

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02151

研究課題名(和文)座標系に基づくヒト運動解析の妥当性検討及び座標系フリー解析方法の確立

研究課題名(英文) Testing the validity of coordinate-dependent analysis of human movement and developing a coordinate-free alternative method

研究代表者

PATAKY TODD (Pataky, Todd)

京都大学・医学研究科・准教授

研究者番号：70571272

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究プロジェクトでは、研究協力者と共に申請者が国際学術誌にて査読された本研究の技術的な発見の詳細に関する論文を9件公開した。それに、本研究で明らかにした独創的科学的結果を記述する論文が現在準備中であり、2020年末まで提出する予定である。

本研究期間中には国際学会発表が8件、国内学会発表が1件できた。この内、国際バイオメカニクス学会にて招待セミナーと招待ワークショップを1件ずつできた。また、複雑な三次元ヒト運動データの処理・解析のための様々なソフトウェアツールを開発した。他研究者も利用できるように、これらのソフトウェアをオープンソースにし、ウェブ上に公開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

提案の座標系フリー法が他分野(特にニューロイメージング)において革命をもたらしたように、本研究はヒト運動科学の分野において革命的な発展になることが予想できる。提案する座標系フリー法がヒト運動に関する我々の理解度を意義深く前進させるため、本研究はいずれ、運動障害の診断・治療、人工関節のデザイン、そして老人転倒防止手法等のような社会の大きなヒト動作に関する問題を全て改良する。従って、これらは社会に及ぼす経済的負担を軽減し、社会の健康・幸福を向上させる。

研究成果の概要(英文)：During this research project the principal investigator, together with the research collaborators, published a total of nine peer-reviewed scientific papers in international journals. We are additionally preparing a major paper that summarizes the major novel scientific findings, that we intend to submit in late 2020. We presented various aspects of this work at 8 international conferences and one domestic conference, including an invited seminar and an invited workshop at a major international conference.

Also during this research project, our team developed various software tools for managing, processing and analyzing complex three-dimensional data. We have made all software tools available to the public under permissive open-source licenses. Last, after publishing our major paper, we intend to make both anonymized data and relevant software tools available to the public, so that other researchers can verify our results and/or pursue other research goals.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：スポーツ科学 応用統計 三次元ヒト運動解析 関節形態及び機能

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

19世紀に Muybridge 氏の先駆的映画撮影術研究によりヒト運動科学という分野が生成され、現代の技術が Muybridge 氏のオフライン 2次元(以下、2D)撮影・計測方法(図1)をリアルタイム・マルチカメラ 3Dモデル化機能に変換してきた。これらの 3D工学的進歩にも関わらず、我々科学者のヒト運動に関する記述・解析は Muybridge 氏の 2D映画撮影術方法、特に座標系定義にまだ強く依存している。分野としては、2D運動平面(図1)を定義する関節座標系(図2)の標準化に大変な努力を費やしてきた。その結果、文献のほぼ全ての論文が運動を記述する際には、実際に計測した関節運動データを考えずに、以前に定義した X・Y・Z軸と XY・XZ・YZ平面のみの運動を別々に発表することが標準手法になってきた。

問題：XYZ運動成分を別々に解析することが、成分間の独立性を前提するため、重要な科学的・統計的問題である。ヒト運動の研究者は、昔の文献でも運動成分が非独立であることを示唆したが、代替の標準方法がないため、成分間独立性を前提とする従来方法を利用して続けている現状がある。要するに、我々の複雑な 3Dヒト運動の科学的解析能力は、我々の計測・モデル化の工学的能力に追いついていない。

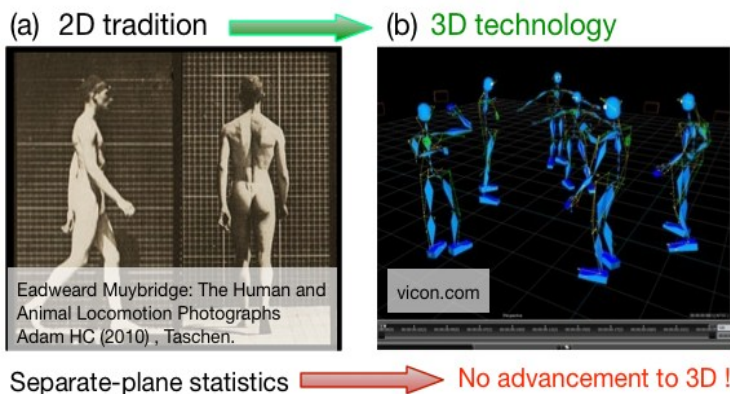


図1：従来オフライン 2次元平面的ヒト運動解析手法 (a) がリアルタイム三次元技術 (b) に進んできたが、殆どの文献ではまだ 2次元平面的解析しか行わない。この傾向は、ヒト運動科学における技術・科学の不均衡を現す。

2. 研究の目的

現代のヒトの 3次元運動を計測する技術がオフライン 2次元方法をリアルタイム 3次元機能に変換してきたが、その運動の機械的記述は、まだ 1世紀以上前の 2次元映画撮影術方法から開発されてきた関節座標系に頼っており、標準の科学的記述及び統計的解析はいまだに 2次元方法から得た座標系に強く依存している。研究の具体的な目的は下記のとおりである。

1. 従来のヒト運動の座標系依存解析方法の妥当性を実験的に追究し、統計的に検定する。
2. 座標系に拠らない「座標系フリー」法を明確にし、ソフトウェアを開発する。

3. 研究の方法

本研究は 3年間にわたって実施した。

- 1年目、能動運動実験(目標:矢状面運動タスクにおける非平面運動の量を明確にする)
 - 2年目、屍体実験(目標:矢状面のみの運動は非生理学的な力が必要かを証明にする)
 - 3年目、受動運労実験(目標:非平面運動を in vivo 受動解剖で説明できるかを確定する)
- 上記実験計画では本研究の第 1 目的を満たし、運動の座標系依存解析方法の妥当性を検定する。同時に本研究の第 2 目的を満たすには、座標系フリー法及びソフトウェア開発を平行して行う。また、効率的に行うために、膝関節のみに集中する。即ち、膝関節の主な機能が明らかに矢状面回転であるため、膝関節の平面的解析が不適切であることを明確にすると、他の関節の平面的解析も不適切であろうと強く示唆した。

4. 研究成果

(1) まずは図2に表すように通常の2次元リンク運動システムでも、従来統計手法のデメリットと提案現代的統計手法の必要性を明らかにした。この上に、3次元運動の複雑さでこの問題が大きくなることも明確にした。要は、従来手法は別々の平面で計算を行うが、リンクの3次元の運動共分散を無視してしまう。

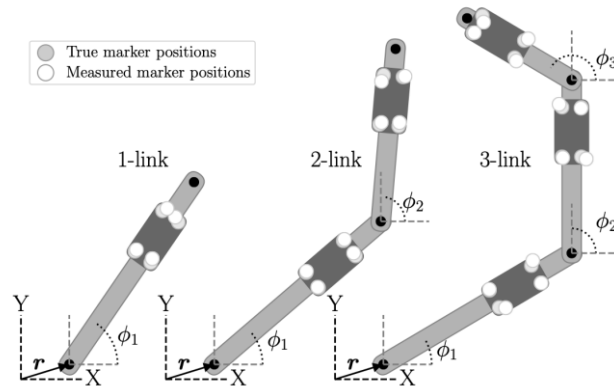


図2：通常2次元のリンクシステムにおける従来解析手法の弱点を現代的統計手法で明らかにした。

(2) 上記結果と同様に、現実的な運動システムでは、図3に示すように、様々なノイズの種類が出てしまう。これらのノイズの原因は、図2に表すようにマーカーのを精密的に計測できないことと3次元と座標系を正確の定義の複雑さを明らかにした。これに、提案手法がこれらの問題を統計的に解決することも明確した。

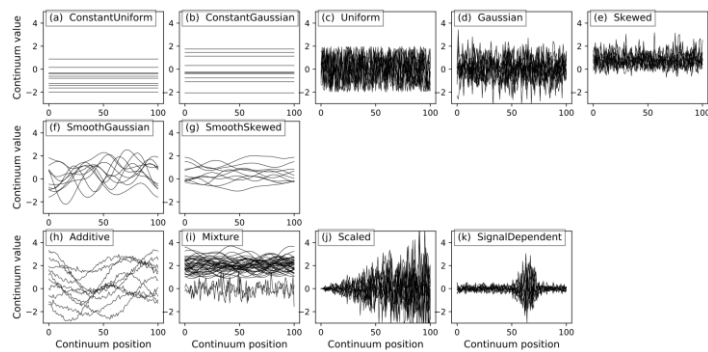


図3：様々なノイズの種類が生じてても、提案方法の妥当性を検証した。

(3) 上記問題を解決する手法を実施した様々なソフトウェアツールを開発し、他研究者も利用できるために、オープンソースにし、ウェブ上に公開した。統計原理を実施したテキストプログラミング向けソフトウェアライブラリのみではなく、図4のように、これらのライブラリを使用するマウスだけでも使いやすいソフトウェアも開発し公開した。

これらの成果の上に、本研究の結果を確認できるために、本研究で得たヒト運動データを関連できないように匿名化を行い、2020年末までオープンソースで公開する予定もある。

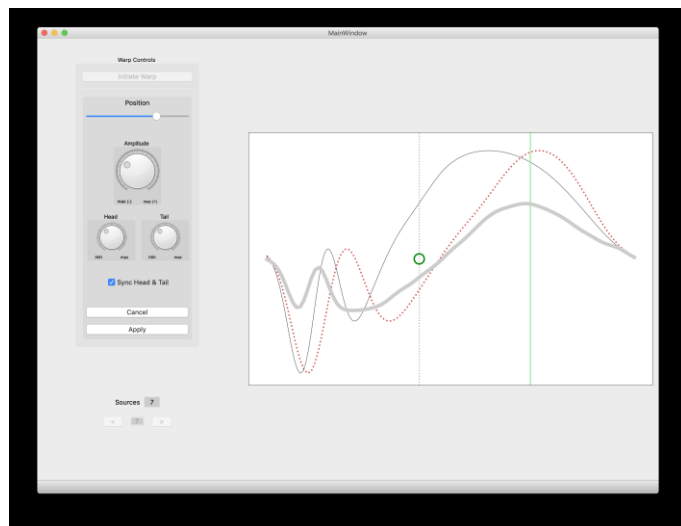


図4：複雑な3次元データを客観的に解析できる

様々な使いやすいオープンソースソフトウェア・ツールを開発した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名 Pataky Todd C., Vanrenterghem Jos, Robinson Mark A., Liebl Dominik | 4. 巻 91 |
| 2. 論文標題 On the validity of statistical parametric mapping for nonuniformly and heterogeneously smooth one-dimensional biomechanical data | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Biomechanics | 6. 最初と最後の頁 114 ~ 123 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiomech.2019.05.018 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 Panagiotopoulou Olga, Pataky Todd C., Hutchinson John R. | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 Foot pressure distribution in White Rhinoceroses (Ceratotherium simum) during walking | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 PeerJ | 6. 最初と最後の頁 e6881 ~ e6881 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7717/peerj.6881 | 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 Pataky TC, Vanrenterghem J, Robinson MA | 4. 巻 82 |
| 2. 論文標題 Bayesian inverse kinematics vs. least-squares inverse kinematics in estimates of planar postures and rotations in the absence of soft tissue artifact | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Biomechanics | 6. 最初と最後の頁 324-329 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiomech.2018.11.007 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 Pataky TC, Vanrenterghem J, Robinson MA, Challis JH | 4. 巻 82 |
| 2. 論文標題 Smoothing can systematically bias small samples of one-dimensional biomechanical continua | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Biomechanics | 6. 最初と最後の頁 330-336 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiomech.2018.11.002 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Warmenhoven J, Harrison AJ, Robinson MA, Vanrenterghem J, Bargary N, Smith R, Cobley S, Draper C, Donnelly CJ, Pataky TC | 4. 巻 21 |
| 2. 論文標題 A force profile analysis comparison between functional data analysis, statistical parametric mapping and statistical non-parametric mapping in on-water single sculling | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Science and Medicine in Sport | 6. 最初と最後の頁 1100-1105 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jsams.2018.03.009 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Lamb PF, Pataky TC | 4. 巻 36 |
| 2. 論文標題 The role of pelvis-thorax coupling in controlling within-golf club swing speed | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Sports Sciences | 6. 最初と最後の頁 2164-2171 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/02640414.2018.1442287 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Pataky TC, Robinson MA, Vanrenterghem J | 4. 巻 66 |
| 2. 論文標題 A computational framework for estimating statistical power and planning hypothesis-driven experiments involving one-dimensional biomechanical continua | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Biomechanics | 6. 最初と最後の頁 159-164 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiomech.2017.09.031 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名 Naouma Hanaa, Pataky Todd C. | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 A comparison of random-field-theory and false-discovery-rate inference results in the analysis of registered one-dimensional biomechanical datasets | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 PeerJ | 6. 最初と最後の頁 e8189 ~ e8189 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7717/peerj.8189 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 Pataky Todd, Naouma Hanaa, Donnelly Cyril | 4. 巻 4 |
| 2. 論文標題 mwarpid: Manual one-dimensional data warping in Python and PyQt | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Open Source Software | 6. 最初と最後の頁 1870 ~ 1870 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21105/joss.01870 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 8件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Nagle TF, Pataky TC, Gillespie C, Erdemir A, Colbrunn R |
| 2. 発表標題 A novel strategy for determination of a functional knee joint coordinate system |
| 3. 学会等名 Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hirose J, Nishikawa A, Pataky TC |
| 2. 発表標題 Jerk-related perceptions of kinematic naturalness in simulated robot grasping |
| 3. 学会等名 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Pataky TC, Vanrenterghem J, Robinson MA, Challis JH |
| 2. 発表標題 Butterworth filtering yields systematically biased 1D trajectories |
| 3. 学会等名 8th World Congress of Biomechanics (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Pataky TC, Wier GJ, Vanrenterghem J, Robinson MA, Donnelly JC |
| 2. 発表標題 Testing the statistical validity of separate-component analysis of vectors: ground reaction forces during gait |
| 3. 学会等名 XV International Symposium on 3-D Analysis of Human Movement (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Pataky TC |
| 2. 発表標題 Statistical parametric mapping: one extra parameter to generalize classical hypothesis testing to continuum analysis |
| 3. 学会等名 CRoNoS Meeting & Workshop on Multivariate Data Analysis (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Warmenhoven J, Harrison AJ, Robinson MA, Vanrenterghem, Pataky TC |
| 2. 発表標題 Advanced statistical analysis of biomechanical time series: PCA, FDA, SPM |
| 3. 学会等名 World Congress on Biomechanics (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Pataky TC |
| 2. 発表標題 Testing for morphological-clinical correlation using statistical non-parametric mapping |
| 3. 学会等名 Japanese Association of Rehabilitation Medicine (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Pataky TC |
| 2. 発表標題 Statistics In Biomechanics |
| 3. 学会等名 International Society of Biomechanics (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Pataky TC |
| 2. 発表標題 Statistical parametric mapping: one extra parameter to generalize classical hypothesis testing to continuum analysis |
| 3. 学会等名 CRoNoS Meeting & Workshop on Multivariate Data Analysis (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| Invited Workshop: Statistical Parametric Mapping for Biomechanics, International Society of Biomechanics pre-conference workshop, 29-30 July 2019, University of Calgary, Calgary, Canada. |
|--|

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 |
|-------|-----------------------------------|--|----|
| 研究協力者 | ドンネリー シリル (Donnelly Cyril) | 南洋理工大学・Rehabilitation Research Institute of Singapore・Program Principal Investigator | |

6. 研究組織（つづき）

| | 氏名 (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------|-------------------------------------|--|----|
| 研究 協力 者 | アーダーミア アーメット (Erdemir Ahmet) | ラーナー研究所・Department of Biomedical Engineering・ Director, Computational Biomodeling | |