

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23300209

研究課題名(和文) 歩行リズムの相互引き込みを用いたパーキンソン病加速歩行の安定化支援

研究課題名(英文) Walking rhythm mutual-entrainment based stabilization system for festination gait of Parkinson Disease

研究代表者

三宅 美博 (MIYAKE, Yoshihiro)

東京工業大学・総合理工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：20219752

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、歩行リズムのインターパーソナルな相互引き込みによって、歩行リズムが動的に安定化する性質を、パーキンソン病の歩行訓練に活用することを目標にした。そして、歩行障害の一例としての加速歩行に注目し、その安定化のための支援システムを構築した。具体的には、加速歩行におけるリズム生成の安定性評価方法を確立し、歩行リズムの相互引き込みによって加速歩行が安定化されるメカニズムも解明した。これらの成果に基づいて、臨床現場で活用できるポータブルな歩行安定化システムの開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：研究概要(英文)

The aim of this research was to support gait rehabilitation of Parkinson disease by using interpersonal mutual entrainment of gait dynamics. First, evaluation methods of stability in gait rhythm generation process was established in festination gait as an example. Next, we clarified a mechanism of dynamical stabilization of gait rhythm in the mutual entrainment. Finally, portable gait stabilization system implemented on smart phone was newly developed based the above experimental results.

研究分野：総合領域

キーワード：リハビリテーション パーキンソン病 加速歩行 歩行リズム 相互引き込み 動的安定性 共創システム

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者らはインターパーソナルな歩行リズムの同調現象に注目し、それを相互引き込み現象として分析してきた。そして、その成果を歩行支援システム Walk-Mate として人間と仮想ロボットのあいだの協調歩行系として構築し、歩行支援への応用を進めてきた。具体的には科研費・基盤研究 B (H19~21)において脳卒中の歩行障害をとりあげ、片麻痺歩行における歩行の安定化と左右非対称性の改善への有効性を示した。

そこで本研究では上記の準備的成果を踏まえて、歩行リズムの動的な安定化が最も有効に機能すると予想されるパーキンソン病の歩行障害に注目した。これは脳内ドーパミンの減少により基底核の機能不全を招く疾患であり、歩行リズムの生成そのものに障害が現れることが知られている。そして、具体的には歩行リズムが徐々に速くなり最終的には転倒に至る「加速歩行」という障害を取り上げた。

既にパーキンソン病の治療方法としては、薬物治療、脳深部刺激療法、行動療法などが提案されてきたが、近年ではリズムを用いる行動療法への期待が高まりつつある。たとえば、一定テンポのリズム音に合わせて歩行訓練するリハビリ方法(Thaut et al.)が提案されている。また、筋電位で駆動されるウェアラブルロボットで歩行を直接的に駆動する試みもある(Sankai et al.)。しかし、これらは我々が提案する歩行リズムの相互引き込みとそれに基づく動的な安定化に注目したのではなく、患者に不自然な歩行を強いるものであった。

このような背景の中で、本研究は歩行リズムの相互引き込みに注目し、それを介してパーキンソン病の歩行の動的安定化をめざす初めての取組みとして開始したのである。

### 2. 研究の目的

本研究は、歩行リズムのインターパーソナルな相互引き込みによって、歩行リズムが動的に安定化する性質を、パーキンソン病の歩行訓練に活用することを目標にした。そして、具体的な歩行障害として加速歩行に注目し、その安定化のための支援システムを構築したのである。

### 3. 研究の方法

本研究では、上記の目標をさらに具体化し、以下の3つの研究項目に取り組んだ。

(1) パーキンソン病の加速歩行における安定性の評価方法の確立

パーキンソン病の加速歩行の強度を定量的に計測する方法を確立した。加速にとまなう歩行周期の短縮化を、歩行周期変化の時間勾配として回帰直線で評価するだけでなく、DFA(De-trended Fluctuation Analysis)による歩行周期ゆらぎのフラクタル性の解析等も導入し、加速歩行の軽重を多面的に評価できる方法を開発した。

(2) 歩行リズムの引き込みによって加速歩行が安定化するメカニズムの解明

一定テンポのリズム音を聞かせる歩行リハビリ方法(Thaut et al.によって開発されたもので RAS と呼ばれる)と我々が提案する歩行リハビリ手法である Walk-Mate を比較することで、歩行リズムの相互引き込みによる歩行安定化とその持続性生成のメカニズムを明らかにした。

(3) 臨床現場で活用できるポータブルな歩行安定化システムの開発

上記の研究成果を踏まえて、パーキンソン病における加速歩行の安定化システムとしての Walk-Mate を構築し、それをスマートフォン上にポータブルなシステムとして実装し、臨床現場での実用化をめざすとともに有効性を評価した。

### 4. 研究成果

(1) パーキンソン病の加速歩行における安定性の評価方法の確立

本項目では大きく分けて2種類の評価方法を開発した。第1の方法は加速歩行にともなう歩行周期の短縮化を、歩行周期変化の時間勾配として回帰直線で定量化するものである。加速歩行の強度を直接的に評価したことになる。第2の方法は歩行リズムの周期ゆらぎに注目するものであり、周期ゆらぎのフラクタル性の指標であるスケール指数  $\alpha$  およびゆらぎの振幅の指標である CV を組み合わせて評価する。加速歩行の背景にあるリズム生成機能を表している。

まず第1の方法の結果の一例を図1に示す。横軸は時間であり縦軸は歩行リズムの周期を表している。歩行周期が時間とともに右下がりに減少していることが確認できるが、これが加速歩行に対応する現象であり、回帰直線を介して時間変化の勾配  $\beta$  として定量化されていることがわかる。

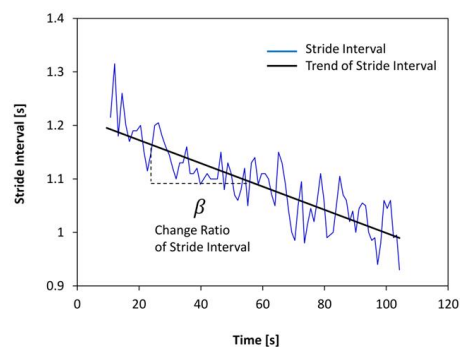


図1

次に第2の方法の一例を図2に示す。周期ゆらぎの長時間相関であるフラクタル性の指標(スケール指数  $\alpha$ )を DFA(De-trended Fluctuation Analysis)によって求め、それと同時に周期ゆらぎの振幅に関する指標である CV を組み合わせて評価することになる。図2のように縦軸に  $\alpha$  をとり、横軸に CV をとることで歩行リズム生成の障害の状態を2次元平面上にプロットすることが可能に

なり、この平面を機械学習の方法を採用することで、パーキンソン病の軽重の定量的な分離を実現した。

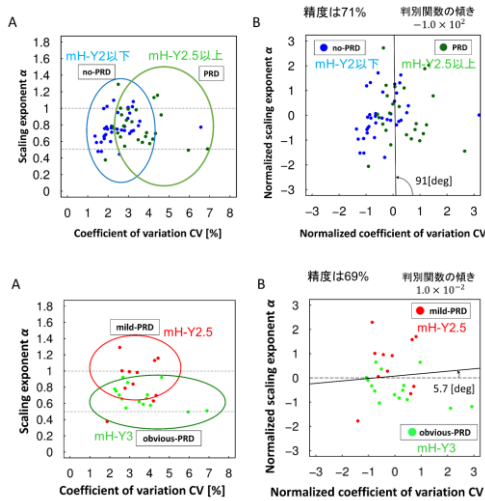


図 2

(2) 歩行リズムの引き込みによって加速歩行が安定化するメカニズムの解明

本項目では加速歩行を安定化するメカニズムを解明するために、一定テンポのリズム音を聞かせる歩行リハビリ方法(RAS)と我々が提案する手法である Walk-Mate を比較した。これによって歩行リズムが引き込みを介して相互作用する場合と一方向的に作用する場合の違いが明らかになり、それによって歩行リズムの生成における安定化のメカニズムを解明できるからである。具体的には研究項目 1 で開発された 2 つの評価方法を用いることで比較を行った。

まず第 1 の評価方法を用いた場合の結果の一例を図 3 に示す。横軸は時間であり縦軸は歩行リズムの周期を表している。これは Walk-Mate を適用した場合の加速歩行の様子であるが、最初の 50 秒は単独歩行であり加速歩行にともなう歩行周期の単調現象が右下がりの回帰直線として確認される。しかし 50 ~ 100 秒では、それが水平になり加速歩行が緩和されたことがわかる。さらに 100 秒以降は再び単独歩行であるが、歩行リズム生成の安定化が持続し、パーキンソン病患者によって再学習されている。このように加速歩行そのものを定量的に評価することで安定化のメカニズムを明らかにできる。

次に第 2 の評価方法を用いた場合の結果を図 4 に示す。これは図 2 に示したパーキンソン病の軽重を機械学習で分離する評価方法によって得られた状態において、それらの間での遷移を表している。状態 3 が最も症状が重く、状態 1 が最も軽い。図 4 から明らかなように、RAS を適用した場合の状態遷移と Walk-Mate を適用した場合の状態遷移が異なっており、歩行リズムの生成における安定化のメカニズムが異なっていることが示された。

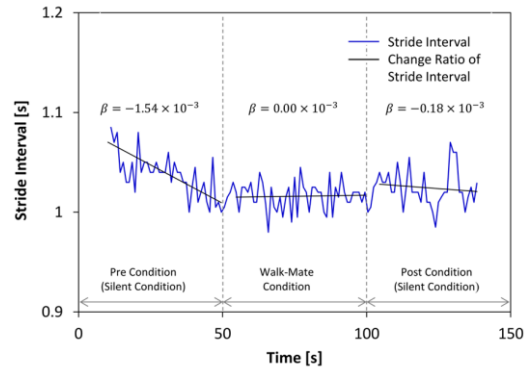


図 3

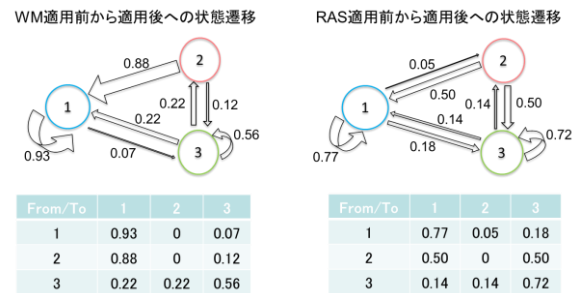


図 4

(3) 臨床現場で活用できるポータブルな歩行安定化システムの開発

本項目では、上記の研究成果を踏まえて、パーキンソン病における加速歩行の安定化システムとしての Walk-Mate を構築し、それをスマートフォン上にポータブルなシステムとして実装し、臨床現場での実用化をめざすとともに有効性を評価した。

具体的には、図 5 に示すようにスマートフォンを患者の腰部に装着し実装のプラットフォームとして採用した。内蔵された加速度センサを用いて患者の歩行リズムを検出し、それと相互引き込みを介してリズム生成できる数理モデルを構成し Walk-Mate として実装した。さらに項目 1 で開発された加速歩行の評価手法も併せて利用し、歩行リハビリへの有効性を評価できるようにした。これによってパーキンソン病患者が自らリハビリできるようになり臨床応用が可能になった。



図 5

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件) (いずれも査読有)

- 1) Ota, L., Uchitomi, H., Ogawa, K., Orimo, S., Miyake, Y., "Relationship between neural rhythm generation disorders and physical disabilities in Parkinson's disease patients' walking," PLoS ONE vol.9, issue.11, pp.1-8(e112952) (2014)  
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0112952>
- 2) Uchitomi, H., Ota L., Ogawa K., Orimo S., Miyake Y., "Interactive rhythmic cue facilitates gait relearning in patients with Parkinson's disease," PLoS ONE, vol.8, issue.9, pp.1-10(e72176) (2013)  
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0072176>
- 3) Hove, M.J., Suzuki, K., Uchitomi, H., Orimo, S., Miyake, Y., "Interactive rhythmic auditory stimulation reinstates natural 1/f timing in gait of Parkinson's patients," PLoS ONE, vol.7, no.3, pp.1-8(e32600) (2012)  
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0032600>
- 4) Uchitomi, H., Suzuki, K., Hove, M.J., Orimo, S., Wada, Y., Miyake, Y., "Gait rhythm of Parkinson's disease patients and an interpersonal synchrony emulation system based on cooperative gait", In J L Wu, K Ito, S Tobimatsu, T Nishida, H Fukuyama (Eds.), Biomedical Engineering and Cognitive Neuroscience for Healthcare: Interdisciplinary Applications, Springer-Verlag, Tokyo, pp.38-53 (2012)

[学会発表] (計14件) (いずれも査読有)

- 1) Ota, L., Ogawa K., Yap, M.S.R., Miyake, Y., "Evaluation platform of gait rhythm in relation to movement disorder and sensorimotor interaction," Proc. of the SICE Annual Conference 2014 (SICE2014), Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido, Japan, pp.856-859 (2014/9/11)
- 2) Ota, L., Ogawa, K., Orimo, S., Miyake, Y., "Relation of postural instability to gait dynamics in patients with Parkinson's disease," Proc on ICME/CME 2014, Taipei, Taiwan, pp.195-200 (2014/6/27) (Best Student Paper award)
- 3) Ito, S., Isozaki, Y., Uchitomi, H., Miyake, Y., "Walk-Mate 1: Interpersonal synchronization based gait assist," REHACARE 2012, Dusseldorf, Germany (2012/10/10-13) (Invited lecture)  
[http://messe-dus.co.jp/fileadmin/final\\_report/FinalReport\\_Rehacare2012.pdf](http://messe-dus.co.jp/fileadmin/final_report/FinalReport_Rehacare2012.pdf)
- 4) Isozaki, Y., Ito, S., Uchitomi, H., Miyake, Y., "Walk-Mate 2: Analysis of gait disturbance," REHACARE 2012, Dusseldorf, Germany (2012/10/10-13) (Invited lecture)  
[http://messe-dus.co.jp/fileadmin/final\\_report/FinalReport\\_Rehacare2012.pdf](http://messe-dus.co.jp/fileadmin/final_report/FinalReport_Rehacare2012.pdf)
- 5) Ota, L., Uchitomi, H., Orimo, S., Miyake, Y.,

- "Classification of Parkinson's disease patients' gait variability," Proc. of the 2012 IEEE/SICE Int. Symp. on System Integration(SII2012), Kyushu University, Fukuoka, Fukuoka, Japan, pp.343-348 (2012/12/18)
- 6) Uchitomi, H., Suzuki, K., Nishi, T., Hove, M.J., Wada, Y., Orimo, S., Miyake, Y., "Interpersonal synchrony-based dynamic stabilization of the gait rhythm between human and virtual robot-clinical application to festinating gait of Parkinson's disease patient-," Proc. of the 23rd 2012 Int. Symp. on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS2012), Nagoya University, Nagoya, Aichi, Japan, pp.460-465 (2012/11/6)
- 7) Uchitomi, H., Suzuki, K., Nishi, T., Matsumura, S., Hove, M.J., Orimo, S., Wada, Y., Miyake, Y., "Improving gait performance in Parkinson's disease by interpersonal synchrony-based dynamic stabilization," Proc. of the 2012 ICME Int. Conf. on Complex Medical Engineering (CME2012), ANA Crowne Plaza Hotel, Kobe, Hyogo, Japan, pp.249-254 (2012/7/2)
- 8) Ota, L., Uchitomi, H., Suzuki, K., Hove, M.J., Orimo, S., Miyake, Y., "Evaluation of severity of Parkinson's disease using stride interval variability," Proc. of the 2012 ICME Int. Conf. on Complex Medical Engineering (CME2012), ANA Crowne Plaza Hotel, Kobe, Hyogo, Japan, pp.521-526 (2012/7/2)
- 9) Uchitomi, H., Miyake, Y., Orimo, S., Suzuki, K., Hove, M.J., "Co-creative rehabilitation: Effect of rhythmic auditory stimulus on gait cycle fluctuation in Parkinson's disease patients," Proc. of the SICE Annual Conference 2011 (SICE2011), Waseda University, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan, pp.2575-2580 (2011/9/17)
- 10) Uchitomi, H., Miyake, Y., Orimo, S., Wada, Y., Suzuki, K., Hove, M.J., Nishi, T., "Interpersonal synchrony-based dynamic stabilization in walking rhythm of Parkinson's disease," Proc. of the 2011 ICME Int. Conf. on Complex Medical Engineering(CME2011), Harbin, China, pp.614-620 (2011/5/24)
- 11) Uchitomi, H., Miyake, Y., Orimo, S., Suzuki, K., Hove, M.J., "Dynamically stabilizing gait festination in Parkinson's disease by walking with interpersonal synchrony emulation system," Proc. of 9th Sino-German Advanced Workshop on Cognitive Neuroscience and Psychology, Beijing, China, pp.2 (2011/5/16-18)
- 12) Hove, M., Suzuki, K., Uchitomi, H., Orimo, S., Miyake, Y., "Interactive rhythmic stimulation, fractal scaling, and Parkinson's gait rehabilitation," Proc. of the Fourth Joint Action Meeting, Vienna, Austria, Poster presentation (2011/7/7)
- 13) Hove, M., Suzuki, K., Uchitomi, H., Orimo, S., Miyake, Y., "Interactive rhythmic auditory

stimulation reinstates natural 1/f timing in gait of Parkinson's patients," Proc. of the 33rd Annual Conference of the Cognitive Science Society (COGSCI 2011), Austin, U.S.A. pp.2727-2732 (2011/7/19)

14) Hove, M., Suzuki, K., Uchitomi, H., Orimo, S., Miyake, Y., "Interactive rhythmic auditory stimulation reinstates natural 1/f timing in gait of Parkinson's patients," Proc. of the 13th Rhythm Perception and Production Workshop, Leipzig, Germany, Poster presentation (2011/7/15)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

三宅 美博 (MIYAKE, Yoshihiro)  
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・  
教授  
研究者番号：20219752

### (2) 研究分担者

山本 知仁 (YAMAMOTO, Tomohito)  
金沢工業大学・情報工学部・准教授  
研究者番号：60387347