

# マルチスピーカーを用いた立体音響知覚実験のための HMD 内 UI の予備的検討

鯉淵智<sup>†1</sup> 伊藤彰教<sup>†1</sup> 三上浩司<sup>†1</sup>

受聴者が頭部を回転させた際、スピーカーと受聴者との相対的な角度の変化によって両耳間時間差 (ITD) と両耳間レベル差 (ILD) の変化による、音像定位の知覚に対する影響は明確ではない。本研究は 7.0.4ch マルチスピーカー聴取環境において、首を傾げた状態での定位に対する知覚実験に向け、頭部を固定した状態で音像定位の位置を指定可能なポインティング手法の予備的検討を実施する。HMD とコントローラを使用したポインティングが可能な実験用ソフトウェアを制作し、頭部の枠と傾きを可視化したユーザインタフェースと鏡による後方確認が可能なユーザインタフェースが定位知覚およびポインティングに対して与える影響を実験を通して調査した。ポインティング位置の方位角と仰角を対応のある要因とした RM ANOVA による分析の結果、全てのパターンに有意差は見られなかった。

## 1. 研究背景

ヒトの頭部は、ロール・ピッチ・ヨーの3方向への回転と、x, y, z 方向への移動が可能である。受聴者が頭部を回転させた際、スピーカーと受聴者との相対的な角度の変化によって両耳間時間差 (ITD) と両耳間レベル差 (ILD) の変化による、音像定位の知覚に対する影響は明確ではない。本研究では 7.0.4ch のマルチスピーカー環境を対象に、首の傾げによって生じる音像定位知覚に対する影響を探る知覚実験を検討するにあたり、首の傾きのトラッキングと視覚情報の提示が同時に可能な HMD に着目した。本研究は HMD のユーザインタフェースによって、実験参加者が自身の背後の音像定位へ向けたポインティングの誤差を軽減する方法を探るものである。

## 2. 研究目的

本研究は 7.0.4ch マルチスピーカー聴取において、首を傾げた状態での定位知覚の比較を目的とした音響知覚実験ソフトウェアの UI を検討する。首の傾げによる音像定位の知覚に対する影響を探るため、頭部を固定した状態で音像定位の位置を指定可能なポインティング手法が、知覚に対して影響が現れるか探る。

本研究ではピッチ・ロール方向の回転を対象とする。頭部のヨー方向回転では、スピーカーが頭部と相対的に方位角 (azimuth) に動く。受聴者に対して仰角 (elevation) の変化に着目するため、本研究ではヨー方向の傾きを主眼に置かないこととした。

## 3. 先行研究

Majdak らが実施した定位精度の計測実験では、HMD による視覚情報として、天球型グリッド線の有無で比較し、視覚情報の効果が有意であった。また、頭部によって方向を指し示すポインティング方法と、コントローラによって指し示すポインティング方法の比較ではコントローラによるポインティングの効果が有意であった[1]。頭部の傾きを

固定した状態での聴取およびポインティングは実施していない。水平に配置したサラウンドスピーカー配置とハイトチャンネルがあるスピーカーレイアウトにおいて拡散性の弁別が可能か比較した実験では、各動作に対して訓練を行い、トラッキングにより動作が成功しているか計測をおこなっていた [2]。頭部とスピーカーの相対位置が動的に変化させず、頭部を傾けたまま実験する場合、訓練による角度の固定は実験協力者に対する侵襲性が過度だと考えられる。視覚情報の提示により、実験協力者の方の負担を軽減する方法が必要だ。

## 4. 知覚実験用ソフトウェアの制作

音像定位の知覚精度を比較するため、Majdak らの先行事例に倣い HMD とコントローラを使用したポインティングが可能な実験用ソフトウェアを制作した。HMD には実験参加者を中心とした半径 2m の球のグリッドを表示した。水平の距離感が掴めるよう実験参加者の頭の高さに鉢方向の直線と、半径 1m の円を描画した。コントローラのトリガーを引くことでポインティングができる。

首の傾げによる影響を調査するため、頭部の枠と傾きを可視化したユーザインタフェース(図 1)を実装した。頭部を固定した状態で定位をポインティングして頂くことを想定しており、実験参加者に頭部の傾げを促す目的で、実験者は頭部の形をした UI のオレンジ色の縁を傾げる操作を実装した。実験参加者は頭部の縁に首の傾きを合わせるため、視点や首をあまり動かさないことから、後方のポインティングに対して感覚で実施して頂くことになる。

そこで、視線を正面にしたまま後方を確認可能な UI として鏡を中央に設置した。鏡による後方の確認がポインティングに対して悪影響を及ぼす可能性を考慮し、鏡による UI が適切か検討を目的として実験を行った。

<sup>†1</sup> 東京工科大学  
Tokyo University of Technology.

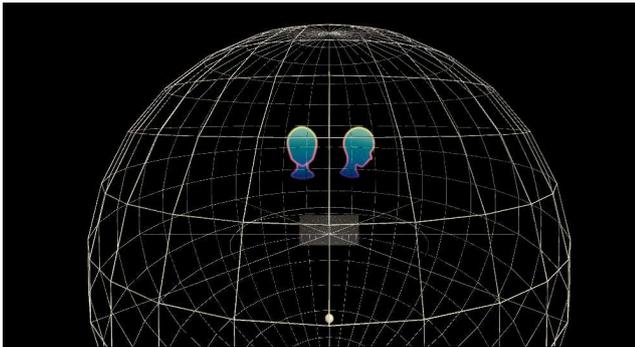


図 1 頭部の傾きを示すユーザインタフェース

## 5. 後方を向かない UI の検討に向けた予備実験

頭部を固定した状態では後方へのポインティングを実験参加者の感覚を頼ることになる。後方が確認可能な鏡を実装した。鏡を使用したポインティングを2名の方に体験していただいた。定性データとして、鏡によってポインティングしたい位置を誤認する可能性があるという意見をいただいた。本研究に鏡のユーザーインタフェースが適切か判断するため予備実験を実施した。

### 5.1 実験目的

鏡によるポインティングにより実験参加者が指したい位置からずれる可能性がある。鏡を使用することによるポインティングが本研究に使用可能か検討する。

### 5.2 実験環境

7.0.4ch のマルチスピーカー環境を使用した。水平スピーカーの高さは床から 120cm, ハイトスピーカーは 120cm の高さを中心に 60° の仰角で設置した。2つのスピーカーで形成したファントムは、上方向にずれて聞こえることがある[3]ため、実験刺激はハード定位させたピンクノイズを使用した。

### 5.3 実験手法

実験参加者の耳の高さが 120cm になるよう椅子の高さを調節した。HMD を被った後、5 秒間のピンクノイズをセンター(C)、ハイトスピーカー(HL, HR, HRL, HRR)の計 5 箇所から順に再生した。音が鳴っている間に実験協力者にポインティングしていただいた。鏡が表示されない状態で 5 回、鏡を表示した状態で 5 回実施した。

### 5.4 実験結果

予備実験に 4 名の方に参加していただいた。収集したデカルト座標を、球面座標に変換し、方位角、仰角、各スピーカーに分け、ミラーの有無を因子として 10 の Repeated-Measures ANOVA により分析した (表 1, 2)。分析の結果、全てのパターンに有意差は見られなかった。

#### Within Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
C	2277.85	1	2277.85	2.199	0.235

Residuals	3108.037	3	1036.012		
HL	2366.092	1	2366.092	0.685	0.469
Residuals	10360.635	3	3453.545		
HR	97.046	1	97.046	0.607	0.493
Residuals	480.004	3	160.001		
HRL	2277.85	1	2277.85	2.199	0.235
Residuals	3108.037	3	1036.012		
HRR	2277.85	1	2277.85	2.199	0.235
Residuals	3108.037	3	1036.012		

Note. Type III Sum of Squares

表 2 方位角を対応のある要因とした Type III Reported-Measures ANOVA の結果

#### Within Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
C	0.922	1	0.922	2.118	0.242
Residuals	1.306	3	0.435		
HL	99.784	1	99.784	6.61	0.082
Residuals	45.287	3	15.096		
HR	85.707	1	85.707	2.726	0.197
Residuals	94.311	3	31.437		
HRL	0.628	1	0.628	0.028	0.877
Residuals	66.631	3	22.21		
HRR	1.874	1	1.874	0.021	0.894
Residuals	265.877	3	88.626		

Note. Type III Sum of Squares

表 2 仰角を対応のある要因とした Type III Reported-Measures ANOVA の結果

## 6. 考察

鏡の有無により定位のポインティングに対する有意差は現段階の実験参加者の人数では確認されなかった。本実験は予備的検討として鏡の有無によるポインティングに対する影響は無視できる範囲である可能性が考えられる。

## 7. 今後の展望

今後の予定として、実験参加者の人数を 20 人まで集め、ピンクノイズを定位させた位置と実験参加者の方がポインティングした位置を要因とした分散分析を再度実施する。

## 参考文献

- 1) Majdak, P., Laback, B., Goupell, M. and Mihocic, M.: The Accuracy of Localizing Virtual Sound Sources: Effects of Pointing Method and Visual Environment. Journal of the Audio Engineering Society 124th Convention, Paper 7407. (2008).
- 2) Martens, W. L. and Han, Y.: Discrimination of auditory spatial diffuseness facilitated by head rolling while listening to 'with-height' versus 'without-height' multichannel loudspeaker reproduction
- 3) Lee, H. (2022) Psychoacoustics of height perception in 3D audio. In Paterson, J., Lee, H.(eds.), 3D Audio, Routledge, pp. 82-98.