

重心運動を指標としたパーキンソン病の潜在リスクの推定

Estimating the Potential Risk of Parkinson's Disease using Center-of-Pressure Trajectories

日高 昇平¹ ブアテッド ワニパット¹ 藤波 努¹

Shohei Hidaka¹, Wannipat Buated¹, Tsutomu Fujinami¹

¹北陸先端科学技術大学院大学

¹Japan Advanced Institute of Science and Technology

Abstract: Patients of the Parkinson's disease typically show motor disorders such as involuntary limb shakings, slow walking, and so on. These symptoms have been used in the medical diagnosis of the Parkinson's disease. This study explores the possibility of an easy and practical way to assess the potential risk of the Parkinson's disease based on the postural control reflected on the center-of-pressure (CoP) trajectories. We report our early attempts describing the basic CoP statistics common and difference across healthy subjects and patients.

はじめに

パーキンソン病は根本的な治療法が発見されていない進行性の神経性疾患のひとつである。中年以降に発症が増加し、典型的な症状として、安静時に不随意的な手足の震えがおこるなど、運動制御に関して障害が発生する。発症後も、長期にわたって緩やかに症状が進行し、リハビリによる生活改善などを行うことが多い。

こうした背景を踏まえ、本研究では、発症前の段階で潜在的な運動障害を検出し、予防的な措置をとる可能性を高めるために、重心運動から簡便に運動障害のリスクの推定方法を開発を目的とする。この方法は、予防的な目的のみならず、発症後もリハビリの効果測定に用いるなど、長期にわたるパーキンソン病の各ステージで有効に働くと考えられる。これまで、医療現場では医療従事者による質問紙 (Hoehn & Yahr scale, [3]) を用いた定性的な診断が行われてきた。こうした診断方法は、専門家による判断が必要な上、定量的にリハビリの効果等を計測するのには不向きである。

こうした実務的な要請を踏まえ、本研究では最も基本的で労力を要求しない動作の一つと考えられる静止時の重心運動に着目した。ヒトは“静止”しているときにも、その重心は常にゆらいでいる。大自由度系である身体を静止させるには、多数の筋を協調的に働かせる必要があり、こうした均衡は動的に維持されている。先行研究では、こうした動的な均衡状態を非線形系として分析し、そこから身体的、

心理学的な情報を得ようとする試みが報告されている (Riley & Orden, [4])。こうした研究では、身体運動のゆらぎを確率的なノイズとみなさず、むしろそのゆらぎを情報とみなし分析する。こうした分析は、単に身体運動の物理的なメカニズムのみならず、対象者の運動制御の特性を知る手段として可能性を秘めている。しかし、身体は複雑な相互作用を行う大自由度系であり、データとして与えられる状態空間の軌道を、意味のある要素に分節化する方法論が確立されていない点が一つの問題として挙げられる。

これに対し本研究では、フラクタル次元(点次元)に基づき状態空間上の軌道を自動的に分節化するクラスタリングを提案する。力学系のある種の“同一性”はフラクタル次元で特性づけられる (Grassberger & Procaccia, 1983, [1])。つまり、同一の次元をもつ2つの力学系に対し、それらを1対1に対応付ける滑らかな写像が存在する。この性質を定量化する手法として、Hidaka & Kashyap [2]は点次元の推定法(次元クラスタリング)を提案している。この点次元は各データ点に推定され、時系列の各時点での次元の変化を定量化できる。また、点次元でクラスタ化された点の集合は、同一の力学的性質を反映するものとみなせる。

提案分析法の検証

運動データ解析の中核である次元クラスタリング法の性能を検証するため、重心が1次元/2次元の切り替えながらランダムに生成される時系列(ウィー

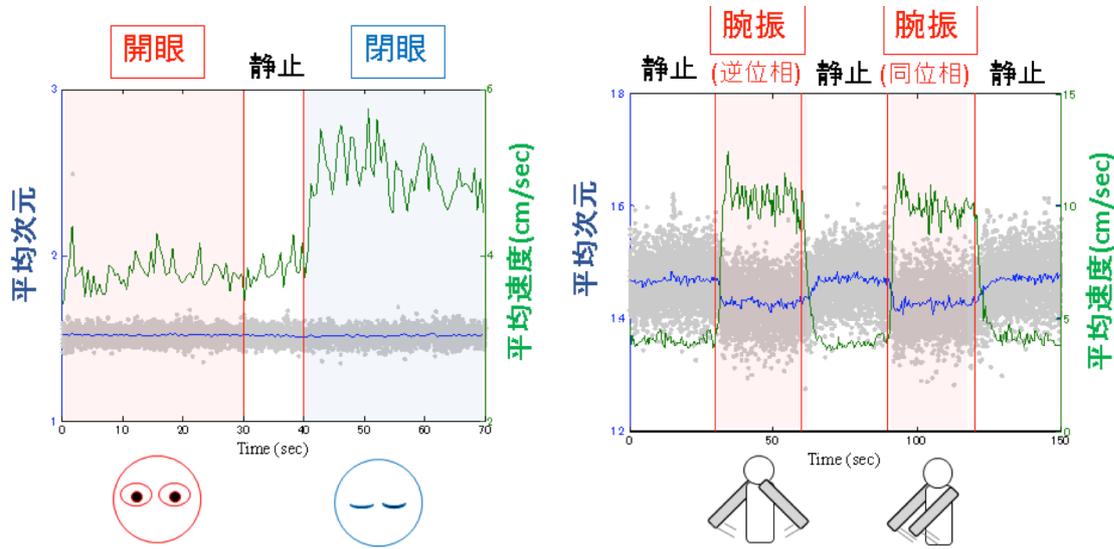


図 2 : (左) 開眼時および閉眼時の重心運動の平均次元および平均速度 (右) 立位静止時と腕振り動作時の重心運動の平均次元および平均速度

ナー過程)であると想定した人工データを分析した。生成した 10,000 点のデータのうち、1-2500 点は X 軸のみ、2501-5000 点は 2 次元上、5001-7500 点は Y 軸のみ、4 番目の 7501-10,000 点は再度 2 次元上のランダムウォークである。図 1(a)はそのデータの Y 軸上の時系列、図 1(b)は(X, Y)平面を示す。この 2 次元系列(X, Y)に対し、次元クラスタリングを適用した次元推定の結果を、各点の赤/青色で示している。この結果から、次元クラスタリング法により潜在的次元の違いを正しく推定できることが示された。

眼・閉眼の影響、および外的な摂動による揺らぎを検討した。こうした基礎的な条件において、次元クラスタリングによる特徴づけにより検出できる揺らぎの性質を確認する。

データ収集

5 名 (男性 3 名, 女性 2 名) の被験者から、立位および座位時の重心軌跡を足下または座面に置いた圧センサー (Nintendo WiiFit) によって計測し、特定条件下の重心軌道を取得した。課題として、開眼および閉眼しての立位静止、立位して静止時に外的な力で攪乱、また被験者が自ら腕振り動作を行う条件を設定した。計測時間は各条件 30 秒または 1 分間で、100Hz のサンプリングレートで、各試行およそ 3000 または 6000 点の時系列データが得られた。

予備実験：立位重心運動の計測

パーキンソン病患者からのデータ収集に先立って、少数の健常者を対象とした予備実験を行った。この予備実験では、静止時の重心のゆらぎにおける開

結果・考察

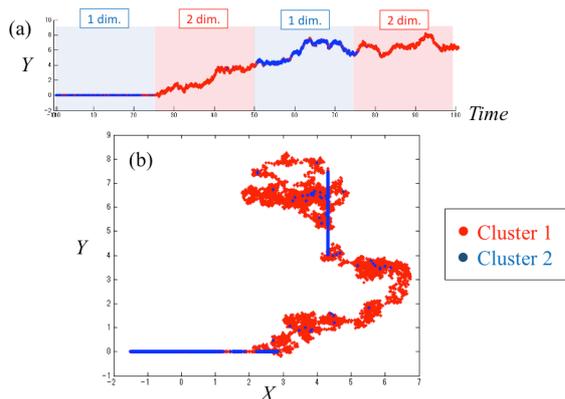


図 1: 1 次元/2 次元ランダムウォークの混合データに対する次元クラスタリングの結果例。

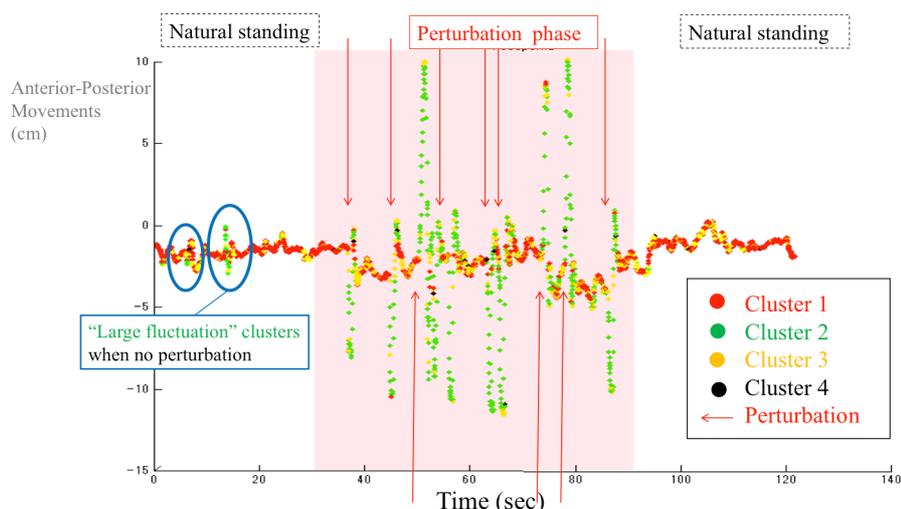


図3：外乱条件で得られた重心軌跡(前後方向)の分析結果の例。4つのクラスタが推定され、外乱のある場合にクラスタ2(緑)のみが顕著に同定された。

開眼および閉眼しての立位静止した場合の重心の平均次元を分析した(図2(左))。平均的なゆらぎの速度においては、開眼時と閉眼時には大きな差が見られたものの、平均的な次元としては大きな差は見られなかった。一方、個別の被験者の次元分析の結果では、特に姿勢が大きくゆらぐ場合に、他の時点とは顕著に異なる次元が被験者に共通して同定された。この結果と一貫して、被験者が自発的に腕振りをして場合に、重心の運動の性質は顕著に変化した(図2(右))。これは腕振りのように全身の協調が求められる特定の動きをする場合、重心運動の次元は全身のバランス制御の性質を反映しているのではないかと考えられる。

この点をさらに確認すべく、立位して静止している被験者を、実験者が物理的に引っ張る実験を行った(図3)。この実験では30秒の自然立位の後、1分間の外乱フェーズ(図3赤い区間)においてランダムなタイミングで被験者に外的な力を加え、その後再度30秒間の自然立位を行った。この分析から、外乱の瞬間に特徴的な次元(緑)が同定された。興味深い点は、外乱なしでも、姿勢が大きくゆらぐ際には類似の次元を示すこと(青の囲い)である。これは、外乱でも内的なゆらぎがあっても、重心が大きくゆらぐ場合には、通常(赤いデータ点)とは異なり、類似のメカニズム(緑のデータ点)により姿勢を修正している事が示唆される。

以上の結果から、(1)さまざまな身体的な条件下で類似の次元分布が見られ、(2)外乱や自発的な腕振り運動などとあわせることで、特定の次元を持つ成

分の特徴づけが可能である事が示唆された。

立位安静・腕振り運動時の重心運動：パーキンソン病患者と健常者

予備実験で行った外乱条件は、パーキンソン病患者の姿勢制御の困難性を鑑みれば、手続きとして現実的ではない。そこで、パーキンソン病患者が自身で安全な範囲で類似の状況を作り出す動作として、腕振り運動時の重心運動を検討することにした。

データ収集

小松市やわた健康スタジオでリハビリを受けているパーキンソン病患者8名(69歳-80歳, 平均73.8歳, 女性6名, 男性2名)に、担当医師の協力の下で実験参加をお願いした。各参加者は、圧力センター(Nintendo WiiFit)の上に乗った上で、立位安静、立位腕振りの運動を行い、そのときの重心運動を計測した。また、対照群として、タイ王国スリバレノリ病院(Srivarenoi primary hospital, Samutprakan, Thailand)の健常若年者10名(60歳未満, 7-57歳, 平均36.8歳, 男性7名, 女性3名)をおよび、パーキンソン病でない高齢者11名(60歳以上, 60-80歳, 平均70.54歳, 男性4名, 女性7名)から、同様の実験手続きで重心運動を

計測した。

(1983).

[2] Hidaka, S. & Kashyap, N.: On the Estimation of

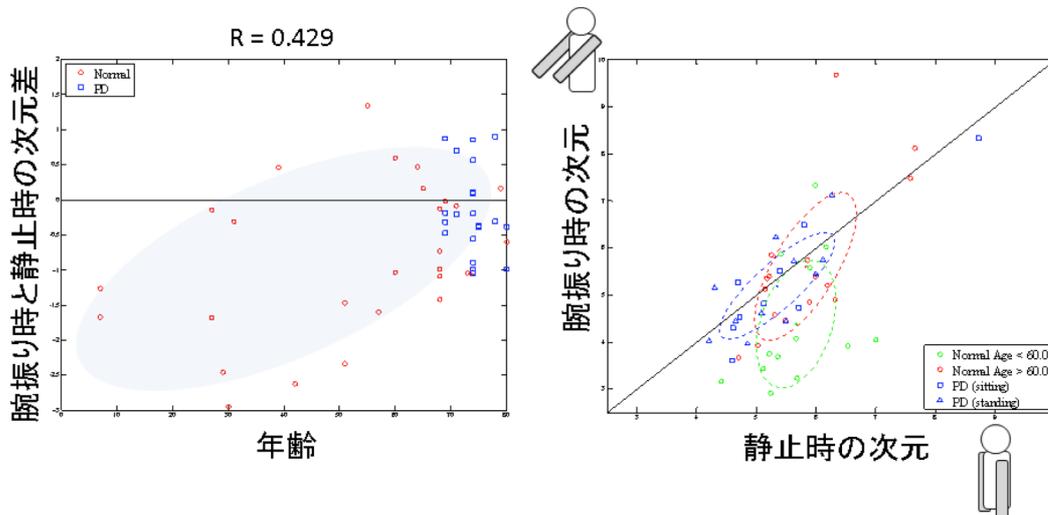


図 4 : (左) 健常者(赤)とパーキンソン病患者(青)の年齢(x 軸)と、腕振り/静止時の次元差 (右) 腕振りと静止時の次元の散布図

結果・考察

図 4 はパーキンソン病患者および健常者の立位安静時と腕振り運動時の次元差およびその散布図を表す。図 4(左)は健常な若年者ほど、腕振り時の次元が小さく、高齢者およびパーキンソン病の患者ではその差が小さいもしくは腕振り時の次元のほうが大きいことを示している。図 4(右)に示す散布図では、健常若年者(60 歳未満)、健常高齢者(60 歳以上)、およびパーキンソン病患者が、重複をもちながらも異なる分布を持つことがわかる。これらの 3 群のなかでは、パーキンソン病患者において 2 つの運動条件での差が最も小さくなる傾向があった。

この結果は、安静・腕振り運動条件の重心軌道の次元解析によって得られた統計量を用いることで、3 つの群を分類することが可能であることを示唆している。今後、適切な機械学習の分類アルゴリズムを利用することで、簡便に計測できる運動から、パーキンソン病患者に固有の特徴量を検出し、潜在的なリスクや症状の進行度合いを定量化することができると期待できる。

参考文献

[1] Grassberger, P., & Procaccia, I.: Characterization of strange attractors. *Physical review letters*, 50(5), 346-349,

Pointwise Dimension., eprint arXiv:1312.2298, (2013).

[3] Hoehn, M., Yahr, M.: Parkinsonism: onset, progression and mortality." *Neurology* 17 (5): 427-42, (1967).

[4] Riley, M. A., Van Orden, G. C.: *Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences*. National Science Foundation, (2005).