

シンプルモデルに基づく位相リセットのストライド時間の長期相関への寄与の解析

岡本 耕太*

* 京都大学 工学研究科 航空宇宙工学専攻 京都府京都市西京区京都大学桂
* Department of Aeronautics and Astronautics, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Kyoto Daigaku-Katsura, Nishikyo-ku, Kyoto, Japan
* E-mail: okamoto.kota.78z@st.kyoto-u.ac.jp

キーワード：ヒトの歩行 (human walking), 長期相関 (long-range correlation), 神経力学モデル (neuromechanical model), 中枢パターン生成器 (central pattern generator), 位相リセット (phase resetting).
JL 0012/23/6212-0783 ©2023 SICE

1. 研究略歴

筆者は、博士前期課程から二足歩行におけるフラクタルの出現と変化のメカニズムに関する研究を実施してきた。制御なしに斜面を下る受動歩行において、フラクタルな吸引領域をもつことが知られており、このメカニズムを数理的に明らかにした¹⁾。その後、実際のヒトの歩行においてもフラクタルな挙動が現われることを知り、モデル研究に基づいてフラクタルな挙動の出現と変化のメカニズムを解明することを目指して研究を進めてきた。

2. 受賞論文²⁾の紹介

ヒトの歩行は必ずしも定常ではなく、微小にゆらいでいる。とくに、ストライド時間（ストライドごとの歩行周期）には長期相関と呼ばれるフラクタルなゆらぎがみられる³⁾。この長期相関はヒトの運動機能の健全性を特徴づけており、加齢や神経疾患によって、ストライド時間は無相関に変化してしまう⁴⁾。

Fuら⁵⁾は、多リンク剛体系で構築された複雑な身体系と、位相リセットと呼ばれるリズム制御をモデル化した中枢パターン生成器 (Central Pattern Generator: CPG) に基づく神経系のモデルを用いることで、歩行における長期相関を再現した。さらに、位相リセットの欠如やモデルパラメータの変化によって無相関へ変化することも示した。しかしながら、複雑な神経系と身体モデルを用いているため、歩行におけるフラクタル性の出現と変化の本質的なメカニズムを理解することが難しかった。

そこで受賞論文²⁾では、シンプルなコンパスモデルを用いた身体と、位相リセットを導入したシンプルな CPG モデルからなる神経モデルを統合し、歩行における長期相関や位相リセットの有無によるフラクタル性の変化を再現した。とくに、シンプルモデルを利用したことで、速度変化や外乱の大きさなどのモデルパラメータの影響を排除し、感覚フィードバックによるフラクタル性の変化を抽出できた。この結果、外乱による位相の変化を示す位相応答特性が、環境ノイズによって生まれる長期的なゆらぎ特性を決定することを示し、この特性を変化させる位相リセットがフラクタル性の変化を引き起こすことを解明した。

3. 今後の展望

今後の課題として、受賞論文²⁾で示した長期相関と位相リセットの関係性を、より詳細なモデルや実際のヒトの歩行において検証することが挙げられる。メカニズムの検証を続けることで、フラクタル性の変化を引き起こす運動障害に対して新たな診断法やリハビリ手法の開発に繋がることが期待される。

(2023年10月6日受付)

参考文献

- 1) K. Okamoto, S. Aoi, I. Obayashi, H. Kokubu, K. Senda, and K. Tsuchiya: Fractal Mechanism of Basin of Attraction in Passive Dynamic Walking, *Bioinspir. Biomim.*, **15**-5, 055002 (2020)
- 2) 岡本, 青井, 大林, 國府, 泉田, 土屋: シンプルモデルに基づく位相リセットのストライド時間の長期相関への寄与の解析, 第34回自律分散システム・シンポジウム, 7/12 (2022)
- 3) J. M. Hausdorff, C. K. Peng, Z. Ladin, J. Y. Wei, and A. L. Goldberger: Is Walking a Random Walk? Evidence for Long-range Correlations in Stride Interval of Human Gait, *J. Appl. Physiol.*, **78**-1, 349/358 (1995)
- 4) A. L. Goldberger, L. A. N. Amaral, J. M. Hausdorff, P. C. Ivanov, C.-K. Peng, and H. E. Stanley: Fractal Dynamics in Physiology: Alterations with Disease and Aging, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, **99**, 2466/2472 (2002)
- 5) C. Fu, Y. Suzuki, P. Morasso, and T. Nomura: Phase Resetting and Intermittent Control at the Edge of Stability in a Simple Biped Model Generates 1/f-like Gait Cycle Variability, *Biol. Cybern.*, **114**-1, 95/111 (2020)

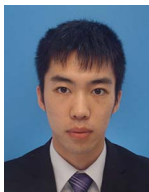
受賞種別 [研究奨励賞]

論文タイトル [シンプルモデルに基づく位相リセットのストライド時間の長期相関への寄与の解析]

発表講演会名 [第34回自律分散システム・シンポジウム]

[著者紹介]

岡本 耕太 君 (学生会員)



1996年生。2019年京都大学工学部物理工学科卒業。2021年京都大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻博士前期課程修了。同年、日本学術振興会特別研究員 DC1 採択。現在に至る。シミュレーションモデルを用いた二足歩行におけるフラクタルの出現・変化に関する研究に従事。システム制御学会などの会員。