

(様式5)

学 位 論 文 要 旨

西暦2022年12月16日

学位申請者
(加茂 文吉) 印

学位論文題目

ギター演奏の運動評価による技量獲得暗黙知の解明と教育への応用

学位論文の要旨

現在の演奏解析は、カメラによる録画や録音機による録音が主流となっているが、録画情報はプライバシーや編集コストの問題から教育現場に適用しにくい。またエレクトリックギターはその特性上、音響機器の有無によってサウンドが大きく異なり、音から演奏法を逆推定することが難しい。多数の学習者を同時に教育するような状況においては、教師の目が行き届かなくなることや、オンライン授業といった状況では運動の目視に制限が生じるので、学習の進捗をモニタリングする教育手法が必要であると考えた。

近年のMEMSセンサーの性能向上と、手首に装飾品を装着しながら演奏するギターリストが一定数いることから、腕時計型運動センサデバイスには演奏教育の課題を解決できる可能性がある。

そこで本研究では、エレクトリックギターにおける演奏の原因を腕時計型運動センサデバイスによる数値観測にて逆推定する解析手法について課題を整理し、ギター演奏の技量獲得時に発生する暗黙知の位置付けと、暗黙知解明の要件を定めた。

具体的な複数の演奏評価実験を提案し、複数の奏法について解析を示すことにより、暗黙知を解明する研究を行う。

更に、得られた知識を教育現場に適用する教育手法の研究を行う。

暗黙知解明の要件(A)は「音や映像からでは演奏の原因を逆推定できず、教師が学習者に対してフィードバックを行うことが難しい多様な奏法において、その原因を腕時計型運動センサデバイスを活用して数値観測し、結果得られた知識が暗黙知の場合は、暗黙知の解明である」と定めた。

暗黙知解明の要件(B)は「学習者が演奏技量を獲得した瞬間など時間不連続な事象の認知を暗黙知と位置付け、認知ができた場合は、暗黙知の解明である」と定めた。

まず、エレクトリックギターの演奏法が音から逆推定することが困難な理由を踏まえて、非利き手側と利き手側の演奏分析の状況について概観する。次に、エレクトリックギターのピッキング法の概略と明らかにすべき要素を整理する。さらに関連して、弦振動を止め鋭い音を作り出すアクセント付きコードストローク奏法について現状と課題を示し、研究対象とした。

3軸加速度センサ($\pm 16G$, $1G=9.8m/s^2$)と3軸角速度センサ($\pm 2000dps$)からなる腕時計型運動センサデバイスは、500Hzでサンプリングした3軸加速度ベクトル $a = (a_x \ a_y \ a_z)$ と、3軸角速度ベクトル $\omega = (\omega_x \ \omega_y \ \omega_z)$ の生の運動信号を内蔵のSDメモ리카ードに記録することができる。このサンプリング周波数500Hzは、リズムの精度を診断するのに十分な時間分解能を得るために必要であった。

ギターを弾き始める直前に腕時計型運動センサデバイスがほぼ動かない状態になると仮定すると、初期前腕姿勢角を高精度に推定することができる。また、運動信号 a , ω を用いたセンサフュージョン技術を用いることで、少なくとも1分間ギターを弾きながら、装置の肘中心回転角 θ , 手首ひねり角 ϕ を絶対誤差1度未満で算出することができる。また、エレクトリックギターを様々な奏法で演奏する場合、肘の往復運動が安定する傾向があるため、上死点および下死点のタイミングを利用して、演奏時間の分割を行うことができる。以上の特徴を持つ腕時計型運動センサデバイスをギタリストの利き手に装着して実験を行った。

演奏運動からリズムの正しさを推定する手法としては、手首における角速度信号のピーク時刻を用いる事例が知られているものの、その精度については十分な検証がなされていなかった。

研究対象とするアクセント付きコードストローク奏法において、モーションに基づくタイミング解析と音声に基づくタイミング解析の関係を示し、演奏運動からリズムの正しさを推定する手法の精度について、プロギタリスト3名とアマチュアギタリスト13名による検証を行った。

エレクトリックギターはアンプの種類など様々な要因によって音が変わることが考えられるため、実験環境で使用したギターとアンプは唯一のものを使用し、参加者には同一の腕時計型運動センサデバイスとピックを配布し、1人ずつ同じ環境の演奏場所に呼び出して記録映像・音声とともに演奏データを取得した。

腕時計型運動センサデバイスで取得したプロギタリストの研究対象奏法のモーション信号波形を確認すると、肘中心回転角速度 ω_z のピーク時刻付近にてピックと弦の衝突に起因する急激な角速度変化が認められており、撥弦のタイミングに対応していることが予想される。そこで、音響信号による計算結果と本研究による運動信号由来のダウンストローク時間間隔との比較をプロギタリストの演奏にて行ったところ、運動信号によるリズムゆらぎの値は、音響信号による計算結果よりもやや大きくなっていた。また、両者の間の相関係数 R は約0.45に留まっていたものの、運動信号による推定結果がワーストケース値として利用できることが分かった。

実験では、リズムのずれは5%以下であればリズムカルな音楽として十分である。3人のプロギタリストの実験では、90bpmと110bpmのリズムでは、ギターを聴いてもリズムの乱れを感じることはほとんどなかった。彼らはモーションベース法で推定したリズムの狂いが3%未満であることを示した。

$R=0.45$ の数値について、確実性という点では不十分である。この一方で、モーションから計算したリズムゆらぎの値は音響によるグラウンドトゥルスよりも概ね大きな値になることから、モーションベースでのリズムゆらぎが5%以内であれば、音響ベースでのリズムゆらぎも5%以内である可能性が非常に高いことが類推される。この結果、 $R=0.45$ という値であっても演奏運動評価に対して深刻な影響は与えないこととなる。したがって、動作に基づくリズムのずれが5%の閾値以下であれば、ストロークリズムの正しさを判断することができる。

ストロークの鋭さの評価アルゴリズムによりプロとアマチュアを明確に分ける評価パラメータSharpnessを開発し、検証した。プロとアマチュアの区別を録画や録音をせずに推定し、PC用アプリによって事後フィードバックを提示できることがわかった。

評価パラメータ θ 、 ϕ を2次元図形としての表現を用いることにより研究対象奏法の可視化を行い、演奏運動軌道の特徴を明確に示した。

ここで報告する成果①についてはICCE2022にて国際会議論文として採録された。

プロギタリストが参加した腕時計型ワイヤレス運動センサデバイスを用いたリアルタイムインタラクションシステムの実験により、事後/リアルタイムそれぞれのフィードバックの有効性を実証した。

システムをより現実的な環境で評価するため、様々な種類のアンプやエフェクターなどの音響機器を使用するエレクトリックギターにおいて、研究対象奏法同様に、音や映像から演奏技量を正しく評価することが困難で暗黙的な事象が含まれる奏法を複数提案し、それぞれの奏法における課題を整理した。

プロギタリストがリアルタイムインタラクションシステムを使用して音から技法を逆推定することが研究対象以外の多様な奏法を演奏分析するユーザーテストを実施し、動作に基づく評価パラメータの意図的に制御された変動によって、音から技法を逆推定することが難しい多様な奏法の演奏運動を示した。

ここで報告する成果②についてはGCCE2021にて国際会議論文として採録された。

著者は、以上の成果①、②を明らかにして、暗黙知解明の要件(A)を示した。

音楽系専門学校の教室におけるエレクトリックギターのアクセント付きコードストローク奏法の評価を17人の学生に対して試みて、各1時間計5回にわたるギターレッスンクラスへの実験授業を実施した。

この授業における到達目標は、プロギタリストとしての実践にて頻出する演奏リズムである110bpmを正しく維持しつつ、アクセントによる音楽表現力を習得することとした。

腕時計型運動センサデバイスにて取得した運動情報から計算する演奏リズムの評価パラメータRhythm、リズムゆらぎの評価パラメータRdev、ダウンストロークの鋭さの

評価パラメータ Sharpness を使用し、学生の到達目標をリズムゆらぎ Rdev が 5% 以内、Sharpness が 50msec 付近となることを目指した。

実験授業では、ギターレッスン全体からコードストローク演奏を実施していた時間帯を全て抽出し、各評価パラメータをテキスト形式にて一括出力したことで、運動データを見直すことなくレッスン内での演奏状況や学習の進捗度を教師と学習者の双方において容易に確認することができ、実質的なアクセント付きコードストローク奏法練習の最終回であった第 4 回では、Sharpness の数値がプロギタリストによる数値である 50～80msec に漸近しており、学生の演奏技量の習得が進んでいたことがわかった。第 5 回に実施した個別試験の結果では、17 人中 12 人が到達目標として設定した Rdev は 5% 以内、Sharpness が 50～80msec の値を達成しており、授業実施の成果を客観的に確認することができた。ここで報告する成果③については電子情報通信学会と文論文誌 D にてジャーナル論文として採録された。

著者は、以上の成果③を明らかにして、暗黙知解明の要件(B)を示した。

ギター演奏の芸術要素と運動センサ信号分析をはじめとする STEM 的な要素を組み合わせたプロジェクトベースドラーニング型授業を行い、理系大学教育における STEAM 手法の有効性を検証した。授業最終週の成果発表会及び学生から寄せられた授業へのコメントを検証すると、STEM と芸術の境界領域にて学生の取り組みや発想が発展的に広がっていくことがわかった。ここで報告する成果④についてはコンテンツ教育学会学会誌第 4 号にてジャーナル論文として採録された。

以上のように、本研究の提案手法について、演奏運動からリズムの正しさを推定する手法の精度を検証し、プロとアマチュアを明確に分ける評価指標の開発を行い、その有効性を示した。腕時計型運動センサデバイスと PC アプリを組み合わせたシステムによって複数の奏法を数値観測し、ギター演奏の技量獲得時に発生する暗黙知の解明を行った。更に、得られた知識を複数の高等教育機関において具体的に適用し、その教育手法の有効性を示した。

備 考

1. 要旨は 4000 字程度にまとめること。
2. 本様式により、ワープロで作成することを原則とする。
3. 用紙は A 4 版 上質紙を使用すること

(様式6)

S u m m a r y

Applicant for degree :

Fumiyoshi Kamo

Title of thesis :

A Kinesiological Approach to Implicit Knowledge of Guitar Playing Skills for Education

Currently, most performance analysis is based on camera recording, but recorded information is difficult to apply to educational settings due to privacy issues.

Therefore, Implicit Knowledge of Guitar Playing Skills was defined in this study.

The causes of guitar playing were inversely estimated by numerical observation using a wrist-worn inertial motion-sensing device to elucidate Implicit Knowledge, and an educational method was developed to apply the obtained knowledge to the educational field.

The correctness of the motion-based rhythm evaluation is confirmed by comparison with the audio-based evaluation for the chord strumming.

As a result, a newly developed evaluation algorithm for the strumming sharpness may clearly distinguish the professional and amateur guitarists.

A wireless wrist-worn motion diagnosis system for electric guitar players has been investigated to realize an interactive guitar training system.

Combinations of several kinds of diagnosis parameters were tried to find the effective interaction with a professional electric guitar player.

It was found that an accented chord strumming technique and other kinds of m

musical expression can be visualized intuitively without using cameras.

Music school students participated in guitar lessons wearing the wrist-worn device.

Application software may visualize the guitar strumming skill acquisition process without introducing time-consuming work.

As a result, the proposed system may add objective points of view for both learners and teachers in a music lesson class.

The development of educational content using the STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics) methodology, which combines the humanities and sciences, was conducted as a class at an information technology university.

The purpose of this project was to learn both art and science by analyzing guitar performances using the wrist-worn device.

As a result, the students' interest in physical movement in guitar performance deepened, and they were able to reach a state of thought and practice that combined artistic and scientific perspectives.

備 考

1. 要旨は300語程度にまとめること。
2. 本様式により、ワープロで作成することを原則とする。
3. 用紙はA4版 上質紙を使用すること。