

卒業論文

即興演奏を支援するメロディーから
ギターのコード譜を作成する
学習効果向上システム

Title

富山県立大学 工学部 情報システム工学科

2020043 山内拓海

指導教員 Antonio Oliveria Nzinga Rene 講師

提出年月: 令和6年 2024年2月

目次

図一覧	ii
表一覧	iii
記号一覧	iv
第1章 はじめに	1
§ 1.1 本研究の背景	1
§ 1.2 本研究の目的	1
§ 1.3 本論文の概要	2
第2章 従来の研究	3
§ 2.1 メロディーを表現する既存のシステム	3
§ 2.2 ギターに関する専門知識	5
§ 2.3 リアルタイムでのコード譜作成の必要性	7
第3章 音楽分析のアプローチと印象の変化	10
§ 3.1 2つの楽譜の数値化による比較	10
§ 3.2 メロディーから音階のリアルタイム抽出	10
§ 3.3 コードの違いによる印象の変化	12
第4章 提案手法	15
§ 4.1 歌(楽譜 A 付き)から楽譜作成(B)	15
§ 4.2 コード譜からタブ譜作成のプログラム	16
§ 4.3 メロディーからタブ譜作成システムの開発	16
第5章 数値実験並びに考察	22
§ 5.1 数値実験の概要	22
§ 5.2 実験結果と考察	22
第6章 おわりに	23
謝辞	24
参考文献	25

図一覧

2.1	音楽情報検索の例	4
2.2	デジタル音楽ワークステーションの例	4
2.3	音楽情報検索の例	5
2.4	デジタル音楽ワークステーションの例	5
2.5	弦の説明	7
2.6	フレットの説明	7
2.7	音高推定の例 1	9
2.8	FFT による音高推定	9
3.1	MIDI でのノートナンバー	11
3.2	音階判定の様子	12
3.3	印象の違い	14
3.4	メジャーコードの構成	15
3.5	マイナーコードの構成	15
4.1	コードトーン	16
4.2	Amajor	16
4.3	B マイナーコードトーン	17
4.4	Bminor	17
4.5	システム全体の流れ	18
4.6	メジャーコード	20
4.7	マイナーコード	21

表一覽

記号一覧

以下に本論文において用いられる用語と記号の対応表を示す.

用語	記号
----	----

はじめに

§ 1.1 本研究の背景

音楽の創造的な表現は、人類が持つ豊かな文化の一翼を担い、感情やアイデンティティの表現において重要な役割を果たしています。音楽家やアーティストは、耳コピーや即興演奏のスキルを駆使して、独自の音楽を生み出し、聴衆との共感を生み出しています。しかし、これらのスキルを磨く過程は熟練を要し、時には限定的な情報やリソースに依存することがあります。

従来の音楽理論や楽器の技術向上だけでなく、デジタル技術の進化により、新たな音楽制作の手法やサポートツールが登場しています。しかし、依然として楽曲の細部まで把握し、自らのアイデアを具現化するための効果的な手段が求められています。例えば、複雑なコード進行や微細なフレーズを正確に理解することは、アーティストが自分の音楽に深みを与える上で重要です。

現代の音楽制作において、アーティストやミュージシャンは多岐にわたる音響情報を取り込み、それを元に独自の音楽表現を構築しています。しかし、そのプロセスは手作業や経験に頼る部分が依然として存在し、特に耳コピーや即興演奏においては、正確かつ迅速な情報処理が求められています。この課題に対処するために、デジタル技術を駆使した新しい手法やツールの開発が期待されています。

§ 1.2 本研究の目的

ギタリストが効果的に耳コピーや即興演奏を行うための支援が求められています。バンドでの演奏において、エレキギターは他の楽器との調和を取りながら特有のサウンドを提供するため、その技術的な要素や表現力の向上が不可欠です。

本研究の目的は、ギタリストが耳コピーと即興演奏を効果的に行うための支援システムを構築することを目指しています。エレキギターの音楽的な表現には音符情報だけでなく、アーティキュレーションやニュアンスなど、独特の要素が含まれています。これらを模倣し、演奏者が自在に表現できるようにすることが重要です。

特にギターのコードには多様な種類が存在し、これらを正確に理解し再現することが挑戦的です。そのため、構築するシステムは異なるコードの特徴を認識し、演奏者に適切なサポートを提供できるようになることが期待されています。

この研究の成果は、ギタリストが高度な音楽的なスキルを持たなくても、耳コピーや即興

演奏をより容易に行えるようにすることに寄与することが期待されます。また、バンド演奏においてエレキギターの役割を担う演奏者にとって、音楽制作の幅が広がり、表現力が向上する可能性があります。

また、リアルタイムで音楽的情報を解析し、ギタリストの演奏をサポートするシステムの構築には、音声処理技術が不可欠です。演奏中の音の長さ、メロディーの変化を瞬時に解析し、それをもとに楽曲全体のコンテキストを理解することが求められます。

このシステムは、演奏者が歌ったメロディーを捉え、それを使用されたスケールやコード進行と結びつけることが重要です。同時に、リアルタイムでリズムやテンポの変化を正確に把握し、演奏者に最適な情報を提供します。

FFTを用いた音響信号処理の技術を活用して、演奏者に支援を提供します。また、使いやすいインターフェースを備え、演奏者が自由に表現できるようにする。

高度な音楽的なスキルがなくとも演奏ができるようわかりやすい指板に抑える場所をマークしてあるコード譜を生成し、出力を行う。また、リアルタイムで提供したコード譜に対応したギター演奏に必要な tab 譜での保存も行った。

リアルタイムでの音楽情報解析に成功すれば、演奏者は即興演奏中もシステムからの確かな情報を得ることができ、アイディアの迅速な発展や演奏のクオリティ向上が期待されます。この支援システムでは、ギタリストにとって創造性と表現力を高める重要なツールとなることを目指す

§ 1.3 本論文の概要

本論文は次のように構成される。

第1章 本研究の背景と目的について説明する。音楽分野における即興演奏や耳コピの重要性について述べる。目的は背景で挙げた課題に対して、リアルタイムでの音高推定を用いて演奏支援システムの提案について述べる。

第2章 音楽分野における従来研究についてまとめ、リアルタイムでの tab 譜のについて述べる。また、ギターについての名称や専門知識についての説明を行う。

第3章 本研究の提案手法に用いる音楽理論の一部について解説する。また、提案手法のシステム部分に用いる音階の抽出方法について解説する。

第4章 本研究の提案手法について述べる。

第5章 実際にシステムを使用してもらい評価を行った。ギターを演奏してもらい有効性の検証を行った。

第6章 本論文における前章までの内容をまとめつつ、本研究で実現できたことと今後の展望について述べる。

従来の研究

§ 2.1 メロディーを表現する既存のシステム

音楽の生成と合成

音楽のメロディー分析は、多岐にわたる音楽関連の分野で重要な役割を果たしており、その重要性はますます高まっている。この分野では、音楽理論、楽曲制作、音楽情報検索、音楽教育などが相互に補完し合い、進化し続けている。

音楽理論の文脈では、メロディーは楽曲の中で聴衆に最も直接訴えかける要素の一つである。メロディーの分析は、異なる時代やジャンルの楽曲におけるメロディーの構造や進行を理解する手段となっている。音楽理論家や研究者は、メロディーにおける音程やリズムのパターン、そしてハーモニーとの関係性を分析し、作曲家がどのように聴衆の感情に訴えかけるかを解明している。楽曲制作の現場では、デジタル音楽ワークステーション (DAW) や楽譜ソフトウェアが広く活用されている。これらのソフトウェアは、メロディー分析を通じて作曲家やプロデューサーに対して革新的な手段を提供している。メロディーの自動生成や編集、アレンジの支援など、様々な機能が導入され、アーティストたちはこれらのツールを駆使して創造的なプロセスを進めている。

音楽情報検索システムは、大規模な音楽データベース内で楽曲を見つける際にメロディー分析を駆使している。これにより、ユーザーは特定のメロディーを持つ楽曲を容易に見つけたり、関連する楽曲を発見したりできる。アルゴリズムや機械学習の進歩により、より高度なメロディー認識が可能となり、ユーザーエクスペリエンスが向上している。音楽教育分野では、メロディー分析が学習者が楽曲を理解し、演奏するための基盤となっている。教育用ソフトウェアや教材は、学習者が楽曲内のメロディーの構造や音楽理論を効果的に理解できるよう工夫されている。また、メロディーの分析を通じて、学習者が創造的な表現力を養う手段ともなっている。総じて、これらの分野でのメロディー分析は、音楽における知識の深化や技術の進歩に寄与している。これにより、アーティストや研究者、教育者はより豊かな音楽体験を提供し、次世代の音楽愛好者やプロフェッショナルに向けて新たな可能性を切り拓いている。既存のシステムについて他にも紹介する。

音楽情報検索とデジタル音楽ワークステーション

音楽のメロディー分析は、音楽理論や楽曲制作、音楽情報検索など、音楽研究のさまざまな分野で重要な役割を果たしている。これに関連して、多くの既存のシステムが開発および研究されている。既存のシステムの一例として、音楽情報検索分野におけるシステムが

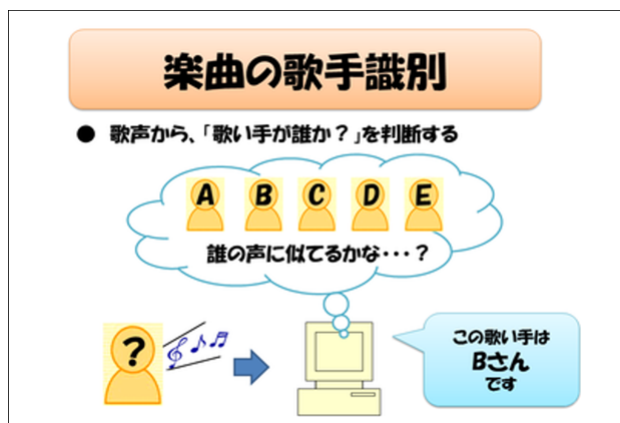


図 2.1: 音楽情報検索の例



図 2.2: デジタル音楽ワークステーションの例

挙げられる．これらのシステムは，楽曲のメロディーラインを自動的に抽出し，音楽データベース内で楽曲を検索したり，ジャンルを分類したりするのに使用されている．

さらに，音楽制作の分野では，デジタル音楽ワークステーションソフトウェアや楽譜ソフトウェアがメロディー分析のために使用されている．これらのシステムは楽曲制作プロセスにおいてメロディーの作成，編集，アレンジに必要な機能を提供し，ミュージシャンや作曲家に創造的なツールを提供している．また，音楽教育の分野でもメロディー分析が重要である [2]．

最後に，音楽制作プロセスにおいてメロディー分析は，アーティストやプロデューサーにとっても重要である．メロディーラインの解析は，楽曲の構造や楽器アレンジに関する洞察を提供し，音楽の創造的なプロセスを向上させる．メロディーを分析する既存のシステムは，音楽研究，制作，教育の各分野で多くの利点をもたらし，これらのシステムの進化は，音楽の理解や制作プロセスの向上に寄与しており，今後の音楽技術の発展に期待が寄せられている．

AIとメロディー生成

近年，人工知能（AI）の進化が音楽制作とメロディー生成の分野において注目を集めている．AIは機械学習やニューラルネットワークを活用し，既存のメロディーや楽曲から学習し，新しいメロディーを生成する能力を持っている．音楽制作において，AIはアーティストやプロデューサーに革新的な手段を提供している．AIモデルは大量の楽曲データを分析し，異なるジャンルやスタイルに基づいてメロディーを生成することができる．これにより，創造的なプロセスが効率的になり，新しい音楽のアイデアが生み出される可能性が広がっている．

一方で，AIのメロディー生成は音楽理論や感性の側面においても議論的となっている．アートの創造性や感情の表現において，AIが本当に人間と同様の深さを持つことができるのか，といった問いかけがなされている．これらの課題は，AIとメロディー生成の関係性において新たな研究やディスカッションを呼び起こしている．さらに，AIを活用した音楽情報検索システムも進化している．AIは高度なメロディー認識技術を駆使して，ユーザー

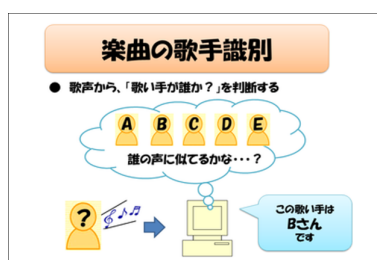


図 2.3: 音楽情報検索の例



図 2.4: デジタル音楽ワークステーションの例

が特定のメロディーを持つ楽曲を見つけたり、関連する楽曲を推薦したりする際に役立っている。これにより、音楽のディスカバリー体験が向上し、ユーザーが新しい音楽に出会いやすくなっている。

総じて、AIとメロディー生成の結びつきは、音楽の創造的な領域や技術の進歩に新たな可能性をもたらしている。アートとテクノロジーが融合する中で、今後ますます興味深い展望が広がると考えられる。

§ 2.2 ギターに関する専門知識

ギターに関する専門知識において、弦とフレットについての基本的な理解は非常に重要である。ギターを演奏するためには、これらの要素について正確に理解しておく必要がある。

ギターは、その特有の音色と多彩な奏法で知られる楽器である。ギターの演奏を始める際に最初に覚えるべき重要な要素の一つが、弦とフレットの呼び方だ。これらの用語を理解することは、ギター演奏の基礎知識として不可欠である。

弦 (Strings)

ギターの弦は通常6本あり、一般的なチューニングは上から順にE（ミ）、B（シ）、G（ソ）、D（レ）、A（ラ）、E（ミ）です。これらの弦は低音から高音まで順に配置されています。弦は通常、鋼弦やナイロン弦などの異なる材質で作られており、その材質によって音色が変わります。一般的なアコースティックギターは鋼弦を使用し、一方でクラシックギターは通常ナイロン弦を好んで使用します。弦の選択は演奏する音楽のスタイルや好みによって異なりますが、それぞれの材質が独自の音質を生み出します。

フレット (Frets)

コード譜はギターの演奏において使用される記譜法で、弦とフレットの位置を直感的に示しています。横のラインはギターの弦を、縦のラインはフレットを表し、各弦に対して特定のフレットで指を押さえるかどうか数字や記号で示されます。例えば、「C」コードは、3番目の弦を1フレットで押さえ、2番目の弦を2フレットで押さえ、1番目の弦を1フレットで押さえることで演奏されます。コード譜を理解することで、演奏者は指定されたフレットと弦を押さえることで特定のコードを演奏し、楽曲を正確に表現することができます。

このようなコード譜の理解はギター演奏の基本であり、初心者から上級者まで、演奏者が楽曲を正確に再現するために欠かせません。練習と経験を積むことで、コード譜を見て即座に正確な指の動きをする技術が向上し、より高度な演奏が可能になります。

ギターのコード (Chords)

ギターのコードは複数の弦を同時に押さえて演奏することで構成されている。例えばCメジャーコード、Gマイナーコード、Dセブンスコードなどがあり、これらのコードの演奏には指の正確な位置や弦の適切な押さえ方が必要だ。練習を重ねることでコードの移動や切り替えがスムーズになり、より豊かな音楽表現が可能となる。

ギターのコードは、指板上の特定のポジションで特定の弦を特定のフレットで押さえることで構成されている。例えば、Cメジャーコードは1番目の弦を1フレット、2番目の弦をオープン、3番目の弦を2フレットで押さえることで演奏される。同様に、他のコードも特定の指の配置によって演奏される。

ギターのコードは音楽の基本的な要素であり、アコースティックやエレクトリックギターの演奏において幅広く利用される。演奏者が異なるコードをマスターし、それらを組み合わせることで個性的なアレンジを作り出すことが音楽の創造性を豊かにする。

弦の押さえ方とフレットの使い方

ギターを演奏する際、左手で弦を押さえ、右手で弾くことによって音が出ます。弦がフレット上で押さえられることで、弦の有効な長さが変わり、異なる音が発生する。フレット上で指を使って押さえることで、異なるコードや音階が演奏できる。ギターの指板上には様々なポジションがあり、これによって異なる音楽のフレーズを演奏できる。

指板上の音階

ギターのフレット上での音階の位置は、演奏者にとって理解が必要な重要な要素である。フレット上の音階は、特定の弦とフレットの組み合わせによって生成される音の配列で、これによってメロディやソロ演奏を構築することが可能となる。

各弦は低音から高音まで順に配置され、フレット上の位置によって音の高さが変化する。通常、1フレットから順に1, 2, 3,...と番号が振られ、同時に異なる弦上で同じフレットを押さえることで和音を形成できる。

例えば、1弦（高音側のE弦）の3フレットで押さえた場合、それはG音となる。同様に、2弦の3フレットで押さえるとB音となる。これらの音を順に組み合わせることで、音階やコードを演奏できる。

また、ギターのフレット上での音階は、パターンとして覚えることができる。これは、特定の音階（メジャー、マイナーなど）に基づいて、一定のフレットと弦上の指の配置が決まっているパターンである。これにより、演奏者は効果的に異なる音階をフレット上で表現し、創造的な演奏を構築することができる。

練習と経験を通じて演奏者はフレット上の音階の位置を覚え、それを活かして表現豊かな演奏を実現することができる。



図 2.5: 弦の説明

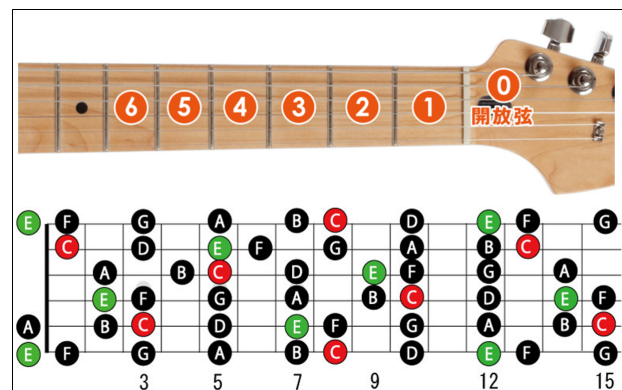


図 2.6: フレットの説明

§ 2.3 リアルタイムでのコード譜作成の必要性

音楽の世界において、ギター演奏者がリアルタイムでコード譜を作成する必要性は多岐にわたる。演奏者が即興演奏を行う際、感情やインスピレーションをその場で表現する必要がある。このとき、リアルタイムでのコード譜作成は、アイディアやメロディを整理し、他のミュージシャンとのセッションを促進している。同様に、セッション演奏においては、楽曲の構造や進行を共有することで、バンドやアンサンブル全体の調和が生まれる。

また、アレンジメントの柔軟性も重要な要素となる。楽曲のアレンジをリアルタイムで変更し、演奏者がその場でコード進行を調整することで、新しい要素を導入することができる。これにより、演奏の臨機応変な変化や表現力の向上が可能となる。

教育面でも、リアルタイムでのコード譜作成は重要である。レッスンやワークショップにおいて、講師が生徒に即座にコード進行やメロディを示すことで、生徒は迅速に実践的な演奏スキルを身につけることができる。

これらの理由から、リアルタイムでのコード譜作成はギター演奏者やミュージシャンにとって欠かせないスキルであり、テクノロジーを駆使したツールやアプリケーションがますます注目されている。即興演奏やセッション、創造的な制作活動において、リアルタイムでのコード譜作成が音楽の豊かな表現力を支え、新たな音楽体験を生み出す重要な要素となっている。

そのため、これらに必要な音高推定の手法についていくつか紹介する。

自己相関関数を用いたピッチ検出

スペクトル解析は、音声信号を周波数成分に分解する手法です。この手法はピッチ検出において、主要な周波数成分を抽出し、その周期を用いて音の高さを推定します。高精度かつ幅広い楽器や声に対応する特性を持っています。

音声信号をスペクトル解析する過程では、信号がどの周波数成分から構成されているかを把握します。ピッチ検出では、その中で主要な周波数成分を特定し、その周期に基づいて音の高さを推定します。これにより、楽曲や発声から得られる音の情報を把握し、高度な音楽解析や音声処理が可能となります。

この手法の利点は高い精度でのピッチ検出が可能であり、異なる楽器や声の音高変化にも対応できることです。音楽の表現や声の特徴において、主要な周波数成分がピッチ情報

を提供しているため、スペクトル解析は広く用いられています。

スペクトル解析を用いたピッチ検出は、音楽理論や信号処理において基本的な手法の一つであり、その高精度な解析は音楽制作や音声処理の分野で重要な役割を果たしています。この手法を用いることで、音楽の理解や音声の変換、効果的な音響処理などが実現され、多岐にわたる応用が可能です。

深層学習に基づく音高推定

深層学習アーキテクチャ、特にリカレントニューラルネットワーク（RNN）や長短期記憶（LSTM）などを利用したモデルが音高推定に幅広く活用されています。これらのモデルは学習データから音高のパターンを学び、新しい音声入力に対して高精度な音高推定を行います。

RNN や LSTM は時間的な情報を扱うのに優れており、音楽データの連続性やリズムなど、時間的な依存関係を学習できます。音高推定においては、楽曲内での音の変化やパターンを把握することが重要であり、深層学習モデルはその点で優れています。

深層学習の利点の一つは、複雑な音楽データにも適用できることです。異なる楽器や複雑な和音など、多様な音楽要素を学習し、高い汎用性を持って音高推定を行います。これにより、ジャンルや楽器の異なるさまざまな音楽に対しても適切な推定が可能です。

スペクトル解析に基づくピッチ検出

スペクトル解析は音声信号を周波数成分に分解する手法であり、ピッチ検出ではこれを活用して音の高さを推定します。この手法は高精度であり、さまざまな楽器や声に対応することができます。

音声信号は複雑な波形から構成されていますが、スペクトル解析を用いることでその周波数成分を明示的に抽出することが可能です。ピッチ検出では、主要な周波数成分を抽出し、その周期を用いて音の高さを推定します。これにより、どの周波数が支配的であるかを特定し、それに基づいて正確な音高情報を得ることができます。

この手法の特長は、高い精度で音の高さを推定できることです。また、異なる楽器や声の特性にも適応可能であるため、多岐にわたる音楽ジャンルや声の種類に対して柔軟に利用できます。楽器ごとの音色や声の個性を考慮した音高推定が可能であり、これは音楽制作や音声処理において重要な要素です。

スペクトル解析とピッチ検出の組み合わせは、音響信号処理において幅広い応用があります。例えば、楽曲のキーの特定、ボーカルのトラッキング、音声の変換などに利用され、音響技術の向上に寄与しています。これらの手法は高度な技術を要するものの、その結果として得られる精緻な音楽や音声の制御が可能です。

FFT を用いた音高推定

音高推定には様々な手法があり、その一つがFFT（高速フーリエ変換）を用いた手法です。この手法では、音声信号を短い時間フレームに分割し、各フレームにFFTを適用して周波数成分を取得します。これにより、高い分解能で音の高さを推定することが可能です。得られた周波数成分を解析し、主要な周波数やピークを検出して各フレームごとの音の高さを推定し、連続的に統合して滑らかな音高曲線を形成します。

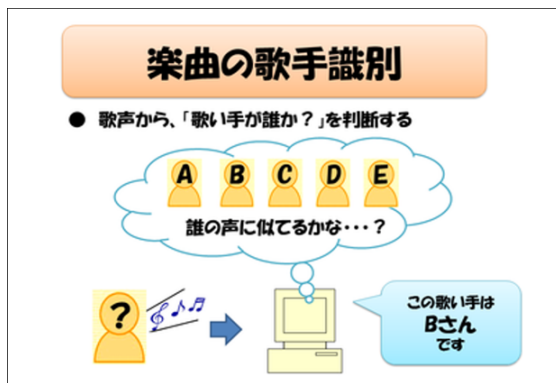


図 2.7: 音高推定の例 1

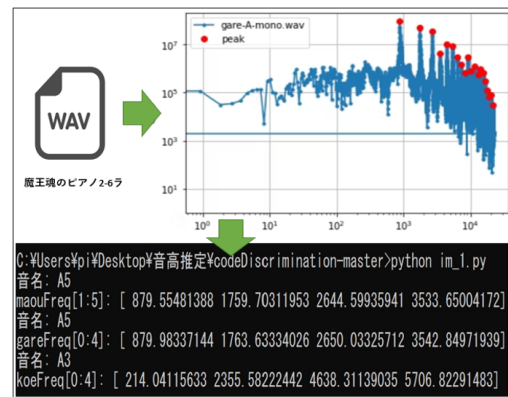


図 2.8: FFT による音高推定

この手法は複雑な楽曲や細かな音高変化を捉えるのに優れていますが、計算コストが増えるため、リアルタイムの処理や大量のデータに対する適用には計算リソースが必要です。一方で、高度な音楽解析に広く利用され、音声信号の周波数成分を詳細に分析することで精密な音高推定が実現されます。

音楽分析のアプローチと印象の変化

§ 3.1 2つの楽譜の数値化による比較

MIDI ノート番号は音楽業界で一般的に使用される音階の数値表現方法である。C4 を基準にして、音階ごとに整数が割り当てられる。例えば、C4 は MIDI ノート番号 60 に対応し、それ以降の音階は相対的に割り当てられる。この手法により、異なる音階をデジタルで正確に表現し、制御することが可能となる。MIDI ノート番号の利用は、音楽制作において楽曲の作成、演奏、録音、編集などにおいて非常に有益であり、音楽理論と数学的な計算を組み合わせることで高度な操作も可能である [4]。

この手法を応用することで、異なる楽譜の数値データを得ることができ、これを比較することで楽曲の違いや類似性を定量的に評価することができる。例えば、2つの楽譜の MIDI ノート番号を比較することで、音の高さやパターンの変化を明らかにし、作曲家のスタイルや楽曲構造の違いを理解する手段となる。これにより、楽曲の数値化が音楽分析に新たな視点を提供し、音楽の比較や理解において貴重なツールとなる。

楽譜を数値データに変換する際、音高と音価の両方を考慮することが重要である。音高の数値化においては、MIDI ノート番号を利用することで楽譜上の音の高さを整数で表現することができる。また、音価の数値化では、楽譜上の音符の長さを時間の単位で表現することが必要であり、これによりリズムやテンポの情報も含まれる。

比較手法としては、数値データを用いて類似性尺度を計算することが挙げられる。例えば、ユークリッド距離やコサイン類似度を利用して、2つの楽譜の類似性を評価することができる。これにより、作曲家や楽曲の異なる側面に焦点を当て、音楽の構造や特徴を数値的に捉えることが可能となる。

この手法の応用は多岐にわたり、音楽のジャンルや時代、作曲家の違いを明らかにするだけでなく、機械学習アルゴリズムを用いて楽曲の自動分類や類似楽曲の検索にも貢献することが期待される。楽曲の数値データをもとにした比較手法は、音楽理論とデジタル技術の融合により、音楽研究や楽曲制作の新たな可能性を切り拓いている。

§ 3.2 メロディーから音階のリアルタイム抽出

近年、音楽と技術の融合は多岐にわたり、様々なデジタルミュージックアプリケーションが登場しています。その中で、メロディーから音階をリアルタイムに抽出するシステムは、音楽制作や楽器演奏において新たな可能性を切り拓くものとなっています。本論文で

60	C4	C3	261.6	48	C3	C2	130.8
59	B3	B2	246.9	47	B2	B1	123.5
58	A#3	A#2	233.1	46	A#2	A#1	116.5
57	A3	A2	220.0	45	A2	A1	110.0
56	G#3	G#2	207.7	44	G#2	G#1	103.8
55	G3	G2	196.0	43	G2	G1	98.0
54	F#3	F#2	185.0	42	F#2	F#1	92.5
53	F3	F2	174.6	41	F2	F1	87.3
52	E3	E2	164.8	40	E2	E1	82.4
51	D#3	D#2	155.6	39	D#2	D#1	77.8
50	D3	D2	146.8	38	D2	D1	73.4
49	C#3	C#2	138.6	37	C#2	C#1	69.3

図 3.1: MIDI でのノートナンバー

は、このシステムの概要とその特長について詳しく説明します。

メロディーは音楽の骨格であり、その中でも音階は楽曲の基本的な要素の一つです。従来の楽器演奏や作曲においては、メロディーの音階は音楽家が耳で感じ、理解する必要がありました。しかし、リアルタイムで音階を抽出することで、音楽制作や演奏のプロセスが効率的になり、クリエイティブな表現が向上することが期待されます。

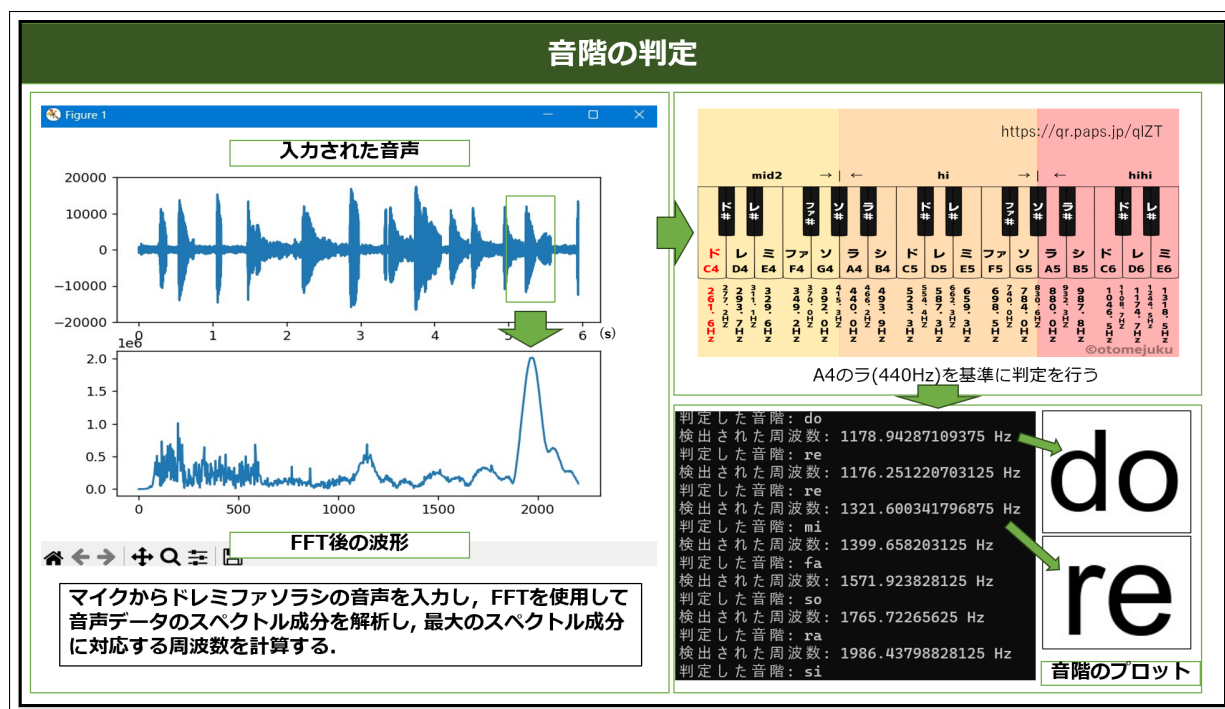
提案するシステムは、マイクからのオーディオデータを取得し、その中からメロディーを抽出し、リアルタイムで音階を判定するものです。以下に、システムの主な構成要素を示します。

オーディオデータ取得: PyAudio ライブラリを使用して、マイクからオーディオデータを取得します。メロディー抽出: フーリエ変換を用いて、オーディオデータからメロディーを抽出します。音階判定: メロディーの周波数成分を解析し、その情報から音階をリアルタイムで判定します。システムでは、高速フーリエ変換 (FFT) を用いてオーディオデータからメロディーを抽出します。FFT により、オーディオデータが周波数領域に変換され、その中からメロディーに対応する周波数成分を取り出します。

抽出されたメロディーの周波数成分を解析し、音階としての特徴を捉えます。これにより、音楽理論に基づいて音階をリアルタイムで判定し、その情報をリアルタイムで提供します。判定された音階は、演奏者や制作者が即座に把握し、楽曲に取り入れることができます。

このシステムは、音楽制作の現場や楽器演奏、デジタルミュージックアプリケーションにおいて幅広く活用されることが期待されます。演奏者は楽曲制作や即興演奏において、リアルタイムで音階情報を得ることができ、作曲家は音楽制作プロセスをより直感的に進めることができます。

メロディーから音階をリアルタイムに抽出するシステムは、音楽の制作や演奏において新たな手法を提供します。これにより、音楽家はより直感的に楽曲を構築し、クリエイティブな表現を追求することができるようでしょう。今後の発展が期待される分野の一つであり、音楽技術の進化に寄与するものとなるでしょう。



についても考察します。明るい印象を与えるメジャーコードと暗い印象を持つマイナーコードの対比や、和音の高低の配置が聴衆に与える心理的な影響について深く掘り下げます。また、和音の進行が楽曲において期待感や緊張感をどのように生み出すかを具体的な楽曲例を挙げて解説します。

音楽の和音はその構造や構成によって印象が変わり、地域や文化による感性の違いを理解し、音楽理論を通じて和音の印象を解明することで、楽曲制作や音楽理解に新たな視点が得られることが示唆されます。和音の理解を通じて、音楽が人々の感性や文化とどのように対話しているのかを明らかにすることが、本研究の主要な貢献と言えるでしょう。

メジャーコードとマイナーコードに焦点を当てそれぞれの機能について説明する。

機能と和声の理論と実践

本論文では、「コードの違いによる印象の違い」に焦点を当て、音楽理論の中でも機能と和声に注目し、メジャーキーおよびマイナーキーにおける基本的なコードの役割や機能について探究した。六つの基調和音がメジャー3人衆とマイナー3人衆に分かれ、それぞれが異なる印象を生むことが強調され、機能と和声の理論を通じて具体的な役割に分類された。これにより、コード進行の理解が深まり、機能と和声が作曲や演奏においていかに印象を左右するかが示唆された。

六つの基調和音がメジャー3人衆とマイナー3人衆に分けられ、それぞれが異なる印象を生む。この差異が音楽理論において「機能と和声」の概念として取り入れられ、コード進行の理解を深める基盤となる。メジャーキーにおいては、トニック機能（T）であるIが中心に立ち、IVやVが曲を展開させるドミナント機能（D）およびサブドミナント機能（S）を果たす。これにより、同じメジャーコードでも異なる印象が与えられ、聴覚的な理解が深まる。

機能と和声はコードの機能に基づいてコード進行を理論的に論じるアプローチであり、トニック機能、ドミナント機能、サブドミナント機能の3つの機能種によってコードを分類する。これにより、コード進行が展開される際の印象や感情の違いが明確になり、理論的な理解が進む。

マイナーキーにおいても、トニック機能、ドミナント機能、サブドミナント機能が存在し、それぞれがメジャーキーとは異なる特徴を持つことが示された。特にIIIImの二面性が強調され、その前後関係や音の配置によって異なる印象を生むことが指摘された。

これらの理論的なアプローチは、作曲や演奏において実践的な価値を持つ。例えば、即興演奏やセッション、アレンジメントの際にリアルタイムでコード譜を作成する際に機能と和声の理解が印象の調整に役立つ。また、機能と和声を基にした理論的な知識は、音楽教育やスタジオレコーディングにおいても印象の演出において鍵となる。

また、コードのTDSを変化させていくことは、曲の流れ作りに大きく関わります。TDSの機能が異なるコードへ進んだ場合に起こる曲想を「着地・浮遊・緊張」という表現になぞらえてまとめると、自由派音楽理論では、この内回り（反時計回り）の動きを機能の順行（Prograde Motion）、外回り（時計回り）の動きを機能の逆行（Retrograde Motion）と呼ぶことにします。

機能の順行は、 $T \rightarrow S \rightarrow D \rightarrow T$ という向きのサイクルが「緊張と緩和」のセオリーに則った典型的な動きであり、特にDからTへと進む結びつきは強いと言われます。ジャズ理論は、このS-D-Tという流れを土台にして理論を発展させています。

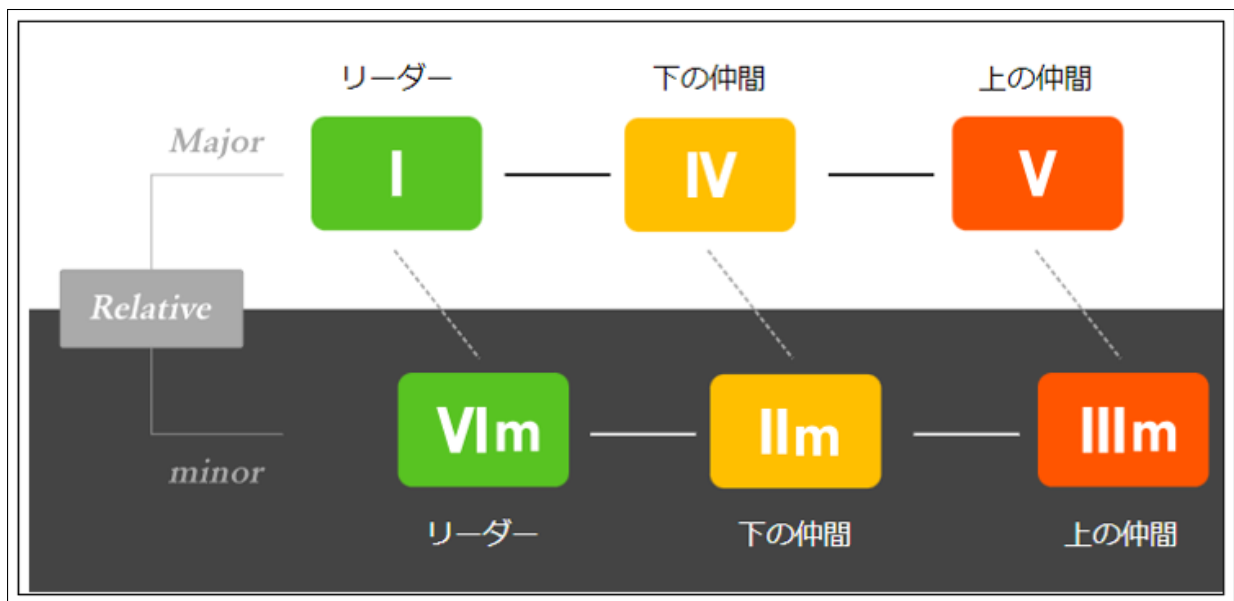


図 3.3: 印象の違い

機能の逆行、すなわち $T \rightarrow D \rightarrow S \rightarrow T$ のサイクルも心地よいものであり、曲想を豊かにしてくれる存在です。言葉の響きからネガティブなイメージを持つことはなく、順行と逆行は表現において等しく重要な存在です。

結論として、「コードの違いによる印象の違い」を理解することは音楽の表現力を向上させ、実践的な演奏や作曲において有益である。音楽家や学習者は、機能 and 声の枠組みを通じてコードの印象の微妙な違いを把握し、これを創造的な表現に活かすことが期待される。

コード	機能名
I	トニック機能(T)
V	ドミナント機能(D)
IV	サブドミナント機能(S)

図 3.4: メジャーコードの構成

コード	機能種名
I VIm	トニック機能(T)
V IIIm	ドミナント機能(D)
IV IIIm	サブドミナント機能(S)

図 3.5: マイナーコードの構成

提案手法

§ 4.1 歌(楽譜 A 付き)から楽譜作成(B)

FFTを用いた音高推定で検出された音階がAメジャーコードの音階構成(A、C#、E)が実際のAメジャーコードと一致するかどうかを判定する。

まず、コード譜をプロットする際の条件を以下に示す。

フレット制約: 和音の形状が演奏しやすいものとなるように、フレットは4フレット以内に制約している。これにより和音が簡潔であり、演奏者にとって取り扱いやすい形状を優先している。

一弦一音制約: 各弦に対しては、一つの音しか出せないという制約をかけている。これにより、和音がクリアで区別可能なサウンドとなる。

これらの条件により、プログラムはメロディーから抽出した音階、Aメジャーコードに相当する和音を出力する。今回はAメジャーコードとBマイナーコードについての比較を行い有効性を示す。

まず、図に今回のシステムでプロットされたAメジャーコードを示す。これをAコードのコードトーンと比較を行う。これはAメジャーコードの第二転回形となっている。第二転回形とは和音の構成音が特定の順序で配置される形状を指す。Aメジャーコードの場合、通常の構成ではA-C#-Eですが、第二転回形ではC#-E-Aといった配置になる。

この配置の変化は和音の特徴的な表現方法であり、構成音の順序が異なることで音楽的な響きや表情が変わる。第二転回形により、Aメジャーコードがより独特で鮮明なサウンドを生み出している。このような詳細な比較を通じて、システムが和音の構成を正確に捉え、特に第二転回形を適切に検出していることが確認できる。

次に今回のシステムでプロットされたBマイナーコードを示す。

以上のように、プログラムは複数の条件を基にして和音の検出を行い、特にAメジャーコードに焦点を当てながら、その形状や配置に関する詳細な情報を提供しています。これにより、演奏された音楽の解析や理解が深まり、演奏者やリスナーにとって有益な情報が得られることが期待されます。

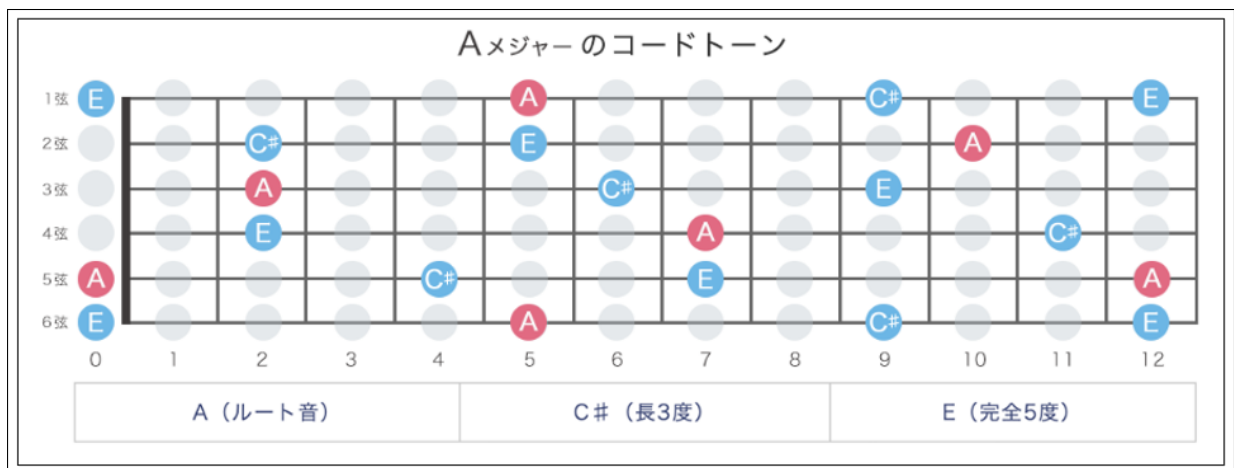


図 4.1: コードトーン

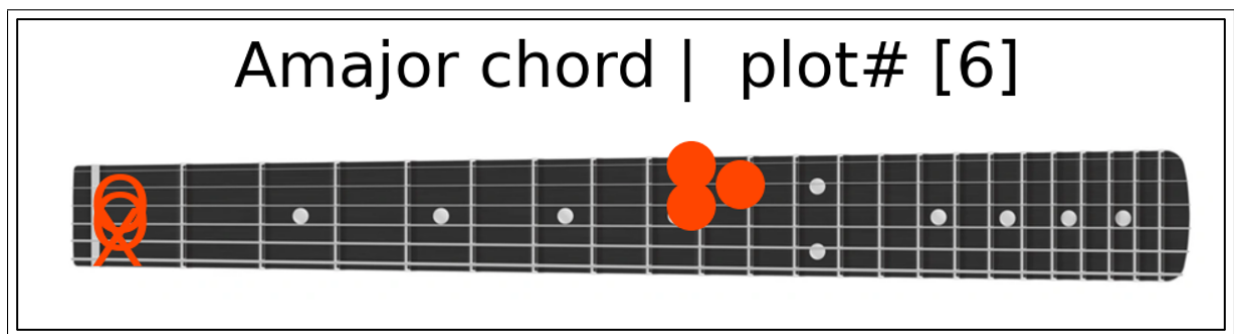


図 4.2: Amajor

§ 4.2 コード譜からタブ譜作成のプログラム

§ 4.3 メロディーからタブ譜作成システムの開発

本研究の提案システムは、大別すると以下のような4つの工程からなる。

1. ユーザーが演奏を行いたいコードの種類を選択しそれに合ったコードを生成できるようにする。
2. 入力された音声をリアルタイムで取得しFFTを用い、音高判定を行う。
3. 判定された音高に合わせ、ギターの指版に抑える場所を○や×で示したコード譜を作成して画像としてプロットする。
4. 作成されたコード譜にあったタブ譜の情報を保存し共有できるようにする。

これらが本研究のシステムの流れでありユーザーの好みに合わせた演奏形態をとることができる。これらのシステムの流れを説明する。

Step 1: システムの起動とコードの選択

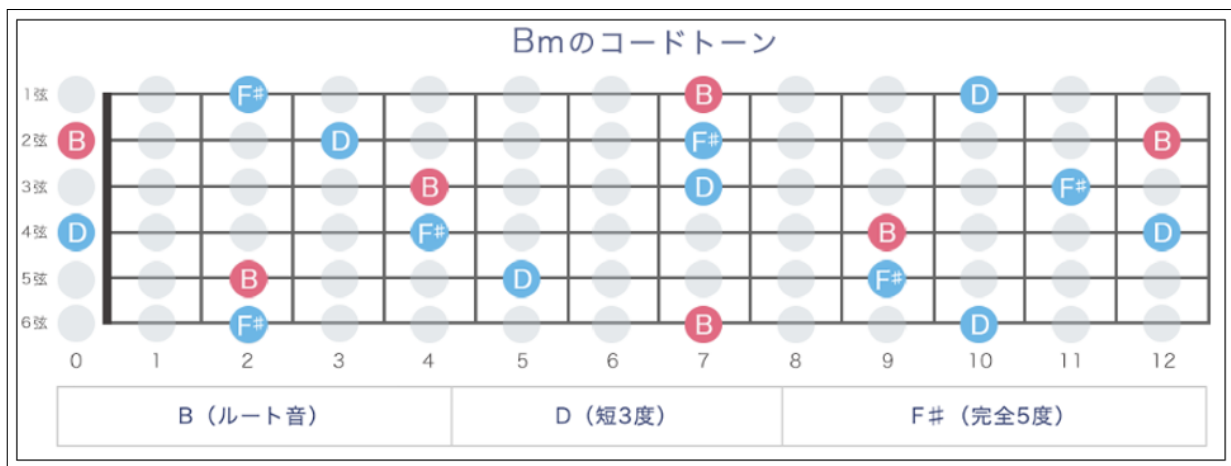


図 4.3: B マイナーコードトーン

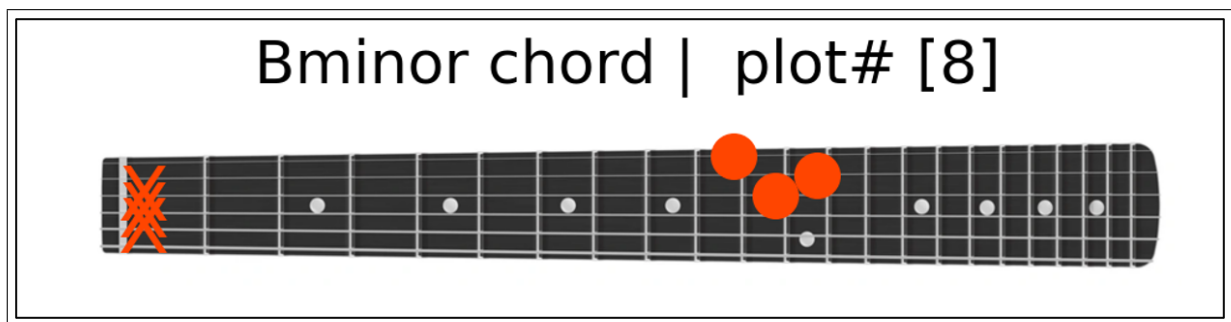


図 4.4: Bminor

システムを起動してもらい、ユーザー登録とログインをしてもらう。そこでコードの作成、プロットを行う際のコードの種類を選択してもらう。今回はメジャーコードとマイナーコードをはじめとしたセブンスが加わることによりより豊かな音響を持ち、より複雑なハーモニーを作り出す7th スコード、一時的な緊張感を生み出すサスペンド 4th と呼ばれ、サードを持たずに4度が含まれている Sus4 コードを含めた 13 種類から選んでもらう。

Step 2: 音声の入力と FFT を用いた音高推定

マイクからのリアルタイムオーディオデータを取得し、その波形と周波数スペクトルを表示する。PyAudio を使用してオーディオデータをストリームから読み取り、Matplotlib を使って波形と FFT をリアルタイムでプロットする。また、音高推定を行い推定された音名を画面に表示する。OpenCV と PIL を用いて、日本語フォントを使ったテキスト描画も行う。プログラムは無限ループで動作し、Ctrl+C で中断できる。これにより、マイクからの音声を視覚的かつ音楽理論に基づいた形でモニタリングすることができる。

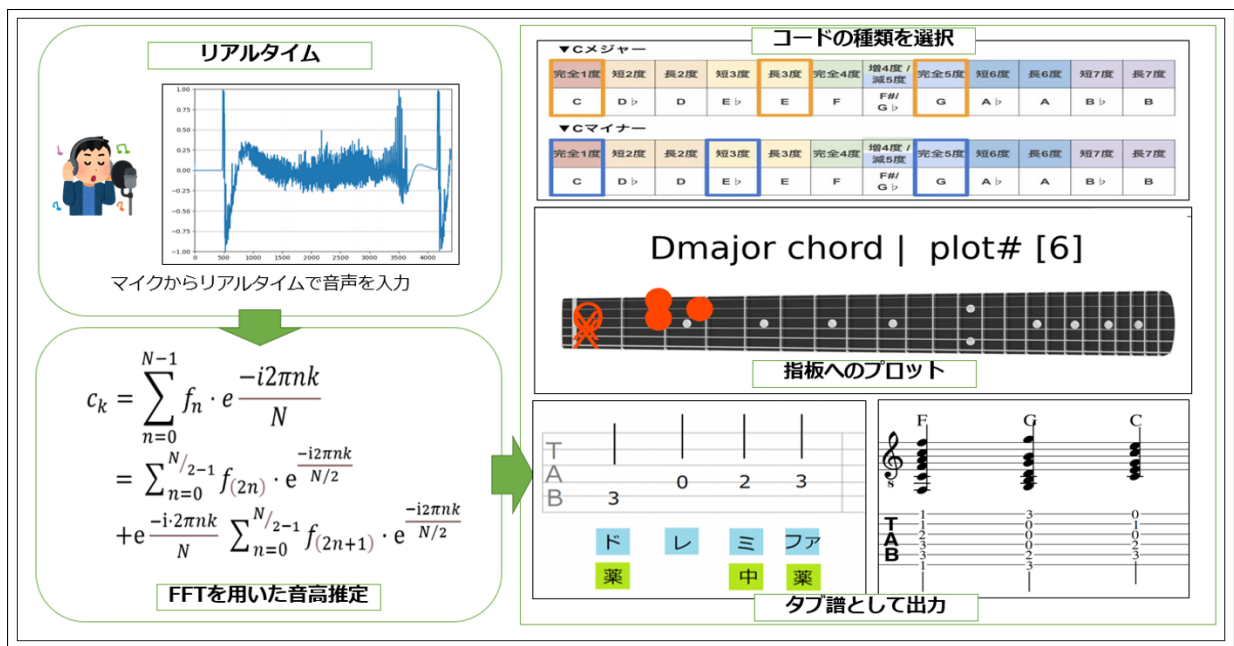


図 4.5: システム全体の流れ

Step 3: 推定された音階に合ったコードの出力

コードの音符を取得する

ギターで最も一般的なコードであるトライアドは、半音階から来ています。コードを生成するには、ルート音を選択し、コードの「品質」に応じて特定の音程を適用して他の2つの音を見つけます。たとえば、Amコードの場合、Aはルート音、mは品質、つまり「マイナー」の標準的な略語です。

コードに属するノートを見つけるには、半音スケールから開始します。半音スケールには、それぞれが1つの半音で区切られた12個のノートが含まれます。

A — A# — B — C — C# — D — D# — E — F — F# — G — G#

一部の音符は、A#/B♭ (シャープ/Bフラット) のように2つの異なる方法で書くことができることに注意してください。どちらの名前も同じ周波数の音を指しますが、異なる文脈で使用されます。

ルート音から始めて、マイナーコードの場合は、まずルート音の「短3度」(半音3つ)上の音を取り、Cの音を生成します。3番目の音はルート(7半音)上の「完全5度」で、Eになります。

つまり、AmコードにはA、C、Eという音が含まれます。

これをコード化するには、まず半音スケール、音程、さまざまな式を表すオブジェクトを追加する必要があります。このクラスは、ChromaticScale特定のルート音のイン

スタンスを作成し、ルートから始まる半音スケールをキーとして、ルートからの距離(半音単位)を値として持つ辞書を構築します。

フレットボード上で音符を見つける

コード内のノートがわかったので、次はギターのフレットボード上でノートを見つける必要があります。

ギターのフレットボード上の音は半音階に従います。つまり、同じ弦の隣接するフレット上の音は半音で区切られています。そして、12 音すべてを通過した後は元に戻ります。つまり、ギターの 12 フレットでは、すべての音は開放弦の「0 フレット」と同じになります。

コードシェイプの取得

これで、特定のコードを演奏するために考えられるすべての運指位置を計算するための前提条件がすべて揃いました。多くの音符で 1 つの弦上に 2 つの異なる位置を設定できるという事実を考慮すると、可能な運指の組み合わせの総数は膨大になります。ただし、いくつかのルールを追加して、物理的に再生でき、音もおかしくないものだけを取得することができます。

音符の間隔は 4 フレットを超えてはいけません。そうしないと、コードを演奏するのが非常に難しくなるか、不可能になってしまいます。一度に発音できる音は 1 つだけであるため、コードのすべての音は別の弦に配置する必要があります。

オープン弦とミュート弦の識別演奏できないシェイプの一部を除外しましたが、提案されたコードには問題が残っています。ここで、3 つの塗りつぶされた黒い点は指の位置を示し、空の円は音をフレットせずに演奏できる「開放弦」を示し、2 つの X マークはミュートする必要がある弦、またはまったく弾かない弦を示します。

4 番目の開放弦は標準チューニングで D 音 (この場合はルート音) を演奏するため、コードの一部である間はフレットを引く必要はありません。

2 本の「下」の弦 (「最低音域」という意味では、技術的には上の 2 つの弦) は、コードを「濁らせ」たり、サウンドを完全に混乱させたりするため、演奏すべきではありません。

たとえば、5 番目の開放弦は A 音を演奏します。これは技術的にはコードの一部 (D、F \sharp 、A の音で構成されます) ですが、ルート音より低い弦にあると「濁ります」耳はルート音をベース (最低音) と結びつける傾向があるため、この音は A になります。専門的には、このコードは D/A (「D over A」または「D with A ベースノート」) と呼ばれます。

最も低い弦を開放で演奏した場合、E 音が生成されます。これは音域が根音より低く、コードの一部でもありません (ただし、D メジャー スケールの一部ではあります)。したがって、この音が演奏されると、D コードのように聞こえず、代わりに E コー

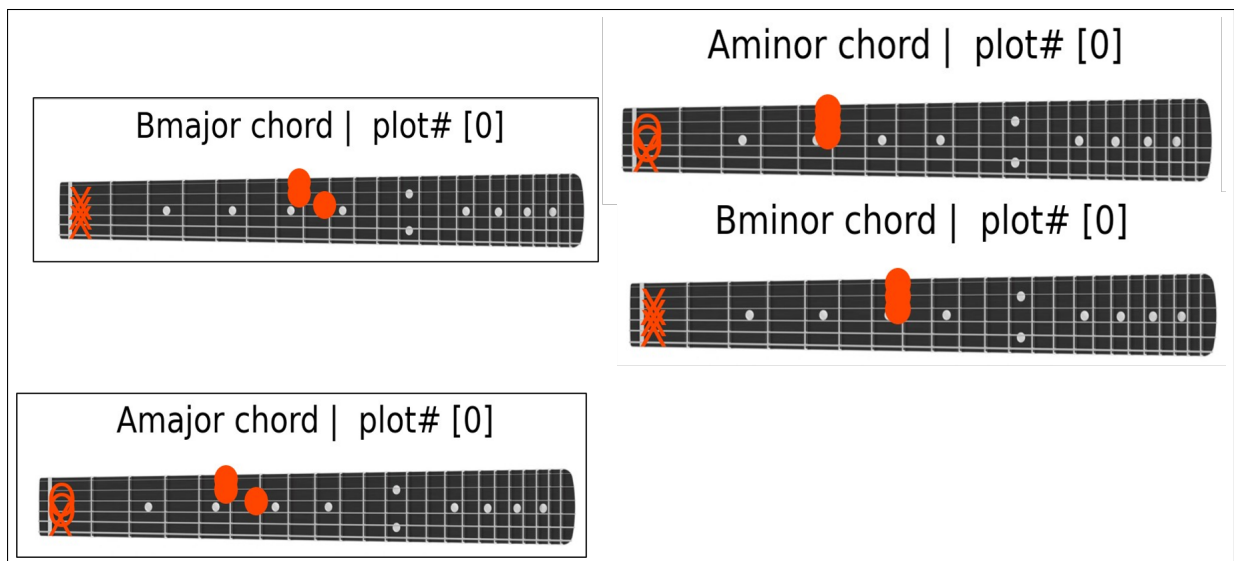


図 4.6: メジャーコード

ドのバリエーションになります (おそらく、E7b9sus4 または E7sus2sus4、正しい名前についての意見は異なります)。

したがって、コードを正しく鳴らすために、演奏できる開放弦とミュートすべき弦を識別するメソッドを追加する必要があります。

Step 4: コードに合ったタブ譜の情報を保存

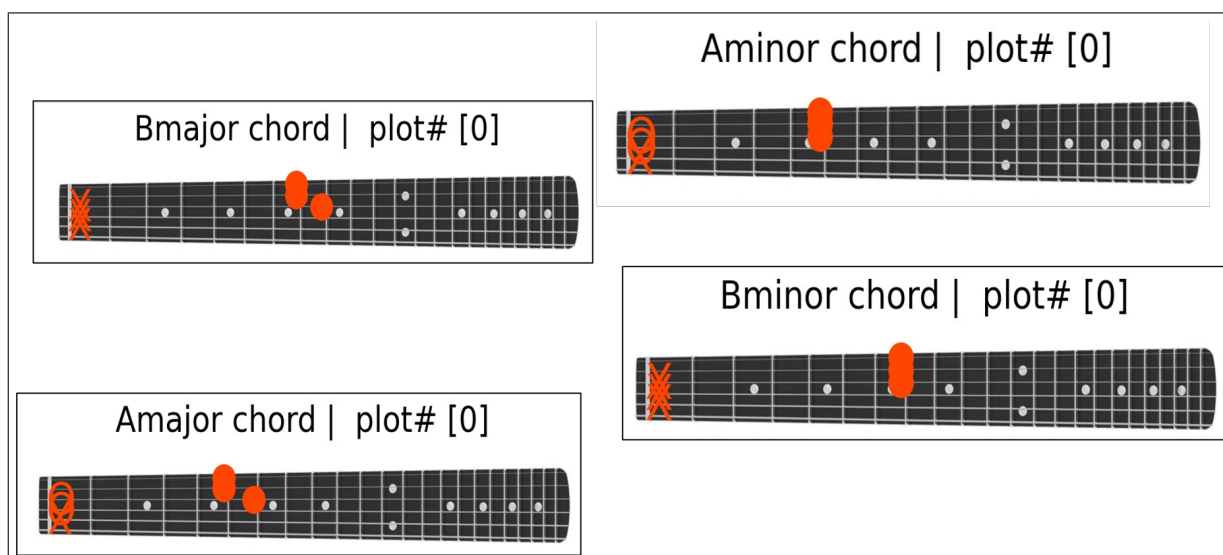


図 4.7: マイナーコード

数値実験並びに考察

§ 5.1 数値実験の概要

本研究の数値実験としてシステムの有用性の検証，科目推薦の有効性を行う．システムの有用性の検証では実際にシステムを使用してもらい，アンケートに答えてもらう．アンケートの項目は全部で 10 個あり，その 10 個には必ず答えてもらう．また，アンケートと同時にコメントを記入できる欄を設けておき，自由にコメントをできるようにする．このアンケートを持って本システムの有用性の検証を行う．アンケート項目は表 5.1 に示す．以上のコメントを 5 段階のリッカート尺度で評価してもらう．リッカート尺度とは，あるトピックに対して，多段階の選択肢を用いたアンケートを取り，回答者がどの程度同意するか測定する手法である．今回のアンケートでは 5 段階のうち，1 を全く満足していない，2 をあまり満足していない，3 をどちらでもない，4 をやや満足している，5 を非常に満足しているといったようにアンケートに答えてもらう．表 5.1 を見てわかる通り，アンケート項目全体を通して，基本的にはシステムの使用感に関する質問を多くしてある．本来なら本システムを使用し，成績（GPA）が向上するのを確認することでシステムの有効性を検証するべきだが，成績向上を確認するには開発したシステムを最低でも半期使用してもらわないと成績が向上したかを確認することができない．そのため，本研究ではアンケート調査を用いてシステムの有効性を示す．調査の対象は同研究室の学部 4 年，3 年生の合計 8 人に実際に開発したシステムを使用してもらい，アンケートを答えてもらった．実際に使用してもらうにあたり，システムの使用手順について説明を行い，実際に使用してもらう．手順は以下に記してある通り，新規登録から推薦科目の選択，教材のレビュー，ログアウトまでの一連の流れを説明した．

§ 5.2 実験結果と考察

おわりに

本研究では、

謝辞

本研究を遂行するにあたり，多大なご指導と終始懇切丁寧なご鞭撻を賜った富山県立大学工学部情報システム工学科情報基盤工学講座の奥原浩之教授，António Oliveira Nzinga René 講師に深甚な謝意を表します．また，システム開発および数値実験にあたり，ご助力いただいた富山県立大学電子・情報工学科３年生の島部達哉氏に感謝の意を表します．最後になりましたが，多大な協力をしていただいた研究室の同輩諸氏に感謝致します．

2022 年 2 月

山内拓海

参考文献

- [1] 水野 創太, 一ノ瀬修吾, 白松俊, 北原鉄朗, ”演奏未経験者のためのスマートフォンセンサーを用いた即興合奏支援システムの試作”, The 31st Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2017.
- [2] 長谷川隆, 西本卓也, 小野順貴, 嵯峨山茂樹, ”楽譜情報からの作曲家らしさ認識のための音楽特徴量の提案”, 情報処理学会論文誌 Vol. 53 No. 3 1204–1215 (Mar. 2012).
- [3] 平賀悠介, 大石康智, 武田一哉, ”主観評価に基づく楽曲間類似度算出モデル”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2009-MUS-81 No. 2, 2009/7/29.
- [4] 張夢堯, 成凱, ”鼻歌検索のための音楽特徴量の抽出と評価”, DEIM Forum 2022 C21-4.
- [5] 矢澤一樹, 糸山克寿, 奥乃博, ”ギター演奏音からの難易度調整可能なタブ譜自動生成システム”, 情報処理学会第 76 回全国大会, 5R-5.
- [6] 富山優亮, 泉朋子, ”演奏の楽しさの創出を目的としたギター未経験者向け音再生システムの提案”, 情報処理学会第 81 回全国大会.
- [7] 土橋彩香, 池宮由楽, 糸山克寿, 吉井和佳, ”歌声・調波楽器音・打楽器音分離とユーザ演奏のリアルタイム可視化に基づく音楽演奏練習システム”, 情報処理学会 インタラクション 2016.
- [8] 酒向慎司, ”音響信号によるリアルタイム楽譜追跡と能動的演奏支援システムに関する研究”, 電気通信普及財団 研究調査助成報告書 No. 31 2016.
- [9] 池田周平, 平賀譲, ”ジャズ即興演奏のための自動伴奏と半自動演奏アプリケーションの検討”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-MUS-123 No. 16.
- [10] 矢澤一樹, 糸山克寿, 奥乃博, ”ギター演奏者の習熟度に合わせた音響信号からのタブ譜自動生成”, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-MUS-100 No.17.
- [11] 株式会社ネオマーケティング, ”リッカー尺度とは？特徴や調査例、メリット・デメリット徹底解説 ― ネオマーケティング”, 閲覧日 2022-01-16, <https://column.neo-m.jp/column/marketing-research/-/3617> .
- [12] 後藤真孝, 吉井和佳, 藤原弘将, ”ユーザが誤り訂正により貢献可能な能動的音楽鑑賞サービス”, Proc. IPSJ Interaction, pp. 1363–1372(2012).
- [13] 中野倫靖, 後藤真孝, 平賀譲, ”歌を「歌って/聴いて/描いて」見る歌唱力向上支援インタフェース”, IPSJ Interaction, pp. 195–196 (2007).
- [14] 中村友彦, 水野 優, 鈴木孝輔, 中村栄太, 樋口祐介, 深山 覚, 嵯峨山茂樹, ”音楽演奏の誤りや反復に頑健な音響入力自動伴奏”, 日本音響学会 2012 年秋季研究発表会, pp.931-934, 2012.

- [15] 山本龍一, 酒向慎司, 北村正, ”隠れセミマルコフモデルと線形動的システムを組み合わせた音楽音響信号と楽譜の実時間アライメント手法”, 情報処理学会研究報告, vol.2012-MUS-96(13), pp.16,(2012).
- [16] 山本龍一, 酒向慎司, 北村正, ”セミマルコフ条件付き確率場を用いた音楽音響信号と楽譜のアライメント”, 日本音響学会 2012 年秋季研究発表会, pp.935-936, 2012.
- [17] 後藤真孝, 根本亮, ”遅延を考慮した不特定多数による遠隔セッションシステム”, 情報処理学会論文誌, Vol43,No2. pp299-309,2002.
- [18] 寺田努, 塚本昌彦, 西尾章治郎, ”2つの PDA を用いた携帯型エレキベースの設計と実装”, 情報処理学会論文誌, Vol44,No2,pp266-275,2003.
- [19] 前川督夫, 西本一志, 多田幸生, 間瀬健二, 中津良平, ”ネットワーク型ウェアラブル音楽創奏システムと日常生活空間演出構想の提案”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol6,No2,pp69-78,2001.

