

卓球競技におけるボールの 飛行特性分析システムを用いたコーチングの検討

上島 慶¹⁾、牛山 幸彦²⁾、関 有李¹⁾、籠島 隼介³⁾、
五十嵐久人²⁾、八坂 剛史²⁾、大庭 昌昭²⁾

I. 緒言

卓球競技は、対戦相手と1秒間に1.5往復もの速いピッチで打ち合いをする球技の中で最もラリーがスピーディーな競技である¹⁾。そのため、相手の動作を瞬時に見極め、飛来してくるボールの速度や回転、送球点などを予測し、それらの情報に基づいた戦法を選択しなければならない。

(財)日本オリンピック委員会が作成した「JOC GOLD PLAN」(2001)は、高度な情報収集や分析を有効活用したコーチング活動があつてはじめて選手の競技力の発揮や向上がもたらされると提言している²⁾。実際に、サッカーやバスケットボール、水球などにおいてはゲーム分析ソフトが開発されており、コーチングに活用されている^{3) 4) 5) 6) 7) 8)}。また、バレーボール競技においてはタブレット端末を用いて、試合当日のプレイデータを収集・分析した内容を監督が選手に伝えることで世界ランキングが3位以上も高い相手チームに勝利し、メディアなどから注目を集めた。一方、卓球競技はゲーム分析や戦術分析に関する研究報告がいくつかなされている^{9) 10) 11) 12)}。しかし、研究方法としては、情報収集や分析に時間と労力を要するものが多く、実際の試合を想定した分析法で行われているものはほとんどない。さらに、他の競技のようなゲーム分析ソフトは開発されていない。

そこで筆者らはこれまで選手が打球したボールの飛行特性(ボールがネット上を通過した際の入射角度・速度・高度)を把握することは選手の技能評価や戦術評価に繋がることを明らかにし、即時的にボールの飛行特性を算出できるシステムの開発を行った^{13) 14) 15)}。ボールの飛行特性分析システムによるコーチングが卓球競技において可能であるか検討を行うために、本研究はこのシステムを使用して選手にアドバイスを与えた際の有用性の検証を行うことを目的とした。

II. 研究方法

1. ボールの飛行特性分析システムの概要

1-1 ハードウェア

本システムは、卓球台に取り付け可能なように独自に設計された柱状の赤外線レーザーユニットを用いている。一方にレーザー発光器、他方にはレーザー受光器が取り付けられている。赤外線レーザーは、ボールの直径と同じ0.04m間隔で、1セットあたり8組が取り付けられている。ボ-

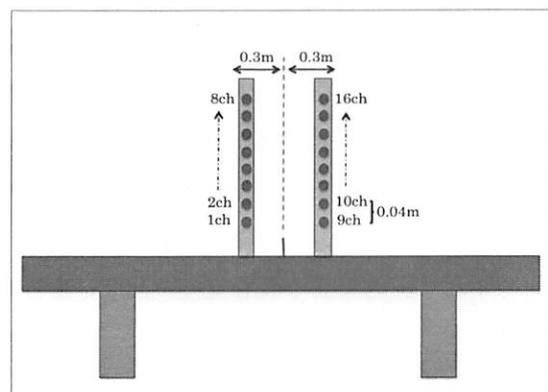


図1 赤外線レーザーユニット設置図

1) 新潟大学大学院現代社会文化研究科

2) 新潟大学人文社会・教育科学系

3) 新潟大学大学院自然科学研究科

受理日：平成24年1月20日

ルがレーザー光を遮ることで受光器が出力する電圧変化がA/D変換されて、ノートパソコンへ取り込まれる仕組みになっている。赤外線レーザー発光・受光ユニットは、選手がプレイする際の妨げにならないように、卓球台の両サイドに設置したセパレート式の卓球台へネットを挟み0.3mの位置へ設置した(図1)。

1-2 ソフトウェア

本システムは、プログラミングソフトLabVIEW(日本ナショナルインスツルメンツ社製)で作成を行った計測及び解析プログラムによって制御している。LabVIEWで作成したフロントパネル上で、計測開始や終了、データの保存先を制御することができる。さらに、ボールの飛行特性がそれぞれの選手ごと数値で表示されるようになっている。また、ラリー終了ボタンが押されると、ボールの飛行特性の1ラリー平均および、ラリーの加算平均が折れ線グラフとして表示される仕組みになっている。

2. 被験者

分析対象者は、大学卓球部に所属する女子選手1名(選手A)とした。選手Aは、年齢22歳、身長150.0cm、体重45.0kg、競技歴14年の前陣速攻型の選手である。また、本研究でアドバイスを与えるコーチと日常のトレーニングからゲームの見方や視点を共有している者である。

選手Aの対戦相手は、同様に大学卓球部に所属する女子選手3名(O1・O2・O3)とした。対戦相手の特性は、年齢 20.3 ± 0.6 歳、身長 157.0 ± 3.5 cm、体重 49.0 ± 1.7 kg、競技歴 12.7 ± 1.2 年で、ドライブ主戦型あるいは前陣速攻型である。選手は、いずれも国内大会で最も規模の大きい全日本選手権大会(平成23年度)の出場者で、互いに競技レベルの差は小さい者同士とした。

3. 実験手順

選手Aは、2ゲームを1試合とし、対戦者3名と計3試合を行った。実験手順を図2に示す。被験者が、高いパフォーマンスを発揮できるように、競技会同様の練習を含めたウォーミングアップを十分に行わせた。その後、日本卓球公式ルールに従って1stゲームを行った。ゲーム終了後、ゲーム間の休息時間に選手Aへボールの飛行特性分析システムから得られた1stゲームのデータを提示し、アドバイスを与えた。その後、1stゲームと同様に2ndゲームを行った。選手に提示するデータについては、試合の流れに沿った変化が理解しやすいように、ラリーの加算平均データを採用した。

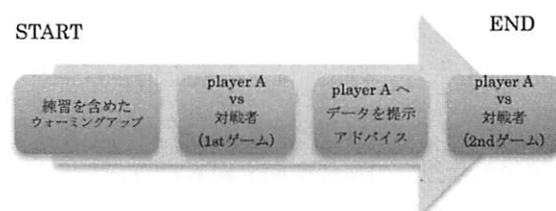


図2 実験プロトコル

4. 検証方法

本研究は、各対戦のアドバイス前の1stゲームの飛行特性データとアドバイス後の2ndゲームの飛行特性データの違い、序盤から終盤の得失点、及び選手の感想の3つの事例から総合的に検証を行った。

Ⅲ. 結果及び考察

1. 選手AとO1の対戦

選手AとO1の対戦は、1stゲーム13-11で選手Aが勝利した。図3は、1stゲームの飛行特性を示している。選手Aは、序盤5得点3失点、中盤で2得点6失点、終盤は6得点2失点している。最も失点の多かった序盤のデータをみると、O1のボール速度は高くなっているのに対し、選手Aの入射角度は小さくなっている。これは、選

手Aが中盤からO1のボール速度が高くなった打球に対して対応できなかったことが原因であると考えられる。終盤は、O1のボール速度はさらに高くなっているが、入射角度が大きくなっていないことから、ボール速度のみを高くすることがミスの誘発に繋がったと考えられる。以上の分析から、選手Aには、最も失点の多かった中盤で入射角度が小さくなっていることをデータで示し、2ndゲームでは、特に中盤で入射角度を大きく打球するようにアドバイスをを行った。

2ndゲームは、10-12でO1が勝利した。図4は、2ndゲームの飛行特性を示している。選手Aの得失点は、序盤5得点2失点、中盤2得点5失点、終盤で3得点5失点であった。失点が増えた中盤からのデータを見ると、ボール速度と高度が高くなっているのに対して、入射角度は小さくなっていることが分かる。これは、選手Aが中盤からアドバイス通りに入射角度を大きく打球しようとしたことで、ボール速度が高くなり、その結果入射角度が小さくなってしまったと推察

できる。また、選手Aは試合終了後の感想で「アドバイスに、入射角度を大きく打球するための具体的な指示があるとさらに分かりやすい」と言っており、入射角度を大きく打球するための行動指針を決定できずに2ndゲームを行ったことが、入射角度を大きく打球できなかった原因の一つであると考えられる。しかし、ボールの飛行特性をデータで提示することで、選手Aの飛行特性は序盤に比べると、中盤から変化していることが明らかである。このことから、選手Aがアドバイスに従って打球しようとしていたことがデータから評価できるものと考えられる。

2. 選手AとO2の対戦

選手AとO2の対戦は、1stゲーム9-11で、O2が勝利した。図5は、1stゲームの飛行特性を示している。得失点は、序盤で5得点2失点、中盤で2得点4失点、終盤2得点5失点と、得点の約56%を序盤でポイントしていた。序盤の飛行特性データをみると、選手Aの入射角度は、中盤

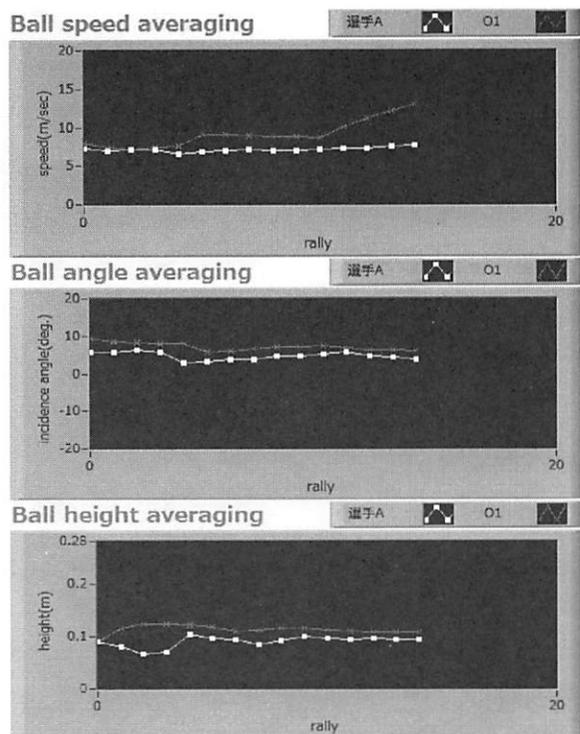


図3 選手A対O1の飛行特性（1stゲーム）

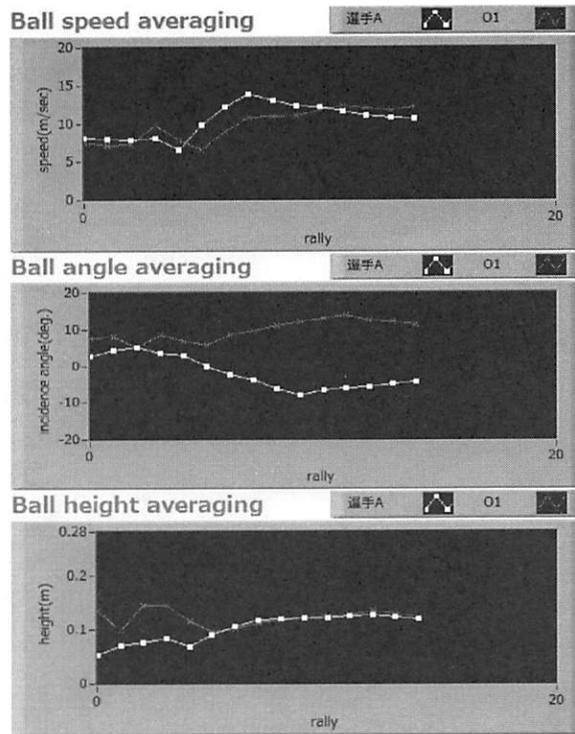


図4 選手A対O1の飛行特性（2ndゲーム）

から終盤に比べると小さく、さらに速度においても低い値を示している。また、O2においても同様に、入射角度と速度は小さく低い値を示しており、特に入射角度については、0度以下であることから、ボールを上向き方向に打球していることが分かる。このことから、選手Aは、O2に対して入射角度を大きく打球させないようにしたことが序盤の得点に繋がったと考えられる。中盤から終盤について、選手AはO2よりも入射角度を大きく打球しており、得点は9-6でリードしていた。しかし、終盤で連続5失点しており、逆転されている。これは、飛行特性以外の何らかの要因で失点していたことが原因と考えられる。以上の分析から、選手Aに、データで序盤の入射角度が小さいことを示し、序盤から中盤と終盤のように入射角度を大きく打球するようにアドバイスをを行った。さらに、O1との対戦では、入射角度を大きくしようとしたことがボール速度を高くすることに繋がってしまったため、O2との対戦においては、ボール速度を低くしてボールの軌跡が曲

線になるようなイメージで打球することをアドバイスに加えた。

2ndゲームは、7-11でO2が勝利した。図6は、2ndゲームの飛行特性を示している。アドバイスをを行った序盤の飛行特性をみると、入射角度は、1stゲームおよそ-3.8度から2.3度の間で打球していたのが、2ndゲームでは、6.4度から7.8度まで大きく打球できている。さらに、ボール速度についても、2ndゲームは1stゲームに比べると速度は中盤にかけて高くなり打球できていることが分かる。従って、2ndゲームのデータから選手Aは、アドバイスの内容通りに打球できていたことを評価することができる。しかし、得失点は、序盤1得点5失点と得点率は、約14%であった。O2のデータをみると、1stゲームの入射角度はおよそ-7.6度から-1.8度と選手Aよりも小さい打球であったのに対し、2ndゲームは約6.3度から7.6度と選手Aと均衡した入射角度で打球していることが分かる。これは、選手Aがボール速度を低くして入射角度を大きく打球し

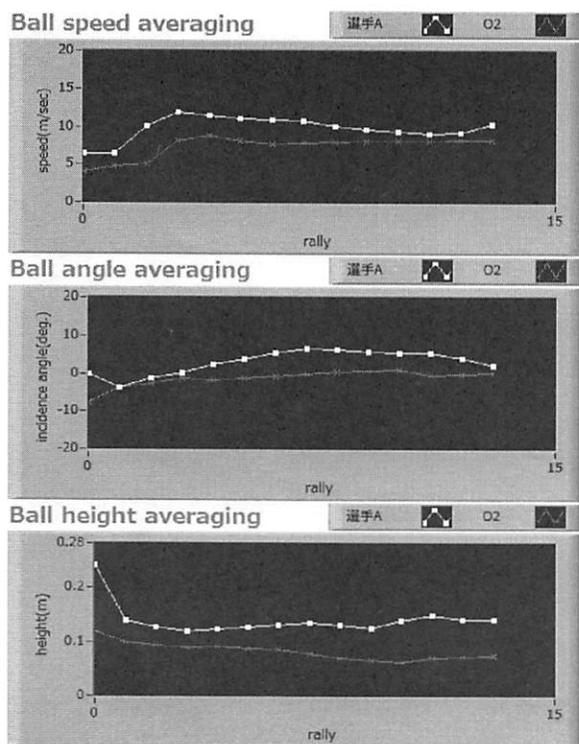


図5 選手A対O2の飛行特性 (1stゲーム)

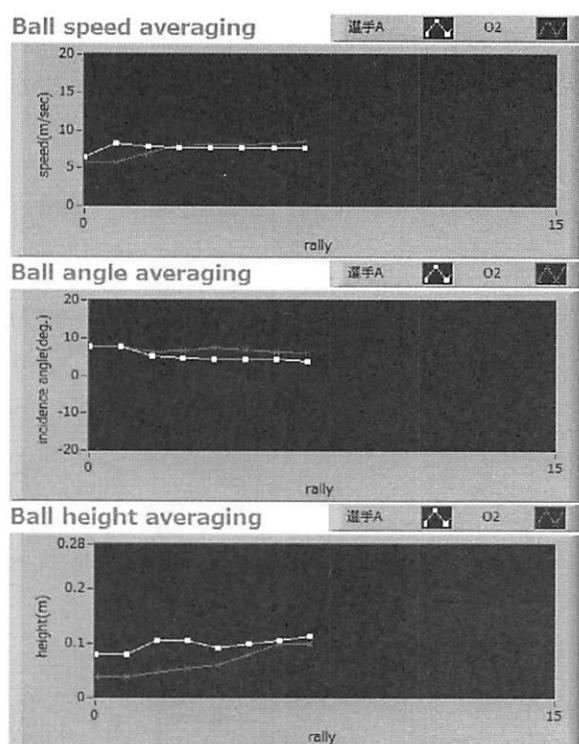


図6 選手A対O2の飛行特性 (2ndゲーム)

たことにより、O2も入射角度を大きく打球しやすくなったことが原因と考えられる。実際に、2ndゲーム終了後、選手Aは「O2に1stゲームよりも打ち込まれ、ボールが深くなったと感じられた」と言っており、これに対してO2は、「1stゲームよりも選手Aの打球したボールが遅く感じられた」という感想であった。従って、ボールの入射角度を大きく打球することは、対戦相手が高い打球点からボールを打球しやすくなるため、対戦相手にとっても入射角度を大きく打球しやすくなる。そのため、入射角度を大きく打球するには、対戦相手が高い打球点から打てないような配球パターンでボールを打球したり、入射角度を大きくする打球としない打球を選別して打球したりする必要があると考えられる。また、選手Aは「アドバイスにどのような打法で、どこのコースへ打球するといった具体的な指示があるとさらに分かりやすい」と言っており、選手Aの感想からも配球コースはこのシステムを用いてアドバイスをするうえで必要な情報であることが分かった。

3. 選手AとO3の対戦

選手AとO3の対戦は、1stゲーム11-6で選手Aが勝利した。図7は、1stゲームの飛行特性を示している。選手Aの入射角度と速度は、O3よりも大きい高い値を示している。特に、序盤の速度は15m/secと高い値を示しているが、入射角度も同様に大きな値を示している。これは、選手Aが、O3よりも高い打球点でボールを捉えていたからであると考えられる。また、中盤から終盤の速度は低下傾向にあるが、入射角度は中盤でやや小さくなり、終盤で再び大きくなっている。これは、選手Aが、速度を抑えてボールの入射角度を大きく打球することで、相手コートへ高確率で返球できていたからであると考えられる。実際に、得失点のみでも選手Aは中盤で5得点1失点、後半で3得点2失点と得点の50%以上を中盤から

後半で得点している。反対に、O3については、常に速度が8m/sec以上であるのに対して、入射角度は-3度以下と小さく、さらにボール高度は選手Aの打球よりも高い位置を通過している。これは、O3が選手Aの打球したボールに対してオーバーミスを誘発して失点していることが原因であると考えられる。以上の分析から、選手Aに中盤から速度は低下してきているが、中盤で小さくなった入射角度を終盤で大きく打球できていることをデータで示し、後半の戦い方をイメージして、中盤においても入射角度を大きく打球するようにアドバイスをを行った。

その結果、11-7で2ndゲームにおいても選手Aが勝利した。図8は、2ndゲームの飛行特性を示している。選手Aに対してアドバイスをを行った中盤をみると、1stゲームは入射角度がやや小さくなったことに対して、2ndゲームは序盤から中盤にかけても入射角度を安定させて打球できていることが分かる。また、1stゲームよりも2ndゲームの方がボール速度は低くなっている。このことから、選手Aは、ボール速度を抑えることでアドバイス通りに入射角度を大きく打球することができたと評価することができる。また、O3の飛行特性をみると、1stゲームよりも2ndゲームの方が入射角度は大きくなっていることから、2ndゲームはボールを下向き方向に打球していたことがわかる。特に選手Aと入射角度が均衡している中盤において、選手Aの得点は2得点4失点と得点率が下がっている。これは、選手AがO2と対戦した結果と同様の知見で、選手Aがボールの入射角度を大きく打球することで、対戦相手も高い打球点からボールを打ちやすくなったものであると考えられる。しかし、O3との2ndゲームについては、選手AはO3よりも常に大きな入射角度で打球していることが分かる。このことから、入射角度を大きく打球することで、対戦相手に高い打球点から打球されても、

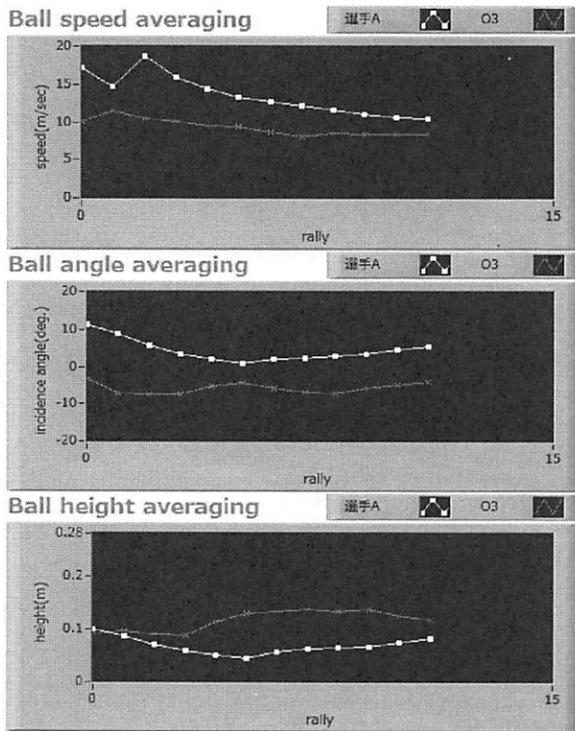


図7 選手A対O3の飛行特性（1stゲーム）

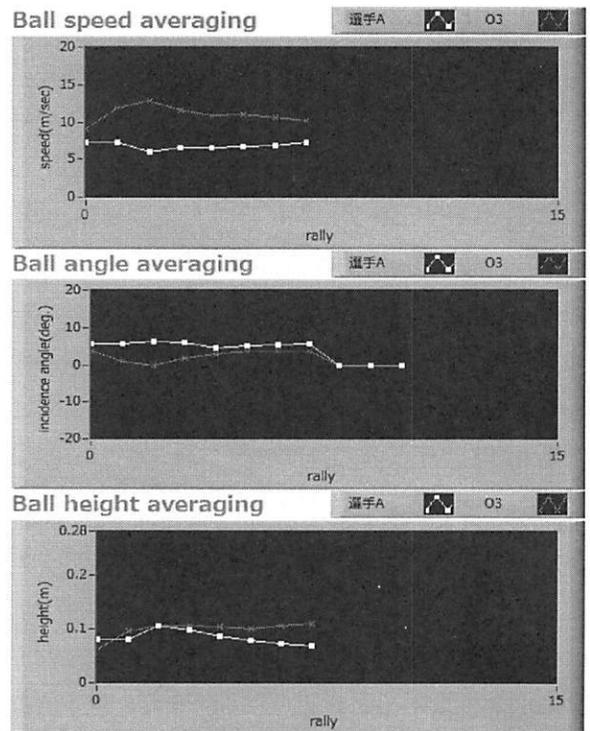


図8 選手A対O3の飛行特性（2ndゲーム）

さらにこちらも高い打球点で打球できるような配球コースを狙って打球することができれば、ゲームを優位に進められるものと考えられる。また、選手Aは試合終了後に「これまでの3試合のデータから、(自身は)いつも中盤から入射角度が小さくなる傾向がある」と述べており、各対戦の飛行特性データを確認することで選手Aが自らデータを理解し、打球の癖なども把握できるようになったものと考えられる。さらに、「国体等の大会においても、このようにデータを示してアドバイスをもらえると理解しやすい」とも述べており、日頃のトレーニングでお互いの分析視点を共有していない指導者が即席でアドバイザーに入るケースにおいても、データに基づくアドバイスが有用であることが示唆された。しかし、その反面「データ提示により理解とイメージはしやすいが、試合を優位に展開できている配球コースや技術が場面ごと知りたい」といった感想もあり、さらに具体的な行動指針を決定するための情報をフィードバックできるようにする必要性もあげられた。

本実験で得られた選手Aのゲームパフォーマンスと選手Aに与えたアドバイスを表1にまとめる。

表1 実験結果の要約

	player A 対 player B	player A 対 player C	player A 対 player D
1st ゲーム	A(13-11)B 中盤から入射角度が小さくなっている。	A(9-11)C 序盤の入射角度が小さい。	A(11-6)D 序盤と終盤は、入射角度が大きいが、中盤でやや小さくなっている。
アドバイス	中盤で入射角度を大きく打球する。	ボール速度を低くし、序盤から入射角度を大きく打球する。	後半の打球をイメージして、中盤においても入射角度が大きくなるように打球する。
2nd ゲーム	A(10-12)B 中盤からボール速度は高くなり、入射角度は小さくなった。	A(7-11)C 序盤から速度を低く、入射角度は大きくなった。	A(11-7)D 序盤から中盤にかけて、入射角度が安定していた。

IV. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

1. 本システムを使用することで、論拠を示す資料を提示しながら選手にアドバイスを与えることが可能になった。
2. 特に、試合結果に対して序盤で対戦相手よりも入射角度を大きく打球していたことが得点に繋がったなどのゲーム内容がどうであったかを振り返る際に有用であることが分かった。さらに、データを積み重ねることで選手が打球したボールの飛行特性の癖も把握できることが明らかになった。
3. 選手の感想から、ボールの飛行特性をグラフで出力することにより、打球をイメージしやすく、指導者のアドバイスが理解しやすくなることから、指導者と選手のイメージの共有と明確化の観点で有効であることが示唆された。

V. 今後の課題

今後の課題として、より具体的な戦術アドバイスをを行うためのさらなる情報を検討して、システムに組み込んでいく必要がある。特に、今回の実験結果及び選手の感想から配球についての情報は必要不可欠であることが分かった。また、コーチがゲーム休息時間に、得られた情報から適切な分析を行って正しく選手に伝達できるかといったコーチの力量や、選手がコーチの与えたアドバイスを内容通り実行できるかといった選手の力量なども重要なファクターであることが考えられる。そのため、それらについても同時に検討を行っていく必要がある。しかしながら、今回のように試合結果につながる情報を即時的に明らかにできるようにすることで、選手の行動指針の決定や評価がしやすくなり、卓球競技においてもより高度なゲーム分析や戦術評価が可能になっていくものと考えられる。

引用文献

- 1) 財団法人日本卓球協会：公認スポーツ指導者指導者養成テキスト、(財)日本卓球協会、p.5、2006
- 2) (財)日本オリンピック委員会：JOC GOLD PLAN 国際競技力向上戦略2002年新装版、(財)日本オリンピック委員会、p.18、p.34、2002
- 3) 武田信哉：Jリーグのゲームデータのマネジメント(スポーツデータⅢ)、オペレーションズ・リサーチ：経営の科学 vol.51 (3)、pp.161-163、2006
- 4) 大橋二郎、磯川正教：サッカーのリアルタイムパス分析システムの開発、日本体育学会大会号(40B)、p.730、1989
- 5) 大橋二郎、宮城修、福井真司、尾崎宏樹、尾崎宏樹、石井孝典、添谷大輔、田村充、中場健太郎：サッカーのリアルタイムゲーム分析システムの実用化：2002FIFA ワールドカップ、NHK BSデジタルデータ放送での活用、日本体育学会大会号(54)、p.564、2003
- 6) 洲雅明、榎本至、鈴木茂廣、南隆尚、高橋淳一郎、斉藤まゆみ、小森康加、川上哲：水球競技におけるゲーム分析とインターネットを利用したデータの公開、第7回日本水泳科学研究会論文集、pp.56-59、2003
- 7) 鈴木茂廣、高木英樹、藤本秀樹、南隆尚、榎本至、若吉浩二：水球競技リアルタイムゲーム分析システムの開発、日本体育学会大会号(46)、p.580、1995
- 8) 竹之下秀樹、田井村明博：バスケットボールのリアルタイム処理によるゲーム分析の試み、長崎県立女子短期大学研究紀要41、pp.11-21、1993
- 9) 竹内敏子：卓球競技における攻撃型とカット型による戦術分析、中京大学教養論叢37(2)、pp.327-343、1996
- 10) 熊谷綾乃、安藤真太郎：卓球のダブルス競技における戦術に関する一考察、日本体育学会大会号(47)、p.540、1996
- 11) 葛西順一、太田章、森武：世界卓球選手権大会男子シングルス決勝戦における試合分析：1987年ニューデリー大会、日本体育学会号(38A)、p.272、1987
- 12) 油座信男：卓球競技の時間的・空間的特性、バイオメカニズム学会誌16(2)、pp.130-137、1982
- 13) 上島慶、牛山幸彦、楊飛、飯塚進柱、五十嵐久人、八坂剛史、大庭昌昭：卓球競技における選手の技能評価に関する研究、新潟体育学研究第 vol.28、pp.39-44、2009
- 14) 上島慶、牛山幸彦、飯塚進柱、関有李、籠島隼介、広霞、五十嵐久人、八坂剛史、大庭昌昭：卓球競技におけるカット主戦型におけるボールの飛行特性に関する研究、新潟体育学研究 vol.29、pp.83-90
- 15) 上島慶：卓球競技におけるボールの飛行特性分析システムの開発、現代社会文化研究第53号、2011(投稿中)