

# 卓球競技における配球分析に関する研究

2023年3月

新潟大学大学院  
現代社会文化研究科

塩入 彬允

# 目次

第 1 章 序論 .....	1
1.1 スポーツについて.....	2
1.2 球技について.....	2
1.3 卓球競技について.....	3
1.4 卓球競技の戦術について.....	4
1.5 卓球競技におけるゲームパフォーマンス分析.....	5
1.6 本研究の構成.....	6
第 2 章 超音波センサを用いた配球分析システム.....	8
2.1 超音波センサ.....	9
2.2 ボール落下位置座標の算出方法.....	9
2.3 配球分析システム.....	10
2.4 本研究におけるデータ収集方法.....	12
第 3 章 配球の規則性に関する研究.....	13
3.1 はじめに.....	14
3.2 方法.....	14
3.2.1 被験者.....	14
3.2.2 分析対象試合.....	14
3.2.3 データ収集.....	15
3.2.4 配球分析.....	15
3.2.5 分析項目.....	16
3.2.6 自己相関分析.....	17
3.3 結果及び考察.....	17
3.3.1 各分析対象試合で明らかになった配球の傾向.....	17
3.3.2 3 試合から見られた結果.....	35
3.4 まとめ.....	35

第 4 章 配球の傾向に関する研究 .....	37
4.1 はじめに .....	38
4.2 研究方法 .....	39
4.2.1 対象 .....	39
4.2.2 計測方法 .....	39
4.2.3 アソシエーション分析 .....	39
4.2.4 分析方法 .....	41
4.3 結果及び考察 .....	42
4.3.1 練習試合の結果 .....	42
4.3.2 各試合におけるリフト値が 1 より大きかった組み合わせ (ルール) .....	42
4.4 まとめ .....	48
第 5 章 得点に影響のある配球に関する研究 .....	50
5.1 緒言 .....	51
5.2 方法 .....	51
5.2.1 被験者 .....	51
5.2.2 データ収集 .....	52
5.2.3 分析方法 .....	53
5.3 結果 .....	55
5.3.1 試合中の配球の頻度 .....	55
5.3.2 ABC 分析 .....	57
5.3.3 コレスポネンス分析 .....	59
5.4 考察 .....	61
5.4.1 試合中の配球の頻度 .....	61
5.4.2 本研究で適用した分析方法の検討 .....	62
5.4.3 ABC 分析の結果から得られた具体的な戦術やアドバイス .....	63
5.4.4 コレスポネンス分析の結果から得られた具体的な戦術やアドバイス .....	64
5.5 まとめ .....	66
第 6 章 結論 .....	67
6.1 本研究のまとめ .....	68
6.2 今後の課題 .....	71

謝辭..... 72

参考文献..... 73

# 第 1 章 序論

## 1.1 スポーツについて

広辞苑では、スポーツは、「陸上競技・野球・テニス・水泳・ボートレースなどから登山・狩猟などにいたるまで、遊戯・競争・肉体的鍛錬の要素を含む身体運動の総称」と記されている[1]。最新スポーツ科学事典では、スポーツという言葉には大きく3つの意味があるとし、第1に、スポーツとはルールに基づいて身体的能力を競い合う遊びの組織化、制度化されたものの総称、第2に、健康の保持増進や爽快感などを求めて行われる身体活動のことを指してスポーツと呼ぶ、第3に、知的な戦略能力を競い合う遊びを指してスポーツと呼ぶと記されている[2]。

文部科学省は、スポーツ基本法（平成23年施行）の全文で「スポーツは、世界共通の人類の文化である」と述べており、スポーツ基本法に示された理念や施策を具体的に推進していくためのスポーツ基本計画はこれまで3期にわたり策定されてきた[3]。第1期では、「年齢や性別、障害等を問わず、広く人々が、関心、適性等に応じてスポーツに参画することができる環境を整備すること」を基本的な政策課題とされ、7つの課題ごとに政策目標が設定された[4]。第2期では、「～スポーツが変わる。未来を創る。Enjoy Sports, Enjoy Life～」の基本方針を掲げ、「スポーツ参画人口」の拡大や「一億人総スポーツ社会」の実現に向けて、4つの政策目標が設定された[5]。その中の、「国際競技力の向上に向けた強力で持続可能な人材育成や環境整備」でスポーツ医・科学、技術開発、情報等による多面的で高度な支援の充実が必要とされている。第3期では、東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会のスポーツ・レガシーの発展に向けて、新たな3つの視点と今後5年間に総合的かつ計画的に取り組む12の施策が打ち出された[6]。その中には、「スポーツ界におけるDXの推進」が盛り込まれており、日本のスポーツ界の普及・発展においてデジタル技術の活用が重要視されていることがわかる。

## 1.2 球技について

球技とはボールやそれに類似したものをを用いて得点を競い合う競技である。球技は様々な観点から分類が行われており、国によって基準が異なる。日本においては、作戦・コンビネーションの視点から、「攻防入り乱れ系」（シュートゲーム型、陣取りゲーム型）、「攻防分

離系」(連係プレイ型, 攻守一体プレイ型), 「攻防交代系」(野球, ソフトボール等) とする分類が見られる[7]. 日本コーチング学会では, 戦術行為を基礎づける戦術上の種々の課題の違いを分類基準として「ゴール型」, 「ネット型」, 「ベースボール型」の3つのタイプに区分されており[8], 中学校・高等学校の学習指導要領でも同様の3つに類型化されている[9], [10]. ゴール型種目は, 競技時間終了時点での累積得点の多いチームを勝ち, ネット型種目は, 規定のセット数を先取, ベースボール型種目は, 規定イニング終了時点での累積得点によって勝敗が決定される [11].

「攻防分離系・攻守一体プレイ型」, 「ネット型」に分類される卓球は, サービス権に関係なく, ラリーに勝利したチームもしくは個人に点数が入るラリーポイント制が採用されている.

### 1.3 卓球競技について

19世紀後半, イギリスの貴族が雨天時に室内でテニスをしたことが始まりとされている. 日本には, 1902年に東京高等師範学校教授の坪井玄道がフランスから用具一式を日本に持ち込み普及した.

卓球競技は, 152.5cm×274cmの卓球台の中央に15.25cmのネットを張り, 2.7gのボールをラケットで打ち合って得点を競うスポーツである. 元世界チャンピオンで国際卓球連盟会長も務めた荻村伊智朗は卓球競技を「100m走をしながらチェスを行うようなスポーツ」と評している[12].

卓球競技は競技の普及・発展のために多くのルール改正が行われてきた. 1900年頃, ボールをコルク製からセルロイド製に改良された. 2000年には, ボールのサイズは直径38mmから40mmに変更になり, 2001年には, 1ゲーム21点制から11点制になった. 2002年にサービス時にボールを隠すことが禁止されたことでレシーブミスが減少し, ラリーで打ち合う展開が増加した. これらのルール改正は, 観戦者が卓球競技の白熱したラリーを更に楽しめるように考えられた改正であり, 競技を普及・発展させることが目的として行われた. 2008年には, 人体への有害性等を理由に有機溶剤入りラバー接着剤(スピードグルー)の使用が禁止となった. また, 発火性があり, 燃焼時に有害ガスが生じるセルロイドボールの

使用を禁止するように国際卓球連盟（ITTF）が国際オリンピック委員会（IOC）から勧告を受け、2014年にセルロイドボールからプラスチックボールに変更となった[13].

日本が初めて世界選手権に出場したのは1952年の第19回大会（開催地：インド・ボンベイ）であり、7種目中4種目で優勝した。1950年代は常に2種目以上の優勝を飾っており、1959年の第25回大会（開催地：ドイツ・ドルトムント）では、7種目中6種目で優勝しており、卓球王国・日本と呼ばれていた。その後、中国やヨーロッパの台頭により日本は優勝から遠ざかってしまい、表彰台に上がることが少なくなった。日本卓球協会は卓球王国・日本の復活のため、有望な中学生選手のドイツ卓球留学や、ホープスナショナルチーム（HNT）を新設してジュニアナショナルチーム（JNT）からナショナルチーム（NT）までの一貫指導体制を構築していった。その成果もあり、2014年では女子団体に銀メダル、2016年の第53回大会（開催地：マレーシア・クアラルンプール）では男子団体・女子団体に共に銀メダル、2017年の第54回大会（開催地：ドイツ・デュッセルドルフ）では混合ダブルスで48年ぶりとなる金メダルに輝いた。オリンピックでは2012年のロンドンオリンピックで女子団体が銀メダル、2016年のリオデジャネイロオリンピックでは男子団体に銀メダル、女子団体に銅メダル、男子シングルスで銅メダルを獲得した。新型コロナウイルス感染拡大の影響で1年延期となった2021年の東京2020オリンピックでは、混合ダブルスにおいて悲願の金メダルを獲得した。

## 1.4 卓球競技の戦術について

日本コーチング学会には、「スポーツにおける戦術（tactics）とは、最も合理的（合目的かつ経済的）に目的を達成するために、対戦相手の行動や状況に応じて自らの行動を調整し、個人でまたは味方と協力して行う具体的、実践的な行為であり、その行為を観察者の視点から説明するために構築された理論であり、その行為を制御するために計画された構想である」と記されている[14]。また、戦術は古代ギリシアの兵学に由来し、最新スポーツ科学事典によると、「ある目的を達成するために、いつ、どこで、どんな戦闘を行い、その結果をどのように利用するかを決定し、それを実現するために軍隊の配置・移動・補給等を統制することを意味していた」と記されている[15]。

日本コーチング学会（2019）では、球技における戦術は日進月歩で発展していることから、世界のトップレベルにあるチームや選手の戦術の現況を絶えず分析し把握しておくことが激しい国際競争を勝ち抜くために必要不可欠と記されている[16].

卓球競技の戦術について荻村は、「ある相手に対してどういうサービスを使って、どういう第3球を送って、どう得点しようか、と考えて試合を進めていく術が戦術である」、「戦術がまずあり、そのために技術がある」と述べている[17]. 卓球競技の戦術はルール改正に伴って重要度が増し、2000年にボールが直径40mmに変更になったことで高島は今まで以上にコース取りが重要になっていると述べている[18]. また、2002年のボールを隠したサービスが禁止されたことで、高島はボールのスピード、コースについては、より神経をとがらせて、反射的に切り替えられるような、そういう瞬時の判断力が必要と述べている[19]. このように、卓球競技においてコースは試合で勝利するために重要な戦術要素であることがわかる。2008年のスピードグルー使用禁止や2015年のプラスチック製ボールへの変更により、回転重視のラリースタイルから「速さ+両ハンドの決定打+緻密で積極的な台上技術」へと進化しており[20], ルールの変更に伴うプレースタイルや戦術の変化に対応する必要がある。

## 1.5 卓球競技におけるゲームパフォーマンス分析

競技スポーツにおいて、試合内容を分析・評価することは重要とされている。現在様々なスポーツ種目においてアナリストと呼ばれる情報戦略スタッフが存在し、チームの競技力向上に大きく貢献している。オドノヒューは、「スポーツパフォーマンス分析は客観的であることを目的とし、より効果的な意思決定を支援するためにフィードバックの過程の中で活用される」と述べている[21]. バレーボール競技においては、アナリストが競技現場で即時的にデータを収集・分析を行い、分析結果を指揮官に提供して戦術立案に貢献している[22].

卓球競技は高速なラリーの連続で試合展開が早いいため、即時的なデータの収集・分析は難しく、時間を要してしまう。日本コーチング学会では、「選手自身が様々なデータを基にした分析を繰り返すことによって、①自分自身や対戦相手の特徴を把握する、②試合中の分析

と作戦立案を行うなどの効果が期待できる」と記されている[23]. 日本卓球ナショナルチームでは、国立スポーツ科学センターが開発したシステムやゲーム分析ソフトを活用して試合映像を対象に分析を実施し、得られた数値から日本選手の課題抽出、ライバル国選手への対策立案がなされている [24].

これまで、卓球競技におけるゲームパフォーマンス分析は様々行われてきており [25], 日本では、戦型別一流選手の試合分析 [26]や、世界トップクラス選手の打球回数に着目した研究 [27]等がある. しかし、研究結果を競技現場で用いたり、競技力向上に活かしたりすることができる研究は少ないのが現状である.

## 1.6 本研究の構成

そこで本研究は、卓球競技の試合中における配球を様々な分析手法を用いて評価を行い、配球に関する客観的データとして競技力の向上に役立てることができるか検討を行う. 図 1.1 は本研究の構成を示している. 配球に関する分析手法を確立させることで、客観的データを用いたコーチングを行うことができ、競技力向上に役立てることができる. 第 2 章では、本研究のデータ収集で使用した「超音波センサを用いた配球分析システム」の説明を行う. 第 3 章では、試合中における選手の配球に規則性が存在するか自己相関分析を用いて検討を行う. 第 4 章では、試合中における選手の配球の傾向を、アソシエーション分析を用いて検討を行う. 第 5 章では、試合中における選手の得点に影響のある配球を ABC 分析とコレスポンデンス分析を用いて検討を行う. 第 6 章では、本研究の成果と今後の課題を述べる.

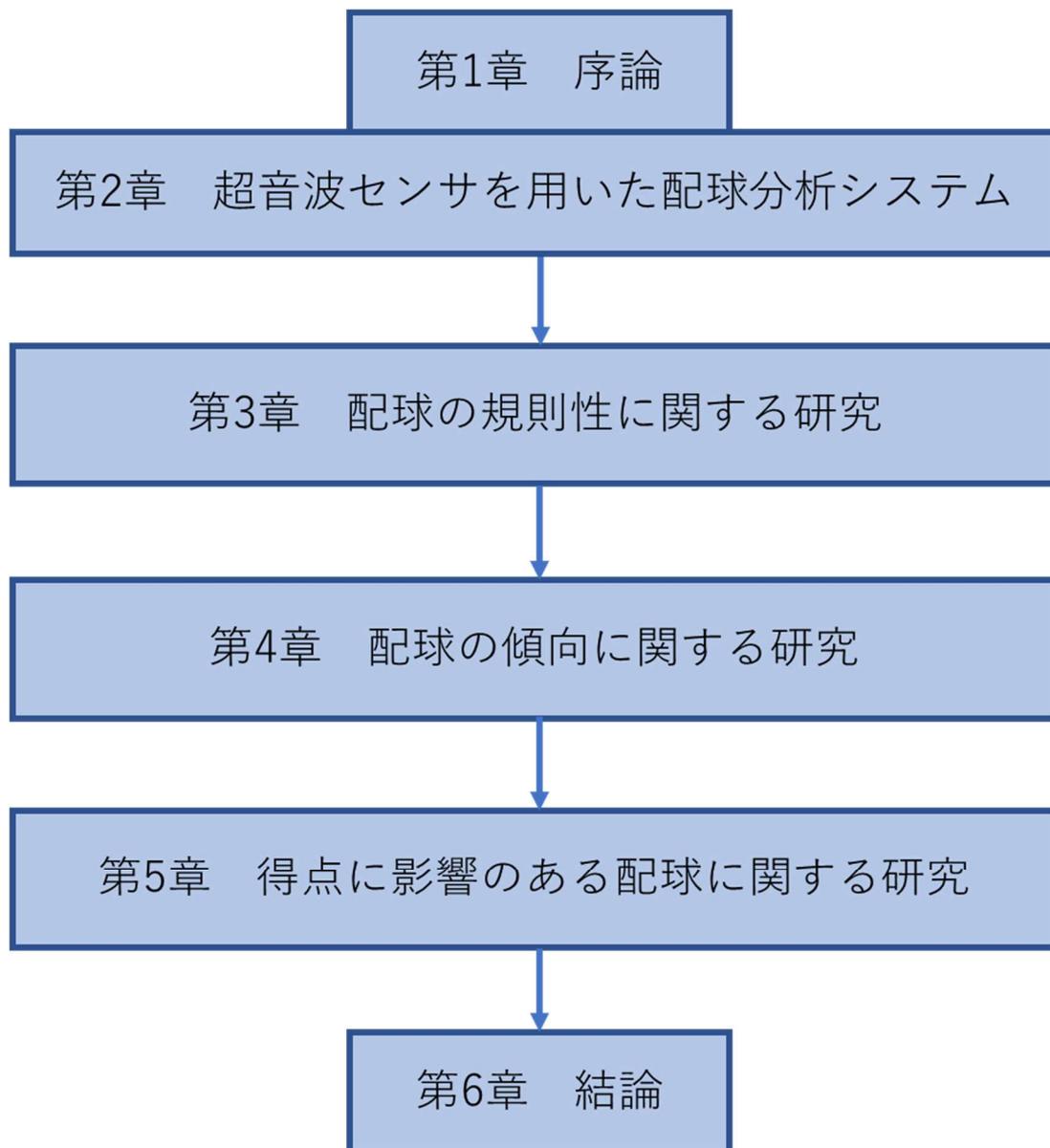


図 1.1 本研究の構成

## 第 2 章

### 超音波センサを用いた配球分析システム

## 2.1 超音波センサ

超音波センサ（図 2.1）は、ボールが卓球台に落下した時に発生する超音波を検出し、処理を行う。音が発生してからサウンドセンサに到達するまでにかかった時間から、音の発信源からサウンドセンサまでの距離を算出する距離測定に用いる。音の発信源からサウンドセンサに到達するまでにかかった時間はクロックカウンタという測定機器を用いて計測する。距離測定を応用し、6つのサウンドセンサを用いて、それぞれのサウンドセンサでボールの落下点から音が到達するまでの時間を測定し、その時間差を算出する時間差測定を利用した。

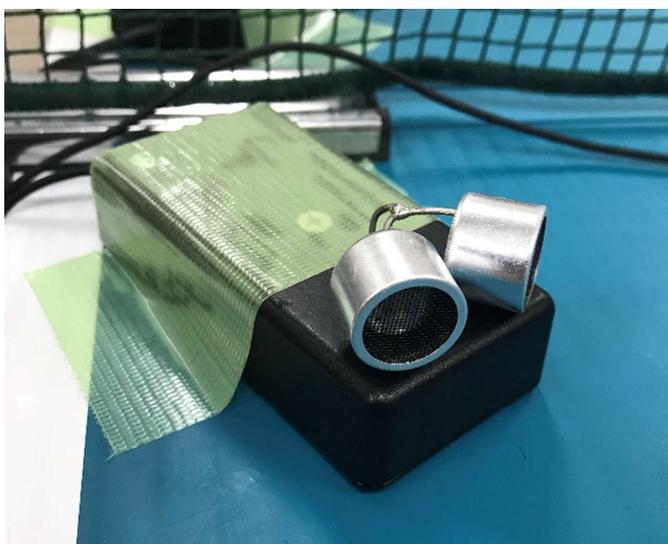


図 2.1 超音波センサ

## 2.2 ボール落下位置座標の算出方法

超音波サウンドセンサを用いて座標を算出するためには、主に三辺測量の定理を用いる。図 2.2 を例とした場合、求めたい落下点の座標を点  $P(x,y)$  とする。  $V$  を音速、  $t_0$  を最初に反応したサウンドセンサに到達するまでの時間とする。すると、点  $P$  と最初に反応したサウンドセンサ 2 の距離を  $Vt_0$ 、点  $P$  から次に反応したサウンドセンサ 3 までの距離を  $V(t_0+d_3)$ 、点  $P$  から最後に反応したサウンドセンサ 1 までの距離を  $V(t_0+d_1)$  と表すことができる。また、  $d_1$ 、  $d_2$ 、  $d_3$ 、  $d_4$  の値はマルチチャンネルカウンタによって求められてお

り、 $\ell$  の値は卓球台の横幅と同一のため判明している。各距離を三角形の辺と見立てると、 $x$  の値を点 P、サウンドセンサ 2、サウンドセンサ 3 を頂点とした緑色の三角形と点 P、サウンドセンサ 1、サウンドセンサ 3 を頂点とした青色の三角形から三辺測量の定理を用いて算出することができる。得られた方程式を連立させ  $t_0$  を算出する。最後に、得られた  $t_0$  の値をピタゴラスの定理に代入すると、 $y$  の値が得られ、点 P の座標がわかる。

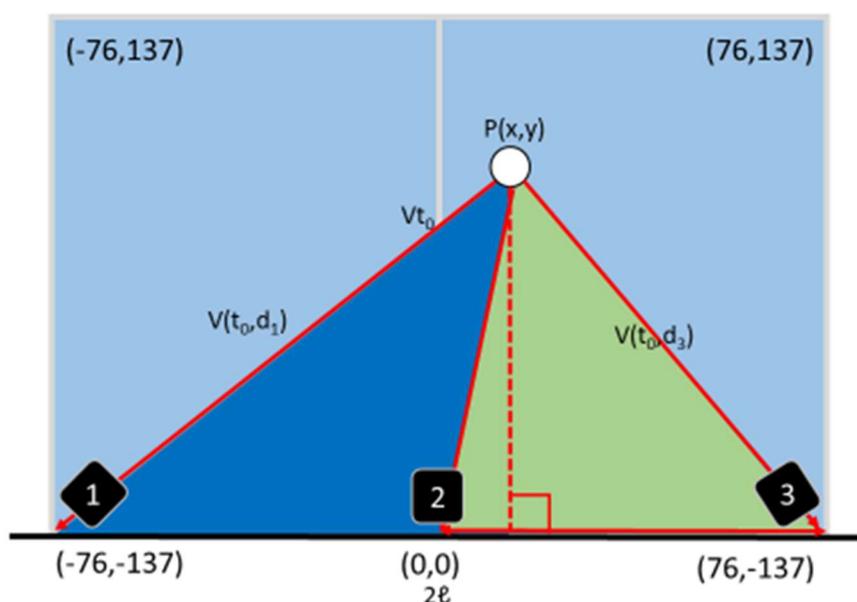


図 2.2 ボール落下位置の座標算出方法

## 2.3 配球分析システム

本研究で使用する超音波センサを用いた配球特性分析システムは、「ボールの落下位置の座標を算出するシステム」と、「算出した落下位置の座標をコンピュータの画面上に表示するシステム」の 2 つから構成されている。

「ボールの落下位置の座標を算出するシステム」では、卓球台上に超音波センサを配置し、超音波センサにボールの落下音が到達するまでの時間差から落下位置の座標を算出する。次に、「算出した落下位置の座標データをコンピュータ (Microsoft, Surface Pro3) の画面上に表示するシステム」(図 2.3) では、算出した座標データをコンピュータの画面上に表示するプログラムを、開発環境の Visual Studio Community 2015 で C# というプログ

ラミング言語を用いて作成した。座標データは時系列で記録され（図 2.4）、ファイルに保存することが可能である。

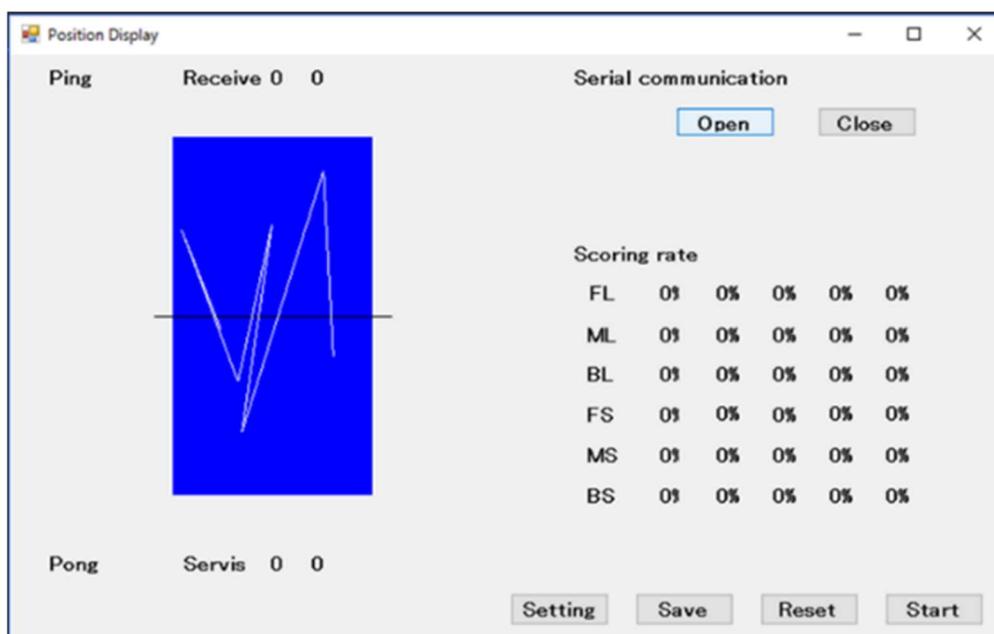


図 2.3 算出した落下位置をパソコンの画面上に表示するシステム

```

2018, 10, 16, 13, 55, 43, 2, 0, 0
2018, 10, 16, 13, 55, 43, 1, 478, 796
2018, 10, 16, 13, 55, 44, 1, -4, -301
2018, 10, 16, 13, 55, 44, 1, -722, 155
2018, 10, 16, 13, 55, 45, 1, -222, -477
2018, 10, 16, 13, 55, 45, 1, 488, 863
2018, 10, 16, 13, 55, 46, 1, 247, -493
2018, 10, 16, 13, 55, 46, 1, -319, 600
2018, 10, 16, 13, 55, 47, 1, 0, -914
2018, 10, 16, 13, 55, 47, 1, -447, 701
2018, 10, 16, 13, 55, 48, 3, 0, 0
2018, 10, 16, 13, 55, 52, 1, 490, 927
2018, 10, 16, 13, 55, 53, 1, 409, 1008
2018, 10, 16, 13, 55, 55, 2, 0, 0
2018, 10, 16, 13, 55, 55, 1, -349, 731
2018, 10, 16, 13, 55, 56, 1, -190, -488
2018, 10, 16, 13, 55, 57, 1, 571, 996
2018, 10, 16, 13, 55, 57, 1, 144, -890
2018, 10, 16, 13, 55, 58, 3, 0, 0

```

図 2.4 配球特性分析システムから得られたボール落下位置座標データ

## 2.4 本研究におけるデータ収集方法

本研究では、上記の超音波センサを用いた配球分析システムとデジタルビデオカメラを用いて、試合中におけるボール落下位置データを収集した。図 2.5 は試合中におけるボール落下位置データ収集時の機器の配置を示す。得られたボール落下位置データは落下位置エリアに変換し、記録用紙（図 2.6）に記入する。

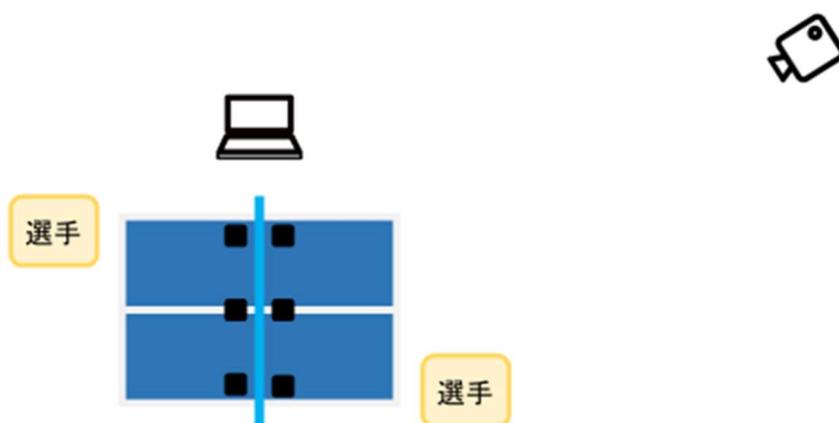


図 2.5 データ収集時の機器の配置図

score	service	win/lose	number of bounds											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0-0	S	×	10	18	16	14	10	12	12					
0-1	S	○	7	14	10	8								
1-1		×	8	13	9	12	7	0	0	8	0	3		
1-2		×	8	13	15	8	7	6						
1-3	S	○	9	8	13	8								
2-3	S	×	10	14	11	13	7							
2-4		○	9	9	9	14	14	12						
3-4		○	8	0	0									
4-4	S	×	8	8	14	9	14							
4-5	S	○	15	13	8	9								
5-5		○	8	18	13									
6-5		×	8	12	6	10								
6-6	S	×	8	14	14									
6-7	S	○	8	15	9	9								
7-7		×	8	11										
7-8		×	8	13	9	10								
7-9	S	○	15	9	0	13	12	0						
8-9	S	○	9	15	7	15								
9-9		×	8	9	7	7								
9-10		×	8	12	15	13	9	9	9	5				
9-11														

図 2.6 記録用紙

## 第 3 章

### 配球の規則性に関する研究

## 3.1 はじめに

卓球競技の現場において、客観的データを用いたアドバイスや資料提示はほとんど行われていない。その理由として、他の競技と比べてゲーム分析ソフトの開発が発展・普及していないことが考えられる。これまで卓球競技におけるゲーム分析に関する研究では、打法別や技術別に的を絞って行われるものがほとんどであった [28], [29]。近年では、竹内による体育館天井に設置された一台のカメラによる卓球のゲーム分析[30]や、玉城による卓球パフォーマンス分析ソフトウェアの開発[31]など、いくつか提案されている。

卓球競技においては、野中らは、カット主戦型選手における使用技術や攻撃パターンに関する研究を行った[32]。しかし、サーブから最終打までの配球パターンを分析し評価している研究はみられない。また、楊によれば、卓球競技において試合の得点時と失点時における配球パターンを分析することによって、配球に関する適切なアドバイスを行えるとされている[33]。

そこで本研究では、超音波センサを用いた配球特性分析システムを利用して試合中のボール落下位置座標を収集し、試合における選手の配球パターンに規則性が存在するか検証することを目的とした。

## 3.2 方法

### 3.2.1 被験者

被験者は国立 N 大学卓球部男子選手 5 名（身長  $172.2\text{cm} \pm 3.8$ 、体重  $62.2\text{kg} \pm 4.4$ 、競技歴  $14.2\text{年} \pm 2.5$ ）とした。戦型によって配球の特性が異なるため、現在最も多い右利き攻撃型選手同士の試合に限定した。

### 3.2.2 分析対象試合

練習試合は 5 ゲームズマッチで行った。試合結果を表 3.1 に示す。3 試合で合計 11 ゲームのデータを収集し、ラリー数は 205 であった。A vs. B の試合の 3 ゲーム目において、1 ラリー分記録されていなかったため、実際に分析したラリー数は 204 であった。

表 3.1 被検者の試合結果

		A vs. B			C vs. D			C vs. E		
Score	1	9-11 11-9 9-11 8-11	3	1	9-11 13-11 5-11 5-11	3	0	8-11 6-11 3-11	3	

### 3.2.3 データ収集

超音波センサを用いた配球特性分析システムを利用して、被験者に練習試合を行ってもらい、ボール落下位置の座標データを収集した。座標データを収集する際にノイズが含まれてしまい、座標データとノイズの識別がしにくいことがある。そこで、得られたデータから座標データのみを識別するため、市販のデジタルビデオカメラ1台を用いて試合を撮影し、試合映像とデータを照らし合わせて座標データを識別した。

### 3.2.4 配球分析

配球特性分析システムで得られたボール落下位置の座標データを利用して、ラリーや選手の配球パターンに規則性が存在するか分析を行う。分析する際には、x軸座標とy軸座標ごとに分けて分析を行う。x軸座標では、深さに関係なく左右の配球に規則性が存在するか、y軸座標では、左右に関係なく深さの配球に規則性が存在するか分析を行う。

ボール落下位置の座標データだけでは試合内容が把握しにくいいため、自作の記録用紙に試合内容（点数、サービス権、得失点、落下位置エリア）を記録した。ボール落下位置エリアとは、座標データを卓球台片面20分割（5×4）した各エリアに変換したものである（図3.1）。各エリアには1~20の番号を付けた。ただし、センサの問題で得られた座標データが卓球台上外だった場合は0と設定した。また、0が含まれたラリーや項目は分析から除外した。

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20
20	19	18	17
16	15	14	13
12	11	10	9
8	7	6	5
4	3	2	1

図 3.1 ボール落下位置エリア

### 3.2.5 分析項目

本研究の分析項目は以下の通りである。各分析項目は、x 軸座標、y 軸座標ごとに分析を行う。ただし、y 軸座標のラリーの規則性については、分析結果に偏りが出るため除外した。

- ・左右の配球に着目したラリーの規則性について
- ・左右の配球に着目した各選手の配球の規則性について
- ・深さの配球に着目した各選手の配球の規則性について
- ・左右の配球に着目したサービスコースの規則性について
- ・深さの配球に着目したサービスコースの規則性について
- ・左右の配球に着目したレシーブコースの規則性について
- ・深さの配球に着目したレシーブコースの規則性について

### 3.2.6 自己相関分析

本研究では練習試合における選手の配球パターンに規則性が存在するか分析するため、自己相関分析による検討を行った。自己相関とは、ある時系列データと、数タイムステップずらしたデータとの相関を明らかにするもので、そのデータが過去の履歴に対してどれくらいの相関を持つかを示している。1に近ければ強い正の相関があり、-1に近ければ強い負の相関があり、0に近ければ相関がないといえる。本研究では、あるバウンドと1つ前のバウンドとの間に相関があるか分析するため、すべて1タイムステップずつずれたデータとの自己相関係数を算出した。また、自己相関係数を算出するためにExcelを用いた。以下が自己相関の式である。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N-h} (x_i - \bar{x})(x_{i+h} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

## 3.3 結果及び考察

### 3.3.1 各分析対象試合で明らかになった配球の傾向

配球特性分析システムで得られたボール落下位置座標データを自己相関分析し、各試合のラリーや選手の配球パターンに規則性が存在するか分析を行った。以下が、自己相関分析で得られる結果である。

左右の配球に着目したラリーの規則性で正の相関が認められた場合、深さに関係なくストレートの配球が多いラリーでことがわかる(図3.2)。つまり、ストレートのコースに返球されたボールをストレートのコースに返球する傾向があるということである。

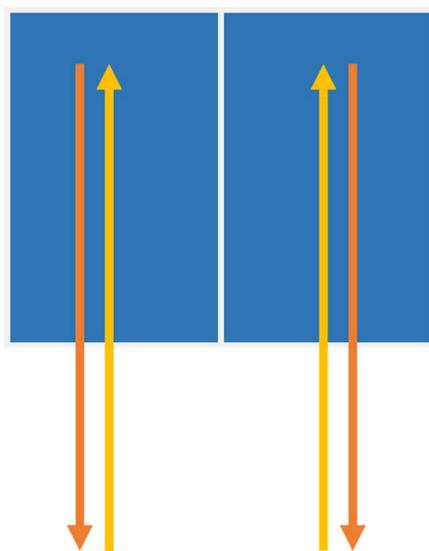


図 3.2 深さに関係なくストレートの配球が多いラリー

負の相関が認められた場合、深さに関係なくクロス配球が多いラリーでことがわかる (図 3.3)。つまり、クロスコースに返球されたボールをクロスコースに返球する傾向があるということである。

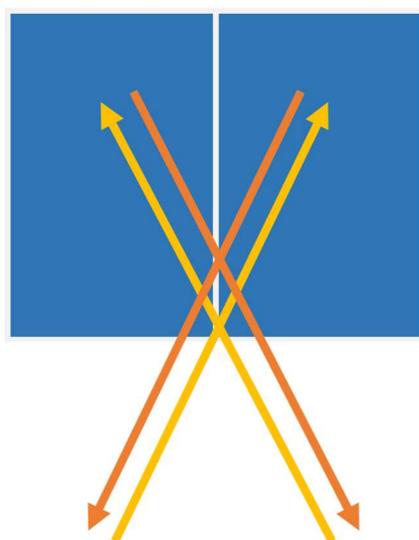


図 3.3 深さに関係なくクロス配球が多いラリー

左右の配球に着目した各選手の配球・サービスコース・レシーブコースの規則性で正の相関が認められた場合、深さに関係なく「フォア・フォア・フォア⇄バック・バック・バック」

のように一方のコースに連続で配球した後、もう一方のコースに連続で配球したことがわかる (図 3.4).

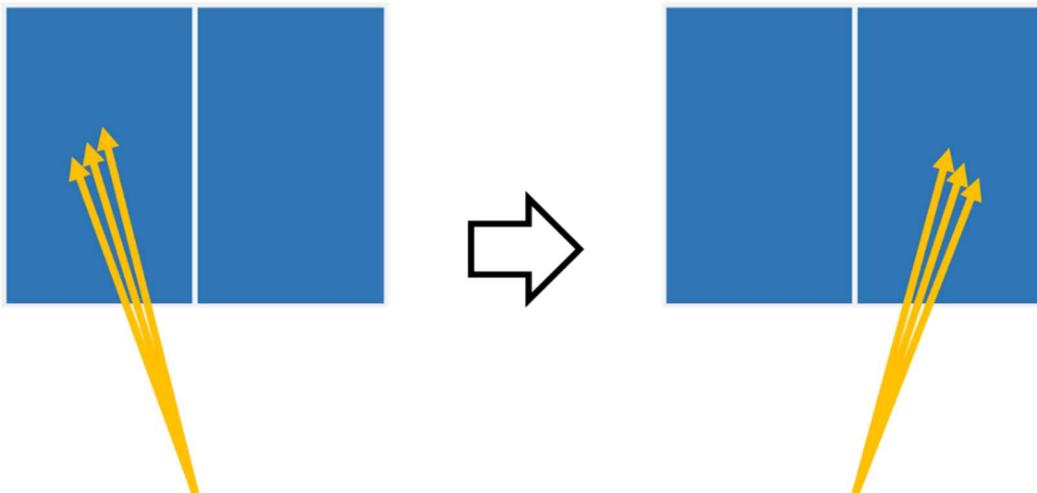


図 3.4 深さに関係なく一方のコースに連続で配球した後、もう一方のコースに連続の配球

負の相関が認められた場合、深さに関係なく左右交互に配球したことがわかる (図 3.5).

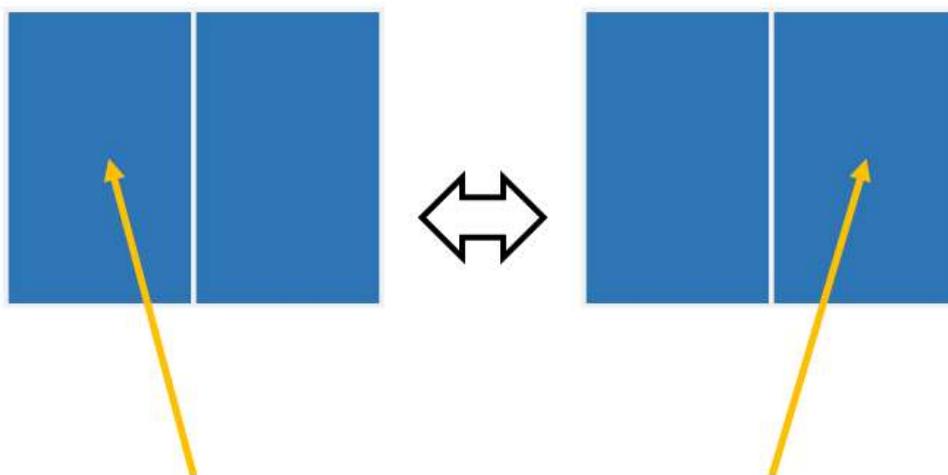


図 3.5 深さに関係なく左右交互に配球

深さの配球に着目した各選手の配球・サービスコース・レシーブコースの規則性で正の相関が認められた場合、左右に関係なく「浅い・浅い・浅い⇔深い・深い・深い」のように一方の深さのコースに連続で配球した後、もう一方の深さのコースに連続で配球したことが

わかる (図 3.6).

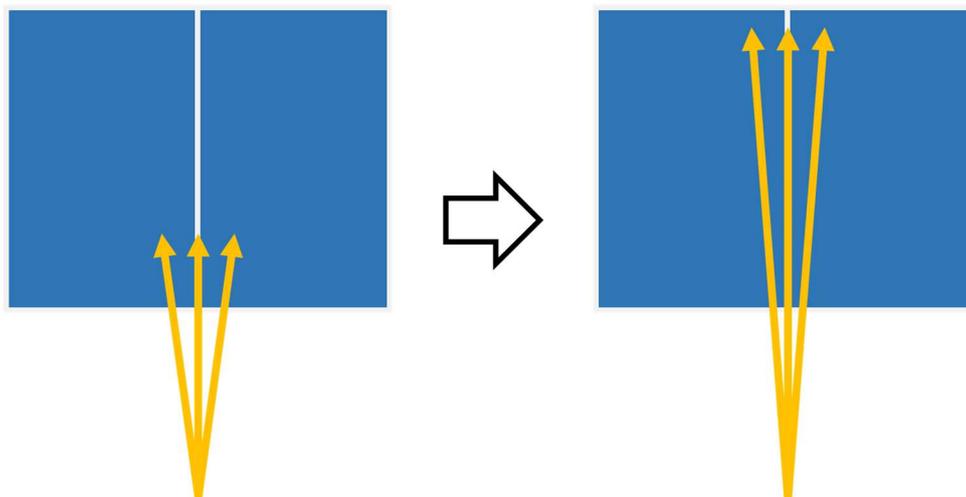


図 3.6 左右に関係なく一方の深さのコースに連続で配球した後、もう一方の深さのコースに連続の配球

負の相関が認められた場合、左右に関係なく「浅い⇔深い」を交互に配球したことがわかる (図 3.7).

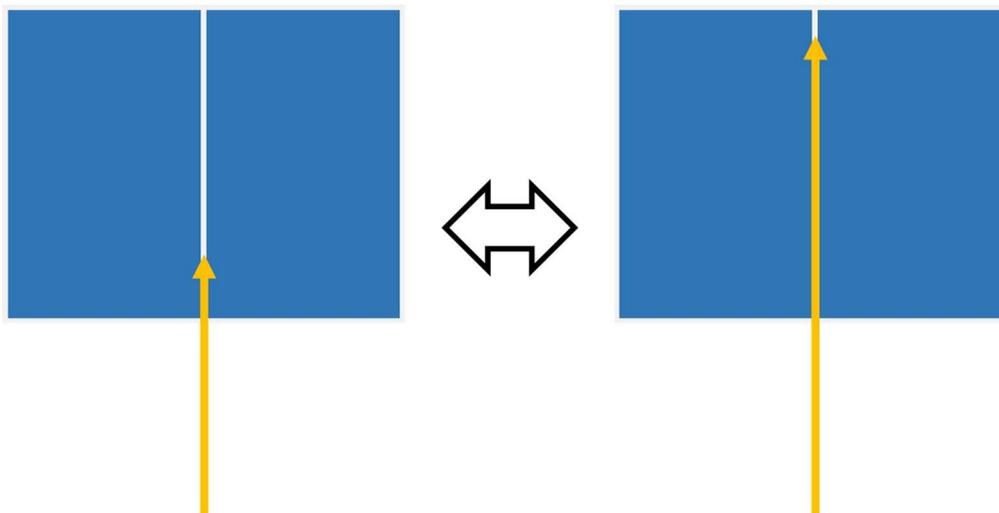


図 3.7 左右に関係なく「浅い⇔深い」を交互に配球

表 3.2 から 3.5 は A vs. B の記録と各ラリーや配球を自己相関分析した結果である。強い相関が認められたラリーや配球はすべて負の相関であった。A の配球では、2 ゲーム目以降、「バック、ミドル、バック」や「バック、フォア、バック」のように規則的な配球を行って

失点していることがわかる。Bの配球では、3ゲーム目後半に、「深い、浅い、深い」のような規則的な配球で得点していることがわかる。

表3.6はA vs. Bの各ゲームのサービス・レシーブの配球を自己相関分析した結果である。Aのサーブの配球では、2ゲーム目において、「浅い→更に浅い」のような配球に規則性がみられ、そのゲームを先取している。

表3.7から3.10はC vs. Dの記録と各ラリーや配球を自己相関分析した結果である。強い相関が認められたラリーや配球はすべて負の相関であった。負の相関が認められたラリーの中で、Dが得点したパターンはバック側対バック側のラリーであった。各選手の配球では、ラリー回数が少ないものが多く、自己相関分析ができる項目が少なかった。

表3.11はC vs. Dの各ゲームのサービス・レシーブの配球を自己相関分析した結果である。Dのレシーブの配球では、1ゲーム目において、深さの配球に規則性がみられ、そのゲームを先取している。

表3.12から3.14はC vs. Eの記録と各ラリーや配球を自己相関分析した結果である。強い相関が認められたラリーや配球はすべて負の相関であった。各選手の配球では、ラリー回数が少ないものが多く、自己相関分析ができる項目が少なかった。試合全体を通してバウンド回数が少なく、競技力の差が大きくあった可能性が考えられる。

表3.15はC vs. Eの各ゲームのサービス・レシーブの配球を自己相関分析した結果である。Eのサーブの配球では、3ゲーム目において、フォア前にショートサーブの後にロングサーブもしくはハーフロングのサーブのような規則的な配球がみられ、そのゲームを先取している。

表 3.2 A vs. B の第 1 ゲームの結果

①	score	service	win/lose	bound																rally		autocorrelation(A)		autocorrelation(B)	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	x	y	x	y	x	y
0-0	S	X	X	10	18	16	14	10	8										0.08	-0.48	-0.13	-0.60	-0.41		
0-1	S	O	X	7	14	10	8												0.04						
1-1		X	X	8	13	9	12	7	0	8	0	3													
1-2		X	X	8	13	15	8	7	6										-0.41			-0.08	-0.47		
1-3	S	O	X	9	8	13	8												-0.38						
2-3	S	X	X	10	14	11	13	7											-0.08						
2-4		O	O	9	9	9	14	14	12										-0.25			-0.04	-0.01		
3-4		O	O	8	0	0																			
4-4	S	X	X	8	8	14	9	14											-0.78						
4-5	S	O	O	15	13	8	9												0.17						
5-5		O	O	8	18	13													-0.59						
6-5		X	X	8	12	6	10												0.15						
6-6	S	X	X	8	14	14													-0.51						
6-7	S	O	X	8	15	9	9												-0.78						
7-7		X	X	8	11																				
7-8		X	X	8	13	9	10												-0.37						
7-9	S	O	O	15	9	0	13	12	0										-0.15						
8-9	S	O	O	9	15	7	15												-0.18						
9-9		X	X	8	9	7	7												-0.15						
9-10		X	X	8	12	15	13	9	9	9	5								-0.17	-0.01	-0.19	0.26	0.23		
9-11																									



表 3.4 A vs. B の第 3 ゲームの結果

③ score	service	win/lose	bound																rally		autocorrelation		distribution(B)	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	x	y	x	y	x	y
0-0	S	X	15	13	13	13	13	6	7									-0.48	-0.14	0.00	-0.06	-0.24		
0-1	S	O	9	8	14	13	14	13	14	9								-0.74	-0.33	0.03	-0.27	-0.15		
1-1			8	12	14													-0.06						
2-1		O	8	13	13	6	2	2	12	9	15							-0.56	-0.08	-0.58	-0.17	0.08		
3-1	S	O	10	12	13	0																		
4-1	S	X	10	14	9	10	9	8	11									-0.35	-0.66	-0.22	-0.20	-0.10		
4-2		O	8	14	20	10	13											-0.57						
5-2		X	8	14	15	10												-0.58						
5-3	S	X	10	18	8	20	8	7	0	13	7								-0.41	0.09				
5-4	S	O	9	9																				
6-4		O	8	12	9	11	9	8	0												-0.58	-0.24		
7-4		O	8	14	7	0	7																	
8-4	S	X	8	15	8	0	10	5	0	14	7	9	14	9	14	5	15							
8-5	S	X	9	14	6	14	12	14	2	8	0	13	4	13	9				0.14	-0.22				
8-6		X	8	10	7	14	9	3	0	6											0.20	-0.62		
8-7		X	8	15	13	8	4	0	0	4	0													
8-8	S	X	10	18	18	19	9	13	14									-0.07	-0.67	-0.35	-0.22	-0.61		
8-9	S	O	8	8	9	8	7	7										-0.44	-0.09	-0.42				
9-9		X	8	12	8	13												-0.21						
9-10		X	9	14	13	9												0.20						
9-11																								



表 3.6 A vs. B のサービス・レシーブの配球

A	service		receive	
①	x	0.15	x	
	y	-0.26	y	
②	x	0.23	x	
	y	-0.65	y	
③	x	0.24	x	0.32
	y	-0.25	y	0.31
④	x	-0.14	x	
	y	-0.34	y	

B	service		receive	
①	x		x	
	y		y	
②	x	-0.39	x	-0.44
	y	0.27	y	-0.47
③	x	0.16	x	0.26
	y	-0.32	y	-0.12
④	x		x	
	y		y	

表 3.7 C vs. D の第 1 ゲームの結果

① score	service	win/lose	bound												rally	autocorrelation		distribution(D)							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		distribution(C)	distribution(D)	x	y						
0-0		O	8	15	14	9	0																		
1-0		X	7	14	7	0																			
1-1	S	X	0	17	14	14	8	13	6	2	0	7	0							-0.21	0.26				
1-2	S	X	16	9	9																				
1-3		X	8	8	9																				
1-4		X	8	18	13	14	9	9																	
1-5	S	O	9	19	11	9	6	6																	
2-5	S	O	15	17																					
3-5		O	8	12	14																				
4-5		X	8	0	15	15																			
4-6	S	O	4	9																					
5-6	S	O	9	9																					
6-6		O	8	4	14	11	12																		
7-6		X	8	13	13	9																			
7-7	S	X	11																						
7-8	S	X	8																						
7-9		O	7	12	16																				
8-9		O	8	14	8																				
9-9	S	X	3																						
9-10		X	7	15	9																				
9-11																									

表 3.8 C vs. D の第 2 ゲームの結果

score	service	win/lose	bound												rally		autocorrelation distribution(C)		distribution(D)	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	x	y	x	y		
0-0	S	O	12	14																
1-0	S	O	13	12	12	13														
2-0		X	19	15																
2-1		O	8	8	15															
3-1	S	O	8	7																
4-1	S	X	7	8																
4-2		X	9	7	20	15														
4-3		X	8	13	13	8														
4-4	S	X	13	13	6	7	8	7	14	8	8									
4-5	S	X	12																	
4-6		X	8	12	10	4														
4-7		X	8	4	13	7														
4-8	S	O	15	14	14	8														
5-8	S	O	8	14																
6-8		O	8	12	10	16	10	19	14	14	7	0	8							
7-8		O	7	13	11	16	13	10	11											
8-8	S	X	7	17	19	8	9	14	1											
8-9	S	O	13	12	12	6														
9-9		X	16	5																
9-10		O	8	14	17															
10-10	S	O	14	13	6	8														
11-10		X	8	14																
11-11	S	O	12	19	8	9														
12-11		O	8	12	14	9	4	7	3											
13-11																				



表 3.10 C vs. D の第 4 ゲームの結果

score	service	win/lose	bound												autocorrelation							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	rally	distribution(C)		distribution(D)				
															x	x	y	x	y			
0-0	S	x	8	0	0																	
0-1	S	O	8	4	10	13												-0.38				
1-1		x	8	13	18	14												-0.29				
1-2		x	8	15	7	0																
1-3	S	O	8	12																		
2-3	S	x	13	12	17													-0.26				
2-4		x	9	8	13	10												0.08				
2-5		x	8	8																		
2-6	S	x	10	20	7	1	15	14	4									-0.11	-0.54	-0.64	-0.35	-0.32
2-7	S	O	0	14	6	8																
3-7		O	8	0	14																	
4-7		x	8	12																		
4-8	S	O	9	13	7	6	10	8	0	3									-0.26	-0.14		
5-8	S	x	9	15	14													-0.67				
5-9		x	8	19	9	8	8	9										-0.48				
5-10		x	8	10	14	8												-0.40				
5-11																						

表 3.11 C vs. D のサービス・レシーブの配球

C	service		receive		D	service		receive	
①	x	-0.28	x	0.24	①	x		x	-0.51
	y	-0.37	y	-0.10		y		y	-0.68
②	x	0.09	x	-0.14	②	x	0.11	x	-0.03
	y	0.01	y	-0.16		y	-0.15	y	0.09
③	x	-0.36	x	-0.06	③	x		x	
	y	0.04	y	-0.07		y		y	
④	x		x	0.28	④	x		x	
	y		y	-0.18		y		y	



表 3.13 C vs. E の第 2 ゲームの結果

score	service	win/lose	bound									rally	autocorrelation		distribution(E)				
			bound										distribution(C)		distribution(E)				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		x	y	x	y			
0-0		X	8	8															
0-1		O	8	12		6	13						-0.81						
1-1	S	O	10	11	10	8	7	8						0.45	-0.20		-0.35		
2-1	S	X	5	12	9								-0.43						
2-2		O	14	12	9								-0.11						
3-2		X	9	9	10	11							-0.20						
3-3	S	O	13	20															
4-3	S	O	13	12	10	7							0.15						
5-3		X	8	14	13	8	14	7	7	7	7			-0.46	-0.06	0.23	0.10		
5-4		X	9	14															
5-5	S	X	10	17	13								-0.04						
5-6	S	O	16	4															
6-6		X	8	18	7	8							-0.22						
6-7		X	8	9															
6-8	S	X	10	12	0														
6-9	S	X	15	15	8														
6-10		X	9	9									-0.49						
6-11																			



表 3.15 C vs. E のサービス・レシーブの配球

C	service		receive		E	service		receive	
	x	y	x	y		x	y	x	y
①	x	-0.56	x	-0.15	①	x	-0.17	x	-0.28
	y	-0.41	y	-0.48		y	-0.29	y	0.17
②	x	-0.39	x	0.02	②	x	0.51	x	
	y	-0.26	y	-0.33		y	-0.10	y	
③	x	-0.23	x	-0.30	③	x	0.17	x	-0.50
	y	0.29	y	-0.33		y	-0.85	y	-0.22

### 3.3.2 3 試合から見られた結果

強い相関が認められたラリーや配球パターンは、すべて負の相関であった。正の相関が認められたラリーや配球がなかった理由として、「フォアストレート、フォアストレート、フォアストレート⇄バックストレート、バックストレート、バックストレート」のようにストレートの配球が多いラリーではないと正の相関が出にくいからではないかと考えられる。本研究ではラリー回数ではなくバウンド回数として記録したが、バウンド回数が少ない場合、自己相関分析をした際に正の相関は出にくいと考えられた。

以上のように、時系列の座標データを自己相関分析することで、ラリーや配球パターンに規則性が存在するか判断することが可能であることが明らかになった。規則的なラリーや配球パターンがわかることによって、選手の配球の傾向や有効な配球パターンもしくは無効な配球パターンか判断するための手掛かりになると考えられる。

本研究では、男子大学生の右利き攻撃型同士の試合を 3 試合、合計 11 ゲームのみの分析であったが、更に競技力が高い選手の試合や比較的ラリー回数の多い女子選手、カット主戦型選手の試合データなど、データ数を増やすことで新たな結果が得られる可能性が考えられる。

## 3.4 まとめ

本研究では、超音波センサを用いた配球特性分析システムを利用して試合中のボール落

下位置座標データを収集し、選手の配球パターンに規則性が存在するか検証することを目的に行った。配球パターンの分析には、自己相関を用いて規則性の有無を検証した。

結果、強い相関が認められたラリーや配球パターンは、すべて負の相関であった。

時系列の座標データを自己相関分析することで、ラリーや配球パターンに規則性が存在するか判断することが可能であることが明らかになった。規則的なラリーや配球パターンがわかることによって、選手の配球の傾向や有効な配球パターンもしくは無効な配球パターンか判断するための手掛かりになると考えられた。

本研究では、男子大学生の右利き攻撃型同士の試合を3試合、合計11ゲームのみの分析であったため、今後は本研究と異なる戦型や競技力の選手のデータ数を増やし、新たな結果が得られるか検討する必要がある。

## 第4章

### 配球の傾向に関する研究

## 4.1 はじめに

競技スポーツにおいて、試合内容を分析・評価することは重要とされている。試合の分析と評価は、コーチやほかの専門家による「自由観察法」を中心とした主観的・質的分析・評価と、ビデオ分析を通して行われるゲーム分析などに代表される客観的・量的分析・評価が用いられる[34]。競技現場では、コーチが選手にアドバイスをする際に主観的なアドバイスがされていることが多い。山田によれば、指導者と選手がお互いの技術や戦術に関する主観的評価基準の相違を把握していないと、指導者のアドバイスが正確に選手に理解されないという弊害が生じ得るとされている[35]。しかし、今日の競技現場において客観的資料を用いたコーチングを行っている指導者は少ない。

対戦型の競技では、試合映像を収集したうえで、映像から効率的に対戦相手の戦術やプレーの特徴を捉えるためのゲーム分析が広く行われてきている[36]。

近年、卓球競技のゲーム分析を行うためのシステムの開発が進められており、玉城による卓球ボールの3次元軌跡復元システム[37]や、上島による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[38]などがある。また、楊によれば、卓球競技において試合の得点時と失点時における配球パターンを分析することによって、配球に関する適切なアドバイスを行えるとされている[39]。

これまで筆者は、超音波センサを用いて卓球ボールのバウンド位置を収集するシステムの開発を進めてきた[40]。このシステムは、卓球台中央のネット際に超音波センサを配置することで、即時的にボール落下位置座標データを算出することができる。また、パソコンの画面上にボール落下位置を結んだ線を表示することや、座標データをファイルに保存することが可能である。

そこで本研究では、超音波センサを用いて試合中のボールの落下位置座標データを収集し、アソシエーション分析を行う。関連性のある配球を抽出し、得られた結果から選手の配球を評価することが可能か検討することを目的とする。

## 4.2 研究方法

### 4.2.1 対象

国立 N 大学体育館において同大学卓球部の男子選手 1 名（被験者 A）を対象に，同卓球部の異なる選手 4 名（被験者 B, C, D, E）と 5 ゲームズマッチの試合を実施し，ボール落下位置座標データを収集した．被験者 A と対戦する被験者 4 名は，現在最も主流な戦型である右利き両面裏ソフトラバー使用ドライブ攻撃型で統一した．被験者の特性を以下に示す（表 4.1）．

表 4.1 被験者の特性

	年齢（歳）	身長（cm）	体重（kg）	競技歴（年）
A	21	171	63	9
B	23	168	67	16
C	22	171	59	12
D	23	171	64	18
E	20	172	72	10
Mean	21.8	170.6	65	13
SD.	± 1.2	± 1.4	± 4.3	± 3.5

### 4.2.2 計測方法

超音波は卓球台内部を伝搬しにくい性質があるため，本研究で使用する超音波センサ 6 つは卓球台の上面に設置する（片面 3 つ）．また，プレーへの影響を最小限に抑えるため，ネット際に設置する．配球特性分析システムを用いて，試合中のボール落下位置座標データを収集する．

### 4.2.3 アソシエーション分析

アソシエーション分析の応用の代表例としてスーパーマーケットにおけるマーケットバスケット分析（market basket analysis）がある．これは顧客が購入したマーケットバスケット

ト（買い物かご）の中身を分析し、同時購入される商品の興味深い組み合わせを発見し販売促進につなげていこうというものである[41]。分析によって得られたルール「 $A \Rightarrow B$ 」は「AならばB」と読まれ、Aをルールの条件部、Bを結論部と呼ぶ。本研究では、卓球競技の試合中における選手の配球に着目し、選手の配球の評価が可能か検討する。

本研究のデータからは、「エリア1 $\Rightarrow$ エリア2」のような選手の配球が抽出できる。評価基準は、支持度（support）、信頼度（confidence）、リフト値（lift）の3つである。支持度とは、ルールの出現率を表し、全トランザクションのうち、ルールの条件部Aと結論部Bを共に含む確率である。信頼度とは、ルールの関連性の強さを表し、ルールの条件部Aが発生するトランザクションのうち、条件部Aと結論部Bを共に含む確率である。リフト値は、信頼度と期待信頼度の比である。したがって、リフト値が1より大きければ、条件部Aの時、結論部Bが起こりやすいことになる。そこで本研究では、特にリフト値が1より大きい組み合わせ（ルール）に着目し考察していくとする。各指標の定義は以下である。

・支持度

$$\text{Support}(A \Rightarrow B) = P(A \cap B)$$

・信頼度

$$\text{Confidence}(A \Rightarrow B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}$$

・期待信頼度

$$\begin{aligned} \text{Expected Confidence}(A \Rightarrow B) \\ = \text{Support}(B) = P(B) \end{aligned}$$

・リフト値

$$\begin{aligned} & \text{Lift}(A \Rightarrow B) \\ &= \frac{\text{Confidence}(A \Rightarrow B)}{\text{Expected Confidence}(A \Rightarrow B)} \\ &= \frac{P(A \cap B)}{P(A)P(B)} \end{aligned}$$

#### 4.2.4 分析方法

超音波センサを用いた配球特性分析システムで得られたボール落下位置座標データは、ボール落下位置エリア（図 4.1）に変換する。ボール落下位置エリアとは、卓球台片面を 12 分割（3×4）し、各エリアに番号を付けたもので、分析や評価をする際に用いる。センサの不具合で座標が検出できなかったボール落下位置は、デジタルビデオカメラで撮影した練習試合の映像を用いてボール落下位置を確認し、エリア番号に修正した。エリア番号に加え、被験者 A の得点を 13、対戦相手の得点を 14 と設定した。つまり、対戦相手コートのエリア 1 にボールが落下して被験者 A が得点した場合、「1⇒13」という組み合わせ（ルール）になる。

次に、ゲームごとに時系列で並べたボール落下位置エリア番号を 2 つずつの組み合わせとして集計し、アソシエーション分析を行う。配球を評価する上で、右利き選手がサービスを行う場所は卓球台に向かって左側から行われることがほとんどであり、レシーブ以降のラリーの配球データと集約して分析を行うと異なる結果になる。そこで、本研究ではサービスである 1 バウンド目と 2 バウンド目のボール落下位置エリア番号の組み合わせを除外した。したがって、サービス権を持つ選手のラリーは 3 バウンド目と 4 バウンド目の組み合わせから、レシーブの選手のラリーは 2 バウンド目と 3 バウンド目の組み合わせから順に集計を行った。また、サービスミスやレシーブミスのような 2 バウンド目までにラリーが終了したのも分析を行えないため除外した。

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
12	11	10	9
8	7	6	5
4	3	2	1

図 4.1 ボール落下エリア（出所：筆者作成）

## 4.3 結果及び考察

### 4.3.1 練習試合の結果

本研究で実施した試合 4 試合の総ポイント（トランザクション）数は 307 個，分析に使用した組み合わせ（ルール）総数は 583 個であった．試合結果を表 4.2 に示す．

表 4.2 本研究で実施した試合結果

	B		C			D		E			
A		9-11					11-4				
		11-9		11-7			10-12		11-6		
	2	12-10	3	3	11-5	0	3	9-11	2	3	
		10-12			11-7			11-3			
		10-12						11-7			
										13-11	0
											11-8

### 4.3.2 各試合におけるリフト値が 1 より大きかった組み合わせ（ルール）

被験者 A を対象に行った 4 試合と 4 試合合計の結果において，リフト値が 1 より大きかった組み合わせ（ルール）を次に示す．

表 4.3 被験者 A 对被験者 B の試合結果におけるリフト値が 1 より大きい組み合わせ (ルール)

被験者A	支持度	信頼度	リフト値	ルール数
9⇒1	0.01	0.14	2.31	1
12⇒4	0.01	0.25	2.03	1
10⇒11	0.02	0.15	1.56	2
11⇒1	0.01	0.09	1.47	1
3⇒10	0.01	0.05	1.35	1
5⇒1	0.01	0.08	1.35	1
1⇒4	0.02	0.14	1.16	2
4⇒5	0.01	0.10	1.16	1
10⇒8	0.07	0.46	1.10	6
2⇒3	0.04	0.25	1.07	3
11⇒5	0.01	0.09	1.05	1

被験者B	支持度	信頼度	リフト値	ルール数
11⇒4	0.02	0.29	1.69	2
12⇒9	0.01	0.09	1.51	1
10⇒4	0.01	0.25	1.48	1
1⇒14	0.05	0.80	1.36	4
5⇒11	0.01	0.06	1.15	1
9⇒7	0.01	1.00	1.15	1
1⇒1	0.01	0.20	1.11	1
6⇒11	0.02	0.05	1.06	2

表 4.3 は被験者 A 对被験者 B の試合結果におけるリフト値が 1 より大きい組み合わせ (ルール) である。

被験者 A の表では、9⇒1 と 12⇒4 の組み合わせのリフト値が高いことがわかる。9⇒1 は被験者 A のフォア前からクロス方向に深い配球、12⇒4 は被験者 A のバック前からクロス方向に深い配球になる傾向が強いということである。それから、1⇒4 と 2⇒3 の組み合わせはそれぞれ被験者 A のフォア側の深いエリアからストレート方向に深い配球であり、被験者 A の特徴であると考えられる。

被験者 B の表では、11⇒4 と 10⇒4 の組み合わせのリフト値が上位である。それぞれ卓球台中央のネット付近のエリアから被験者 A のバック側に深い配球であり、被験者 B の特徴であると考えられる。それから、1⇒14 の組み合わせはエリア 1 から得点の組み合わせであり、この試合の被験者 B の得意エリアであることが考えられる。

表 4.4 被験者 A 对被験者 C の試合結果におけるリフト値が 1 より大きい組み合わせ (ルール)

被験者A	支持度	信頼度	リフト値	ルール数
11⇒1	0.03	1.00	36.00	1
2⇒12	0.03	0.33	12.00	1
1⇒4	0.03	1.00	9.00	1
9⇒11	0.03	0.33	6.00	1
2⇒3	0.03	0.33	2.40	1
9⇒3	0.03	0.33	2.40	1
3⇒8	0.06	0.50	2.25	2
10⇒8	0.03	0.50	2.25	1
12⇒8	0.03	0.50	2.25	1
4⇒2	0.03	0.17	2.00	1
4⇒4	0.03	0.17	1.50	1
6⇒2	0.06	0.13	1.50	2
4⇒6	0.06	0.33	1.33	2
5⇒6	0.06	0.33	1.33	2
9⇒6	0.03	0.33	1.33	1
10⇒7	0.03	0.50	1.29	1
12⇒7	0.03	0.50	1.29	1
6⇒4	0.06	0.13	1.13	2
6⇒11	0.03	0.06	1.13	1
8⇒13	0.11	0.67	1.04	4

被験者C	支持度	信頼度	リフト値	ルール数
5⇒8	0.06	0.67	10.67	2
12⇒5	0.03	0.50	8.00	1
10⇒1	0.03	0.50	4.00	1
2⇒3	0.03	0.33	3.56	1
6⇒10	0.03	0.10	3.20	1
6⇒11	0.03	0.10	3.20	1
11⇒5	0.03	0.20	3.20	1
7⇒9	0.03	0.08	2.46	1
7⇒12	0.03	0.08	2.46	1
1⇒14	0.06	1.00	2.29	2
12⇒4	0.03	0.50	2.00	1
10⇒6	0.03	0.50	1.78	1
7⇒2	0.06	0.15	1.64	2
11⇒4	0.06	0.40	1.60	2
4⇒14	0.13	0.57	1.31	4
8⇒4	0.09	0.30	1.20	3
5⇒6	0.03	0.33	1.19	1
3⇒14	0.09	0.50	1.14	3
4⇒1	0.03	0.14	1.14	1
8⇒7	0.16	0.50	1.14	5
6⇒3	0.03	0.10	1.07	1
8⇒2	0.03	0.10	1.07	1

表 4.4 は被験者 A 对被験者 C の試合結果におけるリフト値が 1 より大きい組み合わせ (ルール) である。

被験者 A の表では、11⇒1 の組み合わせのリフト値が高いことがわかる。これは、卓球台中央のネット付近のエリアから被験者 C のフォア側に深い配球である。また、被験者 B との試合同様、被験者 A のフォア側の深いエリアからストレート方向に深い配球である 1⇒4 と 2⇒3 の組み合わせのリフト値が高かった。それから、8⇒13 の組み合わせはエリア 8 から得点の組み合わせであり、この試合の被験者 A の得意エリアであることが考えられる。

被験者 C の表では、 $5 \Rightarrow 6$ ,  $5 \Rightarrow 8$ ,  $6 \Rightarrow 10$ ,  $6 \Rightarrow 11$ ,  $10 \Rightarrow 6$  のような被験者 C のフォア前のエリアから被験者 A のネット付近もしくは卓球台中央のエリアへの配球が多いことがわかる。また、 $1 \Rightarrow 14$ ,  $3 \Rightarrow 14$ ,  $4 \Rightarrow 14$  はそれぞれ得点の組み合わせであり、深い配球からの得点を得意としていることが考えられる。

表 4.5 被験者 A 対被験者 D の試合結果におけるリフト値が 1 より大きい組み合わせ（ルール）

被験者A	支持度	信頼度	リフト値	ルール数
$9 \Rightarrow 10$	0.04	0.50	6.90	3
$1 \Rightarrow 4$	0.03	0.20	3.45	2
$2 \Rightarrow 1$	0.01	0.20	3.45	1
$9 \Rightarrow 1$	0.01	0.17	2.88	1
$2 \Rightarrow 5$	0.01	0.20	1.97	1
$10 \Rightarrow 11$	0.01	0.25	1.92	1
$12 \Rightarrow 13$	0.04	1.00	1.64	3
$2 \Rightarrow 7$	0.04	0.60	1.59	3
$11 \Rightarrow 12$	0.01	0.09	1.57	1
$4 \Rightarrow 12$	0.01	0.08	1.44	1
$5 \Rightarrow 2$	0.01	0.06	1.44	1
$8 \Rightarrow 12$	0.01	0.08	1.33	1
$10 \Rightarrow 7$	0.03	0.50	1.33	2
$3 \Rightarrow 2$	0.01	0.06	1.28	1
$7 \Rightarrow 10$	0.03	0.08	1.10	2
$5 \Rightarrow 1$	0.01	0.06	1.08	1

被験者D	支持度	信頼度	リフト値	ルール数
$4 \Rightarrow 2$	0.02	1.00	16.00	1
$1 \Rightarrow 2$	0.02	0.33	5.33	1
$11 \Rightarrow 10$	0.02	0.09	2.91	1
$10 \Rightarrow 11$	0.03	0.29	2.29	2
$1 \Rightarrow 1$	0.02	0.33	2.13	1
$3 \Rightarrow 7$	0.08	0.38	1.64	5
$11 \Rightarrow 9$	0.02	0.09	1.45	1
$12 \Rightarrow 3$	0.02	0.25	1.45	1
$10 \Rightarrow 6$	0.05	0.43	1.44	3
$9 \Rightarrow 14$	0.11	0.70	1.40	7
$2 \Rightarrow 6$	0.03	0.40	1.35	2
$5 \Rightarrow 1$	0.02	0.20	1.28	1
$3 \Rightarrow 2$	0.02	0.08	1.23	1
$5 \Rightarrow 14$	0.05	0.60	1.20	3
$11 \Rightarrow 1$	0.03	0.18	1.16	2
$1 \Rightarrow 6$	0.02	0.33	1.12	1
$2 \Rightarrow 8$	0.02	0.20	1.07	1
$12 \Rightarrow 5$	0.02	0.25	1.07	1

表 4.5 は被験者 A 対被験者 D の試合結果におけるリフト値が 1 より大きい組み合わせ（ルール）である。

被験者 A の表では、 $9 \Rightarrow 10$  の組み合わせのリフト値が高いことがわかる。これは被験者 A のフォア側のネット付近のエリアから被験者 D の卓球台中央のネット付近のエリアへの配球である。また、 $2 \Rightarrow 1$  と  $2 \Rightarrow 5$  の組み合わせのリフト値が高いことがわかる。被験者 B や

被験者 C との試合では、エリア 2 からストレート方向に深い配球の組み合わせのリフト値が高かったが、被験者 D との試合ではエリア 2 からクロス方向に深い配球の組み合わせのリフト値が高かった。それから、12⇒13 の組み合わせはエリア 12 から得点の組み合わせであり、この試合の被験者 A の得意エリアであることが考えられる。

被験者 D の表では、1⇒2 の組み合わせのリフト値が高いことがわかる。他にも、1⇒2, 1⇒6, 2⇒6, 5⇒1 の組み合わせのように、被験者 D のフォア側からクロス方向に深い配球の組み合わせのリフト値が高いことから、被験者 D はフォア側の深い配球に対してクロス方向に深く配球する傾向にあることが考えられる。それから、5⇒14 と 9⇒14 の組み合わせはそれぞれのエリアから得点の組み合わせであり、この試合の被験者 D の得意エリアであることが考えられる。

表 4.6 被験者 A 対被験者 E の試合結果におけるリフト値が 1 より大きい組み合わせ（ルール）

被験者A	支持度	信頼度	リフト値	ルール数
11⇒2	0.03	0.50	3.90	1
1⇒11	0.08	0.33	3.25	3
2⇒5	0.03	0.14	2.79	1
3⇒9	0.03	0.11	2.17	1
5⇒1	0.05	0.22	2.17	2
10⇒2	0.03	0.25	1.95	1
11⇒3	0.03	0.50	1.95	1
10⇒8	0.03	0.25	1.63	1
6⇒1	0.05	0.13	1.30	2
7⇒4	0.05	0.07	1.30	2
7⇒10	0.03	0.03	1.30	1
7⇒12	0.03	0.03	1.30	1
8⇒6	0.05	0.33	1.18	2
2⇒2	0.03	0.14	1.11	1
8⇒8	0.03	0.17	1.08	1
9⇒6	0.05	0.29	1.01	2

被験者E	支持度	信頼度	リフト値	ルール数
9⇒2	0.03	1.00	11.33	1
1⇒5	0.03	1.00	4.86	1
2⇒2	0.03	0.33	3.78	1
10⇒10	0.03	0.20	3.40	1
5⇒9	0.03	0.25	2.83	1
12⇒7	0.03	1.00	1.79	1
8⇒10	0.03	0.10	1.70	1
10⇒8	0.03	0.20	1.70	1
7⇒4	0.06	0.09	1.55	2
6⇒8	0.06	0.17	1.42	2
10⇒3	0.03	0.20	1.36	1
11⇒3	0.03	0.20	1.36	1
4⇒1	0.03	0.25	1.21	1
4⇒5	0.03	0.25	1.21	1
4⇒14	0.06	0.50	1.21	2
5⇒5	0.03	0.25	1.21	1
5⇒14	0.06	0.50	1.21	2
8⇒2	0.03	0.10	1.13	1

表 4.6 は被験者 A 対被験者 E の試合結果におけるリフト値が 1 より大きい組み合わせ（ルール）である。

被験者 A の表では、11⇒2 の組み合わせのリフト値が高いことがわかる。これは、卓球台中央のネット付近のエリアから被験者 E のフォア側の深いエリアへの配球である。また、2⇒2, 2⇒5, 5⇒1, 6⇒1 の組み合わせのリフト値が高く、被験者 D との試合同様、被験者 A のフォア側エリアからクロス方向に深い配球の組み合わせのリフト値が高かった。

被験者 E の表では、9⇒2 の組み合わせのリフト値が高かった。これは、これは被験者 E のフォア側のネット付近のエリアから被験者 A のフォア側の深いエリアへの配球である。それから、4⇒14 と 5⇒14 の組み合わせはそれぞれのエリアから得点の組み合わせであり、この試合の被験者 D の得意エリアであることが考えられる。

表 4.7 被験者 A の 4 試合合計の結果におけるリフト値が 1 より大きい組み合わせ (ルール)

被験者A	支持度	信頼度	リフト値	ルール数
9⇒10	0.01	0.13	3.26	3
3⇒9	0.00	0.02	2.21	1
1⇒4	0.02	0.15	1.65	5
5⇒1	0.02	0.09	1.50	4
9⇒1	0.01	0.09	1.40	2
11⇒1	0.01	0.08	1.29	2
10⇒11	0.01	0.13	1.28	3
12⇒4	0.00	0.11	1.25	1
10⇒8	0.04	0.35	1.24	8
1⇒11	0.02	0.12	1.15	4
9⇒14	0.03	0.58	1.14	7
1⇒14	0.03	0.55	1.07	6
4⇒6	0.04	0.36	1.03	10

表 4.7 は被験者 A の 4 試合合計の結果におけるリフト値が 1 より大きい組み合わせ (ルール) である。

9⇒10 の組み合わせのリフト値が高いことがわかる。これは、被験者 A のフォア側のネット付近のエリアから相手選手の卓球台中央のネット付近のエリアへの配球である。次に、

1⇒4の組み合わせのリフト値が高いことがわかる。4試合中3試合で1⇒4の組み合わせのリフト値が高かったことから、被験者Aの特徴であると考えられる。また、同じフォア側であるエリア5とエリア9では、相手のフォア側の深いエリアであるエリア1への配球の組み合わせのリフト値が高かったことから、フォア側のネット付近もしくは中程度の深さのエリアから相手のフォア側の深いエリアに配球する特徴であると考えられる。それから、1⇒14と9⇒14の組み合わせのリフト値が高いことがわかる。14は相手のエリアから得点の組み合わせであり、被験者Aからみると失点エリアである。

以上の結果は、被験者Aが右利き裏ソフトラバー使用ドライブ攻撃型に対する配球の傾向であることが考えられる。

## 4.4 まとめ

本研究では、超音波センサを用いて試合中のボールの落下位置座標データを収集し、アソシエーション分析を行った。関連性のある配球を抽出し、得られた結果から選手の配球を評価することが可能か検討することを目的とした。

ボール落下位置座標データをボール落下位置エリアに変換し、エリア番号の数字を2つずつの組み合わせ（ルール）と捉え、アソシエーション分析を行った結果、各選手の試合時の配球の傾向が明らかになった。本研究では、被験者Aを対象に4名の被験者との試合を実施し、各試合における選手の配球の傾向と、被験者Aの4試合分のデータを集約して分析を行うことで、被験者Aの右利き両面裏ソフトラバー使用ドライブ攻撃型に対する配球の傾向が明らかになった。結果を基に被験者Aを考察すると、4試合中3試合で1⇒4の組み合わせのリフト値が高かったことから、被験者Aの特徴であると考えられる。これは、被験者Aのフォア側の深いエリアからストレート方向に深い配球である。また、同じフォア側であるエリア5とエリア9では、相手のフォア側の深いエリアであるエリア1への配球の組み合わせのリフト値が高かったことから、フォア側のネット付近もしくは中程度の深さのエリアから相手のフォア側の深いエリアに配球する特徴があると考えられた。

配球の特徴は、選手が意図的に配球している場合と無意識に配球している場合があり、本研究の結果は自身の配球の傾向を確認できる客観的データとして有用である。また、本研究

で得られた配球に関する客観的データを指導者と選手が確認することで、両者の認識の相違は少なくなり、配球に関する適切なアドバイスを行うための一助となるだろう。

今後の課題は、被験者 A の試合データを増やし集約することで、高精度な被験者 A の配球の傾向を明らかにすることである。また、戦型や対戦相手の競技力を変えることで異なる結果が得られるだろう。

## 第5章

### 得点に影響のある配球に関する研究

## 5.1 緒言

競技スポーツにおいて、プレーを分析し評価することは競技力向上に大きな影響を与える。現代の球技では、自チームだけでなく、相手チームの分析を行い、初めて勝負のスタートラインに立てるといっても過言ではない[42]。卓球の競技力向上に関わる要素については、医・科学の知識と最先端の科学機器を組み合わせることで、客観的に評価できる[43]。

近年、データの精度や収集、分析方法等、様々な競技でゲーム分析に関する研究が進められており、卓球競技においても、ゲーム分析に関する研究が進められている[44],[45]。上島は卓球競技の技術・戦術要素は、飛行特性・配球特性・回転特性の3つとし、これらの要素をどう組み立てて実行するかが技術や戦術の立案や実行につながると述べている[46]。飛行特性に関する研究[47],[48]や回転特性に関する研究[49],[50],[51]は進められており、データ収集の自動化や簡略化が進められている。また、数理モデルを用いて試合を評価する研究が進められており、基礎統計量を考察する研究では分からない結果が明らかになっている[52],[53]。

そこで本研究ではマーケティング分野で用いられている分析方法で、試合中の得点に影響のある配球を明らかにし、選手へのアドバイスや練習メニューの立案に活用可能か検討することを目的に行った。

## 5.2 方法

### 5.2.1 被験者

被験者は国立 N 大学男子卓球部の選手と男子の大学院生コーチとした。1名の選手（被験者 A）を対象とし、14名の選手（被験者 B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O）と計 14 試合行い、試合中における配球を記録した。被験者の特性を表 5.1 に示す。選手の戦型は、現在最も主流である右利きシェークハンド両面裏ソフトラバー使用のドライブ攻撃型に限定した。

表 5.1 被験者の特性

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	競技歴 (年)	
A	22	172	67	16	
C	24	179	72	19	
D	24	169	69	18	上位層
G	22	171	61	10	
L	19	169	56	9	
B	24	171	66	20	
E	24	167	59	12	
H	21	170	54	10	中位層
J	20	175	68	11	
M	19	175	70	10	
F	21	173	70	11	
I	20	173	65	8	
K	21	170	63	7	下位層
N	20	160	52	7	
O	19	168	62	10	
平均±標準偏差	21.3±1.8	170.8±4.2	63.6±6.0	11.9±4.1	

## 5.2.2 データ収集

卓球台上面のネット際に超音波センサ（自作）を設置し、試合中のボールが台に落下した時に発生する超音波から落下位置を算出する配球分析システムを用いて、落下位置座標を収集した。超音波センサで記録できなかった落下位置は、デジタルビデオカメラを用いて試合を撮影し特定した。競技現場において、コーチが選手に対して配球に関するアドバイスをを行う際は、コートをもつて6分割して伝えることが多いため、ボール落下位置座標を卓球台片面6つに分割したエリア番号に変換し（図 5.1）、各試合のボール落下エリアの記録を行った。また、配球の分析をするために、自分のコートのエリアから相手のコートのエリアを配球の組み合わせ（エリア 1 からエリア 1 への配球を 1→1）とし、集計した。本研究では配球を評価するため、サービスの配球をラリーの配球に含めてしまうと分析が困難である。したがって、サービスに係る第 1 バウンドと第 2 バウンドの配球の組み合わせを除外して分析を行った。

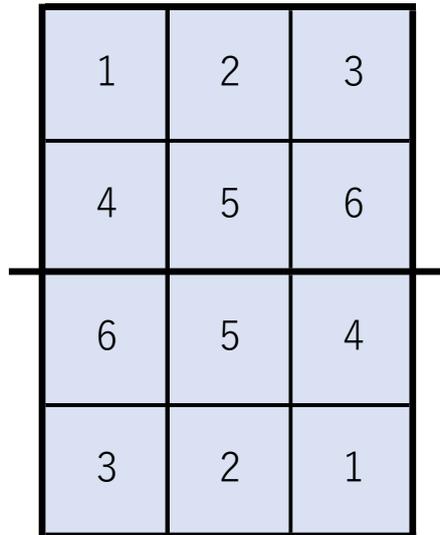


図 5.1 片面 6 エリアに分割した卓球台

### 5.2.3 分析方法

#### (1) ABC 分析

ABC 分析は、「全体の大勢に影響を与える要素は少数である」という考え方（パレートの法則）に基づいて、商品の売上や、顧客ごとの購買金額に着目し重視すべき商品や顧客を発見しようというものである [54]。各要因について全体での構成比を求め、それを降順に並べた。次に、構成比の高い順に累計構成比を計算し、全体を 3 つに分類した。

本研究では、得点した際のラリーにおける配球の組み合わせの度数から失点した際のラリーにおける配球の組み合わせの度数を引いた数値を用いて、累計得点と累計構成比を算出した。累計得点を算出する際に、0 や負の数だった場合分析が困難であるため、すべて正の数になるようにすべて 5 を加える補正を行った（最小値は -4 であった）。累計構成比は 0% ~70%以下となる要因を A ランク、71%~90%以下を B ランク、91%~100%を C ランクと定め分類した。

#### (2) コレスポンデンス分析

コレスポンデンス分析は、クロス集計表を構成する 2 つの項目にカテゴリーを数量化した後、散布図にプロットし、カテゴリー間の関係を視覚的に把握する手法である。距離にお

ける「近さ・遠さ」は、関連の強さを自然に表現するので、関連性の構造を簡単に理解することができるという特徴を持っている [55].

本研究では、各試合における配球の組み合わせでは度数が少なく、配球を評価するには困難であるため、配球の組み合わせ度数を競技レベル別 3 つの層（上位層、中位層、下位層）に分類して集約することで競技レベル別の配球の特徴が明らかになると考えた。配球の組み合わせと競技レベル別 3 つの層のクロス集計表を作成し、コレスポネン分析によって得られた 2 次元マップを示した。競技レベル別の各層の近くにプロットされた配球は、関係性が強い配球として評価した。上位層は被験者 C, D, G, L, 中位層は被験者 B, E, H, J, M, 下位層は被験者 F, I, K, N, O に分類した (表 5.2)。尚、被験者である大学院生コーチに関しては、大学生時の主な競技成績を参考にして分類を行った。

表 5.2 競技レベルの分類

被験者	競技レベルの分類	主な競技成績
C	上位層	北信越学生卓球選手権大会 優勝 全日本大学総合卓球選手権大会 (団体の部) 主力メンバー
D		
G		
L		
B	中位層	北信越学生卓球選手権大会 入賞 北信越学生卓球選手権大会 上位進出
E		
H		
J		
M	下位層	北信越学生卓球選手権大会 出場
F		
I		
K		
N		
O		

### (3) データ収集及び解析

本研究におけるデータの集計および解析には、Microsoft Excel 2019 を使用した。

#### (4) 倫理的配慮

被験者には、本研究の趣旨を事前に説明し、実験参加について同意を得た。また、本研究は、新潟大学研究倫理委員会の承認を得た（承認番号：2020-0327）。

## 5.3 結果

### 5.3.1 試合中の配球の頻度

被験者 A を対象に 14 名と試合を行った結果、12 勝 2 敗で取得したゲーム数は 40、取得されたゲーム数は 15 であった（表 5.3）。また、被験者 A が試合中におけるサービスを除く配球の組み合わせの頻度を表 5.4 に示した。被験者 A は 2→3（ $n=123$ , 9.76%）、3→2（ $n=151$ , 11.98%）、3→3（ $n=131$ , 10.40%）、5→3（ $n=155$ , 12.30%）の配球が多い結果となった。

表 5.3 試合結果

	3	-	2	C	
	2	-	3	D	上位層
	3	-	0	G	
	2	-	3	L	
	3	-	1	B	
	3	-	0	E	
	3	-	1	H	中位層
	3	-	1	J	
	3	-	2	M	
	3	-	0	F	
	3	-	2	I	
	3	-	0	K	下位層
	3	-	0	N	
	3	-	0	O	

表 5.4 被検者 A の配球

配球	1→1	1→2	1→3	1→4	1→5	1→6	2→1	2→2	2→3	2→4	2→5	2→6
度数	20	44	35	2	0	1	50	85	123	1	7	3
使用率 (%)	1.59	3.49	2.78	0.16	0.00	0.08	3.97	6.75	9.76	0.08	0.56	0.24
配球	3→1	3→2	3→3	3→4	3→5	3→6	4→1	4→2	4→3	4→4	4→5	4→6
度数	57	151	131	0	17	2	19	19	27	1	15	2
使用率 (%)	4.52	11.98	10.40	0.00	1.35	0.16	1.51	1.51	2.14	0.08	1.19	0.16
配球	5→1	5→2	5→3	5→4	5→5	5→6	6→1	6→2	6→3	6→4	6→5	6→6
度数	37	99	155	4	43	7	10	37	40	4	11	1
使用率 (%)	2.94	7.86	12.30	0.32	3.41	0.56	0.79	2.94	3.17	0.32	0.87	0.08

### 5.3.2 ABC 分析

各配球における度数と累計構成比，ランクを表 5.5 に示す．A ランクにおいては，上位に 3→3（総数 131，得点 94，失点 37），2→3（総数 123，得点 82，失点 41），3→2（総数 151，得点 95，失点 56）が分類され，全体の約 3 割を占めていた．B ランクにおいては，エリア 4 から相手コートの高いエリアへの配球である 4-1（総数 19，得点 13，失点 6），4-3（総数 27，得点 17，失点 10），4-2（総数 19，得点 17，失点 7）が分類された．C ランクにおいては，得点した際のラリーにおける配球の組み合わせ度数と失点した際のラリーにおける配球の組み合わせ度数が同数の配球である 1-2（総数 44，得点 22，失点 22）もしくは，失点した際のラリーにおける配球の組み合わせ度数の方が上回っていた配球である 6-1（総数 10，得点 4，失点 6），6-3（総数 40，得点 18，失点 22）が分類された．

表 5.5 ABC 分析結果

配球	総数	得点	失点	累計構成比 (%)	ABC分析
3→3	131	94	37	11.74	A
2→3	123	82	41	20.45	A
3→2	151	95	56	28.79	A
5→2	99	65	34	35.61	A
3→1	57	43	14	42.05	A
5→3	155	91	64	48.11	A
2→1	50	36	14	53.22	A
5→1	37	27	10	57.39	A
1→3	35	24	11	60.80	A
2→2	85	49	36	64.20	A
6→2	37	24	13	67.23	A
4→5	15	12	3	69.89	A
1→1	20	14	6	72.35	B
4→1	19	13	6	74.62	B
4→3	27	17	10	76.89	B
5→5	43	25	18	79.17	B
4→2	19	12	7	81.06	B
6→5	11	8	3	82.95	B
2→5	7	5	2	84.47	B
5→6	7	5	2	85.98	B
2→4	1	1	0	87.12	B
2→6	3	2	1	88.26	B
3→5	17	9	8	89.39	B
4→4	1	1	0	90.53	C
1→2	44	22	22	91.48	C
1→4	2	1	1	92.42	C
1→5	0	0	0	93.37	C
3→4	0	0	0	94.32	C
3→6	2	1	1	95.27	C
5→4	4	2	2	96.21	C
6→4	4	2	2	97.16	C
1→6	1	0	1	97.92	C
6→6	1	0	1	98.67	C
4→6	2	0	2	99.24	C
6→1	10	4	6	99.81	C
6→3	40	18	22	100	C

### 5.3.3 コレスポネンス分析

14 試合全ての配球の組み合わせを集計したデータ（以下、「全配球データ」とする）と 14 試合の得点した際の配球の組み合わせを集計したデータ（以下、「決定打データ」とする）を競技力別 3 つの層（上位層，中位層，下位層）に分類したクロス集計表にまとめ，コレスポネンス分析によって得られた 2 次元マップを示した。尚，各配球データに 0 が含まれている配球データは分析が困難であるため除外して分析を行った。

全配球データの 2 次元マップ（図 5.2）における 1 次元の寄与率は 0.64，2 次元の寄与率は 1.00 であった。上位層において 1→1 が近く，中位層においては 1→2 が近く，下位層においては 5→1 が近い結果となった。

決定打データの 2 次元マップ（図 5.3）における 1 次元の寄与率は 0.66，2 次元の寄与率は 1.00 であった。上位層において 2→1 が近く，中位層においては 1→2 や 2→2 が近く，下位層においては 3→1 が近い結果となった。

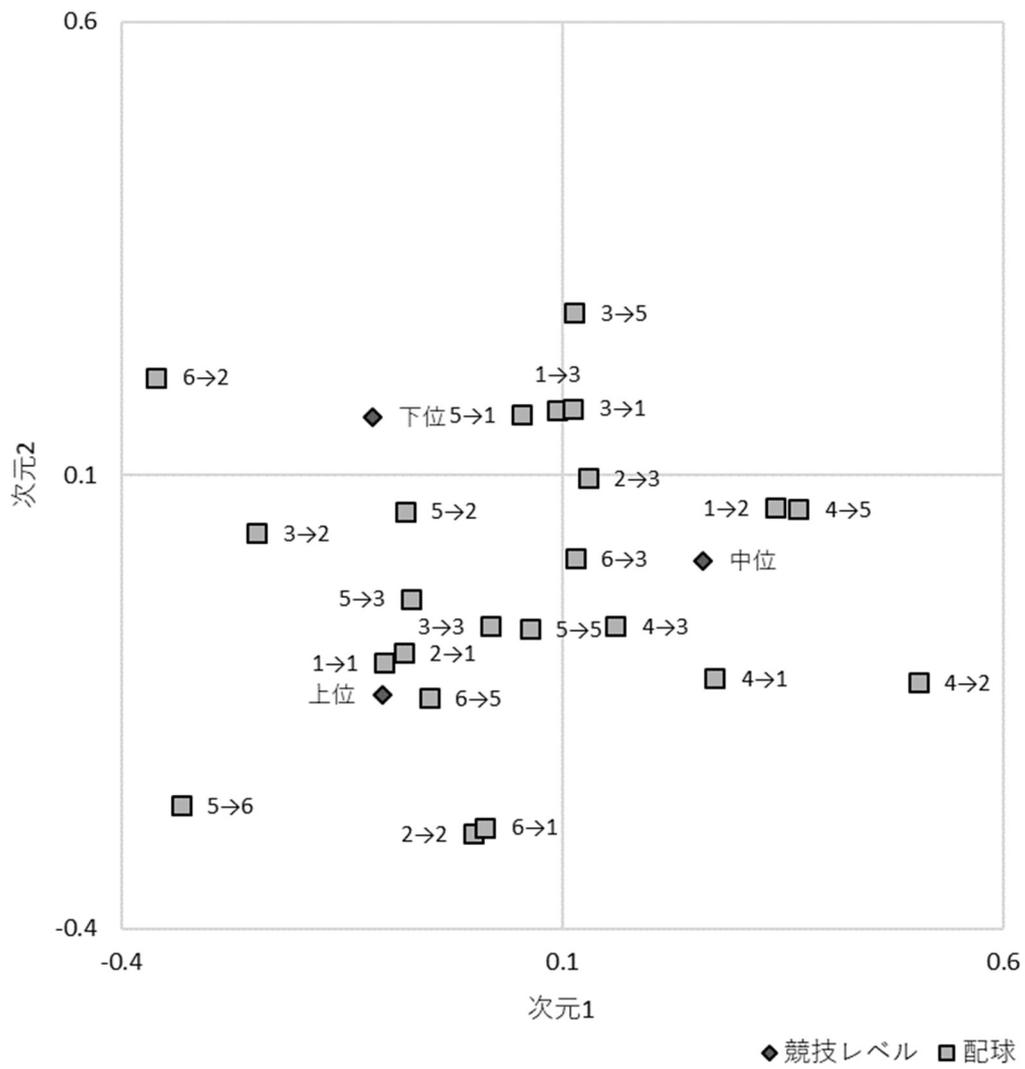


図 5.2 全配球データから得られた 2 次元マップ

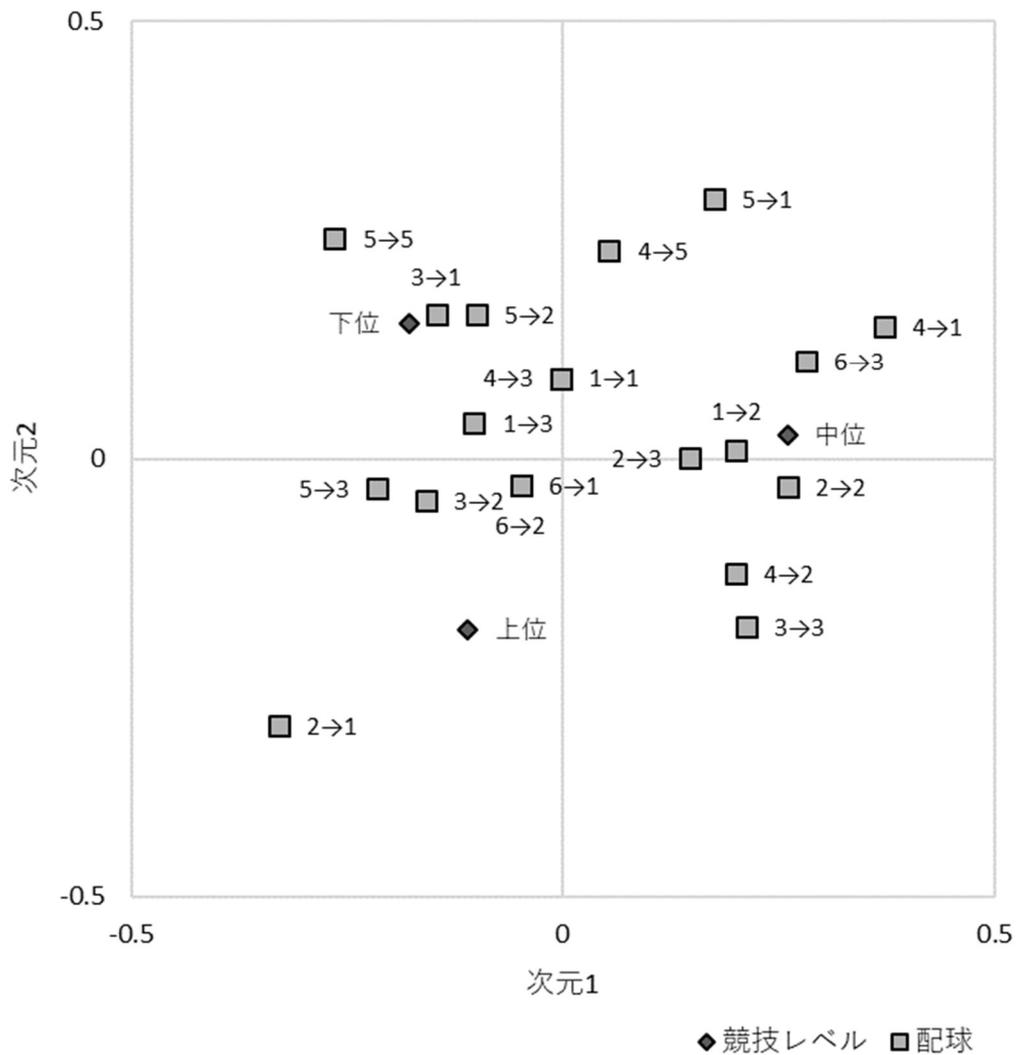


図 5.3 決定打データから得られた 2 次元マップ

## 5.4 考察

### 5.4.1 試合中の配球の頻度

被験者 A が試合中におけるサービスを除く配球の組み合わせにおいて、2→3 (n=123, 9.76%), 3→2 (n=151, 11.98%), 3→3 (n=131, 10.40%) が多く、これらは右利き選手同士の試合においてバッククロスへの返球(卓球台左側から対角線に返球)である。また、5→3 (n=155, 12.30%) が多く、これはネット際の中央エリアから右利き選手のバックサ

イドの深いエリアへの配球である。このことから、被験者 A が右利き攻撃型選手と対戦する際に、バッククロスへの配球が多いという傾向が明らかとなり、被験者 A に適した練習メニューの立案や試合中のアドバイスに役立てることができると考えられる。

#### 5.4.2 本研究で適用した分析方法の検討

本研究では、卓球競技における得点に影響する配球の分析方法について検討を行った。ABC 分析では、得点した際のラリーにおける配球の組み合わせ度数から失点した際のラリーにおける配球の組み合わせ度数を引いた数値を累計得点とし、累計構成比を算出した。累計構成比は 0%~70%以下となる要因を A ランク, 71%~90%以下を B ランク, 91%~100%を C ランクに分類したため、A ランクに分類された配球の組み合わせは極めて得点に影響のある配球, B ランクに分類された配球の組み合わせは A ランクに分類された配球ほどではないが、得点に影響のある配球, C ランクに分類された配球の組み合わせはほとんど得点に影響がない配球として評価した (表 5)。

コレスポンデンス分析では、配球の組み合わせ度数を競技レベル別 3 つの層 (上位層, 中位層, 下位層) に分類して集約し、クロス集計表を作成した。次に、クロス集計表を用いてコレスポンデンス分析を行い、2次元マップを作成した。全配球データの 2次元マップ (図 2) における 1次元の寄与率は 0.64, 2次元の寄与率は 1.00, 決定打データの 2次元マップ (図 3) における 1次元の寄与率は 0.66, 2次元の寄与率は 1.00 であったことから、関係性が強いと判断できた。競技レベル別の各層の近くにプロットされた配球の組み合わせは、その層が頻繁に使用する配球として視覚的に解釈することができた。全配球データでは、得失点に関わらず各層が試合中に頻繁に使用する配球の傾向が明らかとなる。また、決定打データでは、得点した際の配球の違いが明らかとなる。

本研究で採用した分析方法の結果から、得点に影響する配球の客観的データが得られた。実際にコーチが選手に対してアドバイスをする際は、配球に関するアドバイスをすることが多いため、本研究で適用した分析方法から得られた結果は、アドバイスを行う際の一助になると考えられる。しかし、本研究では自分のコートと相手のコートのボール落下エリアを結んだ配球の組み合わせを採用して分析を行っているため、ボールのスピードや回転量、回

転方向、使用技術、得点が自身の良いプレーが要因なのか、相手選手のミスなのか等の要素は含まれていない。したがって、ボールのスピードや回転量、回転方向等の要素で得点や失点した場合でも配球の情報として結果が表れてしまうため、誤ったアドバイスを行ってしまう可能性が考えられる。そのため、配球に特化した分析結果であることを考慮して試合を評価したり、コーチは選手にアドバイスを رفتたりする必要がある。

### 5.4.3 ABC 分析の結果から得られた具体的な戦術やアドバイス

3→3, 2→3, 3→2 の3つが A ランクの上位で、全体の約 3 割を占めており、得点が失点を大幅に上回っている配球の組み合わせであることから、得点に影響のある配球であることが明らかとなった。また、3→3, 2→3, 3→2 は、右利き選手同士の試合においてバッククロスへの配球（卓球台左側から対角線に返球）である。高島は、近年では、バックハンドを主戦武器としている選手が多くなっていると述べており [56]、バックハンドを使用したバックサイドでのラリーが主流になってきていることから、強い選手に勝つためには更なる強化が必要であることが示唆された。

B ランクにおいては、得点した際のラリーにおける配球の組み合わせ度数が失点した際のラリーにおける配球の組み合わせ度数をわずかに上回る配球が分類されており、対象とする試合によっては A ランクや C ランクに分類される可能性がある。A ランクに分類されている配球の組み合わせの中に、相手のネット際への配球が少なく、B ランクに分類されている配球の組み合わせの中に相手のネット際への配球が多いことから、台上技術の強化が必要であることが示唆された。

C ランクにおいては、度数が少ない配球の組み合わせが多い中で、1→2, 6→3 は 40 以上であった。1→2 は被験者 A のフォアサイドの深いエリアから相手の中央エリアへ深い配球であり、クロスやストレートへの配球ではなく恣意的に返球してしまった可能性が考えられる。被験者 A のエリア 1 から相手コートエリア 1 (1→1) やエリア 3 (1→3) への配球は A ランクに分類されていることから、被験者 A がエリア 1 から返球する際には、相手コートの中央へ深い返球を減らした方が良くと考えられた。6→3 の配球を含むエリア 6 からの配球の 6 つ中 5 つが B ランクもしくは C ランクに分類されていることから、被験者 A の

苦手なコースであることが考えられた。

以上のことから、A ランクに分類された配球の組み合わせは、試合で有効な配球として選手や監督が把握しておくことで、試合中の戦術立案や変更を活用可能であることが示唆された。また、B ランクや C ランクに分類された配球の組み合わせは、試合中にあまり有効ではなかった配球として練習メニュー立案に活用可能であることが示唆された。

#### 5.4.4 コレスポネンス分析の結果から得られた具体的な戦術やアドバイス

全配球データの 2 次元マップでは、被験者 A が競技力別に分けられた各層の対戦相手の被験者に対する配球の傾向が明らかとなった。上位層との対戦において、1→1 が近くにプロットされており、関係性が強いことが明らかとなった。1→1 は被験者 A のフォアサイドの深いエリアから対戦相手のフォアサイドの深いエリアへの配球である。被験者 A はバックサイドでのラリーが多く、得点も多いため、フォアサイドに送球されたボールを相手のバックサイドに返球をすることで、再び被験者 A の得意なバックサイドのラリーになりやすい。しかし、競技力が高い選手は対戦相手の傾向や戦術を把握し、対策を立てることに長けているため、最初から最後まで同じパターンで得点することは困難である。そこで、被験者 A は相手のフォアサイドへの配球を見せることで、得意なバックサイドのラリーが更に効果的になることが考えられる。中位層との対戦において、1→2 が近くにプロットされており、関係性が強いことが明らかとなった。1→2 は被験者 A のフォアサイドの深いエリアから対戦相手の中央の深いエリアへの配球である。被験者 A の得意なバックサイドのラリーにするために、フォアサイドに送球されたボールを対戦相手のバックサイドに返球するパターンと、対戦相手の中央へ深い返球をするパターンをうまく混ぜて得点していたことが考えられた。下位層との対戦において、5→1 が近くにプロットされており、関係性が強いことが明らかとなった。5→1 は被験者 A のネット際中央エリアから対戦相手のフォアサイドの深いエリアへの配球である。ネット際からの返球である台上技術は、ネットが近いことから強打しづらいコースとされており、ボールの速度はスマッシュやドライブに比べて遅くなってしまう。ボールの速度が比較的遅い台上技術を安易に相手の強打がしやすいフォアサイドに返球してしまうことは避けなければならない。しかし、対戦相手の競技力が低か

ったり、フォアハンドに威力がなかったりする場合は、フォアサイドへの返球は問題ない。被験者 A は下位層の対戦相手の競技力を考慮し、5→1 への配球を他の層の対戦相手より多く使用して戦術を組み立てたと考えられた。

決定打データの 2 次元マップでは、被験者 A が競技力別に分けられた各層の対戦相手の被験者に対する得点した際の配球の傾向が明らかとなった。上位層との対戦において、2→1 が他の層より近くにプロットされており、関係性が強いことが明らかとなった。2→1 は被験者 A の中央の深いエリアから対戦相手のフォアサイドの深いエリアへの配球である。被験者 A はバックサイドでのラリーが多く得点も多いため、対戦相手はバックサイドを警戒することが考えられる。そこで、バックサイドではなくフォアサイドに返球することで得点に結びつけていると考えられた。中位層との対戦において、1→2 や 2→2 が近くにプロットされており、関係性が強いことが明らかとなった。1→2 や 2→2 は被験者 A の中央もしくはフォアサイドの深いエリアから対戦相手の中央の深いエリアへの配球である。右利きシェークハンド攻撃型選手において、フォアハンドとバックハンドの切り替えの境目であるミドルへの攻撃は有効である。高島はシェークハンドの弱点は、やはりミドルであると述べている [57]。被験者 A は対戦相手のフォアサイドやバックサイドの深いエリアへ返球していたことから、中央の深いエリアへの返球で得点に結びつけていたことが考えられた。下位層との対戦において、3→1 が近くにプロットされており、関係性が強いことが明らかとなった。3→1 は被験者 A のバックサイドの深いエリアから対戦相手のフォアサイドの深いエリアへの配球である。この配球は難易度が高く難しい配球であるが、下位層の対戦相手であるという心理的余裕から他の層の対戦相手より多用することができ、得点に結びつけていたことが考えられた。

全配球データの 2 次元マップと決定打データの 2 次元マップでは、共に 2→1 が上位層の近くにプロットされているため、上位層は使用頻度が高く、決定打にもなっている。全配球データの 2 次元マップでは、やや原点寄りにプロットされているが、決定打データの 2 次元マップでは、明らかに中位層・下位層から離れているところにプロットされているため、上位層より中位層・下位層は 2→1 への配球で得点に結びつけることができていると考えられた。

以上のことから、競技力が低い対戦相手には有効な決定打だが、競技力が高い対戦相手に

は有効ではないということが明らかになれば、選手の技術力の把握に役立てることができ  
る。また、競技力が高い対戦相手に対して有効な配球は競技力が低い対戦相手にも有効である  
可能性があるため、選手が把握していなかった新たな有効な戦術の発見に活用可能である  
ことが示唆された。

## 5. 本研究の限界

本研究では、被験者1名を対象に14名との試合における得点に影響する配球の分析であ  
ったことから、データ数が少なく、競技力に差があり勝敗に偏りがあったと言える。また、  
ボールのスピードや回転量、回転方向、使用技術、得点が自身の良いプレーが要因なのか、  
相手選手のミスなのか等の要素は含まれていないため、誤ったアドバイスをってしまう  
可能性が考えられる。しかし、これまであまり行われてこなかった配球の分析方法を検討し、  
分析結果を用いて試合を評価したり、コーチが選手にアドバイスをしたりする際の一助  
になることが明らかになったという点においては、有用な情報となり得る。今後は回転方向  
や打法といった目視で判別できる要素を加えて分析を行うことで、詳細な分析が可能であ  
ると考えられる。また、様々な戦型を対象とした分析を行うことができれば、戦型の違いに  
よる配球の違いが明らかになると考えられた。

## 5.5 まとめ

本研究では、マーケティング分野で用いられている分析方法で、試合中の得点に影響する  
配球を明らかにし、選手へのアドバイスや練習メニューの立案に活用可能か検討するこ  
とを目的とした。

ABC分析では、対象とした選手における得点に影響のある配球と課題である配球が明ら  
かとなり、戦術変更や練習メニュー立案に活用可能であることが示唆された。コレスポンデ  
ンス分析では、配球データから得られた2次元マップを作成し、対戦相手に対して関係性  
が強い配球が視覚的に把握できることが明らかとなった。

今後の課題は、回転方向や打法等の要素を加えて分析を行い、詳細な試合の分析を行うこ  
とが可能か検証していくことが望まれる。

## 第 6 章 結論

## 6.1 本研究のまとめ

競技スポーツにおいて、試合を分析・評価することは競技力の向上において重要とされている。卓球競技においても様々なゲーム分析に関する研究が行われているが、競技現場で指導者が選手にアドバイスする際に多く用いられている配球に関する研究はあまり進められておらず、指導者の主観に頼ったコーチングが行われている。本研究では、試合中における配球を様々な分析手法を用いて評価を行い、配球に関する客観的データとして競技力の向上に役立てることができるか検討を行った。

第3章の配球の規則性に関する研究では、時系列の座標データを自己相関分析することで、ラリーや配球パターンに規則性が存在するか判断することが可能であることが明らかになった。具体的には、左右の配球に着目したラリーの規則性で正の相関が認められた場合、深さに関係なくストレートの配球が多いラリーであり、負の相関が認められた場合、深さに関係なくクロスラリーが行われていることがわかった。左右の配球に着目した各選手の配球・サービスコース・レシーブコースの規則性で正の相関が認められた場合、深さに関係なく「フォア・フォア・フォア⇄バック・バック・バック」のように一方のコースに連続で配球した後、もう一方のコースに連続の配球であり、負の相関が認められた場合、深さに関係なく左右交互に配球したことがわかった。深さの配球に着目した各選手の配球・サービスコース・レシーブコースの規則性で正の相関が認められた場合、左右に関係なく「浅い・浅い・浅い⇄深い・深い・深い」のように一方の深さのコースに連続で配球した後、もう一方の深さのコースに連続の配球であり、負の相関が認められた場合、左右に関係なく「浅い⇄深い」を交互に配球したことがわかった。3試合から見られた結果、強い相関が認められたラリーや配球パターンは、すべて負の相関であった。正の相関が認められたラリーや配球がなかった理由として、ストレートの配球が多いラリーではないと正の相関が出にくいからではないかと考えられる。攻撃型選手同士の試合のようにラリー回数が少ない場合、自己相関分析をした際に正の相関は出にくいと考えられた。このように、規則的なラリーや配球パターンが明らかになることによって、選手の配球の特徴をつかむことが可能であり、指導者が選手にアドバイスをする際には更に詳細な情報が必要である。

そこで、第4章の配球の傾向に関する研究では、ボール落下位置座標データをボール落

下位置エリアに変換し、エリア番号の数字を2つずつの組み合わせ（ルール）と捉え、アソシエーション分析を行った結果、各選手の試合時の配球の傾向が明らかになった。本研究では、被験者 A を対象に 4 名の被験者との試合を実施し、各試合における選手の配球の傾向と、被験者 A の 4 試合分のデータを集約して分析を行うことで、被験者 A の右利き両面裏ソフトラバー使用ドライブ攻撃型に対する配球の傾向が明らかになった。配球の特徴は、選手が意図的に配球している場合と無意識に配球している場合があり、本研究の結果は自身の配球の傾向を確認できる客観的データとして有用である。また、本研究で得られた配球に関する客観的データを指導者と選手が確認することで、両者の認識の相違は少なくなり、配球に関する適切なアドバイスをを行うための一助となるだろう。

2001 年に 1 ゲーム 21 点制から 11 点制にルールが変更となり、ゲームの序盤に失点を重ねてしまうとそのゲームを逆転することは困難になった。そのため、最初から最後まで有効な戦術を選択して試合を進める必要がある。そこで、第 5 章の得点に影響のある配球に関する研究では、試合中の得点に影響する配球を明らかにし、選手へのアドバイスや練習メニューの立案に活用可能か検討することを目的とした。ABC 分析では、得点した際のラリーにおける配球の組み合わせ度数から失点した際のラリーにおける配球の組み合わせ度数を引いた数値を累計得点とし、3 つにクラス分けをした。A ランクに分類された配球の組み合わせは極めて得点に影響のある配球、B ランクに分類された配球の組み合わせは A ランクに分類された配球ほどではないが、得点に影響のある配球、C ランクに分類された配球の組み合わせはほとんど得点に影響がない配球として評価した。具体的には、3→3、2→3、3→2（すべてコート左側の深いコースから対角線のコースへの配球）の 3 つが A ランクの上位で、全体の約 3 割を占めており、得点が失点を大幅に上回っている配球の組み合わせであることから、得点に影響のある配球であることが明らかとなった。対象とした選手における得点に影響のある配球と課題である配球が明らかとなり、戦術変更や練習メニュー立案に活用可能であることが示唆された。コレスポネンズ分析では、配球の組み合わせ度数を競技レベル別 3 つの層（上位層、中位層、下位層）に分類して集約し、クロス集計表を作成した。次に、クロス集計表を用いてコレスポネンズ分析を行い、2 次元マップを作成した。競技レベル別の各層の近くにプロットされた配球の組み合わせは、その層が頻繁に使用される配球として視覚的に解釈することができる。全配球データでは、得失点に関わらず各層が

試合中に頻繁に使用する配球の傾向が明らかとなり、決定打データでは、得点した際の配球の違いが明らかとなる。具体的には、上位層との対戦においては、被験者 A のフォアサイドの深いエリアから対戦相手のフォアサイドの深いエリアへの配球である 1→1 が近くにプロットされており、関係性が強いことが明らかとなった。中位層との対戦においては、被験者 A のフォアサイドの深いエリアから対戦相手の中央の深いエリアへの配球である 1→2 が近くにプロットされており、関係性が強いことが明らかとなった。下位層との対戦においては、被験者 A のネット際中央エリアから対戦相手のフォアサイドの深いエリアへの配球である 5→1 が近くにプロットされており、関係性が強いことが明らかとなった。

これまで、競技現場で指導者がコーチにアドバイスする際に多く用いられている配球の研究はあまり進められておらず、ゲーム分析においては、度数や比率等の基礎統計量を考察する研究がほとんどであった。本研究では、他分野で用いられる分析手法を用いて評価することで、配球の規則性や傾向、得点に影響のある配球を明らかにすることが可能となった。また、即時的なデータ収集が可能な「超音波センサを用いた配球分析システム」を活用することで、指導者が選手にアドバイスする際に多く用いられている配球に関する客観的データを短時間で提供することが可能となった。

本研究で用いた分析手法は、同じラケットスポーツであるテニス競技やバドミントン競技に応用が可能であり、卓球競技と同様、競技力向上や練習メニュー立案に貢献できることが示唆された。

## 6.2 今後の課題

本研究において、ボールのスピードや回転量、回転方向、使用技術、得点が自身の良いプレーが要因なのか、相手選手のミスなのか等の要素は含まれていない。今後は、回転方向や打法といった目視で判別できる要素を加えて分析を行うことで、詳細な分析が可能であると考えられる。また、本研究は被験者を右利き攻撃型選手を対象に試合データを収集したが、様々な戦型を対象とした分析を行うことができれば、戦型の違いによる配球の違いが明らかになると考えられる。

また、本研究で得られた成果を集約したゲーム分析システムの開発がなされれば、選手の試合中における配球の詳細な分析結果を得ることができる。更には、指導者や選手が操作しやすく視覚的に理解しやすいアプリケーションを開発することで、競技現場で客観的データを用いた指導や練習メニューの立案が可能となる。得られた客観的データを保存して、いつでも振り返ることができるシステムを構築することができれば、チームでデータを共有したり、移動中等の空いた時間に活用したりして競技力向上に貢献することができると考えられた。

## 謝辞

本研究は、著者が新潟大学大学院現代社会文化研究科博士後期課程在学中に、同大学人文社会科学・牛山幸彦教授の指導のもとに行ったものです。

本研究を行うにあたり、常に親身にご指導いただいた牛山幸彦教授に感謝の意を表します。他大学から新潟大学大学院に進学した著者を温かく迎えてくださり、素晴らしい研究環境の中で大学院生活を送ることができました。また、研究のみならず教育やコーチング等、様々な経験をする機会を作ってください大きく成長することができました。本当にありがとうございました。

本論文をまとめるにあたり、副指導教員の大庭昌昭教授、村山敏夫准教授には貴重な御意見や御助言を頂きまして、心より感謝申し上げます。

さらに、牛山研究室の皆様には研究の相談やサポートをしていただき充実した大学院生活を送ることができました。学友会卓球部の皆様には実験の協力をしていただいたお陰で本研究が成立しました。新大クラブの保護者の方々や子どもたちにはいつも応援していただき心の支えとなりました。本当にありがとうございました。

最後に、長きにわたり著者を応援してくれた家族に感謝の意を表します。

2023年3月 塩入彬允

## 参考文献

### 第1章

- [1] 新村出 編, 『広辞苑』, 第7版, 岩波書店, 2018
- [2] 日本体育学会 編, 『最新スポーツ科学事典』, 平凡社, 2006
- [3] 文部科学省, スポーツ基本法,  
[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/sports/kihonhou/attach/1307658.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/sports/kihonhou/attach/1307658.htm)
- [4] 文部科学省, スポーツ基本計画,  
[https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/sports/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2012/04/02/1319359\\_3\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/sports/detail/_icsFiles/afieldfile/2012/04/02/1319359_3_1.pdf)
- [5] 文部科学省, 第2期スポーツ基本計画,  
[https://www.mext.go.jp/sports/content/1383656\\_002.pdf](https://www.mext.go.jp/sports/content/1383656_002.pdf)
- [6] 文部科学省, 第3期スポーツ基本計画,  
[https://www.mext.go.jp/sports/content/000021299\\_20220316\\_3.pdf](https://www.mext.go.jp/sports/content/000021299_20220316_3.pdf)
- [7] 高橋健夫「これからの体育授業と教材研究のあり方」, 体育科教育, 41 (3) : 18-21, 1993
- [8] 日本コーチング学会編, 『球技のコーチング学』, 大修館書店, 2019
- [9] 文部科学省, 中学校学習指導要領,  
[https://www.mext.go.jp/content/1413522\\_002.pdf](https://www.mext.go.jp/content/1413522_002.pdf)
- [10] 文部科学省, 高等学校学習指導要領,  
[https://www.mext.go.jp/content/1384661\\_6\\_1\\_3.pdf](https://www.mext.go.jp/content/1384661_6_1_3.pdf)
- [11] 日本コーチング学会 編, 『コーチング学への招待』, 大修館書店, 2017
- [12] 高島規郎, 『卓球戦術ノート』, 卓球王国ブックス, 2001
- [13] International table tennis federation, The transition from celluloid to plastic balls,  
<https://www.ittf.com/2020/01/28/transition-celluloid-plastic-balls/>
- [14][11]参照
- [15][2]参照
- [16][8]参照
- [17] 荻村伊智朗, 『世界の選手に見る卓球の戦術・技術』, 卓球レポート編集部, 2002

- [18]高島規郎, 『続 卓球戦術ノート』, 株式会社卓球王国, 2012
- [19][18]参照
- [20]公益財団法人 日本卓球協会, 「2017-2018 強化指導指針」, 公益財団法人 日本卓球協会, 2018
- [21]ピーター・オドノヒュー, 『スポーツパフォーマンス分析入門』, 大修館書店, 2020
- [22]渡辺啓太, 『なぜ全日本女子バレーは世界と互角に戦えるのか 勝利をつかむデータ分析術 バレーボールの観戦力が高まる!!』, 東邦出版, 2012
- [23][8]参照
- [24][20]参照
- [25]Michael Fuchs, Ruizhi Liu, Ivan Malagoli Lanzoni, Goran Munivrana, Gunter Straub, Sho Tamaki, Kazuto Yoshida, Hui Zhang & Martin Lames, 「Table tennis match analysis: a review」. JOURNAL OF SPORTS SCIENCES, 36(23): 2653-2662, 2018
- [26]油座信男, 佐々木潔, 高島規郎, 宮下充正, 「戦型別一流卓球選手の試合分析:その時間的・空間的特性と生態負担度」, 『日本体育学会大会号』, 34 巻, p.592, 1983
- [27]吉田和人, 「卓球のワールドクラスにおけるラリーの特徴: ラリー中の打球回数に着目して」, コーチング学研究, 第 28 巻, 第 1 号, pp.65-74, 2014

### 第 3 章

- [28]Hui, Z., Wei, L., Jun, H., Rui, L., 「Evaluation of elite table tennis players' technique effectiveness」. Journal of sports science 31(14), 1526-1534, 2013
- [29]Munivrana, G., Petrinović,L.Z., Kondrič, M., 「Structural Analysis of Technical-Tactical Elements in Table Tennis and their Role in Different Playing Zones」, Journal of Human Kinetics, volume 47, 197-214, 2015
- [30]竹内義則, 吉田和人, 「体育館天井に設置された一台のカメラによる卓球のゲーム分析」, スポーツ産業学研究, Vol.27, No.3, pp.265-275, 2017
- [31]玉城将, 斎藤英雄, 吉田和人, 山田耕司, 尾崎宏樹, 「卓球のパフォーマンス分析とビジョン技術」, ViEW2012 ビジョン技術の実利用ワークショップ, 2012

- [32]野中由紀, 安藤真太郎, 山田幸雄, 「卓球競技の世界トップレベル女子カット主戦型選手  
のゲームの特徴：使用技術に着目して」. 体育学研究, 62(1): 241-262, 2017
- [33]楊飛, 「卓球競技における配球パターンの分析法」, 新潟大学大学院現代社会文化研究  
科修士論文, 2019

## 第4章

- [34][11]参照
- [35]山田耕司, 吉田和人, 「卓球のサーブスレシブ, 及びサービスからの三球目の攻撃性  
についての主観的評価の相違」, スポーツ方法学研究, 第13巻, 第1号, pp.153-162,  
2000
- [36][11]参照
- [37]玉城将, 斎藤英雄, 「パフォーマンス分析への目的を応用した卓球ボールの3次元軌跡  
復元システム」, 精密工学会誌, 第79巻, 第11号, pp.1102-1109, 2013
- [38]上島慶, 伊藤健一, 牛山幸彦, 塩入彬允, 梶汗, 「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」, 新潟体育学研究, 第35巻, pp.17-28, 2017
- [39][33]参照
- [40]塩入彬允, 「超音波センサを用いた卓球ゲーム分析」, 新潟大学大学院現代社会文化研  
究科修士学位論文, 2018
- [41]加藤直樹, 羽室行信, 矢田勝俊, 『データマイニングとその応用』, 朝倉書店, 2018

## 第5章

- [42][8] 参照
- [43]公益財団法人日本卓球協会編, 『卓球コーチング教本』. 大修館書店, 2012
- [44]Michael Fuchs, Ruizhi Liu, Ivan Malagoli Lanzoni, Goran Munivrana, Gunter Straub,  
Sho Tamaki, Kazuto Yoshida, Hui Zhang & Martin Lames, 「Table tennis match analysis:  
a review」. JOURNAL OF SPORTS SCIENCES, 36(23): 2653-2662, 2018
- [45]Hui Zhang, Zheng Zhou and Qing Yang, 「Match analyses of table tennis in China: a

- systematic review」. JOURNAL OF SPORTS SCIENCES, 36(23): 2663-2674, 2018
- [46]上島慶, 「卓球競技における競技力向上のための技術および戦術に関する研究」. 平成25年度新潟大学大学院博士学位論文, 2014
- [47]上島慶, 牛山幸彦, 飯塚進柱, 関有季, 籠島隼介, 他4名, 「卓球競技の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, 29: 83-90, 2011
- [48]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, 53: 61-72, 2012
- [49]牛山幸彦, 玉木徹, 五十嵐久人, 橋本修, 「大学卓球選手におけるトップスピン量の測定」. 新潟大学教育人間科学部紀要, 5(2): 231-236, 2002
- [50]上島慶, 牛山幸彦, 八坂剛史, 大庭昌昭, 「卓球ボールの飛行中における回転数の変化について」. 新潟体育学研究, 32: 3-10, 2014
- [51]吉田和人, 山田耕司, 玉城将, 内藤久土, 加賀勝, 「卓球におけるワールドクラス選手のサービスの回転数」. 体育学研究, 59(1): 227-236, 2014
- [52]Ivan Malagoli Lanzoni, Rocco Di Michele, & Franco Merni, 「A notational analysis of shot characteristics in top-level table tennis players」. European Journal of Sports Science, 14(4): 309-317, 2014
- [53]塩入彬允, 「卓球ボール落下位置を用いた配球分析方法の検討」. 現代社会文化研究, 70: 1-13, 2020
- [54]生田目崇, 『マーケティングのための統計分析』. 株式会社オーム社, 2017
- [55]君山由良, 『コレスポンデンス分析の利用法—一般対応分析モデル—』. データ分析研究所: 北海道, 3-4, 2005
- [56]高島規郎, 『敗者を勝者に変える卓球戦術ノート』. 株式会社卓球王国, 2019
- [57]高島規郎, 『続卓球戦術ノート』. 株式会社卓球王国, 2012

