

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2016

課題番号：15H05360

研究課題名(和文) 神経画像化統計に基づいた生体力学的複合システムにおけるランダム性のモデル化

研究課題名(英文) Using neuroimaging statistics to model randomness in complex biomechanical systems

研究代表者

PATAKY TODD (PATAKY, Todd)

信州大学・学術研究院繊維学系・准教授

研究者番号：70571272

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ニューロイメージング分野の複雑なランダム性モデルをヒトの運動解析へ適応し、従来手法よりもヒト運動を客観的に解析できる解析フレームワークを開発することを目的とした。平成27年には、上記ランダム性モデルのコア・ソフトウェアを開発し、従来方法の理論的な問題点を明らかにした。平成28年には、ヒトの力学的解析に適応し、様々な物理シミュレーターに統合した。シミュレーションを行い、従来手法よりも力学的特徴を精密に解析できることを明確にした。世界の研究者が自由に使用するために、開発したソフトウェアを無料のオープン・ソース・パッケージとして公開した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to apply models of spatial randomness from Neuroimaging to human movement analysis, and in particular to develop a theoretical framework for more objective analysis of complex human movements. In the first year of this project I developed the core statistical software and used this software to clarify (1) the statistical problems in the previous literature, and (2) how the developed software can overcome those problems. In the second year I extended the original software to dynamic data analysis (forces and movement) by integrating the randomness model with a variety of physics simulators. With this software I conducted a number of dynamic simulations to emphasize how Neuroimaging's randomness model can help us to analyse complex human movement more objectively. Over the course of this project I released all developed software as open-source for use by researchers in Japan and around the world.

研究分野：スポーツ・バイオメカニクス

キーワード：バイオメカニクス ヒト運動解析 スポーツ科学 ランダム性

1. 研究開始当初の背景

ヒト力学の研究は国際的に広く行われている。ますます強力なコンピュータ、ますます安価な三次元力・運動センサーにより大量のヒト力学データが収集しやすくなってきた。それにもかかわらず、昔の比較的単純な統計手法のみを使用する研究が殆どである。それらの手法はある目標には強いが、全身バイオメカニクスを分析するために設計されたことはない。要するに、ヒト運動システムにおけるランダム性を考えていない従来統計結果には、実際の運動分散の複雑さを反映できない。

一方、他分野（ニューロイメージング分野）では適切な複雑さを表すランダム性モデルがある。ニューロイメージング応用では、脳の中の三次元時空間的ランダム性モデルに基づき、実験の脳反応を客観的・正確に確認できる。同様に、図1に示すように、本研究の代表者が上記三次元時空間的ランダム性モデルがヒト運動における複雑な分散を客観的に解析できることを平成25年に別の研究で明らかにした。

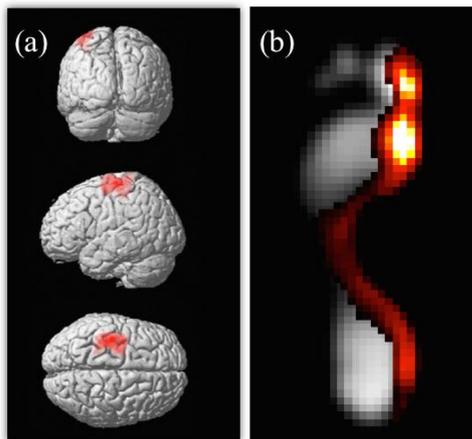


図1：ニューロイメージング統計手法（a）を生体力学システム（b）へ適応できることを代表者の先行研究で明らかにした。

2. 研究の目的

本研究は、ニューロイメージング分野のランダム性モデルを数学的・計算的に生体力学の物理原理と統合することを目的とする。最終的には、世界初の複雑な身体運動におけるランダム性を正確にモデル化できる方法論を確立する。

具体的な目的は、

- 1) あらゆる生体力学的システムに一般化できる手法を開発する。
- 2) 比較的単純な平面的動作の運動から複雑な三次元スポーツ動作の力学までのタスクにより提案手法の一般化の可能性を検証する。

- 3) 従来の解析方法よりも提案手法が実際の力学的システムの実験的運動・力学の共分散を正確に予測できることを証明する。

3. 研究の方法

図2に示すように、単純な運動モデルから始めた。従来のランダム性モデルをヒト運動に正確に適応するために、物理モデルに統合した。そうすると、関節毎や剛体毎の記述より、全体的なランダム性モデルになり、そのモデルに基づいてある運動軌道（例：患者の運動）がどれくらい基準運動（例：健常者の運動）から離れているのかを客観的・確率的に分析出来るようになった。

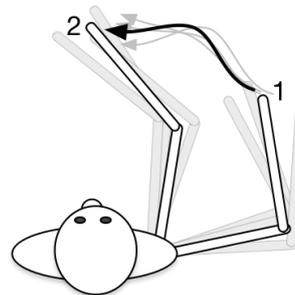


図2：位置1～位置2への単純な運動における分散（灰色）を正確に分析するために、従来のランダム性モデルを物理法則と統合しなければならない。

そして、運動が複雑になればなるほど、運動の分散やランダム性も複雑になるため、図3に示すように、平成27年度に単純な平面的運動から複雑な三次元運動に一般化していった。平成28年度は、同様に単純な運動から複雑な三次元運動にかけてランダム性モデルを力学モデルに統合していった。

4. 研究成果

図3に示す運動タスク毎に、従来手法の結果を本研究で開発した解析手法の結果と比較し、従来手法のデメリットや非客観性を明らかにした。特に、運動タスクに関わらず、従来手法の結果による科学的解釈ミスの確立が90%以上になることを明確にした。その理由として、従来手法におけるランダム性モデルでは実際の実験における運動分散を反映しないことも様々な実験で明らかにした。本研究の実験がそのために適切であることを証明するために、同じような解析をインターネット上の無料・オープンソース・データセットで繰り返し、同じ結果・結論になることも明らかにした。最後に、海外の研究協力者とスポーツ傷害メカニズム解釈やリハビリ中・後の臨床運動解析への応用も分析し、どんな応用にも同様な結果がでることを明らかにした。最後に、本研究で開発したソフトウェアを世界の研究者に自由に使用・勉強

していただくため、オープンソース化にし、原理の文書を含めてインターネット上にポストした。

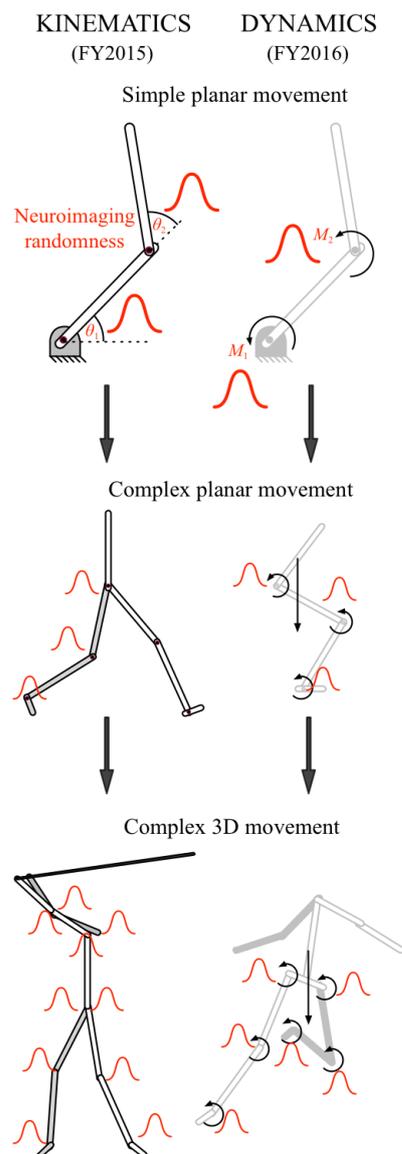


図3：本研究の流れ。単純な平面的運動から複雑な三次元運動にかけて、ランダム性モデルを平成27年度に運動学理論、平成28年度に力学理論に統合した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

① Pataky TC, power1d: numerical power estimates for one-dimensional continuum datasets in Python. Peer J Computer Science, 2017, in press.

② Donnelly CJ, Alexander C, Pataky TC,

Stannage K, Reid S, Robinson MA, Vector-field statistics for the analysis of time varying clinical gait data. Clinical Biomechanics 41: 87-91, 2017, 査読有
DOI:10.1016/j.clinbiomech.2016.11.008

③ Sole G, Pataky TC, Tengman E, Hager CK, Analysis of three-dimensional knee kinematics during stair descent two decades post-ACL rupture - data revisited using Statistical Parametric Mapping, Journal of Electromyography and Kinesiology, 32, 44-50, 2017, 査読有
DOI: 10.1016/j.jelekin.2016.12.005

④ Pataky TC, Koseki M, Cox PG, Probabilistic biomechanical finite element simulations: whole-model classical hypothesis testing based on upcrossing geometry. PeerJ Computer Science, 2, e96, 2016, 査読有
DOI:10.7717/peerj-cs.96

⑤ Pataky TC, Vanrenterghem J, Robinson MA, Region-of-interest analyses of one-dimensional biomechanical trajectories: bridging 0D and 1D methods, augmenting statistical power. PeerJ, 4, e2652, 2016, 査読有
DOI:10.7717/peerj.2652

⑥ Pataky TC, Vanrenterghem J, Robinson MA, The probability of false positives in zero-dimensional analyses of one-dimensional kinematic, force and EMG trajectories, Journal of Biomechanics, 49(9), 1468-1476, 2016, 査読有
DOI:10.1016/j.jbiomech.2016.03.032

⑦ Pataky TC, RFT1D: smooth one-dimensional random field upcrossing probabilities in Python. Journal of Statistical Software, 71(7), i07, 2016, 査読有
DOI:10.18637/jss.v071.i07

[学会発表] (計4件)

① Pataky TC, Vanrenterghem J, Robinson MA, One-dimensional statistical parametric mapping, 26th Congress of the International Society of Biomechanics, 2017.07.26, Brisbane, Australia, 発表確定

② Pataky TC, Vanrenterghem J, Robinson MA, Bayesian inverse kinematics: improved angular displacement estimates in rigid planar rotations, 26th Congress of the International Society of Biomechanics,

2017.07.24, Brisbane, Australia, 発表確定

③ Vanrenterghem J, Robinson MA, Pataky TC, One-dimensional statistical parametric mapping, 35th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports, 2017.06.13, Cologne, Germany

④ Pataky TC, Robinson MA, One-dimensional statistical parametric mapping, 7th World Scientific Congress on Golf, 2016.07.21, St. Andrews, Scotland

[その他]

ホームページ

<http://www.spm1d.org>

(開発したソフトウェアのホームページ)

招聘国際ワークショップ

Pataky TC, Robinson MA, One-dimensional statistical parametric mapping, Institute for Mathematical Innovation, University of Bath, 2017.01.25, Bath, UK

6. 研究組織

(1) 研究代表者

パタキ トッド (PATAKY, Todd)

信州大学・学術研究院繊維学系・准教授

研究者番号：70571212

(4) 研究協力者

小関 道彦 (KOSEKI, Michihiko)

信州大学・学術研究院繊維学系・准教授

研究者番号：50334503

Jos Vanrenterghem

Department of Rehabilitation Sciences,

University of Leuven (Belgium),

Associate Professor

Mark Robinson

Research Institute for Sport and

Exercise Sciences, Liverpool John

Moores University (UK), Senior Lecturer

Gisela Sole

School of Physiotherapy, University of

Otago (New Zealand), Senior Lecturer and

Associate Dean

Cyril Donnelly

School of Human Sciences, The University

of Western Australia (Australia),

Lecturer