

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K17894

研究課題名(和文) 運動学習-運動制御の統一枠組みに基づく運動学習の統一モデル構築

研究課題名(英文) A unified model of motor learning based on a unified framework of motor control and learning

研究代表者

瀧山 健 (Takiyama, Ken)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40725933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：複数関節かつ時間変化する身体運動データと、運動の実行結果との関連性を推定する機械学習手法を提案した(Furuki & Takiyama, 2019, 2020, Takiyama+, 2020)。従来、複数関節かつ時間変化する身体運動データのみ扱う枠組みや、特定の身体運動要素と運動実行結果を関連付ける枠組みは存在した。しかしながら、複数関節かつ時間変化する身体運動データと運動実行結果との関係性を議論する枠組みは稀有であった。本研究により運動学習に伴う身体運動の変容過程を議論していく土台をより強固になり、なおかつデータ駆動型へと発展させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

昨今、スマートフォンなどで撮影した動画を利用した、ヒトの身体運動計測技術の発展が目覚ましい。すなわち、近い将来、自らの身体運動をいつでもどこでも計測する未来がすぐそこまで迫ってきている。計測技術の進展は目覚ましい一方、身体運動の解析方法の進展速度は遅いと言わざるを得ない。特に、動画から抽出した身体運動データを解析する技術は数少なかった。本研究では、どのような身体運動データに対しても利用可能な、運動学習に伴う身体運動パターンの変容を捉える機械学習手法を提案した。これにより、効果的なりハビリテーションやスポーツトレーニングがいつでもどこでも可能となる将来への実現へと一歩近づくことが期待できる。

研究成果の概要(英文)：We proposed a data-driven method to detect the relationships of time-varying and multi-joint motion data to motion outcome data (Furuki & Takiyama, 2019, 2020, Takiyama+, 2020). Conventional studies focused on either time-varying and multi-joint motion data or motion outcome data. It thus remains unclear how to quantify the relationships between time-varying and multi-joint motion data and motion outcome data. We not only proposed a data-driven method to quantify the unclear relationship but applies to motor learning situations. Our method succeeded in quantifying the modulations of time-varying and multi-joint motion data during motor learning processes. In addition, we clarified novel features of motor learning via our methods.

研究分野：身体運動科学

キーワード：身体運動制御 身体運動学習 データ駆動型身体運動科学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

プロスポーツ選手、音楽家、伝統芸能、など優れた身体運動がどのように達成されているか未だ明らかでない。言い換えるならば、運動のコツを明らかにする技術は未だ確立していない。運動のコツを明らかにする枠組みが提案された後には、効果的なスポーツトレーニング、演奏練習法、リハビリテーションなど様々な応用が期待できる。

運動のコツを明らかにすることに関連した先行研究として、身体運動データの特定の要素に限定して実行結果との関係性を推定する枠組みや (e.g., goal-equivalent manifold, tolerance-noise-covariance analysis)、複数関節かつ時間変化する身体運動データを考慮するものの運動の実行結果との関連性は議論しない枠組み(e.g., uncontrolled manifold, principal component analysis)が挙げられる。しかしながら、身体運動は複数関節かつ時間変化するものであり、この複数関節かつ時間変化する身体運動と運動の実行結果とを関連付ける枠組みは稀有なものであった。いわば、運動のコツを明らかにする枠組みは未だ構築されていないと言わざるを得ない。

2. 研究の目的

本研究では、複数関節かつ時間変化する身体運動データと、運動の実行結果の関連性を議論する枠組みの提案を研究目的とした。これにより、運動のコツを明らかにする手がかりとなることが期待できる。加えて、提案する枠組みを運動学習中の計測データに適用することで、運動学習に伴う身体運動の変容パターンを明らかにすることもまた研究目的とした。これにより、コツの獲得方法が明らかにできる可能性が期待される。

3. 研究の方法

従来、身体運動が従う方程式や解析計算可能な方程式の解析が主流であった。すなわち、複数関節かつ時間変化する身体運動データを扱う枠組みも存在すれば、身体運動データの特定の要素に限定して実行結果との関係性を推定する枠組みも存在した。しかしながら、身体運動が従う方程式や解析計算可能な方程式に局限している限り、複数関節かつ時間変化する身体運動データと、運動の実行結果の関連性を議論する枠組みの提案は難しい。

そこで本研究では、比較的シンプルな機械学習手法を利用したデータ駆動型の手法を利用して、複数関節かつ時間変化する身体運動データと、運動の実行結果の関連性を示す手法の提案に挑んだ。提案手法において必要な要素は計測データのみであり、運動パターンや計測した運動データの種類の依存せず、普遍的に利用可能な手法となりうる。データさえ計測すればデータ駆動型に運動のコツを抽出可能ではないかという仮説のもと、本研究に取り組んだ。

4. 研究成果

複数関節かつ時間変化する身体運動データと、運動の実行結果の関連性を推定する手法を提案した(Furuki & Takiyama, 2019, 2020, Takiyama+, 2020)。本手法により、既存の枠組みの利点の統合かつ欠点の克服を可能とする手法を提案することに成功したといえよう。加えて、運動学習と身体運動データの関連性の議論もまた可能となった(Furuki & Takiyama, 2019, 2020)。すなわち、運動のコツの抽出に加えて、運動学習に伴うコツの獲得過程を抽出できる可能性を見出した。従来個別に議論されていた身体運動制御と身体運動学習であったが、本研究提案により、身体運動制御と身体運動学習を統合的に扱う枠組みの礎を整える第一歩を踏み出せたと言える。

加えて、本研究では、運動学習の性質そのものを明らかにすることにも取り組んだ。従来の運動学習理論では、同一の運動を計画している場合は同一の運動学習効果を発揮できるものと想定されてきた。しかしながら、同一の運動を計画している中でさえ、運動のルールそのものが変更されれば運動学習効果は100%発揮できないことを示した(Ishii+, 2018)。

さらには、タブレット端末などいつでもどこでも利用可能な実験系 (Takiyama & Shinya, 2016) を利用してパーキンソン病患者の運動学習能力の性質を明らかにした (Takiyama+, 2020)。従来、パーキンソン病患者の運動学習能力はコントロール群と差がない、もしくは劣るとされてきた。しかしながら、実験の条件にほぼ気づかない条件の元で運動学習能力を検証した結果、パーキンソン病患者の運動学習能力は、コントロール群よりも誤差への感受性が高いものの誤差を減少させるためには必ずしも優れてはいない、という新たな成果を報告した。

さらに、上記の運動学習や運動制御に関わる研究に加えて、運動計画の特性を明らかにする研究成果を得ることに成功した (Ota+, 2020)。身体運動には少なくとも3つのフェーズが存在する。1つ目は目標の運動を定める運動計画、2つ目は定めた目標の運動を達成するために運動を実行する運動制御、3つ目は生じた誤差を修正する運動学習である。多くの先行研究が運動制御や運動学習の性質を検証する中、運動計画の性質は未だ詳細に検証されていない。特に、ヒトの運動計画は、高得点かつ高失敗確率の選択肢を好むリスク選好性が内在することは広く知られているものの、どのようにすればリスク選好性を打破して最適な運動計画が達成可能か未だ明らかにされていない。

本研究では、対戦することにより運動計画が変容する従来の知見に基づき、弱い相手と対戦す

ることにより最適な運動計画を達成できることを明らかにした。

以上、運動計画、運動制御、運動学習という3つのフェーズにわたり幅広く優れた運動技能の解明や優れた運動技能を獲得する方法の解明に挑んだ。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Takiyama Ken, Sakurada Takeshi, Shinya Masahiro, Sato Takaaki, Ogihara Hirofumi, Komatsu Taiki	4. 巻 10
2. 論文標題 Larger, but not better, motor adaptation ability inherent in medicated Parkinson's disease patients revealed by a smart-device-based study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-63717-x	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 -
1. 著者名 Furuki Daisuke, Takiyama Ken	4. 巻 10
2. 論文標題 A data-driven approach to decompose motion data into task-relevant and task-irrelevant components in categorical outcome	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-59257-z	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 -
1. 著者名 Takiyama Ken, Yokoyama Hikaru, Kaneko Naotsugu, Nakazawa Kimitaka	4. 巻 10
2. 論文標題 Speed-dependent and mode-dependent modulations of spatiotemporal modules in human locomotion extracted via tensor decomposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-57513-w	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 該当する
1. 著者名 Ota Keiji, Tanae Mamoru, Ishii Kotaro, Takiyama Ken	4. 巻 10
2. 論文標題 Optimizing motor decision-making through competition with opponents	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-56659-6	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 該当する

1. 著者名 Furuki Daisuke, Takiyama Ken	4. 巻 9
2. 論文標題 Decomposing motion that changes over time into task-relevant and task-irrelevant components in a data-driven manner: application to motor adaptation in whole-body movements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-43558-z	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 -

1. 著者名 Koutaro Ishii, Takuji Hayashi, Ken Takiyama	4. 巻 8
2. 論文標題 Influence of switching rule on motor learning	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13559: 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1038/s41598-018-31825-4	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 8件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 瀧山健
2. 発表標題 身体運動データに潜む課題関連成分を抽出する
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ken Takiyama
2. 発表標題 A data-driven approach to decompose motion data into task-relevant and task-irrelevant components
3. 学会等名 UT-TUM joint workshop: Online and offline movement corrections: from neuronal mechanisms to the practical applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀧山健
2. 発表標題 既存理論の鳥瞰図を描く -身体運動制御・身体運動学習の統一的枠組みを目指して-
3. 学会等名 ASCONE 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken Takiyama
2. 発表標題 Detecting task-dependent modulation and individual difference of spatiotemporal module via tensor decomposition
3. 学会等名 The 3rd Annual Neuromechanics and Motor Control Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken Takiyama
2. 発表標題 How to reveal neural mechanisms of motor learning from human behavior
3. 学会等名 Voice recognition system (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken Takiyama
2. 発表標題 How to measure and model our motor learning ability?
3. 学会等名 NAIST コロキアムA (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken Takiyama
2. 発表標題 Detection of task-relevant and task-irrelevant motion sequences: application to motor adaptation in goal-directed and whole-body movements
3. 学会等名 Forum at RIKEN CBS (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken Takiyama, Daisuke Furuki
2. 発表標題 Detection of task-relevant and task-irrelevant motion sequences: application to motor adaptation in goal-directed and whole-body movements
3. 学会等名 Annual meeting of Society for Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀧山健
2. 発表標題 「ばらつき」の特徴を捉える機械学習手法
3. 学会等名 Motor Control 研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koutaro Ishii, Takuji Hayashi, Ken Takiyama
2. 発表標題 Influence of switching rule on motor learning
3. 学会等名 日本神経科学学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

身体運動の“コツ”・“クセ”を見破る手法の開発
http://www.tuat.ac.jp/outline/disclosure/pressrelease/2019/20190510_01.html

格下との対戦で最適な運動パフォーマンス、東京農工大学が発見
https://univ-journal.jp/30315/?show_more=1

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
--	---------------------------	-----------------------	----