

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：33917

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700629

研究課題名(和文) 身体運動ダイナミクスにおける規則性・法則性の解明

研究課題名(英文) Elucidating the regularity and principle of dynamics for human movement

研究代表者

平川 武仁 (HIRAKAWA, Takehito)

南山大学・人文学部・准教授

研究者番号：50404942

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、人間が外部入力から空間的・時間的に切り替える方向を強制(制約)された状況のとき、人間の動作に潜む規則性・法則性を、離散力学系と連続力学系を混合した非自励系力学系理論に依拠して明らかにすることを目的とした。測定の課題は、1つの動作が繰り返される蹴動作と2つの動作を混合した捕・投動作であった。実験測定および解析の結果、蹴動作あるいは捕・投動作のいずれの課題においても、1) 切り替える動作のパターンにはフラクタル状あるいは自己相似の構造が潜んでいること、2) 一定の時間あたりの運動の頻度(蹴る回数や捕・投の回数)が増えると、フラクタル遷移の様相が変化することが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to elucidate the regularity and principle mechanism of human movement, based on non-autonomous dynamical systems theory. Specifically, we focused on the integration of dissipative and continuous dynamical systems when a human is constrained to switch directions in response to an external spatio-temporal input. The experimental tasks investigated included a kick-motion (shot-motion), in which one motion is repeated, and a catch-and-throw motion, an example of two integrated movements. The results showed: 1) fractal-like or self-similarity structure in the switching motion patterns and 2) fractal transitions in the mappings as the frequency of the motion (the number of kicks or catch-and-throws) increased.

研究分野：体育科学

キーワード：力学系理論 切り替えダイナミクス 蹴動作 捕・投動作

1. 研究開始当初の背景

これまでの理論物理学では、非自励系力学系理論による解析で、様々な自然現象や電子回路上のランダムに切り替わる現象の中に、フラクタル状あるいは自己相似構造などの規則性があることを明らかにしてきた。本研究では、この理論を身体運動まで拡張することを目的としていた。また、動作を切り替える時間間隔によって、運動のパターンが変化し、その時間間隔とパターンの振り舞い(相関次元)に、一定の規則的關係(逆比例など)があることを明らかにする必要があると考えていた。これは、身体運動の複雑性が時間依存した系であることを解明することでもある。これらのことは、従来の運動制御や運動学習の研究にはなかった独創的な点でもある。本研究を実施することで、身体動作の現象と物理学での理論との接点を探索し、複雑な身体運動を統合的に理解することは今後の身体教育学に寄与する知見を得ること、さらには科学研究費補助金の複合領域における新たな知見を提供できる、という研究開始時の背景があった。

2. 研究の目的

本研究では、人間の身体運動の中でも比較的複雑と見なされるスポーツの動作を検証し、その複雑な動作に内在する規則性・法則性を検証していくことを主たる目的としていた。

(1) 2012 年度(初年後)は、次年度以降の実験において共通して利用する実験装置の作成をすること、この装置と屋内用光学式動作解析装置と同期させ、力学系理論を援用して解析するプログラムを準備することであった。

(2) 2013 年度の実験測定の課題として、1つの動作パターンで成立する蹴動作を取り上げ、上記の目的を達成することであった。

(3) 2014 年度は、2013 年度の蹴動作を拡張し、ボールの捕球・投球の複合動作の実験測定を実施することを目的とした。これは、蹴動作の場合、一度のタッチで動作が成立するが、捕球・投球の場合、2つの動作の複合であるため、遂行の困難度が増すという理由による。これは、動作を切り替えさせる光刺激呈示の時間間隔が短くなるほど、複雑な動作になっていくことを明らかにすることである。最後に、2013 年度と 2014 年度の成果を統合し、まとめていくことを最終目的とした。

3. 研究の方法

(1) 2012 年度の 1 つ目の目的は、次年度以降の共通実験系でもあり、電圧によって制御される着磁式電磁石ボール投射装置の作成であった。この装置は、被験者に連続的にボールを投射するものであり、コンピュータに

よって時間間隔を正確に統御する装置を作成することであった。また、一方で、本研究者の先行研究において作成された解析プログラムを修正し、非線形力学系理論に依拠した解析をする準備をすることであった。

(2) 2013 年度は、フットサル・ボールのキック動作中の体幹の動きについて、時間間隔の短縮との關係を検証した。測定した部位は、身体横断面における肩と腰の角度変位であった。この変位について、ボール投射時点のデータを解析することにより、非自励系における反復力学系の解析に発展させた。詳細なデータ解析では、人間の身体運動が、ランダムにばらついているのではなく、規則的なばらつきかどうかを検証するため、相関次元を算出した。また、これらのばらつきの範囲の比較として、肩と腰を変数とした多変量分散分析を行った。実際に、相関次元算出に必要なデータ数として、240 試行のデータを収集した。この 240 試行は、3 次の系列で構成され(2 方向の刺激呈示であるため、刺激呈示をランダムにすると、全 8 種の系列で全ての試行が構成される)、1 つの時間間隔につき、32 試行×8 ブロックを実施した(切り替え入力条件)。その時間間隔は 15, 24, 30, 32, 34 球/分の 5 種類とした。また、パフォーマンスの成績の評価のため、測定参加者の左右方向にターゲットを配置し、中央が 3 点、その左右周辺を 1 点とした。

(3) 2014 年度は、2013 年度の蹴動作を拡張し、ボールの捕・投球の複合動作の実験測定をすることであった。この実験設定を廉価に確立するために、一昨年度に作成した着磁式ボール投射装置を改造した。データ解析の方法は、2013 年度と同様である。試行数とブロック数のみ変更し、1 つの時間間隔につき、62 試行×4 ブロックを実施した(切り替え入力条件)。時間間隔は同様に 15, 24, 30, 32, 34 球/分の 5 種類であった。また、パフォーマンスの成績の評価のため、測定参加者の左

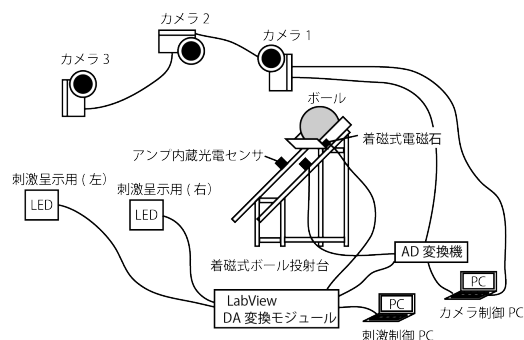


図1 2012年度に作成した着磁式ボール投射装置と動作解析装置との機器設定

右方向に 9 個の枠のターゲットを配置し、中央が 3 点、周辺が 1 点とした。

4. 研究成果

(1) 2012 年度には、電圧によって投射の時間間隔を制御できる着磁式電磁石のボール投射装置を作成した(図1)。また、図に示したように、光学式動作解析装置との同期も可能となる機器の設定を達成した。そして、解析プログラムの修正と予備測定を実施した。

(2) 2013 年度には、2012 年度に作成した装置を用いて、測定参加者の左右に配置されたターゲットに対する蹴動作の実験測定を実施した。その結果、左あるいは右方向のみへシュートを繰り返す周期入力条件では、運動パターンの産出を励起する左右それぞれのアトラクタの存在を確認した。切り替え入力条件では、両アトラクタを遷移すること、相関次元解析によって、入力時間間隔が長くなれば、その状態は0に近づき、短い間隔になれば1に近づくことが明らかにされた。さらに、入力時間間隔と相関次元の規則的な関係は、逆比例の関係があることが確認された。

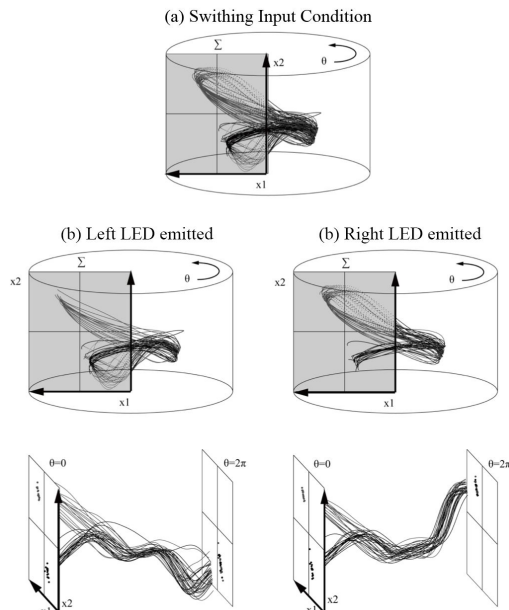


図2 捕・投動作の超円筒空間Mと時間展開図

(3) 2014 年度の実験測定の課題は、測定参加者が手で捕球し、ターゲットに投げることであったため、この課題を達成するため実験装置となるように、2012 年度に作成したボール投射装置を改造した。この装置を用い、測定参加者正面から繰り返しボールを投射し、捕球した後に、左右に配置されたターゲットに対してボールを投げる動作の実験測定を実施した。その結果、2013 年度の蹴動作と同様に、左と右方向のみへ送球を繰り返す周期入力条件では、運動パターンの産出を励起する左右それぞれのアトラクタの存在を確認した(図2中・下段のパネル)。切り替え入力条件では、両アトラクタを遷移すること

(図2上段)、その状態(図3と図4)は、相関次元解析によって、入力時間間隔が長くなれば0に近づき、短い間隔になれば1に近づくことが明らかにされた。さらに、入力時間間隔と相関次元の規則的な関係は、逆比例の関係があることが確認された。しかしながら、1に近づく時間間隔は、実験参加者ごとに異なっているため、3つ目の解析変数として、

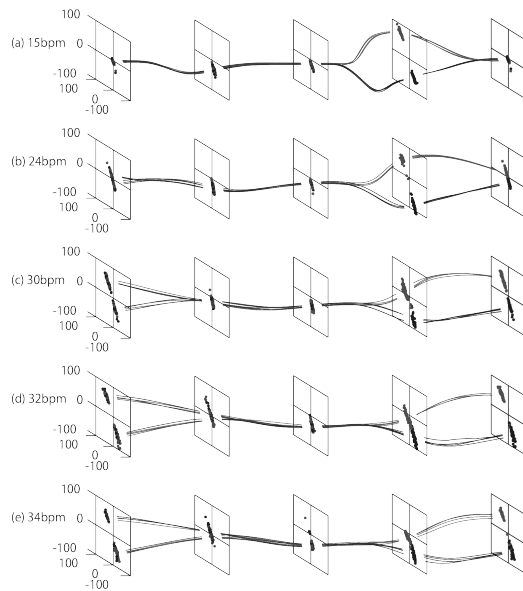


図3 各入力時間間隔における時間展開図

技能水準との関係を検討することが今後の課題として残された。

本課題の3年間の成果を総括すると、複数の方向に切り替える動作パターンはランダムな構造ではなく、フラクタル状の構造が潜んでいること、さらにその相関次元は入力時間間隔(運動の頻度)によって、規則的な関係に沿って変化していくこと(逆比例)、技能水準によってその規則的な関係が変化することが示唆された。

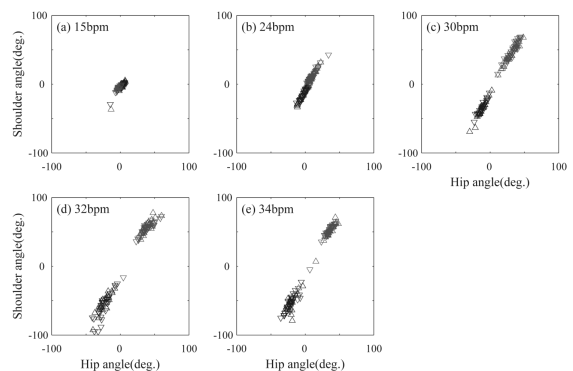


図4 ボール投射時点でのポアンカレ断面

() 上の写像

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1件)

平川武仁, 体育・スポーツにおける運動学習の理解-力学系理論に依拠した学習ダイナミクスによるアプローチ-. アカデミア人文・自然科学編, 5, 161-173, 2013, 査読無し.

〔学会発表〕(計2件)

平川武仁, 運動学習研究における過去と現在. 東海体育学会2013年度研究セミナー, 2013.12.7, 愛知工業大学自由が丘キャンパス(愛知県・名古屋市).

平川武仁・山本裕二, 選択追従課題における時間間隔と運動出力にみられる規則性. 日本スポーツ心理学会第40回大会 2013.11.3, 日本体育大学世田谷キャンパス(東京都・世田谷区).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平川 武仁(HIRAKAWA, Takehito)

南山大学・人文学部・准教授

研究者番号: 50404942