

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月30日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360107

研究課題名（和文） 歩行・走行の歴史的伝統的運動様式の生体力学分析と応用

研究課題名（英文） Biomechanical analysis of traditional walking/running patterns by Japanese and its applications

研究代表者

長谷和徳（HASE Kazunori）

首都大学東京・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：10357775

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、ナンバ歩き、ナンバ走りと呼ばれるような歴史的伝統的な古来日本人の移動様式について、通常の歩行・走行との相違を生体力学的に分析し、その長所短所を明確化することである。人体力学モデルを用いた振動解析、陸上競技者を対象とした運動計測実験、神経筋骨格モデルによる歩行シミュレーションなどを行い、特に高速移動時にナンバ様動作に利点があることを見出した。また、これらの知見のリハビリ分野への応用も試みた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to clarify the benefit of traditional locomotion patterns of Japanese called Namba from a biomechanical point of view. This study coped with the vibration analysis using a human mechanical model, the kinematic analysis based on locomotion patterns performed by the athletes, and the computer simulation using a neuro-musculo-skeletal model. It was found that the Namba-style locomotion had a benefit when human locomoted at higher speed. Moreover, its application to the rehabilitation field was attempted.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	9,200,000	2,760,000	11,960,000
2011年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2012年度	1,700,000	510,000	2,210,000
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：バイオメカニクス、スポーツ健康福祉

### 1. 研究開始当初の背景

歩行はヒトの基本的な移動運動様式であると共に、健康作り、体力作りの基本とも言える運動である。そのため、その効果を高めるため、運動様式に工夫を凝らしたりする人も多い。その中でも、特に日本で古来用いられている運動様式に注目する例がある。そのひとつがナンバ歩きと呼ばれる歩行様式である。これは日本人の古来の歩行様式であるとされているものであり、上半身の捻り運動

にその特徴がある。この運動様式を有名スポーツ選手がトレーニングに取り入れ、話題となった。しかしながら、このような日本の歴史的伝統的な歩行様式の効果については教育的側面、文化的側面からの議論も多く、生体力学に基づいた科学的な分析が不十分であり、客観性に欠けている問題がある。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、このような問題について

工学的アプローチを用いて分析を行うことである。すなわち、歩行の歴史的伝統的な様式として、ナンバ歩きナンバ走りを取り上げ、その効果があるのか否か、また効果があるとして、どのような効果が期待できるのかを工学的、生体力学的アプローチを用いて定量的に明らかにする。さらにその基礎的な知見をリハビリテーション分野やスポーツ科学分野などへ応用することを目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 振動モード解析

歩行運動の基本原理は身体力学系と重力による振り子運動と捉えることができる。そのため、機構解析ソフトを用いた人体振動モデルを構築し、振動モードの観点より解析を行った。ここでは身体力学系を 11 関節自由度の剛体リンク系で表し、床からの反力は無視し、重心位置を剛性の低いバネモデルで支持した。このモデルに対して固有値解析を行い、振動モード特性でナンバや通常の歩行様式が実現できるか、分析を行った。

#### (2) アスリートの歩行・走行実験

ナンバの動きをトレーニングに取り入れている東海大学陸上部の選手を被験者とし、トレッドミル上でナンバ歩き・走りと通常の歩行・走行を行わせ、その際の運動変位と筋電図を測定した。運動変位計測には 3 次元光学式モーションキャプチャ装置を用いた。図 1 に計測風景を示す。これは陸上競技 400m 走の日本記録保持者でもある東海大学高野進教授を被験者とした実験風景である。



図 1 計測風景

#### (3) 計算機シミュレーション

我々が先行研究で開発してきた神経制御系も含めた歩行の神経筋骨格モデルをさらに改良し、通常歩行のほか、ナンバ様の腰を捻らない運動様式をシミュレーションにより再現できるようにした。歩容全体を改善するため、足部に対しても足指リンクを追加するなどの改良を加えた。腰を捻らない、すなわち腰の回旋角度を小さくするために、腰部の神経フィードバック回路を改良し、この運動様式に適応するように他の神経系のパラメータを探索計算により定めた。計算機シミュレーションに基づいて、通常歩行様式とナンバ様式との比較を行った。

#### (4) リハビリテーション応用

ナンバ歩きのような体幹の動きに注目し、二つのリハビリ応用を試みた。ひとつは腰を捻らない歩行動作は膝関節の内外転方向の力学的負荷を軽減する可能性があると考え、歩行計測と身体力学モデルによる力学分析によって関節に作用する力学的負荷(関節モーメント)の定量的評価を行った。

もうひとつは、腰のひねりと脚の内外転運動を補助する歩行アシスト機器の開発である。近年、下肢運動障害者のリハビリ、生活支援のため、装着型の歩行アシスト装置が多く開発されてきているが、その多くは膝関節の屈伸運動など 2 次元的な動きのみをアシストしている。これに対して、我々は体幹の捻り動作と股関節の内外転運動のような体幹の 3 次元的な動きをアシストする機器の開発を行った。このような関節運動をアシストすることで、より単純な機構で、効率的な歩行アシストが行えると考えた。

### 4. 研究成果

#### (1) 振動モード解析

図 2 は得られた固有振動モードのうち、11 次のモードに対応する振動パターンを示している。このモードでは、腰の回旋が小さく、上肢、下肢の位相差が小さいナンバ歩きに類似したパターンを実現することができた。また、これより低次の 10 次の振動モードでは通常の歩行に類似した上肢下肢の動きが逆位相になり、腰部の回旋も大きい振動パターンが得られた。これより、歩行運動の基本的なパターンは身体力学系による振動モードとして捉えることができ、さらに、ナンバ歩きは通常の歩行と比較して、高次の、すなわち、より高い振動数を持つモードに対応する運動であると考えられた。

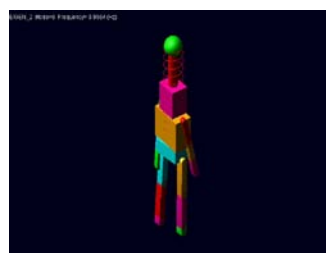


図 2 振動モード解析結果

#### (2) アスリートの歩行・走行実験

まず基本的な確認として、通常歩行とナンバ動作との特徴の違いを腰部・体幹の回旋動作に見出すことができた。次いで、ナンバの動作においては腰部の左右動を抑制する効果があることが認められた。この特徴は運動のエネルギー効率の向上などにも影響するものと考えられるが、その関連性を検証するまでには至らなかった。

筋電図波形について比較をすると、歩行時

では通常動作のほうが小さい筋負担となっていたのに対し、走行時では逆にナンバ動作のほうが相対的に小さい筋負担となっていたことが明らかとなった。図3に腓腹筋の筋活動量（積分筋電図）を示す。図の横軸は移動速度である。この結果からも、ナンバ様の動作は比較的高速、高振動数の運動様式の際に有利になるものと考えられた。

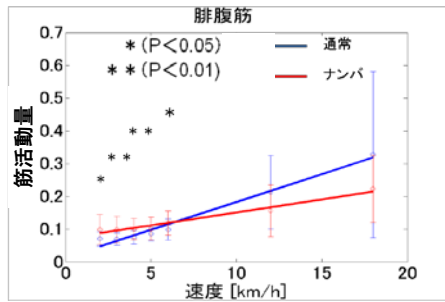


図3 腓腹筋の活動量の比較

### (3) 計算機シミュレーション

図4に歩行シミュレーションモデルと、それにより得られた歩行パターンを示す。図中の白や赤の線は筋を表し、発揮筋力に応じて色が白から赤になるように描画してある。得られた歩行パターンは実際のヒトの運動様式とよく一致していた。また、ナンバ歩行モデルにおいては、腰の回旋角が小さい運動が実現できていた。

シミュレーションよりナンバ歩行モデルでは通常歩行モデルと比較してエネルギー効率は向上しないものの、定常歩行速度が増加する傾向が見られた。

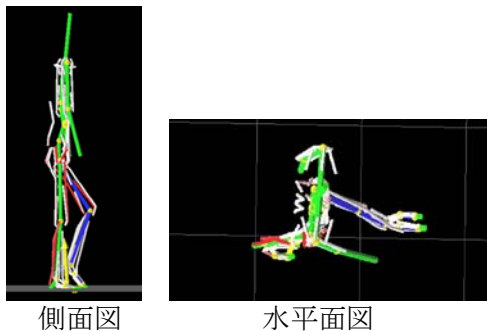


図4 ナンバ歩きの計算機シミュレーション

### (4) リハビリテーション応用

図5は計測とモデル解析結果より得られた膝関節の内外転モーメントを示す。内外転モーメントの二つのピーク値はナンバ歩行において、通常歩行よりも有意に小さくなる結果が得られた。膝関節の内外転のモーメントは筋力ではなく、関節部の骨と靭帯が構造的に支持するものである。そのため、この内外転モーメントが小さくなるナンバのような運動様式は変形性膝関節症のような患者の歩行リハビリに有効であると考えられた。

図6は開発した歩行アシスト機器の外見

を示している。この機器は市販の長下肢装具に3つのDCモータを装着したものである。左右の股関節の内外転運動を二つのモータで駆動し、股関節屈伸運動は傘歯車を利用して、一つのモータで駆動する。この股関節屈伸は相対的に腰部の捻る動作を誘発することも狙ったものである。モータの駆動力は平行リンク機構を介して装具に伝達される。運動軌道は予め測定した関節角度に追従する位置フィードバック制御に基づいているので、使用者の意志に追従した動きはまだ実現できていないが、股関節内外転運動について一定のアシスト効果が認められた。

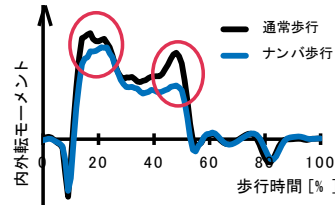


図5 ナンバ歩きにおける膝関節内外転モーメント



図6 歩行アシスト装置

### (5) 総括

本研究では、振動モード解析、計測実験、計算機シミュレーションなどの様々な方法論を用いてナンバと呼ばれる歩行・走行様式の特徴を生体力学の観点より分析を行った。その結果、ナンバ様式の動きは、より高速、高振動の動きに適応した動きであることが示唆された。また、リハビリ応用として膝関節への力学負担軽減の可能性を示唆することができ、さらに体幹まわりの3次元的な動きに着目した歩行アシスト機器への展開も実現できた。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件)

- ① KIM Youngwoo, ONISH Keiichi, OBINATA Goro, HASE Kazunori: Model-based Analysis of Impedance Perception Related with Motor Control System, J Biomech Sci Eng, 7(2) 259-274 2012
- ② 竹原昭一郎, 植村隆太郎, 長谷和徳, 生体力学シミュレーションに基づく姿勢評価システムの研究—システムインテグレーション—, 自動車技術会論文集, Vol. 43

No. 6, 2012.

- ③ Kim, Y., Tagawa, Y., Obinata, G., Hase, K.: Robust control of CPG-based 3D neuromusculoskeletal walking model, *Biological Cybernetics*, 105, (2011), 269-282.
- ④ Kim, Y., Oyabu, T., Obinata, G., Hase, K.: Operability of joystick-type steering device considering human arm impedance characteristics, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 42, 2, (2011), 295-306.
- ⑤ 裴艶玲, 金泳佑, 大日方五郎, 長谷和徳: ロボット支援型下肢リハビリテーションにおける筋骨格モデルに基づいた運動軌道と足先に作用する力の設計, *日本機械学会論文集C編*, 77, 781, (2011), 3439-3453.
- ⑥ 福住敦, 竹原昭一郎, 長谷和徳, 吉村卓也: 筋骨格モデルを用いた順動力学シミュレーションによる垂直跳び動作時の筋活動分析, *日本機械学会論文集C編*, 77, 777, (2011), 1686-1695.
- ⑦ Kim, C.S., Eom, G.M., Hase, K.: Modeling and Identification of Mechanical and Reflex Properties related to Spasticity in Stroke Patients using Multiple Pendulum Tests, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, 6, 3, (2011), 135-147
- ⑧ 長谷和徳, 小島聡太, 大日方五郎: 中枢性・末梢性の筋疲労を考慮した筋骨格モデル, *バイオメカニズム* 20, (2010), 185-196.
- ⑨ 井上剛志, 高木賢太郎, 福岡慶祐, 長谷和徳: 心理負荷が人間・機械振動系に与える影響(立位時における鉛直加振の場合), *日本機械学会論文集C編*, 76, 765, (2010), 1372-1379.

[学会発表] (計 15 件)

- ① 岩本健太郎, 長谷和徳: 体幹の側屈と捻りに注目しシンプルな機構を取り入れた歩行アシスト機器の開発, *日本機械学会関東支部第 19 期総会講演会*, 2013
- ② 張哲, 長谷和徳, 医療用コルセットの生体力学評価(サポート効果と装着性の評価), *日本機械学会関東支部第 19 期総会講演会*, 2013
- ③ 西澤教之, 長谷和徳, 内藤尚: 順動力学シミュレーションによる歩行様式の生体力学分析, *日本機械学会関東支部第 19 期総会講演会*, 2013
- ④ 戸沢優介, 長谷和徳: 3次元簡易歩行評価システムの開発とナンバ歩行の評価, *関東学生会第 52 回学生員卒業研究発表講演会*, 2013
- ⑤ 戸沢優介, 長谷和徳, 太田進: 3次元簡易歩行評価システムの開発, 第 33 回 バイオメカニズム学術講演会, 2012
- ⑥ 張哲, 長谷和徳: コルセットの効果の運動力学評価, *生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会*, 2012
- ⑦ Iwamoto, K., Hase, K.: Development of a walking assist device focusing on a twist motion of the trunk and adopting the simple mechanism, *MHS2012 & Micro-Nano Global COE*, 2012
- ⑧ Nishizawa, N. Hase, K., Naito, H.: Biomechanical Analysis of the Foot Arch Function Using a Forward Dynamic Walking Simulation, *MHS2012 & Micro-Nano Global COE*, 2012
- ⑨ Obinata, G., Hase, K., et al.: Design of Powered Orthosis Based on 3D Neuro-musculo-skeletal Human Model, *The 10th IFAC Symposium on Robot Control (SYROCO'12)*, 2012
- ⑩ 岩本健太郎, 長谷和徳, 竹原昭一郎: 体幹・腰の動きに注目した歩行アシスト機器の設計・開発, *機械学会 2011 年度年次大会*, 2011
- ⑪ 張哲, 長谷和徳, 竹原昭一郎: 3次元全身モデルによる身体運動生成システムの構築, *機械学会 2011 年度年次大会*, 2011
- ⑫ 渡辺信吾, 長谷和徳, 竹原昭一郎, 太田進: 曲げセンサを用いたウェアラブル姿勢評価システムの開発, *機械学会 2011 年度年次大会*, 2011
- ⑬ 西澤教之, 長谷和徳, 内藤尚, 竹原昭一郎: 順動力学的シミュレーションによる足部の生体力学的解析, *機械学会 2011 年度年次大会*, 2011
- ⑭ 中野佑治, 長谷和徳, 竹原昭一郎: 筋肉の活動に及ぼす視覚情報の影響, *機械学会 2011 年度年次大会*, 2011
- ⑮ 湯本智巳, 長谷和徳, 吉村卓也, 山田洋, 高野進: 歩行の歴史的伝統的運動様式と体形との生体力学的関係, 第 31 回 バイオメカニズム学術講演会, 2010

[その他]

<http://www.comp.tmu.ac.jp/hase-lab/>  
(首都大学東京・長谷研究室ホームページ)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

長谷和徳 (HASE Kazunori)  
首都大学東京・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号: 10357775

### (2) 研究分担者

吉村卓也 (YOSHIMURA Takuya)

首都大学東京・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：50220736

山田洋 (YAMADA Hiroshi)  
東海大学・体育学部・准教授  
研究者番号：30372949

太田進 (OHTA Susumu)  
名古屋大学・医学部・助教  
研究者番号：50452199