

平成 22 年 5 月 7 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19300160
 研究課題名（和文） ヒト立位および歩行時の身体キネマティクスと下肢筋群活動の計測とデータベース構築
 研究課題名（英文） Measuring and databasing of body kinematics and lower limb muscle activities during human upright stance and locomotion
 研究代表者 野村 泰伸 (NOMURA TAISHIN)
 大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授
 研究者番号：50283734

研究成果の概要（和文）：ヒトの身体運動，すなわち運動学的計測データ，およびそれに伴う筋電図などの動力学的変量の計測データを，身体運動の数理モデルとリンクさせることで，階層的に記述することが可能なデータ構造を XML に基づく標準様式として策定した．ヒト立位および歩行運動計測系を構築し，ヒト静止立位および二足歩行に関する仮説検証型の実験を実施した．特に，ヒト静止立位の神経制御に関して，間欠制御仮説という新仮説を提案した．これらの実験で得られた計測データを，上記標準様式に基づきデータベース化し，第三者利用が可能な形式で公開した．

研究成果の概要（英文）：

We established a standardized XML-based data format that can describe human body motions representing kinematic experimental data and force-related kinetic data based on a mathematical model of human body movements. In parallel to this, we performed experimental and theoretical studies on neural control during human upright postural and bipedal locomotion. In particular, we propose a new control hypothesis and mathematical model for upright quiet standing called an intermittent control hypothesis. The experimental data were stored in the standard format and they are open in the public domain for reuse and data sharing.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2008 年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2009 年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：生体工学

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：フィジオーーム

1. 研究開始当初の背景
 ヒトの立位や歩行運動の制御メカニズムの理解は，生体医工学をはじめ，人の健康福祉

に関わる工学技術の開発にとって重要であるにも関わらず，その理解は十分に得られていない．単純かつ重要な例を挙げる．これま

でヒトの静止立位は、足関節筋に対する神経指令のトニックな上昇による高足関節ステイップネスにより安定化されていると考えられてきた。しかし、最近この仮説に反する実験結果が報告されている。現在我々は、静止立位時の腓腹筋内側の間欠的な活動・非活動の交番が、静止立位維持に重要な役割を果たしている可能性を主張している。歩行に関しても、足圧中心点などの経時変化データ等の性質は古くから十分解析され、典型的データは容易に手に入りそうに思われるが、必ずしもそうではない。長く計測され続けている静止立位や歩行といった基本的な運動時の身体運動、足圧中心、筋電図等の時系列データでも、異分野の研究者の手にかかれば、その制御メカニズムに迫る新たな情報が取り出せる可能性が十分にある。大量情報時代となった現在でも、こうした基本的データを公開するデータベースは世界的にも存在しない。小規模の疾患・運動失調に関するものが、Physionet や Clinical Gait Analysis にあるのみである。これは生体工学と関連工学の発展にとって好ましくない。国内では、臨床歩行分析研究会において歩行データの標準化やデータベース化に向けた準備が長く続けられているが、未だ公開に至っていないようである。仮説検証型のユニークな実験プロトコルに関する実験データは、守秘問題もあり、一足飛びにはデータベース化や公開にはそぐわないが、関連研究の論文出版が終了し、個人情報に関わる匿名性の問題が解決されれば、上述のような基礎的運動データに関しては、データの標準化およびその解析に基づくサイエンスと工学応用の発展にとって十分な意義があると考えられる。

2. 研究の目的

静止立位および整定地歩行運動時の全身運動軌道、下肢筋電図、足圧中心軌道を幅広い健常被験者年齢層に対して系統的に計測し、得られたデータをデータベース化する。構築データベースは、単なる被験者に関する公開可能個人情報と計測データファイル群のリストアップに留まらず、各計測データを、全身筋骨格系の構造および動態モデルと対応させることを可能とするデータ構造を開発する。これにより、本研究で開発するデータベースの利用者が、必要に応じて、各計測データを運動学および動力学的に十分に解析することを可能にする。また、研究期間終了後時には、当該データベースをできるだけ公共性の高い形態で公開し、本研究で開発するデータ構造に準拠した形式（標準フォーマ

ット）で国内外の研究グループによって計測されたデータの登録を可能にする。これにより、本データベースを、ヒトの全身運動制御に関する基礎研究と、基礎的運動データを参照する必要がある機器開発の加速をサポートする拠点形成を目指す。また、ヒト静止立位時の重心動揺（姿勢動揺）およびその際の下肢筋活動を多数の被験者に対して計測することで、静止立位の神経制御メカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

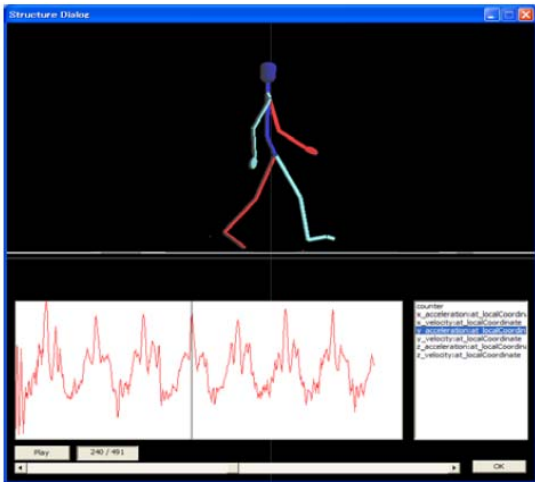
全身筋骨格系モデルおよびその動態としての計測データを記述する最適なデータ構造を決定する。また、そのデータ構造を操作するメソッド開発と共にシステム化を行う。また、3次元空間での身体運動時の関節の回転運動を高精度で計測するためのモーションキャプチャマーカの装着位置を決定する。これと平行して、計測被験者に与える負担を軽減した基礎的運動（静止立位・整定地歩行運動）の計測系を整備する。システム開発に関しては、階層構造を記述するデータ構造をXMLに基づいて記述する。これにより、データベース化に際して、XML データベース技術あるいはネイティブXML データベース技術を応用することを可能にする。また、20代と30歳代の健常被験者に対する静止立位時の重心動揺および二足歩行時の全身運動と、それに伴う下肢筋活動の計測を実施する。

4. 研究成果

ヒト立位および歩行運動に関わる計測データを階層的に記述するデータ構造をXMLに基づく様式として策定した。これにより、データベース化に際して、XML データベース技術あるいはネイティブXML データベース技術を応用することを可能にした。また、ヒトの全身運動を詳細に再現することが可能な、マルチリンク身体モデルを構築し、このモデルと計測データを関連付ける標準様式を開発した。これによって、データベースから取得した計測データを、データベースを利用する第三者が運動学および動力学的に十分に解析することを可能にした。

また、20代と30歳代の健常被験者に対して、静止立位時の重心動揺（姿勢動揺）および水平床上の標準的二足歩行運動の計測を実施し、上記標準様式の形でデータベース化し、web上に公開した。

図1：歩行運動（若年健常者）の計測データを全身骨格系モデルと対応させた例。



また、図2に図1に用いた骨格系モデルと運動計測データを関連付けるXMLを用いた記述の一部を示す。

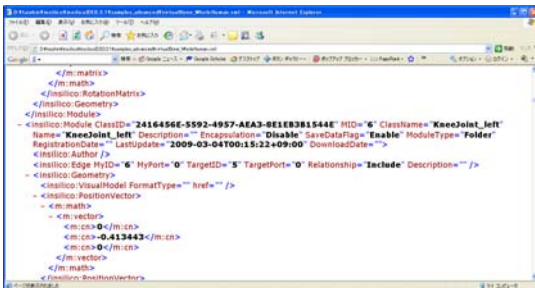


図2：XMLに基づくデータ記述の例

以下に、ヒト静止立位の神経制御に関わる成果をまとめる。ヒト静止立位は足関節筋のトーンスによって決まる筋の高い剛性とアキレス腱の高い剛性によって漸近安定化されており、脳神経系による高度な神経制御の役割は限定的であると考えられてきた。これは静止立位姿勢のスティフネス制御仮説と呼ばれ、長い間支持されてきた。本研究では、スティフネス制御仮説に代わる静止立位制御の新しい仮説として、間欠制御仮説を提案した。間欠制御仮説では、脳神経系は姿勢の微小な変化に対して、予測的かつ間欠的に姿勢制御に介入し、平衡立位姿勢を漸近安定化することなく、系の状態を平衡立位周辺の有界領域に閉じこめることで立位を達成すると考える。この仮説を数理モデル化し、若年健康者の姿勢動揺を再現することに成功した。さらに、この仮説の妥当性を検証するために、通常の開眼静止立位、閉眼立位、および被験者自身の重心位置を視覚的にフィードバックするとともに目標重心位置を与え、できるだけ目標重心位置に自らの重心位置を一致させるようなタスクを与えたときの姿勢動揺を計測した。これらの異なる立位条件における姿勢動揺を、間欠制御モデルのフィードバックのゲインの値の変化として

説明できること、および従来仮説に基づくモデルでは説明が困難であることを示した。この課題で得られた実験データも、本成果が論文発表され次第、データベース化し、公開する計画である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

1. R. A. Haddou, Y. Kurachi, T. Nomura, On calcium-buffer dynamics within the excess buffer regime, *Journal of Theoretical Biology*, 7:264(1):55-65, 2010年, 査読有
2. Y. Asai, Y. Tasaka, K. Nomura, T. Nomura, M. Casadio, P. Morasso, A Model of Postural Control in Quiet Standing: Robust Compensation of Delay-Induced Instability Using Intermittent Activation of Feedback Control, *PLoS ONE*, 4(7): e6169. doi:10.1371/journal.pone.0006169, 2009年, 査読有
3. K. Nomura, K. Fukada, T. Azuma, T. Hamasaki, S. Sakoda, T. Nomura, A quantitative characterization of postural sway during human quiet standing using a thin pressure distribution measurement system, *Gait Posture*, 29(4):654-7, 2009年, 査読有
4. T. Nomura, K. Kawa, Y. Suzuki, M. Nakanishi, T. Yamasaki, Dynamic stability and phase resetting during biped gait, *CHAOS*, 19, article number 026103, 2009年, 査読有
5. DA. Beard, R. Britten, MT. Cooling, A. Garny, MD. Halstead, PJ. Hunter, J. Lawson, CM. Lloyd, J. Marsh, A. Miller, DP. Nickerson, PM. Nielsen, T. Nomura, S. Subramaniam, SM. Wimalaratne, T. Yu, CellML metadata standards, associated tools and repositories, *Philosophical Transactions A Math Phys Eng Sci.*, 367:1845-1867, 2009年, 査読有
6. Y. Asai, Y. Suzuki, Y. Kido, H. Oka, E. Heien, M. Nakanishi, T. Urai, K. Hagihara, Y. Kurachi, T. Nomura, Specifications of insilicoML 1.0: A Multilevel Biophysical Model Description Language, *The Journal of Physiological Sciences*, Vol. 58, No. 7. pp. 447-458, 2008年, 査読有
7. T. Nomura, Y. Kurachi, K. Hagihara, Challenges of establishing an in

- silico medicine-oriented worldwide open platform, In silico Dentistry -the evolution of computational oral health science, pp.119-120, 2008年, 査読有
8. 野村泰伸、中西正夫、鈴木康之、河津俊宏、浅井義之、フィジオームにおけるデータベースとシュミレーションプラットフォーム, システム/制御/情報, Vol.52, No.5, pp175-180, 2008年, 査読有
 9. A. Bottaro, Y. Yasutake, T. Nomura, M. Casadio, P. Morasso, Bounded stability of the quiet standing posture: An intermittent control model, Human Movement Science, 27, pp.473-495, 2008年, 査読有
 10. 野村泰伸, ヒト静止立位姿勢制御の新しい仮説, 臨床脳波, vol.50 no.3-2008/3 pp.133-141, 2008年, 査読有
- [学会発表] (計 29 件)
1. 竹内康浩, ヒト静止立位時の重心動揺と下腿筋活動の立位条件依存性と制御モデルに基づくその解釈, ニューロコンピューティング研究会 (MBE・ME とバイオサイバネティクス研究会・共催) 2010年3月9日(火)-3月11日(木), 2010年3月10日(水), 玉川大学 (東京都町田市)
 2. 小松一貴, 足裏への微小機械刺激がヒト静止立位時の重心動揺に与える影響, ニューロコンピューティング研究会 (MBE・ME とバイオサイバネティクス研究会・共催) 2010年3月9日(火)-3月11日(木), 2010年3月9日, 玉川大学 (東京都町田市)
 3. 野村国彦, 静止立位重心動揺に基づく姿勢維持機能評価, (社)日本補綴歯科学会 歯科補綴ウインタースクール 淡路 2009 テーマ「顎口腔を“はかる”」, 2009年11月13日(金)~11月14日(土), 2009年11月14日, 淡路夢舞台国際会議場 (淡路市)
 4. 浅井義之, 生体機能マルチスケールモデリングのためのオープンプラットフォーム insilicoML & insilicoIDE, 第24回生体・生理工学シンポジウム 2009年9月24日(木)~26日(土), 2009年9月25日, 東北大学 青葉山キャンパス (仙台市)
 5. R. A. Haddou, From Cellular and Medical Images to Bio-simulations: MedMod Software, 第24回生体・生理工学シンポジウム 2009年9月24日(木)~26日(土), 2009年9月25日, 東北大学 青葉山キャンパス (仙台市)
 6. T. Nomura, An Open Platform for Physiome and Systems Biology-Toward the Integrated Biosciences and Bioengineering, 104th ICB Seminar 10th Polish-Japanese Seminar on New Trends in Biomedical and Clinical Engineering, p.35, 104th ICB Seminar 10th Polish-Japanese Seminar on New Trends in Biomedical and Clinical Engineering Warsaw, September 14-16, 2009, September 15th 2009, Warsaw (Poland)
 7. Y. Suzuki, A platform for in silico modeling of physiological systems III., 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society September, 2-6, 2009, September 4 2009, Hilton Minneapolis, Minnesota, USA
 8. 鈴木康之, 生体機能モデルの統合開発環境 insilicoIDE における行列と時系列データの取扱い, 第48回日本生体医工学学会大会 Tokyo, April 23-25, 2009, 2009年4月23日, タワーホール船堀 (東京都)
 9. T. Nomura, An Open Platform for Morphological and Dynamical System Models of Physiological Functions and its Possible Contribution to the Dynamic Brain Platform, 11th Tamagawa Dynamic Brain Forum DBF'09 Creativity, Dynamics, and Mutual Interaction, March 2 to 4, 2009 in Atami, Shizuoka, March 3rd 2009, Hotel New Akao (Atami, Shizuoka)
 10. Y. Asai, Multiscale modeling with insilicoML1.0 and insilicoIDE, The 3rd MEI International Symposium Physiome and Systems Biology for Integrated Life Sciences and Predictive Medicine November 30th -December 2nd, 2008, December 1st 2008, Hyatt Regency San Francisco, San Francisco, California, USA
 11. 田坂 優一, 倒立振子モデルを用いたヒト静止立位姿勢の有界安定性に関する考察, 第23回生体・生理工学シンポジウム 2008年9月28日(日)~30日(火), 2008年9月29日, 名古屋大学 IB 電子情報館 (名古屋市)
 12. 浅井義之, 生体生理機能の多階層的モデル記述言語 incilicoML 1.0 の開発, 生体医工学シンポジウム 2008 (2008/09/19-20, 豊中), 2008年9月

- 19日, 大阪大学(豊中市)
13. 鈴木康之, 生体機能モデリング統合開発環境 insilicoIDE の開発, 生体医工学シンポジウム 2008(2008/09/19-20, 豊中), 2008年9月19日, 大阪大学(豊中市)
 14. Y.Suzuki, A Platform for in silico Modeling of Physiological Systems II. CellML Compatibility and Other Extended Capabilities, 30th Annual International IEEE EMBS Conference, August 20-24, 2008, Vancouver, British Columbia, Canada, August 21, 2008, Vancouver Convention & Exhibition Center (Canada)
 15. T. Nomura, An open platform for physiome and systems biology: insilico ML and IDE as a CellML compatible model sharing environment, SIAM Conference on the Life Sciences August 4-7, 2008 Montreal, Quebec, Canada, August 4, 2008, Hyatt Regency Montreal, Quebec, Canada
 16. 野村泰伸, フィジオーム・システムバイオロジーのオープンプラットフォーム構築に向けて, システム制御情報学会研究発表講演会 2008年5月16日-5月18日, 2008年5月18日, 京都情報大学院大学京都駅前校(京都市)
 17. 鈴木康之, 生体機能モデリング統合プラットフォーム (in silico IDE)における CellML 互換機能の開発, 第47回日本生体医工学会大会 2008年5月8日~5月10日, 2008年5月9日, 神戸国際会議場(神戸市)
 18. 浅井義之, 多階層性オブジェクト指向アーキテクチャを実装した生体機能モデリング統合プラットフォーム-in silico IDE-, 第47回日本生体医工学会大会 2008年5月8日~5月10日, 2008年5月9日, 神戸国際会議場(神戸市)
 19. 野村国彦, 間欠の神経制御による静止立位時の身体動揺と CoP 軌跡の度数分布形状, 第47回日本生体医工学会大会 2008年5月8日~5月10日, 2008年5月8日, 神戸国際会議場(神戸市)
 20. T. Nomura, Development of open-platform for physiome project, The Journal of Physiological Sciences 第85回日本生理学会大会・2008年3月25日(火)~3月27日(木), 2008年3月27日, 京王プラザホテル東京
 21. 野村泰伸, 生体機能のマルチレベル・マルチスケールデータベースとシミュレータの開発, 特定領域「膜輸送複合体」公開シンポジウム「生体膜トランスポートソームの分子構築と生理機能」2008年3月19日(金)~3月20日(土), 2008年3月19日(金), 大阪大学医学部銀杏会館 3F 阪急・三和ホール(大阪大学吹田キャンパス)
 22. 野村泰伸, 神経疾患による運動機能破綻のマルチスケールダイナミクスシミュレーション, 理研シンポジウム 生体力学シミュレーション研究, 2008年3月11日, 理化学研究所(和光市)
 23. 野村泰伸, ヒト静止立位の間欠制御, SICE第8回制御部門大会 2008年3月5日(水)~3月7日(金), 2008年3月7日(金), 京都大学吉田キャンパス(京都市)
 24. T. Nomura, Challenges of establishing an in silico medicine-oriented worldwide open platform, The Mouth and Face Forum 2008 - in silico Dentistry (MFF '08) January 14 and 15, 2008, 2008年1月14日, Osaka University Nakanoshima Center
 25. 東道年, ヒューマノイドを用いた二足歩行の動的安定性解析手法の構築, システム・情報部門学術講演会 2007, 2007年11月26日(月)~11月28日(水), 2007年11月28日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都)
 26. T. Nomura, Towards the in silico Human as a Worldwide Open Platform for Physiological Databases and Simulations, Biocomp2007 Collective Dynamics: Topics on Competition and Cooperation in the Biosciences Vietri sul Mare, September 24-28, 2007, 26th September 2007, Hotel Lloyd's Baia (Italy)
 27. T. Nomura, Characterizing Postural Sway during Quiet Stance Based on the Intermittent Control Hypothesis, 19th International Conference on Noise and Fluctuations ICNF 2007 Tokyo, Japan 9-14 September 2007, 2007年9月10日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都)
 28. Kawazu, T., A platform for in silico modeling of physiological systems, 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society in conjunction with the Biennial Conference of the French Society of Biological and Medical Engineering (SFGBM) August 23-26, 2007 Lyon, France, 2007年8月23日, Lyon, France
 29. 鈴木康之, CellML で記述された細胞動態モデルの計算エンジンの開発. 第46回日本生体医工学会大会 2007年4月25日(水)~4月27日(金), 4月26日(木),

仙台国際センター

〔その他〕
ホームページ等

<http://www.physiome.jp/timeseriesdb/>
<http://www.physiome.jp/morphologydb/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 泰伸 (NOMURA TAISHIN)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授
研究者番号：50283734

(2) 研究分担者

舘野 高 (TATENO TAKASHI)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
研究者番号：00314401

中村 亨 (NAKAMURA TORU)
大阪大学・臨床医工学融合研究教育センター・特任助教
研究者番号：80419473
(H19～H20)

(3) 連携研究者

()
研究者番号：

(4) 研究協力者

浅井 義之 (ASAI YOSHIYUKI)
大阪大学・臨床医工学融合研究教育センター・特任准教授
研究者番号：00415639

Rachid Ait Haddou
大阪大学・臨床医工学融合研究教育センター・特任講師
研究者番号：無

野村 国彦 (NOMURA KUNIHICO)
大阪経済大学・経営情報学部ビジネス情報学科・講師
研究者番号：80440957

東 道年 (AZUMA MICHITOSHI)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・博士課程前期課程

田坂 優一 (TASAKA YUICHI)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・博士課程前期課程

鈴木 康之 (SUZUKI YASUYUKI)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・博士課

程後期課程

河津 俊宏 (KAWAZU TOSHIHIRO)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・博士課程前期課程

竹内 康浩 (TAKEUCHI YASUHIRO)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・博士課程前期課程

小松 一貴 (KOMATSU KAZUKI)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・博士課程前期課程