

チェロの遠隔練習支援システムの試作と検討

太田健^{†1}

公立はこだて未来大学^{†1}

角薫^{†2}

公立はこだて未来大学^{†2}

1. はじめに

弦楽器の習得は、初心者にとって極めて高い難易度を伴う。特に、独学による学習は困難であり、一般的には教則本や動画教材が活用される。しかし、これらの教材は主に視覚的な情報に依存するため、初心者が正確な演奏技術を効率的に習得することが難しいという課題がある。ヤマハの調査によれば、20代から50代の500人のうち約40%が楽器の学習を開始したものの、途中で挫折した経験があると報告されている[1]。

特にチェロのような弦楽器においては、ピアノの鍵盤やギターのフレットのような明確なガイドが存在しないため、演奏者は自身の耳を頼りに音程を調整する必要がある。このため、適切な音程を保つことが難しく、演奏技術の習得には時間を要する。また、弓の持ち方や運弓技術の習得には、手指の微細な動作の調整が求められ、対面レッスンにおいても教師がこれらの技術を適切に伝えることは容易ではない。チェロはヴァイオリンなどと比較して大型の楽器であり、持ち運びが困難であるため、対面での指導を受ける機会が限られる。このため、遠隔指導のニーズが高いと考えられる。

しかし、遠隔でのチェロの指導に関する研究は限られている。遠隔教育における器楽指導の手法については一部の研究で検討されており、映像を用いた指導においては、モニター上での視認性の向上が求められることが指摘されている[3]。また、リモート環境下でのチェロレッスンの実践例も報告されており、オンラインレッスンの有効性が示唆されている[4]。しかし、これらの研究の多くは、ビデオ通話を利用した従来型の遠隔指導に関するものであり、3次元的な視覚補助を活用した指導方法については十分に検討されていない。

本研究では、弦楽器の習得におけるこれらの課題を解決するため、MR (Mixed Reality, 複合現実) 技術[2]を活用した遠隔レッスンシステムの開発と評価を行う。MRは、現実世界に仮想情報を重ね合わせ、ユーザがそれとインタラクションできる技術であり[5]、医療や教育分野においても応用が進められている[6][7]。本システムでは、演奏技術の指導を3次元空間に投影し、学習者がリアルタイムに視覚的・直感的に理解できる環境を構築することを目指す。従来の

教則本や動画教材とは異なり、MRを活用することで、実際の演奏空間に指導情報を重ね合わせることが可能となり、より没入感のある学習体験が実現できると考えられる。

楽器練習支援に関する先行研究として、個人練習環境の最適化に関する研究がある。例えば、楽器演奏時の心理的負担を軽減するために、演奏者の音量を調整し、周囲の奏者との音のバランスを最適化するシステムが提案されている[8]。この研究では、演奏レベルの異なる奏者が同一空間で練習する際に生じる心理的プレッシャーを軽減することで、学習効率の向上が示唆されている。また、楽器のチューニング支援技術として、スマートグラスを活用した音程調整システムの開発が行われており、従来の譜面台に設置するチューナーと比較して、姿勢や視線の負担を軽減できることが報告されている[9]。これらの研究は、演奏技術の向上を支援する技術の有用性を示しており、特に視覚的な補助が学習効率を高める可能性があることを示唆している。

本研究では、これらの先行研究を踏まえ、MRを活用した遠隔レッスンシステムを試作し、その有効性を検証する。特に、MicrosoftのHoloportation技術[6][7]を活用し、遠隔地にいる教師の演奏をホログラムとして生徒の視界内に投影するシステムを構築する。本システムの開発にはHoloLens技術の研究[10]を参考にし、リアルタイムかつ直感的なレッスン環境の実現を目指す。

2. 開発したシステムについて

本研究では、チェロの遠隔レッスンを支援するため、MicrosoftのMR技術を活用したシステムを開発した。本システムは、HoloLens 2およびAzure Kinect DKを用いて、遠隔地にいる教師の姿をホログラムとして生徒の視界内に投影し、双方向のリアルタイムコミュニケーションを可能にすることを目的とする。これにより、従来の映像によるオンラインレッスンでは困難であった、立体的かつ直感的な演奏指導を実現することが可能となる。本章では、本システムの概要、使用機材、構成、および操作方法について述べる。

2.1 システムの概要

本研究で開発したシステムは、HoloLens 2およびAzure Kinect DKを活用し、遠隔地にいる生徒と教師が同じ空間にいるかのようなレッスン環境を提供するものである。本システムの特徴として、従来のビデオ通話を用いた遠隔レッスンとは異なり、HoloLens 2を介して仮想空間上に教師の演奏姿勢をリアルタイムで表示し、生徒が異なる視点から

Prototype and Study of a Remote Practice Support System for Cello
^{†1} TAKERU OHTA, Hakodate Future University
^{†2} KAORU SUMI, Hakodate Future University



図 1 : HoloLens 2



図 2 : Azure Kinect DK

<https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens> <https://azure.microsoft.com/ja-jp/products/kinect-dk>

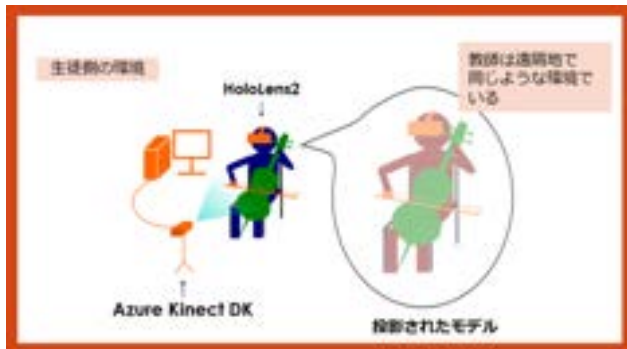


図 3 : システムの構成図

指導を受けることができる点が挙げられる。

本システムは、日本マイクロソフトの千葉慎二氏より提供された Holoportation 技術をもとに構築した。Holoportation とは、Microsoft が 2016 年に発表した遠隔地にいる人物をホログラムとして投影する技術であり、医療や教育分野においても応用が進められている[5]。このシステムは、PC 上で動作するプログラムと HoloLens 上で動作するプログラムの 2 つの要素で構成されており、同一ネットワーク内での通信でリアルタイムに情報を転送する仕組みとなっている。

本研究では、チェロの演奏指導に特化した応用を行うため、Holoportation 技術を導入し、生徒の演奏姿勢を教師が遠隔から確認できる環境を整備した。本システムの利用により、教師は生徒の姿勢や弓の動きを立体的に確認しながら指導を行うことが可能となる。

なお、現段階では本システムに MR を活用した仮想教示情報の投影機能は未実装である。今後の拡張において、MR によるガイドラインの表示や、教師の演奏動作の録画・再生機能の追加を検討している。

以降、本システムにおける「生徒」とはチェロの演奏を学ぶ者、「教師」とは生徒に演奏技術を指導する者を指すものとする。

2.2 使用機材について

本システムで使用した機材は HoloLens 2, Azure Kinect DK, PC2 台、三脚が 2 脚である。

● HoloLens 2

HoloLens 2 (図 1) は、Microsoft が 2019 年に発売した MR ヘッドセットである。本デバイスは、前頭部に搭載された半透明ディスプレイにより、外環境を見ながら仮想情報を視認することが可能である。また、複数のカメラを内蔵しており、ユーザのハンドジェスチャーや空間情報を認識す



図 4 : 実際の投影モデル



図 5 : 生徒の練習の様子

る機能を備えている。本研究では、Holoportation システムを介して、遠隔地の教師の姿をホログラムとして生徒の視界に表示するために使用する。

HoloLens 2 の特長として、スタンドアロンで動作可能であり、外部 PC を必要としない点が挙げられる。また、装着者の視点で録画を行うことが可能であり、レッスンの記録・振り返りに活用できる。

● Azure Kinect DK

Azure Kinect DK (図 2) は、Microsoft が提供する深度カメラであり、前方に赤外線を照射し、物体との距離を測定することで深度情報を取得することができる。また、RGB カメラを搭載しており、色情報を取得することも可能である。加えて、ボディトラッキングやハンドトラッキング機能を備えており、人物の動作をリアルタイムで認識することができる。

本研究では、Azure Kinect DK を用いて生徒の動作を取得し、その情報を HoloLens 2 へ送信することで、遠隔地にいる教師が生徒の演奏姿勢をリアルタイムで確認できるようにしている。

● PC およびネットワーク環境

本システムでは、Azure Kinect DK から取得した映像をリアルタイムで HoloLens 2 に転送するため、高性能な PC が必要となる。特に、映像処理の負荷が高いため、eGPU (外部 GPU) を搭載した PC を推奨する。また、本システムは同一ネットワーク内で動作するため、安定した Wi-Fi 環境が求められる。

● 三脚の使用

Azure Kinect DK はカメラデバイスであるため、適切な高さや角度で設置する必要がある。本研究では、Kinect を三脚に固定し、撮影範囲を調整することで、より適切な演奏姿勢のトラッキングを可能にした。Kinect によって捉えられた映像のみが転送されるため、三脚の高さや角度の調整は重

要な要素となる。

2.3 システムの構成

本システムの構成図を図3に示す。

システム構成の流れ

1. 生徒はHoloLens 2を装着する。
2. 生徒の前方にAzure Kinect DKを配置し、高さや角度を調整する。
3. Azure Kinect DKはPCに接続され、取得した映像データをリアルタイムで処理する。
4. 生成されたデータはネットワークを介して教師側のHoloLens 2へ転送される。
5. 教師はHoloLens 2を介して生徒のホログラムを視認し、適切な指導を行う。

本システムを利用することで、遠隔地にいる教師と生徒がリアルタイムでコミュニケーションを取りながらレッスンを行うことが可能となる。実際に生徒見ることが出来る投影モデルを図4に、生徒の練習の様子を図5に示す。

2.4 システムの使用方法

本システムには、以下の2つの基本操作がある。

投影モデルの移動

- ・ 目の前に手を持ち上げ、親指と人差し指でつまむジェスチャーを行う。
- ・ その状態で指を移動させると、投影モデルの位置を変更できる。

投影モデルの回転

- ・ 親指と人差し指で投影モデルをつまみ、すぐに指を離すと180°回転する。
- ・ 左右反転の状態を補正し、正しい向きでモデルを視認できる。

これらの機能により遠隔学習における障壁の軽減を試みる。

3. 実験

本研究では、開発したシステムの有効性を評価するために、ユーザビリティ調査を目的とした実験を実施した。特に、チェロの遠隔レッスンにおけるMixed Reality (MR) 技術の有用性を検証し、従来の動画教材との比較を行うことを目的とする。本実験では、MRを活用したレッスンと、事前に撮影したチェロのレッスン動画の2種類を被験者に体験してもらい、それぞれの手法に対する評価をアンケートによって収集した。本章では、実験の概要、実施方法、評価手法について詳述する。

3.1 実験概要

本実験では、本システムのユーザビリティを調査するため、2種類のレッスン手法を比較した。1つ目は、本研究で開発したMRを活用した遠隔レッスンシステムを用いたレッスンである。2つ目は、一般的なオンライン教材と同様に事前に撮影したチェロのレッスン動画を用いたレッスンである。被験者には、MRレッスンと動画レッスンの両方を体験し



図6：MRによるレッスン(左)と動画のレッスン(右)

てもらい、各手法に関する評価をアンケートにより収集した。さらに、両手法を比較した際の印象についても調査を行い、それぞれの利点と課題を明らかにした。

3.2 実験詳細

本実験は、MRを用いたチェロの遠隔レッスンシステムの評価を目的として行った。被験者は19歳から23歳の大学生10名であり、実際にシステムを使用してレッスンを受けた後、アンケートに回答した。また、MRのレッスンと比較するため、事前に作成したレッスン動画を用いて同様のレッスンを行い、各手法の印象を比較した(図6)。

2種類のレッスンの順序による影響を排除するため、カウンターバランスを考慮し、ランダムな順序で受講してもらった。具体的な実験の流れは以下のとおりである。

レッスン順序の決定

MRレッスンと動画レッスンの順番をランダムに決定する。両レッスンの内容は同一とし、各レッスンの時間は20分とした。

MRレッスン

最初にHoloLens 2の基本的な操作方法を説明する。システムを起動し、記録のためにカメラの録画を開始する。生徒側と教師側のPCおよびHoloLens 2のソフトウェアを立ち上げ、相互の映像が投影モデルとして視認できることを確認する。

遠隔環境を再現するために、隣接する部屋に機材を配置し、音声通話にはLINEを使用した。

チェロのレッスンを実施し、終了後にMRレッスンに関するアンケートに回答してもらう。

動画レッスン

被験者に、事前に筆者が作成したレッスン動画を視聴しながらチェロの練習を行ってもらう。

動画は一時停止、巻き戻し、スキップが可能とした。

レッスン終了後、動画レッスンに関するアンケートに回答してもらう。

比較評価

両レッスン終了後、MRと動画の比較評価をアンケート形式で実施する。

それぞれのアンケートは以下のとおりである。(表1、表2)

表1：動画またはMRレッスンの印象について

Q1: このテクノロジーは、先進的だと感じましたか?
Q2: このテクノロジーは、洗練されていると感じましたか?

Q3: このテクノロジーの操作やデザインは直感的だと感じましたか？
Q4: このテクノロジーの操作は簡単だと感じましたか？
Q5: このテクノロジーは、親しみやすいと感じましたか？
Q6: このテクノロジーは、気軽に使えると感じましたか？
Q7: このテクノロジーは、効率的だと感じましたか？
Q8: このテクノロジーのデザインや構造は明瞭だと感じましたか？
Q9: このテクノロジーの応答性は高いと感じましたか？
Q10: このテクノロジーとのやり取りは自然だと感じましたか？
Q11: このテクノロジーは、双方向的なやり取りができると感じましたか？

表 2：動画と MR を比較した印象について（一部抜粋）

q1: MR システムにおいて、投影モデルを移動させたいと感じましたか？
q2: それはなぜですか？またどのような場面で移動させたいと感じましたか？
q3: MR システムにおいて、実際に投影モデルを移動させましたか？
q4: どのような場面で移動させましたか？
q5: MR システムにおいて、投影モデルの角度を変えたいと感じましたか？
q6: それはなぜですか？またどのような場面で角度を変えたいと思いましたか？
q7: MR システムの投影モデルは見やすかったですか？ 1 ～5 で選んでください
q8: なぜそう感じましたか？
q10: 弓の持ち方を教わるのはどちらの方がわかりやすかったですか？
q12: 弦の抑え方を教わるのはどちらの方がわかりやすかったですか？
q15: それでは、総じて現時点では MR と動画のどちらの方がわかりやすかったですか？

3.3 被験者と条件群

本実験には、19 歳から 23 歳の大学生 10 名が参加した。性別の内訳は、男性 3 名、女性 7 名である。また、10 名のうち 7 名が何らかの楽器演奏経験の有していた。被験者の詳細は表 3 に示す。本実験では、順番による影響を抑えるため、MR と動画レッスンの順番をランダムに割り当てた。

表 3：被験者のデータ実験手順

番号	性別	年齢	楽器の経験年数（複数の楽器がある場合はそれぞれの楽器と年数を教えてください）	先に行ったレッスン
1	女性	19	ピアノ 6 年 ヴァイオリン 6 年	MR
2	女性	22	トロンボーン 2 年 ヴィオラ 1 年 和太鼓 2 年	MR
3	男性	22	未経験	動画
4	女性	19	チェロ 7 か月	MR
5	男性	22	無いです。	動画
6	女性	19	箏 9 年、ユーフォニアム 3 年、ベース 3 年、チェロ 6 ヶ月	動画
7	女性	20	ピアノ 5 年、トランペット 2 年半、箏 2 年半、チェロ 6 ヶ月	MR
8	女性	19	ピアノ 2 年くらい習っていた ベース 4 年くらい	動画
9	男性	23	和太鼓 3 年	MR
10	女性	22	幼少期にピアノ 6 年	動画

本実験は、MR システムのユーザビリティと学習効果を評価することを目的とし、被験者に対して MR を用いた遠隔レッスンと動画を用いたレッスンの両方を体験してもらい、それぞれの方法の違いを評価する形で実施した。実験は以

下の手順で進められた。

まず、被験者には実験環境として準備された PC の前に座ってもらい、実験の概要と進行手順を説明した。その後、実験に関する同意書に署名をもらい、正式に参加の承諾を得た。次に、被験者が体験するレッスンの順番を事前に決定し、順序が実験結果に影響を与えないようにランダムに設定した。

本実験では、まず動画を用いたレッスンを実施した。被験者には、事前に録画されたチェロのレッスン動画を提示し、この動画を見ながらチェロの練習を行うように指示した。動画の再生時間は 11 分 24 秒であったが、レッスンの時間は 20 分とし、被験者が必要に応じて特定の場面を繰り返し視聴したり、不要な部分をスキップしたりすることを許可した。動画レッスンの終了後、被験者には PC 上で SD 法によるアンケートに回答してもらい、動画レッスンに対する印象を評価した。

続いて、MR を用いたレッスンを実施した。まず、被験者に MR システムの基本的な使用方法を説明した。具体的には、HoloLens 2 を装着すること、Kinect の前に座ること、教師が遠隔地にいるため画面上に投影モデルとして表示されることなどを伝えた。次に、PC のソフトウェアおよび HoloLens 内のソフトウェアを起動し、生徒と教師の姿が互いに投影モデルとして表示されることを確認したうえで、レッスンを開始した。MR レッスンでは、以下の内容を順番に指導した。

- ・チェロの構え方
- ・弓の持ち方
- ・弓でチェロを弾く方法
- ・指の押さえ方
- ・ピチカートで音階を練習
- ・弓を使って音階を練習
- ・ピチカートで「きらきら星」を練習
- ・弓で「きらきら星」を練習

このレッスン内容は、動画レッスンと同じカリキュラムに沿って進められたが、MR システムでは被験者が直接質問できるため、理解が深まるまで特定の内容を繰り返し練習するなど、被験者ごとに進行速度に差が生じた。レッスン終了後、動画レッスンと同様に、被験者には SD 法によるアンケートに回答してもらい、MR レッスンの使用感や学習効果を評価した。

最後に、被験者には動画レッスンと MR レッスンを比較し、それぞれの長所・短所について自由記述形式のアンケートに回答してもらい、実験を終了した。

3.4 評価方法

本実験では、SD 法（Semantic Differential Method）によるアンケート調査と自由記述形式のアンケート調査を行った。

SD 法 は、システムの印象やユーザビリティを具体的に評価するための手法であり、特に MR のような新技術の受容

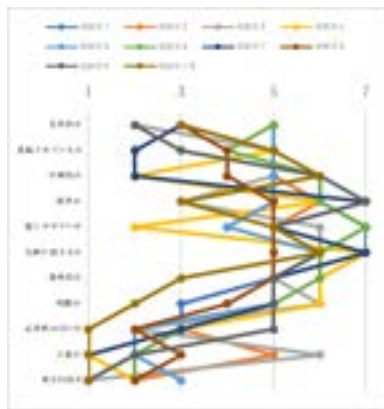


図 7：動画レッスンの SD 法評価結果

度を測定するのに適していると考えられる。

自由記述アンケートでは、MR システムの操作性や視認性、学習効果に関する詳細な意見を収集し、システムの改善点を明らかにすることを目的とした。

4. 結果

本章では、実験によって得られた評価データを分析し、MR システムと動画レッスンの比較を行う。まず、SD 法によるアンケートの結果を示し、次に自由記述アンケートの分析結果について述べる。

4.1 SD 法のアンケート結果

本実験では、動画レッスンおよび MR システムを用いたレッスンのそれぞれについて、SD 法 (Semantic Differential Method) による評価アンケートを実施した。各被験者には、「先進的であるか」「洗練されているか」「直感的であるか」「操作が簡単であるか」「親しみやすいか」「気軽に使用できるか」「効率的であるか」「明瞭であるか」「応答性が高いか」「自然なやり取りが可能であるか」「双方向的なやり取りが可能であるか」という 11 項目について、7 段階で評価

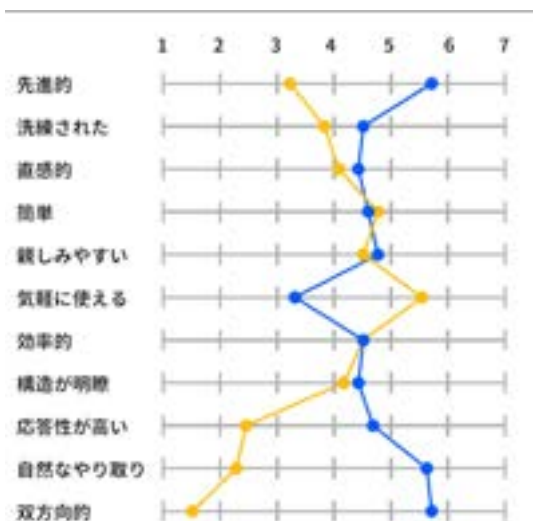


図 9：動画レッスンと MR レッスンの SD 法評価比較

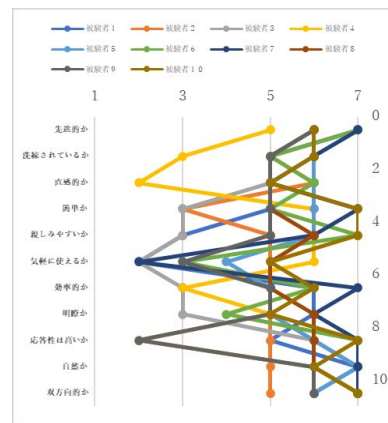


図 8：MR レッスンの SD 法評価結果

を行ってもらった (図 7, 図 8)。

SD 法の結果を集計し、それぞれの結果を図 6 と図 7 に示す。また、動画レッスンと MR システムのそれぞれの平均スコアを算出し、動画と MR の SD 法評価を重ねたグラフを作成した (図 9)。グラフにおいて、黄色は動画レッスンの平均点、青は MR レッスンの平均点を示している。

本結果から、MR システムは「先進的である」「双方向的なやり取りが可能である」「応答性が高い」「自然なやり取りが可能である」といった項目で動画レッスンよりも高い評価を得ていることが分かった。一方で、「気軽に使用できる」「操作が簡単である」といった項目では動画レッスンの方が評価が高い傾向にあった。これにより、MR システムは直感的なインタラクションと双方向性に優れている一方で、操作の習熟に時間を要する可能性があることが示唆された。

4.2 自由記述のアンケート結果

ここでは自由記述で被験者に MR のシステムについて質問して得られた回答のうち特筆すべき回答を掲載する。

Q1: MR システムにおいて、投影モデルを移動させたいと感じましたか？

この質問に対しては全ての被験者がはいと答えた。(100%)

Q2: それはなぜですか？またどのような場面で移動させたいと感じましたか？ (一部抜粋)

・演奏者の全体を見たい場面と部分的に見たい場面で詳しく見たいと思ったから。

・指の位置や弓の角度をもっと正確に見たいときに移動させようとおもった

Q3: MR システムにおいて、実際に投影モデルを移動させましたか？

この質問に対しては 6 名の被験者がはいと答えた。(60%)

Q4: (はいと答えた場合)どのような場面で移動させましたか？また、その場面で移動させた理由などあれば教えてください。(一部抜粋)

・指の位置や弓の角度をもっと正確に見たいと思ったときに移動させた。

・操作ごとにフォーカスしたい位置が違ったから 弦押さえたり弓の持ち方だったり

(いいえと答えた場合) 実際には移動させなかった理由など

あれば教えてください。(一部抜粋)

- ・操作が難しく移動させられなかった。
- ・チェロと弓を持って移動させるのは、両手がほぼぶさがっているのが難しかった。

Q5: MR システムにおいて、投影モデルの角度を変えたいと感じましたか？

この質問に対しては 4 名がはいと答えた。(40%)

Q6: (はいと答えた場合)それはなぜですか？またどのような場面でモデルの角度を変えたいと思いましたか？(一部抜粋)

- ・弦に対して垂直に弓を持つところで、目印になるようなところはないか知りたかった。
- ・向かい合う映像だけでなく同じ向きの映像も見たくなかったから

(いいえと答えた場合) 移動させたいと感じなかった理由などあれば教えてください。(一部抜粋)

- ・特に角度を変える必要を感じなかったから
- ・前面のみで全体像が見えたから。

Q7: MR システムの投影モデルは見やすかったですか？

1 (とても見づらかった) ~ 5 (とても見やすかった) の 5 段階評価で回答については以下のグラフに結果を示す。横軸は被験者番号、縦軸は各被験者の評価である。

(平均=3.0、標準偏差=0.63)

Q8: なぜそう感じましたか？(一部抜粋)

ポイント	コメント
2	画質があまり良くなかったから。
3	モデルの輪郭が歪んでいる点が気になったが、操作で画面を近づければ気にならなくなかったから。
4	色もついていてわかりやすかったから

Q9: 投影モデルはどのように見えましたか？気になった点などあれば教えて下さい。(一部抜粋)

- ・明るく思っていたよりもはっきりと見えた。上下に制限があるのが少し気になった。
- ・古いゲームみたいな解像度と色合いだった。面白いとは思ったもうちょっと鮮明だともっとわかりやすいかも

Q10: 弓の持ち方を教わるのはどちらの方がわかりやすかったですか？

この質問に対しては 7 名が MR と答えた。(70%)

Q11: (MR と答えた場合)それはなぜですか？またどのような点で MR がよいと思いましたか？(一部抜粋)

- ・あっているかどうかをその場で確かめられるから
- ・リアルタイムで指示してもらえること、見たいものを見たい近さや角度で見て学ぶことができたから

(動画と答えた場合) それはなぜですか？またどのような点で動画がよいと思いましたか？(一部抜粋)

- ・動画の方が鮮明で、直感的に学びやすいと思った
- ・どちらもそんなに変わらなかったが、動画のほうが画質が良かったから。

Q12: 弦の抑え方を教わるのはどちらの方がわかりやすかったですか？

この質問に対しては 8 名が MR と答えた。(80%)

Q13: (MR と答えた場合)それはなぜですか？またどのような点で MR がよいと思いましたか？(一部抜粋)

- ・角度が立体的に確認できたため。立体的なところで教える部分が出たときに MR はとてもいいと思った。
- ・押さえる位置の印がなくて感覚でやっていたのでコツとかが聞けて分かりやすかった点

(動画と答えた場合) それはなぜですか？またどのような点で動画がよいと思いましたか？(一部抜粋)

- ・MR は見えなくなってしまうときがあったが、動画は画面が常に固定されていたので見やすかった。
- ・動画のほうが見やすかったから

Q14: それでは、総じて現時点では MR と動画のどちらの方がわかりやすかったですか？

この質問に対しては 8 名が MR と答えた。(80%)

Q15: (MR と答えた場合)それはなぜですか？その判断のもとになった場面やシステムなどあれば教えてください。

また、MR が使いにくいと感じる部分も教えてください。

(一部抜粋)

- ・やはり立体的に教わらないといけない部分は MR の方が良かったと感じたため。少し見づらい部分もあったが、それでも立体的に見えるのはとてもありがたかった。細かい部分をもっと見えたらかなりいいと思う。解像度的な問題な気がした。

- ・動画の方が直感的に分かりやすい部分はあったものの、再生を停止する必要があるとき巻き戻す必要があることがストレスに感じた。しかし、MR では何度も同じ点を教えてもらえるし、気になったことを尋ねることができてストレスにならなかった

(動画と答えた場合) それはなぜですか？MR がわかりにくいと感じた点を教えてください。どのような場面で分かりにくかったですか？(一部抜粋)

- ・レッスンという面では MR のほうが一緒にやってる感じもあり、その場で疑問を解決できてよかった。しかし、動画のほうが気兼ねなく巻き戻せて、好きなところを復習できたため練習しやすかった。
- ・特に分かりにくかったことはないが、移動させることがほとんどなかったため、動画と変わらないと感じた。

5. 考察

本章では、第 4 章で示したデータを分析し、システムの評価および課題について考察する。まず、SD 法による評価アンケートの結果をもとに、MR システムの特性と従来の動画レッスンとの比較を行う。次に、自由記述アンケートの分析結果を示し、被験者の主観的な評価を考察する。最後に、システムの問題点を整理し、今後の改善策について述べる。

5.1 SD 法のアンケート結果より

第 4 章で示した SD 法のアンケート結果を分析すると、MR システムは「先進的である」「応答性が高い」「自然なやり取りができる」「双方向的である」といった項目において、動画レッスンよりも高い評価を得ていた。これにより、遠隔環境においても MR を活用することで、リアルタイムかつ効果的なコミュニケーションが可能であることが示唆される。また、「先進的」と評価されていることから、今後の教育分野における MR 技術の発展に寄与する可能性があると考えられる。

一方で、「気軽に使用できる」という項目では動画レッスンの方が高い評価を得ており、MR システムの利便性には課題が残ることが示された。この要因として、機材のセットアップに要する時間や、HoloLens 2 の装着による物理的負担が考えられる。また、「直感的な操作」という項目においても、動画との顕著な差が見られなかったことから、システムのユーザインタフェースの改善が求められる。

さらに、「効率的である」という項目では動画と MR の評価がほぼ同等であり、現状の MR システムが動画レッスンに対して特別に学習効率を向上させる要素を持っていない可能性が示唆された。今後は、MR ならではの強みを生かし、学習の効率性を向上させる機能の追加が必要である。

5.2 自由記述のアンケートより

本研究では、被験者から MR システムに対する主観的な評価を収集するために自由記述形式のアンケートを実施した。この結果を分析したところ、大きく「投影モデルの操作性」「視認性」「学習効果」の 3 つの観点から意見が得られた。

● 投影モデルの操作性に関する評価

MR システムにおいて、投影モデルを移動・回転できる機能を導入したが、これに関する評価は分かれた。全被験者が「投影モデルを移動させたい」と回答したものの、実際に移動させたのは 6 名 (60%) にとどまった。その理由としては、「移動操作が難しい」「チェロと弓を持っているため両手がふさがる」といった意見が多く挙げられた。

移動操作に関しては、HoloLens 2 のジェスチャー操作に不慣れなことが影響したと考えられる。例えば、被験者の一人は「親指と人差し指でつまむジェスチャーを試みたが、うまく認識されずにモデルが意図しない方向へ動いた」と述べている。また、別の被験者は「チェロの演奏中に操作を行うのは難しく、結局モデルを移動させることはなかった」と指摘した。このように、実際の演奏中における操作性の向上が今後の課題となる。

投影モデルの回転についても評価は分かれた。「角度を変えたい」と回答した被験者は 4 名 (40%) にとどまり、半数以上は「特に必要性を感じなかった」と回答している。その一方で、「演奏者と同じ向きでモデルを見られると理解しやすい」という意見もあり、特定の場面では有効である可能性が示唆された。「指の位置や弓の角度を確認する際に、投影モデルを回転させて詳細を見たかったが、現状の操作では回転がしづらい」と述べた被験者もいた。このことから、ユーザが直感的に視点を調整できる UI 設計の改善が求められる。

● 視認性に関する評価

投影モデルの視認性については、5 段階評価で平均 3.0 となり、中程度の評価にとどまった。具体的な問題点として、「モデルの輪郭が歪む」「弓を持つ指が実際よりも大きく表示される」「モデルが不鮮明で細かい動作が見えづらい」などの意見が寄せられた。特に、被験者の一人は「指の押さえ方を確認しようとしたが、投影モデルがぼやけていて詳細が分かりにくかった」と指摘しており、解像度の向上が求められる。

さらに、投影モデルの一部が視界から消えてしまう現象についても意見が寄せられた。本システムでは Kinect 1 台で撮影しているため、被写体の後方部分が映らないという問

題があった。ある被験者は「腕を前に動かした際、体の一部が影のように見えなくなってしまった」と述べており、視覚的な一貫性を保つためには、カメラの設置方法や撮影角度の調整が必要である。

● 学習効果に関する評価

本システムの学習効果に関しては、8 名 (80%) の被験者が「動画よりも MR の方が優れている」と回答した。特に「弓の持ち方」「弦の押さえ方」の学習において MR が有効であるとする意見が多かった。ある被験者は「弓の持ち方を正しく学ぶためには、実際にどのように手が動くのかをリアルタイムで確認できる MR の方が効果的だった」と述べている。別の被験者は「指の押さえる位置を立体的に確認できるため、どの角度で力を入れるべきかが分かりやすかった」と評価した。

一方で、動画の方が優れていると回答した被験者 (2 名) は、「動画は繰り返し視聴できるため、自分のペースで学習しやすい」「MR はリアルタイム性があるが、細かい部分をじっくり確認するのには向いていない」といった意見を述べた。このことから、MR システムには動画のような「再生・巻き戻し機能」を補完する仕組みを導入することで、より効果的な学習環境を構築できると考えられる。

また、「リアルタイム性と双方向性が MR の最大の強み」とする意見が多く見られた。例えば、「動画では一方的な情報提供になるが、MR ではその場で質問できるため、より深い理解につながる」と述べた被験者がいた。この点は、MR システムが動画レッスンに対して明確な利点を持つことを示している。

● 総合的な評価と改善点

自由記述アンケートの結果から、本システムは「リアルタイム性」「立体的な視認性」「双方向的な学習環境」といった点で高く評価されたものの、「操作の難しさ」「投影モデルの視認性」「反復学習のしやすさ」などに課題があることが明らかとなった。

投影モデルの操作性に関しては、特に「ジェスチャーの認識精度」や「両手がふさがる状況での操作」の改善が求められる。また、視認性の向上のためには「解像度の向上」「カメラの台数増加」「映像処理の最適化」などが必要である。さらに、動画の長所を補完するため、「学習履歴の記録」「再生・巻き戻し機能の追加」などの改善策を検討することで、MR システムの実用性をより高めることができると考えられる。

本研究で開発した MR システムは、従来の動画レッスンに比べて、演奏技術の習得に有効であることが示された。しかし、実際の使用環境においては、操作性や視認性の課題が明らかとなった。これらの点を改良することで、より直感的かつ効果的な遠隔レッスンシステムの構築が可能になると考えられる。

5.3 システムの問題点と改善策

本研究の結果を踏まえ、本システムの課題とその改善策を以下の3点に整理する。

(1) 機材の普及性と操作性

MR システムの最大の課題の一つは、機材の普及率が低く、入手が困難である点である。HoloLens 2 および Azure Kinect DK はすでに生産終了となっており一般の学習者が手軽に利用することが難しい。この問題に対しては、より汎用的な機材を活用する方法が考えられる。例えば、スマートフォンやタブレットを用いた AR 技術を応用することで、多くの学習者がアクセス可能なシステムを構築できる可能性がある。

(2) 操作の直感性の向上

現在のシステムでは、投影モデルの移動や回転の操作が難しく、被験者の多くが操作に苦労していた。この問題を解決するためには、より直感的な操作方法を導入する必要がある。例えば、Unity の MRTK3 を活用した Object Manipulator や Bounding Box を実装することで、より自然なジェスチャー操作を可能にすることができる。さらに、システムの操作を練習できる試用モードを導入し、利用者がレッスン前に操作方法を習得できる環境を整備することも有効である。

(3) 映像品質の向上

被験者の意見から、投影モデルの画質が低く、一部の細かい動作が確認しづらいという課題が挙げられた。この問題を解決するためには、より高解像度のカメラを用いる、あるいは Kinect を複数台設置して異なる角度からの映像を統合する手法が考えられる。しかし、これらの手法はコストや機材の設置難易度を高めるため、今後の研究では映像の補正技術についても検討する必要がある。

6. まとめ

本研究では、チェロの学習における障壁を軽減し、遠隔指導の効果を高めるために、MR (Mixed Reality) 技術を活用したレッスン支援システムを開発した。本システムは、HoloLens 2 と Azure Kinect DK を使い、教師と生徒の姿をホログラムとして投影することで、リアルタイムでの指導を可能にした。

本システムの評価として、SD 法によるアンケート調査と自由記述アンケートを実施した。結果として、「双方向性」「応答性」「視認性」といった点で、MR レッスンが従来の動画レッスンを上回る評価を得た。一方で、「操作の直感性」「手軽さ」といった項目では動画の方が優れていると評価された。また、自由記述の分析では、リアルタイムでの指導の有効性が指摘された一方で、操作の難しさや HoloLens の重量、解像度の低さなどが課題として挙げられた。

本研究の成果は、従来の遠隔学習システムが抱えていた課題を克服する新たな手法を提示するものである。しかし、操作性の向上やデバイスの軽量化、映像の品質向上など、

さらなる改良が求められる。今後の研究においては、より直感的なインターフェースの開発や、ハードウェアの進化に対応したシステムの改善を進めることで、より実用的な遠隔チェロレッスンの実現を目指す。

謝辞

本研究の遂行にあたり、多大なご支援をいただいた日本マイクロソフトの千葉慎二氏に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 一般財団法人ヤマハ音楽振興会, “楽器演奏に関する調査. 働く男女, 3人に1人以上は今後楽器を始めたい! 一方, 4割は挫折経験あり. 始めたい楽器 1位「ピアノ」一緒に楽器を演奏したい俳優ランキングトップ 10,” PRTimes, 2022 年 3 月 30 日. [Online]. Available: [https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000004.000024395.html](https://prt看times.jp/main/html/rd/p/000000004.000024395.html) (参照 2025-01-23).
- [2] Microsoft, “Mixed Reality とは,” Microsoft, 2023 年 3 月 21 日. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/ja-jp/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality> (参照 2025-01-23).
- [3] Y. Murase, K. Takashima, and K. Nishimoto, “GP-Mixer: A System That Enables Individual Adjustment of Musical Instrument Practice Environments Within Groups,” Interaction, 2018.
- [4] Y. Yamaguchi, et al., “Development and Evaluation of a Musical Performance Support System Using Smart Glasses: A Study on Posture, Gaze, and Performance Evaluation,” Journal of the Japanese Society for Educational Technology, vol. 46, Suppl., pp. 185-188, 2023.
- [5] Microsoft, “Holoportation,” Microsoft Research, [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/holoportation-3/> (参照 2025-01-23).
- [6] S. Chiba, “Microsoft HoloLens の技術とその活用,” CIR NII, [Online]. Available: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1390282763122992768> (参照 2025-01-23).
- [7] S. Chiba, “The New World Which Mixed Reality Brings,” Journal of the Virtual Reality Society of Japan, 2021.
- [8] J. M. M. Montoya and A. G. Salazar, “Remote Learning and Music Education: A Systematic Review,” International Journal of Music Education, vol. 39, no. 3, pp. 201-216, 2021.
- [9] C. Johnson and P. Thomas, “Augmented Reality Applications in String Instrument Learning,” Proceedings of the International Conference on Music Education Technology, 2022, pp. 98-105.
- [10] S. Mehta, “Microsoft’s Azure Kinect Developer Kit Technology Transfers to Partner Ecosystem,” Microsoft Tech Community Blog, [Online]. Available: <https://techcommunity.microsoft.com/blog/themixedrealityblog/microsoft-%e2%80%99s-azure-kinect-developer-kit-technology-transfers-to-partner-ecosystem/3899122> (参照 2025-01-23).