

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：32637

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26882038

研究課題名(和文)非線形力学系理論からみた身体運動における熟練の解明

研究課題名(英文)Elucidation of expertise in human movement in terms of theory of non-linear dynamical systems

研究代表者

鈴木 啓央 (Suzuki, Hiroo)

高千穂大学・人間科学部・助教

研究者番号：00734758

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、ヒトの身体運動において熟練していくとはどういうことかを解明することであった。対象とした運動は、卓球においてボールが複数の方向へ乱順に投射される課題に応じて、複数の動作を連続的に切り替える打球動作であった。6種類のボール投射間隔を設け、熟練者と初心者の動きの動作解析を行った。この結果、ボール投射方向の切替にうまく対応できる投射間隔は、初心者と比較して熟練者の方が短かったが、熟練者であってもうまく対応できる投射間隔の限界があることも明らかになった。すなわち、熟練していくとは、自身の技能レベルによって規定される時間の壁を乗り越えていくことであ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 investigate what it means to be skilled in the domain of human movement. I investigated continuous switching movements, in which novice and advanced players continuously switched between two movement patterns, each of which involved hitting a ball moving in one of two directions, under six temporal constraint conditions, during a table tennis rally. The results indicate that advanced players were better than novice players at switching between ball directions under temporal constraints. However, even advanced players were subject to a boundary regarding the temporal conditions under which they could perform well at the switching task. Hence, human skill at a movement task involves overcoming this boundary, which defines the skill level of each player.

研究分野：スポーツ心理学

キーワード：運動学習 運動制御 熟達化 時間的制約

1. 研究開始当初の背景

ヒトの身体運動における熟達差や熟達化は、これまで、認知心理学に基づく情報处理的観点と自己組織化および非線形力学系理論に基づく生態学的観点という2つの観点より研究されてきた。ただし、これらの研究においては、動作が一回で終了する離散運動や同一動作を周期的に繰り返す連続運動が主な研究対象であった。これに対し、本研究では、環境の変化に応じて複数の動作を連続的に切り替える身体運動を研究対象としている。具体的には、卓球において、2種の方向へ乱順に連続投射されるボールに応じて、複数の動作パターン(フォアサイドおよびバックサイド)を連続的に切り替える打球動作を検討した。先行研究において、この身体運動において熟練した振る舞いを明らかにするためには、環境の時間的制約に対して適応することがその解明の手掛かりになると考え、ボールを投射する時間長を実験的に操作し、時間的制約の強弱に伴う、熟練者および初心者の振る舞いの変化を観察した(Suzuki et al, 2015)。結果、熟練者は初心者と比較して、より強い時間的制約下において秩序だった運動を遂行できることが明らかになっている。換言すると、本研究で研究対象とした身体運動において“熟練している”とは、時間的制約に対する頑健性が高いという結論が得られている。

2. 研究の目的

本研究では、上記の研究を発展させ、時間的に変化する環境に応じて様々な動作を連続的に切り替える身体運動を研究対象とし、この身体運動が“熟練していく”過程を検討した。具体的には、先行研究と同様の打球動作において、ある学習実験下での学習者の振る舞いの変化を縦断的に測定、追跡することにより、各学習者に共通する変化の仕方(規則性)を見出すことが目的であった。ただし、この検討の前段階として、運動学習を促進する適切な学習環境を設定する必要があったため、本研究では以下の2つの目的のもと研究が進められた。

- (1) 時間的制約に対する頑健性の向上を最も促進し得る学習環境の制約強度を同定する
- (2) 学習者に最適な学習環境において“熟練していく”過程に潜む規則性を明らかにする

3. 研究の方法

実験課題は、先行研究と同様に、卓球において、2種の方向へ乱順に連続投射されるボールに応じて、複数の動作パターン(フォアサイドおよびバックサイド)を連続的に切り替える打球動作であった(図1)。この打球動作を光学式モーションキャプチャシステムカメラにより撮影した。先行研究(鈴木ら, 2013)において、この打球動作を力学系理論のひと

つである切替ダイナミクスモデル(Gohara et al, 1999)に基づき分析することで、この打球動作の振る舞いがフラクタル次元を用いて評価できることが明らかになっている(鈴木ら, 2013)。

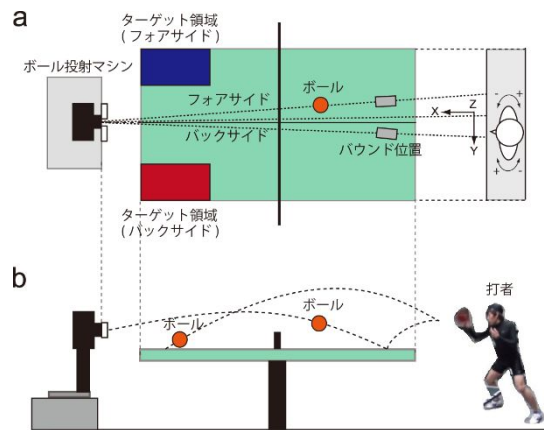


図1 実験状況

これに基づき、本研究においても、打球動作の振る舞いを、任意の変数の時系列データ( $x_1$ : 肩セグメントの回旋角速度,  $x_2$ : 肩セグメント中点の鉛直方向速度)を用いて、超円筒状態空間内の軌道集合として表現し、さらに、この軌道集合の特徴をポアンカレ断面に縮約し、この断面のフラクタル次元( $D_2$ )を算出することにより、評価した(図2)。フラクタル次元は、打球動作のばらつきがどれ程無秩序にばらついているかを評価する指標であり、次元値が高い整数値(本研究の場合は2)に近づくほど、打球動作のばらつきが無秩序に近づくことを意味している。

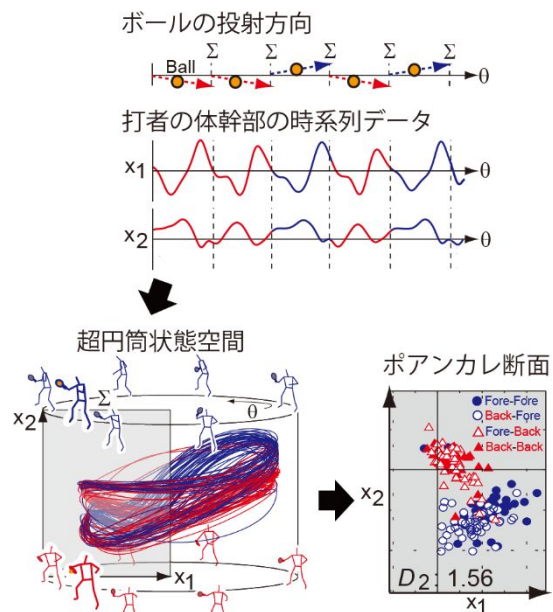


図2 分析過程

先行研究では、熟練者と初心者について、6種のボール投射間隔(620, 660, 710, 770, 840, 920ms)に応じたフラクタル次元の変化を検討することにより、この打球動作の熟達差が明らかにされている(Suzuki et al, 2015)。

この研究を参照し、フラクタル次元と時間的制約との関係性に基き、学習者にとって最適な学習環境の制約強度を同定することとした。

#### 4. 研究成果

図3は、先行研究(Suzuki et al, 2015)において明らかになっている、熟練者と初心者について、6種のボール投射間隔に応じたフラクタル次元の変化を示している。この図より、初心者は、ボール投射間隔が840msの場合にフラクタル次元が増加および上限に達するが、他方、熟練者は、620msの場合に上限に達することが明らかになっている。この結果より、熟練者は初心者と比較して、より強い時間的制約下において秩序だった運動を遂行できる、すなわち、“熟練している”とは、時間的制約に対する頑健性が高いという結論が得られている。

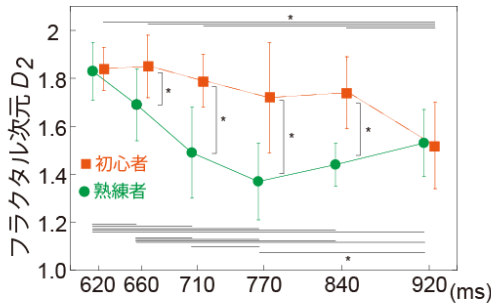


図3 ボール投射間隔に応じたフラクタル次元の変化

しかしながら、この研究では熟練者と初心者の熟達差のみに着目しており、熟練者においても、次元値が上限に達する時間的制約があること、すなわち、初心者と同様に、熟練者もボールの切替に上手く対応できていないボール投射間隔が存在することには着目してこなかった。そこで、この熟練者が上手く対応できない時間的制約下での打球動作の振る舞いを再度観察することで、熟練していく過程に潜む規則性や学習者に最適な学習環境への手掛かりが得られると考え、本研究期間内では、まず、これらのデータの再検討を行った。

その成果として、熟練者および初心者に関わらず、ボールの切替に応じて秩序だった打球動作を維持できる限界の時間的制約が存在することが明らかになった。換言すれば、本研究で対象としている、環境の変化に応じて複数の動作を連続的に切り替える身体運動においては、行為者の技能レベルに応じて、環境に上手く対応できる時間の壁と呼べるものが存在し、その壁を乗り越えていくことが、熟練していくことであるという結論が得られた。そして、この時間の壁であると推定される時間的制約下において学習を行うことが、学習者にとって最も学習を促進し得る制約強度であることが示唆された。

次に、この時間の壁において打者がどのような打球動作を行っているのかを検討することで、学習者に最適な学習環境が同定でき

ると考え、各投射方向に応じた基本的な動作パターンを検討した。この基本的な動作パターンは、同一投射方向(フォアサイドおよびバックサイド)にボールが連続投射される課題において、打者が同一動作(フォアハンドおよびバックハンド)を周期的に繰り返す打球動作によって同定された。打者は、この基本的な動作パターンに基づき、動作パターンの切替を遂行するため、この動作パターンを同定することにより、時間の壁であると推定されるボール投射間隔下で複数の動作パターンをどのように切り替えているかが推測できると考えられた。

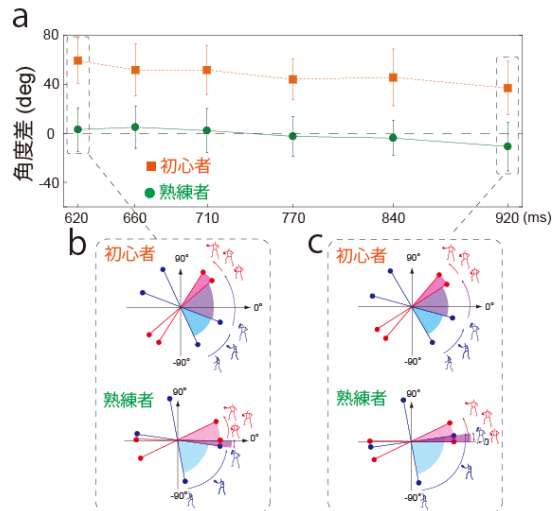


図4 フォアハンドとバックハンドの回旋角度差

図4は、熟練者と初心者について、各ボール投射間隔に応じた、フォアハンドとバックハンドの回旋角度差の変化を示している。回旋角度差は、打球動作中の肩セグメントの動きを水平面に投影することで分析した。図4b, cにおける90°の方向にボール投射マシンが設置されており、0°の軸に肩セグメントが沿っている場合、打者は投射マシンに正対した状態となる。また、図中の青色で示した角度範囲が、フォアハンド動作におけるテイクバックからフォロースルーまでの回旋角度を示し、バックハンド動作における同様の回旋角度は赤色で示されている。図中の紫色で示した角度範囲は、フォアハンド動作でのフォロースルー時点の角度と、バックハンド動作でのテイクバック時点の角度との角度差を示している。この角度差が大きいほど、フォアハンドとバックハンドを切り替える際に、肩セグメントを大きく回旋させなければならない、すなわち、動作パターンの切替がしにくい動作パターンであることを示している。図4aは、熟練者と初心者について、各ボール投射間隔に応じた角度差の変化を示している。

結果、ボール投射間隔によって、回旋角度差には変化はなかったが、初心者と熟練者では、この角度差に熟達差がみられた。すなわち、初心者が、フォアハンドとバックハンドを切り替える際に肩セグメントを大きく回

旋させなければならない一方で、熟練者は、フォアハンド動作のフォロースルー時点とバックハンド動作のテイクバック時点において投射マシンに正対している姿勢を維持できているために、肩セグメントを大きく回旋させなくとも動作パターンを切り替えることができることが明らかになった。したがって、この打球動作において、時間の壁を乗り越えていくためには、各動作パタンのいずれかの時点で投射マシン(対戦相手)に正対している姿勢を維持できる動作パターンを獲得する必要があることが示唆された。

これらの成果をまとめると、環境の変化に応じて複数の動作を連続的に切り替える身体運動では、各学習者の技能レベルによって規定される時間の壁となる制約強度において学習を行うことが、最も運動学習を促進し得ることが示唆された。加えて、時間の壁を乗り越えていくためには、学習者が獲得している基本的な動作パターンを変化させなければならないことが示唆された。

これらの成果は、これまで研究対象とされてこなかった身体運動の熟達化を検討し、さらに、この運動の学習環境に対する新たな知見を見出すことができたという点で、実際の指導場面への提言が可能であると考えられる。ただし、本研究期間では、学習環境の制約強度の同定に手間取り、学習実験下での学習者の振る舞いの変化を縦断的に測定、追跡するには至らなかった。今後は、本研究期間内での知見に基づき、学習者に最適な学習環境において“熟練していく”過程に潜む規則性を明らかにすることを目指している。

#### 引用文献

Gohara, K., & Okuyama, A. (1999). Fractal transition: hierarchical structure and noise effect. *Fractals*, 7, 313-326.

鈴木啓央・山本裕二 (2013). フラクタル次元からみた切替打球動作の巧みさ. *スポーツ心理学研究*, 40, 91-108.

Suzuki, H., & Yamamoto, Y. (2015). Robustness to temporal constraint explains expertise in ball-over-net sports. *Human Movement Science*, 41, 193-206.

#### 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)

Suzuki, H., & Yamamoto, Y. (2015). Robustness to temporal constraint explains expertise in ball-over-net sports. *Human Movement Science*, 査読有, Vol. 41, 193-206.

[学会発表](計0件)

[図書](計0件)

[産業財産権]  
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

鈴木 啓央 (SUZUKI, Hiroo)  
高千穂大学・人間科学部・助教  
研究者番号: 00734758