

## 別紙 4

|      |   |   |   |
|------|---|---|---|
| 報告番号 | ※ | 第 | 号 |
|------|---|---|---|

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目

フラクタル構造からみた連続切替打動作の熟達

氏 名

鈴木 啓央

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、連続切替打動作の熟達化に関する示唆を得るため、異なる技能レベルを対象に、環境の時間圧に応じる打者の振る舞いをフラクタル構造として定量化し、検討した。連続切替打動作とは、多様に飛来するボールに応じて複数の打動作を連続的に切り替える打球動作である。本論文では、卓球の打動作を題材として、フォアサイドおよびバックサイドに投射されるボールに応じて、異なる動作パターンを連続的に切り替える打動作を検討した。この打動作の熟達化を検討するために、複数入力 of 連続的な切替を考慮した切替ダイナミクスモデルを援用した。先行研究では、このモデルをテニスの連続切替打動作に援用することで、複雑に見える打動作が、入力の系列に応じて自己相似なフラクタル構造を有することが明らかになっている。さらに、行為者の技能レベルと環境の時間圧が、フラクタル構造に影響を及ぼすことをモデルは示唆している。そこで本論文では、技能レベルの異なる熟達者と初心者を対象に、環境の時間圧に応じた連続切替打動作にみられるフラクタル構造の変化を定量的に検討することによって、熟達化に関する示唆を得ることを目的とした。

具体的には、本論文では以下の3つの研究を行った。

- (1) 連続切替打動作が有するフラクタル構造を定量化するため、少数実データに対応した新たなフラクタル次元解析手法を開発した。
- (2) 環境の時間圧が高い場合には、技能レベルに応じてフラクタル構造が異なることが切替ダイナミクスモデルから示唆されている。そこで、高い時間圧下における連続切替打動作の熟達差を、フラクタル次元によって定量的に評価することにより、フラクタル構造の相違として明らかにした。

(3) 切替ダイナミクスモデルを援用すると、連続切替打動作にはフラクタルな構造から不規則な構造へと変化する特定の時間圧があり、その時間圧は技能レベルに依存すると予測できる。そこで、環境の時間圧を6種類設定し、それぞれの時間圧におけるフラクタル構造の相違をフラクタル次元として定量化し、環境の時間圧に応じる熟達者および初心者の特徴を明らかにした。

本論文の構成は、6章からなる。第1章では、打動作における熟達研究を概観し、連続切替打動作を検討する意義および切替ダイナミクスモデルについて概説した。第2章では、本論文における目的を整理した。第3章では、少数実データに対するフラクタル次元解析手法を開発した。第4章では、高い時間圧下において熟達差を定量的に評価した。第5章では、環境の時間圧を複数設定し、行為者が対応可能な環境の時間圧について、熟達者と初心者で比較検討した。第3章、第4章、第5章は、上記の3つの内容とそれぞれ対応している。第6章では、本論文の要約と、研究結果から得られた示唆および今後の課題について言及した。以下に、第3章、第4章、第5章において検討した具体的な内容と、研究結果から得られた示唆について記す。

第3章では、連続切替打動作から得られるような少数実データに対して、フラクタル次元を正確に推定できる新たな解析手法を検討した。これまで、実データのフラクタル次元解析には、フラクタル次元の1つの尺度である相関次元を相関積分のスケーリング領域から推定する Grassberger-Procaccia(GP)法が多く適用されてきた。しかし、そのスケーリング領域を定量的に決定する解析手法として提案されている Most Probable Dimension Value(MPDV)法は、少数実データへの適用可能性に関しては疑問が残る。そこで本章では、傾斜差分法という新たな解析手法を開発し、少数実データに対してこれら2つの方法を適用し、比較検討した。その結果、MPDV法では相関次元が一意に定まらなかった一方、傾斜差分法では一意に推定することができた。以上のことから、少数実データに対するフラクタル次元解析では、本章で新たに開発した傾斜差分法を用いるのが妥当であることが明らかになった。

第4章では、技能レベルによるフラクタル構造の相違を定量化し、高い時間圧下での熟達差を検討した。切替ダイナミクスモデルに依拠すれば、高い時間圧下では、高い技能レベルの行為者にはフラクタル構造がみられる一方、低い技能レベルでは入力に対応しない動作を含む不規則な構造がみられることが予測された。これに基づき、卓球の経験年数により技能レベルを区別し、熟達者群と初心者群の2群を設け、卓球の連続切替打動作における両群の相関次元を比較した。ボール投射間隔は、日本代表選手の試合を分析した先行研究に基づき、770msに設定した。両群の相関

次元を比較した結果、初心者は熟達者よりも高い次元値を示した。初心者が示す高い次元値の動作を詳察すると、入力に対応しない動作が多く含まれていた。つまり、フォアサイドにボールが飛来したにも関わらず、バックハンドで打球する動作といった、いわゆる不規則な構造を初心者は有していたことが示された。他方、熟達者では、入力に対応しない動作は非常に少なく、入力系列に応じたフラクタル構造を有していたことが明らかになった。以上のことから、環境の時間圧が高い場合には、技能レベルによってフラクタル構造が異なるとともに、相関次元が高い場合には不規則な構造を反映すると考えられた。したがって、高い時間圧下における連続切替打動作の熟達差を、フラクタル構造の相違として定量的に評価できることが明らかになった。

第5章では、第4章の結果を踏まえ、熟達者群と初心者群について、環境の時間圧がフラクタル構造に及ぼす影響について検討した。切替ダイナミクスモデルに依拠すれば、行為者の技能レベルに関わらず、時間圧が高まるにつれて、入力系列に対応したフラクタル構造から、入力に対応できない動作を含む不規則な構造へと変化すると予測された。ただし、モデルと前章の結果から、その不規則な構造が現れる環境の時間圧は熟達者の方が高いと考えられた。そこで、環境の時間圧として、6種のボール投射間隔を設け、熟達者群と初心者群を対象に、投射間隔が相関次元に及ぼす影響を検討した。その結果、両群とも、投射間隔の短縮に従って相関次元は増加し、ある投射間隔で次元値が上限に達した。加えて、この上限の投射間隔では、初心者と熟達者のどちらのレベルにおいても、打動作は不規則な構造を有していた。つまり、入力系列に対応したフラクタル構造がみられる時間圧には、技能レベルに関係なく限界が存在することが明らかになった。ただし、次元値が上限に達する投射間隔は、初心者よりも熟達者の方が短かった。つまり、技能レベルが高いほど、入力系列に対応したフラクタル構造を維持できる時間圧の上限が高いことを示している。以上のことから、技能レベルに関わらず、連続切替打動作では入力に対応した打動作を遂行するための時間圧の限界が存在するものの、その限界値は技能レベルに依存しており、より熟達した行為者ほど時間圧の限界が高いことが明らかになった。

これらの研究結果から、連続切替打動作においては、いかなる技能レベルであっても、時間の壁とも呼べるものがあり、行為者それぞれがこの壁を乗り越えていくことが、熟達化といえよう。しかし、本論文では、熟達差を中心に検討したのみであり、行為者が個々に直面する時間の壁をいかにすれば乗り越えることができるかは、今後検討する必要がある。