

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12232

研究課題名（和文）マルチモーダル生体情報に基づく鍵盤楽器演奏技能推定手法の開発

研究課題名（英文）Development of a Keyboard Performance Skill Estimation Method Based on Multimodal Biometric Data

研究代表者

中平 勝子（Nakahira T., Katsuko）

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80339621

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究における課題は(1) 読譜時/演奏時における視行動分析、を軸に、(2) 読譜時/演奏時の脳活性度計測結果、(3) 演奏時に発生する打鍵ミスに対するヒューマンエラー分類。このうち、(2) についてはコロナ禍の影響でピアノ講師1名分のデータしか取れなかったため、(1) (3) を中心に進めた。(1) については読譜時/演奏時における視行動分析の、演奏熟達度に応じた指標として、一度の読譜時視行動で楽譜のどの程度の領域から情報を獲得しているかを示す情報獲得範囲およびそこにとどまる時間である情報獲得時間を提案した。また、シミュレーション結果より、(3) についても予言可能であることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題は、鍵盤楽器演奏を例に、マルチモーダル生体情報に基づいて演奏技能推定手法を開発することを目的とした。これは、指導者の主観的な評価に頼らざるを得なかった学習者の演奏技能を生体情報を用いて事前に推定し、付与する課題難易度の適正を検討し、学習者の学習意欲を削がないことにある。同様の手法を用いることで、他の技能教育についても、知覚-認知過程に即した

研究成果の概要（英文）：The main issues in this study were (1) analysis of visual behavior during reading and performance, (2) measurement of brain activity during reading and performance, and (3) human error classification of keystroke errors that occur during performance. Because data for (2) could only be obtained for one piano instructor due to the Corona disaster, we focused on (1) and (3). For (1), we proposed the information acquisition range, which indicates the extent to which information is acquired from the area of the score during a single reading session, and the information acquisition time, which indicates the time spent there, as indicators of performance proficiency in visual behavior analysis during reading/performance. The simulation results showed that (3) was also predictable.

研究分野：教育サービス, Web サービス

キーワード：マルチモーダル生体情報 演奏技能推定

1. 研究開始当初の背景

(1) **Society 5.0** の台頭と学習サービスの場 : **Society 5.0** の概念が政府から示され、サイバー空間と現実空間を高度に融合させ、経済発展や社会的問題の解決を目指しつつ人間中心の社会を形成し、新しい価値を産業や社会に持ち込む試みが多く提唱されていた。特に教育サービスへこの考えを適用することで、フォーマル学習に限らずインフォーマル学習(～生涯学習)の場の高度化が重要ではないかと考えた。

(2) 生体情報を活用した学習支援と学習サービス : また、**Society 5.0** の概念に従って通常の生活空間に某かのセンサーをおいて学習者の情報を収集し、それをサイバー空間で適切に処理し、改善できそうな指導や適切な課題の提示などを行う初心者向けの教育サービスの提供も可能となりつつあった。この状況下において、特に技能を伴うインフォーマル学習については、対象となる学習者年齢層が幅広いため、身体の所作を制御する認知の観点から学習者の行動能力の推定が必要と考えた。

2. 研究の目的

本研究では、技能教育の例として鍵盤楽器演奏を取り上げ、

- (1) 視線移動を含めた読譜時/演奏時読譜行動とその際の脳活性度の関係、および
- (2) 演奏する際の打鍵情報と演奏時読譜行動の関係、特に演奏間違いと演奏読譜行動との関係付けに着目

し、読譜/演奏時における視覚-運動協調モニタリングによる鍵盤楽器演奏技能推定手法の開発を行う。これまで、徒弟制に基づき、暗黙的に行われてきた鍵盤楽器演奏技能教育に対して新たな教育手法を提案できる可能性を示唆する。

3. 研究の方法

設定した研究課題は大きく2つあり、1) 脳活性度と読譜時/演奏時視行動の関連づけ、2) 演奏の正誤(ここでは楽譜における音高と鍵盤の対応正誤)と視行動の関連づけ、とした。ただし、課題実施途中で指定感染症流行に伴う行動制限・経済への影響などがあり、1) の脳活性度については完全な形でのデータ取得はできなかった。そのため、一部計画を変更し、1) 脳活性度と読譜時視行動の関連づけ、2) 演奏の正誤と視行動の関連づけおよび簡易認知シミュレーションによる検証、とした。

- 1) については、読譜時/演奏時それぞれに対する視線計測を通じて視行動解析を行う。また、前頭部(高次機能を司る)・後頭部(視覚を司る)それぞれに対する脳波から、その活性度を計測し、両者の関連を分析することで脳活性度と視行動の関係を定式化することとした。実際には、上記の理由から、脳波の部分を外し、楽譜の難易度に対する視行動の関連定式化を採用することとした。
- 2) については、当初想定していた協力者が指定感染症流行に伴う経済悪化の影響でピアノ講師そのものを離職したため、演奏の正誤と視行動の関連づけを簡易認知シミュレーションによって検証し、後日後任のピアノ講師が決まった段階で再度協力依頼をすることとした。最終的には、両課題から得られた結論を結びつけ、読譜/演奏時における視行動を主たる情報源とし、学習者の視聴覚-運動強調モニタリングの結果を活用した鍵盤楽器演奏技能推定手法の開発を行い、学習者の技能獲得のための行動記録活用につなげたいとした。

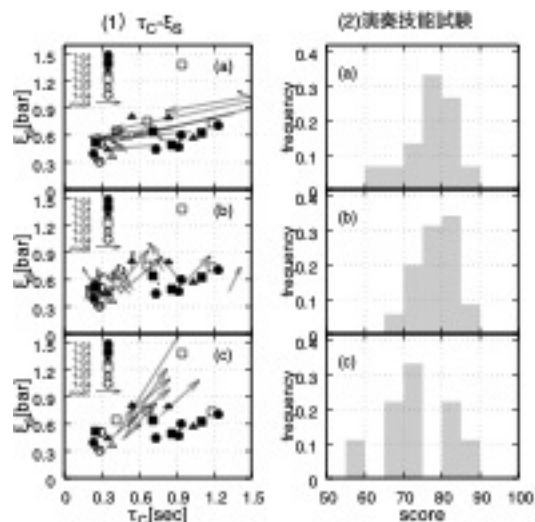
4. 研究成果

主たる研究成果は次の通りである。

1) 読譜時/演奏時における視行動分析、および、ヒューマンエラーの分類を中心に進めてきた。読譜時/演奏時における視行動分析の、演奏熟達度に応じた指標として、一度の読譜時視行動で楽譜のどの程度の領域から情報を獲得しているかを示す情報獲得範囲(AIA:Aria of Information Acquisition)、およびAIAにとどまる時間である情報獲得時間(τ)を提案した。AIA・情報獲得時間で張られる平面を作り、異なる2種のレベル L_a 、 L_b を持つ楽譜を学習者に見せた際、 L_a に対する座標(AIA/τ)および L_b に対する座標(AIA/τ)の2点のベクトルの向きを4種に分類し、その分類と、学習者が実際に期末試験として受験した演奏技能得点を比較することで、学習者の演奏技能状態を熟達・非熟達で分類可能であることを見出した。このことから、 AIA/τ の関係は学習者の読譜時視行動から演奏技能を推定するのに役立つと言える⁽¹⁾。

2) 視行動と脳波の関係については、世情により実際の演奏実験を行うことが難しかったため、以下の様な擬似実験を行った。読譜時における視行動と脳活性の関係を推定するために、2種類ある読譜方法のうち、数え読み状態に近いと考えられる基本計算時の脳活性と視行動の関係を

関係づけるため、次の基礎実験を行なった。Eモードとして、3桁どうしの繰り上がりのない足し算、Nモードとして3桁どうしの繰り上がりのある足し算、Hモードとして3桁と2桁の掛け算を行わせ、その際の視行動の変化と脳活性の関係を確認した。その結果、少なくとも計算の難易度と視行動には、5秒間の刺激呈示中、Eモードであれば呈示開始後2秒程度で答案へと移動し、Nモードではそれが3秒前後で答案へと移動し、Hモードでは安定した移動がないこと、および、この3者間での脳活性を計測すると、Nモードの時には有意にFmθ領域と呼ばれる、数的処理事業や楽器演奏中に発現する関係がある部分での脳活性が認められた。このことから、視行動を元に脳活性を推定することが可能ではないかという予測が成立する⁽⁴⁾。



図：情報獲得時間—情報獲得範囲の関係と演奏技能試験の結果（中平ら⁽¹⁾より）

3)演奏時に発生する打鍵ミスに対するヒューマンエラー分類やACT-R理論を援用した音価判定過程のモデル化およびシミュレーション、練習スケジュールと学習速度、打鍵ミスとの関係等、鍵盤楽器演奏時のアクションスリップの分類結果と音楽記号の認識能力の関係を見出すため、音符認識過程のモデル化を行った。特に音価判定の間違いに着目し、練習スケジュールとエラーの関係につき、アクションスリップ分類の基礎であるATS理論とACT-R理論を援用し、ノイズを含めた活性方程式と検索確率方程式に従って音符要素から音符種別の判定を行った。また、出力結果のうち誤答を出力した原因について、ATS理論を用いて分類した。その結果、ACT-R理論における基礎活性・連合強度・原始活性と低出現頻度音符の間違い（キャプチャエラー）、および基礎活性と練習スケジュールの影響（連想活性化エラー）を部分的に再現することができた^(5,6)。

4)鍵盤楽器学習初學者の練習を想定した視覚による楽譜呈示・聴覚による音高呈示を続けて行なった後、呈示された内容を鍵盤にて再現する際の脳波の変化についても計測を行なった。実験は3回行なったが、その結果、音楽処理に関する部位については活性度が上昇し、視覚野については実験回数とともに活性度が減少することが確認された⁽³⁾。

5)以上を踏まえ、鍵盤楽器演奏技能推定には、視行動に基づく推定が効果的であることが予想される。

引用文献

- (1) 中平勝子, 寺岡耕平, 長井貴也, 北島宗雄, “読譜時視行動パターンによる演奏技能の推定”, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol. 21, No. 4, pp.371-380, 2019.
- (2) 武田大河, 中平勝子, 北島宗雄, “楽器演奏教育支援のための楽典学習の深化と読譜方略選択の関係”, 第18回情報科学技術フォーラム予稿集, Vol. 2019, No. 3, pp.303-304, 2019.
- (3) 秋元頼孝, 石野未沙, 三宅圭音, 宮澤志保, 落合純, 中平勝子, “簡易脳波計によるピアノ演奏技能の上達評価に向けた予備的研究: キーボードの違いと演奏音の有無が脳波と反応時間に与える影響”, 長岡造形大学研究紀要, Vol. 19, pp.6-13, 2021.
- (4) Katsuko T. Nakahira, Munenori Harada, Muneo Kitajima, “Analysis of the Relationship between Subjective Difficulty of a Task and the Efforts Put into It using Biometric Information”, Proceedings of the 17th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications, Vol. 2, pp.241-248, 2022.
- (5) 後閑祐介, 北島宗雄, 中平勝子, “音価判定にかかる知識獲得・利用とエラー発生過程のACT-Rシミュレーション”, 第84回情報処理学会全国大会予稿集, Vol. 22, No. 1, pp.181-182, 2022.
- (6) 野上真, 後閑祐介, 北島宗雄, 中平勝子, “鍵盤楽器演奏における曲中フレーズ学習過程のACT-Rシミュレーション: 学習促進要因の抽出”, 第21回情報科学技術フォーラム予稿集, Vol. 2022, No. 3, pp.375-378, 2022.
- (7) 伊藤遼哉, 秋元頼孝, 中平勝子, “簡易脳波計で取得したの王はデータのデータ涼と機械学習のパフォーマンスの関係についての検討”, 2021年度JSiSE学生研究発表会, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 秋元頼孝, 石野未沙, 三宅圭音, 宮澤志保, 落合純, 中平勝子	4. 巻 19
2. 論文標題 簡易脳波計によるピアノ演奏技能の上達評価に向けた予備的研究：キーボードの違いと演奏音の有無が脳波と反応時間に与える影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 長岡造形大学研究紀要	6. 最初と最後の頁 6-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 中平勝子, 寺岡耕平, 長井貴也, 北島宗雄	4. 巻 21
2. 論文標題 読譜時視行動ボタンによる演奏技能の推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ヒューマンインタフェース学会論文誌	6. 最初と最後の頁 371-380
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11184/his.21.4_371	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Katsuko T. Nakahira, Munenori Harada, Muneo Kitajima
2. 発表標題 Analysis of the Relationship between Subjective Difficulty of a Task and the Efforts Put into It using Biometric Information
3. 学会等名 6th International Conference on Human Computer Interaction Theory and Applications（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後閑祐介, 北島宗雄, 中平勝子
2. 発表標題 音価判定にかかる知識獲得・利用とエラー発生過程のACT-R シミュレーション
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三宅圭音, 石野未沙, 秋元頼孝, 中平勝子
2. 発表標題 脳波計測によるピアノ演奏課題の練習効果の測定の試み
3. 学会等名 2021年度JSiSE学生研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤遼哉, 秋元頼孝, 中平勝子
2. 発表標題 簡易脳波計で取得した脳波データのデータ量と機械学習のパフォーマンスの関係についての検討
3. 学会等名 2021年度JSiSE学生研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後閑祐介, 中平勝子, 北島宗雄
2. 発表標題 鍵盤楽器演奏時のアクションスリップ分類と音楽記号の認識能力の関係分析
3. 学会等名 第83回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木理玖, 秋元頼孝, 中平勝子
2. 発表標題 脳波・視線同時計測を用いた難易度推定指標の設計
3. 学会等名 第83回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊怜, 秋元頼孝, 中平勝子
2. 発表標題 単語中の文字順変更を含む文理解時の脳波計測
3. 学会等名 2020年度JSiSE学生研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田大河, 中平勝子, 北島宗雄
2. 発表標題 楽器演奏教育支援のための楽典学習の深化と読譜方略選択の関係
3. 学会等名 FIT2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後閑祐介, 中平勝子, 北島宗雄
2. 発表標題 文章更新量比較技術を適用した鍵盤楽器演奏間の相違の量的評価手法
3. 学会等名 FIT2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野上真, 後閑祐介, 北島宗雄, 中平勝子
2. 発表標題 鍵盤楽器演奏における曲中フレーズ学習過程のACT-Rシミュレーション：学習促進要因の抽出
3. 学会等名 FIT2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	秋元 頼孝 (AKIMOTO YORITAKA) (00555245)	長岡技術科学大学・工学研究科・准教授 (13102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------