

平成 29 年度 卒業論文

ギター初心者のための演奏練習支援システム

指導教員 北原 鉄朗 准教授

日本大学文理学部情報科学科

宇田川 真唯

2018 年 2 月 提出

概 要

ギターは人気で身近な楽器となっている。バンド演奏には欠かせない楽器の一つであり、さらに近年ではギターの形を模したリズムゲームが数多く世の中に出てきている。

ギターの演奏としてコード演奏があげられる。コード演奏の一般的な練習方法として、上級者の演奏を動画などで見て真似る方法がある。しかし、動画によっては手の形のみを教えているものや弾き方は教えているが、コードを教えていない動画など、必ずしも真似しやすいものとは限らない。

本稿では、主要なコードを弾くための指の押さえ方をコンピュータグラフィックスで表示するギター演奏支援システムを提案する。また、ギター音(ギターから鳴る音)から特徴を抽出し、手本の音とパターンマッチングを行うことで正しく弾けているかどうかの判定と正しくなかったときの改善策の出力についても検討する。これらにより、初心者でも簡単にギター演奏の練習ができるシステムの実現を目指した。

評価実験で、本研究が提案するシステム、コンピュータグラフィックスのみ搭載されたシステムの比較法1、ギターが正しく弾けているかどうかの判定のみ搭載された比較法2の3つを比較した。実験の結果、被験者に対するアンケートでは、提案法と比較法1、比較法2とで十分な差は得られなかった。また、本システムによる練習の前後でCコードの演奏をしてもらったところ、練習前よりも練習後の方が演奏音の正しさは6.6 %から13.2 %に向上したものの、向上の幅は比較法2に比べると小さかった。次に、練習時間を15分に延長(当初の実験では5分)して、

同様の実験を行ったところ、演奏音の正しさは 7.0 % から 42.0 % に向上することができた。比較法 1, 比較法 2 との比較は行っていないものの、練習時間によってはコードの弾き方を習得できる可能性が示唆された。

目 次

目 次	iii
図 目 次	v
表 目 次	vii
第 1 章 序 論	1
1.1 本研究の背景	1
1.2 本研究の目的	2
1.3 本稿の構成	3
第 2 章 関連研究・システム	5
2.1 ギター演奏に関する関連研究	5
2.1.1 拡張現実感を用いたギターの演奏支援システム [3]	5
2.1.2 音楽指導の模範:拡張現実ギターの学習システム [4]	5
2.1.3 弾き易さを考慮したギター・コードフォーム列探索システム [5]	6
2.1.4 ミュージカルパフォーマンスの支援システム [6]	6
2.1.5 エレキギター演奏自動評価のための音響的特徴量の調査 [7] .	6
2.1.6 初心者向けのギター教則システムの作成 [8]	7
2.2 演奏支援に関する関連研究	7
2.2.1 自学自習を妨げないピアノ学習支援システム [9]	7

2.2.2	間違いの認識による演奏習得支援システム [10]	8
2.2.3	演奏予想によるピアノ学習支援システム [11]	8
2.3	関連研究との類似点・相違点	8
第 3 章	システムの構成	11
3.1	システムの概要	11
3.2	弦の押さえ方の CG による説明	12
3.3	正しい音を出せているのかの自動判定	12
3.4	正しい音が出せていない場合の典型的な原因を提示	15
第 4 章	評価実験	17
4.1	実装	17
4.2	正音・誤音の判定の評価	17
4.3	システムの評価	19
4.3.1	実験環境	19
4.3.2	実験方法	21
4.3.3	実験結果	21
4.3.4	考察	22
4.4	追加実験	23
4.4.1	実験環境	23
4.4.2	実験結果	23
4.4.3	考察	24
第 5 章	結 論	27
5.1	結論	27
5.2	今後の展望	28
	参考文献	29

目 次

3.1	一連の流れ	13
3.2	本システムの画面例	14
3.3	誤音判定時の結果	15
3.4	正音判定時の結果	16
4.1	実験の流れ	20
4.2	比較法 2 で使用した画像	20

表 目 次

4.1	WAV データベース (個)(A~D は演奏者を表す)	18
4.2	データベース作成時の演奏者の詳細	18
4.3	クロスバリデーションでの正誤評価結果	19
4.4	提案法および比較法の仕様	19
4.5	アンケート内容	21
4.6	正誤判定時正しい判定結果が出た確率	22
4.7	アンケート結果	22
4.8	被験者ごとの演奏正解率	24
4.9	アンケート結果 (追加実験)	25

第1章 序 論

本章では，研究の背景，目的を述べた後，本稿の構成を述べる．

1.1 本研究の背景

近年，ギターは若者の中で人気が出てきている楽器の一つである．多くの人が趣味やバンド演奏の一部としてギター演奏を楽しんでいる．なかには，ギターの演奏を模したリズムゲームなども存在する [1][2] ほどギターは世の中に普及されている楽器である．

具体的なギター演奏習得の 1 つの方法としてコード演奏の習得があげられる．コード演奏の一般的な練習方法として，プロの講師に教わることやギターの教本に沿って練習する方法，上級者の演奏を動画などで見て真似をする方法がある．しかし，講師に教わるには時間の制限や金銭面の負担が考えられる．また，動画や教本によっては必ずしも真似しやすいものであるとは限らない．その例として，動画の手の形を演奏者が完璧に真似をしているつもりでも力が弱くて音が出ないなど，演奏するときに映像通りの手の形ができていても音がうまく出ないことが挙げられる．

ギター演奏の習得を支援するシステムの研究はいくつか行われている．AR を用いて正しい手の形を提示するもの [3][4] や，ユーザが最も弾き易い指の配置や手の動きを決定するシステム [5]，初心者向けのギター教則システム [8] などが開発されている．しかし，これらの研究では，ユーザの演奏音を評価する機能はなく，上述のような力が弱くて音が出ない場合に，演奏者はなぜ自分が正しく弾けていない

かがわからないことも考えられる。また、演奏音の評価がないと実際に演奏者は正しく演奏できているかどうかかわからない可能性が残る。一方、下尾らは演奏の自動評価に適した音響的特徴を調査した。ギター演奏に対する専門家の主観的評価を目的変数とし、説明変数として適した音響特徴量を検討した [7]。しかし、正常に音が出ている演奏音を対象としており、初心者が正しく発音できていない状況は扱われておらず、音の客観的評価はあるが、演奏のための支援はない。このように、分かりやすい手本の提示と演奏音の評価や分析の両方に着目した研究はほとんど行われていない。

1.2 本研究の目的

本研究では、ギターに初めて触れる人を対象としたギター練習支援システムを構築する。ギター演奏の方法の1つとして動画やWebサイトの画像を参考にして手の形を似せて演奏するが、見本としている手の形が必ずしも真似がしやすいものであるとは限らないため、演奏者が手の形に自信を持つのが困難な場合がある。これを、「手本画像の問題」と呼ぶ。また、演奏者は手本通りに手を真似て演奏しているつもりでも、演奏してみると音が鳴らない場合や不自然な音が鳴る場合が多い。これはユーザの指の力が弱く、弦の押さえが不十分であることや、指で押さえることで手のひらや指の腹で開放弦に無意識に触れてしまっていることなどから、音が正しく発音されない場合がある。これを、「演奏音評価の問題」と呼ぶ。

本研究では、この2つの問題の両方を解決していくことを目指す。そのため、本システムで見本の手の真似をしながら演奏して、演奏者のギター音から音響的特徴量を抽出することにより、手本と音の両方を考慮して演奏支援をすることによって演奏者が効率的に正しくギターの音が鳴らせるようにすることが望ましい。

1.3 本稿の構成

本稿は次の構成からなる．第2章では，楽器演奏支援に関する先行研究例を述べ，本研究との類似点と相違点について述べる．第3章では，本研究で提案するシステムの概要と構成について述べる．第4章では，評価実験とその考察について述べ，第5章で本研究の結論と今後の課題について述べる．

第2章 関連研究・システム

ここでは関連する研究や，システムを紹介する．これらの課題について述べたあと，本研究との類似点と相違点について述べる．

2.1 ギター演奏に関する関連研究

2.1.1 拡張現実感を用いたギターの演奏支援システム [3]

この研究は，AR マーカーのついたギターをユーザが持ってコンピュータ内でカメラに映った自分と手本で出力される半透明の手のモデルを利用して，あらゆる角度からギター演奏時の手の形を真似てコード弾きの演奏支援をするシステムとなっている．また，カメラ内でマーカーが見えなくなっても反応する構造になっているため，大きな動きやユーザの手によってマーカーが隠れてしまう症状を改善している．これにより，ユーザは正確に安定した状態で演奏練習が可能となっている．課題としてギターに直接マーカを取り付ける必要があるため，ユーザが演奏する際に邪魔してしまうことがある．

2.1.2 音楽指導の模範:拡張現実ギターの学習システム [4]

この研究は，AR マーカーを利用してユーザの練習時の行動を意識して演奏支援するシステムとなっている．大まかな内容としては先に挙げた ARGuitar[3] に類似しているがシステムそのものはこの研究では単音ごとの支援となっている．ま

た, Fretlight ギターといったギターの指板が光って押さえる場所を教えてくれるギターを用いることにより, ギターのネック部分に小さな赤い光を映す仕組みである.

2.1.3 弾き易さを考慮したギター・コードフォーム列探索システム [5]

この研究は, ギター初心者に着目したコード弾きの際に, ユーザがもっとも弾き易い指の配置や手の動きを決定するシステムである. 実演奏時のミスの量から最小二乗法によって求めた負荷値に基づいて判定するため, ユーザにあった結果が期待できるシステムである.

2.1.4 ミュージカルパフォーマンスの支援システム [6]

この研究は, コンピュータ・グラフィクスを使用したミュージカルパフォーマンス支援システムである. この研究は教育プログラムを作成して, ギター以外の楽器もシステムを用いてピッチを一定にさせることで協調性のある楽器の公演が可能となっている. 実際にこの研究ではギターとベースのピッチについて研究をおこなっているものである.

2.1.5 エレキギター演奏自動評価のための音響的特徴量の調査 [7]

この研究は, エレキギターの単音に着目した演奏支援システムとなっている. ギターの音響信号から演奏を自動評価するものとなっている. ユーザが演奏した際に音響的特徴量として, Lag (音の鳴り止め始めから次の音が鳴るまでの時間) と, Tone Stability および Tone Variance (メル周波数ケプストラム係数を用いた音色の不安定さを表す指標) などを取り, 演奏の評価を調査したものである.

2.1.6 初心者向けのギター教則システムの作成 [8]

この研究は、ギターの雑誌や入門書、ビデオやDVDなどの教則をインターネット上で公開してしるシステムとなっている。ギターを触ったことのない人にもわかるように、ギター各部の名称からはじまり、チューニングの仕方、主要コードの押弦の仕方、基本となるストロークパターンを経て、簡単な練習曲を弾けるまでを実際に音を聴きながら視覚的にも聴覚的にも楽しみながら学ぶことができるというものになっている。初心者、入門者向けに作成されており、必要最低限の内容は入っているので実用性はあると思われる。しかし、Web 公開するにはデータサイズの問題などが課題として挙げられている。

2.2 演奏支援に関する関連研究

2.2.1 自学自習を妨げないピアノ学習支援システム [9]

この研究は、ユーザがピアノの演奏をする際に、曲を一通り演奏したいときに、間違いやすい部分やユーザがきちんと弾けていなかった部分を読み取り、支援が必要だと認識した部分のみをシステム側が判断してフィードバックを行うものとなっている。Web カメラが楽譜上部に取り付けられ、ユーザが演奏するピアノのすぐ上に手本の演奏がワンテンポ早く流れるようになっている。ユーザはその手本を真似して間違った部分を押しユーザが演奏をやめたときにピアノ上部のシステムが正しい弾き方を改めて表示していく。これにより、ユーザは目で見てわかりやすい状態で練習することが可能になった。しかし、ユーザが演奏しながら楽譜を見る際に楽譜と手本と自身のピアノと多くの視点移動が必要になるため、少ない視点移動で演奏ができるようにすることが課題である。

2.2.2 間違いの認識による演奏習得支援システム [10]

この研究は、演奏現在位置解析の手法を用いてシステムが演奏上の誤りを認識し、ユーザに指摘することで演奏習得を支援するシステムとなっている。具体的な演奏ミスとして音抜けや音間違いや演奏順序変更などの誤りを認識できるものとなっている。誤認識は1%未満と高精度なシステムである。

2.2.3 演奏予想によるピアノ学習支援システム [11]

この研究はピアノ学習スピードを上げるためのシステムである。このシステムでは指の姿勢や演奏手にあわせたマッピングを表示して演奏の支援をおこなっている。演奏後に有効なフィードバックとパフォーマンス評価で自然の学習プロセスをサポートしている。しかし、ピアノから出る音は評価対象とはされていない。

2.3 関連研究との類似点・相違点

本研究は、主に見本の手の画像とギターから出る音の2点を対象にしている。2.1節、2.2節であげた既存研究のうち、ユーザの手の動きを読み取り、正誤判定を行う研究 [3][4][5][8] で、「手本画像の問題」については手本の映像を演奏者に照らし表示する点で解決されている。しかし、これらは演奏音の評価には触れていないので「演奏音評価の問題」は解決できていない。また、ユーザの演奏に対して音の滑らかさや音の長さなど細かく分析した結果を調査する研究 [7] は、「演奏音評価の問題」については演奏した音を実際に特徴を抽出して評価している点で問題を解決している。しかし、音の分析のみなので練習支援システムとは内容が異なる。このように、先にあげた既存研究で「手本画像の問題」と「演奏音評価の問題」の両方に関連したシステムは存在しなかった。手の形や抑える弦が明確でも力が弱い女性の演奏者や正しい音が判断できていても手の形が正しくない演奏者

が正しく音を鳴らすことができる演奏を期待するのは難しい．演奏者が弾いた音を客観的にみて，それが正しく弾けているものなのかを判定するものが必要である．本研究では，演奏者の音と手本画像の両方に着目したシステムを考える．

第3章 システムの構成

本章では，システムの概要と構成について述べる．

3.1 システムの概要

本研究の目的はギター初心者が正しい音でコード演奏ができるようになることである．こうした状況で練習方法の1つとして考えられるのは，動画や Web サイトの手の形を真似して練習する方法である．しかし，この練習方法だと手で覆われている部分の手の形がわからないことやユーザがどの程度正しい音が鳴らせているのか自分で判断できない．また，音が鳴っていないとわかったときにどう改善すればいいのかわからないことがある．従って，手本の手を真似ることに加えて，ユーザがどの程度音を正しく弾けているのか客観的に知ることができ，弾けていなかった場合に典型的な改善方法を見本の画像と音の分析によって出力するような方法が必要である．この方法を実現するには次の3つの機能を備える必要がある．

1. 弦の押さえ方を CG で説明する機能
2. 正しい音が出せているのかの自動判定する機能
3. 正しい音が出せていない場合の典型的な原因を提示する機能

まず，1. で写真や動画では見えない部分や注意して弾かなければいけない部分を CG を用いて表示する．また，弦ごとに異なる色が付けられた特別な弦をギターに

張り，画面上にはその弦と同じ色で表示することで，押さえる部分を把握しやすいようにする．これを用いてユーザは最初に手の形の練習を行う．

次に，2. でユーザにコードを演奏してもらう．ただし，音の正しさを弦ごとに判定するため，弦ごとに単音で弾いてもらう．そして，演奏してもらった音が正しく弾けている音かどうかを判定する．

最後に，3. で，ユーザが弾いた音が正しくなかった場合，その原因として予想されるものを CG を用いて出力する．

この処理の流れの詳細を 3.2 節～3.4 節で述べる．

3.2 弦の押さえ方の CG による説明

本システムは Web カメラを使用してユーザのギターと手の映像をディスプレイ上に出力する．さらに，本システムの右上部に正しいコードを弾くための手の形を出力することで 1 画面内でユーザ自身の手と手本をまとめてみる事が可能となっている．さらにシステム内のカメラを鏡のように映すことにより，ユーザは鏡の中で手本と自身の手どちらも同じ視点の状態で演奏しているような感覚を得ることができ，練習のしにくさを軽減している．これにより，ビデオで練習していた時の鏡となっている映像の視点の不一致による練習のしにくさ解消と自身の手を客観的にみることでよりきれいなフォームで演奏することが期待できる．実際のシステムの画面例を図 3.2 で示す．

3.3 正しい音を出せているのかの自動判定

ユーザが指示通りに弦を押さえてもうまく音がならないことがある．この理由として，弦を押さえる力が弱い場合や，指が寝ていて他の弦に触れている場合などが考えられる．そこで，正しく音が出ているかどうかを以下の方法で判定する．

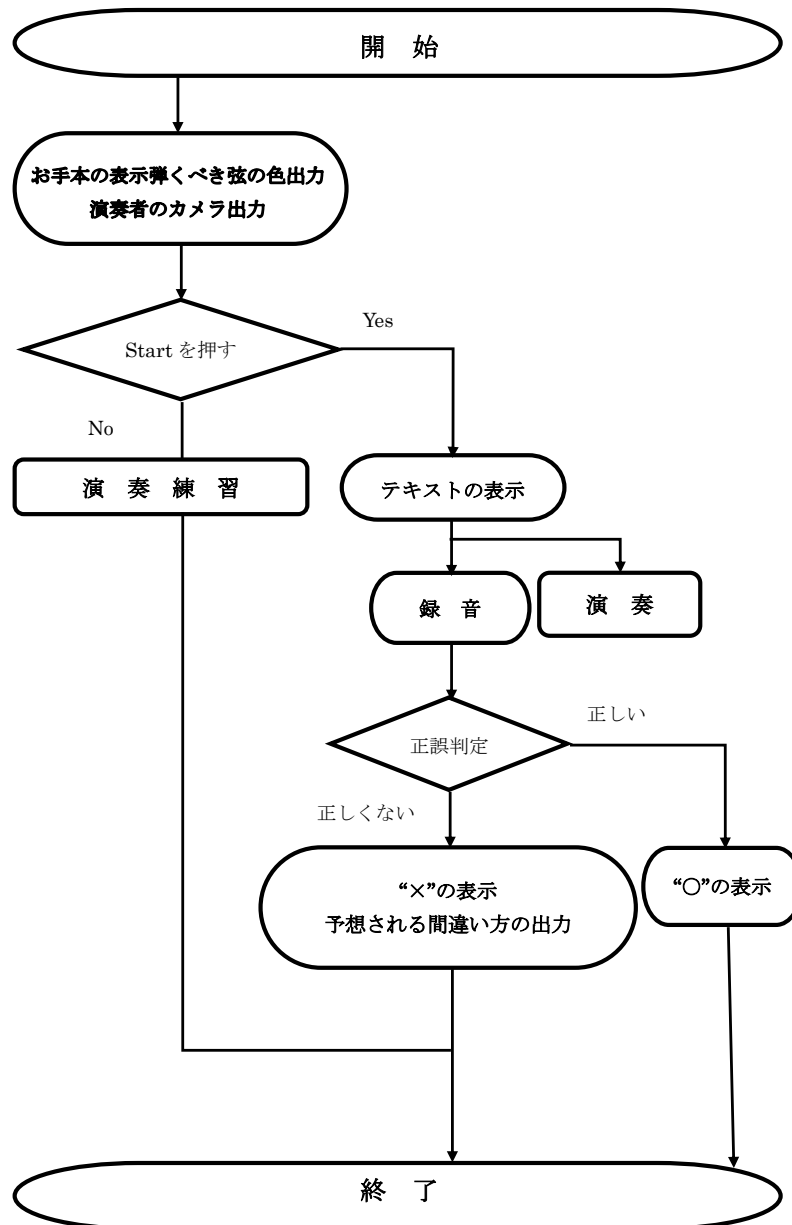


図 3.1: 一連の流れ



図 3.2: 本システムの画面例：画面右上に CG を用いて作成したお手本の画像を表示してユーザのカメラを映す．右下のボタンをクリックすることでテキストの表示とギター音の録音と正誤判定が行われる．

1. ユーザに各弦を別々に 1 秒間弾くように指示する．スタートボタンを押すと，テキスト表示で各色の弦が指定される．弾くタイミングのカウントダウンがあり，“弾いて！”のテキスト表示にタイミングを合わせてユーザが当該弦を演奏する．
2. 各弦の演奏音に対して 100ms ごとに高速フーリエ変換（FFT）を行い，12 次元クロマベクトルを抽出する．
3. 100ms ごとの 12 次元クロマベクトルに対して時間軸方向に平均を取り，12 次元の特徴ベクトルを得る．
4. あらかじめ用意した正しく弾けている音（正音と呼ぶ）と正しく弾けていない音（誤音と呼ぶ）のデータベースを用い， k -NN 法により正しく音が出ているかどうかを判定する．

3.4 正しい音が出せていない場合の典型的な原因を提示

誤音と判定された弦については、典型的な原因として「しっかり指を立てましょう（解放弦です）」「力が弱いです。強く押しましょう」「押さえる場所は正しいですか？」「6 弦を弾いていませんか？」の 4 点についてデフォルメされた説明を CG とともに表示する。誤音と判定された場合の画面例を図 3.3，正音と判定された場合の画面例を図 3.4 に示す。

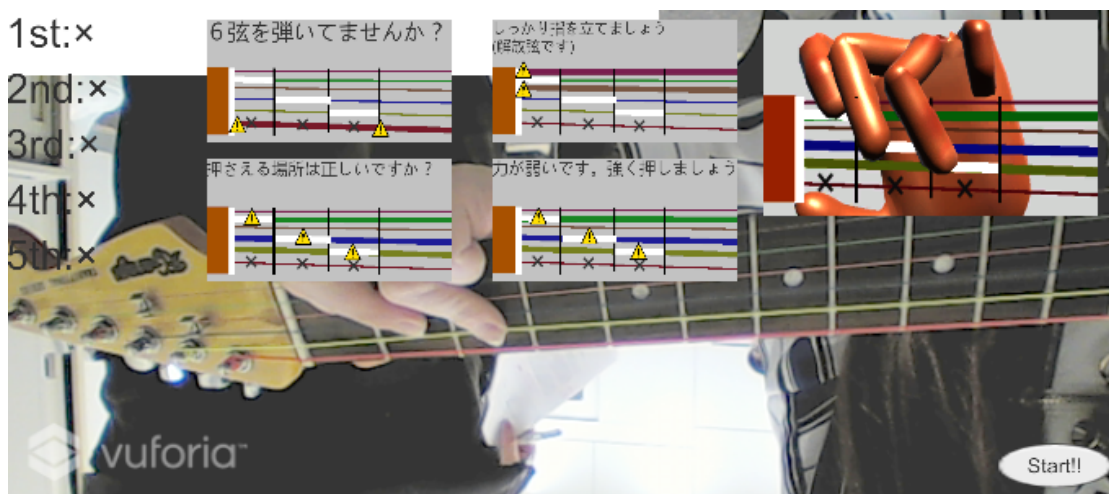


図 3.3: 誤音判定時の結果：左部に表示される○×の正誤判定で×が表示されたときのみ画面上部の CG 画像 4 枚が表示される仕様となっている。



図 3.4: 正音判定時の結果：左部に表示されている○×の正誤判定がすべて○だったときは CG 画像は表示されない。

第4章 評価実験

本章では3章で述べたシステム内の一部のコンテンツを比較した実験とクロスバリデーションによる正誤判定機能の評価について述べる。その後、本システムの被験者実験について述べる。

4.1 実装

今回は、Cコードの演奏に限定したうえで3章で述べたシステムをUnityを用いて実装した。演奏音の正しさを判定するために使用するデータは3名のギター経験者(A, B, C)と1名の未経験者(D)に演奏してもらい作成した。なお、未経験者は誤音のデータのみ利用した。3.4節で挙げた4つの典型的な原因の前半2つを「弾き方の問題」にまとめ、後半2つを「弾く場所の問題」にまとめた2分類でデータベース(表4.1)を作成した。演奏者の詳細を表4.2に示す。

4.2 正音・誤音の判定の評価

3.1節で述べたものを用いて10フォールドクロスバリデーションを行った。クロスバリデーションの結果を表4.3に示す。1~3弦で90%, 4, 5弦で85%の正解率が得られ、正音と誤音の判定を高精度に行えることが分かった。その中でも、1~3弦に比べて4, 5弦の正解率が低いのは、これらの弦は太く、音の減衰が遅いことが関係していると考えられる。本手法では1秒間のクロマベクトルの平均を用いて k -NN法で正誤判定を行う。指が寝ていたり力が足りなくて音が出ていない場

表 4.1: WAV データベース (個)(A~D は演奏者を表す)

	正音			誤音							
				弾き方の問題				弾く場所の問題			
	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C	D
1 弦	20	20	10	12	6	8	8	4	4	4	4
2 弦	20	20	10	9	6	6	5	9	6	6	5
3 弦	20	20	10	12	6	8	8	4	4	4	4
4 弦	20	20	10	9	6	6	5	9	6	6	5
5 弦	20	20	10	6	3	4	4	8	9	8	8

表 4.2: データベース作成時の演奏者の詳細

A	ギター歴 2 年	女性
B	ギター歴 4 年	女性
C	ギター歴 1 年	女性
D	ギター歴 1 年未満	男性

合、音がすぐに減衰し、クロマベクトルの各要素間の違いが小さくなることが予想される。これにより、1~3 弦は弦が細いことから減衰が速く、クロマベクトルの各要素間の違いが明確に出ていることがあった。しかし、4 弦、5 弦は弦が太いため、弦の押さえ方が不適切でもすぐに音が減衰せず、正音との違いが明確ではないことがあった。このことが一因であると考えられる。よって、4、5 弦の精度をさらに上げるにはより細かな時間で特徴抽出を行うか、複数の特徴抽出の方法を用いることが必要であると予想する。

表 4.3: クロスバリデーションでの正誤評価結果

弦	正音	誤音	平均
1	90 %	90 %	90 %
2	86 %	96 %	91 %
3	98 %	86 %	92 %
4	92 %	80 %	86 %
5	88 %	82 %	85 %

表 4.4: 提案法および比較法の仕様

	見本 CG	音分析
提案法	○	○
比較法 1	○	×
比較法 2	×	○

4.3 システムの評価

4.3.1 実験環境

被験者は 10 人ずつ 3 つのグループに分かれてもらう。グループ 1 つ目の 10 人には提案法，グループ 2 つ目の 10 人には比較法 1，グループ 3 つ目の 10 人には比較法 2 をそれぞれ利用してもらう。表 4.4 に示すように，比較法 1 は提案法から音分析を，比較法 2 は提案法から見本 CG を省いたものである。なお，比較法 2 の見本 CG の部分では図 4.3 を使用した。被験者は全員ギター未経験者である。1 人ずつギターと Web カメラのついたパソコンとライン入力用のオーディオインターフェースをつないだ状態で実験してもらう。

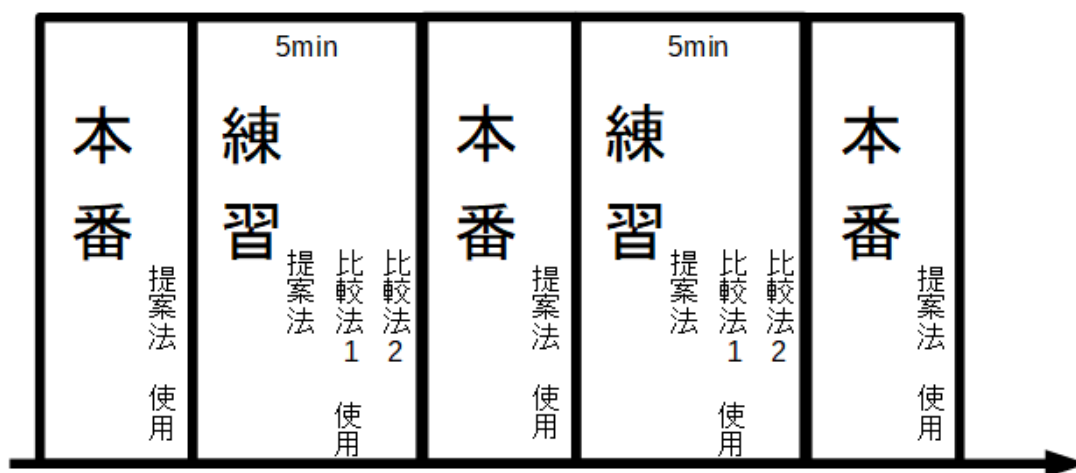


図 4.1: 実験の流れ

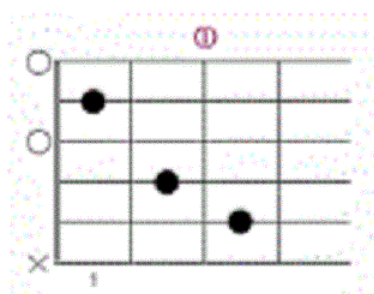


図 4.2: 比較法 2 で使用した画像

表 4.5: アンケート内容

Q1	見本に沿った弦の押さえ方はできましたか？	10 点満点評価
Q2	自分の演奏フォームの把握は簡単でしたか？	10 点満点評価
Q3-1	右上に表示されていた見本画像は見やすかったですか？	10 点満点評価
Q3-2	具体的にどの部分が見やすい/見にくかったですか？	自由記述
Q4	自分の弾いた弦の音は正しいと判断できましたか？	10 点満点評価
Q5	弦を押さえる指の力は適切だと判断できましたか？	10 点満点評価
Q6	本システムの使いやすさはどうでしたか？	10 点満点評価
Q7	自分がどんな間違いをしていたのか把握できましたか？	10 点満点評価
Q8-1	本システムのフィードバックには気づきましたか？	2 択選択
Q8-2	フィードバックはどの程度参考になりましたか？	10 点満点評価

4.3.2 実験方法

最初に被験者に提案法を利用して C コードを演奏してもらい、その後、5 分間練習してもらい、練習時は 3 つのグループから 1 人 1 システム利用してもらい、C コードを 5 分練習してもらった後、再び 1 通り演奏してもらい、これを 2 回繰り返す。最初と中間と最後に演奏してもらった際に録音をした。また、被験者には演奏後アンケート用紙の記入に協力してもらった。実験の流れについてを図 4.1 に、アンケート内容を表 4.5 に示す。

4.3.3 実験結果

表 4.6 に自動判定結果の正しい演奏がされたと判定した割合を示す。また、アンケートの集計結果の平均点とその分散を表 4.7 に示す。結果から、提案法よりも比較法 2 のほうが練習後の正解率が 10 % 近く高いことが分かった。

表 4.6: 正誤判定時正しい判定結果が出た確率

割合	練習前	練習後
提案法	6.6 %	13.2 %
比較法 1	5.8 %	11.6 %
比較法 2	5.8 %	23.2 %

表 4.7: アンケート結果

Q	提案法		比較法 1		比較法 2	
	平均	分散	平均	分散	平均	分散
Q1	5.5 点	2.7	6.5 点	2.5	5.1 点	2.9
Q2	5.8 点	1.4	5.1 点	1.7	5.9 点	3.3
Q3-1	6.2 点	2.6	6.4 点	2.0	7.1 点	3.0
Q4	3.9 点	2.7	5.1 点	2.5	5.4 点	3.0
Q5	3.6 点	2.8	5.8 点	2.3	4.8 点	2.9
Q6	6.2 点	2.4	5.8 点	2.3	7.2 点	2.0
Q7	6.0 点	3.6	4.2 点	2.7	6.4 点	2.7
Q8-2	7.0 点	1.7	-	-	6.4 点	0.5

4.3.4 考察

表 4.6 から、提案法よりも比較法 2 のほうが約 10 % 以上演奏習得率 (練習後と練習前の演奏正解率の差) が高いことが分かった。このことから 2 つの原因が予想できる。

1. 見本の CG 画像が弦の色や手の形の面で内容不十分だった。
2. 練習時間が短すぎた。

CG 画像が適切でなかったと仮定すると、アンケートの Q3. が最も関連性があると

考えられる．実際に Q3-2 の自由記述内容を確認したところ，3 名の被験者から弦の色が見えにくいという意見がでていた．しかし，Q3-1 の平均点は，提案法と比較法 2 のそれぞれで 6.2 点，7.1 点であった．このことから，CG 画像を利用していない比較法 2 と平均点で差が小さかったため，CG 画像の内容が不十分であった可能性は低いと考えられる．次に練習時間の長さが原因という仮説に基づき，これを検証するため練習時間を延ばした追加実験を行った．その内容と結果について 4.4 節で述べる．

4.4 追加実験

4.4.1 実験環境

被験者は 3 名で全員，提案法のみの実験である．被験者には最初に C コードを演奏してもらう．その後，15 分間練習してもらう．練習後に再び 1 通り演奏してもらう．これを 2 回繰り返す．最初と中間と最後に演奏してもらう際に録音をする．また，被験者には演奏後アンケート用紙の記入に協力してもらった．アンケート内容は同様に表 4.5 を使用した．なお，今回の研究では比較法 1 と比較法 2 との比較は行っていない．

4.4.2 実験結果

自動正誤判定で正しい演奏ができていた被験者ごとの割合を表 4.8 に示す．また，アンケートの結果を表 4.9 に示す．結果として，5 分間の練習時間でおこなった実験では演奏習得率が 13 % だったのに対して，15 分間の練習時間で行った追加実験では演奏習得率が 40 % だった．

表 4.8: 被験者ごとの演奏正解率

	1 回目	2 回目	3 回目
被験者 1	0.0 %	0.0 %	20.0 %
被験者 2	20.0 %	20.0 %	60.0 %
被験者 3	0.0 %	20.0 %	40.0 %
平均	6.7 %	13.3 %	40.0 %

4.4.3 考察

追加実験で練習時間を長くした結果、演奏習得率が約 30 % だった。この結果は演奏者が本システムの使い方に慣れてきたことが理由であると考えられる。実際に、表 4.8 の被験者ごとの演奏正解率をみると、本番 1 回目から本番 2 回目の演奏正解率の差が約 6.7 % で、本番 2 回目と本番 3 回目の演奏正解率の差が約 27 % だった。これより、本番 1 回目から本番 2 回目の正解率の差に比べ、本番 2 回目から本番 3 回目の演奏の方が 20 % 近く演奏正解率の差が高かった。特に被験者 2 は本番 3 回目で 60 % 以上の演奏正解率が出ていた。さらに、実験終了後、被験者 2 と被験者 3 から提案法を用いてさらに練習したいという意見があった。これらのことから、比較法 1、比較法 2 との比較には至らなかったものの、十分な練習時間があれば、提案システムによってギターのコードの弾き方を習得し、練習の意欲を引き出せる可能性が示唆された。

表 4.9: アンケート結果 (追加実験)

Q	提案法 (時間短め)		提案法 (時間長め)	
	平均	分散	平均	分散
Q1	5.5 点	2.7	5.3 点	2.5
Q2	5.8 点	1.4	5.3 点	2.9
Q3-1	6.2 点	2.6	8.0 点	0.0
Q4	3.9 点	2.7	5.0 点	3.0
Q5	3.6 点	2.8	2.3 点	2.1
Q6	6.2 点	2.4	8.0 点	2.0
Q7	6.0 点	3.6	6.3 点	3.2
Q8-2	7.0 点	1.7	7.0 点	1.7

第5章 結 論

この章では，この研究のまとめと今後の展望について述べる．

5.1 結論

ギターを演奏するためには，習得するための練習が必要である．練習方法として動画や教本の手本を真似て演奏するなど練習方法はさまざまであるが，演奏者の手の形に自信が持てないことや見本に真似た手なのに力が弱くて音が正しく鳴らない場合などがあった．そのため，演奏者は手本の問題と音の問題2点を解決する必要があった．既存の研究ではARを用いて手本の演奏支援をするシステムを提案したり，演奏者が弾いた音の正しい部分を詳細に評価する調査などが行われてきた．

本研究では，ギター演奏時の手本をCG画像で演奏する弦を太くしたり，弦の押さえる指の提示を行うことで演奏者が写真や動画よりも見やすい手本の作成を行った．そして，ギターによる演奏の分析をして，演奏者の演奏を各弦ごとに○×で判定結果を出力するものと演奏者の演奏が正しくなかった場合の典型的な間違い方のフィードバックをCG画像を用いて出力するシステムを作成した．本システムは，手本の表示により演奏者が間違えた箇所を自覚しやすくなり，効率的にギター練習ができるようになることを意図したものである．

本システムを使用することにより練習の効率があがるのかを確かめるため，本システムを実際に使用して評価実験を行った．これは，システムの提案手法と提案手法から音分析を取り除いた比較法1と提案手法からCG画像を取り除いた比

較法2に分けて行った。実験の結果、提案手法が効率的であると言える結果は得られなかった。この結果の原因として、フィードバックの内容の問題と演奏時間の問題が考えられる。演奏時のCG画像の内容が適切でなかったと考え、フィードバックについてのアンケートを確認したが、全手法で同じような評価だったため、フィードバックの問題ではない可能性が高い。また、評価実験時の練習時間を最初の評価実験と比べて倍の時間で実験を行ったところ、提案手法で正解率が約30%近く上昇した結果となった。このことから、練習の効率化には練習時間の問題が関係している可能性が考えられる。

5.2 今後の展望

現状では、評価実験で十分な結果が得られていない。また、被験者数が各手法10人ずつと少ない。今後は、4.3節で挙げた練習時間の問題に対して、被験者を増やして練習時間を長くした評価実験を行いたい。また、比較法1と比較法2も同様に練習時間を長くして3つの手法ごとに評価に差が出るのか追加実験も検討していきたい。

本稿では、コード演奏をユーザが独力で習得できるように、弦の押さえ方をCGで表示するのに加え、ユーザの音が正しいかどうかを自動判定するシステムを実現した。正音・誤音の判定は、クロスバリデーションの結果85~91%の精度で行えることが分かった。しかし、現状の実装では、誤音と判定された際にその原因として考えられるものをすべて表示している。今後は、誤音の原因の自動判定も導入し、よりの確なフィードバックが可能なシステムを目指したい。

参考文献

- [1] Yousician: “Yousician”, 2010 年.
- [2] コナミデジタルエンタテインメント: “GuitarFreaks”, 1999 年.
- [3] 元川洋一, 斎藤英雄: “AR Guitar: 拡張現実感を用いたギターの演奏支援システム”, 日本バーチャルリアリティ学会第 11 回大会, 2006 年.
- [4] Joseph R Keebler, Travis J. Wiltshire, Dustin C. smith, Stephen M. Fiore, Jeffrey S. Bedwell: “Shifting the paradigm of music instruction: implications of embodiment stemming from an augmented reality guitar learning system”, *Frontiers in psychology*, 5, 471, 2004 年.
- [5] 江村伯夫, 澤山康二, 三浦雅展, 柳田益造: “弾き易さを考慮したギター・コードフォーム列探索システム”, 日本音響処理学会, 64, 2, pp.73-83, 2008 年.
- [6] Aram So : “Guitar man: (an implementation of a rhythm game cooperative musical performance system with actual musical instruments)”, *ACM SIGGRAPH ASIA 2008 educators programme*, pp. 12, 2008 年
- [7] 下尾 波輝, 矢谷 浩司: “エレキギター演奏自動評価のための音響的特徴量の調査”, 情報処理学会, 2017-MUS-117, 3, pp. 1-4, 2017 年.
- [8] 佐藤 雄一: “初心者向けギター教則システムの作成”, 名古屋文理大学卒業論文, 2004 年.

- [9] 樋川直人, 大島千佳, 西本一志, 苗村昌秀: “The Phantom of the Piano: 自学自習を妨げないピアノ学習支援システムの提案”, インタラクション 2006 論文集, 2006 年.
- [10] 尾崎昭剛, 原尾政輝, 平田耕一: “間違いの認識による演奏習得支援システムの構築”, 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS), 2004-MUS-055, 41, pp. 39–44, 2004 年.
- [11] Katja Rogers, Amrei Rohlig, Matthias Weing, Jan Gugenheimer, Bastian Konings, Melina Klepsch, Florian Schaub, Enrico Rukzio, Tina Seufert, Michael Weber: “P.I.A.N.O.: Faster Piano Learning with Interactive Projection”, *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pp. 149–158, 2014 年.

謝 辞

本研究を進めるにあたり，北原鉄朗准教授ならびに植村あい子助手から丁寧かつ熱心なご指導を賜りました．ここに感謝の意を表します．また，評価実験の際に被験者を快く引き受けてくださいました皆様に感謝いたします．