

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24年4月2日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560231

研究課題名（和文） 機械的な競争モデルの構成とその応用

研究課題名（英文） Development of Mechanical Competitive Model and its Application

研究代表者

吉田 勝俊（YOSHIDA KTSUTOSHI）

宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20282379

研究成果の概要（和文）：一対のヒトの競争的なバランス運動を表す単純モデルとして、結合倒立振り子モデルを提案した。可到達集合のフラクタル解析により、初期姿勢から最終姿勢への対応が不確定となる条件を明らかにした。また、このモデルを介して2名が平衡を維持する実験を行い、被験者が創発するバランス戦略の特徴を測定した。制御性能が同等の被験者を提案モデルを介して結合すると、追従性が非対称化する現象などを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：A coupled inverted pendula model was proposed to describe interactive balancing motions generated by a pair of human subjects. Based on the fractal analysis, it was shown that this model can produce uncertain correspondence from the initial to final position of the model. Furthermore, the interactive behavior of the human subjects stabilizing this model was measured to show that the coupling can cause asymmetric tracking abilities of the human subjects.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：機械力学・制御

科研費の分科・細目：運動力学

キーワード：むだ時間、ヒューマンダイナミクス、確率過程、運動力学、非線形力学

1. 研究開始当初の背景

複数の自律的な個体(以下、エージェント)が、共通の資源や環境を共有するとき、利害の一致や不一致のダイナミクスが起こる。このような競争的な相互作用に関しては、これまでも数多くの研究例が存在するが、これらは大きく2つに大別される。まず、生態学的なアプローチでは、支配的なダイナミクスを小自由度モデルで記述する都合上、個体単

体としての力学特性がモデル表現されない。その一方で、ロボット工学的なアプローチでは、個体の実現を図る関係上、各個体の力学特性が詳細に議論されるが、それらを忠実に集成した群の表現は、大自由度の力学系となり、その非線形応答の解明は必ずしも容易ではなかった。

このように、従来研究における主要な2つのアプローチは、互いに守備範囲が大きくこ

となり、それらの中間に位置する立場は、これまで意識されてこなかった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、個体単体の非線形力学特性が、相互作用の直接的要因となるような小自由度モデルを提案する。さらに、提案モデルを2名の被験者が協調的に安定化するバランス実験を行い、被験者が創発するバランス戦略の性質を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 2台の倒立振子の先端を剛体リンクで結合した、結合倒立振子モデルを提案し、運動方程式を導出する。

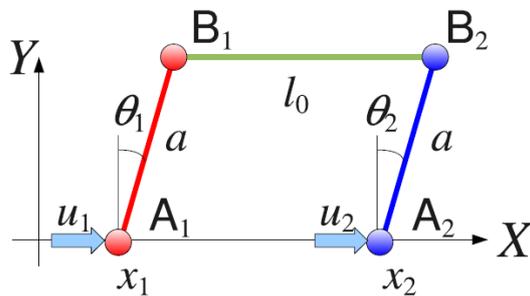


図1 結合倒立振子(CIP)モデル

(2) 倒立安定化のための制御入力として、振子下端に対する上端の水平変位に関するPD制御入力を印加する。

$$u_i = u_i^{pd} := a(K \sin \theta_i + L \dot{\theta}_i \cos \theta_i) \quad (i = 1, 2)$$

これにより、提案モデルに次のような4重安定性を形成する。

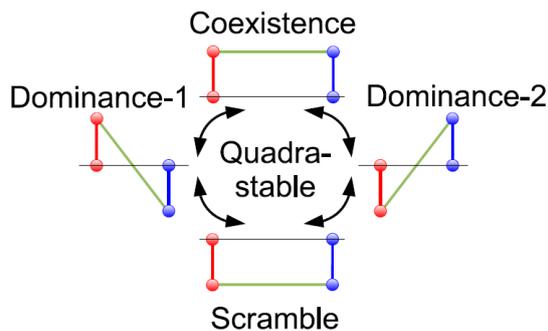


図2 CIPモデルの4重安定性

(3) 提案モデルの初期値応答、インパルス応答の双方について、各平衡点への可到達集合を求め、フラクタル解析により複雑性を定量評価する。

(4) 提案モデルと同等の4重安定性を、現実のリンク機構として実現する。そのために、磁性式カムによる双安定振子機構を開発する。その模式図を次に示す。

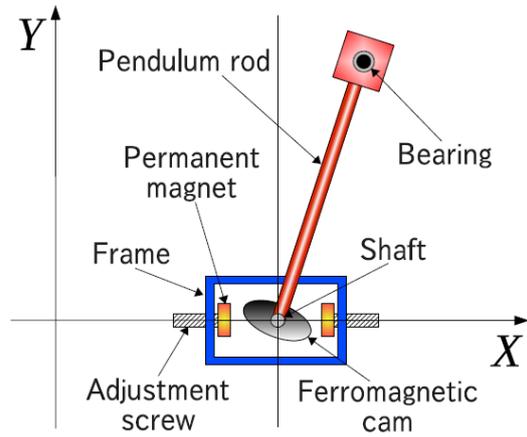


図3 双安定振子機構の模式図

(5) 提案モデルの制御入力を、ヒトの手動入力に置き換える実験システムを構築し、ヒトの操作入力と、状態量の時間応答を取得する。

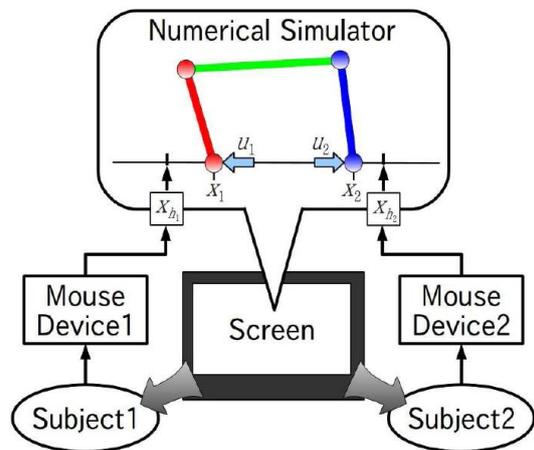


図4 実験システム1の模式図

(6) 図4による実験後の被験者にSD法による感性評価を実施し、心理学的測定量を得る。

(7) 提案モデルのPD制御入力に、バンバン入力を重畳し、そのタイミングをヒトが操作できる実験システムを構築し、ヒトの操作入力と、状態量の時間応答を取得する。

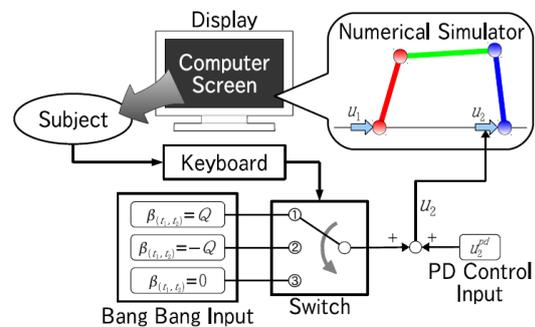


図5 実験システム2の模式図

4. 研究成果

(1) 提案モデルがフラクタル的な初期値依存性を示すことを明らかにした。

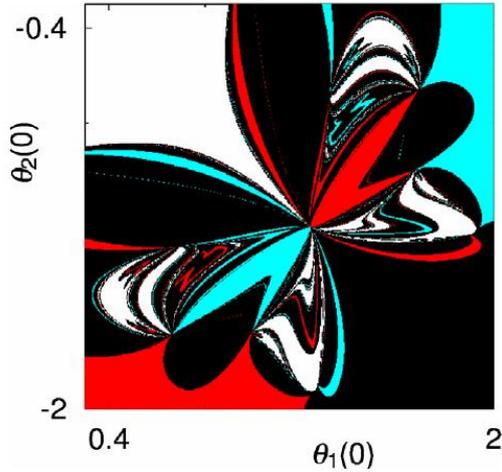


図6 安定平衡点の吸引域

(2) 提案モデルと同等の4重安定性を有する機構を設計・制作した。

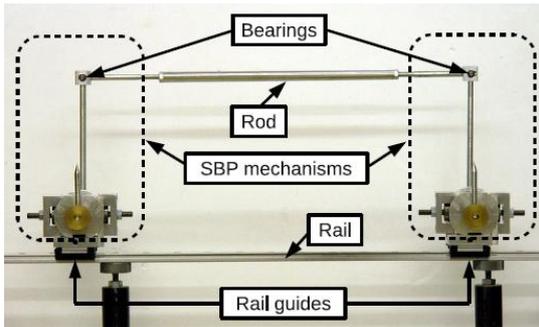


図7 結合双安定振子機構

(3) 提案機構の解析モデルを導出し、実験と数値解の初期値依存性を比較した。

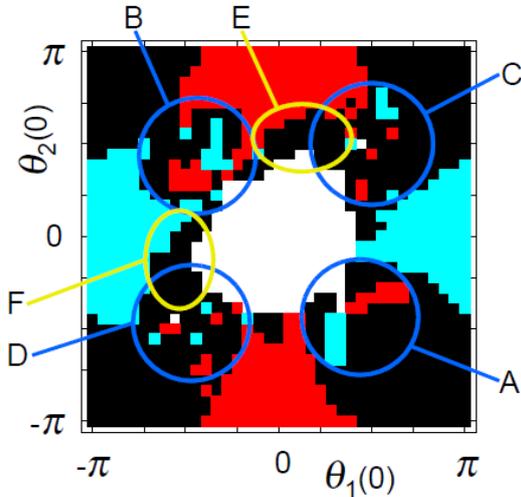


図8 提案機構の初期値依存性(実験)

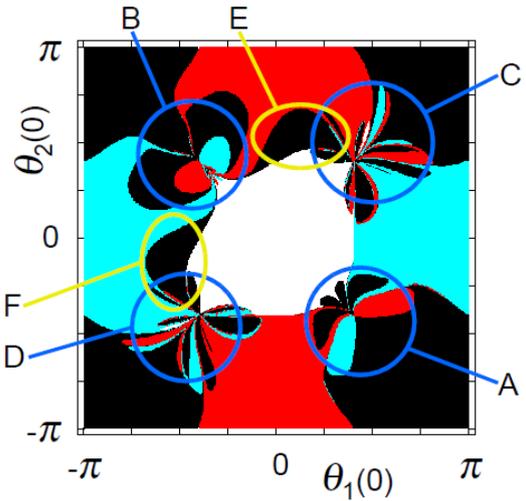


図9 提案機構の初期値依存性(計算)

(4) 提案モデルを介して、2名の被験者が協力的に創発した協調バランス運動の特徴を解明した。

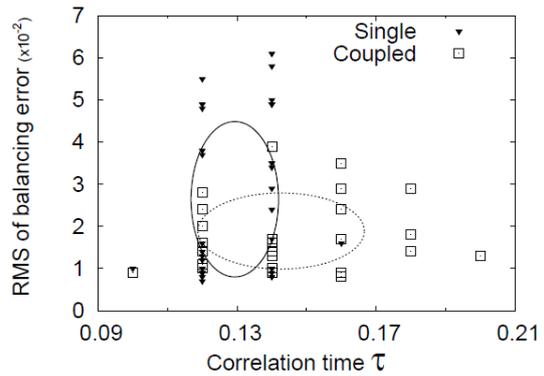


図10 協調バランス運動の特徴

提案モデルを介した協調により、被験者のバランス誤差(RMS)の個体差が減少する。その一方で、反応遅れ時間の個体差は増大する。

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7件)

① 日下田淳, 吉田勝俊, 渡辺信一, 中塚亜樹, 結合倒立振子の協調コントロールタスクにおける感性評価, 日本感性工学会論文誌, 査読有, 11-2, pp. 309-314.

② 日下田淳, 大高勇樹, 吉田勝俊, 非線形力学系の平衡点を切替える手動作に関する基礎的研究(ヒトによる切替戦略の創発), 査読有, 日本機械学会論文集C編, 査読有, 77-784, pp. 4555-4566.

③ Katsutoshi Yoshida and Atsushi Higeta, Toward Stochastic Explanation of

Neutrally Stable Delayed Feedback Model of Human Balance Control, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 査読有, Vol.8, No.3(B), 2012, pp.2249-2259.

④日下田淳, 羽金拓也, 橋本拓実, 吉田勝俊, 競合と協調を表す四節リンク機構の試作, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, 77-776, 2011, pp.1331-1341.

⑤Katsutoshi Yoshida, Atsushi Higeta and Shinichi Watanabe, Effects of Mechanical Coupling on the Dynamics of Balancing Tasks, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 査読有, Vol.7, No.4, 2011, pp.1661-1674.

⑥Katsutoshi Yoshida, Fractal Dependence on Initial Conditions of Coupled Inverted Pendula Model of Competition and Cooperation, Journal of System Design and Dynamics, 査読有, Vol.3, No.6, 2009, pp.966-974.

⑦吉田勝俊, 競合と協調の結合倒立振子モデルについて (フラクタル的な初期値依存性), 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, 75-753, 2009, pp.1311-1316.

[学会発表] (計14件)

① Atsushi Higeta, Katsutoshi Yoshida, Shinichi Watanabe and Aki Nakatsuka, Psychological Measurement of Coupled Human Balancing Tasks, Abstracts of the 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, December 20-22, 2011, Kyoto, 2011, C9-3, p.97.

②小池宏侑, 吉田勝俊, 日下田敦, フェイント戦略を含む対戦的制御アルゴリズムに関する研究, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会論文集, 2011, pp.85-86.

③柳将道, 吉田勝俊, 日下田敦, 競合的タスクにおける可到達集合と感性の関係について, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会論文集, 2011, pp.83-84.

④日下田敦, 吉田勝俊, 中塚亜樹, ヒトの協調バランス運動における官能量と物理量の関係, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会論文集, 2011, pp.81-82.

⑤松本茂樹, 吉田勝俊, 日下田敦, ヒトが創発するバランス運動のパラメトリック同定, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会論文集, 2011, pp.79-80.

⑥日下田淳, 吉田勝俊, 渡邊信一, 結合倒立振子の協調コントロールタスクにおける感性評価, 第13回日本感性工学会大会予稿集, 2011, CD-ROM, No. I33.

⑦吉田勝俊, 村上雄将, 日下田淳, 渡辺信一, ヒトの反射運動を検査情報とする非言語的

性格検査法の構築に向けて, 第13回日本感性工学会大会予稿集, 2011, CD-ROM, No. E24.

⑧吉田勝俊, 日下田淳, ヒトの平衡維持における最小安定性の確率的解明に向けて, 第60回理論応用力学講演会論文集, USB-DISK, 2010, OS15-06.pdf.

⑨日下田淳, 吉田勝俊, 非線形力学系の平衡点を切替える手動作に関する基礎的研究 (ヒトによる切替戦略の創発), 第60回理論応用力学講演会論文集, USB-DISK, 2010, OS15-05.pdf.

⑩Katsutoshi Yoshida, Toward Stochastic Explanation of Neutrally Stable Delayed Feedback Model of Human Balance Control, Abstracts of 39th International Symposium on Stochastic System Theory and its Applications, November 26-27, 2010, Okayama, pp.71-72.

⑪中塚亜樹, 吉田勝俊, ヒトの協調的なバランス運動における安定性と追従性の官能評価, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会 2009 前橋講演論文集, No.090-3, 2009, pp.33-34.

⑫大高勇樹, 吉田勝俊, ヒトの対戦的な運動戦略の測定と評価, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会 2009 前橋講演論文集, No.090-3, 2009, pp.283-289.

⑬日下田淳, 吉田勝俊, 転倒を考慮した競合, 協調の機械的モデルについて, 日本機械学会 D&D2009 講演論文集 (CD-ROM), No.09-23, 2009, 485.

⑭吉田勝俊, 日下田淳, 平衡維持運動の機械的連成とその効果, 日本機械学会 D&D2009 講演論文集 (CD-ROM), No.09-23, 2009, 428.

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 脳科学検査システム

発明者: 吉田勝俊, 日下田淳, 大高勇樹, 中塚亜樹, 村上雄将

権利者: 宇都宮大学

種類: 特許

番号: 特願 2010-227598

出願年月日: 2010年10月7日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.katzlab.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田勝俊 (YOSHIDA KTSUTOSHI)

宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 20282379