

令和元年6月14日現在

機関番号：28003

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16524

研究課題名(和文)卓球において打球の時空間特徴が得点に与える影響の定量化

研究課題名(英文)Quantification of the effect of spatio-temporal characteristics of shots in table tennis

研究代表者

玉城 将 (Tamaki, Sho)

名桜大学・健康科学部・助教

研究者番号：80599233

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の主要な成果は、ボールトラッキングの自動化、打球の時空間特徴と得点の関係性の解明である。第1に、機械学習を応用することにより十分な性能を有するボールトラッキングが実現できた。これにより、打球の時空間特徴についての継続的な調査することが容易になった。第2に、ボールの並進運動と得点の関係性の解明を進めた。発表が遅れているものの全日本卓球選手権大会(2017年度、2018年度)で行われた試合を対象に解析を進めており、2019年度内に、これまで未解明であった卓球におけるボールの時空間特徴と得点の関係性についての知見を提供する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

第1に研究開始前と比較して卓球における打球の時空間特徴を調査することが著しく容易になった点が挙げられる。これは、卓球の経年変化の解明、様々な競技水準間での比較、あるいは他競技との比較など、研究対象を広げる上で意義のある成果である。第2に打球の時空間特徴と得点の関係性の解明を進めた点である。これまで、打球の時空間特徴(球速や打球間隔)が得点と関係があることはよく知られていたが、定量的には未解明であった。この点は「卓球では何が行われているか」、さらには「人間がどれほど短時間に運動課題を遂行できるか」を理解する上で重要な情報である。その解明を進められた点で学術的に意義がある。

研究成果の概要(英文)：In this research, the following two were achieved; development of a computer program that tracks a ball automatically, and advancement in clarification of the relationship between spatio-temporal characteristics of shots and scoring. First, we realized automatic ball tracking using machine learning technology. The performance of the tracking is enough to use. Second, clarification of the relationship between spatio-temporal characteristics of shots and scoring was advanced. New facts about relationship between the spatio-temporal characteristics of shots and scoring is supposed to be published by March 2020.

研究分野：スポーツ工学、スポーツバイオメカニクス

キーワード：卓球 ボール トラッキング 検出 運動 スポーツ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1) 卓球におけるボールの時空間特徴を解明する従来研究

卓球において、打球の時空間特徴は得点に大きく影響を与えている。卓球は打球間隔が短いため、例えば「速いボールを打つ」、あるいは「早いタイミングで打つ」ことによって打球間隔をさらに短くすることは得点する上で有効である。これらは多くの卓球競技者が認識していることであるが、打球の時空間特徴の調査は技術的に困難であり、先行研究は非常に少ない。例えば打球時刻を計測するには、動画像をコマ送り再生するなどの手作業がどうしても必要になる。吉田ら(1991)は、同様の方法によってトップ選手同士が行う試合の打球間隔を調査しているが、その対象は5試合のみである。また、打球の速度を計測するにはボールの移動軌跡を3次元的に計測する必要がある。3次元計測は、カメラキャリブレーションのためにプレー領域に立ち入る必要があるため一般的な競技会では実施が難しく、卓球ではほとんど実施されていない。以上のような理由から、卓球における時空間特徴に関する定量的な理解はほとんど進められていないのが現状である。

#### (2) 卓球におけるボールの時空間特徴を解明するための技術開発状況

筆者はこれまでに、プレー領域に立ち入ったりせずに、ボールの3次元的な移動軌跡を自動的に且つ高精度に計測する手法を開発している[1]。この手法により、民生用のカメラを複数視点に設置して撮影するだけで、ほとんど自動的にボールの移動軌跡を復元できることは既に検証済みである。ボールの移動軌跡からは打球時刻をほぼ自動的に計算できると考えられる。また、打球時刻と対応する画像を次々と表示させ、クリックによって選手と地面の接点を記録するソフトウェアを作成すれば、打球時点における相手選手の位置の計測に要する作業負荷はそれほど大きくない。このように、既存の計測技術と簡易なソフトウェア開発の組み合わせにより、ボールの時空間特徴を調査する上での技術的な問題は解決可能である。

### 2. 研究の目的

本研究では、ボールの移動軌跡復元技術を利用したソフトウェア開発により、これまで技術的に困難であった打球の時空間特徴に関する調査を実現し、卓球における打球の時空間特徴が得点に及ぼす影響を定量的に解明することを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 卓球ボールの移動軌跡、打球時刻を計測するソフトウェアの開発

ボールの移動軌跡、打球時刻を計測するソフトウェアの開発を行う。1つ目の課題は、卓球ボール検出の頑健性を高めることである。卓球ボールは非常に小さいためオクルージョンが頻繁に生じ、安定した検出は難度が高い。本研究では物体検出で広く利用される機械学習のアルゴリズムである AdaBoost を利用した手法を用いることで検出の頑健性を高めることを目指す。2つ目の課題は、手作業により検出結果を修正するユーザインタフェースの開発である。新しい手法を用いてボール検出の頑健性を高めたとしても、その完全な自動化は難しい可能性がある。そのため、膨大な情報を収集するには人間の手作業を効率化する必要がある。本研究では、そのために適したユーザインタフェースの作成もあわせて実施する。

ソフトウェア開発後、精度評価実験を行う。3台のカメラを用いて撮影することとし、カメラの解像度とフレームレートは、1920×1080、120 fps とする。評価項目は、検出率 (Precision)、再現率 (Recall)、検出時間とする。あくまでも画像から自動的に計測できた値に関する正確性の評価であるため、本実験において、自動計測後の修正や追加は行わない。この実験により、本研究の遂行に十分な精度を達成できていることを実証する。

#### (2) 試合映像の撮影

卓球一流選手同士の試合を中心に撮影を進める。撮影対象は2018年、2019年の全日本卓球選手権大会準々決勝以降とする。撮影には、ビデオカメラ3台を用いる。解像度とフレームレートは、それぞれ1920×1080、120 fps とする。撮影は事前に日本卓球協会および大会運営委員会より許可を得て行うこととする。

#### (3) 打球の時空間特徴が得点に与える影響に関する統計的分析

打球の時空間特徴として、(a) 打球間隔 (相手に与えた時間)、(b) 打球初速度を打球毎に算出する。また、(a) および (b) と得点率 (得点数 / 打数) の間の関係性について分析する。

### 4. 研究成果

#### (1) 卓球ボールの移動軌跡、打球時刻を計測するソフトウェアの開発

開発されたソフトウェアの画面を図1に示した。開発されたソフトウェアの機能はボール位置およびボール半径の自動検出と手動記録の2つに大別される。ボールの自動検出では ROI (Region Of Interest、つまり検出対象範囲) を設定し、計算時間の短縮と誤検出の低減を行っている。ROI の初期設定は比較的広い範囲 (解像度はおよそ1280×700) であり、ボールが連続して検出された後は狭い範囲 (解像度はおよそ160×160) が自動的に設定される。ROI の中にボールがある場合、事前に学習したボールのテクスチャモデルを用いて AdaBoost によって検出さ

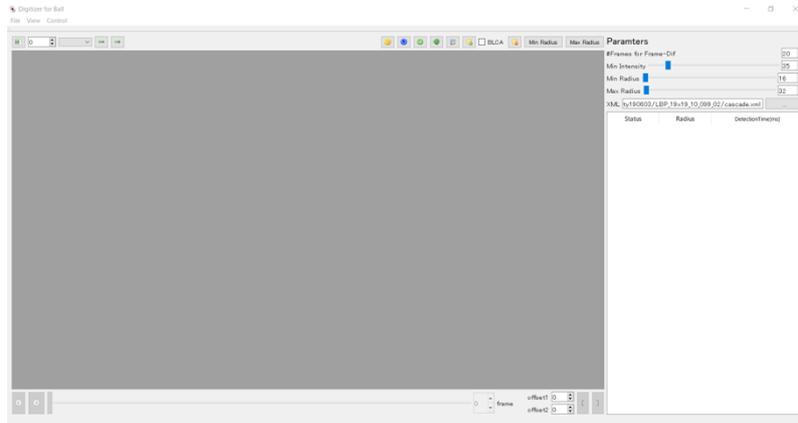


図 1 開発されたソフトウェアの操作画面

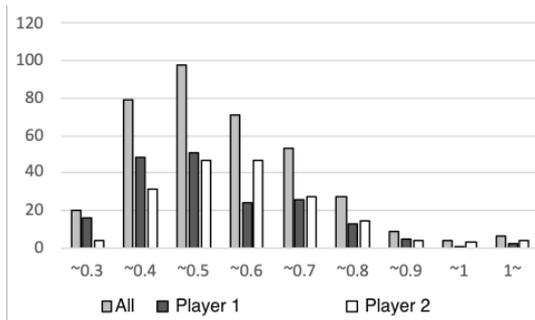


図 2 打球間隔[秒]の度数分布

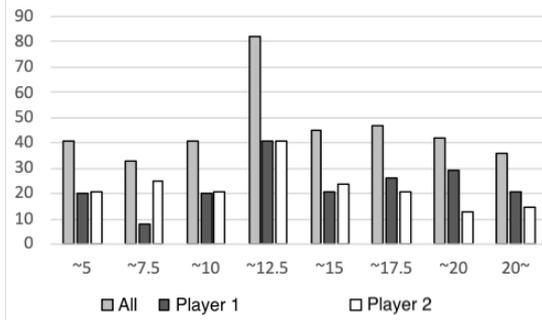


図 3 打球初速度[m/秒]の度数分布

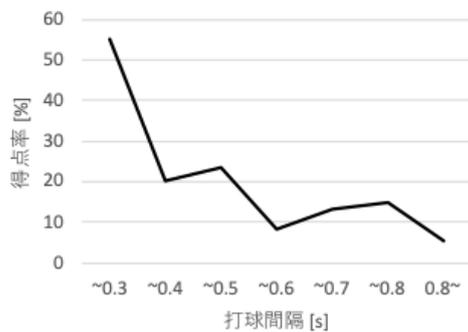


図 4 打球間隔[秒]と得点率

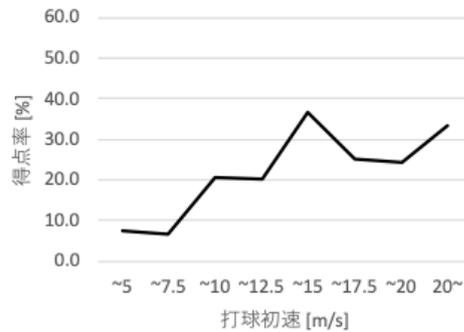


図 5 打球初速度[m/秒]と得点率

れる。手動記録ではボールの周囲 3 点以上をクリックすることで最小二乗法によって円の中心と半径を求められる。

ボール検出機能の精度評価実験の結果、ボール検出に要する時間は ROI が  $1280 \times 700$  の場合で  $8.9 \pm 2.6$  ms、 $160 \times 160$  の場合で  $2.4 \pm 1.2$  ms であった。計算時間は非常に短く、120 fps で撮影した場合でも実時間未満の時間でボールを検出できる性能である。検出率 (Precision) と再現率 (Recall) はそれぞれ 99.3%、98.3% であった。検出できないボールはわずか 0.7% であり、ボールの時空間特性を評価するのに十分な性能で検出できていることが示された。以上より、本研究で開発されたソフトウェアは高速かつ頑健にボールを検出することができた。わずかに生じた誤検出を修正する機能が搭載されていることも踏まえると、ボールの時空間特徴を研究するのに十分な性能を有したソフトウェアが開発されたと考えられる。

## (2) 試合映像の撮影

全日本選手権大会においてカメラ 3 台を用いた映像撮影を行った。撮影した試合数は、男女合わせて 2017 年度が 18 試合、2018 年度が 17 試合、計 35 試合を撮影した。

## (3) 打球の時空間特徴が得点に与える影響に関する統計的分析

撮影された試合のうちの 1 試合 (101 ラリー、367 打球) を対象として分析した。図 2 に打球間隔の度数分布、図 3 に打球初速度の度数分布、図 4 に打球間隔と得点率の相関図、図 5 に打球初速度と得点率の相関図をそれぞれ示す。打球間隔の中央値  $\pm$  四分位範囲は  $0.49 \pm 0.22$  秒、値の範囲は 0.22~1.46 秒であった。選手によって打球間隔の分布は異なり、勝者の方が打球間隔

(相手に与えた時間)は短かった。打球初速度の中央値±四分位範囲は $12.2 \pm 7.7$  m/s、値の範囲は3.1~29.2 m/sであった。選手によって打球初速度の分布は異なり、勝者の方が高い速度帯に分布が偏っていた。各指標の得点率との関連では、打球間隔が短くなるほど得点率は高くなり、打球初速度が大きくなるほど得点率は高くなる傾向がみられた。

以上は卓球におけるボールの時空間特徴を部分的に解析した結果である。現在、残りの試合の解析を進めており、2019年度内に雑誌論文として投稿予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計4件)

① Sho Tamaki, "Development of a computer program for spatial-temporal analysis of table tennis, 15<sup>th</sup> ITTF Sports Science Congress, 2017.

② 玉城将, 「コンピュータビジョンを用いた卓球ボールの運動解析」、Asia Tide Flow Vol. 3、2018.

③ Sho Tamaki, "A computer program to track a ball for researchers", Japan Table Tennis Association Sports Science and Medicine Committee International Meeting, 2018.

④ Sho Tamaki, "Tracking a table tennis ball using AdaBoost: a case study", 16<sup>th</sup> ITTF Sports Science Congress, 2019.

〔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〕

ホームページ等

無し

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

無し

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：吉田 和人

ローマ字氏名：(YOSHIDA kazuto)

研究協力者氏名：山田 耕司

ローマ字氏名：(YAMADA koshi)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。