め後ろ」等の音韻的に保持）されない可能性を示唆した。

2.3 空間音響に関する研究

通知に仮想的な指向性を持たせるため、本研究では空間音響を用いる。本研究において、空間音響を「頭部伝達関数を用いて生成された空間的性質が再現された音」と定義する。ここで頭部伝達関数とは、音源から両耳までの空間特性を表した伝達関数である。頭部伝達関数を掛け合わせた音をヘッドホンを用いて両耳で聴取することにより、外部の音を聴取した場合と同様の位置に音源定位することが理論上可能である。

このような空間音響をシステムに用いた研究はこれまでに多くされてきた。例えば空間音響を方向提示に利用した研究 [18], [19] や、実空間のオブジェクトに音を対応させることで空間を拡張する研究 [20], [21], 操作のフィードバックとして音の空間的位置を利用する研究 [22] が挙げられる。これらの研究では、空間音響を用いて直感性や没入感を向上させることに焦点を当てて研究されてきた。また、遠隔会議システムにおいて空間音響を用いた研究が存在する [15], [23], [24]。これらの研究において、空間音響を用いることで話者の識別可能性や、会話内容の記憶性が向上することが明らかになった。

2.4 本研究の立ち位置

既存の研究において、音による通知の設計は、音を聴いて直感的に何の通知であるかを弁別できるようにすることや音と情報を対応づける学習性を向上させることを目的としており、記憶性を向上させる通知の設計について着目されていなかった。そこで我々は記憶性の向上について、ワーキングメモリに関する知見より、空間音響を通知に用いることによって音韻ループおよび視空間スケッチパッドの両方の機構によって情報が保持され、結果として記憶性が向上すると考えた。つまり、アプリケーション A の通知は右方向から、またアプリケーション B の通知は左方向から聞こえるというように、音が空間的性質を持つことで記憶性が向上するのではないかと考えた。なお既存研究においては、空間音響を利用することでシステム操作の直感性や音声通話システムにおける会話の記憶性が向上することが示されているが、通知と組み合わせて記憶性を向上させる試みは行われていない。

本研究では、空間的性質を再現するため、頭部伝達関数を用いる。頭部伝達関数は人によって個人差が大きい。しかし、その計測には特殊な機材や環境が必要であることから、個人の頭部伝達関数を計測し利用することは困難である。そこで本研究では提案する通知システムの広い普及のために、一般的な頭部伝達関数を用いる。しかし、一般的な頭部伝達関数を用いる場合、方向の誤認識が起こる可能性が高い [4]。加えて、音による通知は、音の呈示が終わると同時に通知として情報の伝達が終わる。また、通知を再度確認する場合、何らかの操作が必要である。そのため

ユーザは音による通知を用いた場合、1回の聴取のみで確実に情報を受け取る必要がある。以上より提案システムにおいて、一般的な頭部伝達関数を用いて1回の聴取で空間的性質を弁別できる設計が必要であった。本研究ではシステムの設計に先立ち、明確に空間的性質の弁別が可能な空間的配置を調査するための予備実験を行った。

3. システム設計のための実験

本章では、システム設計のために行った実験について説明する。本実験の目的は9個の音が明確に弁別できる空間的配置を調査することである。

このような設定とした理由として、学習が容易である音の数は4個から6個であり、音の数が10個を超えた場合、学習効率が大幅に下がることが知られている [25]。そのため本研究では、空間音響を用いることにより学習性が向上することを仮定し、最終的に通知の数を9個程度学習できるようにすることを目標とする。この際、空間音響を用いて9個の通知がそれぞれを異なる位置から聞こえるようにする必要があることから、一般的な頭部伝達関数を用いて9個の音が明確に弁別できる空間的配置を明らかにするための調査を実施する。

3.1 実験概要

参加者は空間音響を用いて任意の方向から呈示された音に対して、その音がどこに配置されていたかを回答する。本実験において水平条件1、水平条件2、ジグザグ条件1、ジグザグ条件2、グリッド条件1、およびグリッド条件2の6条件の音源配置を検討する。各条件の詳細を表1に示す。

本実験では、水平角と仰角を組み合わせで構成された球座標系を用いる。具体的には、水平面方向について、真正面方向を0度とし、真後ろ方向を180度、もしくは-180度とする。時計回りを正とし、右方向を90度、左方向を-90度とする。この角度を水平角とする。また、正中面方向について、耳の高さ真正面方向を0度として、真上を90度とする。この角度を仰角とする。水平角について、条件1では180度を9等分した20度差で配置され、条件2では360度を9等分した40度差で配置された。仰角について、我々は適した角度を調査するための事前調査を行い、その結果より耳の高さを0度として上方35度、70度に配置した。音の設計について、通知を想定し Earcon において使われる楽器の音を使用した。音はピアノが「ドレミ」と上がっていく音を使用した。その音の長さは2.0秒であった。実験参加者は6名（男性6名）であり、全員が大学生、もしくは大学院生であった。カウンターバランスを用いて、順序効果を打ち消した。参加者はヘッドホンを用いて音を聴取した。

表 1 本実験で使用した条件.

条件	(水平角, 仰角)
水平条件 1	(80,0),(60,0),(40,0),(20,0),(0,0),(-20,0),(-40,0),(-60,0),(-80,0)
水平条件 2	(160,0),(120,0),(80,0),(40,0),(0,0),(-40,0),(-80,0),(-120,0),(-160,0)
ジグザグ条件 1	(80,0),(60,35),(40,70),(20,0),(0,35),(-20,70),(-40,0),(-60,35),(-80,70)
ジグザグ条件 2	(160,0),(120,35),(80,70),(40,0),(0,35),(-40,70),(-80,0),(-120,35),(-160,70)
グリッド条件 1	(60,0),(60,35),(60,70),(0,0),(0,35),(0,70),(-60,0),(-60,35),(-60,70)
グリッド条件 2	(120,0),(120,35),(120,70),(0,0),(0,35),(0,70),(-120,0),(-120,35),(-120,70)

実験用アプリケーションは Unity^{*1}を用いて実装した.
また, 空間音響の生成は ResonanceAudio^{*2}を用いた.

3.2 実験手順

実験はトレーニングセッションおよび実験セッションから構成される. まず参加者はトレーニングセッションを行う. トレーニングセッションにおいて, 参加者は 9 つの音の空間的配置を学習する. 参加者はトレーニングのために実装されたアプリケーションにおいてディスプレイ上のボタンを使用して操作を行う. ディスプレイに, p1,p2,...,p9 と表示された 9 つのボタンが配置され, そのそれぞれに音が対応する. ボタンを押すと音が呈示され, 参加者は複数回音が呈示されることによって学習を行う.

十分に学習したと参加者本人が判断した場合, トレーニングセッションを終了し, 実験セッションを行う.

実験セッションにおいて, 参加者はランダムに呈示された音に対して回答をするタスクを行う. 参加者は呈示された音の空間的位置に対応した p1,p2,...,p9 の名前を, 実験アプリケーションにおけるボタンを用いて回答を行う. また回答が終了すると, 次の音がランダムに呈示され, その回答を行う. この操作を 9 つの空間的配置から各 2 回, 計 18 回のタスクを行う. 呈示された音を回答した後, 参加者は回答に対してどれだけ自信を持っているかを確信度として回答する.

全ての条件において両方のセッションを行う. また, 全ての実験セッションの終了後, 参加者は好みを調査するアンケートに回答した.

3.3 実験評価

本研究は, 各条件のうち, 明確に角度の弁別が可能な空間的配置を調査することを目的とする. そのための評価項目としてまず, 音の空間的配置を正しく回答できたかを表す正答率を用いた. 正答率は, ズレがなく答えられた正答率, 1 つのズレを許容した正答率, セット内のズレを許容した正答率を用いた. セット内とは隣り合って並ぶ 3 つを 1 つのセットとした. 次に, 主観評価として, 確信度とアンケートによる総合的な評価を用いた.

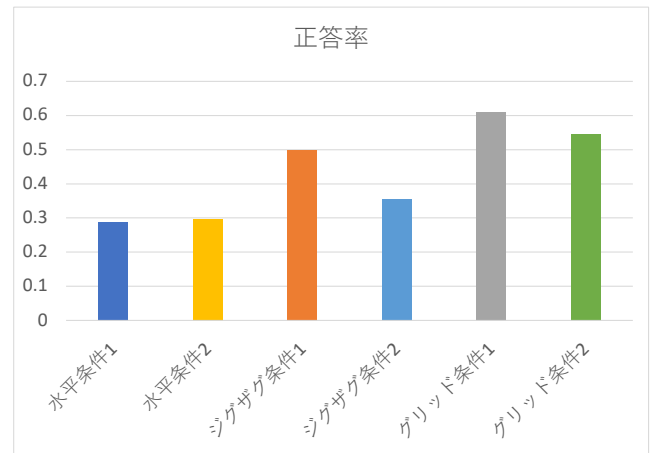


図 1 タスクにおける各条件の正答率.

3.4 結果

3.4.1 正答率

各条件の正答率を図 1 に示す. まず, Shapiro-Wilk 検定を行い, 全ての条件において正規性が示された. また, Bartlett 検定を行い, 等分散性が示された. その後, 水平条件, ジグザグ条件およびグリッド条件を要因 1, 条件 1 および条件 2 (水平方向の範囲が 180 度もしくは 360 度) を要因 2 として二元配置分散分析を行った. その結果, 要因 1 について主効果があった ($p=0.0009$). Holm 法を用いて多重比較を行い, その結果, グリッド条件の正答率は水平条件の正答率に比べて有意に高かった ($p=0.0004$).

3.4.2 1 つのズレを許容した正答率

各条件の 1 つのズレを許容した正答率を図 2 に示す. まず, Shapiro-Wilk 検定を行い, 全ての条件において正規性があった. また, Bartlett 検定を行い, 等分散性があった. その後, 水平条件, ジグザグ条件およびグリッド条件を要因 1, 条件 1 および条件 2 を要因 2 として二元配置分散分析を行った. その結果, 要因 1 について主効果があった ($p=0.0006$). Holm 法を用いて多重比較を行い, その結果, グリッド条件の正答率は水平条件の正答率に比べて有意に高かった ($p=0.0042$).

3.4.3 セット内のズレを許容した正答率

各条件のセット内のズレを許容した正答率を図 3 に示す. まず, Shapiro-Wilk 検定を行い, 全ての条件において正規性があった. また, Bartlett 検定を行い, 等分散性があった. その後, 水平条件, ジグザグ条件およびグリッド条件

*1 <https://unity.com/>

*2 <https://resonance-audio.github.io/resonance-audio/>

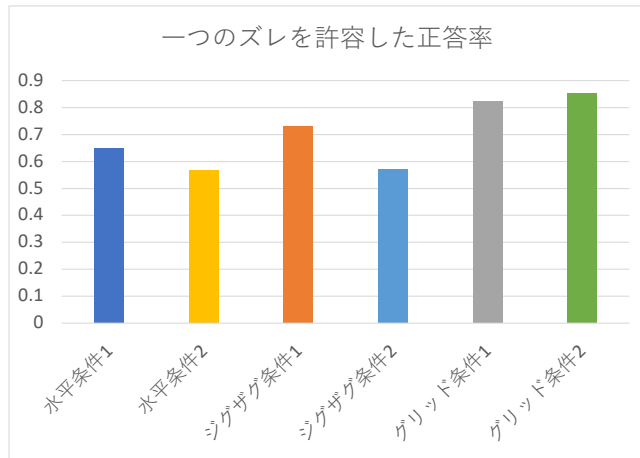


図 2 タスクにおける各条件の 1 つのズレを許容した正答率.

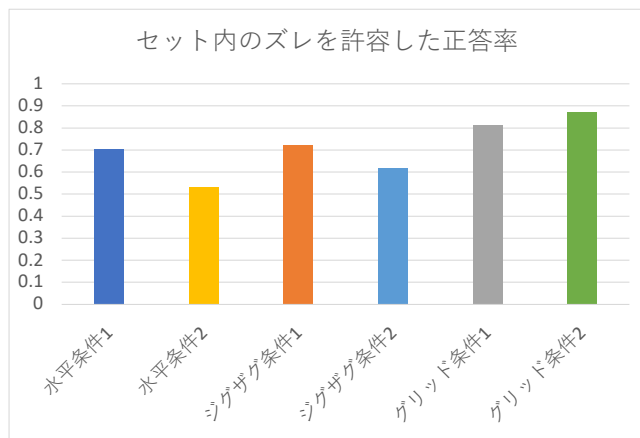


図 3 タスクにおける各条件のセット内のズレを許容した正答率.

を要因 1, 条件 1 および条件 2 を要因 2 として二元配置分散分析を行った. その結果, 要因 1 について主効果があった ($p=0.0007$). また, 全ての条件間に有意傾向があった ($p=0.0969$). Holm 法を用いて多重比較を行い, その結果, グリッド条件の正答率は水平条件の正答率に比べて有意に高かった ($p=0.0039$). またグリッド条件の正答率はジグザグ条件の正答率に比べて有意に高かった ($p=0.0255$).

3.4.4 確信度

各条件の確信度を図 4 に示す. まず, Shapiro-Wilk 検定を行い, 正規性がない条件が見られた. また, Levene 検定を行い, 等分散性があった. その後, Friedman 検定を行った. その結果, 条件間に主効果があった ($p=0.0037$). Wilcoxon の符号順位検定を用いて多重比較を行い, その結果, グリッド条件 2 の確信度は水平条件 1 の確信度に比べて有意に高かった ($p=0.0252$). また, グリッド条件 2 の確信度は水平条件 2 の確信度に比べて有意に高かった ($p=0.0329$). また, グリッド条件 2 の確信度はジグザグ条件 2 の確信度に比べて有意に高かった ($p=0.0329$). また, ジグザグ条件 2 の確信度は水平条件 2 の確信度に比べて有意に高かった ($p=0.0329$).

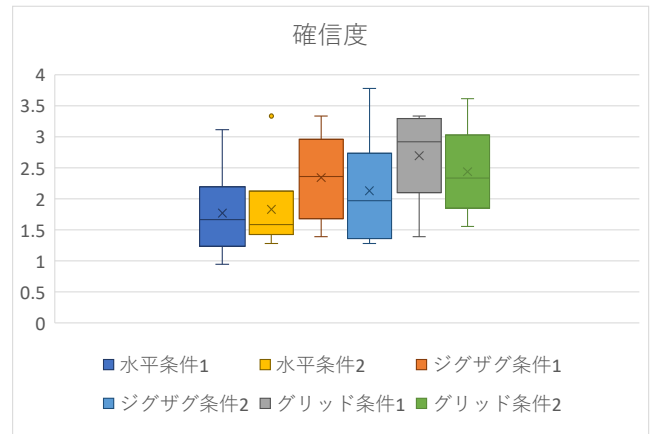


図 4 タスクにおける各条件の確信度.

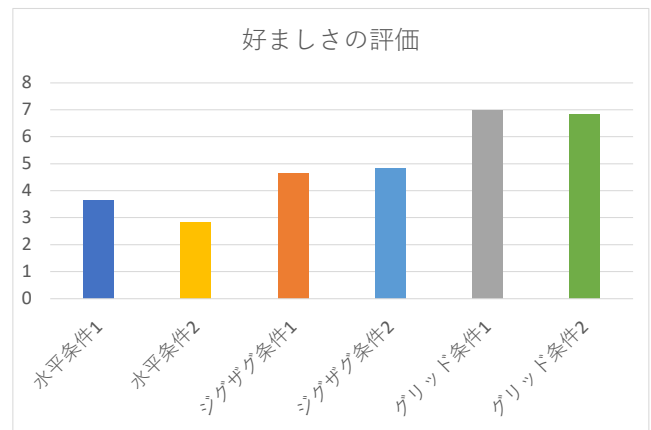


図 5 タスクにおける各条件の好ましさの評価.

3.4.5 アンケートによる総合的な評価

各条件のアンケートによる好ましさの評価を図 5 に示す. まず, Shapiro-Wilk 検定を行い, 全ての条件において正規性があった. また, Bartlett 検定を行い, 等分散性があった. その後, 水平条件, ジグザグ条件およびグリッド条件を要因 1, 条件 1 および条件 2 を要因 2 として二元配置分散分析を行った. その結果, 要因 1 について主効果があった ($p=0.0007$). Holm 法を用いて多重比較を行い, その結果, グリッド条件の回答は水平条件の回答に比べて有意に高かった ($p=0.0000$).

3.5 考察

実験の結果より, 音になる場所を正しく認識できた正答率において, グリッド条件が水平条件に比べ, 有意に高いことが明らかになった. 1 つのズレを許容した正解率において, 水平条件に比べてグリッド条件が有意に高かった. また, セット内のズレを許容した場合の正答率についても, 水平条件に比べてグリッド条件は有意に高かった. さらに, 参加者が正しく知覚できたと認識できたかを示す確信度において, 水平条件 1, 水平条件 2, およびジグザグ条件 2 に対してグリッド条件 2 は有意に高かった. 加えて, 実験後に行った好ましさを調査したアンケートにおいて,

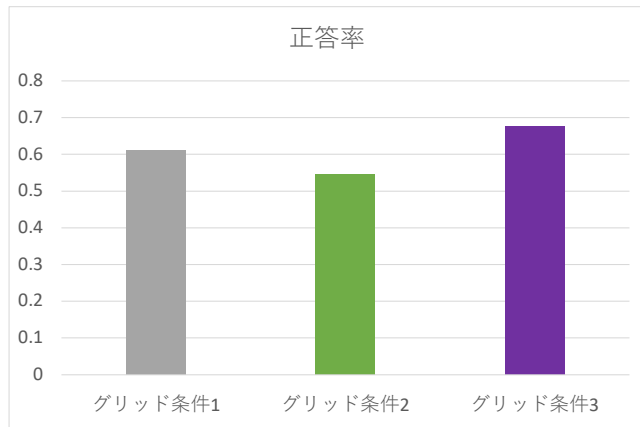


図 6 追加実験のタスクにおける各条件の正答率.

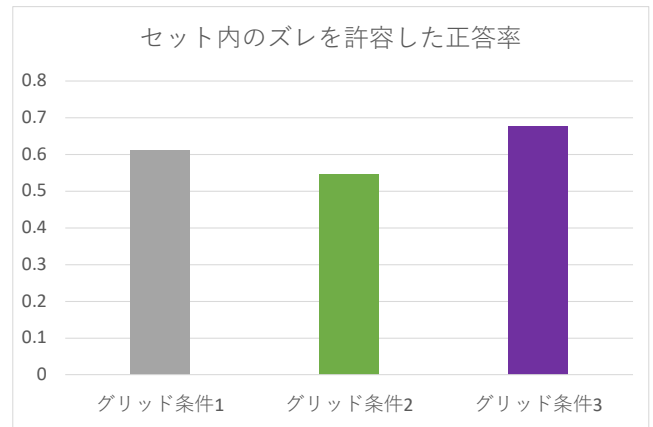


図 8 追加実験のタスクにおける各条件のセット内のズレを許容した正答率.

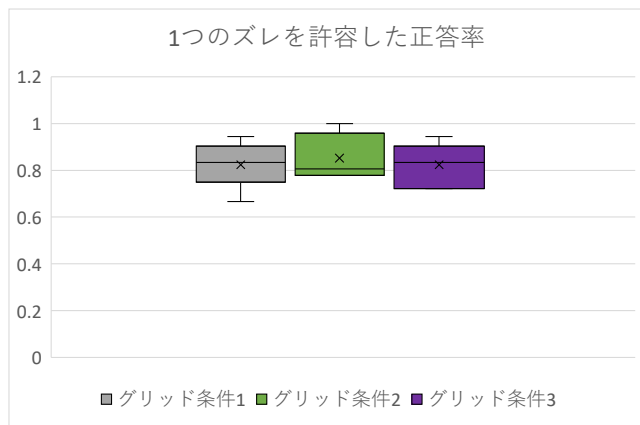


図 7 追加実験のタスクにおける各条件の 1 つのズレを許容した正答率.

参加者は水平条件に対してグリッド条件は有意に好ましいと回答した.

以上の結果からグリッド条件が設計として望ましいと考えられる.

3.6 追加実験：グリッド配置による最適な水平角度差の調査

本実験の結果から、音をグリッド状に配置することで判断が容易になると考えられる. しかしその設計において、水平面に音を配置する際の最適な角度は明らかではない. ここで我々は本実験の条件であるグリッド条件 1 (水平角 60 度, 0 度, -60 度), グリッド条件 2 (水平角 120 度, 0 度, -120 度) に加え、追加条件としてグリッド条件 3 (水平角 90 度, 0 度, -90 度) を設けて比較することにより、グリッド状に配置する設計において最適な空間的配置を調査した.

実験は上記の実験と同様の手順で行った. 実験参加者は上記の実験に参加した 6 名 (男性 6 名) であった.

正答率, 1 つのズレを許容した正答率およびセット内のズレを許容した正答率を用いて評価を行った. 実験の結果をそれぞれ図 6, 図 7, 図 8 に示す. 各評価について一元

配置分散分析, または friedman 検定を行ったところ, 全ての評価において主効果はなかった. しかし, 中央値の比較からグリッド条件 3 の正答率が高いことが示唆された.

3.7 議論

本研究においてグリッド状に配置することで角度の判断が容易になる可能性を示した. グリッド状が優れていた理由として, 水平方向に隣り合った音と音との角度差が大きいたことが考えられる. 既存の研究 [26] において, 実際の音の水平面定位における最小弁別角度は, 周波数および基準となる角度に依存するが, 3 度から 20 度ほどであると示されている. また使用者本人の頭部伝達関数を用いることで, 実際の音を聴く場合と同様の精度で定位が行えることが知られている [4]. これら知見を考慮し, 本研究では全ての条件で角度差を 20 度以上に設定した. しかし本実験において, 一般的な頭部伝達関数を用いて, 正面を向き, 一回のみ音を聞いて場所を回答した. そのため音の定位は空間音響ではない実際の音を聴取する場合より困難であり, 定位できる角度の弁別限はより大きくなると考えられる. グリッド条件以外の条件で隣り合った音の空間的位置の弁別が困難であったのではないかと考えられる. 一方でグリッド条件において水平面方向に隣り合った音の角度差は大きく, 水平方向の隣り合った音の判別が容易であったと考えられる. 参加者は水平方向の判断と仰角方向の判断を別々に行っており, そのために水平方向における判断が容易なグリッド条件の結果が優れていたのではないかと考えられる.

またグリッド条件の水平角について, 90 度にするだけで, 角度の判断が容易になることが示唆された. 本研究では球座標系を用いており, 同一の水平角の場合, 仰角が高くなるほど中心から伸びる水平面と垂直な直線との距離は近づく. その変化量は, 90 度で最も高く, 音の感じ方も大きく変化するため, グリッド条件の水平角について 90 度が優れていたのではないかと考えられる.

4. システム設計指針

前章における実験の結果から、9つの音をグリッド状に配置することで明確に弁別できる可能性を示した。本研究では、その知見を考慮し、空間音響を用いた通知システムを設計する。本章では、音の質的性質（音の高さ、および音色）だけでなく、グリッド状に配置された音の空間的性質（聞こえてきた方向）から情報を受け取ることが可能な通知システムの設計指針について説明する。

4.1 システム設計

提案システムは、音は Earcon または Audio icon を想定している。実験と同様にシステムにおいて想定する音は9つとする。実験の結果から、音はグリッド状に実験と同様な座標系を用いて配置される。水平角成分は90度、0度、-90度の3通り、仰角成分は0度、35度、70度の3通りであり、音の配置はこれらの組み合わせで表現される。

音による通知において、詳細な情報を受け取る場合、1つのアプリケーションにおいて複数個の異なる通知を受け取ることが考えられる。例えば、メールアプリケーションにおいて、受信したメールの差出人や重要度に応じて、メールは分類される。この場合、メールが受信したことだけではなく、差出人や重要度等の詳細な情報を音の通知を介して受け取り可能であることが望ましい。これらは音の質的性質を変えることで実現できるが、情報が多い場合、その数だけ直感性および学習性が高い設計を検討する必要がある。そこで提案システムは、音の空間的性質を使用し、水平角方向によりアプリケーションを判断し、仰角方向から詳細な情報を受け取れることを可能とする。よって情報が多い場合において、質的性質が同じでも場所によって異なる情報を受け取ることができる。また、本研究は柔軟性の高い Earcon と組み合わせることでより効果が得られると考えている。

5. 今後の予定

本研究は音による通知の記憶性を向上させることを目的としている。そのために空間音響を用いた音による通知を提案する。しかし既存の研究において、空間音響を用いた音における記憶性に関する調査は行われていない。そのため今後の予定として、まず空間的な音が記憶性を向上させるのかを調査するために実験を行う。その後、その知見を踏まえて提案システムを改善し、その実装を行う。実装後、その実際の作業環境で提案システムが記憶性を拡張し、さらに作業が促進されるのかを調査するための実験を行う。

6. おわりに

本論文では、提案システムの設計の予備的な調査として、一般的な頭部伝達関数を用いて、より明確に角度の弁別が

可能な音源配置を調査するための実験を行った。実験の結果、頭の正面方向、および両耳を結んだ直線の延長線上にグリッド状に配置することで音の空間的性質が知覚しやすくなることが明らかになった。また、この結果を踏襲し、提案システムの設計指針を示した。今後は、空間音響により記憶が拡張されるかどうかを明らかにするための実験を行う。また、実際に通知システムを実装し、作業環境下で記憶が拡張されるのかを調査するための実験を行う。

参考文献

- [1] Garzonis, S., Jones, S., Jay, T. and O'Neill, E.: Auditory Icon and Earcon Mobile Service Notifications: Intuitiveness, Learnability, Memorability and Preference, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 1513–1522 (online), DOI: 10.1145/1518701.1518932 (2009).
- [2] Garzonis, S., Bevan, C. and O'Neill, E.: Mobile Service Audio Notifications: Intuitive Semantics and Noises, *Proceedings of the 20th Australasian Conference on Computer-Human Interaction: Designing for Habitus and Habitat*, OZCHI '08, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 156–163 (online), DOI: 10.1145/1517744.1517793 (2008).
- [3] Baddeley, A.: The episodic buffer: a new component of working memory?, *Trends in cognitive sciences*, Vol. 4, No. 11, pp. 417–423 (2000).
- [4] Wenzel, E., Arruda, M., Kistler, D. and Wightman, F.: Localization using nonindividualized head-related transfer functions, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 94, pp. 111–23 (online), DOI: 10.1121/1.407089 (1993).
- [5] Liljedahl, M. and Fagerlönn, J.: Methods for Sound Design: A Review and Implications for Research and Practice, *Proceedings of the 5th Audio Mostly Conference: A Conference on Interaction with Sound*, AM '10, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/1859799.1859801 (2010).
- [6] Cherng, F.-Y., Lin, W.-C., King, J.-T. and Lee, Y.-C.: Understanding the Influence of Musical Parameters on Cognitive Responses of Audio Notifications, *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 1–6 (online), DOI: 10.1145/3170427.3188572 (2018).
- [7] Korhonen, H., Holm, J. and Heikkinen, M.: Utilizing Sound Effects in Mobile User Interface Design, *Human-Computer Interaction – INTERACT 2007* (Baranauskas, C., Palanque, P., Abascal, J. and Barbosa, S. D. J., eds.), Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, pp. 283–296 (2007).
- [8] Gärdenfors, D.: Auditory interfaces: A design platform (2001).
- [9] Brewster, S. A., Wright, P. C. and Edwards, A. D. N.: An Evaluation of Earcons for Use in Auditory Human-Computer Interfaces, *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '93, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 222–227 (online), DOI: 10.1145/169059.169179 (1993).
- [10] Gaver, W. W.: Chapter 42 - Auditory Interfaces, *Handbook of Human-Computer Interaction (Sec-*

- ond Edition) (Helander, M. G., Landauer, T. K. and Prabhu, P. V., eds.), North-Holland, Amsterdam, second edition edition, pp. 1003–1041 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-044481862-1.50108-4> (1997).
- [11] Atkinson, R. C. and Shiffrin, R. M.: The Control of Short-Term Memory, *Scientific American*, Vol. 225, No. 2, pp. 82–91 (online), available from <http://www.jstor.org/stable/24922803> (1971).
- [12] Baddeley, A. D. and Hitch, G.: Working Memory, *Psychology of Learning and Motivation*, Vol. 8, Academic Press, pp. 47–89 (online), DOI: [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1) (1974).
- [13] 荳阪直行: 脳と意識, 朝倉書店 (1997).
- [14] Baddeley, A.: Working memory: theories, models, and controversies, *Annual review of psychology*, Vol. 63, pp. 1–29 (2012).
- [15] Baldis, J. J.: Effects of Spatial Audio on Memory, Comprehension, and Preference during Desktop Conferences, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '01, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 166–173 (online), DOI: 10.1145/365024.365092 (2001).
- [16] 宮澤史穂, 田中章浩, 西本武彦: 音楽と言語情報の短期的な保持システム-リハーサルの観点からの検討, 日本心理学会大会発表論文集日本心理学会第 75 回大会, 公益社団法人 日本心理学会, pp. 3AM114–3AM114 (2011).
- [17] Golob, E. J., Winston, J. and Mock, J. R.: Impact of Spatial and Verbal Short-Term Memory Load on Auditory Spatial Attention Gradients, *Frontiers in Psychology*, Vol. 8, p. 2028 (online), DOI: 10.3389/fpsyg.2017.02028 (2017).
- [18] Holland, S., Morse, D. R. and Gedenryd, H.: AudioGPS: Spatial Audio Navigation with a Minimal Attention Interface, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 6, No. 4, pp. 253–259 (online), DOI: 10.1007/s007790200025 (2002).
- [19] Strachan, S., Eslambolchilar, P., Murray-Smith, R., Hughes, S. and O'Modhrain, S.: GpsTunes: Controlling Navigation via Audio Feedback, *Proceedings of the 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '05, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 275–278 (online), DOI: 10.1145/1085777.1085831 (2005).
- [20] Yang, J., Frank, Y. and Sörös, G.: Hearing Is Believing: Synthesizing Spatial Audio from Everyday Objects to Users, *Proceedings of the 10th Augmented Human International Conference 2019*, AH2019, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3311823.3311872 (2019).
- [21] Kaghat, F. Z., Azough, A., Fakhour, M. and Meknassi, M.: A new audio augmented reality interaction and adaptation model for museum visits, *Computers Electrical Engineering*, Vol. 84, p. 106606 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106606> (2020).
- [22] Kajastila, R. and Lokki, T.: Eyes-free Methods for Accessing Large Auditory Menus, pp. 223–230 (2010).
- [23] 野口康人, 叶, 成合智子, 井上智雄: 多人数遠隔会話のための音像定位分散の効果, 情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ (DCON), Vol. 4, No. 1, pp. 26–36 (2016).
- [24] Kilgore, R., Chignell, M. and Smith, P.: Spatialized Audioconferencing: What Are the Benefits?, *Proceedings of the 2003 Conference of the Centre for Advanced Studies on Collaborative Research*, CASCON '03, IBM Press, pp. 135–144 (2003).
- [25] Patterson, R. D.: Auditory warning sounds in the work environment, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, Vol. 327, No. 1241, pp. 485–492 (1990).
- [26] MILLS, A. W.: On the minimum audible angle, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 30, pp. 237–246 (online), DOI: 10.1121/1.1909553 (1958).