

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04181

研究課題名(和文) 姿勢と歩行機能の動的疾患論:モデル・データ駆動型データ同化で捉える機能変化の過程

研究課題名(英文) Characterization of age and disease induced alterations in postural and gait dynamics based on data assimilation techniques

研究代表者

野村 泰伸 (Nomura, Taishin)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：50283734

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：我々は若年健常者の静止立位姿勢は、姿勢の状態に応じてフィードバック制御のオン・オフを切り替える間欠制御によって安定化されているという仮説を提唱している。本研究では、ベイズ推論の手法を用いて、間欠制御仮説に基づくヒト静止立位姿勢モデルを、若年健常者、高齢健常者、およびパーキンソン病患者の静止立位姿勢動揺データに同化し、各データを尤も良く再現するモデルパラメータを推定した。その結果、若年健常者の立位姿勢は間欠制御によって安定化されている一方で、立位姿勢や歩行運動に障害が見られるパーキンソン病患者の立位姿勢は、神経制御にオン・オフが無い持続制御によって維持されていることが定量的に示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々はヒト静止立位姿勢の間欠制御モデルを提唱し、基底核疾患であるパーキンソン病患者の姿勢不安定化は制御から間欠性が欠如することに起因する可能性を示した。数理的に言うと、最も単純な場合の間欠制御モデルは、2つの不安定サブシステム間を確率的にスイッチする確率的ハイブリッド制御系であるが、状態依存的に質的に異なる制御(行動)が選択されることが、柔軟性を保ちつつ立位姿勢が安定化されるために必要不可欠で本質的な性質である。今後、こうした状態依存的行動選択の神経制御メカニズムにアプローチすることで、生体の自動運動と随意運動の制御を統合する新たな研究分野の展開につながることを期待される。

研究成果の概要(英文)：Falls are a public health issue in the aging societies. Understanding the neural control mechanisms of postural stabilization is a key to assessing the fall risk. Here, we assimilated a model of intermittent feedback control during quiet stance into postural sway data from healthy young and elderly as well as patients with Parkinson's disease to elucidate possible mechanisms of instability. We estimated joint probability distribution of a set of parameters in the model using Bayesian parameter inference for each individual, and showed that the inferred parameter values for individuals are classified into two major groups in the parameter space: one represents the intermittent control mostly for healthy people and patients with mild symptoms and the other the continuous control mostly for patients with severe postural symptoms. The results may be interpreted by postulating that increased postural instability in most Parkinson's patients might be characterized as a dynamical disease.

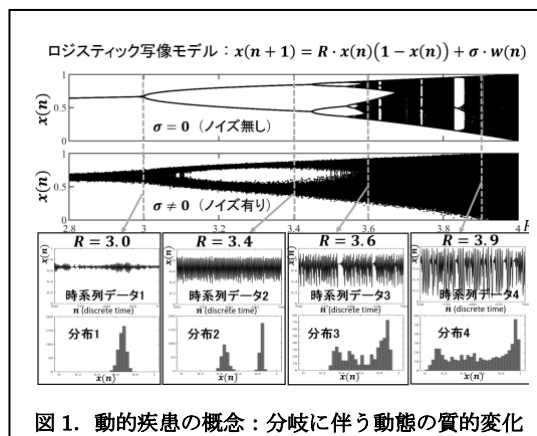
研究分野：生体システム工学

キーワード：間欠制御 ベイズ推論 姿勢制御 パーキンソン病 動的疾患 データ同化 近似ベイズ計算

1. 研究開始当初の背景

動的疾患(dynamical disease)は、物理科学的視点からヒトの疾患を捉える際の中心概念で、申請者が研究員として所属していたマギル大学の学際研究チームによって提唱された[1]。この概念の理論基盤は非線形力学系の分岐現象にある。

図1はパラメータ R を含む離散時間力学系の変数 $x(n)$ に関する分岐図で、系の定常状態の R の値に依存した変容を表す(周期倍分岐カスケードでカオスに至る)。系にプロセスノイズが存在する状況で、複数個の時系列データ $\{x(n)\}$ が計測されたとする。各計測データは異なる R の値を用いて生成されているが、我々はその値はもとより背後の支配方程式も知らないとする。計測データ毎に時系列の変動パターンは異なるので、我々は平均や分散、分布形状等、様々な要約統計量(summary statistics)・指標を用いて各時系列データを特徴付け、データ間の特徴の違いを明らかにし、違いが生み出されるメカニズムを探る。しかし、一旦背後の支配方程式が分かっ



てしまえば、実はデータ生成に用いた R の値だけで系は特定でき、変動パターンの変容は R の値の変化に伴う分岐として理解される。

このシナリオにおける複数回の計測を、ある個人に対する縦断的生体計測、または複数個人に対する横断的計測に対応させ、生理状態が健常から疾病に至る際に生体信号に表出する変化を、背後の生体システムに生じる分岐現象として理解するのが動的疾患の概念である。

動的疾患の概念を医学的に利用可能な体系に発展させるには、個々の疾患に対する実証が重要である。しかし、実証に必要な良質な生体計測データを量的にも十分に取得することは容易ではなく、計測データと生体機能の数理モデルを融合する方法論も確立されていなかったため、動的疾患の概念は臨床医学的な病態予測が可能なる程には定量化・体系化されてこなかった。ところが生体ビッグデータの取得や複雑な数理モデルの高速計算が容易となった現在、データサイエンス時代に相応しい新しい動的疾患論の構築が可能になった。データとモデルの融合は、統計的相関に立脚した Evidence Based Medicine(EBM)に、生体機能の発現と障害のメカニズムを統合することであり、それにより病態予測能力をもつ予測医学が創成される。

本研究では立位姿勢と歩行機能に焦点を絞り運動障害疾患の新しい動的疾患論の構築を目指した。一般に運動障害疾患の定量診断・病態予測に関する研究では、患者の運動障害の重症度を表す様々な指標値(要約統計量)を多数の患者から収集・解析し(大規模データ統計解析)、各患者の指標値ベクトルからその患者の転倒履歴の有無を自動判別する装置を、機械学習等を用いて構築する。こうした判別器はそのまま患者の転倒リスク予測器としても利用できる。単独では転倒履歴の有無を明確に分離する能力の無い指標の組み合わせから汎用的に両者を分類する機械学習は秀逸ではあるが、その診断・予測結果の解釈は不明で、必ずしもそうした判別器を疾患機序の理解や治療の意思決定補助に結びつけることはできない。

2. 研究の目的

本研究では立位姿勢と歩行機能の運動障害疾患に焦点を絞り、その動的疾患論を構築することを目的とする。具体的には、モデル・データ両駆動型データ同化技術を駆使し、個々の被験者の静止立位姿勢計測から得られた姿勢ゆらぎ時系列データの特徴を統計的に尤も良く再現する姿勢の動的モデル(モデルのパラメータ θ の分布)を推定する(データ同化)。推定パラメータ値が θ である同化モデルの動態シミュレーション解析により、同化対象被験者の姿勢の安定性や関節インピーダンス、あるいはエネルギー消費量など、ヒト被験者から直接的に得ることが困難な運動機能スコアが「計算」できる。この理論スコアと計測時の専門医による診断スコアの相関を解析する。さらに、多数の被験者に対する θ の分布の個別的推定、それらの θ 空間内での横断的分布、および θ 空間内での運動機能スコアの分布の関係を明らかにする。被験者集団に対する軌跡の束に沿って発生する確率的分岐とその統計的性質が定量的病態予測の基盤であり、 θ 空間内での運動機能スコアの分布が定量診断、治療の意思決定補助、病態予測のメカニズム的根拠となる。

3. 研究の方法

本研究では、立位姿勢計測で得られた足圧中心点(Center of Pressure, CoP)の変動データに間欠制御モデルを同化し、姿勢動揺ダイナミクスをより尤もらしく再現するモデルパラメータを推定した。モデルパラメータのうち、 m を被験者の体重、 h を 1.0 とし、 I を mh^2 とした。 K およ

び B を先の研究に倣って、それぞれ $0.8mgh$ および 4.0 とした。主に能動的フィードバック制御に関する 6 パラメータ ($P, D, \rho, \Delta, \sigma, r$) を、以下に概説する逐次モンテカルロ近似ベイズ計算により推定した。

逐次モンテカルロ近似ベイズ計算の概要

ベイズ推定では、以下のベイズの定理に基づき、得られた観測データ y_0 を最も良く再現するモデルパラメータ θ を尤度関数 $L(\theta)$ によって推定する。

$$p(\theta|y_0) \propto L(\theta)p(\theta) \quad (1)$$

ここで、 $p(\theta)$ はモデルパラメータの事前確率分布であり、 $p(\theta|y_0)$ は観測データに基づく事後確率分布である。しかしながら、多く場合モデルが複雑であり、尤度関数を計算することは大変困難である。この問題を解決するために、近似ベイズ計算が提案され広く利用されている。近似ベイズ計算では、観測データから算出される要約統計量 Φ_{obs} に基づいてモデルパラメータの事後分布が推定される。まず候補となるモデルパラメータ θ が事前分布 $p(\theta)$ に基づいて無作為に選択され、モデルのダイナミクス $y(\theta)$ が計算される。計算されたダイナミクスから要約統計量 Φ_{sim} を算出し、 Φ_{obs} との“距離”を計算する。 Φ_{obs} と Φ_{sim} の距離があらかじめ設定した閾値 ε よりも小さければ、そのパラメータを事後分布の要素として保存する。これを、 N 組のパラメータが保存されるまで繰り返す。逐次モンテカルロ近似ベイズ計算は、この近似ベイズ計算を拡張したアルゴリズムであり、近似ベイズ計算を閾値 ε を変えながら逐次的に繰り返す。

姿勢動揺データの要約統計量

本研究では、計測された姿勢動揺データと数値シミュレーションにより得られたモデルダイナミクスの要約統計量として、質量中心 (Center of Mass, CoM) の前後方向位置、速度、および加速度のヒストグラム、およびそれぞれのパワースペクトル密度 (PSD) に基づく値を使用した。

姿勢動揺計測により得られた CoP データから要約統計量 Φ_{obs} を算出する過程では、まず CoP データの前後方向成分を Morasso らが提案するフィルタにより CoM の変動データ $x[n]$ へ変換し、速度 $v[n]$ および加速度 $a[n]$ を数値差分により計算した。ここで、 n はデータ番号である。 $x[n]$, $v[n]$, および $a[n]$ の絶対値から、ビン数を 15 としたヒストグラムをそれぞれ作成した。また、 $x[n]$, $v[n]$, および $a[n]$ の PSD を計算し、対数軸上で等間隔となるような 1.5 Hz までの 10 個のパワースペクトルをそれぞれの PSD から算出した。そして、ヒストグラムおよび PSD から得られる計 75 個 ($15 \times 3 + 10 \times 3$) の値を、各ヒストグラムおよび PSD から得られる要素の和が 1 (合計 6) となるように正規化し、計測データの要約統計量 Φ_{obs} とした。

間欠制御モデルのダイナミクスから要約統計量 Φ_{sim} を算出する過程は、計測データから Φ_{obs} を算出する過程とおおよそ同じである。まずモデルの数値シミュレーションにより得られる足関節角度 φ から CoM の変動データ $x[n]$ ($=h\varphi[n]$) を計算し、 $v[n]$ および $a[n]$ を計算した。 $x[n]$, $v[n]$, および $a[n]$ から、データ同化に用いる計測データの要約統計量 Φ_{obs} を算出する際に設定したビン幅に倣ってヒストグラムを計算した。また、 $x[n]$, $v[n]$, および $a[n]$ の PSD を計算した。そして、ヒストグラムおよび PSD から得られる計 75 個の値を正規化し、モデルダイナミクスの要約統計量 Φ_{sim} とした。

間欠制御モデルと姿勢動揺データの逐次ベイズ的同化

モデルを同化した姿勢ゆらぎデータは、若年健常者 (男性 21 名, 平均年齢 22.9 (SD=1.8)), 高齢者 (男性 9 名, 女性 12 名, 平均年齢 70.0 (SD=5.3)), およびパーキンソン病患者 (男性 81 名, 女性 74 名, 平均年齢 71.3 (SD=7.8)) から取得した。各計測において、70 秒間の静止立位時における CoP 変動がサンプリング周波数 100 Hz で取得された。パーキンソン病患者の CoP データは大阪刀根山医療センターにおいて計測された。パーキンソン病患者のうち何名かは、期間を空けて複数回の計測を行った。同一被験者であっても、異なる日程で得られた CoP データは異なる被験者データとして扱った (延べ 272 名)。各被験者の CoP データから先述の方法で要約統計量 Φ_{obs} を計算した。

本研究で逐次モンテカルロ近似ベイズ計算により推定する間欠制御モデルのパラメータ ($P, D, \rho, \Delta, \sigma, r$) の事前分布は、以下に示す範囲で一様な分布であるとした: $P \in [0, 500]$, $D \in [0, 500]$, $\rho \in [0.3, 1.0]$, $\Delta \in [0, 0.5]$, $\sigma \in [0, 3.0]$, $r \in [0, 0.01]$ 。間欠制御モデルの数値シミュレーションは、時間ステップ $\Delta t = 0.001 \text{ sec}$ で 90 sec 間行った。初期値は、 $\varphi(0) = \eta$, $\dot{\varphi}(0) = 0$, $\varphi(\tau) = \dot{\varphi}(\tau) = 0$ ($\Delta < \tau < 0$) とした。ただし、 η は範囲を $[-0.01, 0.01] \text{ rad}$ とする一様乱数である。最初の 20 sec を削除して残りの 70 sec のデータを 100 Hz で $\varphi[n]$ を再サンプリングし、要約統計量 Φ_{sim} を計算した。

本研究では、 Φ_{obs} と Φ_{sim} の距離を Kullback-Leibler divergence (D_{KL}) を基礎とした以下に示す Jensen-Shannon divergence (D_{JS}) により計算した。

$$D_{\text{JS}}(\Phi_{\text{obs}} || \Phi_{\text{sim}}) = \frac{1}{2} (D_{\text{KL}}(\Phi_{\text{obs}} || M) + D_{\text{KL}}(\Phi_{\text{sim}} || M)) \quad (2)$$

ただし、 D_{KL} および M は以下である。

$$D_{\text{KL}}(Q || R) = \sum_{i=1}^Q Q \log \left(\frac{Q}{R} \right), \quad M = \frac{1}{2} (\Phi_{\text{obs}} + \Phi_{\text{sim}}) \quad (3)$$

逐次モンテカルロ近似ベイズ計算は、初期の閾値 $\epsilon=1$ 、各段階で保存されるパラメータ数 $N=500$ で行われ、閾値が $\epsilon=0.01$ に到達する、あるいは十分な時間が経過するまで実施された。使用した CoP データのうち、若年健常者の 2 名、高齢者の 5 名、およびパーキンソン病患者の 35 名のデータに対して行った逐次モンテカルロ近似ベイズ計算は十分に収束しなかったため、以降の解析では除外した。

階層的クラスタ分析

本研究では、各被験者の CoP データから計算されたパラメータの事後分布のピークをとる値を、その被験者の姿勢動揺を最も良く再現するモデルパラメータの値とした。推定されたモデルパラメータのうち、 σ および r には傾向が見られなかった。残りの 4 パラメータ (P , D , ρ , Δ) を用いて階層的クラスタ分析を行うことにより、被験者群をグループ分けした。

4. 研究成果

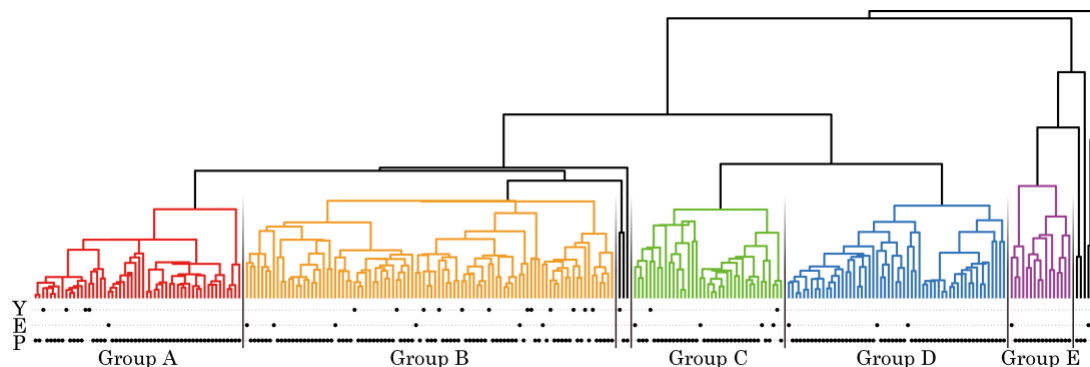


図 2. 推定されたモデルパラメータに基づく階層的クラスタ分析の結果。Y, E, および P はそれぞれ若年健常者、高齢者、およびパーキンソン病患者を示す。

姿勢動揺データから推定されたモデルパラメータに基づいて行った階層的クラスタ分析の結果を図 2 に示す。被験者群は、大きく 5 つのグループ (グループ A-E) に分けられた。若年健常者はグループ A, B, および C にのみ属しており、D および E は主にパーキンソン病患者から構成された。各グループに属する被験者のパラメータの事後分布の平均を図 3(a) と (b) に示す。グループ A, B, および C に属する被験者のデータから推定された ρ は 0.5 付近に分布しており、これらのグループの姿勢動揺は神経フィードバック制御が間欠的に作用するモデルによって良く再現された。これに対し、グループ D および E に属する被験者のデータから推定された ρ は 1.0 あたりに分布していた。すなわち、これらのグループは持続的な神経フィードバック制御が作用するモデルでよく再現された。グループ E の Δ は他のグループと大きく異なり、0 sec 付近にピークが現れた。これは、グループ E の姿勢動揺は、時間遅れのないフィードバック制御によってよく再現されることを意味する。

グループ A に属する被験者の P および D ゲインは、比較的小さな値で推定された。推定された P および D を、推定された時間遅れ Δ ごとに P-D 平面にプロットした (図 3(c))。図中の各線は、示された時間遅れを伴って持続的な PD フィードバック制御が作用した際に、システムが不安定化する境界を示しており、グループ A に属する被験者の P-D は、持続的な制御では不安定なパラメータ領域に位置した。グループ B に属する被験者の D ゲインは、グループ A の D ゲインに比べてやや大きい、その多くは、グループ A と同様に持続的なフィードバック制御では不安定なパラメータ領域に位置した。これに対し、グループ C, D, および E に属する被験者の P-D は、持続的なフィードバック制御でも安定なパラメータ領域に位置した。

グループ A, D, および E に属する典型的な被験者の姿勢動揺ダイナミクスおよび、推定されたパラメータのシミュレーション結果を、図 4 に示す。まず、本研究で推定されたモデルパラメータを用いてシミュレーションしたモデルダイナミクスは、計測データの特徴を良く再現していることがわかる。グループ A は、低い周波数の振幅が大きな振動成分で特徴づけられるのに対し、グループ D および E は、ともに高い周波数の振幅が小さな振動で特徴づけられる。

本研究では、間欠制御モデルを姿勢動揺計測で得られた CoP の変動データに同化し、若年健常者、高齢者、およびパーキンソン病患者の姿勢動揺を再現するモデルパラメータを推定した。推定されたパラメータに基づいた階層的クラスタ分析により、被験者群をグループ分けし、各グループに見られる特徴を調べた。

若年健常者は、主にグループ A および B に分類された。グループ A および B に属する被験者の姿勢動揺は低い周波数の振幅が大きな振動成分を含んでおり、これを再現するモデルパラメータとして、小さな P および D ゲイン、また強い間欠性を示す ρ (0.5 程度) が推定された。P

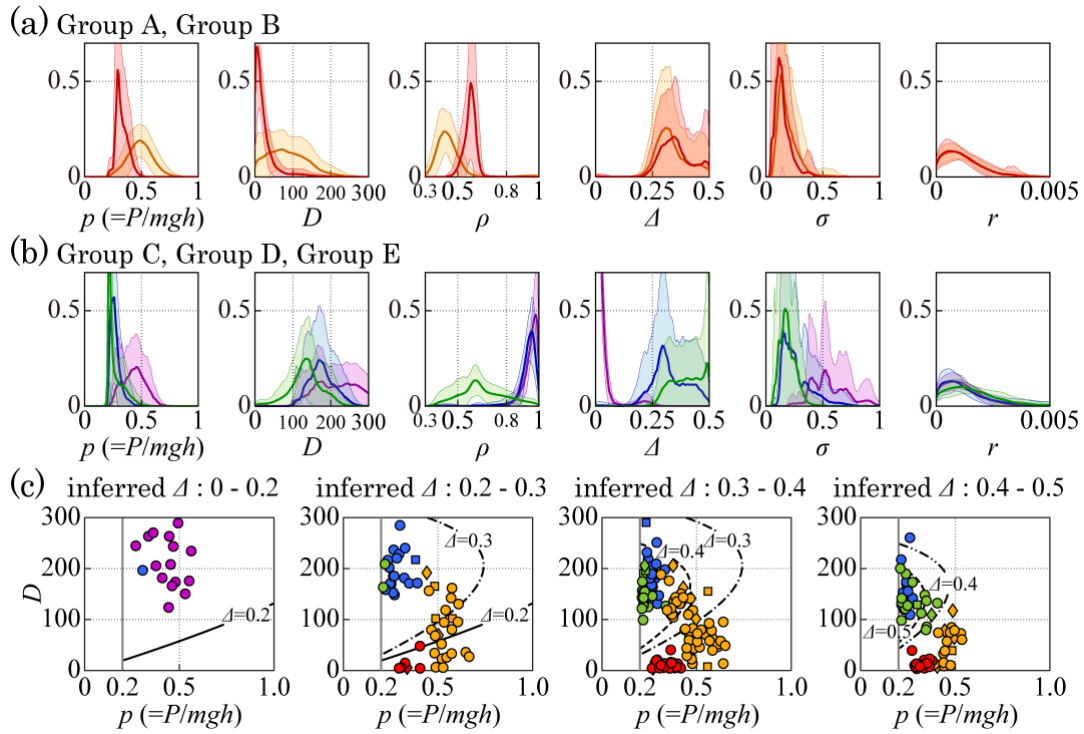


図 3. モデルパラメータ事後分布のグループ平均 ((a). Group-A (赤), Group-B (黄), (b). Group-C (緑), Group-D (青), Group-E (紫)). (c). 推定された P および D ゲインの P - D - Δ 空間内における分布.

および D は持続的なフィードバック制御では立位姿勢が維持できない値であった。これらの結果は、若年健常者の立位姿勢維持における神経制御メカニズムとして、間欠制御仮説で主張される制御メカニズムが採用されていると考えることが妥当であることを意味する。

これに対し、高い周波数の振幅が小さな振動で特徴づけられるグループ D および E の姿勢動揺からは、大きな P および D 、そして 1.0 に近い ρ が推定された。これらの結果は、グループ D あるいは E に属する被験者の神経フィードバック制御は持続的であり、ゲインの大きな“硬い”制御によって立位姿勢を維持していることを示唆する。さらに、グループ E で推定された時間遅れ Δ の値はほぼ 0 であった。グループ E に属する被験者が、中枢神経系を介した能動的フィードバック制御によって立位姿勢を安定化されているのではなく、足関節の異常に高い受動的剛性により剛直な立位姿勢が生じているものと考えられる。剛直な姿勢はゆらぐことは無いが、それ自体は姿勢が安定であることを意味しないことが読み取れる。

各グループに属するパーキンソン病患者の UPDRS (Unified Parkinson's Disease Rating Scale) のうち、運動症状に関する項目 (Part III, 項目 27-30, 最大 16 点) の平均スコアは、グループ D および E が A および B に比べて高かった (A: 4.6 ± 2.2 , B: 5.5 ± 2.7 , C: 4.8 ± 2.6 , D: 6.6 ± 2.7 , E: 8.4 ± 4.4)。このことはグループ D および E に属するパーキンソン病患者の症状は A および B に属するパーキンソン病患者の症状よりも重いことを意味する。持続的で柔軟性を失った運動制御メカニズムが、パーキンソン病患者に見られる姿勢反射障害をはじめとする運動症状の一要因であることが示唆される。

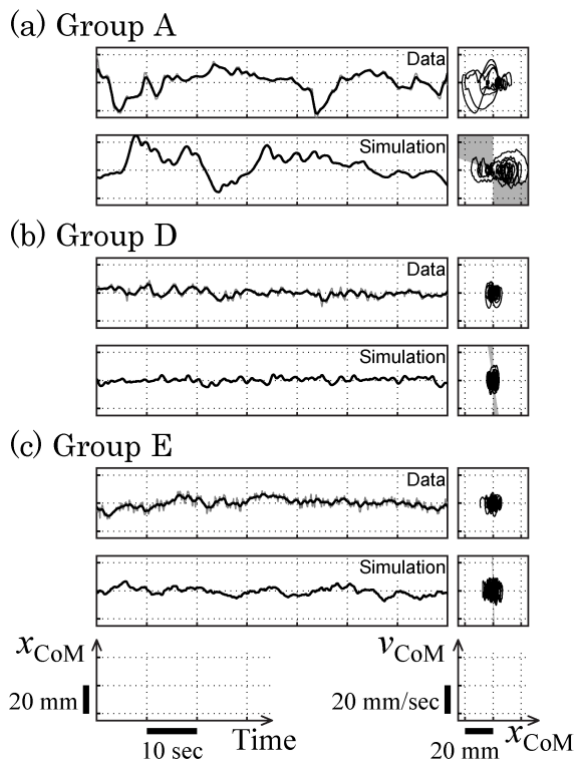


図 4. データ同化に使用した姿勢動揺データと推定されたパラメータを用いてシミュレーションしたモデルのダイナミクス。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Suzuki Yasuyuki, Nakamura Akihiro, Milosevic Matija, Nomura Kunihiro, Tanahashi Takao, Endo Takuyuki, Sakoda Saburo, Morasso Pietro, Nomura Taishin	4. 巻 30
2. 論文標題 Postural instability via a loss of intermittent control in elderly and patients with Parkinson's disease: A model-based and data-driven approach	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science	6. 最初と最後の頁 113140 ~ 113140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0022319	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 Wakabayashi Kaito, Ogasawara Issei, Suzuki Yasuyuki, Nakata Ken, Nomura Taishin	4. 巻 116
2. 論文標題 Causal relationships between immediate pre-impact kinematics and post-impact kinetics during drop landing using a simple three dimensional multibody model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanics	6. 最初と最後の頁 110211 ~ 110211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiomech.2020.110211	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 -
1. 著者名 Nakamura Akihiro, Suzuki Yasuyuki, Yano Shunpei, Nomura Taishin	4. 巻 1
2. 論文標題 EEG Activity Related to Decrease in Persistency of Gait Cycle Variability during Distracted Walking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech)	6. 最初と最後の頁 183-184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LifeTech52111.2021.9391888	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 -
1. 著者名 Nakamura Akihiro, Suzuki Yasuyuki, Matija Milosevic, Nomura Taishin	4. 巻 15
2. 論文標題 Long-lasting event-related beta synchronizations of electroencephalographic activity in response to support-surface perturbations during upright stance: A pilot study associating beta rebound and active monitoring in the intermittent postural control	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Systems Neuroscience	6. 最初と最後の頁 660434-660434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnsys.2021.660434	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 Chunjiang Fu, Yasuyuki Suzuki, Pietro Morasso, Taishin Nomura	4. 巻 114
2. 論文標題 Phase resetting and intermittent control at the edge of stability in a simple biped model generates 1/f-like gait cycle variability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biological Cybernetics	6. 最初と最後の頁 95-111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00422-020-00816-y	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 Taishin Nomura, Yasuyuki Suzuki, Pietro Morasso	4. 巻 1
2. 論文標題 A Model of the Intermittent Control Strategy for Stabilizing Human Quiet Stance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Encyclopedia of Computational Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-1-4614-7320-6_100698-1	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 野村 泰伸, 鈴木 康之, 遠藤 卓行, 佐古田 三郎	4. 巻 70(2)
2. 論文標題 静止立位姿勢を安定化する最適な神経制御は身体を揺らしてしまう	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 体育の科学	6. 最初と最後の頁 117-122
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 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 -

1. 著者名 Pietro Morasso, Taishin Nomura, Yasuyuki Suzuki, Jacopo Zenzeri	4. 巻 13
2. 論文標題 Stabilization of a Cart Inverted Pendulum: Improving the Intermittent Feedback Strategy to Match the Limits of Human Performance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Computational Neuroscience	6. 最初と最後の頁 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fncom.2019.00016	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 Mengyi Wang, Li Li, de Freitas Roberto M., Endo Takuyuki, Nomura Taishin, Nakamura Toru	4. 巻 1
2. 論文標題 Assessment of spatio-temporal gait parameters using a novel wearable motion capture system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech)	6. 最初と最後の頁 527-528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LifeTech53646.2022.9754827	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 -

1. 著者名 Ozawa Makoto, Suzuki Yasuyuki, Nomura Taishin	4. 巻 16
2. 論文標題 Stochastic Physiological Gaze-Evoked Nystagmus With Slow Centripetal Drift During Fixational Eye Movements at Small Gaze Eccentricities	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 842883
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnhum.2022.842883	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12件(うち招待講演 3件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Nakamura Akihiro, Suzuki Yasuyuki, Yano Shunpei, Nomura Taishin
2. 発表標題 EEG Activity Related to Decrease in Persistency of Gait Cycle Variability during Distracted Walking
3. 学会等名 2021 IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木康之, 中村晃大, 遠藤卓行, 佐古田三郎, 野村泰伸
2. 発表標題 動的モデルに基づくデータ駆動型アプローチによるパーキンソン病患者の姿勢反射障害機序の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会MEとバイオサイバネティクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 晃大、鈴木 康之、野村 泰伸
2. 発表標題 床面振動に対するヒト立位姿勢間欠制御モデルの応答特性
3. 学会等名 第30回日本神経回路学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小澤誠、野村泰伸
2. 発表標題 固視微動の間欠制御モデル
3. 学会等名 第30回日本神経回路学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野村泰伸
2. 発表標題 立位姿勢のゆらぎと安定性 運動系のホメオダイナミクス
3. 学会等名 第54回日本成人病(生活習慣病)学会学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 十亀敬伍, 中村晃大, 鈴木康之, 野村泰伸
2. 発表標題 単純な確率的ハイブリッド力学系のフォッカープランク方程式を用いた解析
3. 学会等名 電子情報通信学会MBE研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野村泰伸
2. 発表標題 データサイエンス時代の生体機能モデル論
3. 学会等名 第63名システム制御情報学会大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 十亀敬伍, 中村晃大, 鈴木康之, 野村泰伸
2. 発表標題 フォッカープランク方程式の有限要素解析に基づくヒト立位姿勢間欠制御モデルの離散時間有限マルコフ鎖近似
3. 学会等名 電子情報通信学会MBE研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taishin Nomura
2. 発表標題 Intermittent control models for bipedal standing and gait
3. 学会等名 Workshop on Dynamical disease and mHealth: treating rare events
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野村泰伸
2. 発表標題 データ駆動型生体機能モデルシミュレーション
3. 学会等名 第21回日本再生医療学会総会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高澤知起、鈴木康之、中村晃大、野村泰伸
2. 発表標題 状態依存の比例微分制御を仮定した強化学習による倒立振り子安定化は間欠制御戦略を生成する
3. 学会等名 電子情報通信学会NC研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Makoto Ozawa, Yasuyuki Suzuki, Taishin Nomura
2. 発表標題 Gaze-evoked nystagmus with centripetal drifts and centrifugal microsaccades during gaze fixation and its minimal neuromechanical model
3. 学会等名 14th International Neural Coding Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021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	佐古田 三郎 (Sakoda Saburo) (00178625)	独立行政法人国立病院機構大阪刀根山医療センター(臨床研究部)・独立行政法人国立病院機構大阪刀根山医療センター・名誉院長 (84425)	
研究分担者	鈴木 康之 (Suzuki Yasuyuki) (30631874)	大阪大学・基礎工学研究科・講師 (14401)	
研究分担者	遠藤 卓行 (Endo Takuyuki) (40573225)	独立行政法人国立病院機構大阪刀根山医療センター(臨床研究部)・独立行政法人国立病院機構大阪刀根山医療センター・研究員(移行) (84425)	

6. 研究組織（つづき）

	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	MILOSEVIC MATIJA (Milosevic Matija) (50840188)	大阪大学・基礎工学研究科・助教 (14401)	

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			
イタリア	Italian Institute of Technology			