

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：33108

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K16539

研究課題名(和文) 競技現場で活用できる卓球のゲーム分析・評価システムの開発

研究課題名(英文) Development of a Data Analysis System for Table Tennis Game

研究代表者

上島 慶(Kamijima, Kei)

新潟工科大学・工学部・准教授

研究者番号：70751824

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、卓球競技の戦術的要素を即時的に分析・評価する方法論の構築が目的であった。具体的には、映像分析と卓球台の振動分析によって、卓球ボールが卓球台に落下した地点を即時的に推定する方法を検討した。映像分析では、高速カメラを1台使用し、平均6.48cm、最大でも16.39cmの誤差でラリー中のボール落下点を推定できるようになった。また、卓球ボールが卓球台に落下した際に発生するAE波(弾性波)による推定では、ボールの落下点を推定できる可能性を示したが、卓球台片面の42領域で、平均28.18cm、最大で97.06cm程度の誤差が生じた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

卓球競技は、競技力が上がるほど、情報戦略が勝利の鍵となってきたが、競技現場で即時的に試合を分析する方法は未だ確立されておらず、「なぜ失点したか」などを客観的に評価できないまま打球練習や戦術立案がなされている。そこで、映像分析や卓球台の振動分析により卓球ボールの落下点を推定することができれば、落下点や時間情報から打球コース、ピッチ、ボールスピード、回転数などが分析可能になり、戦術立案のサポートや通常のトレーニングでも技術の習熟度を分析・評価することが可能になる。さらに、試合の内容を定量化することで、卓球競技を「みるスポーツ」として普及できる点にも意義がある。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to construct a methodology for immediate analysis and evaluation of a strategic element of table tennis games. Specifically, image analysis and table vibration analysis were used to investigate how to immediately estimate the point at which the ball would hit the table. A high-speed camera was used in the image analysis, and it was possible to estimate the ball's point of contact with the table within a rally with an average error of 6.48 cm (maximum 16.39 cm). In addition, it was possible to estimate the ball's point of table contact using analysis of acoustic emission (elastic waves) arising when the ball hit the table, with an average error of 28.18cm (maximum 97.06 cm) and the half-table divided into 42 areas.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：卓球 ゲーム分析 リアルタイム 定量化 画像処理 振動分析 ボール落下点 推定

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

卓球競技は、対戦相手とどう対峙するかが勝敗に大きく影響するため、競技レベルが高くなるほど、ゲーム分析や情報戦略が必要となる。しかし、卓球競技は、他の球技と比べるとラリーが非常にスピーディーであるなどの競技特性から、未だに試合中に記録した映像を試合後に再生・分析する方法が主流であり、競技現場で即時的に行うゲーム分析・評価方法は確立されておらず、「なぜ得点できたか」「なぜ失点したか」を客観的に分析できないまま次の試合に備えられている。卓球競技の戦術的要素を定量的に評価することができれば、客観的な情報に基づく戦術立案が可能になり、トレーニングでも、技術の習熟度などを評価することが可能になる。また、観客が試合内容を把握しやすくなり、マスメディアも結果に起因する情報を発信しやすくなるため、卓球競技を「みるスポーツ」として普及できることも考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、映像分析と卓球台の振動分析からボール落下位置を即時的に定量化する方法論を構築し、卓球競技の戦術的要素（打球コース、ボールスピード、飛行時間（ピッチ）、ボールの回転数、回転種）を分析・評価できるシステムの開発を試みた。

3. 研究の方法

(1) 映像分析による定量化

映像分析では、残像を利用したボール落下点の推定を試みた。ビデオカメラのシャッタースピードをフレームレートと同一に設定すると、図 1 に示すように卓球ボールの軌跡を連続的に捉えることができる。この残像を背景差分法と閾値による 2 値化処理を用いて抽出し、抽出された画像からボールの落下点を推定するというものである。基本的な処理手順は、(1)背景差分法と閾値 2 値化処理を用いた残像軌道の抽出、(2)領域クラスタリングによる残像領域の決定、(3)画像上での落下位置推定、(4)卓球台上での落下位置の推定の 4 手順で行なった。以下は、本研究で取り組んだ 4 つの課題である。

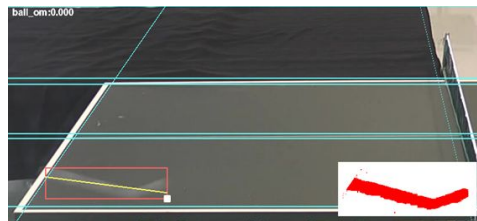


図 1 落下位置の推定結果例

ボール落下点は、バウンド前後の軌跡の変化から推定するため、選手の環境遮蔽などでボールがバウンドする映像を撮影できないと推定困難になる。そこで、バウンド前の映像からボール落下位置を予測した。推定する打球は、卓球台のエンドから逆エンドの 3 方向へ打球された 15 球とした。図 2 のイメージ図が示すように、各フレームの残像を用いて卓球ボールの大まかな軌跡(軌跡推定直線)を画像上で推定できる。しかし、直線上の全てのボールの点が落下位置の候補となるため、落下位置を一意に決定できない。そのため、図 2 内の赤線が示す方向推定直線を用いて、卓球ボールの飛んでいる方向を予測した。方向推定直線は、画像内の奥行き情報を表しており、2 つの直線の交点を卓球ボールの落下した予測位置とした。

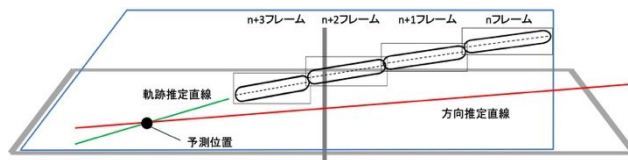


図 2 予測処理のイメージ図

残像の検出範囲に卓球ボールと同色のネットや台上的白線が含まれると、推定誤差が大きくなる。そこで、基本的な処理に 2 値化画像のノイズ除去法であるモルフォロジー処理(erosion 処理と dilation 処理)を追加してノイズ除去を行うことで改善を試みた。推定方法は、バウンド前後のボールの軌道変化を利用した推定法と、バウンド以前の軌道からボール落下点を予測する 2 つの方法とした。推定打球は、左クロスからストレート・センター・クロスへ各 5 球打球したパターン 1 と右クロスから同様に 3 方向へ各 5 球打球したパターン 2 とした。パターン 1 とパターン 2 を各 2 セット行い、合計 120 球を推定した。

推定精度を向上させたノイズ除去処理を基本的な処理手順に含め、ここでは処理手順(3)に改良を加えて、ラリー中のボール落下位置を推定できるかを検証した。推定した打球は、3 パターンのラリー(右クロス対右クロス、センター対センター、左クロス対左クロス)で、各パターンを各 10 球ずつとした。

一般的な蛍光灯や水銀灯などの照明や床の様子が撮影に含まれると、残像抽出が困難であった。そこで、高速カメラで、ボールの形状をより鮮明に撮影することと、従前の画像処理方法以外に、背景差分法とパーティクルフィルタを組み合わせた方法で改善を試みた。この方法は、背景差分法でボールの残像を抽出した後、カラーヒストグラムとパーティクルフィルタによって、類似した画像を判別し、

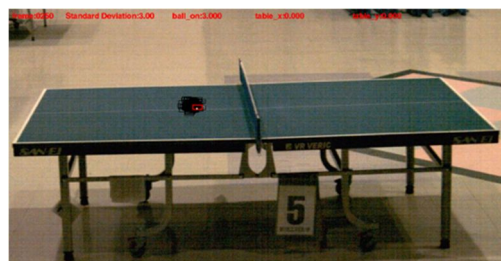


図 3 パーティクルフィルタによるトラッキング

ボールの残像を連続的に抽出する方法である。図 3 はパーティクルフィルタによるトラッキングを示している。撮影条件は、床の模様を撮影に含む条件と含まない 2 つの条件とし、右クロスから逆エンドに向かってストレート・センター・クロスの 3 方向に各 5 球ずつと左クロスから同様に 3 方向へ打球したボールを推定した。なお、照明は水銀灯とした。

(2) ボールが卓球台に落下した際の振動分析

卓球ボールが卓球台へ落下すると弾塑性変形が生じ、AE 波が発生する。筆者は、AE 波の計測によって、ボール落下点を推定できる可能性を示したが、計測に小型センサを用いると多数のセンサと信号処理が必要になる課題が残された。そこで、以下 2 つの方法で改善を試みた。

4 個の広帯域センサで AE 波を計測し、作成した等振幅曲線からボール落下領域を推定した。

図 4 は、画像左下に設置した 1 個のセンサから作成した等振幅曲線を示している。赤色の領域は振幅値が高く、青色は低いことを表しており、4 個のセンサが検出した領域の重なる部分を推定位置とした。計測方法は、卓球台の片面に 56 座標を作成し、各座標へ 16cm の高さから 3 回ずつボールを自由落下させて AE 波を計測した。

卓球台に発生する AE 波が各センサに到達する時間差からボール落下位置を推定できるか検証した。4 個の AE センサを卓球台片面に設置し、各振幅時系列データの中の最大値を時間として記録した。この各センサの最大値になった時間の差を到達時間とし、全てのセンサの組み合わせを用いて虚像を含む 8 個の落下候補位置を算出した。この 8 個の候補位置の中から、独自アルゴリズムによってボール落下位置を 1 個決定した。

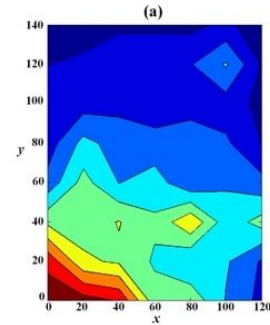


図 4 等振幅曲線

4. 研究成果

(1) 映像分析による定量化

バウンド前後の映像を分析することにより、ボールが台上でバウンドする映像を撮影できない場合でもボール落下位置を予測できるようになった。しかし、推定誤差は、平均 30cm、最大で 1m 弱であり、実際の戦術分析を考慮すると、推定精度を向上させる必要があげられた。

次に、基本的な処理手順にノイズ除去処理を追加して推定を行なった。その結果、推定精度の向上に加えて、残像の検出範囲に卓球ボールと同色のネットや台上の白線が含まれても、ボール落下位置を推定できるようになった。推定誤差は、軌道変化を利用した場合、平均 14cm、最大でも 30cm 程度、バウンド以前の軌道から落下位置を予測する方法では、平均 28cm、最大 60cm であった。

続いて、ラリー中のボール落下位置を推定するため、基本的な処理手順(3)に改良を加えた。その結果、ラリー中のボール落下位置を連続的に推定することが可能になり、推定精度も向上した。推定誤差は、右クロスラリー平均 9.06cm、最大 24.87cm、センターラリーは、平均 10.67cm、最大 16.77cm、左クロスラリーでは、平均 9.07cm、最大で 25.00cm であった。

これまでは、照明や床の色による影響を避けるために、撮影には太陽光のみを利用する必要があった。そこで、高速カメラによる撮影と、背景差分法にパーティクルフィルタを組み合わせた処理で改善を試みた。その結果、この方法により、照明や床の影響を受けてもボール落下位置を推定できるようになった。背景差分法のみでは、照明の影響は改善され、誤差平均 4~6cm の高い精度で推定できたものの、映像に白い床が含まれると推定困難であった。

背景差分法にパーティクルフィルタを組み合わせた処理でラリー中のボール落下位置を連続推定できるか検証した。また、撮影は、実際の戦術分析を考慮し、公式戦に使用される床シートに近い色のマットを敷いて行なった。図 5 と 6 は、右クロスラリーと左クロスラリーにおけるボールが実際に落下した真値と推定された位置の散布図を示している。推定の結果、ラリー中のボール落下位置を戦術分析に利用可能な範囲で推定できた。誤差平均は、右クロス 7.36cm、センター 6.48cm、左クロス 5.61cm で、最大誤差は、それぞれ 14.23cm、16.39cm、8.78cm であった。

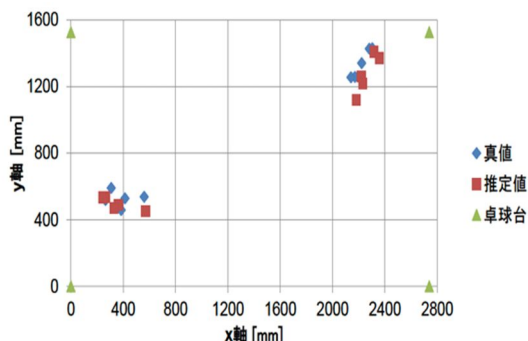


図 5 右クロスラリーの推定散布図

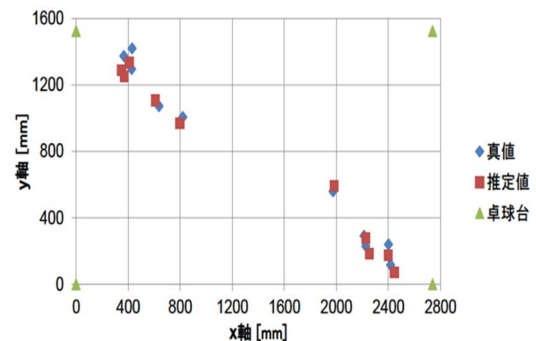


図 6 左クロスラリーの推定散布図

(2) ボールが卓球台に落下した際の振動分析

広帯域 AE センサによる計測から作成した等振幅曲線を用いた方法で、ボール落下領域を推定した。図7は、センサの設置位置（赤四角）とボールを落下させた座標（座標(0,0)～座標(120,140)の56座標）を示している。推定の結果、センサを卓球台片面四隅に設置したSet1は、誤差平均10cm、最大誤差77cmで推定できた。また、センサを卓球台中央寄りに設置したSet3は、誤差平均8cm、最大で35cmであった。処理時間は0.05秒程度で、比較的良好な結果が得られたが、推定誤差はセンサから遠い領域で大きい傾向がみられた。

次に、Set2とSet4が示すようにセンサを5個に増やして、推定精度の向上を試みた。また、提案した推定法の有効性を確認するために、等高線を算出した座標とは異なる座標（青丸）にボールを落下させて検証を行った。推定の結果、センサを5個に増やすことで全体的に推定精度が向上した。センサ4個と5個の等高線データの平均値から推定した場合、Set1と2は、誤差平均28.12cmで最大誤差は、97.06cm、Set3とSet4では、誤差平均36.79cm、最大でも87.25cmであった。しかし、センサを中央に増やしたことで、推定誤差が大きくなる領域も、見受けられた。そのため、必ずしもセンサを増やした方が推定精度は改善されるわけではなく、ある程度距離をとってセンサを設置した方が推定精度は向上することが明らかになった。

AE波の到達時間の差からもボール落下領域の推定を試みた。検証の結果、誤差平均30.26cm、最大誤差126.65cmで、等振幅曲線と同程度の推定結果が得られた。しかし、推定不可の領域が5領域あり、実際の利用を踏まえると、振幅情報と到達時間差を組み合わせた方法も検証し、さらに精度を向上させる必要性があげられた。

本研究の目的は、卓球競技の戦術的要素を即時的に定量化する方法論を構築し、競技現場で試合内容を分析・評価できるシステムの開発を試みることであった。システムの開発には至らなかったものの、映像分析と振動分析によって、ボール落下点を即時的に推定する方法を構築することができた。

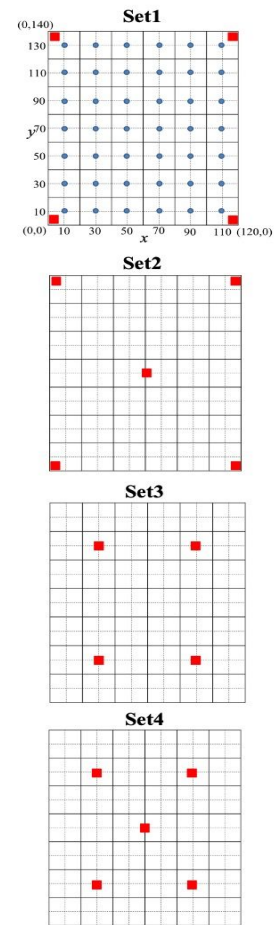


図7 センサ設置位置

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 伊藤建一, 上島慶	4. 巻 -
2. 論文標題 単眼画像を用いた卓球ボール落下位置の予測	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 平成28年度電子情報通信学会信越支部講演論文集	6. 最初と最後の頁 p.129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 上島慶, 伊藤建一, 牛山幸彦, 塩入彬允, 皋萍	4. 巻 35
2. 論文標題 残像を利用した単眼画像からの卓球ボール落下位置の推定と予測	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 新潟体育学研究	6. 最初と最後の頁 pp.17-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 田中奎伍, 伊藤建一, 上島慶	4. 巻 -
2. 論文標題 残像を利用した単眼画像からの卓球のラリー中におけるボール落下位置の推定	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 平成29年度電子情報通信学会信越支部大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 p.150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kei Kamijima, Kenichi Ito, Yukihiko Ushiyama, Akiyoshi Shioiri, Ping Gao	4. 巻 -
2. 論文標題 A Method of Estimating Ball Drop Area using AE Measurement	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings Book of the 15th ITTF Sports Science Congress	6. 最初と最後の頁 pp.144-153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 澁谷仁杜, 伊藤建一, 上島慶	4. 巻 -
2. 論文標題 広帯域AEセンサを用いた卓球ボール落下位置の推定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 平成30年度電子情報通信学会信越支部大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 p.142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 渡辺勇人, 伊藤建一, 上島慶	4. 巻 -
2. 論文標題 AE波の到達時間差を利用した卓球ボール落下位置の推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 平成31年度電子情報通信学会信越支部大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 p.146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kei Kamijima, Kenichi Ito, Yukihiko Ushiyama, Akiyoshi Shioiri, Miran Kondric, Drago Torkar	4. 巻 -
2. 論文標題 Estimation of Table Tennis Ball Drop Position using a High-Speed Camera	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings Book of the 16th ITTF Sports Science Congress	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 伊藤建一, 上島慶
2. 発表標題 単眼画像を用いた卓球ボール落下位置の予測
3. 学会等名 平成28年度電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 上島慶, 伊藤建一, 牛山幸彦, 塩入彬允, 皋萍
2. 発表標題 残像を利用した単眼画像からの卓球ボール落下位置の推定と予測
3. 学会等名 新潟県体育学会平成28年度大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kei Kamijima, Kenichi Ito, Yukihiko Ushiyama, Akiyoshi Shioiri, Ping Gao
2. 発表標題 A Method of Estimating Ball Drop Area using AE Measurement
3. 学会等名 The 15th ITTF Sports Science Congress (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中奎伍, 伊藤建一, 上島慶
2. 発表標題 残像を利用した単眼画像からの卓球ラリー中におけるボール落下位置の推定
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kei Kamijima, Kenichi Ito
2. 発表標題 Estimating the fall position of table tennis balls using a broadband AE sensor
3. 学会等名 Japan Table Tennis Association Sports Science and Medicine Committee International Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 澁谷仁杜, 伊藤建一, 上島慶
2. 発表標題 広帯域AEセンサを用いた卓球ボール落下位置の推定
3. 学会等名 電子情報通信学会平成30年度信越支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kei Kamijima, Kenichi Ito, Yukihiko Ushiyama, Akiyoshi Shioiri, Miran Kondric, Drago Torkar
2. 発表標題 Estimation of Table Tennis Ball Drop Position using a High-Speed Camera
3. 学会等名 16th ITTF Sports Science Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺勇人, 伊藤建一, 上島慶
2. 発表標題 AE波の到達時間差を利用した卓球ボール落下位置の推定
3. 学会等名 平成31年度電子情報通信学会支部大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	伊藤 建一 (Ito Kenichi)	新潟工科大学・工学科・教授 (33108)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力 者	牛山 幸彦 (Ushiyama Yukihiko)	新潟大学・人文社会科学系・教授 (13101)	