

メタバースにおけるMR技術を利用した 遠隔合奏コンテンツの開発

長崎大学大学院 総合生産科学研究科
情報データ科学分野 清水玖瑠美



日本で**少子化**が加速

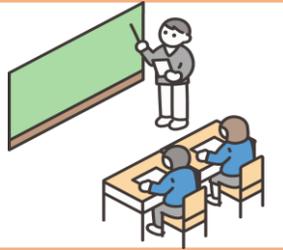
特に**離島地域**では影響が顕著

国土交通省「教育分野の離島振興のあり方について」(2016)

少子化に伴う教育課題

- **クラブ活動や部活動の種類**の限定
- 音楽科における合唱合奏など**集団学習**の実施に制約

文部科学省 (2015)



部員不足 西島 (2017)

廃部や休部による部活動離れが発生

文化庁 (2022)

そこで...

複数校による合同部活動の推進 課題

文化庁 (2018)

運搬が必要な部活動
(吹奏楽部など)
では**実施が困難**

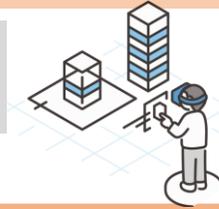
文化庁 (2024)

コロナ禍で
吹奏楽部が減少傾向

nippon.com (2025)

対面型・合同型に限界, **新たな活動形態の検討**

新たな活動形態の一つとして**メタバース**が注目



メタバースとは...

- **アバタ**を介して**場所・身体的な制約**を超えた活動が可能
- 現実とバーチャルが融合した**新たな活動空間**

科学技術振興機構 (2023)

世界的にも**市場規模の拡大**予測



今後さらなる発展が期待 総務省 (2025)

音楽イベントなど
エンターテインメント分野での
活用拡大 総務省 (2023)

音楽活動におけるメタバースの利用

メタバースを利用したカラオケ体験のUX評価 (Alexandre Berthault et al. 2023)

学生生活を想定したカラオケ体験実施し, UXを評価

参加行動・コミュニケーションに影響, 今後さらなる高度化の可能性

音楽活動におけるメタバースの有用性

音楽活動の**新たな空間として台頭**している状況を指摘

「**Musical Metaverse**」：物理的現実・デジタル現実の融合
複数人が参加可能な音楽活動環境ネットワーク

演奏者の移動の不要



時間・コストの大幅な削減

音楽活動の遠隔化



Google Gemini

Luca Turchet (2023)

小規模校における**音楽活動の継続**に対して有効である可能性

アバタを使用すると...

- **認識・感覚・行動・思考の変容**
鳴海 (2022)
- 対面と比較して
個人的感情に関する自己開示が促進
Junko Ichino *et al.* (2025)

バーチャル楽器を使用すると...

- **力覚や振動などの相互的なフィードバックを提供していない**
- **触覚など体性感覚が不十分**
Stefano Papetti *et al.* (2023)

音楽活動でも**感情・自己表現**を伴うため、
演奏体験にも影響を及ぼす可能性

実際の楽器を用いた演奏は
表現豊かな演奏体験をもたらす可能性

ピアニストを対象にした3条件下での実験 (Bavo Van Kerrebroeck *et al.* 2021)

①対面(人×人) ②アバタ(人操作×人操作) ③アバタ(人操作×**自動制御**)の比較

②アバタ(人操作×人操作) … 対面に近い感覚, **社会的な存在感**の強さ

③アバタ(人操作×**自動制御**) … **協調感**の弱さ

複数人によるバーチャル環境は未確立

バーチャル環境における複数人での楽器演奏コンテンツの開発に向けた予備実験（清水ら 2024）

バーチャルステージ・ギターモデルの配置

モーションキャプチャ・ハンドトラッキングの実装

➡ 基礎データの取得，有用性の検討

- 経験年数に関わらず実際に演奏している感覚
- バーチャル環境で合奏できるコンテンツの必要性
- **トラッキング・位置調整方法の改善**
- **複数人の設計は未確立**



目的

- メタバースで遠隔合奏できるコンテンツの開発，有用性の検討
- **MR 機能・観客の存在が演奏体験に与える効果を評価**

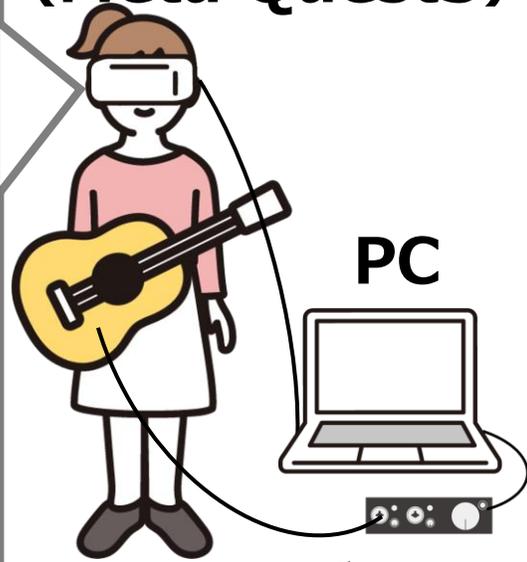


ギター奏者

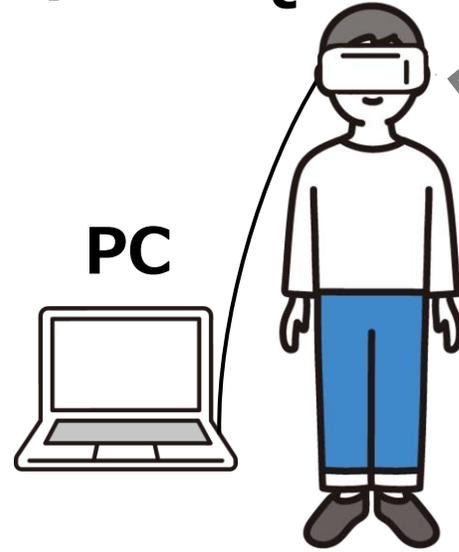
歌唱者



HMD
(Meta Quest3)



HMD
(Meta Quest2)



ネットワーク通信

PUN2
アバタの通信

SYNCROOM (YAMAHA)
低遅延の音声



バーチャル環境の構築

ゲーム開発プラットフォーム (Unity)

Unity2022.3.1f1



実行デバイス

ギター奏者用HMD (Meta Quest3)



歌唱者用HMD (Meta Quest2)



ネットワーク接続

アバタの通信

Photon Unity Networking 2(PUN2)

- リアルタイム・マルチプレイ対応のゲーム開発フレームワーク
- アバター動作のリアルタイム共有

低遅延の音声

SYNCRROOM

- YAMAHAの低遅延合奏システム
- ギター音と歌唱音声のリアルタイム共有

音声処理

ギター奏者

オーディオインタフェース

- アナログ信号→デジタル信号
- USB経由でPCに送信

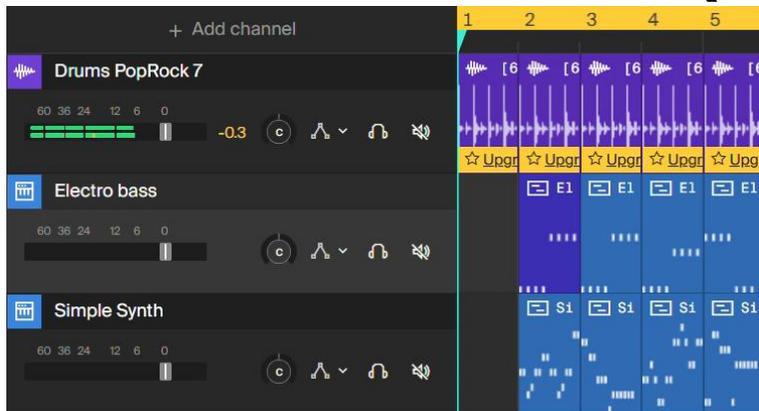


歌唱者

HMD内蔵マイク

- 歌唱音声を内蔵マイクで取得
- ケーブル経由でPCに送信

打ち込み音源の作成

Soundation (<https://soundation.com/community>)

- パブリックドメインである「春が来た」
- ドラム・ベース・キーボードで構成
- SYNCROOM内で打ち込み音源を再生

評価活動

人数：大学生・大学院生の**音楽部活動・サークル経験者20名（2名1組）**

経験年数 → **平均8.8年**（標準偏差：6.38年，範囲：1年～20年）

場所：同一ネットワーク内の離れた2空間

題材：岡野貞一・高野辰之「春が来た」

コード・歌唱練習→遠隔セッション3回実施→アンケート



アンケート調査

- **4件法**による主観評価（共通：計**18問**，ギター奏者：+**2問**）

役割の違いによる評価差を分析 … Brunner-Munzel検定
肯定回答数と否定回答数の偏りを分析 … 直接確率計算（両側検定）

- **自由記述**（計2問）

✓ **良かった点** ✓ **改善・期待する機能** カテゴリ分類し，集計

| 質問項目 | ギター奏者 | 歌唱者 | W値 | 結果 |
|-------------------------|--------------|---------------|-------|----|
| | Median (IQR) | Median (IQR) | | |
| 相手の音に遅延を感じた | 4 (4-4) | 2 (1-2) | -7.03 | ** |
| 相手とのタイミングは合わせやすかった | 2 (1-2) | 3.5 (2-4) | 4.75 | ** |
| 本コンテンツは遠隔地からの演奏活動に使えるそう | 3 (3-4) | 4 (4-4) | 2.78 | * |
| 音量バランスは演奏(歌唱)に支障がなかった | 3 (3-3) | 3.50 (3-4) | 1.90 | † |

(** : $p < .01$ * : $p < .05$ † : $.05 < p < .10$)

- 音声取得方法
 - ギター音
 - オーディオインタフェース
 - 歌唱音声
 - HMDの内蔵マイク
- 遅延の感じ方
 - ギター奏者 > 歌唱者**

このことから...

 - タイミングの合わせやすさ
 - 活用可能性
 - ギター奏者 < 歌唱者**

音量バランスにも支障

歌唱者への**オーディオインタフェース導入**を検討する余地

| 質問項目 | 肯定回答(人) | | 否定回答(人) | | 結果 両側検定 | |
|----------------------------------|------------------------|------------|-------------------|--------------------|------------|----|
| | とても そう思う | やや そう思う | あまり そう 思わない | まったく そう 思わない | | |
| 本コンテンツを使用して楽しかった | 14 | 6 | 0 | 0 | ** | |
| ステージの上で演奏（歌唱） している気分になれた | 7 | 10 | 3 | 0 | ** | |
| HMD の装着は演奏（歌唱）の 妨げになった | 1 | 9 | 5 | 5 | n.s. | |
| バーチャル環境での演奏（歌唱）に 違和感はなかった | 3 | 10 | 5 | 2 | n.s. | |
| ギター奏者 (10名) のみを対象 | 手元が見えることで 演奏しやすかった | 7 | 3 | 0 | 0 | ** |
| | 実環境が見えることに 違和感はなかった | 6 | 3 | 1 | 0 | * |

**本コンテンツは
臨場感を与える**

否定回答が
一定数存在したが
肯定回答も同程度
→**個人差がある**

**MR機能によって
演奏しやすい**

(** : $p < .01$ * : $p < .05$ n.s. : 有意差なし)

| 質問項目 | 肯定回答(人) | | 否定回答(人) | | 結果 両側検定 |
|---------------------------------|-------------|------------|-------------------|--------------------|-------------|
| | とても そう思う | やや そう思う | あまり そう 思わない | まったく そう 思わない | |
| 相手の音に遅延を感じた | 9 | 3 | 5 | 3 | <i>n.s.</i> |
| 音量バランスは演奏（歌唱）に 支障がなかった | 7 | 11 | 2 | 0 | ** |
| 返しの音（自分のギター・声）に 遅延を感じた | 6 | 6 | 4 | 4 | <i>n.s.</i> |
| 返しの音（自分のギター・声）は 演奏（歌唱）に必要だった | 8 | 4 | 6 | 2 | <i>n.s.</i> |

(** : $p < .01$ *n.s.* : 有意差なし)

本活動時の遅延は
必ずしも強い
否定的な影響とは
いえない

音量バランスは
適切

返しの音の必要性は遅延の感じ方によって
参加者間で分かれた可能性

| 質問項目 | 肯定回答(人) | | 否定回答(人) | | 結果 両側検定 |
|---------------------|-------------|------------|-------------------|--------------------|------------|
| | とても そう思う | やや そう思う | あまり そう 思わない | まったく そう 思わない | |
| 相手と演奏（歌唱）している気分になった | 8 | 8 | 4 | 0 | * |
| 相手のアバターの動きは自然だった | 1 | 14 | 5 | 0 | * |
| 相手とのタイミングは合わせやすかった | 5 | 4 | 7 | 4 | n.s. |
| 観客がいたことで緊張感があった | 0 | 4 | 8 | 8 | * |
| 観客がいたことで高揚感があった | 2 | 4 | 12 | 2 | n.s. |
| 観客の動きは自然だった | 1 | 9 | 10 | 0 | n.s. |
| 観客と一体感があった | 2 | 8 | 8 | 2 | n.s. |

アバターの動きが自然なため一緒に演奏・歌唱していると感じた

遅延の状況により参加者間で差が生じる

簡易的なものなので緊張を感じない

「高揚感や一体感を高める」効果が十分に発揮されなかった→動きをより自然に

| 質問項目 | 肯定回答(人) | | 否定回答(人) | | 結果 両側検定 |
|---------------------------------|-------------|------------|-------------------|--------------------|------------|
| | とても そう思う | やや そう思う | あまり そう 思わない | まったく そう 思わない | |
| バーチャル環境で合奏できる コンテンツがあれば使用したい | 15 | 4 | 1 | 0 | ** |
| 本コンテンツは演奏活動において 有効だ | 11 | 7 | 1 | 1 | ** |
| 本コンテンツは遠隔地からの 演奏活動に使えるそうだ | 13 | 5 | 1 | 1 | ** |

離れた人と合奏を行う際に**有効な手段**，**必要性**がある

| カテゴリ | 件数 | 記述内容例 |
|----------|----|--------------------------------|
| 高揚感 | 5 | バーチャル空間での演奏自体が楽しかった。 |
| 臨場感 | 3 | ステージ上にいる体感がとてもあった。 |
| 観客の存在 | 3 | 観客がいることでライブをやっているような気分になった。 |
| 遠隔合奏への期待 | 3 | 遠距離バンドが練習できる環境が良い |
| MR機能の実装 | 2 | バーチャルなギターではなく、実写のギターであるので弾きやすい |

演奏行為の円滑さが向上，違和感が軽減

| カテゴリ | 件数 | 記述内容例 |
|----------|----|---|
| 遠隔演奏への期待 | 7 | 遠隔でも合奏できる点が良い。 |
| 高揚感 | 3 | ステージ上に疑似的立てる体験が、現実で、今まで経験したことがなかったのでおもしろかった。 |
| 心的負担の軽減 | 3 | 人前で歌うことに抵抗があるが、HMD装着の没入感と観客がアバターである点から緩和できた。 |
| 臨場感 | 2 | 自分の視線に合わせて景色が動くVR技術を採用したからこそ、臨場感が生まれて良かったと思います。 |
| 音量設定 | 1 | 歌の返しの音量がちょうど良かった。 |

バーチャル環境での歌唱は**心理的抵抗感を緩和**

| カテゴリ | 件数 | 記述内容例 |
|---------|----|---|
| 音の遅延 | 9 | ギターの返しのラグ改善 |
| 観客の様子 | 4 | 観客をリアルにする |
| 機能拡充 | 4 | コードが見れるようにする |
| 打ち込み音源 | 2 | 基準の音無しで合わせてみたい |
| MR機能の精度 | 2 | 視点によっては、バーチャルから現実世界に戻ったのでギターだけ現実にしてほしい。 |

音の遅延は、**合奏行為の成立・満足度**を左右する重要な技術的課題
打ち込み音源・MR機能は、**演奏行為の円滑さ**を左右する重要な要素

| カテゴリ | 件数 | 記述内容例 |
|----------|----|--|
| 音の遅延 | 4 | 相手のギターの音の遅延が気になった |
| 観客エリアの様子 | 4 | 観客など会場の雰囲気さらに工夫されたらもっと楽しくなると感じた。 |
| 機能拡充 | 3 | 多くの人が参加しやすくすること |
| HMDの軽量化 | 3 | VRをつけて歌うのが少しだけ大変でした。もう少し軽量で口の動きを妨げないものがあればいいのではないかと思います。 |
| 音質 | 1 | ノイズが少しだけ入るので、もう少し音質が良くなればより遠隔での合奏が実践に近づくと思います。 |
| 合奏の実感 | 1 | 合奏している感が薄い。相手の音ではなくBGMに合わせるからだと思う。 |

歌唱時は口を大きく動かす必要があるため、**HMDが歌唱行為の妨げ**

目的

- メタバーズで遠隔合奏できるコンテンツの開発，有用性の検討
- **MR 機能・観客の存在が演奏体験に与える効果を評価**



結果・考察

- MR機能により演奏行為の円滑さが向上，違和感が軽減
- 音声取得方法の違いにより，遅延の感じ方は **ギター奏者 > 歌唱者**
- 音の遅延は，**合奏行為の成立・満足度**を左右する重要な技術的課題
- 「高揚感や一体感を高める」効果が未発揮→**観客の動きをより自然に**



今後の展望

- **歌唱者へのオーディオインタフェース導入**
- 高速ネットワークの導入により，遅延の軽減を目指す

