



# 空間音響を用いた映像コンテンツ視聴時の 画面注視と音像知覚

鈴木瞭介, 河合隆史

早稲田大学 大学院基幹理工学研究科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1, info@tkawai-lab.com)

**概要**: 3次元的な音像知覚を提供する「空間オーディオ」の技術が近年広く普及しつつある。その一方で、一般に映像の視聴時には「腹話術効果」によって音像位置が再生画面付近に吸収されることも知られている。本研究では、空間オーディオ対応イヤホンとスマートフォンを用いた動画視聴の実験を行い、その知覚特性を検証した。その結果、映像視聴時に画面からの注視を外すことは音像の知覚を有意に変化させることが示された。また、空間オーディオ音源およびステレオ音源によって発生する音像知覚の空間性は、スピーカー音源によって発生するものとは質的に異なるものであることも同時に示された。

**キーワード**: 空間オーディオ, 腹話術効果, 音像

## 1. 研究背景・仮説

「空間オーディオ」とは、3次元空間上の任意の位置に仮想的なスピーカーを配置することで、従来のステレオ音源と比較してより空間的に制約のない音像体験を提供する技術のことである。例えば Apple 社の販売する AirPods Pro 2[1]や AirPods Max では、Dolby Atmos をベースとした空間オーディオシステムを採用しており、映画館等に設置されている高級な設備を用いることなく、身近に3次元的な音響を体験することができる。

「腹話術効果」とは、連動する視覚刺激と聴覚刺激が異なる位置から発されている場合に、音像が映像位置に誘導されて感じられる知覚現象のことである。[2]

これら2つを組み合わせることにより、特異な音像知覚現象が発生する場合がある。まず、空間オーディオを用いた映像視聴時には、本来その空間オーディオの効果により、空間的な音像が知覚されるはずである。しかし、映像に注意を向けると腹話術効果が発生し、音像は空間性を失って画面付近に集約される。更にこの状態で画面への注視が不意に外れてしまうと、音像は再び本来の空間的な状態へと回帰する。このような注視の有無によって音像知覚が行き来する現象が確かに起こっているという仮説(図1)を検証すべく本研究を実施した。

なお、腹話術効果について河井(2021)ら[3]の示すような映像と音像の静的な弁別閾を測定する先行研究は見られるが、注視の有無による動的な知覚の変化に関する研究はあまり例がなく、腹話術効果や空間オーディオの特性をより理解するためにも、本研究は意義のあるものである。

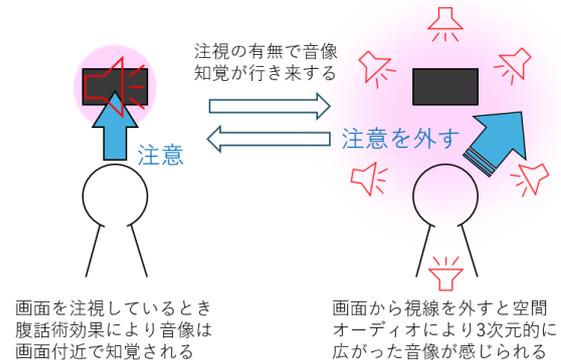


図1: 仮説概念図。グレーの四角がモバイル端末を表し、視聴者は空間オーディオ対応イヤホンを装着している。

## 2. 実験概要・方法

本実験では、16名の参加者を対象に Apple 社製のスマートフォン iPhone 12 Pro Max 及び同社製のイヤホン AirPods Pro 2 を用いて2種4条件の8つの動画を静かな実験室内で視聴してもらった。実験開始前に、参加者への詳細な説明を実施し、事前に実験参加の同意を得ている。

### 2.1 提示動画

動画は、いずれも Amazon Prime Video にて配信されている、『天気の子』から、「登場人物が雨の街を走っていくシーン」(48:36~49:38)と、『シン・ウルトラマン』から、「登場人物が対面及び電話越しに話し合いを重ねるシーン」(7:02~8:24)の2種を用いている。

### 2.2 提示条件

動画を提示する条件は、「空間オーディオ/視線移動あり」

「空間オーディオ/視線移動なし」「ステレオ/視線移動あり」「スピーカー/視線移動あり」の4種である。

空間オーディオとステレオの条件では、イヤホンの設定から「ステレオを空間化」の項目の有無を変更して音響条件を操作した。また、スピーカー条件においても参加者はイヤホンを装着するが、スマートフォンとの接続を解除し、イヤホンではなくスマートフォンの内蔵スピーカーから直接音声が聞こえる状態にしている。

視線移動あり条件では、参加者は最初の20秒程度の間は映像を注視し、それ以降は画面への注視を外し続けた。注視を外すタイミングは、実験者が事前に指定したタイミングで合図を出すことで統一している。一方、視線移動なし条件では、参加者は終始画面を注視し続けた。

結果・考察では、「空間オーディオ/視線移動あり」「空間オーディオ/視線移動なし」の2条件を用いて、空間オーディオを前提とした「視線条件の比較」を行った。データの解析では、動画2種・視線移動2種の二元配置分散分析を用いている。また、それとは別に、「空間オーディオ/視線移動あり」「ステレオ/視線移動あり」「スピーカー/視線移動あり」の3条件を用いて、視線移動ありを前提とした「音響条件の比較」も行った。こちらも動画2種・音響条件3種による二元配置分散分析をデータ解析に用いている。

2.3 評価指標

評価指標は以下の3つである。

1 つ目に、Pupil Labs社製のメガネ型デバイス Pupil Invisible を用いて視線計測を行った。計測データからは、視線移動の前後におけるそれぞれの注視点分布範囲の面積を計算し、視線移動後に、移動前と比較して面積が何倍に拡大したかの倍率を動画・条件ごとに算出・比較した。

2 つ目に、各試行の終了後に動画に関する参加者の主観的な体験を数値化するために、リッカート尺度7件法による質問を5項目行った。(表1)

3 つ目に、全試行の終了後に口頭による簡単なインタビューを実施した。(表2)

表1: リッカート尺度質問項目

Q1	コンテンツの視聴中に、音の聞こえ方の変化を感じたか?
Q2	コンテンツの視聴中に、音量の変化を感じたか?
Q3	聴いている最中に音像の拡がりを感じたか?
Q4	イヤホンを装着している感覚があったか?
Q5	目を動かすことで、コンテンツの音声は実験者にも聞こえていると感じたか?

表2: 口頭インタビュー質問項目

Q1	各条件間の差異の説明
Q2	実験を通して視線移動の前後で音の聞こえ方が変化したか
Q3	人物のセリフと環境音との聞き分けができたか
Q4	動画視聴の体験として良かった条件
Q5	その他実験を通して感じたこと

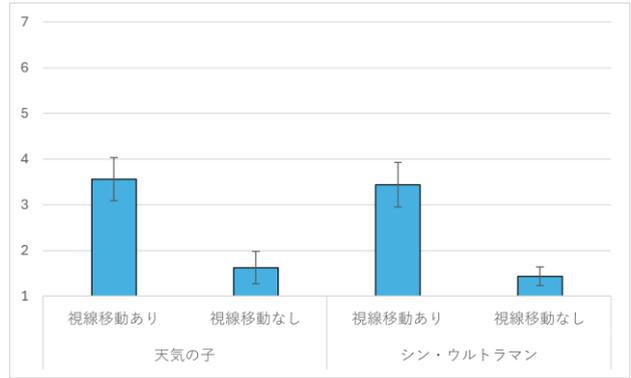


図2: Q1 「音の聞こえ方の変化を感じたか？」に対する回答 (視線条件の比較)

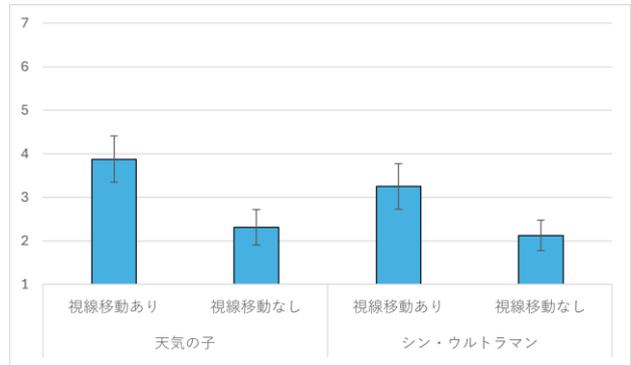


図3: Q3 「音像の拡がりを感じたか？」に対する回答 (視線条件の比較)

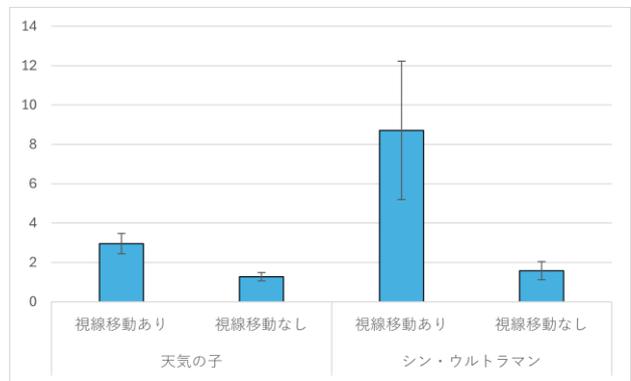


図4: 注視点範囲の変化倍率 (視線条件の比較)

3. 結果

3.1 視線条件の比較

視線移動の有無を比較したとき、リッカート尺度質問のうち「Q1 音の聞こえ方の変化」「Q2 音量の変化」「Q3 音像の拡がり」「Q5 音声の実験者にも聞こえていると感じたか」の4項目で有意差が見られた。いずれも視線移動ありの条件でより高いスコアを獲得している。Q1, Q3の結果のみ図2, 図3として掲載したが、他も同様の結果である。

また、視線移動計測による「注視点範囲の面積倍率」の比較において、視線移動、動画、および交互作用で有意差が見られた。こちらは視線移動あり条件、特に『シン・ウ

『ウルトラマン』の動画で高い倍率を記録している。(図4)

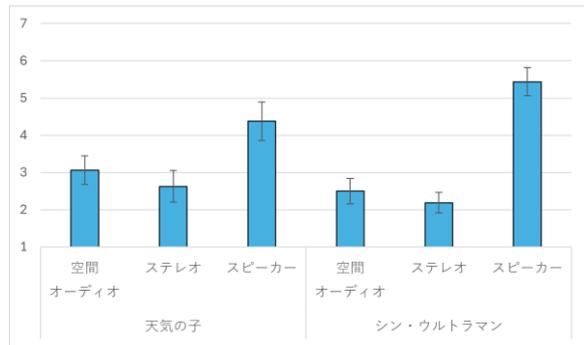


図5: Q5「音声は実験者にも聞こえていると感じたか」に対する回答(音響条件の比較)

### 3.2 音響条件の比較

音響条件3種を比較したとき、「Q5 音声の実験者にも聞こえていると感じたか」のみで有意差が見られた。Tukey法による多重比較を行ったところ、空間オーディオ条件・ステレオ条件と比較してスピーカー条件において高いスコアを獲得していることがわかった。(図5)

また、実験後の口頭アンケートの問1では、スピーカー条件と他の2条件との差異に言及した参加者は16人中15人であったが、その一方で、空間オーディオ条件とステレオ条件との差異を明確に指摘したのは3人のみであった。

## 4. 考察

### 4.1 視線条件の比較

視線条件の有無を比較したとき、「Q1 音の聞こえ方の変化」「Q2 音量の変化」「Q3 音像の拡がり」「Q5 音声の実験者にも聞こえていると感じたか」の4項目で有意差が見られた。これは、視線移動によって参加者の聴覚体験が変化したことを示している。具体的には、音像の配置が変化したように感じたことで、その拡がり方や外部に対する空間性、さらには音像位置までの距離認識の変化から、音量の変化が引き起こされたものと考えられる。実際には、これらの条件では参加者が視聴した視覚・聴覚刺激は全く同一のものであるが、聴覚とは直接関係がないはずの視線移動の有無だけによってここまで聴覚体験の変化が引き起こされたことは、驚くべきことである。

なお、注視点範囲の倍率変化に関しては、視線移動前は参加者が画面を注視していたのに対し、視線移動後には明確な注視点を設定できなかったため、自然と視線を向ける先がぶれてしまい、倍率が大きく変化したものと思われる。

### 4.2 音響条件の比較

音響条件を比較すると、「Q5 音声の実験者にも聞こえていると感じたか」の質問において、スピーカー条件がほかの2条件と比較して有意に高いスコアを獲得した。これは、

イヤホンではなくスマートフォン内蔵のスピーカーから音声が聞こえる条件が参加者にとって特異的であり、そのことが正しく認識されていたことを示している。空間オーディオ条件やステレオ条件では、あまり感じられなかった音像の空間性を、スピーカー条件では多くの参加者が感じている。これは、空間オーディオ条件・ステレオ条件で感じられるべき音像の空間性は、スピーカー条件のものとは質的に異なっていたことを示しているだろう。

また、実験後の口頭アンケートの結果からも、空間オーディオとステレオとの条件間の差異はあまり見られなかったことが示された。

### 4.3 仮説の検証

1章に示した仮説は、一部分において確認できたと考えている。具体的には、「空間オーディオ使用時において、画面への注視の有無が視聴者の音像体験を変化させる」傾向は、本研究で示されたといえる。その一方で、「空間オーディオ使用時には音像は空間性を持って知覚される」ことは、残念ながら本研究で示すことはできなかった。なぜなら、空間オーディオと使用時の音像の空間性は、ステレオとの空間性にはほとんど差異がなく、またスピーカー条件における外部で音が鳴っている感覚には及ばなかったからである。

## 5. むすび

本研究では、空間オーディオを用いた映像視聴時における、音像知覚の検証を行った。具体的には、空間オーディオ使用時には、ステレオ条件と比較して顕著な差異は見られなかったが、画面への注視を外すことによってその音像分布、ひいては聴覚体験が変化する傾向を確認できた。

今後の展望としては、本来の研究動機に近い、街中での映像視聴時における空間音像特性の検証等を行いたいと考えている。

### 参考文献

- [1] Apple : AirPods Pro 2, Apple (日本), <https://www.apple.com/jp/airpods-pro/>. (参照 2025-01-21)
- [2] 岩宮眞一郎, 北川智利, 積山 薫, 金 基弘, 高木 創, 笠松広司: 視聴覚融合の科学, コロナ社, pp. 1-6, 2014.
- [3] 河井薫, 武藤憲司: 音像に対する映像の弁別角度と映像に対する音像の弁別角度の差異, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集(CD-ROM), 2021, 26<sup>th</sup>. [https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL\\_ID=20220226172987919](https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=20220226172987919), <https://conference.vrsj.org/ac2021/program/doc/2B3-6.pdf>. (参照 2025-01-21)