

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

2014年3月

新潟大学大学院  
現代社会文化研究科

上島 慶

# 目次

## 第 1 章 序論

1.1 研究背景-----	1
1.2 卓球競技について-----	5
1.3 本研究の構成-----	20

## 第 2 章 飛行特性について

2.1 緒言-----	23
2.2 システムの構成及び概要-----	24
2.3 プログラム作成-----	26
2.3.1 計測プログラム-----	28
2.3.2 解析プログラム-----	30
2.3.3 結果提示-----	33
2.4 有用性の検証-----	34
2.4.1 分析対象者-----	34
2.4.2 検証方法-----	35
2.5 結果と考察-----	36
2.5.1 選手 A と対戦者 O1-----	36
2.5.2 選手 A と対戦者 O2-----	37
2.5.3 選手 A と対戦者 O3-----	39
2.6 本章のまとめ-----	41

## 第 3 章 配球特性について

3.1 緒言-----	43
3.2 研究方法-----	44
3.2.1 計測システムの概要-----	44
3.2.2 実験条件-----	45
3.2.3 分析方法-----	47
3.3 実験結果-----	49
3.4 考察-----	51
3.5 本章のまとめ-----	58

## 第 4 章 回転特性について

4.1 緒言-----	59
4.2 バウンドによる回転数の変化-----	60
4.2.1 実験方法-----	60
4.2.2 結果と考察-----	62
4.3 飛行中における回転数の変化-----	66
4.3.1 実験方法-----	66
4.3.2 計測地点と計測条件-----	67
4.3.3 回転数の算出-----	68
4.3.4 分析方法-----	68
4.3.5 結果と考察-----	69
4.4 本章のまとめ-----	88

## 第 5 章 終章と今後の展望

5.1 本研究のまとめ-----	90
------------------	----

謝辞-----	94
---------	----

参考文献・参考資料-----	96
----------------	----

研究業績一覧-----	104
-------------	-----

# 第 1 章

## 序論

### 1. 1 研究背景

今日のスポーツは、政治や経済などの領域と同様にテレビや新聞などのメディアにおいて取り上げられない日はなく、スポーツの話題がニュースのトップになることも珍しくない。これほどまでにスポーツが繁栄した時代は過去にはなく、現代社会において人々が生涯にわたりスポーツに親しむことは大きな意義を有していることを表している。

#### (1) スポーツの文化と役割

「スポーツ (sport)」という語の語源は、最新スポーツ大辞典によれば、もともと中世ラテン語の *deportare* (デポルターレ) で、後に古代フランス語の *desport* (デスポール) を経て 16 世紀に *sporte* あるいは *sport* と省略され、19 世紀から 20 世紀にかけて国際的に用いられるようになった英語であるとされている[1]。本来の語には、娯楽や気晴らしといった意味があり、「スポーツ」は、気晴らしや娯楽を楽しむために存在していた。つまり、「スポーツ」の本質は遊びであると言える。

「スポーツ」に関する研究は、これまで数多くされており、「スポーツ」の定義は数多く存在する。ICSPE (国際スポーツ・体育評議会) は、「スポーツ」は、プレイ (遊び) の性格をもち、自己または他者との競争あるいは自然の障害との対決を含む運動と述べている。また、ベルナルド・ジレは、「スポーツ」を遊戯、闘争、および激しい肉体活動の 3 つから複合されたものと定義している[2]。さらに、ノルベルト・エリアスは、「スポーツ」は、歴史に生じてできた非暴力化 (文明化) の傾向を、直接身体で表象する実践の形式と説いている[3]。このように「スポーツ」が固定的な定義をもたないのは、「スポーツ」がわれわれ人間の身体をとまなう最も身近な文化であるがゆえに、社会や環境の変化に応じてスポーツの果たすべき役割も変化してきているためであると考えられる。しかしながら、多くのスポーツ学者は、「スポーツ」を余暇における余剰身体エネルギーの消費 (浪費) と述べて

おり、「スポーツ」の定義は、いずれも遊びの領域であることが前提にされている[4].

現代におけるスポーツ文化の中心はボールゲームであり、スポーツ文化の近代化を特徴づけたのもボールゲームだと考えられている[5]. 日本における中央競技団体の登録者数を種目ごとにみると、個人登録者数が最も多い種目はサッカー（88万 8,916人）であり、以下バスケットボール（61万 6,839人）、ソフトテニス（46万 1,508人）、バレーボール（42万 9,830人）、卓球（30万 96人）の順で上位5位全てがボールを使用した競技である[6]. これらの近代スポーツは、いずれも欧州や米国で誕生しており、上級階級を中心に遊戯として発展してきたスポーツである.

近代スポーツが日本へ伝播したのは、富国強兵や殖産興業をスローガンに国家が近代化され始めた明治時代である[7][8][9]. 明治時代の教育は、富国強兵の路線に役立つ人間を作るところに主眼が置かれており、古くから武士としての使命を果たすための鍛錬を目的として行われてきた. そのため、日本古来の柔道や剣道、弓道などの武道は、心身鍛錬と不粗銅精神の涵養として体育で取り扱われており、日本へ伝播した近代スポーツも日本古来の伝統スポーツと混同されて富国強兵のための兵士育成としての役割を担い精神修養や教育効果が重んじられて体育へ取り入れられた[10][11][12][13]. これらの背景から日本におけるスポーツは、本来の意味を継承したレジャーと教育を目的とした体育という二重構造をもっており、スポーツと体育の両者の関係は、欧米の場合はスポーツ>体育>教育という図式であることに対し、日本では教育>体育>スポーツという図式でとらえられてきている[14]. つまり、日本におけるスポーツは、欧米と比較すると教育的側面が強い傾向にあるといえる. スポーツと学校体育の取り扱いも国々によって異なっており、フランスやイギリス、オーストラリアでは、スポーツと学校体育で所管が区別されているのに対し、日本では教育を司る文部科学省（以下、文科省）が学校体育とスポーツの双方を所管している[15].

文科省は、「スポーツは、世界共通の人類の文化である」とし、スポーツに関する施策の基本事項を定めるスポーツ基本法（平成23年施行）の前文において、スポーツの果たす役割を次のように述べている. 「スポーツは、『こころ』と『からだ』の健全な発達を促し、体を動かすという人間の本源的な欲求に応え、爽快感、達成感、他者との連帯感等の精神的充足や楽しさや喜びをもたらし、明るく豊かで活力に満ちた社会の形成に寄与する. ま

た、スポーツは、青少年の心身の健全な発達に資すると共に、スポーツを通じた交流は、地域社会の再生につながる。さらに、スポーツ産業の広がり、我が国の経済的効果を生み、スポーツの国際交流は、国際的な友好と親善に加え、国際的地位の向上に資する[16].」この前文が正に現代におけるスポーツの役割そのものであると考えられている。

現代のスポーツは、本質を継承しながらも社会、政治、教育、医療、福祉等のあらゆる領域で多くの効果が期待されているため、多くの国々でスポーツに関する施策が行われおり、日本においても時代の流れに応じたスポーツ推進に対する取り組みが国家政策として行われている。

## (2) スポーツ推進と競技力向上

日本におけるスポーツの基本的な事項は、前述したようにスポーツ基本法に定められている。この法律は、昭和36年に定められたスポーツ振興法が半世紀ぶりに全面改正されたものである。日本では、スポーツ基本法が策定されるまで「スポーツ振興」という言葉が使用されてきたが、スポーツ基本法では、スポーツの振興をさらに推し進めていくという意味合いで「スポーツ推進」という言葉に改められている。本研究は、今後のスポーツ推進に貢献するものであるため、本研究においても「スポーツ推進」という言葉を用いる。

スポーツ基本計画には、スポーツ基本法に基づいて10年程度を見通した基本方針を定めるとともに、平成24年度から平成29年度までの5年間における具体的なスポーツ推進のための政策が示されている[17]。この計画の内容は、平成22年に策定された「スポーツ立国戦略」の内容を引き継ぐものであり、「子どものスポーツ機会の充実」、「ライフステージに応じたスポーツ活動の推進」、「住民が主体的に参画する地域のスポーツ環境の整備」、「国際競技力の向上」、「国際交流・貢献の推進」、「スポーツ界の透明性、公平・公正性の向上」の6つが具体政策としてあげられている。スポーツの関わり方には、「するスポーツ」、「みるスポーツ」、「支えるスポーツ」の3つに分類される[18][19][20]。「みるスポーツ」は、文献によって「観るスポーツ」あるいは「見るスポーツ」と表現されているが、本研究では、トップアスリートが国際大会やプロスポーツで「魅せる」競技を会場で観戦・観賞することや、テレビなどのメディアを通じて競技を「見る」ことなどを総じて「みるスポーツ」と表現している。「するスポーツ」は、健康の保持・増進を目的とした「健康スポーツ」

と、競技力の向上を目的とした「競技スポーツ」の2つに大きく大別されるが、文科省は、競技スポーツにおける国際競技力向上がスポーツ推進の重要な役を担うとして、競技スポーツに関する取り組みを示している。文科省は、スポーツ基本計画で打ち出した政策を実現させるために、スポーツの3つの関わり方から、「する人」、「みる人」、「支える人」の好循環を重要視している。「する人」、「みる人」、「支える人」の好循環とは、国内におけるトップアスリートが国際競争力を高め、国際競技大会などで活躍することで「みる人」のスポーツに対する関心を高め、「する人」の裾野を拡大させるというものである。また、国内で強化されたトップアスリートがこれまで培ってきた高度な技術を活用して地域スポーツクラブで指導を行うことで、新たなトップアスリートの育成と地域スポーツの活性化を促すことも期待されている。

スポーツ推進のために期待される国際競技力の向上は、スポーツに関する予算からも読み取ることができる。日本におけるスポーツに関する予算は、平成23年度では過去最高の228億円が割り当てられており、近年増加傾向にある[21]。この予算は、学校体育、生涯スポーツ、競技スポーツの大きく3つに割り当てられ、それぞれの割合は、学校体育が23.3%、生涯スポーツ8.9%、競技スポーツが67.8%である。競技スポーツの予算（競技力向上関係予算）は、ナショナル競技力向上プロジェクト、日本オリンピック委員会の補助、次世代アスリート特別強化推進事業、NTC競技別強化拠点施設活用事業に割り当てられており、これらの事業の中でも特にナショナル競技力向上プロジェクトには、多くの予算が割り当てられている。ナショナル競技力向上プロジェクトは、マルチサポートによるメダル獲得プロジェクトと、メダルポテンシャルアスリート育成システム構築事業の2つに分類されているが、いずれも国際競技大会におけるメダル獲得に向けたものである[22]。

マルチサポートとは、医・科学、心理学、生理学、栄養学等の活用や競技用機器・用具等の開発、情報の収集・分析・戦略立案など各専門分野からサポートを得て、ターゲット競技種目のアスリートを一貫して強化していくシステムである[23]。メダルポテンシャルアスリート育成システムは、有能なアスリートをメダル獲得の潜在力を有する選手へ段階ごとに特別強化していくシステムである。これらは、2001年に設立されたスポーツの研究機関である国立スポーツ科学センターと、2008年に開始されたトップアスリートのトレーニング施設であるナショナルトレーニングセンターを中心的な拠点として展開されている。

スポーツにおける世界の強豪国はトレーニング環境の整備や科学的なサポート体制の構築などによってメダルの獲得数を増やしており、日本においてもマルチサポート事業などの取り組みによって近年メダルの獲得数を増やしている。2012年に行われたロンドンオリンピックでは、史上最多である38個のメダルを獲得して国内を大いに盛り上げた。さらに、2020年に行われる夏季オリンピック・パラリンピックの開催地が東京に決定され、日本ではスポーツに対する関心がますます高まっており、今後さらなる国際競技力の向上によるスポーツ推進が期待されている。

## 1. 2 卓球競技について

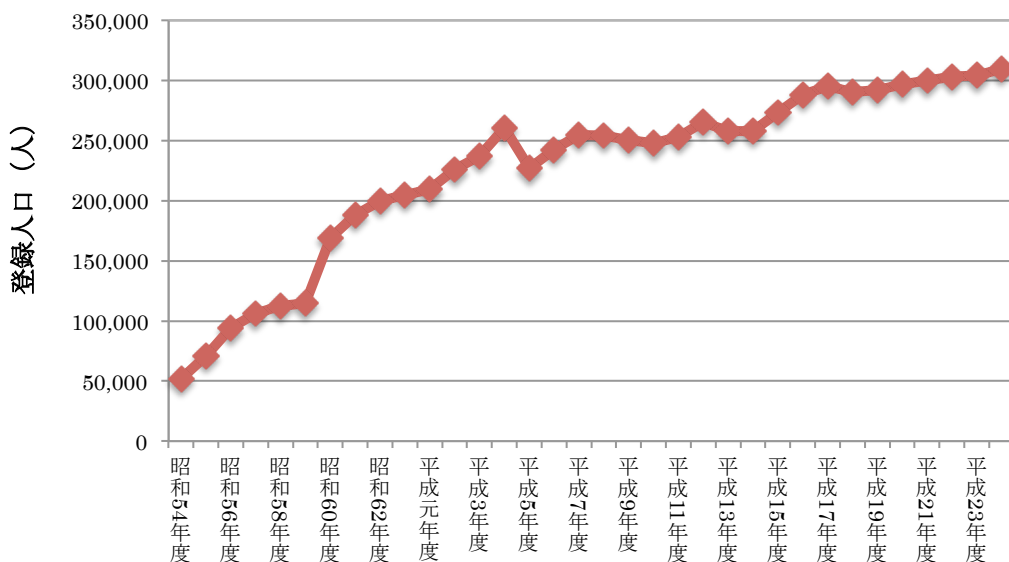
(公財)日本卓球協会への登録者数は、平成21年度に30万人を超えてからその後も増加の一途をたどっている。図1.1は、昭和54年度から平成24年度までの(公財)日本卓球協会への登録者数の推移を示したものである。(公財)日本卓球協会への登録者数は、国内の競技種目個人登録者数からみると5番目に多く、卓球競技は競技として非常に人気の高いスポーツである。内閣府が行った体力・スポーツに関する世論調査(平成25年1月実施)では、1年間に行った運動・スポーツにおいて、卓球は7番目に実施者が多く、今後行ってみたい運動・スポーツとしては5番目に多いスポーツであった[24]。卓球競技は、競技スポーツとしてだけでなく、健康スポーツとしても多くの人々に親しまれているスポーツであり、卓球愛好者も含めると世界中の4,000万人に親しまれているスポーツだと言われている。また、近年では、卓球のラリーに対人不安感情をもつ児童の「情動的反応性」の改善や高齢者の認知症予防、さらには脳血管障害のリハビリなどにも効果があることが明らかになっており、卓球競技は、障害者スポーツとしても運動効果が高いスポーツである[25][26][27][28]。

スポーツ推進には、各競技の国際競技力向上が求められているが、日本の卓球競技における国際競技力は決して高いとは言えない。卓球競技における世界ランキング(2014年1月現在)では、上位10位の男子選手には6名、女子選手には7名の中国選手がランクインしており、世界最高峰の競技会であるオリンピックでは、中国が表彰台を独占している状態である。卓球競技は、中国で国際大会への代表権を得られなかった選手が他国で国籍を獲得することで、代表選手として国際大会へ出場できるため、中国以外の国で活躍してい



る選手でも元来中国選手である場合が多い。国際オリンピック委員会（IOC）は、70 カ国以上に普及しない競技は、オリンピック種目からの取り消しを規定に定めており、卓球競技の国際化がこのまま停滞すれば、卓球競技はオリンピック種目から除外される危険性がある。そのため、卓球競技の競技力向上は、日本のみならず国際的に求められている。

日本は、2012年にロンドンで開催されたオリンピックにおいて、卓球女子の種目で銀メダルを獲得した。オリンピックの卓球競技における日本のメダル獲得は、男女を通じて初めての快挙であった。ロンドンオリンピックの選手と競技に関する調査は、卓球女子の観戦率は3番目に高く、感動した競技としては最も反響が大きかったとされている[29]。卓球競技は、用具が揃えば老若男女が誰でも安全に行うことのできるスポーツで、「競技スポーツ」、「健康スポーツ」、さらには「障害者スポーツ」としても各年代の目的に応じて、一生を通じて親しむことのできるスポーツである。そのため、卓球競技の国際競技力向上は卓球界の発展はもとより、卓球競技が普及することによってスポーツ推進へ大きく貢献できるものと考えられる。そこで、ここでは卓球競技の歴史的背景を概観し、競技特性などから競技力向上におけるこれまでの問題点や改善点について検討する。



出典：(公財)日本卓球協会『日本卓球ハンドブック平成24・25年度版』,  
pp372-376, 2012より作成

図 1.1 (公財)日本卓球協会登録者数の推移

## (1) 歴史

多くの人々に親しまれている卓球競技は、テーブルテニスと呼ばれるようにテニスから発祥されて競技化されたスポーツであり、現代のスポーツを担っているボールゲームと同様にイングランドで誕生し、明治時代に日本へ伝来したスポーツである[30] [31] [32]. 国際卓球連盟博物館から出版された *The Table Tennis Collector* によると、卓球競技の発祥は、19世紀の最後の25年（1876～1900年頃）とされており、当時は、食堂のテーブルと葉巻のふたやシャンパンのコルクなどの即席用具を用いて貴族の娯楽として行われていた[33]. 卓球の広まりは、セルロイド製のボールを打ち合う際に響く音から“ピンポン”と呼ばれるゲームとして、19世紀から20世紀の変わり目に欧州や欧米を中心に広まったのが始まりである. ヨーロッパの卓球は、1940年代まで娯楽としての風潮が強かったが、ハンガリーの強豪選手がイングランドを中心に卓球のエキサイティングなラリーのエキシビションを行ったことにより競技として普及した.

今もなお開催されている世界卓球選手権大会は、ヨーロッパ選手権大会が根源であり、第1回大会は1926年にロンドンで開催されている. 日本や中国などのアジア勢は、世界卓球選手権大会に1940年代まで参加していないため、1940年代までは欧州の選手が活躍を続けていた. 欧州の選手が活躍していた時代は、ネットの高さが現在よりも4分の3インチ（約1.9cm）高く、強打すると失点につながるため、ラバーシートを貼付しないラケットや粒のついたボールの弾みにくいラバーシート（現在の一枚ラバー）を貼付したラケットが使用されていた. 技術は、バックスイングをほとんどとらずにボールのバウンド直後を打球する「ショート」や、ボールにバックスピンの回転をかける「カット」や「ツツキ」と呼ばれる守備技術が主流であった. そのため、当時のラリーは、卓球史に記録が残るほど時間が長く、ネット引き下げの変更や制限時間を規定するルール改正が行われた.

日本が初めて世界卓球選手権大会に参加したのは、1952年にインドのボンベイで開催された第19回大会であり、日本は初出場にして7種目中4種目で優勝を飾っている. 日本は、それまで使用されていた一枚ラバーにスポンジを貼り合わせたラバーシートや、裏ソフトラバーと呼ばれるラバーシートを貼ることでボールにスピードを生み出し、三球目攻撃と呼ばれる戦術でヨーロッパを破った. 三球目攻撃とは、回転を利用した第一球目のサービスで、相手の返球を浮かせ、第三球目を高い打球点からスピードボールを打ち込む「スマ

ッシュ」と呼ばれる技術で得点する戦術である。日本は、このスピードを活用した技術と戦術を主として、1950年代は常に2種目以上の優勝を飾っており、1959年には7種目中6種目で優勝を飾っている。この時代がまさに卓球王国日本と呼ばれていた時代である。

これに対してヨーロッパは、日本選手が得意とする戦術を封じるためにスポンジラバーを禁止した。しかし、日本選手は、回転を重視した「ループドライブ」と呼ばれる技術で相手の返球を浮かせて、「スマッシュ」で得点を重ねる戦術を用いてヨーロッパ選手を圧倒した。日本は、このスマッシュと呼ばれる技術を得意とし、当時はスマッシュによる得点を重ねるために、カットのようなボールがなかなか浮いて返球されない戦型に対しては、ボールが浮いて返球されるまで失点しないための1000本ラリーと呼ばれる練習や、どこにボールが浮いて返球されてもフォアハンドでスマッシュを打球するための走り込みによるフットワークの強化を行った[34]。

中国が卓球界で注目を集めるようになったのは、1960年代である。1960年代の日本は、女子では優勝があるものの、男子の優勝は、中国が参加しなかった時の2大会のみである。中国選手は、中国式ペンホルダーグリップと呼ばれるラケットに球離れの早い表ソフトラバーと呼ばれるラバーシートを使用し、フォアハンドもバックハンドも卓球台から離れず、早い打球点で打球する技術と戦術を生み出した。日本選手は、フォアハンドでスマッシュを打球して得点を重ねる技術と戦術であったため、フットワークを活用してフォアハンドで攻撃をしようとしても、中国選手に間に合わないタイミングで打球され中国に破れた。

1970年代以降は、特に女子において中国の全盛期が続いた。ヨーロッパは、日本や中国などのアジア勢が世界卓球選手権大会に参加を始めてから無冠の時代が約20年間続いていた。しかし、1970年代は、高性能な裏ソフトラバーが世界的に普及したことにより、ヨーロッパの選手は、体格や筋力特性を活用して、ボールに強いトップスピンをかける「パワードライブ」と呼ばれる技術を得意として、十数年ぶりに優勝を飾った。中国は、これに対して回転を変化させやすいアンチラバーや粒高ラバーと呼ばれるラバーシートをラケットの裏面に貼ることでヨーロッパ選手に対抗した。日本は、ペンホルダーラケットを使用し、バックハンドでパワードライブをブロックし、フォアハンドのスマッシュで得点を決める戦術を中心に女子団体、男子シングルスで優勝を飾っている。しかし、メダル獲得数は、1950年代の平均4個に対して、1970年代は、毎回1個の獲得に後退している。

1980年代以降は、1950年代に生まれたスマッシュや、1960年代に中国が得意としたボールを早い打球点で打球する前陣速攻の戦型に加え、1970年代のボールに強いトップスピンの回転をかけるドライブ技術や、異質ラバーによる相手のかけた回転を利用してボールの回転を変化させる技術、さらにはドライブ技術に対してさらに強いトップスピンの回転をかけるカウンタードライブといったボールのスピードと回転を利用した技術が発展した。

卓球競技は、競技として誕生してから各国でめまぐるしい技術革新を経て、1988年に開催されたソウルオリンピックで正式種目となった。オリンピックにおける卓球競技のメダル獲得数は、中国が47個で圧倒的に多く、2番目に多い韓国のメダル獲得数は18個である。世界卓球選手権大会では、1980年代から1990年代後半までに男子団体においてスウェーデンが中国を破って4度の優勝を飾っているが、2001年以降は中国の連覇が続いている。女子においては、1975年以降は中国選手の圧勝状態である。日本は、1981年にユーゴスラビアで開催された世界卓球選手権大会で初めて無冠に終わり、それ以降は世界ジュニアでの優勝はあるものの、現在も世界卓球選手権大会での無冠は続いている。

卓球競技は、近代スポーツのボールゲームの中でもルールや用具、技術や戦術の革新がめまぐるしい競技である。近年においては、2000年にボールのサイズが38mmから40mmへと変更された。また、ゲームの構成においては、従来は1ゲーム21点制で1マッチが3ゲームまたは5ゲームであったのに対し、改正後は1ゲーム11点制で、1マッチは3ゲーム、5ゲームまたは7ゲームになった。用具については、ボールスピードや回転が増すスピードグルーと呼ばれる接着剤の使用が禁止になった。これらのルール改正は、卓球競技を観戦するファンにとって卓球競技のエキサイティングなラリーを楽しんでもらうためのルール改正が中心であり、卓球競技を広く普及させることを目的として行われている。しかし、中国が依然として圧倒的な強さを誇っており、ロンドンオリンピックにおいても全種目で中国が金メダルを獲得している。国際卓球連盟は、中国選手の独占による卓球競技のオリンピック種目除外を回避するために、各国の代表選手の参加人数に制限を設けたが、卓球競技の普及は、どのようなルール改正を行っても各国の競技力が向上しないかぎり継続される問題である。

これまでの卓球競技の歴史を振り返ると、日本は1950年代に卓球王国を築いたスマッシュ技術をいかなる時代でも重んじている傾向にある。1980年代以降に無冠となった日本は、

世界の上位で用いられている技術を取り入れながらも、スマッシュで得点することを中心としたトレーニングを積んできている。1990年代初期においても、日本の栄光から約40年経過しているにも関わらず、1960年代に行われていたスマッシュを打球するための練習やスマッシュにつなげるためのラリー練習が指導されていた。現在においてもそのような指導が見受けられるのが現状である。中国は常に諸外国の技術や戦術を研究し、各国に対応する技術や戦術、用具を生み出しながら、世界の卓球界に名を連ねている。これまでの日本と中国を比較すると、日本の卓球競技における競技力向上を歯止めているのは、伝統を重んじる日本の教育的側面による名残指導が一因であると考えられる。常に世界の卓球界を率いてきた中国は、2001年までの調査で卓球の37ある技術のうち21の技術、すなわち57%において他国より優れているとされている[35]。日本は、諸外国の技術や戦術を適切に分析しないまま、中国やヨーロッパで生み出された技術や戦術を取り入れてきたものと考えられる。

これらの歴史的背景から、卓球競技における日本の国際競技力を向上させていくためには、伝統にとらわれた名残指導と各国の戦術や技術の後追いではなく、諸外国の先端をいく現代に即した卓球指導を普及させていく必要があると考えられる。

## (2) 競技特性

卓球競技は、ネットを張った卓球台をはさみ、1個のボールを打ち合って勝敗を競うスポーツである。使用されるボールは、球技のなかで最も小さく軽量で、ボールを打球する際に使用されるラケットには、ゴム製のラバーが貼付されている。これらの用具によって打ち出されるボールは、国内の学生トッププレーヤーでも、93km/hにのぼり、回転数は120rpsにも達する[36][37]。卓球競技のボールスピードは、絶対値で見ると投球される野球ボールのスピードよりも遅いが、卓球競技は前陣であれば相手と約3m程度の距離で打球し合うため、このボールスピードから推定すると相手が打球してから0.2秒以内に反応して打球しなければならないことになる。油座らは、卓球競技の世界で活躍するトッププレーヤーのラリーは、相手が打球してから次に打球するまで0.7秒未満であり、攻撃同士の試合の80%は、1ラリーが4秒以内で打球数はサービスを含めて5回以内で終了することを明らかにしている[38]。これらの資料は、38mmの旧ボールを使用したものであるが、40mmボール

のラリー時間は、38mm ボールよりも 3-4%長いことが調査されており、卓球競技のラリーは、いずれも他の球技と比較する非常にスピーディーであることは明らかである[39]。また、卓球ボールの回転数は、野球やテニスなどの他球技に比べると非常に大きく、相手の打球コースが予測できていても相手の回転に影響されてエラーしてしまうことも少なくない[40][41]。そのため、卓球競技は、相手の打ち出されたボールスピードや回転（回転方向や回転数）、打球コースなどを瞬時に判断し、それらに応じた戦術を組み立てて返球することが求められる競技である。荻村伊智郎氏は、このような競技特性から卓球競技を「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[42]。

また、卓球競技は、バスケットボールやバレーボール、テニスやバドミントンなどの競技と比較すると選手の年齢や体格などの体力水準によって勝敗が左右されにくいのも競技特性の一つである。卓球競技の国内最大の競技大会である全日本卓球選手権大会では、例年小中学生が各都道府県の予選を通過して一般の部に参加し、最年少出場記録や最多勝利記録を更新することで話題となっている。また、世界ランキング（2013年1月現在）をみると、男子の5位には16歳の選手が入っており、女子のランキングでは、中学生が80位以内に4名入っている。小中学生が大学生や社会人を破って勝ち上がり、トッププレーヤーと対戦をすることは球技の中では非常に珍しく、卓球競技の大きな特性であると言える。卓球競技で勝ち上がっていくためには、スピードの速いボールや回転数の大きいボールに対応することが必要であり、卓球競技は、対戦相手との距離を考えるとパワーよりも打球技術の方が重要になるため、小中学生でも相手に対応困難な戦術を組み立て、その戦術を実行できる技術があれば得点することも可能である。つまり、対戦相手に対してどのような技術を用いて、どのように戦術を組み立てて試合を進めるかといった技術と戦術の要素は、卓球競技の勝敗に最も影響を与える要素であり、競技力向上の基盤となるものと考えられる。

図 1.2 は、卓球競技の競技力向上に関係する要素を示したものである。卓球競技の競技力向上には、技術と戦術の要素を基盤としてあらゆる要素が相互に関係していると考えられる。卓球競技は、ボールのサイズや競技領域からすると、運動強度を含む生体負担度はそれほど高くないと捉えられることが多い。しかし、世界で活躍するトッププレーヤーの体力水準は極めて高いことが種々の体力測定で報告されている[43][44][45][46]。卓球競技は、

数秒間で瞬発的に動く無酸素運動と、ボール拾いなどの小休憩を含む有酸素運動が繰り返されるため、ゲーム間に1分間の休憩をはさみながら試合は行われるが、一流攻撃型選手の心拍数からみた試合中の運動強度は、%HRmaxで71~86%に相当し、ラリー中ではさらに高くなることが推測されている[47]。また、卓球選手の練習時における心肺機能を調査した文献では、中国選手や国内の学生を対象としたものもあげられるが、特にフットワーク時のドライブ打法やスマッシュ打法で運動強度が高いことが報告されている[48] [49] [50] [51]。これらの打法は、競技レベルが上がるにつれて多用される技術であるため、卓球競技は競技レベルが上がるにつれて身体的負荷も大きくなる競技であることがわかる。さらに、卓球競技は個人戦であるため、勝ち上がれば勝ち上がるほど一日に多くの試合を行う必要がある。そのため、卓球競技の競技力向上には、一日に十数試合もの試合を行うだけの持久力や回復力なども必要である。

卓球競技は、対戦相手との距離が非常に近いため、対戦相手の喜怒哀楽などの表情や言動によって打球が左右されるスポーツでもある。特に第二球目のレシーブにおいては、対戦相手が第一球目のサービスを打球するまでの間に対戦相手の打球コースや回転などを予測しなければならないため、「駆け引き」が生じることによって心拍数が上昇する[52]。駆け引きによって生じる心拍数の上昇は、身体負担度をさらに大きくするものであり、エラーを招いてしまう要因にもなる。このようなことから、卓球競技の競技力向上には、身体的要素の強化に加えて、対戦相手の心理にも左右されずに競技するための心理的要素の強化も必要である。しかし、卓球競技は前述したように相手コートへ返球するためには、パワーよりも打球技術の方が重要になるため、いくら対戦相手よりも身体的要素が上回っていたとしても、対戦相手に対して適切な技術を用いて適切に戦術を組み立てることができなければ勝利することができない。心理的要素に関しては、対戦相手の技術や戦術要素を把握できない場合において迷いが打球に影響するため、対戦相手に対する技術や戦術の組み立てを正確に把握することができれば、心理的負荷は軽減できると考えられる。

技術や戦術要素は、身体的要素や心理的要素だけではなく、用具や環境などの要素とも相互に関係していると考えられる。対戦相手に対する打球技術は、使用する用具によって大きく左右される。卓球競技のラバーは、多くの種類が販売されており、シートの表面の摩擦やスポンジの硬さなどの特性によって、ボールの弾みや回転のかかりやすさが異なる。

また、ラケットにおいても種類によって材質や形状、重量などが異なり、ラケットとラバールの組み合わせによっても打球できるボールスピードや、回転のかかりやすさが異なる。そのため、より高いパフォーマンスを発揮するためには、試合で用いる技術に適した用具を選択して使用することが必要であり、使用する用具によってボールスピードや回転をかける技術などをカバーすることが可能である。

適切な戦術を組み立てるためには、対戦相手を正しく分析してアドバイスを与えることのできる指導者がいる環境も必要である。幼少期から卓球を始める選手は、家族が身近でサポートを行う場合が多く、小中学生で活躍している選手は、家族がアドバイザーに入ることによって、対戦相手に対する技術や戦術の組み立て方が把握できるだけでなく、心理的負荷も軽減されることで高いパフォーマンスを発揮できているものと考えられる。

このようなことから、卓球競技の競技力向上には、あらゆる要素が必要であり、それらは相互に関係していると考えられるが、卓球競技の競技特性を踏まえるとあらゆる要素の中でも特に技術と戦術の要素が基盤となっており、対戦相手に対してどのような技術や戦術で試合を進めるかが重要な鍵となる。

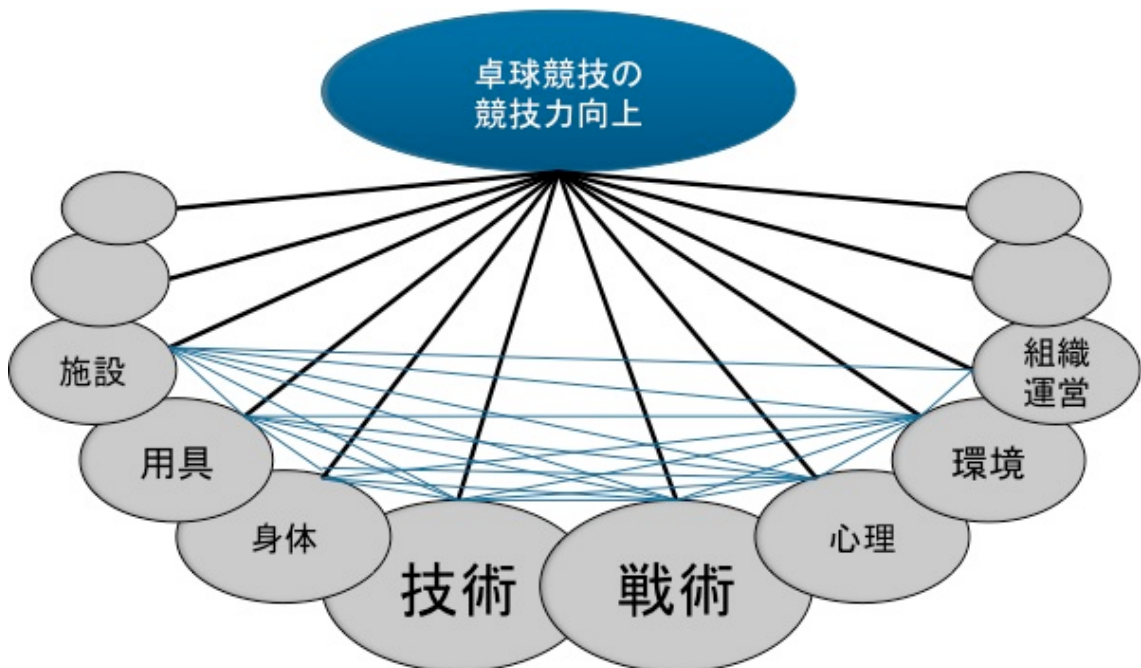


図 1.2 卓球競技の競技力向上に必要な要素



### (3) 技術と戦術について

卓球競技は、対戦相手に対していかに適切な戦術を立案することができても、習得技術の少ない場合は、戦術を実行することが困難であるため、技術・戦術の要素は、特に習得技術の多い上級者において勝敗を大きく左右する。勝利するための適切な戦術は、対戦相手の習得技術や戦術に応じて決定されるため、対戦相手の技術・戦術を適切に分析することができなければ適切な戦術立案は元より用いる技術も適切に選択することができない。つまり、対戦相手の技術・戦術分析なしでは勝利を手にすることはできない。これは、卓球競技だけに限らず、対戦相手に対する戦術立案が勝敗を大きく左右するテニス、サッカーバレーボールなどの対人でなおかつボールを使用する球技は同様である[53][54]。これらの球技では、対戦相手に対して適切な戦術を立案するためのゲーム分析が行われており、球技のなかでも特にアメリカンフットボールやバスケットボールは、古くから戦術を考えるためのゲーム分析が行われている[55][56]。

近年では、パーソナルコンピュータを用いたゲーム分析が行われるようになってきている。バレーボールでは、実際の競技現場でゲームの内容をコンピュータに記録し、即時的に試合の分析を行い、その分析結果を基に戦術を立案するということが行われている[57][58]。バレーボールは、このゲーム分析によって2010年の世界選手権大会で32年ぶりのメダルを獲得したとされている。また、バレーボールに限らず、サッカーやバスケットボール、水球などの球技においても、競技現場で活用可能なゲーム分析が確立されている[59][60][61][62]。勝田らは、「戦略とは、目標達成のためのシナリオであり、そのシナリオ構築のために最も必要なのが情報」だと述べており、「世界でトップレベルの成績を残すには、高度な情報収集や分析を中核とする情報・戦略活動が必要不可欠であり、それにより競技力の向上や勝利につながる」と述べている[63]。特に球技においては、対戦相手の戦術変更に対応していかねばならないため、情報機器による競技現場に即した実践的なゲーム分析が求められている。

対戦相手に対する戦術の組み立てが勝敗の鍵を握る球技では、競技現場で出現したプレーを即時的に定量化し、得られた資料を基に戦術を立案したり、技術を修正したりすることが行われているが、卓球競技では、競技現場に即した実践的なゲーム分析は行われていない。そのため、卓球競技は、現在に至っても指導者や選手の経験や主観的分析によって

戦術立案や技術の選択が行われており、トレーニングも試合で立案された戦術や用いた技術が適切に分析・評価されないまま行われていることが多い。

競技現場で即時的に情報収集をしている球技は、試合の内容を記録して分析を行う基礎研究が数多く見受けられる。卓球競技においてもゲーム分析が多数行われている。しかし、これまでに見受けられる卓球競技のゲーム分析は、他の球技で行われているゲーム分析と比較すると誰もが理解できる客観的情報で戦術を具体的に立案できる分析を行っているものはほとんど見受けられず、分析に用いた方法論も競技現場での活用を想定して分析を行っているものはほとんどない。また、技術や戦術を分析・評価するための分析視点も分析者によって様々である。卓球競技の技術や戦術に関する研究では、主に一流選手を対象として、打球コースや回転などを得失点別に記録し、戦型や技術別に分類して分析したものが見受けられる[64][65][66][67][68][69]。これらは、戦術を立案するためには参考となるが、主観的情報では実際の行動指針を決定するには不十分である。また、卓球競技の競技現場で使用される用語は定義がなされていないものが多く、指導者と選手が日常から分析視点を共有していない場合においては、分析結果に共通理解を得られないことがあり、主観的分析によって得られた資料をもとに選手へアドバイスを与えた場合、同じ用語であっても指導者と選手で捉え方が異なる可能性がある。卓球競技の選手の動きに関する研究では、得点に要した時間や、選手の持ち時間などが明らかにされている[70][71][72]。これらは、客観的情報であるため結果が数字で示されており、誰でも正確に理解できる資料である。しかし、実際の試合で戦術を立案する情報にはなりにくいものである。

卓球競技は、文科省が国際競技力向上のために行っているマルチサポート事業のターゲット競技となっており、国立スポーツ科学センターにおいてメダル獲得に向けたゲーム分析が行われている。卓球競技のゲーム分析では、映像を利用した SMART system と呼ばれるシステムを用いた分析が行われており、卓球競技で初めてメダルを獲得したロンドンオリンピックでは、事前に対戦相手の得点パターンや、失点パターンを映像によって分析し、その結果を基に戦術が練られている[73]。映像による分析は、指導者と選手がイメージを共有しやすく、得点を決定した打球コースや対戦相手の癖や特徴を視覚的に捉えやすい点で非常に有用である。しかし、映像のみの分析では、卓球競技のようにラリーがスピーディーな球技は、ボールのスピードや回転数などの物理量を算出するのは困難であり、映像か

ら対戦相手に対する適切な戦術を立案できたとしても、その戦術を実行するための具体的な行動指針を決定するには至らない。さらに、映像による分析は、同じ場面を繰り返し分析するには利便性があるが、撮影してから再生するまでに時間を要するため、即時的に分析するには実用性に欠けるといったデメリットがある。そのため、映像による主観的情報に加えて、技術や戦術を決定するための客観的情報を即時的に得ることができれば、卓球競技においても対戦相手に応じた適切な技術や戦術の分析・評価が可能になるものと考えられる。

卓球競技の技術や戦術を定量化し、客観的に分析や評価を行っていくためには、卓球競技の技術や戦術がどのように成り立っているかを明確にしておく必要がある。しかし、卓球競技は、これまで試合内容を客観的情報として定量化することが困難であったため、卓球競技の技術・戦術に関する文献をみても技術・戦術を客観的に分析や評価する方法論は確立されておらず、技術や戦術の要素を体系化しているものはほとんどない。さらに、技術や戦術の構成に必要な情報も不明確であるため、戦術立案や用いる技術をどのように選択して決定すればよいかという方法論も確立されていない。

卓球競技の技術と戦術に関する文献のなかで技術と戦術の関係について唯一述べられている文献は、荻村伊智朗著の「卓球の戦術・技術」である[74]。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球目を送って、どう得点しようか、と考えて試合を進めていく術が戦術」と述べており、「1つひとつのサービスやスマッシュは技術」と述べている。また、「技術の活用のために戦術があり、戦術が技術に奉仕するのであって技術が戦術に奉仕するのではない」と述べており、戦術がまずあり、そのために技術があることが示されている。しかしながら、特に初心者・初級者においては、戦術が立案できても戦術を実行するための技術が習得できていなければ勝利できないように、戦術と技術の調和の必要性も述べられている。荻村は、技術習得に大部分の時間を割くのは、戦術と技術の本質的な関係が技術優先であるからではなく、技術は短時間で習得できないという技術習得のメカニズム（しくみ）のせいであると述べている。つまり、卓球競技における技術と戦術の基本的な関係は、まず対戦相手に対する戦術の決定あり、その戦術に基づいて技術が決定されると考えることができる。

卓球競技の技術および戦術に関する文献では、指導書においても技術習得に焦点をあて

られたものがほとんどである。これは、荻村が述べるように戦術の決定は短時間のうちに行うことができるが、技術は短時間で習得することは困難であるからであると考えられる。しかし、特に上級者の場合においては、習得技術の発見は戦術が決定されていることが根底にあるため、相手に応じた戦術がまずもって決定されている必要がある。戦術とは、試合を進めていく術であるが、卓球競技はボールを扱う球技であるため、どのようにボールを打球するかが戦術にあたりとされる。荻村は、ボールの球威を「時間」、「回転」、「球道」の3つの要素に分類している[75]。また、その他の文献では、ボールの威力を「スピード（速さ）」、「プレースメント（送球点）」、「スピン（回転）」あるいは、「時間」、「空間」、「回転」の3つの要素に分類している[76][77][78][79]。まず、「時間」の要素には、ボールのスピードとボールを打つタイミング（ピッチ）があげられる。卓球競技はラリーがスピーディーである特性からボールスピードや打球のタイミングによってボールが相手へ届くまでの時間が短くなることは球威の一つとされている。また、ボールスピードや打球のタイミングの変化は、相手の打球感覚や打球動作、移動動作を狂わすことがあるため、これも球威の一つであるとされている。つまり、時間に関する戦術を実行するためには、ボールスピードや打球のタイミングを速くしたり遅くしたりできる技術の習得が必要になると考えられる。卓球競技のゲーム分析において時間に関する分析視点では、一方の選手が打球した瞬間からもう一方の選手が打球するまでの時間や、得点を要するまでのラリー時間などが調査されており、これらの要素によってゲームに直結するトレーニング課題が検討できることが明らかにされている[80][81]。次に「回転」の要素は、トップスピン（前進回転）やバックスピン（後退回転）、ナックル（無回転）、サイドスピン（左右回転）などに分けて考えることができる。これらは、ボールの回転軸の傾きによって決定されるものである。「回転」の要素は、競技特性からボールの回転数が最大であれば球威の一要素となるとされており、また、回転数や回転軸の傾きを組み合わせることによる変化も球威の一つとされている。そのため、「回転」に関する戦術を実行するには、ボールに与える回転数を大きくしたり小さくしたりする技術や、ボールの回転軸をあらゆる方向に傾けられる技術が必要である。「軌道」や「空間」については、左右方向や上下方向といった打球のコースを示すものであり、ボールの打球は、相手の構えている位置から遠い方向や相手の動きや予測と異なる方向が球威とされている。また、上下方向や左右方向のあらゆる組み合わ

せが「球道」あるいは「空間」の球威となる。

これらの要素は、どれも戦術を組み立てる上で重要な要素となるが、この要素さえあれば必ず得点できるということはない。例えば、「時間」の要素については、いくらスピードが速いボールを打球できたとしても、相手の構えているラケットへ打球すれば返球される可能性がある。また、いくら回転数の大きいボールを打球できたとしても相手のラケット角度によっては返球されてしまうことがある。さらに、相手の構えている位置から遠い方向へボールを打球しても、ボールのスピードが遅ければ簡単に返球されてしまう。このようなことから、卓球競技における戦術の要素は、それぞれが相互に関連し合って発揮されるものであると考えられる。特に、「時間」と「空間」・「球道」の球威は、人間の反応時間を考えると、短い距離でスピードの速いボールを打球すること、すなわちスマッシュを打球することは絶対的な得点力をもつと考えられてきたため、日本では重要視されてきた。しかし、ボールが 40mm ボールに変更してからは、サービスが 2 本交代になり、レシーブからの台上技術が発展して、第 3 球目でスマッシュを打球して得点することが難しくなったため、回転による球威も得点をする上で重要な要素となっている。

卓球競技における戦術の要素は、選手がどのようにボールを打球するかによって決定される。李らは、ボールそのものに対する空間的・時間的認識内容は、打球点、打球空間、打球角度、打球方向、打球の力、振り出し方の 6 つ打球の要素が関わっていると述べている[82]。まず打球点とは、ラケットとボールが接触するインパクトの位置を示しており、ボールのどの部分を捉えるかによってボールの回転軸が決定されることが考えられる。次に、打球空間とは、ボールがワンバウンドした後にボールの飛行軌跡や空間位置に対応した打球する空間とタイミングを示している。打球空間は、ボールがワンバウンドしてから上昇し、最高点に達し下降するまでに大きく分けて 6 つの打球位置とタイミングがあるとされているが、この空間的位置によりボールの飛行時間やボールの軌跡が変化すると考えられる。また、ボールの軌跡は、打球角度や打球方向などの打球方法によっても変化し、これらはボールの入射する角度や高度に表されると考えられる。打球角度は、インパクト時のラケット角度を示しており、ボールの回転軸に応じて変化させる必要がある。また、打球角度は、ボールの回転軸だけではなく回転数の強弱によっても変化する。打球方向とは、ラケットを目標に向かって振り出す方向を示しており、打球方向によって上下方向、左右方向

といった打球コースが決定される。打球の力とは、目標方向にボールを正しく打ち込むためにインパクト時にラケットを入れる力を示している。打球の力は、攻撃により変化するとされており、ボールにスピードを生み出す際には、この打球の力が影響を与えると考えられる。振り出し方については、インパクト前のラケットの振り出し方を示しており、相手の打球したボールの回転軸に応じたラケットの振り出し方が求められる。

これらの 6 つの打球の要素によって生み出される打球の特性は、「飛行特性」・「配球特性」・「回転特性」の大きく 3 つに分類されると考えられる。「飛行特性」と「配球特性」については、打球空間（時間）や打球角度、打球方向によって変化するボールが入射する際の角度や高度、ボールスピードと飛行時間、打球コースを連続的に捉えた配球パターンとして捉えることができるものと考えられる。「回転特性」については、打球点、打球角度、ラケットの振り出し方によって変化するものであり、ボールの回転軸や回転数として捉えることができると考えられる。

卓球競技における戦術とは、相手に対してどのように試合を進めるかという術であり、言い換えれば相手に対してどのように打球をしていくかという術になる。つまり、ここでは、「飛行特性」・「配球特性」・「回転特性」のそれぞれの要素が卓球競技における戦術の要素と考えられる。また、技術は戦術を実行するための手段であり、「飛行特性」・「配球特性」・「回転特性」における戦術を実行するための技術は、入射角度やボールスピード、高度などの要素を大きくしたり小さくしたり、あるいは速くしたり遅くしたりというように変化させることができることであると考えられる。

図 3.1 は、本研究における卓球競技の技術・戦術の要素を示したものである。卓球競技の試合は、図 3.1 に示す要素によって成り立っており、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ものと考えられる。

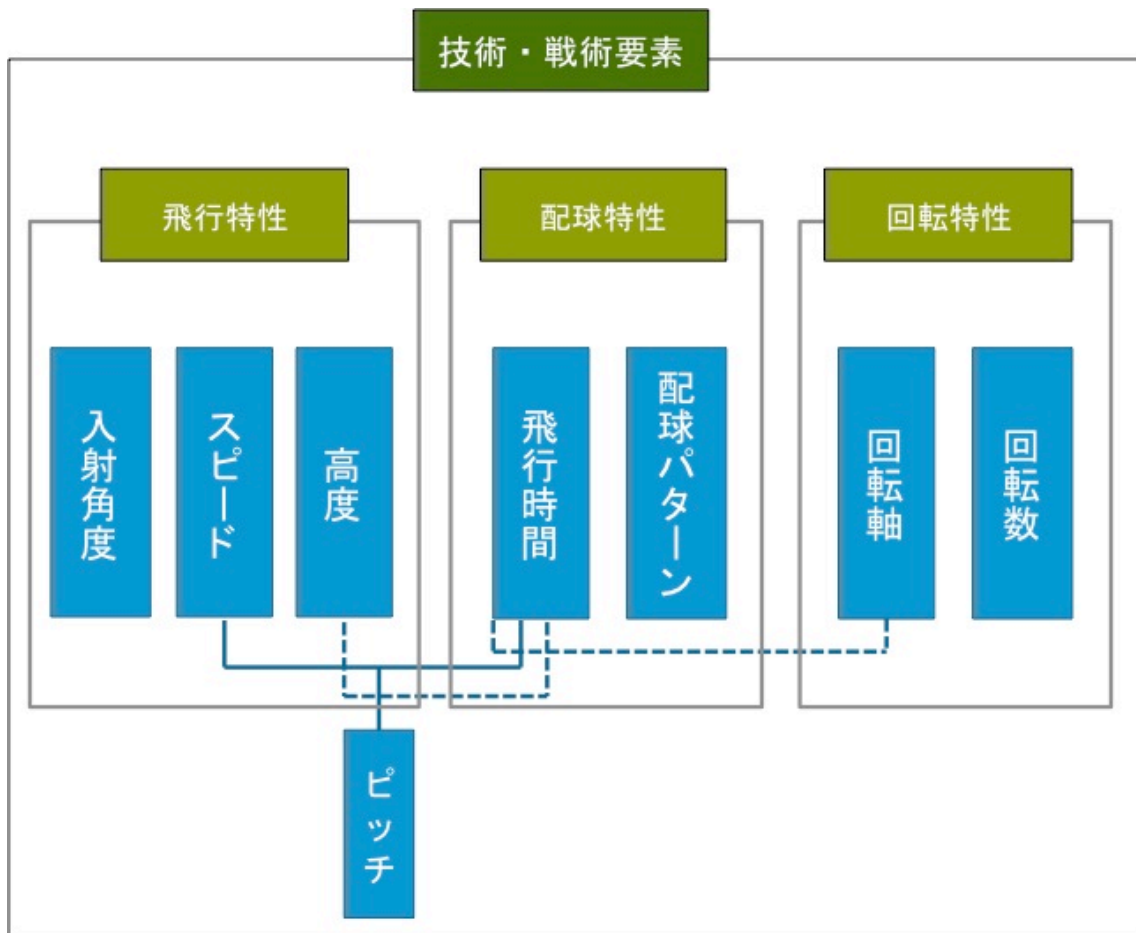


図 1.3 卓球競技における技術・戦術要素

### 1. 3 本研究の構成

卓球競技の競技力向上には、技術・戦術要素が大きなウェイトを占めるが、卓球競技は、他の球技よりもラリーがスピーディーであるといった競技特性から技術・戦術要素を体系化して客観的に分析することや評価することはなされてきておらず、日本がかつて世界で栄光を手にしてきた時代の名残指導が行われてきた。対戦相手に対していかに適切な戦術を立案して実行するかが勝敗の鍵を握る球技においては、情報機器を用いた競技現場に即した実践的な技術・戦術分析が競技力向上には必要不可欠である。

そこで、本研究は、卓球競技における競技力の向上を最終的な目的とし、図 1.3 に示した技術・戦術要素の観点から、客観的かつ定量的な情報を得るための方法論を確立することによって、技術・戦術の分析や評価を行っていく。図 1.4 は、本研究の構成を示している。各章の内容は、以下に示す通りである。

第2章では、ボールがネット上を通過する際の「入射角度」、「ボールスピード」、「高度」をボールの飛行特性として捉え、それらを即時的に定量化し分析・評価できるシステムの開発を行う。さらに、そのシステムを競技現場で活用して選手に飛行特性の観点からアドバイスをを行い、試合内容の変化からシステム有用性の検証を行う。方法論としては、赤外線レーザーを卓球台に取り付け、ボールがレーザー光を通過した際の時間とチャンネル番号をノートパソコンへ取り込み、その情報から自動的に飛行特性を算出できるプログラムの作成を行う。有用性の検証については、実際に選手が試合をした際のデータをシステムを用いて記録し、ゲーム間の休息時間に得られたデータを用いてアドバイスをを行う。選手には、続いて試合を行わせ、アドバイス後のデータがアドバイス前のデータとどのように変化するかについて検討を行う。

第3章では、「ボールの飛行時間」と「配球パターン」を配球特性として捉え、それらを即時的に分析・評価できる方法論の確立を行う。方法論としては、加速度計を卓球台の裏面に設置し、ボールが落下する際に得られる振動をノートパソコンへ記録し、記録された振動の特性を多変量解析の判別分析によって分析することによりボールの落下領域の推定を行う。

第4章では、ボールの「回転軸」と「回転数」を回転特性として捉え、卓球台上でのバウンドによる回転数の変化や飛行中の空気の粘性による回転数の変化を定量化して分析・評価を行う。方法論は、高速度ビデオカメラを用いて、ボールスピードと回転数を設定可能なロボットマシンから射出されるボールが卓球台にバウンドする様子と、バウンド後のボールが飛行する様子を設定地点で撮影し、撮影された映像から回転数を算出して分析を行う。卓球台のバウンドによる回転数の変化では、複数のメーカーの卓球台とボールを組み合わせて実験を行うことで、バウンド前の回転軸や回転数によるバウンドの変化だけではなく、使用する卓球台の表面による回転数の変化についても検証を行う。

最後に第5章では、得られた研究成果の総括を行う。



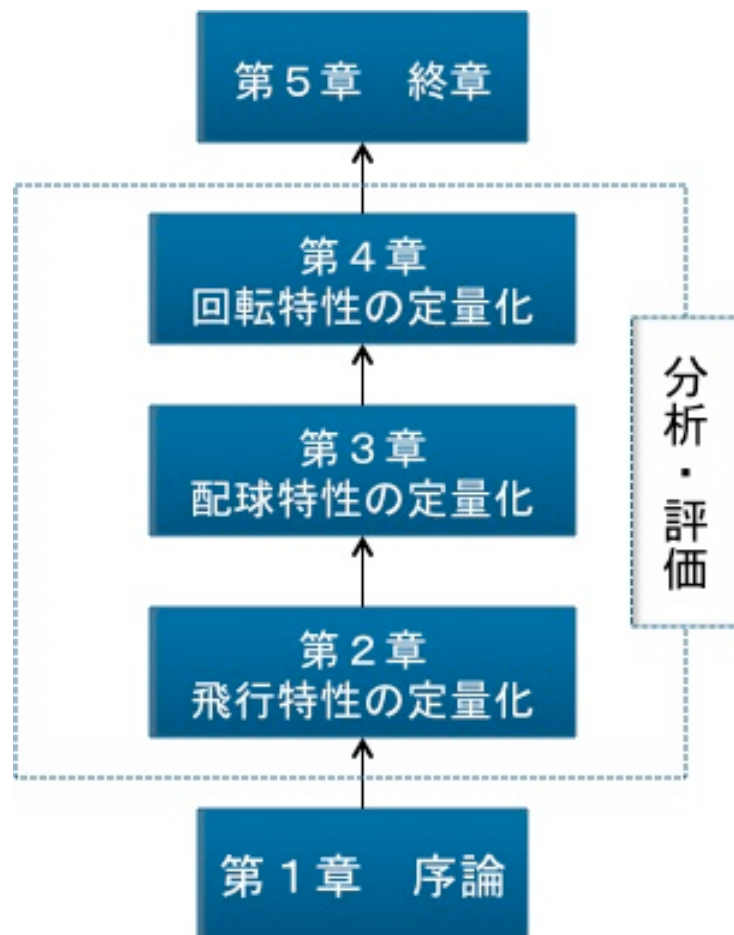


図 1.4 本研究の構成

## 第 2 章

### 飛行特性について

#### 2. 1 緒言

卓球競技の技術や戦術の分析・評価につながる研究として、牛山らは、コンピュータを用いてボールの受ける空気抵抗係数やボールに生じる揚力係数を定量化し、ボールの軌跡をシミュレーションすることで、ボールの大きさの違いによる飛行特性を明らかにしている[83]。また、宮木らは、試合におけるオーバーミスとネットミスの比率と、勝敗との相関性を検討した結果、選手のミス打球が、オーバーするよりも、ネットしたほうが、勝つ確率が高いことを明らかにしている[84]。ボールの飛行特性は、卓球競技の特性であるボールスピードや、回転に応じて変化するものであり、選手の打球の仕方によって決定される。

これらの文献を参考に、選手が打球したボールがネット上を通過する際の「入射角度」・「ボールスピード」・「高度」を飛行特性として捉え、ドライブ主戦型、前陣速攻型、カット主戦型の計 56 試合における 8645 打数の飛行特性を分析した。その結果、ボールの入射角度が対戦相手よりも大きい選手の方が勝つ確率は高く、ボールスピードや高度については、戦型や競技レベルあるいは試合の内容によって異なることが明らかになった。つまり、ボールの特性を定量化することは、選手の打球や試合の内容を評価できることが裏付けられた[85][86][87]。

選手が打球したボールの飛行特性をリアルタイムで定量化し、提示することができれば、競技現場で即時的に選手の打球技術や、試合内容をフィードバックすることが可能になるものと考え、本章では、ボールの飛行特性を即時的に定量化し、提示できるシステムの作成を行った。さらに、そのシステムを使用して、競技現場で選手に飛行特性の観点からアドバイスを与え、そのアドバイスによって試合の内容がどのように変化するかを明らかにすることでシステムの有用性の検証を行った。

## 2. 2 システムの構成及び概要

図 2.1 は、本システムの構成を示している。本システムは、「①赤外線レーザーユニット」、  
「②赤外線レーザー電源供給器・信号受信 BOX」、  
「③データ集録ボード」、  
「④A/D 変換器」、  
「⑤計測制御・解析用ノート型パーソナルコンピュータ（以下ノート型 PC）」で構成され  
ている。

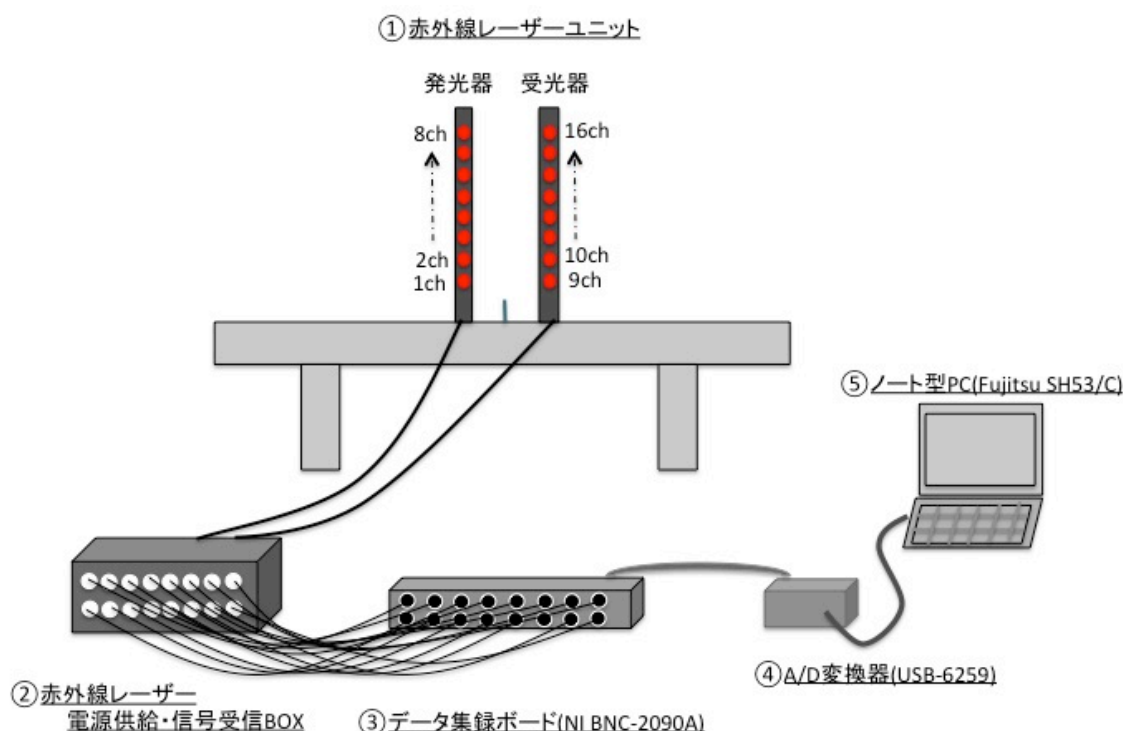


図 2.1 システムの構成

### (1) 計測装置

本システムで使用した赤外線レーザーユニットは、柱状になっており、卓球台へ取り付けができるように設計されている。赤外線レーザーユニットは、一方が発光器、逆サイドが受光器になっている。赤外線レーザー光は、1セットあたり8組取り付けられており、レーザー光の間隔は、ボールの直径と同じ 0.04m になっている。ボールが通過した際のチャンネル番号と時間は、ボールがレーザー光を遮ることで、受光器の出力する電圧変化が A/D 変換器によってデジタルデータに変換され、USB を介してパーソナルコンピュータへ取り込まれる仕組みになっている。

主な使用機器の仕様は次の通りである。A/D 変換器 (USB-6259 : National Instruments 社製) は、サンプリングレート 1.25MS/秒で、32 チャンネルのアナログ入力が可能である。また、プラグアンドプレイ接続になっているため、構成や設定時間が短縮でき、持ち運びや省スペースにも便利な小型サイズである。データ集録ボード (BNC-2090A National Instruments 社製) は、19 インチの 1U 型ラックマウント取り付けタイプの端子台で、22 個の信号ラベル付 BNC 端子で構成されている。ノート型 PC (SH53/C Fujitsu 社製) は、CPU が 2.53GHz (512KB) であり、実装メモリは最大 4GB である。

## (2) プログラムの開発環境

本システムは、ノート型 PC へインストールした National Instruments 社製の LabVIEW2010 で作成した計測及び解析プログラムによって制御されている。LabVIEW とは、「Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench」の略をネーミングの由来としているもので、通常の文字で書く言語とは異なり、あらかじめ用意された関数アイコンなどをワイヤリングすることによって実行プログラムを作成することのできるプログラミングソフトである。LabVIEW で作成するプログラムは、実際の計測器の動作を模して作成することが多いため、「Virtual Instruments (仮想計測器)」と呼ばれ、略して VI とも呼ばれる[88]。コンピュータに表示される VI をあたかも実際の装置であるかのように操作できるため、計測チャンネルやサンプリング周波数、計測時間等をコンピュータの画面上で設定することが可能である。また、ユーザインターフェースとなるフロントパネルにおいては、「start」「stop」をクリックすることによって計測を開始したり、終了したりすることができる。図 2.2 は、本システムで作成したフロントパネルを示している。

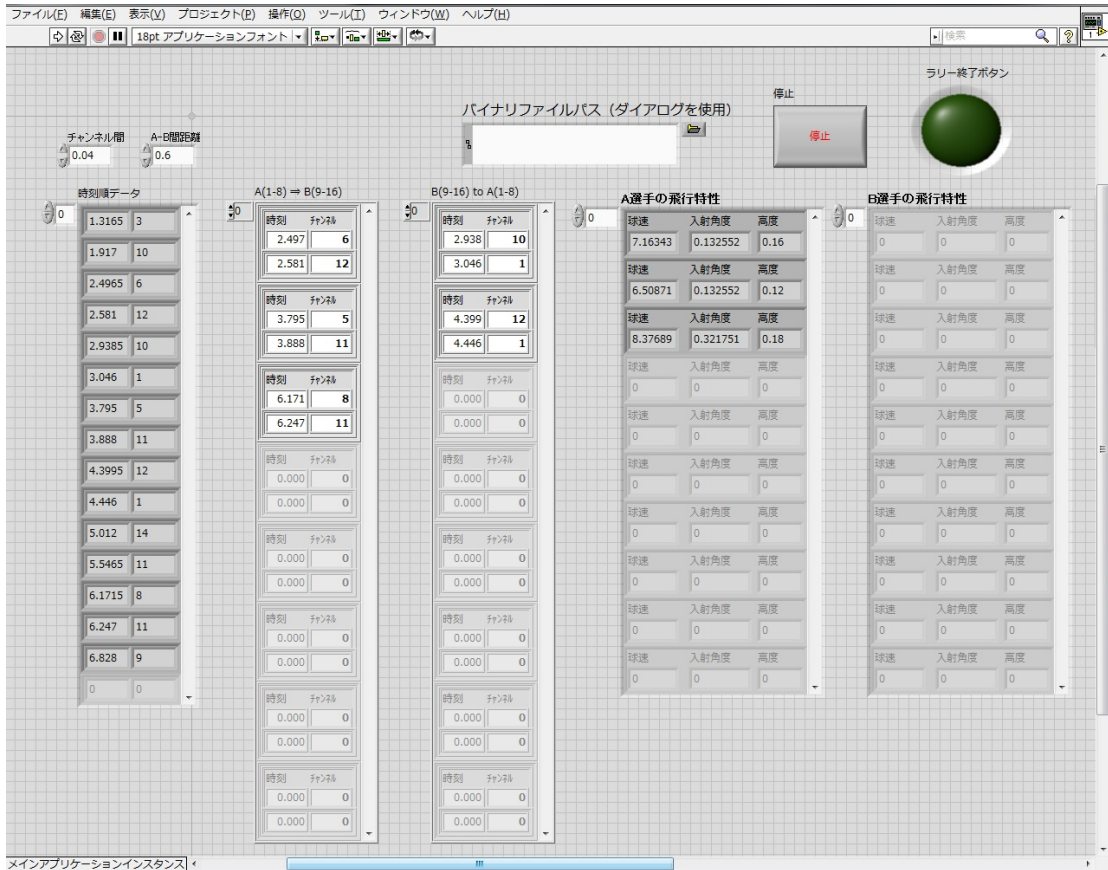


図 2.2 本システムのフロントパネル

## 2. 3 プログラム作成

作成されたプログラムは、大きく分けて計測プログラムと解析プログラムに構成されている。図 2.3 にプログラムの主な作業工程を示す。本プログラムは、計測プログラムと解析プログラムを分けて作業を行うことで、処理速度を上げている。データ集録は、あらかじめ計測前に設定された読み取るサンプル数とレート(Hz)により、計測スタートから計測終了ボタンが押されるまで、一定時間間隔で継続して行われる仕組みになっている。例えば、読み取るサンプル数を 40 (k)、レートを 10(kHz)に設定して計測を行った場合、データ集録は、4 秒ごとに読み取られ入力される。

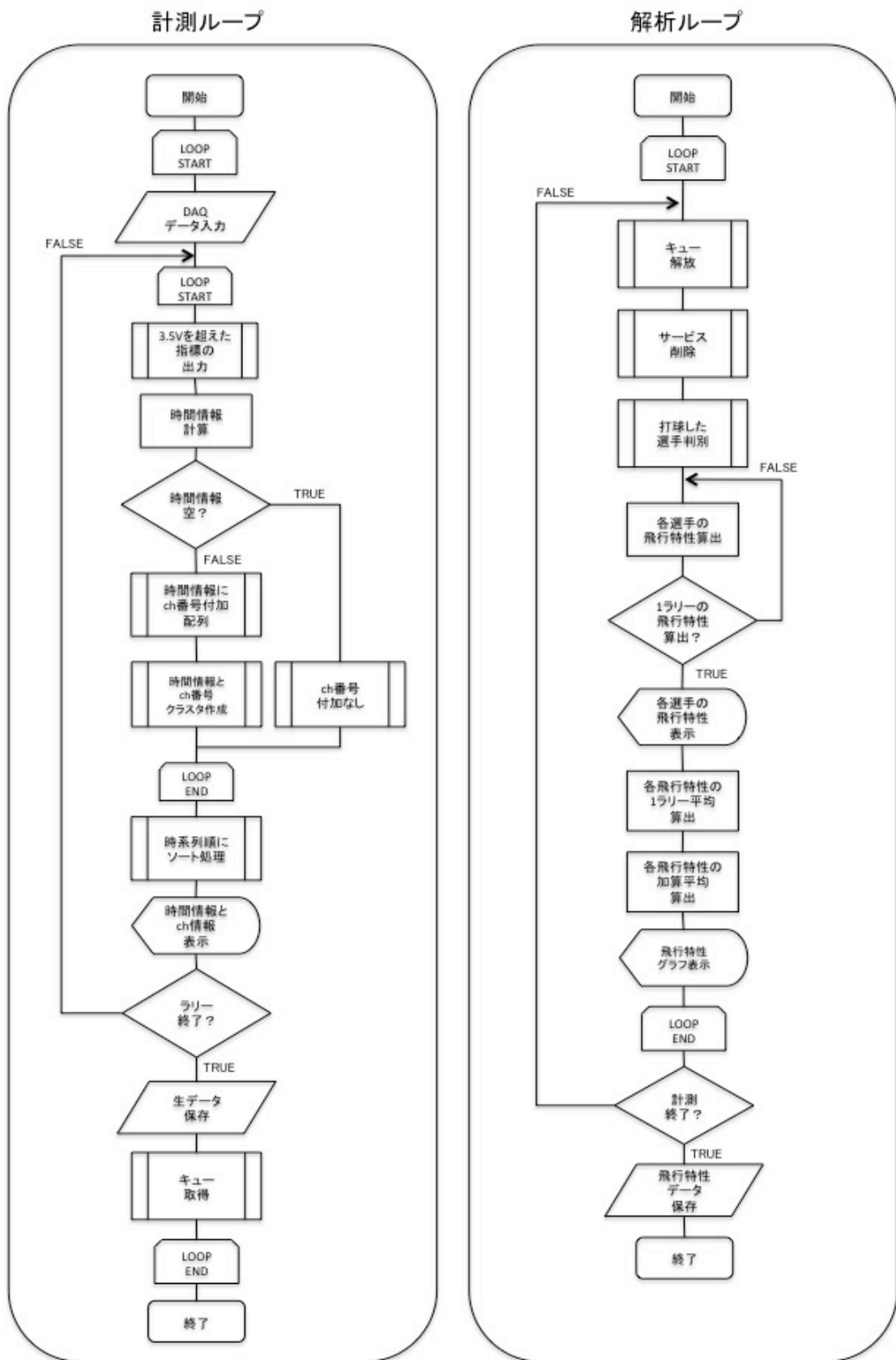


図 2.3 プログラムの作業工程

## 2. 3. 1 計測プログラム

計測プログラムでは、主に集録されたデータからボールがレーザー光を遮った時間とチャンネル番号を抽出する作業が行われている。ここでは、図 2.3 に示したプログラムの作業工程における計測ループのボールがレーザー光を遮光した際のチャンネル番号と時間の抽出方法と、ラリーとラリーを区別させる方法について述べる。

### (1) レーザー遮光時の情報抽出

計測プログラムでは、集録されたデータからボールがレーザー光を遮光して電圧変化が生じた部分のみをはじめに抽出し、それ以外のデータは、解析に流れないようにした。これは、飛行特性の算出に必要なデータのみを採取することによって、処理負担を軽減させるためである。このシステムは、ボールがレーザー光を完全に遮光した場合、電圧が 5.0V の出力変化で出力される仕組みになっている。しかし、ボールが赤道部分でレーザー光を遮光しなかった場合は、電圧が 5.0V 以下になることがある。そこで、これまでの実験を参考に、電圧の出力変化が 3.5V 以上になった場合は、ボールがレーザー光を遮光したものと判断した。そのため、プログラムでは、3.5V 以上の電圧変化があったデータのみを抽出し、ボールがレーザー光を遮光した時間とチャンネル情報を算出した。時間情報は、レーザー光を遮光したポイントを検出する際に解析される入力シーケンスの  $X$  値（解析される信号を表す入力値）とサンプリング周波数の積から計算され、これにボールが遮光されたチャンネル番号が入力順に付加されるようにプログラムの作成を行った。配列された時間情報が空の場合は、ボールが遮光しなかったチャンネルと判断し、チャンネル番号は付加されない仕組みになっている。算出された時間情報とチャンネル番号は、異なった型のデータをまとめて扱うことのできるクラスタを用いて一つのデータの束として扱い、時系列順に並び替えられた後、インターフェースに表示される仕組みである。図 2.4 は、実際にフロントパネル上へ表示されたボールがレーザー光を遮光した際の時間情報とチャンネル情報(以下、時刻順データ)を示したものである。図の左の数値は、時間を示し、右がチャンネル番号を示している。図の最上段に示している数値は、計測開始から 1.316 秒後に 3 チャンネルをボールが遮光したことを意味している。

1.316	3
1.917	10
2.496	6
2.581	12
2.938	10
3.046	1
3.795	5
3.888	11
4.399	12
4.446	1
5.011	14
5.546	11
6.171	8
6.247	11
6.828	9
0.000	0

図 2.4 フロントパネル上に表示された時刻順データ

## (2) ラリーの区別

ゲームの得失点に合わせて選手の打球を評価するためには、選手が打球したボールの飛行特性をラリーごとに表示させる必要がある。このプログラムは、計測スタートから計測終了まで継続してデータ集録が行われるため、ラリーごとに計測を停止しなければラリーとラリーの間が不明なまま飛行特性が算出されてしまう。そこで、本システムは、インターフェース上にラリー終了ボタンを作成し、手動ボタンによってラリーごとにデータ集録を行えるように作成をした。ラリー終了ボタンが押されると、ラリー開始から蓄積された時刻順データは、キュー関数によってパソコンのメモリ上へ一時的に格納され、古いデータから解析ループへ送られる仕組みになっている。さらに、それと同時にコンピュータのハードディスク上に集録されたデータがバックアップとしてラリーごとに記録される仕組みにもなっている。



## 2. 3. 2 解析プログラム

解析プログラムでは、始めに分析対象外であるサービス（第一球目）が削除される。次に、選手ごとに飛行特性を提示させるために、集録されたデータが選手ごとに判別される仕組みになっている。選手ごとに判別されたデータから、「入射角度」・「スピード」・「高度」がそれぞれ算出され、算出された飛行特性は、各ラリーの平均と、ラリーの加算平均の 2 種類のグラフとして表示される仕組みである。ここでは、集録されたデータを選手ごとに判別する方法、飛行特性の算出方法、データの表示方法の 3 つについて述べる。

### (1) 打球した選手の判別

ボールの飛行特性を選手ごとに表示するためには、ボールの飛行特性を算出する前に計測プログラムで抽出された時刻順データを選手ごとに判別する必要がある。例えば、A 選手側のセンサを遮光した際の時刻順データを X, B 選手側のセンサを遮光した際の時刻順データを Y として、A 選手と B 選手がラリーしたボールが必ずセンサ間を通過すると、入力されるデータは、サービスを開始した選手から X・Y・Y・X・X・Y…あるいは、Y・X・X・Y・Y・X…となる。この場合は、データが規則的に入力されているため、A 選手の打球(X・Y)と B 選手の打球(Y・X)は、サービスを開始した選手から順番に判別することが可能である。しかし、実際は、選手の打球したボールが赤外線レーザーユニット上を通過する場合や、ボールが赤外線レーザーユニットの一方しか通過しない場合が存在する。これらの場合は、データが不規則に入力されるため、どちらの選手が打球したかを判別することが困難になる。そこで、ここでは、図 2.5 に示すような作業手順で打球した選手の判別を行った。

まず、時刻順データを入力順に 2 セット採取し、一方を始点(a)と他方を終点(b)とした。始点のチャンネル番号が 1ch~8ch(a<8)で、終点が 9ch~16ch(b>8)、あるいは反対に始点のチャンネル番号が 9ch~16ch(a>8)で、終点が 1ch~8ch(b<8)であるかどうかを判断することで、始点と終点が必ず異なったレーザー光を遮光しているものを抽出する。次に、ボールが赤外線レーザーユニット間を一定時間範囲以内で通過しているかどうかを確認することによって、有効ラリーであるかを判断した。設定時間範囲は、これまでの実験結果から、最も遅いもので 0.2 秒(球速 10.8km/h)、最も速いものは 0.002 秒(球速 100km/h)と設定し

て、この範囲外の時間で赤外線レーザー光を遮光しているものについては、無効ラリーとした。このような条件を満たすことで、ボールがレーザーユニット間を通過した打球であることを特定することができる。ボールがレーザーユニット間を通過した打球であると判断されたデータは、最後に、始点のチャンネル番号が 8ch よりも大きい小さいかで打球した選手が特定できる仕組みになっている。

## (2) ボールの飛行特性の算出

ボールの飛行特性は、選手ごとに判別された後、(1)～(3)の計算式を用いて算出された。

$$\text{入射角度 } \theta(\text{deg.}) = \frac{180}{\pi} \cdot \tan^{-1} \cdot \frac{y}{x} \quad \dots (1)$$

$$\text{スピード } v(\text{m/sec}) = \sqrt{0.6^2 + \{0.04(a-b)\}^2} / (Tb - Ta) \quad \dots (2)$$

$$\text{高度 } h(\text{m}) = \{0.04(a-1) + 0.04(b-1)\} \quad \dots (3)$$

$x(0.6\text{m})$ : レーザーユニットの間隔,  $y(0.04\text{m})$ : レーザーの間隔

$a$ : 最初に遮光されたチャンネル番号,  $b$ : 後に遮光されたチャンネル番号

$Ta$ : 計測開始から  $a$  を遮光するまでの時間,  $Tb$ : 計測開始から  $b$  を遮光するまでの時間

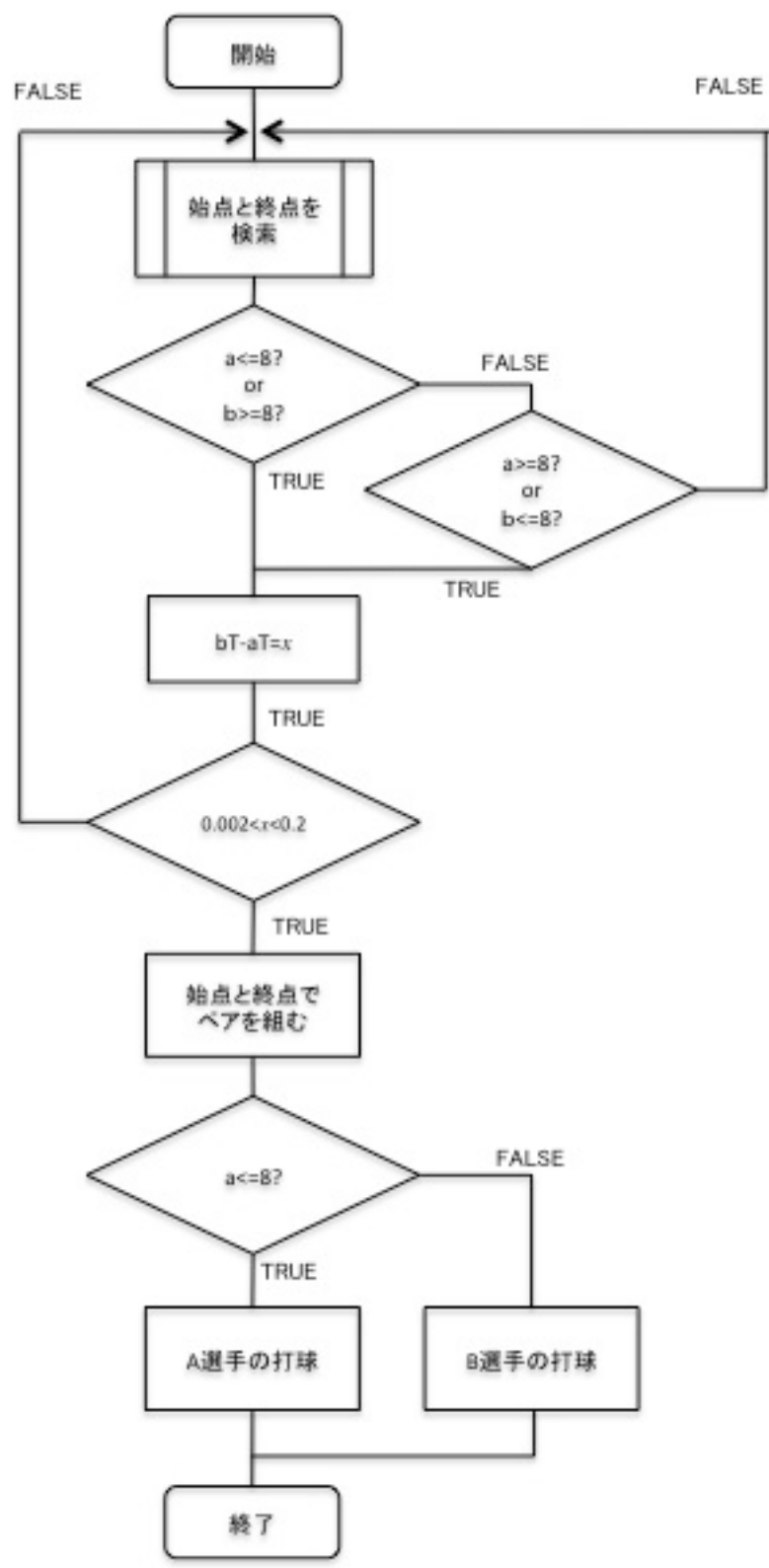


図 2.5 打球した選手の判別

### 2. 3. 3 結果提示

図 2.6 は、数値として算出されたボールの飛行特性を示している。算出されたボールの飛行特性は、ラリーごとに数値としてフロントパネルに表示される仕組みになっている。また、本システムは、指導者や選手が試合の流れに沿って内容を省察しやすいようにボールの飛行特性がそれぞれラリーごとグラフ化されて表示されるようにも作成されている。図 2.7 は、グラフ化されて表示されたボールの飛行特性を示している。図 2.7 は、上からボールのスピード、入射角度、高度を示している。表示されるグラフは、各ラリーの平均と、ラリーの加算平均の 2 種類が表示される仕組みになっている。図 2.7 の左は、各ラリーの平均で、右がラリーの加算平均である。各ラリーの平均については、得点ごとのプレーに対して評価するためのものであり、ラリーの加算平均については、ゲームを全体的にみて、ボールの飛行特性がどうであったかをみるためのものである。

A選手の飛行特性				B選手の飛行特性			
81	球速	入射角度	高度	80	球速	入射角度	高度
	4.25376	7.59464	0.08		4.96563	7.59464	0.16
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	8.23742	3.81407	0.06		5.12644	3.81407	0.1
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	5.32375	7.59464	0.04		5.63947	11.3099	0.1
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	13.3891	-11.3099	0.18		5.01132	11.3099	0.22
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	11.3733	-11.3099	0.18		4.9413	7.59464	0.12
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	4.8104	-11.3099	0.18		5.45673	3.81407	0.14
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	4.9411	3.81407	0.14		5.14282	7.59464	0.2
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	3.39141	14.9314	0.12		5.32375	7.59464	0.24
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	8.74725	7.59464	0.04		5.71586	7.59464	0.08
	球速	入射角度	高度		球速	入射角度	高度
	4.94534	7.59464	0.04		5.14399	3.81407	0.1

図 2.6 数値化されて表示されたボールの飛行特性

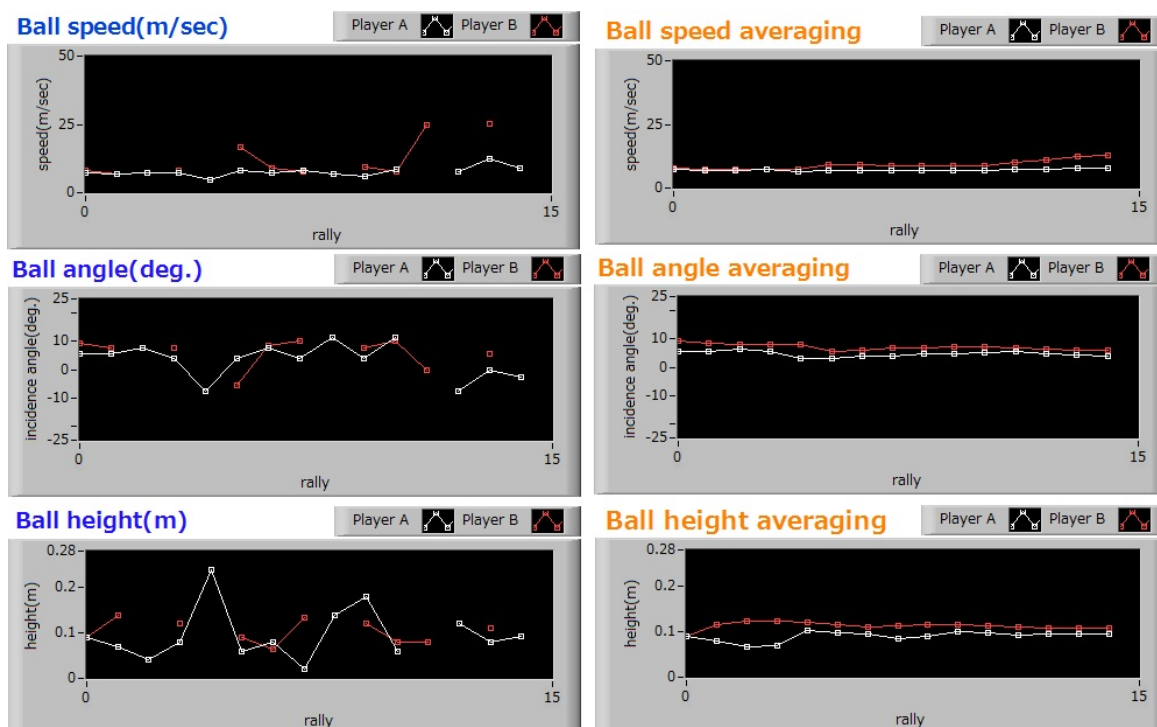


図 2.7 グラフ化されたボールの飛行特性

## 2. 4 有用性の検証

集録されたデータを自動的に解析できるプログラムを作成することにより、ボールの飛行特性をリアルタイムで表示することが可能になった。次に、指導者がこのシステムを用いて選手にアドバイスを与えた際に、選手の打球や試合内容がどのように変化するかを明らかにすることで、このシステムの有用性の検証を行った。

### 2. 4. 1 分析対象者

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  $20.3 \pm 0.6$  歳、身長  $157.0 \pm 3.5$ cm、体重  $49.0 \pm 1.7$ kg、競技歴  $12.7 \pm 1.2$  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。表 2.1 は、分析対象者の特性を示している。

**表 1 分析対象者の特性**

選手	年齢(age)	身長(cm)	体重(kg)	競技歴 (year)	戦型
A	22	161	51	14	前陣速攻型 (右シェーク F 裏・B 表)
O1	21	155	48	12	ドライブ主戦型 (右シェーク F 裏・B 裏)
O2	20	155	48	12	前陣速攻型 (右シェーク F 裏・B 表)
O3	20	155	48	14	ドライブ主戦型 (右シェーク F 裏・B 裏)
平均 ±S.D	20±0.89	156.4±4.67	49.4±3.78	12.8±1.10	

## 2. 4. 2 検証方法

図 2.8 は、実験プロトコルを示している。実験で行う試合は、2 ゲームを 1 試合とし、選手 A に対戦者 3 名と計 3 試合を行わせた。まず実験を行う前に、測定対象者に高いパフォーマンスを発揮させるための競技大会と同様の練習を含めたウォーミングアップを行わせた。ウォーミングアップ終了後、測定対象者に日本卓球公式ルールに従って試合を行わせ、1st ゲーム終了後の休息時間に選手 A へボールの飛行特性分析システムによって 1st ゲームに得られたデータを提示し、アドバイスを与えた。アドバイス終了後、1st ゲームと同様に 2nd ゲームを行わせ、2nd ゲームの飛行特性を記録した。

システムの有用性は、これらの実験で得られた各試合の 1st ゲームの飛行特性と 2nd ゲームの飛行特性の変化や、ボールの飛行特性と得失点の関連、選手の感想の 3 つの事例から総合的に検討を行った。



図 2.8 実験プロトコル

## 2. 5 結果と考察

### 2. 5. 1 選手 A と対戦者 O1

図 2.9 は, A と O1 の対戦における 1st ゲームと 2nd ゲームの飛行特性の変化を示している。図は, 左が 1st ゲームで, 右が 2nd ゲームになっており, 飛行特性は, いずれも上からボールスピード, 入射角度, 高度となっている。また, 図中のグラフは, 白線が選手 A のデータ, 赤線が O1 のデータを示している。

選手 A と O1 の対戦は, 1st ゲーム 13-11 で選手 A が先取した。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 のボールスピードは速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 のボールスピードが速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 のボールスピードがさらに速くなっているが, 入射角度が大きくなっていないことから, ボールスピードのみを速くなった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行った。

2nd ゲームは, 10-12 で O1 が勝利した。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みると, ボールスピードが速く, 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

意識したことで、ボールスピードが速くなり、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。

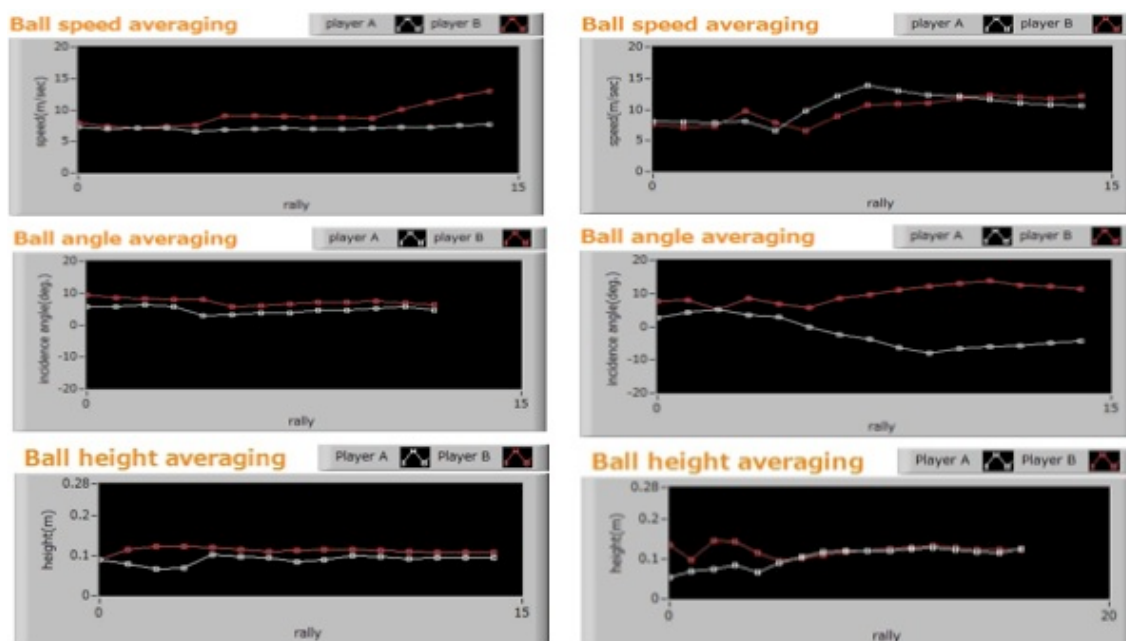


図 2.9 選手 A と 01 の対戦における飛行特性の変化

## 2. 5. 2 選手 A と対戦者 02

図 2.10 は、選手 A と O2 の対戦における 1st ゲームの飛行特性と、2nd ゲームの飛行特性の変化を示している。グラフは、白線が選手 A のデータ、赤色が O2 のデータになっている。選手 A と O2 の対戦は、1st ゲーム 9-11 で、O2 が先取した。選手 A の得失点は、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、中盤から終盤



に比べると小さく、さらにスピードにおいても遅い値を示している。また、O2においても同様に、入射角度とボールスピードは小さく遅い値を示しており、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スピードを速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、ボールスピードを遅くし、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。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、ボールスピードについても、2ndゲームは1stゲームに比べるとボールスピードは中盤にかけて速くならずに打球できていることが分かる。したがって、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よりも小さい打球角度であったのに対し、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がボールスピードを遅くして、入射角度を大きくしたことにより、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。したがって、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．

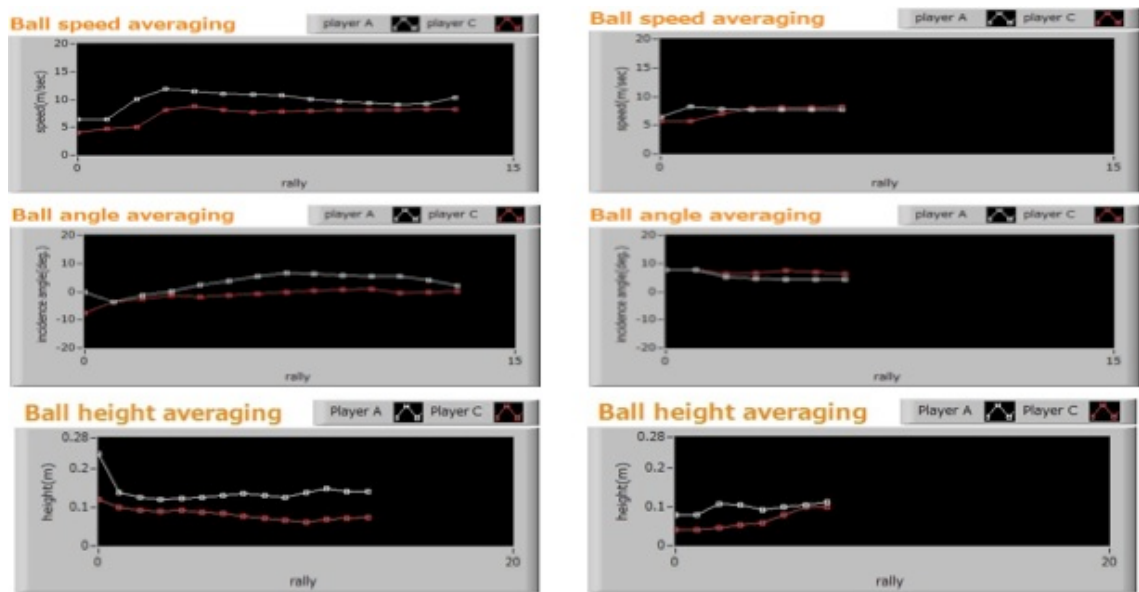


図 2.10 選手 A と 02 の対戦における飛行特性の変化

### 2. 5. 3 選手 A と対戦者 03

図 2.11 は，選手 A と O3 の対戦における 1st ゲームの飛行特性と，2nd ゲームの飛行特性の変化を示している．グラフは，白線が選手 A のデータ，赤色が O3 のデータになっている．選手 A と O3 の対戦は，1st ゲーム 11-6 で選手 A が先取した．選手 A の入射角度とボールスピードは，O3 よりも大きく速い値を示している．特に，序盤のボールスピードは 15m/sec と速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，中盤から終盤のボールスピード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，ボールスピード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、得失点をみても選手 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、常にボールスピードが 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 に中盤からボールスピードは遅くなってきているが、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。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スピードは遅くなっている。このことから、選手 A は、ボールスピード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、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、「国民体育大会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に知りたい」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。

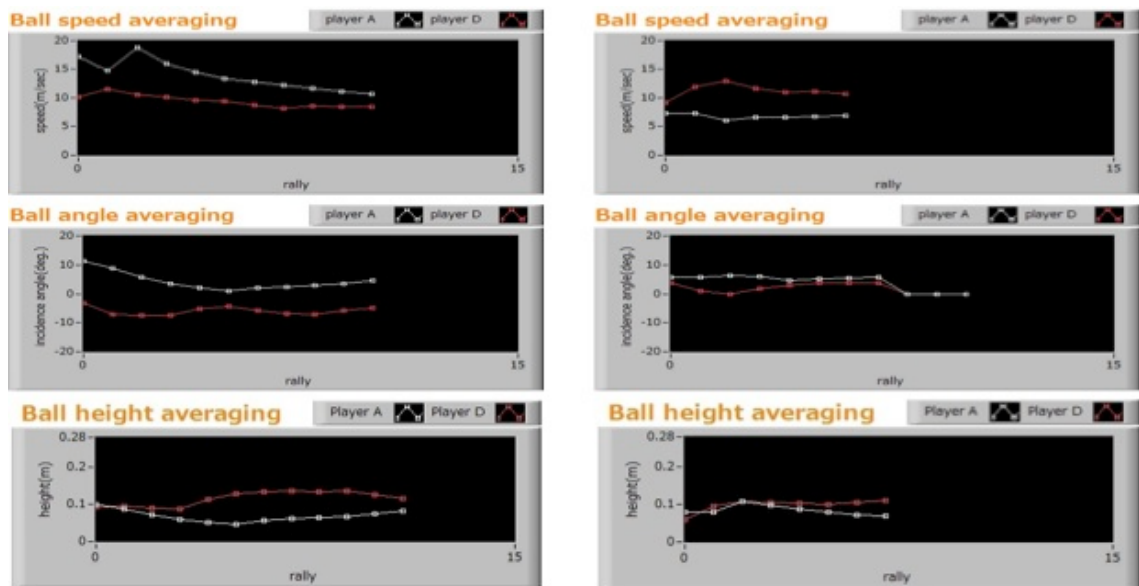


図 2.11 選手 A と 03 の対戦における飛行特性の変化

## 2. 6 本章のまとめ

現在のスポーツ分野では、パーソナルコンピュータの発展に伴って、競技現場で情報機器を駆使したゲーム分析が行われるようになってきており、それにより高いパフォーマンスが発揮されている。しかし、卓球競技は、ラリーが非常にスピーディーであるといった競技特性から試合の内容を記録することが困難であるため、指導者や選手の主観的な分析によって、試合の戦術や、技術が評価されることがほとんどである。そのため、卓球競技は、試合の勝因や敗因が正しく把握されないまま指導者は選手にアドバイスを与えたり、選手はトレーニングを行ったりしているのが現状である。卓球競技においても、情報機器を活用した客観的分析を行うによって、高いパフォーマンスが発揮されるものと考え、本章では、選手が打球したボールのスピードや、回転によって変化するボールの飛行特性に着目し、ボールの「入射角度」・「スピード」・「高度」を即時的に定量化できるシステムを作成し、そのシステムの有用性について検証を行った。その結果、ボールの飛行特性をリ

アルタイムでフィードバックすることが可能になり、指導者は選手の打球に関して、論拠となる資料を提示しながらアドバイスを与えることが可能になった。また、このシステムを使用して、選手にアドバイスを与えた結果、このシステムは、選手の打球を評価するだけではなく、試合結果に対する試合内容の評価や、選手の打球の癖を把握するうえでも有用であることが明らかになった。さらに、このシステムを使用した選手の感想から、飛行特性をグラフ化してフィードバックすることで、指導者と選手の打球に対するイメージを共有するうえでも有用性が高いことが示された。選手は、競技レベルが高いほど飛行特性に加えて打球方向や打球の待ち時間などの要素を組み合わせる技術・戦術を組み立てるため、技術・戦術の要素を二次元からさらに三次元的に分析・評価できる要素を定量化していくことで、より詳細に技術や戦術に関するアドバイスが可能になるものと考えられた。

## 第 3 章

### 配球特性について

#### 3. 1 緒言

卓球競技におけるボールの球速は、最大で 130km/h に達するとされている[89]。また、序論でも述べたように、国内トップの学生プレーヤーでもスマッシュボールの球速は、100km/h にもなる。卓球競技は、対戦相手と打ち合う距離が球技のなかで最も短いため、4m 程度の距離から 100km/h でスマッシュボールを打球された場合は、相手が打球してからの待ち時間は、0.04 秒と非常に短くなる。人間の全身反応時間が 0.3~0.4 秒であることを考えると、100km/h 以上の速さでボールを打球された場合は、対応するのがかなり困難であることが分かる[90]。このことから、相手の打球してくる場所は、試合中であれば相手が打球する直前に、相手の打球する位置やラケット角度、バックスイングなどの情報から予測し、試合前であれば事前に撮影した対戦相手の映像などから分析しておくことが重要になる。しかし、卓球競技は、競技レベルが高くなるほど上級者の試合では、相手の打球する場所が予測できていても、プレースメントおよび打球のコースに関する戦術要素に、回転などの要素が組み合わせられるため、戦術が複雑化し、失点してしまうということがある。そのため、卓球競技の戦術に関する先行研究では、序論で述べた国内の先行研究に加え、国外のものでも打球コースを技術と関連づけて分析されているものが多い [91] [92] [93]。しかし、これらの先行研究は、時代に応じた技術や戦術の特徴を把握するうえで有用な資料であるが、映像による主観的分析がほとんどであるため、実際に打球されたボールスピードや、回転数などの客観的情報となる物理量は把握することは困難であり、得点や失点の要因までは正確に把握されていないものが多い。

打球する場所については、卓球競技の技術・戦術に関する文献をみると、「打球コース」や、「プレースメント（送球点）」、あるいは、前後、左右、高さを含む打球コースに関するものとして「空間」と表現されているものがある[94][95][96][97]。これらは、いずれもボールが卓球台のどこへ落下したかによって決定されるため、ボールの落下点と考えること

ができる。ボールの落下点に関する先行研究では、得点あるいは失点した際の落下点のみを記録して技術と関連させて分析をおこなっているものが多い。しかし、ボールの落下点は、ボールを返球した後に、次の落下点を予測しながら打球しなければならないため、点を連結した一連の配球パターンとして分析を行わなければならないと考えられる。配球パターンに関する先行研究では、配球パターンを得失点別に記録・分析し、その結果を選手へ伝えることで、配球に関する適切なアドバイスを行える可能性を示唆しているものが見受けられる[98][99][100][101]。さらに、配球パターンに、ボールの飛行時間といった時間的要素を分析に取り入れることによって、打法を含めたボールの回転軸や回転数を特定できる可能性も示唆されている [102]。そこで配球パターンとボールの飛行時間を配球特性として捉えて、配球特性を即時的に定量化することができれば、対戦相手の配球パターンや、ボールの回転を予測でき、さらにリアルタイムで戦術や技術を分析・評価することが可能になるものと考えた。そこで、本章では、加速度計を用いてボールが卓球台に落下した際の振動をノートパソコンへ取り込み、記録された振動特性からボールの落下地点の推定を行うことで配球特性の定量化を試みた。

### 3. 2 研究方法

#### 3. 2. 1 計測システムの概要

本システムは、先行研究で行われた方法論を参考にして計測を行った。加速度計は、感度 400mV/G の圧電型加速度計 (ADXL-150) を合計 8 個用いた。これらは、卓球台の裏面に設置され、ボールが落下した際に得られる垂直方向の振動が検出される仕組みになっている。図 3.1 は、卓球台の裏面に設置した加速度計を示している。加速度計から得られた信号は、計測・制御ソフト LabVIEW2010 ver.10.0.1 (National Instruments 社製) を用いてあらかじめ作成したプログラムによって、サンプリング周波数 10kHz で A/D 変換された後にノートパソコンへ保存され、解析される仕組みになっている。本研究で使用した加速度計は、加速度 0[G]のときに、250[mV]の電圧変化で出力されるため、求める加速度を  $x$ [G]、加速度計から得られる電圧変化を  $A$ [mV]とし、(1) の計算式を用いて加速度を算出した。算出された加速度は、絶対値化された後に最大値のみが記録されるようになっている。

$$x[G]=\{A[mV]-250[mV]\}/0.4[mV/G] \quad \dots \quad (1)$$



図 3.1 加速時計設置の様子

### 3. 2. 2 実験条件

#### (1) 加速度計設置位置とボールの落下地点

図 3.2 は、卓球台を真上から見た図である。本研究は、卓球台上の片面を 10 分割し、ボール落下地点を 44 箇所を設定した。領域設定は、楊らの先行研究で記録された実際の試合で配球の多かった領域を参考にし、加速度計は領域の中央に設置した[96]。領域は、卓球台のサイドラインからサイドラインまでを 50cm 間隔で 3 分割し、左から Left, Center, Right とした。次に、ネットから 17cm の場所からエンドラインに向かって 40cm 間隔でそれぞれ 3 分割し、ネット手前から short, middle, long とした。それぞれの領域を Left-short (L-s : 1ch), Center-short (C-s : 2ch), Right-short (R-s : 3ch), Left-side (LS), Left-middle (L-m : 4ch), Right-middle (R-m : 5ch), Right-side (RS), Left-long (L-l : 6ch), Center-long (C-l : 7ch), Right-long (R-l : 8ch) と定義した。ただし、LS と RS の領域については、加速度計の数に限りがあるため、領域面積を半分にし、加速度計はなしとした。ボール落下地点は、各領域で加速度を明確にするため、加速度計の真上と領域内で等分した場所に設定をした。



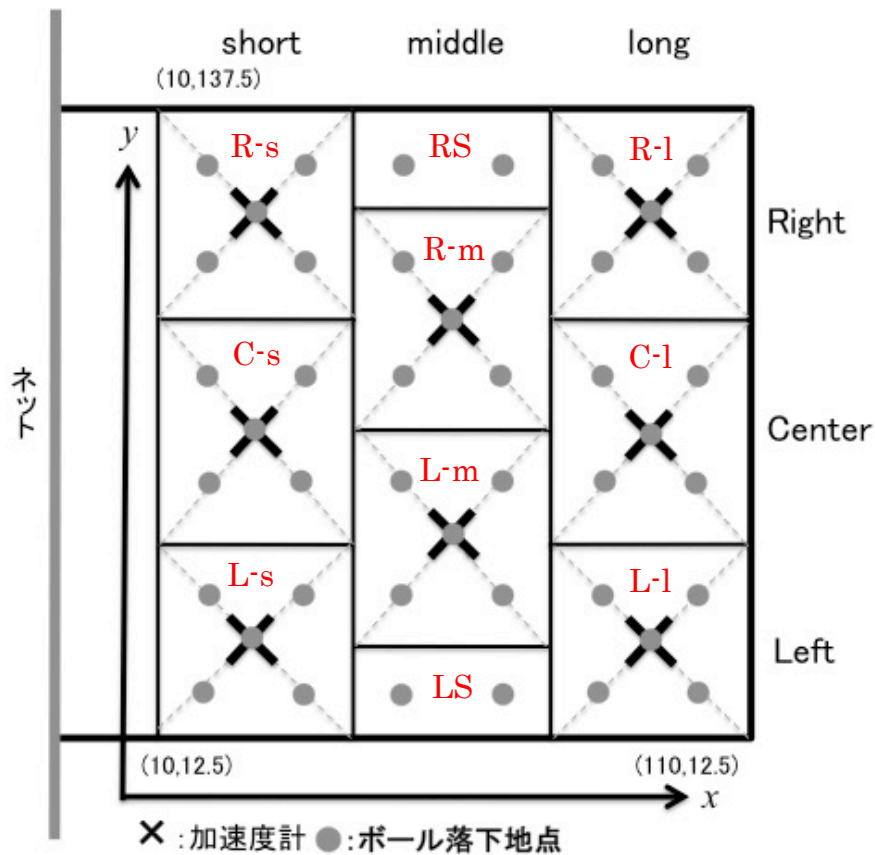


図 3.2 加速時計設置位置とボール落下地点

## (2) ボール落下回数と高さ

本実験は、あらかじめ設定したボール落下地点 44 箇所へそれぞれ 10 回ずつボールを自然落下をさせた。ボールを落下させる高さは、20cm と 30cm の 2 種類とした。およそ 16cm の高さからボールが落下することは、ネットの高さが 15.25cm であるため、物理的にあり得るが、実際のラリー中ではそのようなボールは少ない。選手が打球したボールの打球線の頂点は、選手の打球特性と打球曲線を調査した先行研究によると、ネット上から 0.06m 以上であることが多い[103][104][105][106]。しかしながら、第一球目のサービスや、台上のショートボールは、ボールが落下する高さとネットの高さの差が小さくなる。そのため、本研究におけるボールを落下させる高さは、ネットからおよそボール 1 個分の高さを見積もった 20cm を最も低い高さとして設定をした。

### 3. 2. 3 分析方法

#### (1) マハラノビス距離による判別分析

図 3.3 は、統計ソフトウェア JMP8 を用いて、20cm の高さからボールを落下させた際の各加速度計から得られた 8 変数に関する学習データ（落下領域が判明しているデータ）を多次的に平面図へプロットしたものである。図中の黒丸は、各群の重心を示している。この図から領域設定した 10 群の重心はおおよそ分離していることが視覚的に分かる。つまり、領域ごとに振動特性が分類されているといえる。そこで、本研究は多変量解析のマハラノビス距離による判別分析を用いて解析を行った[107]。これにより、領域ごとの振動特性を分類できる判別式（線形判別関数）を学習データに基づいて構成することができれば、ボール落下地点は、判別式に新規データ（落下領域が不明なデータ）を代入することによって推定できると考えたためである。

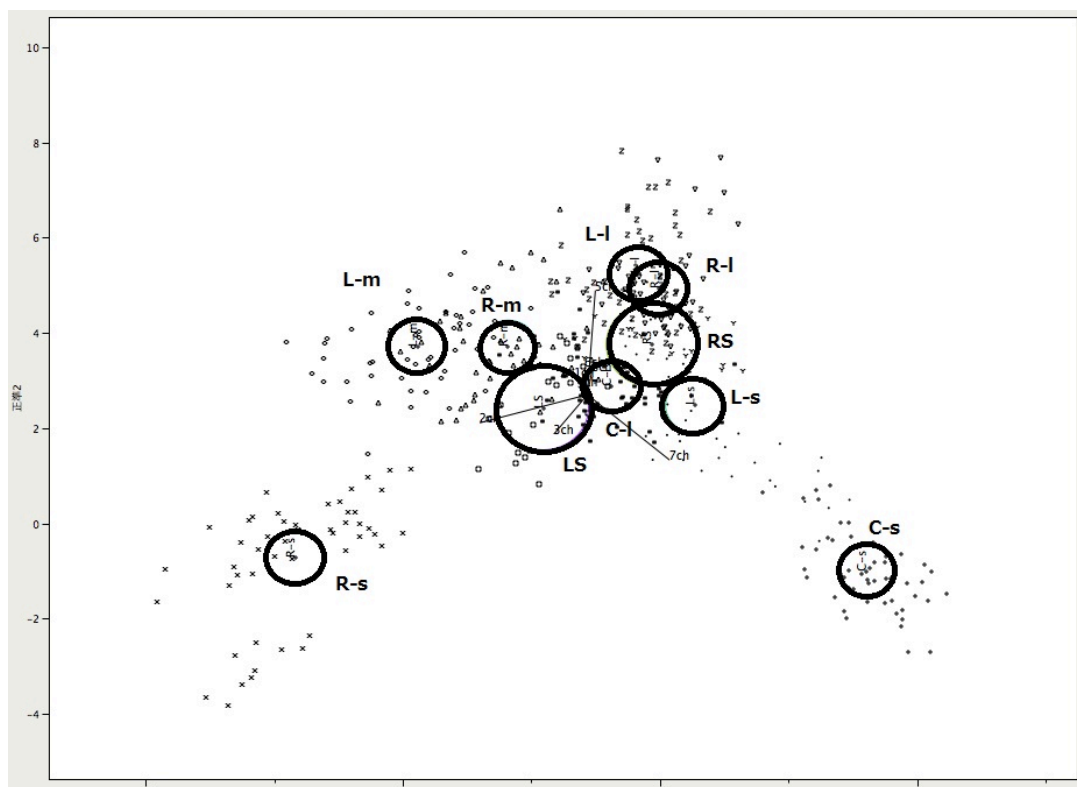


図 3.3 平面図へプロットされた 8 次元学習データ

図 3.4 は本章の分析デザインを示している。まず、20cm の高さから落下させた学習データ (n=437) に基づいて、領域ごとに標本平均ベクトルと標本分散共分散行列を算出し、10 個の判別式を構成する。この判別式へ判別式の構成に用いた学習データおよび 30cm の高さから落下させた新規データ (n=436) を代入することでマハラノビス距離を算出し、実際に落下させた領域へどの程度判別されるか評価を行った。なお、判別式の構成とマハラノビス距離の算出には、統計解析ソフト SPSS15.0J と数値計算ソフト Mathematica4.2 を用いた。

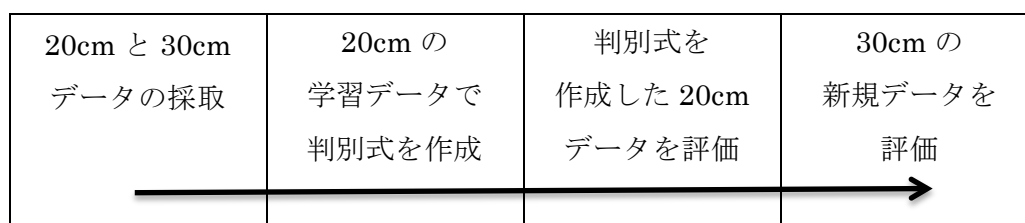


図 3.4 本章の分析デザイン

## (2) 評価方法

評価は、(2) の計算式で算出された誤判別率によって行った。本稿の誤判別率とは、新たに観測された新規データが実際に落下した領域とは別の領域に誤判別をした割合を表したものである。誤判別率は、確率が低いほどボール落下地点を推定できる可能性が高いと評価することができる。なお、誤判別率については、小数第 2 位を四捨五入して算出した。

$$\text{誤判別率} = \frac{\text{誤判別された個体数}}{\text{全体個数}} \quad \dots (2)$$

表 3.1 高さ 20cm 落下データの判別領域と誤判別率

		マハラノビス距離による判別された領域										データ数 (個)	誤判別率 (%)
		L-s	C-s	R-s	LS	L-m	R-m	RS	L-l	C-l	R-l		
ボール 落下 領域	L-s	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0.0
	C-s	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0.0
	R-s	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	50	0.0
	LS	0	0	0	19	0	0	0	0	1	0	20	5.0
	L-m	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	50	0.0
	R-m	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	50	0.0
	RS	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0.0
	L-l	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	50	0.0
	C-l	0	0	0	0	0	0	0	1	49	0	50	2.0
	R-l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	0.0

### 3. 3 実験結果

#### (1) 20cm データの評価

まず、20cm のデータについて結果を述べる。表 3.1 は、領域ごとに 20cm の高さから落下させたデータについて、判別された領域と各領域の誤判別率を表したものである。この表をみると、LS と C-l の領域については、誤判別率はそれぞれ 5.0% と 2.0% であり、いずれもわずかに Long 領域へ誤判別があることが分かる。しかし、その他の 8 領域については誤判別が 0.0% であり、8 領域へ落下したデータは、実際にボールが落下した領域へ全て判別できることが明らかになった。

表 3.2 高さ 30cm 落下データの誤判別領域と誤判別率

		マハラノビス距離による判別された領域									データ数 (個)	誤判別率 (%)	
		L-s	C-s	R-s	LS	L-m	R-m	RS	L-l	C-l			R-l
ボール 落下 領域	L-s	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0.0
	C-s	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0.0
	R-s	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	50	0.0
	LS	0	0	0	2	5	2	0	4	6	0	19	89.5
	L-m	0	0	0	0	49	1	0	0	0	0	50	2.0
	R-m	0	0	0	0	5	45	0	0	0	0	50	10.0
	RS	0	0	0	0	0	0	14	0	1	5	20	30.0
	L-l	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	50	0.0
	C-l	1	0	0	0	0	4	0	1	44	0	50	12.0
	R-l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	0.0

(2) 30cm データの評価

次に、30cm のデータについて結果を述べる。表 3.2 は、高さ 30cm からボールを落下させたデータについて同様の判別式を用いて評価した結果を表している。short 領域の L-s, C-s, R-s と long 領域の両サイドに位置する L-l と R-l については、誤判別率は 0.0% であり、実際に落下した領域へ十分な判別を行うことができることが明らかになった。卓球台の中央付近に位置する L-m と R-m, C-l については、誤判別は 2.0%~12.0% であり、かなり高い確率で判別できるものの、わずかに誤判別があった。加速度計の設置されていない middle 領域の両サイドは、誤判別率が 89.5% と 30.0% であった。そのなかでも特に LS については、判別が困難であった。

以上の結果から、実際にボールが落下した地点と誤判別された領域の振動特性を比較することで、誤判別された要因について考察を行った。

### 3. 4 考察

#### (1) LS の誤判別について

最も誤判別が多かった LS は、表 3.2 から C-1 (31.6%), L-m (26.3%), L-1 (21.1%), R-m (10.5%) の計 4 領域へ誤判別をしたことが分かる。また、表 3.3 は LS におけるボール落下地点ごとの判別領域を示している。表 3.3 をみると、(50,12.5)地点に落下したものは、C-1 と R-m へ誤判別されており、(70,12.5)地点に落下したものは、L-m と L-1 へ誤判別をしていることが分かる。

表 3.3 LS 領域における落下地点ごとの判別領域

		判別された領域				
		LS	L-m	R-m	L-1	C-1
LS	(50,12.5)	1	0	2	0	6
	(70,12.5)	1	5	0	4	0

まず、(50,12.5)の振動特性と誤判別された C-1 と R-m の振動特性を比較してみる。図 3.5 は、LS の各地点へ 30cm の高さからボールを落下させた際に得られた振動特性を示したものである。この図から(50,12.5)地点は、3ch と 8ch がやや反応しているものの、各加速度に大きな振動特性はみられない。図 3.6 と図 3.7 は、C-1 と R-m の振動特性を表している。C-1 と R-m の振動特性をみると、それぞれの領域中央に設置されている 7ch または 5ch の加速度計は、大きな値を示していない。また、他の加速度計については、8ch と 3ch または 4ch がやや反応しているが大きな差はない。このことから、LS 領域における誤判別については、C-1 と R-m の領域内に加速度計が設置されているにも関わらず、振動特性が明確にならなかったために、加速度計が設置されていない LS と振動特性が類似したことが原因で誤判別を起こしたものと考えられる。

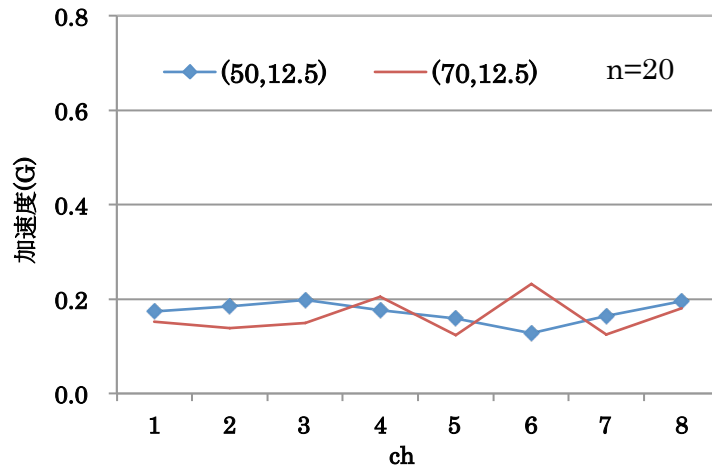


図 3.5 LS における落下地点ごとの振動特性 (30cm データ)

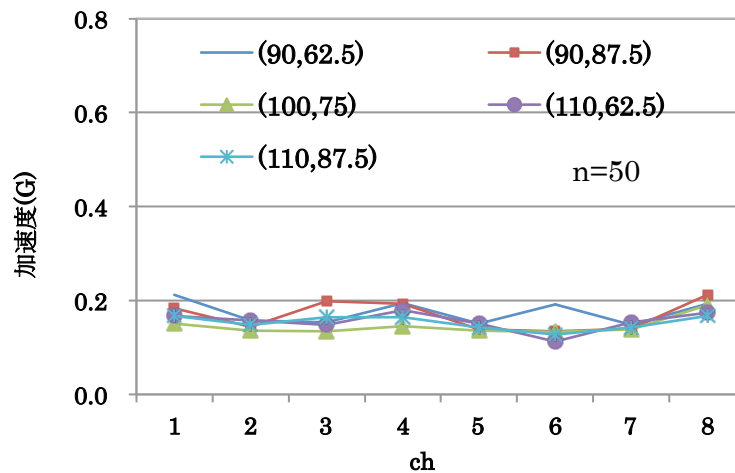


図 3.6 C-l における落下地点ごとの振動特性 (30cm データ)

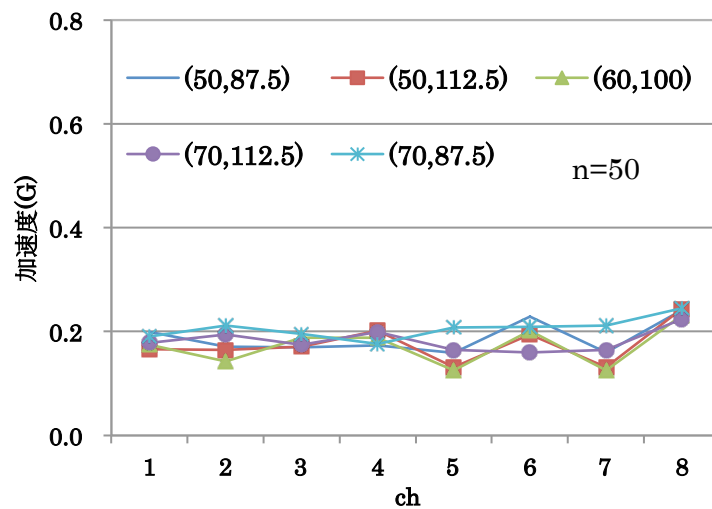


図 3.7 R-m における落下地点ごとの振動特性 (30cm データ)

次にLSにおける(70,12.5)地点と誤判別したL-mとL-lの振動特性を比較した。図3.5より(70,12.5)地点の振動特性は、6chがやや大きな値を示し、4chと8chが近い値を示していることが分かる。次に、図3.8と図3.9に示されたL-mとL-lの振動特性をみると、L-mは、多くの地点で領域中央に設置されている4chの加速度計が大きな値を示し、続いて6chと8chが近い値を示している。L-lは、領域中央の6chが最も大きな値を示し、次に4chと8chが近い値を示している。以上のことから、LSにおける誤判別は、加速度の大きさは異なるものの、判別に起因していると思われる4ch、6ch、8chが(70,12.5)地点とL-m、L-lで共通していることが原因であると考えられる。LSの誤判別率は、89.5%と高い結果であったが、(70,12.5)地点の誤判別については、いずれも隣接した領域に誤判別しているものであるため、領域設定の工夫により、誤判別率を下げられるのではないかと考えられる。

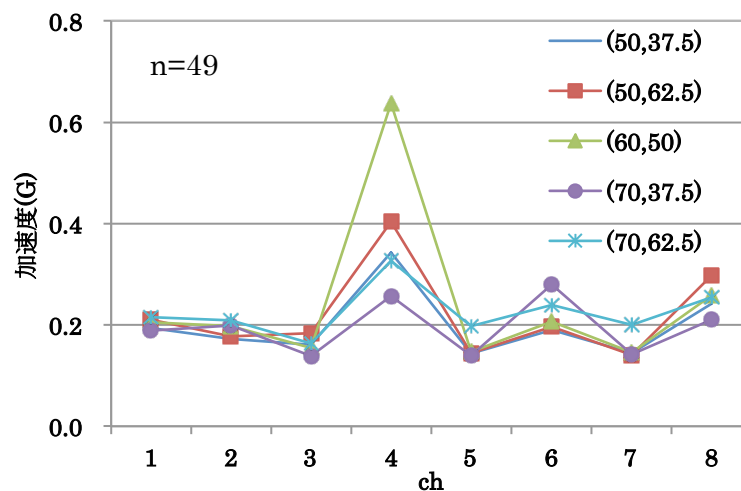


図 3.8 L-mにおける落下地点ごとの振動特性 (30cm データ)



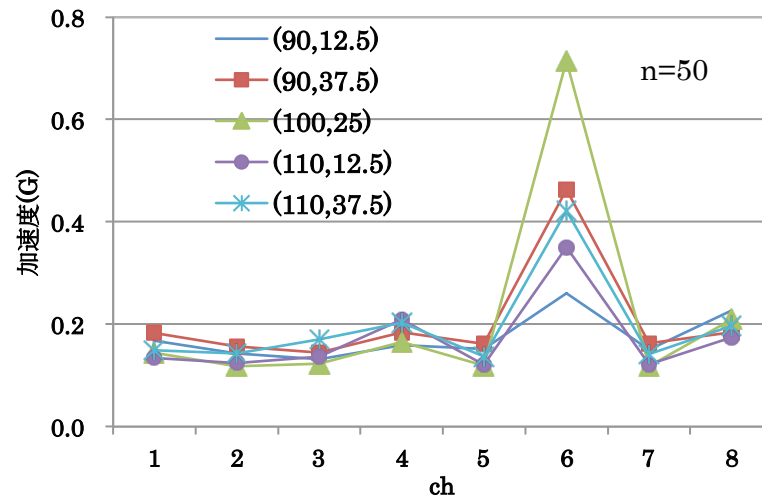


図 3.9 L-1 における落下地点ごとの振動特性 (30cm データ)

(2) RS の誤判別について

RS における誤判別は、25.0%が R-1 であり、全て (70,137.5) 地点へ落下させたものであった。そこで、(70,137.5) 地点の振動特性と R-1 の振動特性を比較した。図 3.10 は、RS における振動特性を示しており、図 3.11 は、R-1 の振動特性を示したものである。図 3.10 より(70,137.5)地点の振動特性は、8ch が大きな値を示し、1ch と 4ch が近い値を示している。一方、R-1 は、多くの地点で 8ch が大きな値を示しめしており、2 地点が 1ch と 4ch で近い値を示している。これらから RS は、LS の (70,12.5) 地点と同様に、隣接する加速度の影響により誤判別したものと考えられる。そのため、RS についても領域設定の工夫により、誤判別を改善できるものと考えられる。

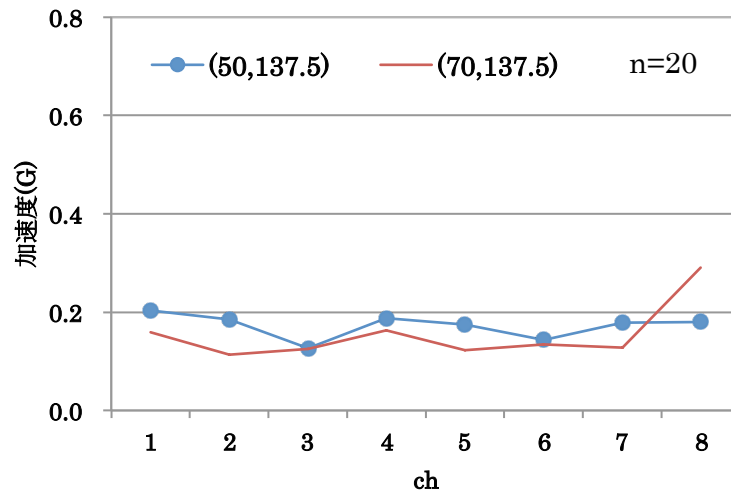


図 3.10 RS における落下地点ごとの振動特性 (30cm データ)

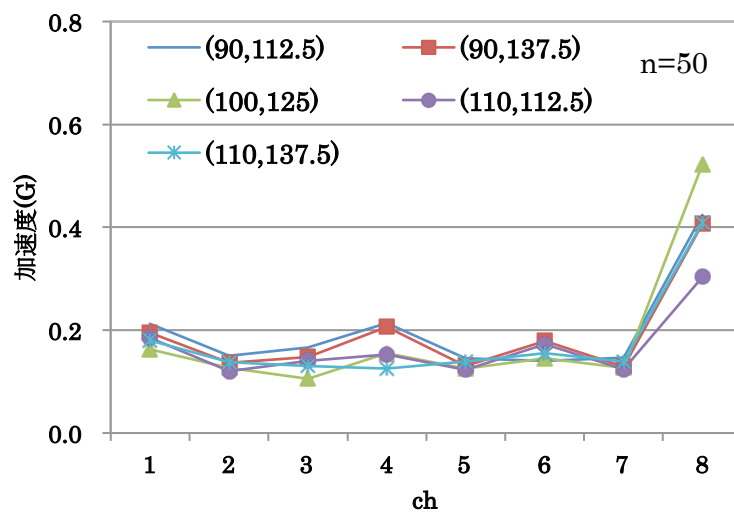


図 3.11 R-I における落下地点ごとの振動特性 (30cm データ)

(3) C-1 の誤判別について

C-1 は、領域中央に設置された加速度計の真上である (100,75) 地点へ落下した際の誤判別率が最も高く、R-m への誤判別が多かった。これは、図 3.6 と図 3.7 から分かるように、C-1 と R-m どちらも領域中央に設置された加速度計が大きな値を示さなかったことにより、判別に影響する振動特性を得られなかったことが原因であると考えられる。さらに、図 3.12 は、C-1 の (110,87.5) 地点で 20cm の高さからボールを 10 回落下させた振動特性を示したものである。図 3.12 より C-1 の (110,87.5) 地点は、ボールを落下させるごとに振動特性が変化することが分かった。つまり、C-1 は、ボールを落下させる地点によって振動しに

くい地点や、振動が安定して得られない地点があるということである。これは、卓球台の天板が木製であることと、卓球台の支柱が下にないといった卓球台の構造が影響しているものと考えられる。したがって、この地点については、振動を安定して得るために卓球台の天板を固定するなどの工夫が必要であると考えられる。

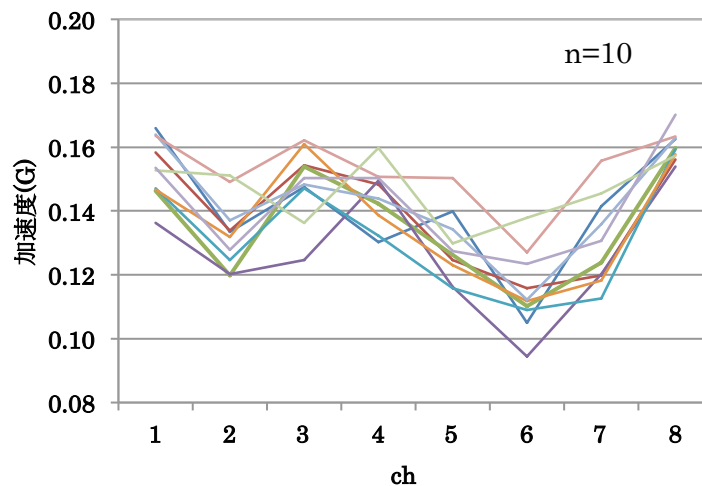


図 3.12 (110.87.5) 地点における高さ 20cm 落下の振動特性

#### (4) R・m の誤判別について

R・m で誤判別された領域は、全て隣接している L・m であり、誤判別があった落下地点は、(50,112.5) のみであった。そこで、(50,112.5) 地点の振動特性と L・m の振動特性を比較してみる。図 3.13 は、(50,112.5) 地点において 30cm の高さからボールを 10 回落下させた際の振動特性を示している。図 3.13 をみると、4ch, 6ch, 8ch がやや大きい値を示しており、図 3.8 に示す L・m の振動特性と類似している。つまり、相互の振動特性が類似しているために誤判別をおこしたものと考えられる。さらに、図 3.14 に示した R・m の (50,112.5) 地点に 20cm の高さから落下させた振動特性と図 3.13 を比べると、R・m は高さが変化しても加速度の大きさは変化しないことが分かる。つまり R・m は、他の領域に比べると振動しにくいという特性があると考えられる。

これまでの考察をふまえると、middle 領域における LS の (70,12.5) 地点、R・m の (50,112.5) 地点、long 領域の L-l については、判別に影響する振動特性が類似して得られることが分かった。これは、卓球台の支柱付近である 6ch と 8ch の振動が安定して得られ

るためであると考えられる。同様に，short 領域の誤判別率が低い要因は，卓球台のネット付近が金具で固定されているため，安定した振動特性が得られるからであると考えられる。これに対して，卓球台片面の中央付近である L-m と C-1 については，他の領域とは異なる振動特性があり，安定した振動を得にくいことが分かった。これらの地点については，領域設定と加速度計設置位置の再検討や，安定した振動を得るための工夫が必要である。

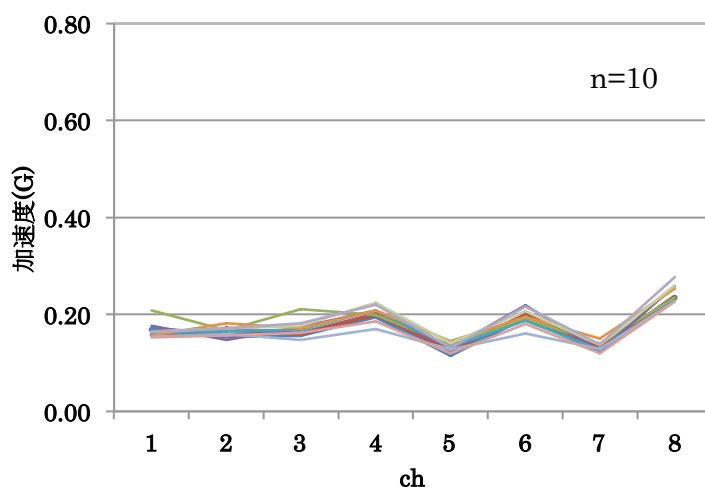


図 3.13 (50, 112.5) 地点における高さ 30cm 落下の振動特性

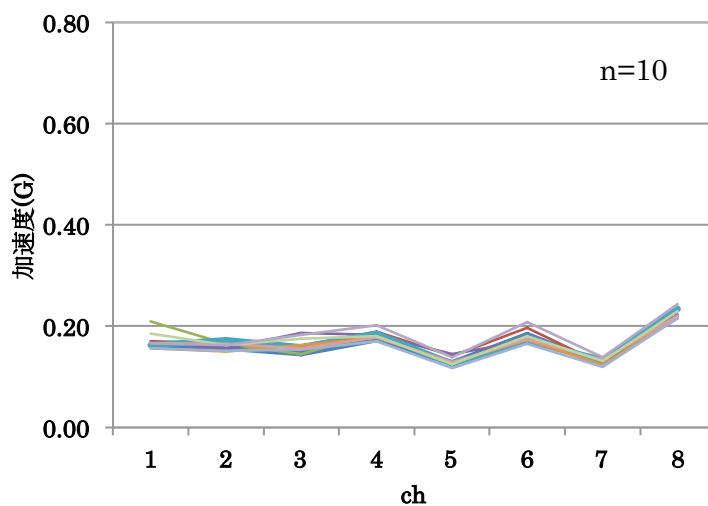


図 3.14 (50, 112.5) 地点における高さ 20cm 落下の振動特性

### 3. 5 本章のまとめ

本章は，卓球競技における選手が打球したボールの配球パターンと飛行時間を配球特性として捉え，ボールが卓球台へ落下した際に得られる振動特性からボールの落下地点の推定を行った．本章で得られた知見を以下にまとめる．

1. 多変量解析の判別分析によって，ボール落下領域を 88%以上の確率で推定できる可能性が示唆された．
2. short 領域と long 領域の両サイドについては，比較的安定した振動特性が得られるため，それらの地点については特に高い確率で落下領域を推定できることが示唆された．
3. 多変量解析の判別分析によってボールが落下する高さに変化しても判別できる可能性が示唆された．
4. 卓球台の中央付近においては，加速度計の近くであっても振動特性が明確になりにくい地点が確認された．

本章の方法論は，従来行われてきた映像分析とは異なり，ボールの飛行時間も即時的に定量化できるための，選手が打球した領域に加え，それぞれの領域へ打球した時間間隔から用いた打法や回転軸も三次元的に分析・評価することが可能である．本実験では，振動特性が不明確な地点があげられたが，加速度計の設置位置や領域設定を工夫することによって振動特性を明確にすることができれば，さらに高い確率でボールの落下領域を推定できるものと考えられる．

## 第 4 章

### 回転特性について

#### 4. 1 緒言

卓球競技は、ボールに与えられる回転数が非常に大きいため、相手が対応困難な回転をボールに与えることは、試合を有利に進めるうえで重要な要素となる。そのため、相手の打球したボールを返球する際には、相手の配球パターンが予測できても、相手の打球するボールの回転数や、回転軸が予測できなければ、相手の回転に影響されて失点してしまうことがある。ボールの回転は、トップスピン（前進回転）、バックスピン（後退回転）などいくつかあげられるが、これらはボールの回転数や回転軸によって決定される。そのため、回転特性は、ボールの回転軸と回転数として捉えられると考えられる。回転特性のなかでも特に回転数は、相手の打球するボールの回転数に応じて、返球する際のラケット角度やラケットの振り出し方、スイングスピードなどを変化させる必要があるため、パフォーマンスに大きな影響を与えると考えられる[108]。

卓球の回転に関する先行研究では、38mm ボールと 40mm ボールの違いを明らかにしたもののや、中国ナショナルチームや元世界チャンピオンなどのトップクラスの選手や、国内大学生を対象として、打法や技術別に打球直後の回転数を計測したものがあげられる[109][110][111][112][113]。これらは、客観的情報であるため、誰もが理解しやすいものであり、技術・戦術を評価したり選手がトレーニングを行ったりする上で貴重な資料である。しかし、回転特性は、戦術要素のなかでも視覚的に捉えにくい要素であるため、これまでに基礎研究が少なく、回転特性に関する理解や習得に役立つデータはまだ十分とは言えない。

卓球競技は、早いピッチや高い打球点で打球することは戦術的に有効であるが、相手が打球するボールの回転数が大きいほど、早いピッチや高い打球点で打球すると相手の回転の影響を受けエラーをする可能性が高くなる[114][115][116][117]。また、卓球競技は、使用される卓球台のメーカーによって摩擦係数が異なるため、台ごとにボールがバウンドす

る際の回転数が異なる。そのため、わずかな回転数の変化がパフォーマンスを左右する卓球競技は、卓球台のバウンドによる回転数の変化によっても影響を受ける。さらに、卓球ボールは、軽量であることから空気抵抗を受けやすく、飛行中においてもボールの回転数は減衰する。このように、ボールの回転特性は、相手が打球した後も変化を続けるため、卓球台とのバウンドによる回転数の変化や、飛行中の回転数の変化も把握しておく必要がある。しかし、これらのことについて明らかにされた先行研究はこれまでのところ見受けられない。卓球台とのバウンドによる回転数の変化や、飛行中の回転数の変化を把握することができれば、それらの変化に応じた戦術や技術を選択することが可能になると考えられる。そこで、本章では、異なる卓球台の表面によるバウンド前後の回転数の変化と、バウンド後の回転数の減衰について明らかにしていく。

## 4. 2 バウンドによる回転数の変化

本実験では、使用する卓球台やボールに応じて変化するバウンド前後のボールの回転数を明らかにするために、公式戦で使用される主な代表メーカー3社の卓球台とボールを使用し、9通りの卓球台とボールの組み合わせを計測した。

### 4. 2. 1 実験方法

本実験は、ボールスピードと回転数を調整することができるロボットマシン（Butterfly社製アミカス 3000）を用いて、ボールを射出させ、射出させたボールが卓球台でバウンドする様子を高速ビデオカメラで撮影した。図 4.1 は、実験の様子を示している。ロボットマシンは、あらかじめ3段階の回転数（2000rpm, 3000rpm, 4000rpm）と2種類の回転軸（トップスピン, バックスピン）でそれぞれ設定を行い、ボールを射出させた。表 4.1 は、測定項目を示している。計測項目は、全 54 項目である。撮影は、毎秒 1200 コマで行った。なお、実験は、撮影範囲にボールが 10 球バウンドするまで行った。



図 4.1 実験の様子

表 4.1 計測項目

計測項目 (全 54 項目)						
回転数	×	回転方向	×	卓球台	×	ボール
2000rpm		Topspin Backspin		SAN-EI		Butterfly
3000rpm				Nittaku		Nittaku
4000rpm				TSP		TSP

解析は、高速度ビデオカメラによって撮影した画像をパーソナルコンピュータに取り込み、frame-DIAS II・III を使用して行った。回転数は、ボールが 1 回転するまでに要したフレーム数を  $x$  として、(1) の計算式により算出した。角速度は、得られた回転数から算出した。また、ボールの反射速度と、入・反射角度は、ボールの最下点をデジタイズし、得られた座標値から算出した。それぞれ求められた数値から、(2) と (3) の計算式を用いて、反発係数値と摩擦係数値を算出した。図 4.2 は、反発係数値と摩擦係数値を求める式を図示したものである。



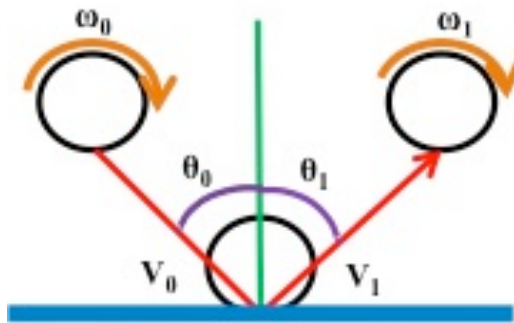


図 4.2 反発係数と摩擦係数の計算

$$e \text{ (反発係数)} = \frac{v_1 \cos \theta_1}{v_0 \cos \theta_0} \quad \dots (2)$$

$$\mu \text{ (摩擦係数)} = \frac{2r(\omega_1 - \omega_0)}{3(1 + e) \cos \theta_0} \quad \dots (3)$$

#### 4. 2. 2 結果と考察

本章のバウンドによる回転数の変化は、それぞれの回転方向におけるバウンド前後の回転数の比較、それぞれの回転方向における卓球台ごとの反発係数の比較、卓球台とボールの組み合わせごとの摩擦係数の比較の 3 つから考察を行った。それぞれの回転方向におけるバウンド前後の回転数の比較は、9 通りの卓球台とボールの組み合わせで計測された回転数を平均して行った。それぞれの回転方向における卓球台ごとの反発係数の比較は、それぞれの回転方向で計測された回転数を卓球台ごとに平均して行った。比較は、対応のある  $t$  検定によって行い、有意水準は全て 5%以下とした。各回転方向による卓球台とボールの組み合わせごとのバウンド前後の回転数の変化も同様に平均値を対応のある  $t$  検定によって比較を行った。

##### (1) ボールの回転数の違いによるバウンドの変化

図 4.3 は、トップスピンボールにおけるバウンド前後の回転数の変化を示している。グラフの黄色は、バウンド前の回転数、青色はバウンド後の回転数を示しており、グラフ内の数字は、 $n$  数を表している。バウンド前の回転数が 3000rpm 以下の場合、バウンド後の回転数は、9.4%増加することが明らかになった。また、計測したボールスピードは、10.8%

の減速がみられた。一方で、バウンド前の回転数が 4000rpm 以上の場合は、バウンド後の回転数は、バウンド前の回転数よりも 21.7%減衰することが明らかになった。ボールスピードは、バウンド前のボールスピードよりも、バウンド後のボール速度は、7.2%の増加があった。バウンド前の回転数が 3000rpm を境に、バウンド後の回転数やボールスピードが変化することから、トップスピンのボールは、バウンド前の回転数によって、摩擦力の働く方向が異なることが考えられる。

図 4.4 は、バックスピンボールにおけるバウンド前後の回転数の変化を示している。グラフは、図 4.3 と同様に、黄色がバウンド前の回転数、青色はバウンド後の回転数を示しており、グラフ内の数字は、n 数を表している。バックスピンのボールは、バウンド前の回転数が 3500rpm 以下の場合は、バウンド後の回転数に 26.5%の減衰がみられ、バウンド前の回転数が 4500rpm 以上の場合は、バウンド後の回転数に 18.1%の減衰がみられた。バックスピンボールは、バウンドの前の回転数に関わらず、バウンド後の回転数は減衰することが明らかになり、ボールスピードは、20%減少することが分かった。バウンド前の回転がバックスピンの場合は、ボールが卓球台にバウンドする際に、摩擦力は進行方向と逆向きに働いていることが考えられる。

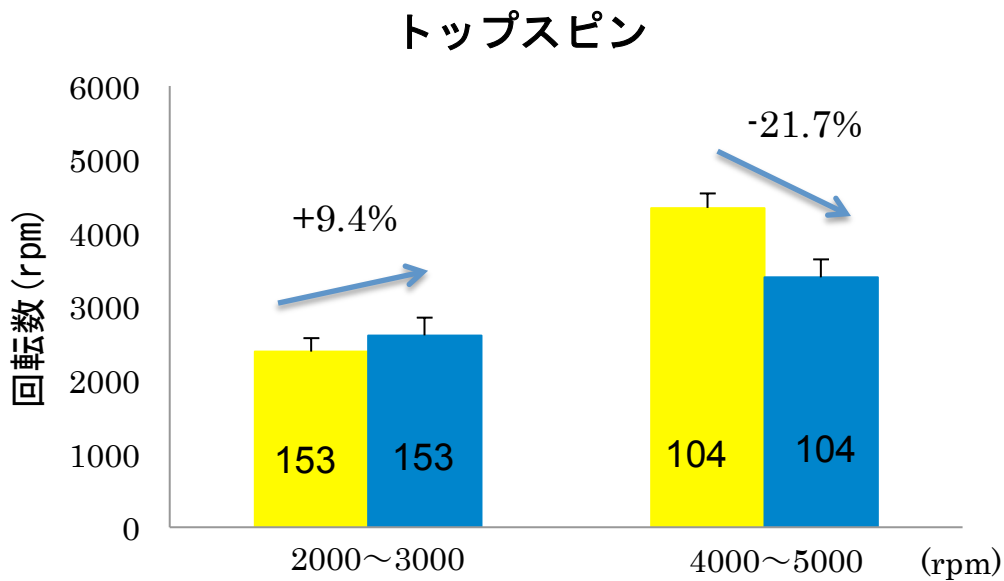


図 4.3 トップスピンにおけるバウンド前後の回転数の変化

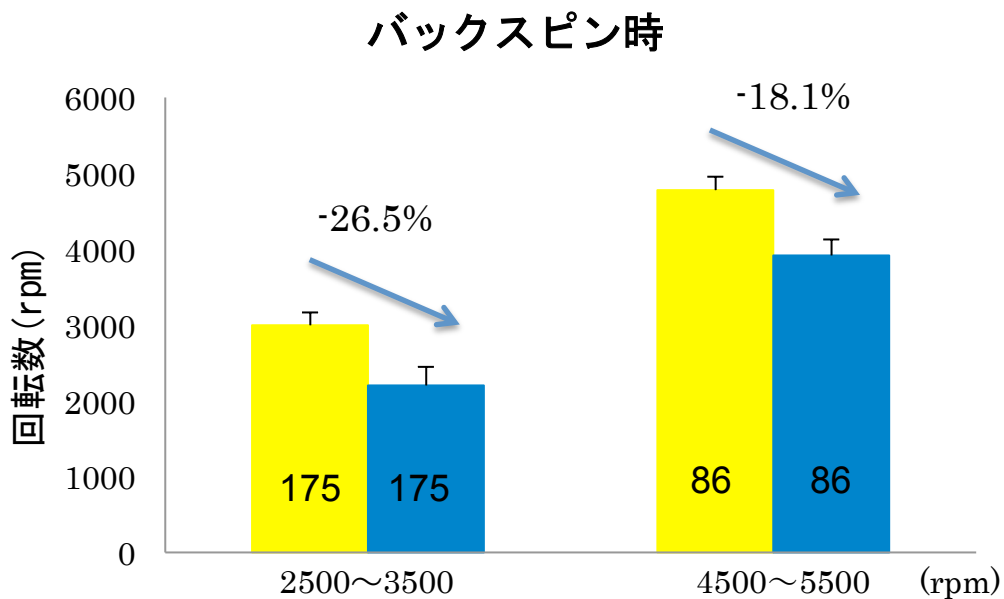


図 4.4 バックスピンにおけるバウンド前後の回転数の変化

(2) 各メーカーの性質と選手のプレーへの影響

図 4.5 は、各回転方向における卓球台ごとの反発係数を示している。バウンド前の回転がトップスピンの場合は、Nittaku の卓球台の反発係数が最も高く、TSP の反発係数が最も低いことが明らかになった。バウンド前の回転がバックスピンの場合は、SAN-EI の反発係

数が最も高くなり、TSP はトップスピンと同様に最も低い結果となった。これらの結果から、TSP の卓球台は、バウンド前の回転方向に関わらず、他の卓球台と比較すると有意に反発係数が低いことが明らかになった。

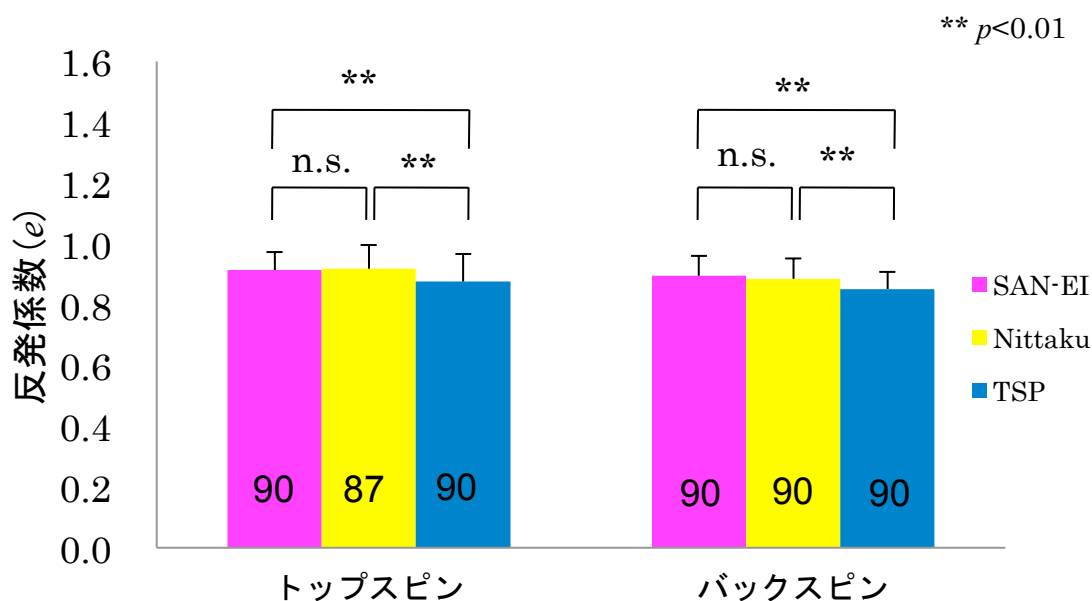


図 4.5 各回転方向におけるメーカーごとの卓球台の反発係数

図 4.6 は、バックスピンボールにおける卓球台とボールの組み合わせごとの摩擦係数を示している。Butterfly のボールを使用した場合のそれぞれの卓球台の摩擦係数は、SAN-EI  $\geq$  TSP > Nittaku の順に大きい傾向がみられた。Nittaku と TSP のボールを使用した場合の摩擦係数は、SAN-EI > TSP > Nittaku の順に大きい傾向がみられた。全体的に SAN-EI の卓球台は、他のメーカーの卓球台に比べて、どのボールを使用しても摩擦係数が高いことが明らかになった。SAN-EI の卓球台は、他のメーカーの卓球台よりも、摩擦力が大きく働くため、バウンド前後の回転数や、ボールスピードの変化も大きくなるものと考えられる。また、TSP のボールを使用した場合は、他のボールを使用した時の摩擦係数と比較すると、摩擦係数は低い傾向にあることがわかった。TSP のボールを使用する際は、他のメーカーのボールを使用する時よりも、摩擦力が小さくなるため、バウンド前後の回転数やボールスピードの変化は小さくなると考えられる。Butterfly のボールを使用した場合は、SAN-EI の卓球台と、TSP の卓球台の摩擦係数に有意な差が認められなかった。つまり、

Butterfly のボールを使用した場合は、選手は SAN-EI と TSP の台であれば同じようにプレーできると考えられる。さらに、選手は、Nittaku のボールと TSP のボールを使用する場合は、摩擦係数に有意な差が認められなかった Nittaku と TSP の卓球台であれば同じようにプレーできるものと考えられる。Nittaku の卓球台は、他のメーカーの卓球台よりも摩擦力が働きにくいいため、バウンド前後のボールの回転数やスピード、角度の変化は小さいと考えることができる。

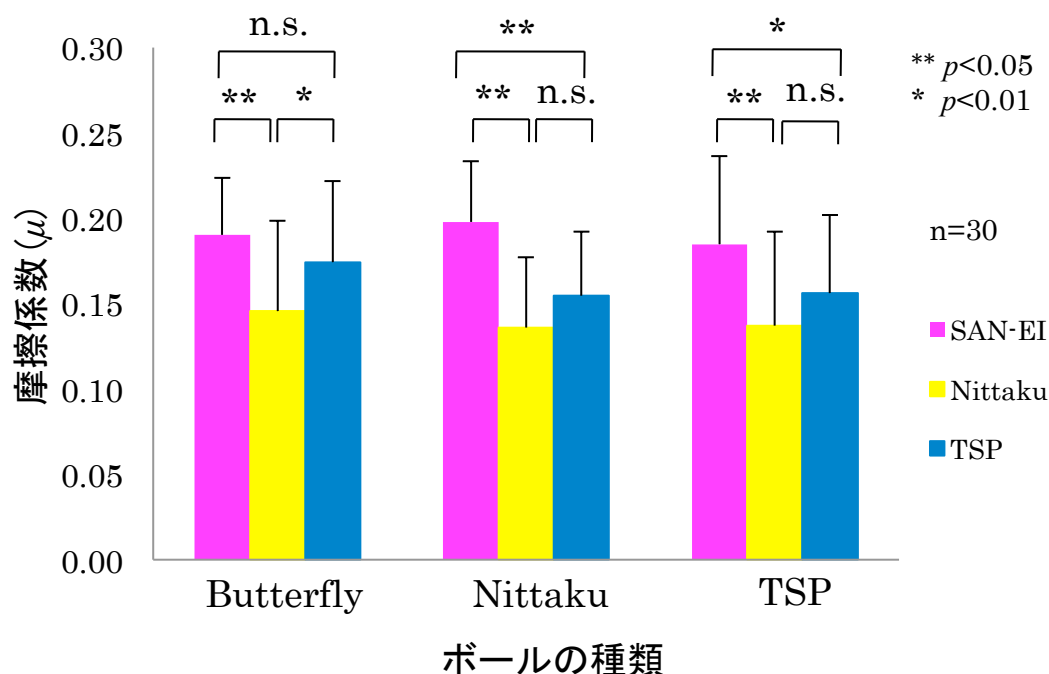


図 4.6 卓球台とボールの組み合わせの違いによる摩擦係数の変化

#### 4. 3 飛行中における回転数の変化

##### 4. 3. 1 実験方法

ここでは、相手の打球したボールスピードや、回転数の違いによる飛行中の変化を明らかにするために、ボールスピードと回転数を設定可能なロボットマシン (Butterfly 社製 アミカス 3000) を用いて実験を行った。あらかじめ設定した 5 地点にハイスピードカメラ (CCASIO 社製 EX-ZR100) を 5 台設置し、ロボットマシンから射出されたボールをそれ

それぞれの地点で毎秒 480 コマで撮影をした。図 4.7 は、実際に配置されたカメラの位置を示している。実験では、射出されたボールが 5 台全てのカメラに撮影されたものを 1 試技とし、それぞれの条件につき 20 試技行った。また、射出されたボールの撮影に加えて、試技ごとにボールの第一バウンドと配置された各カメラとの距離も記録した。



図 4.7 実際に配置されたカメラ

#### 4. 3. 2 計測地点と計測条件

図 4.8 は、本実験の計測地点を示している。計測地点は、ボールの第一バウンドから第一バウンドから第一バウンドと同じ高度まで落下した区間で 5 地点設定した。地点は、地点 1 が第一バウンドの直後（ボールが台から離れた点）、地点 3 は頂点（ボール高度の最高点）、地点 5 は地点 1 と同じ高さに設定した。地点 2 と地点 4 は、第一バウンドからの計測距離を用いて、それぞれ地点 1 と地点 3 の間と、地点 3 と地点 5 の中点とした。

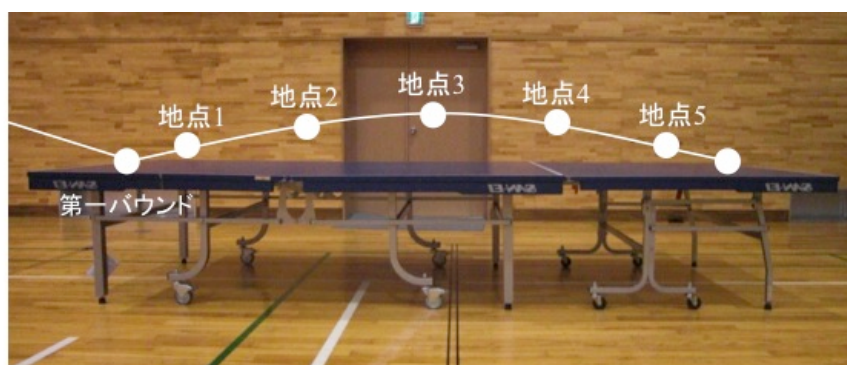


図 4.8 計測地点

表 4.2 は、本実験における計測条件を示している。計測条件は、トップスピン 9 条件、バックスピン 9 条件の合計 18 条件とした。なお、表中の TS はトップスピン、BS はバックスピンを表している。

表 4.2 実験の計測条件

		Ball spin		
		2000rpm	3000rpm	4000rpm
Ball speed	4.0-4.5m/sec	BS	BS	BS
	5.0-5.5m/sec	BS	BS	BS
	6.0-6.5m/sec	BS	BS	BS
	8.5-9.5m/sec	TS	TS	TS
	10.0-11.0m/sec	TS	TS	TS
	11.0-12.0m/sec	TS	TS	TS

#### 4. 3. 3 回転数の算出

ボールの回転数は、撮影された映像をもとにボールが 1 回転するまでに要したフレーム数を  $x$  として、以下の計算式により算出した。図 4.9 は、撮影されたボールの画像を示している。

$$\text{一分間あたりの回転数(rpm)} = \frac{480 \text{ (frame/s)}}{x \text{ (frame)}} \times 60$$

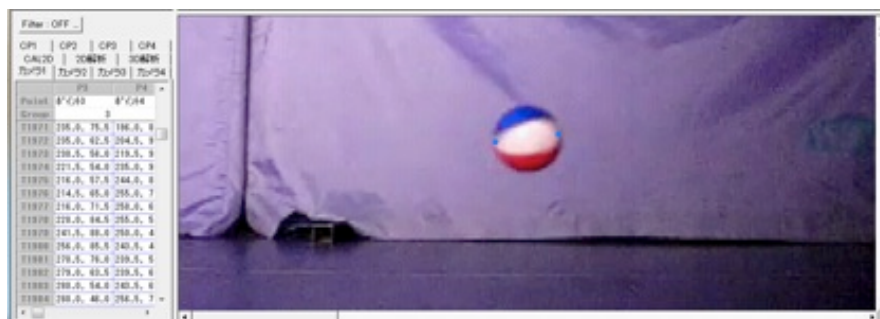


図 4.9 ハイスピードカメラによって撮影されたボール

#### 4. 3. 4 分析方法

本実験は、ボールの回転数の変化を明らかにするために、それぞれの条件ごとに各地点で計測された 20 試技の回転数を平均し、各地点間で対応のある  $t$  検定を用いて比較した。なお、有意水準は、すべて 5%以下とした。さらに、各地点のボールの回転数と、第一バウンドから各地点までの距離の 2 変量から二次回帰曲線を作成し、回転数と飛行距離の関係性からも検討を行った。

#### 4. 3. 5 結果と考察

##### (1) トップスピン

図 4.10, 図 4.11, 図 4.12 は, トップスピンの各条件における回転数の平均値と第一バウンドからの距離の関係性を示したグラフである. 地点ごとの回転数は全ての条件において有意差が認められ, ボールの回転数は有意に減衰していることが示された. また, 回転数と第一バウンドからの距離から作成された回帰曲線を見ると, 射出されたボールのスピードが上がるにつれて傾きが大きくなっていることから, ボールスピードが上がるに伴って回転数の減衰も大きくなる傾向にあった. さらに, ボールスピードが 10.0m/sec 以上の場合は, 射出されるボールの回転数が上がることによって, 減衰も大きくなることが分かった. これらは, ボールの回転数やスピードが上がることで, ボールが空気抵抗より受けることで減衰が大きくなるものと考えられる. ただし, 図 4.10 の 2000rpm における 10.0-11.0m/sec の条件では, 同じ回転数で設定された 8.5-9.5m/sec よりも回転数の減衰は小さかった. 異なる回転数によるバウンド前後の回転数の変化は, バウンドする前のボールの回転数が 3000rpm 以下のトップスピンであった場合は, 摩擦力がボールの進行方向と逆向きに働くことで, ボールの回転数がバウンド前よりも増加することが明らかになっている. このことから, 本研究の 2000rpm における結果は, ボールがバウンドする際の台との摩擦によって, 初期値よりもボールの回転数が増加したために生じたものと考えられる.



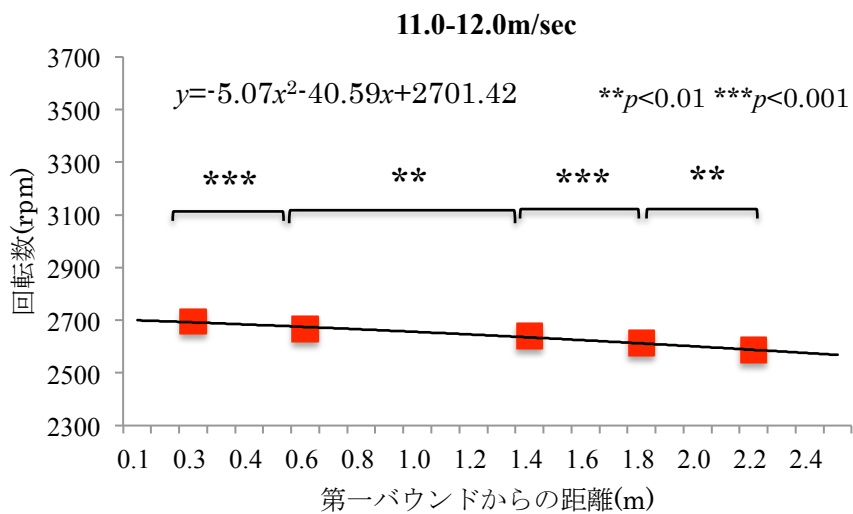
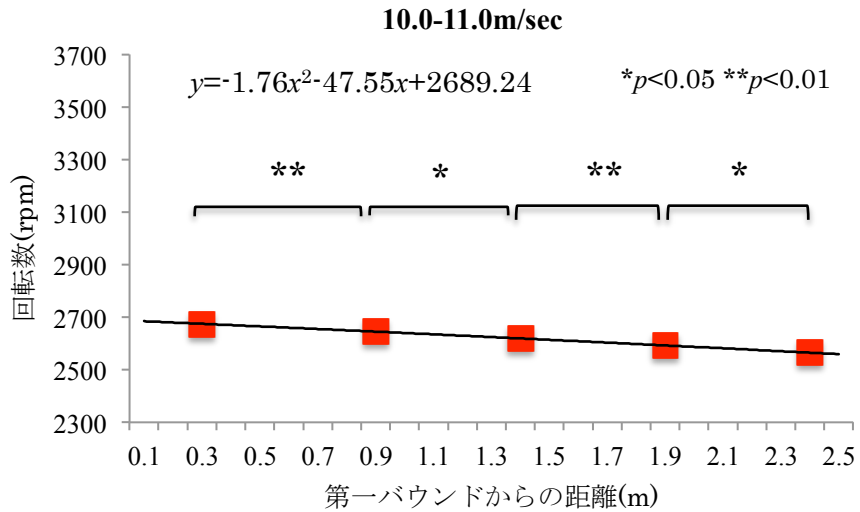
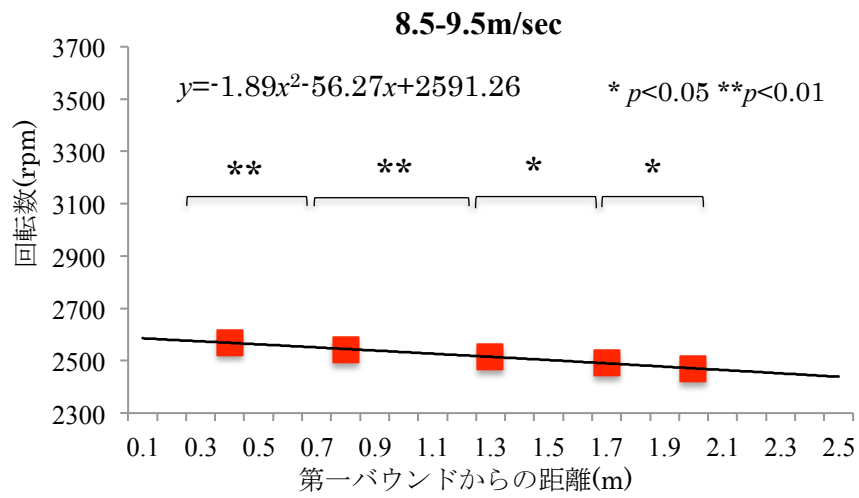


図 4.10 トップスピン 2000rpm における回転数の変化 (平均値)

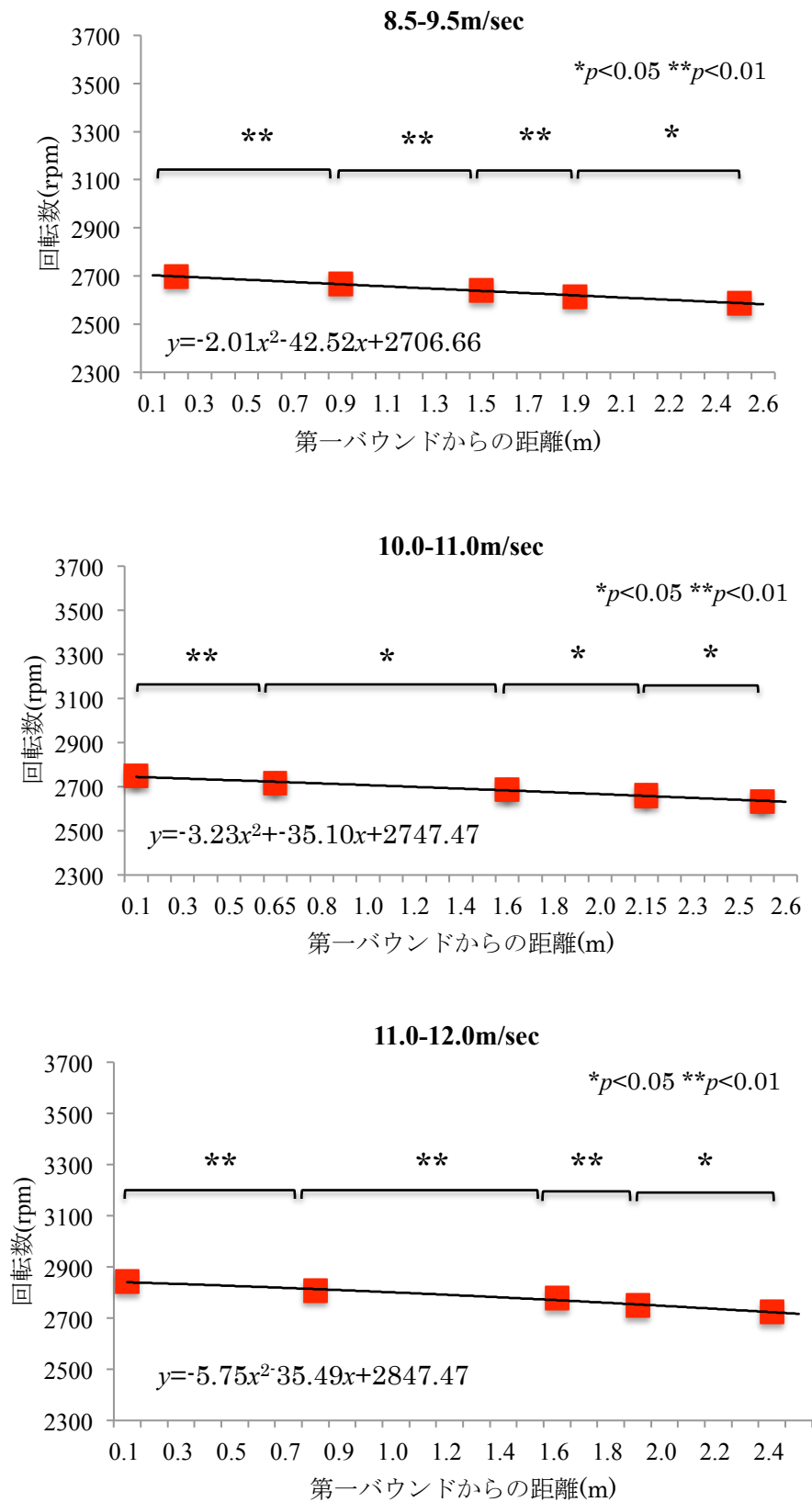


図 4.11 トップスピン 3000rpm における回転数の変化 (平均値)

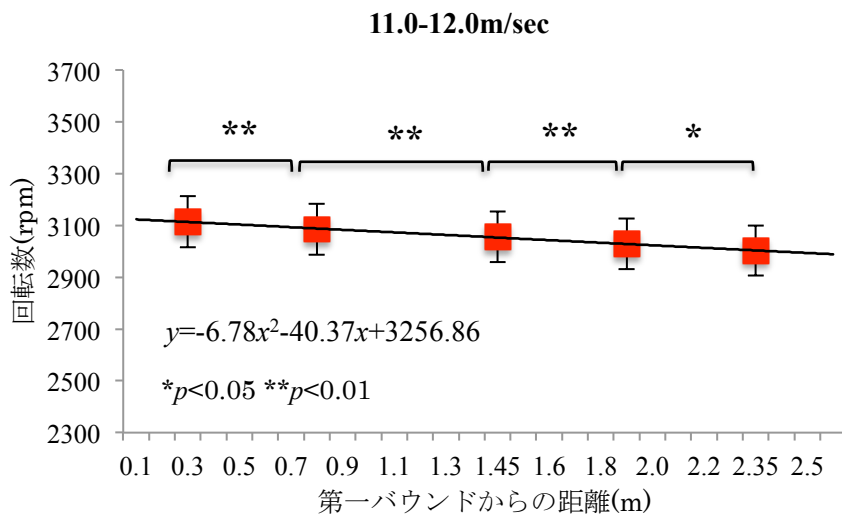
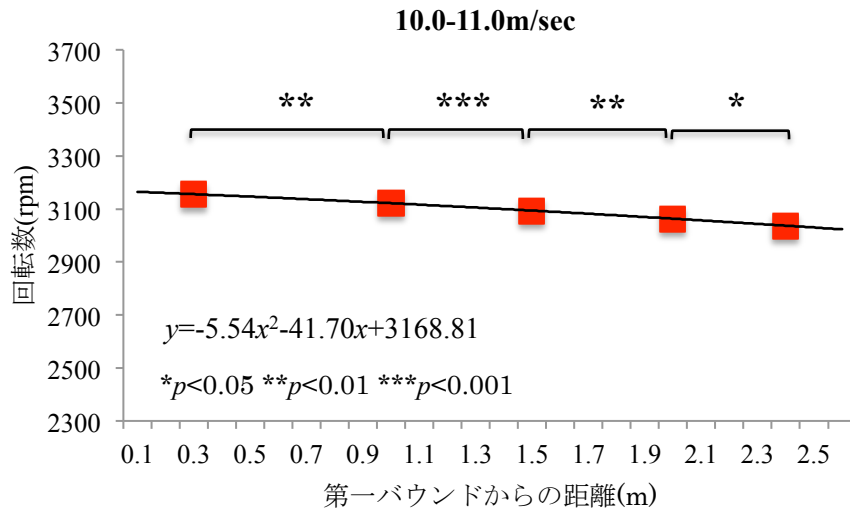
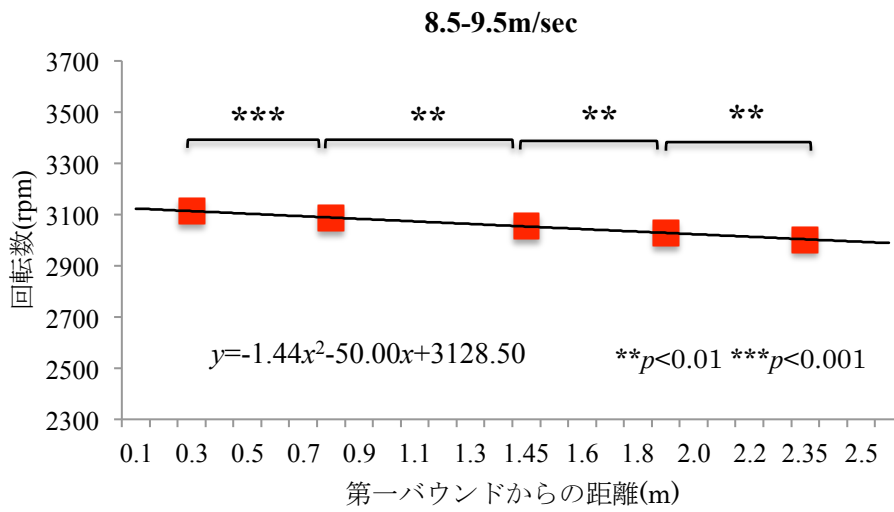


図 4.12 トップスピン 4000rpm における回転数の変化 (平均値)

次に、各条件における回転数と第一バウンドからの距離の関係性を試技ごとに考察することで、相手コートに高確率で返球するための打球点について検討を行った。図 4.13, 図 4.14, 図 4.15 は、各条件における回転数の変化を試技ごとに表したグラフである。各グラフの破線は、ボールが頂点を迎えた位置を示している。まず、図 4.13 の 2000rpm に設定した回転数の変化について考察を行う。ボールスピード 8.9-9.5m/sec の条件では、曲線を見ると、頂点を越えた第一バウンドから 1.8m の付近で収束し、その後分散している傾向にある。この結果から、相手がトップスピン 2000rpm のボールスピード 8.5-9.5m/sec で打球した場合、回転の変化は、第一バウンドから 1.8m 付近で小さくなると考えられる。そのため、1.8m 付近で打球することで、回転の変化による影響を抑えて返球できる可能性がある。同様に、10.0-11.0m/sec と、11.0-12.0m/sec を考察すると、ボールスピード 10.0-11.0m/sec の場合では、第一バウンドから 2.3-2.5m 付近、ボールスピード 11.0-12.0m/sec では、2.4-2.6m 付近で曲線が収束している傾向がある。これらの位置でボールを打球することで、回転の変化による影響をあまり受けずに返球できるものと考えられる。

図 4.14 の 3000rpm では、ボールスピード 8.5-9.5m/sec の条件をみると、回帰曲線は、試技ごとにややばらつきがみられるが、第一バウンドから 2.3-2.5m 付近で交差している傾向にあった。このことから、第一バウンドから 2.4m 付近で回転の変化が小さくなる可能性が考えられる。また、11.0-12.0m/sec の条件では、第一バウンドから 2.3-2.6m 付近で曲線が収束している傾向にあり、8.5-9.5m/sec の条件とおおよそ同じ位置で回転数の変化が小さくなるものと考えられる。10.0-11.0m/sec の条件では、顕著に曲線が収束していることはみられなかったが、ボールスピード 8.5-9.5m/sec と 11.0-12.0m/sec の結果を参考にすると、第一バウンドから 2.4m 前後で回転の変化が小さくなる可能性が考えられる。これらの結果から、トップスピン 3000rpm においては、どの速度においても、第一バウンドから 2.3-2.6m の範囲で打球することで、回転の変化を抑えて返球できるものと考えられる。

図 4.15 の 4000rpm では、顕著な曲線の収束はみられないが、2000rpm と 3000rpm の結果から、第一バウンドから 2.5m 付近あるいは、それ以降で回転の変化が小さくなると考えられる。4000rpm の条件は、2000rpm や 3000rpm と比較すると、特に 11.0-12.0m/sec

の条件において、試技ごとの誤差が大きい。これは、ロボットマシンの性能によるもので、初期設定の回転数とボールスピードを上げることにより、ロボットマシンから射出されるボールの回転数やボールスピードにばらつきが生じたことが原因であると考えられる。また、4000rpm 以外の条件でも、傾向とは異なる試技がいくつかみられた。これについても、試技によりロボットマシンから射出されたボールのスピードに誤差が生じた可能性がある。そのため、本研究は、ロボットマシンの性能評価にもつながることが示され、今後の課題として、ロボットマシンから射出後のボールスピードも計測し、ボールの回転数との対応関係も考察していく必要性があげられた。

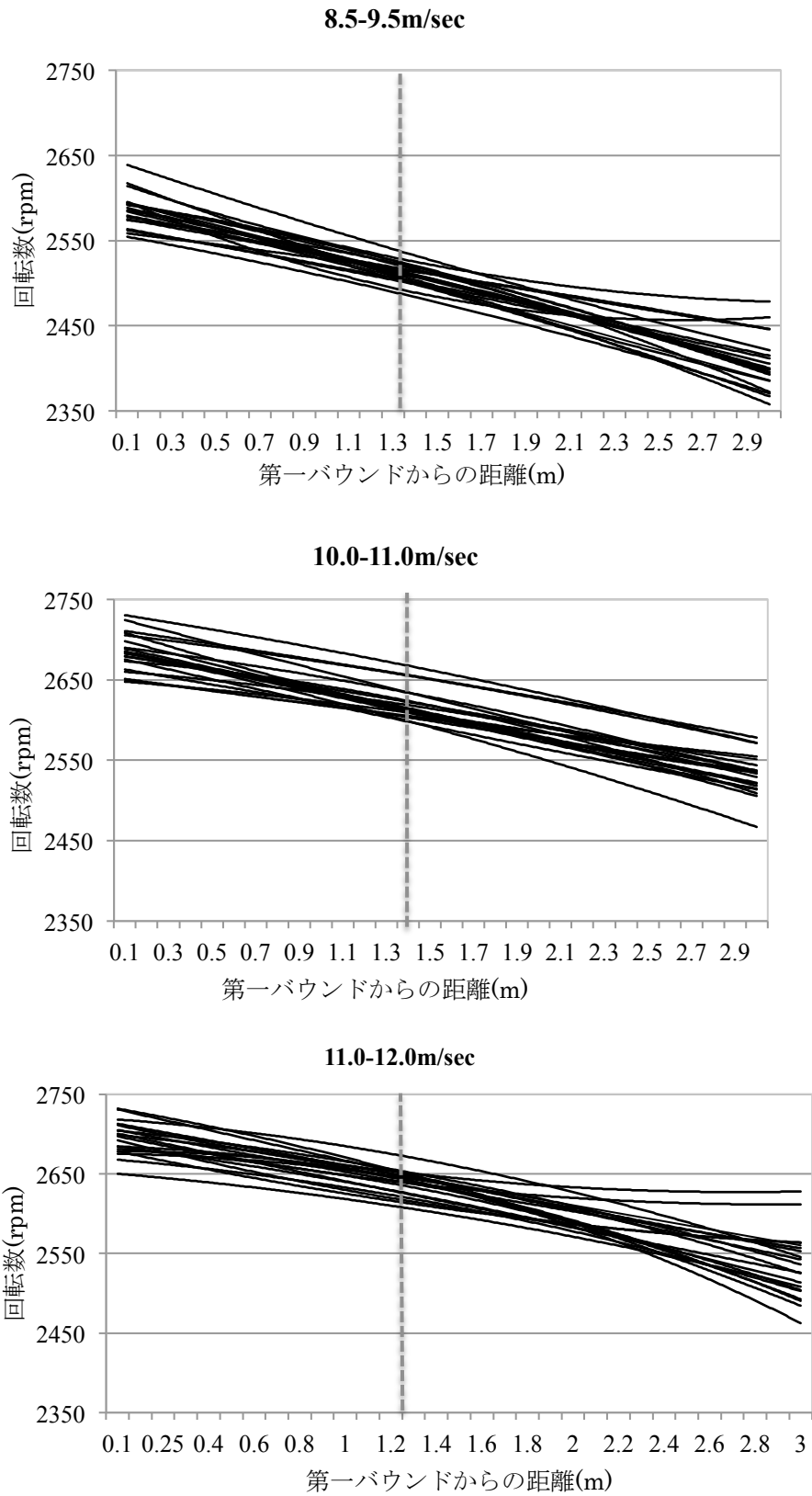


図 4.13 トップスピン 2000rpm における試技ごとの回帰曲線

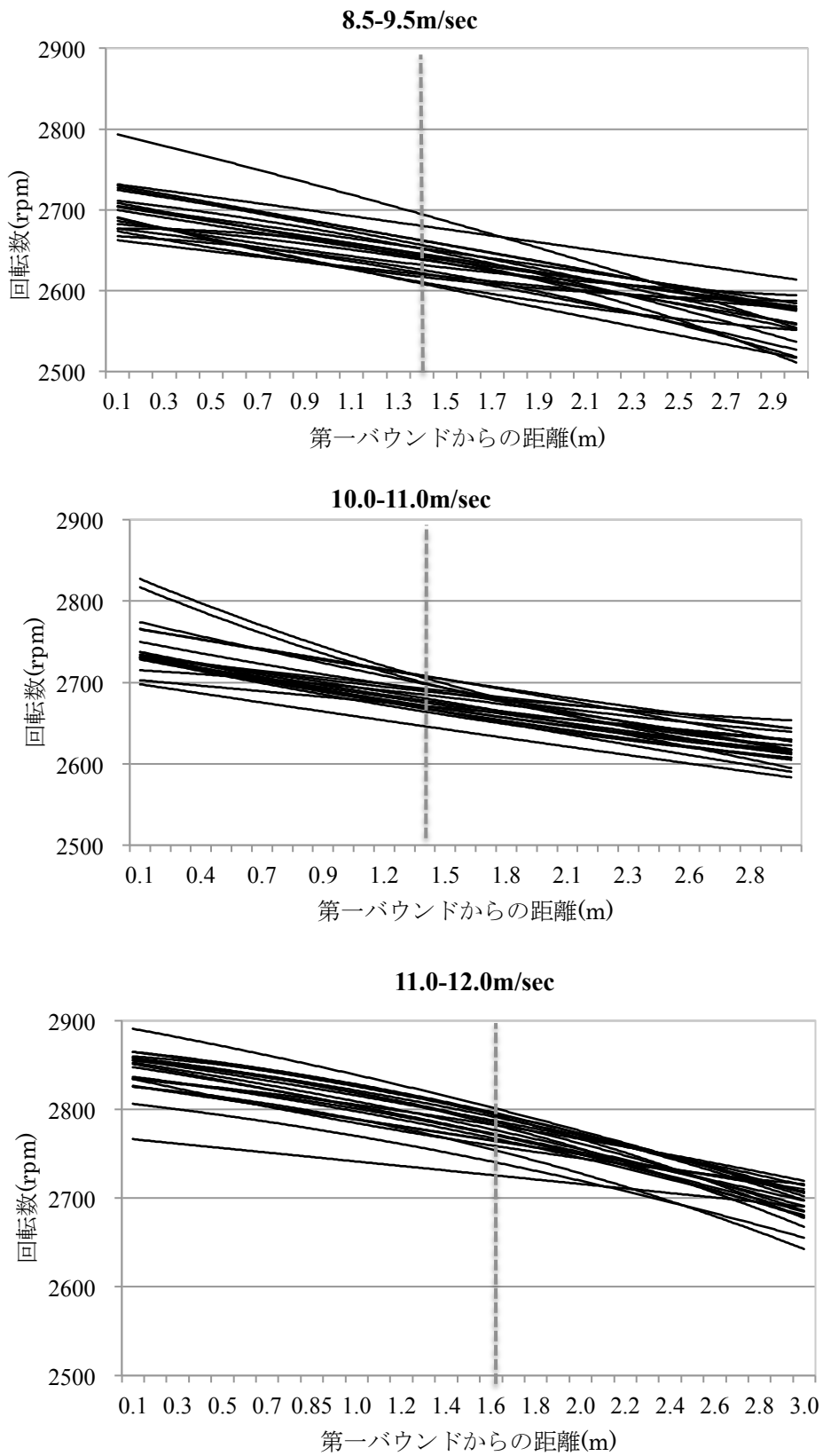


図 4.14 トップスピン 3000rpm における試技ごとの回帰曲線

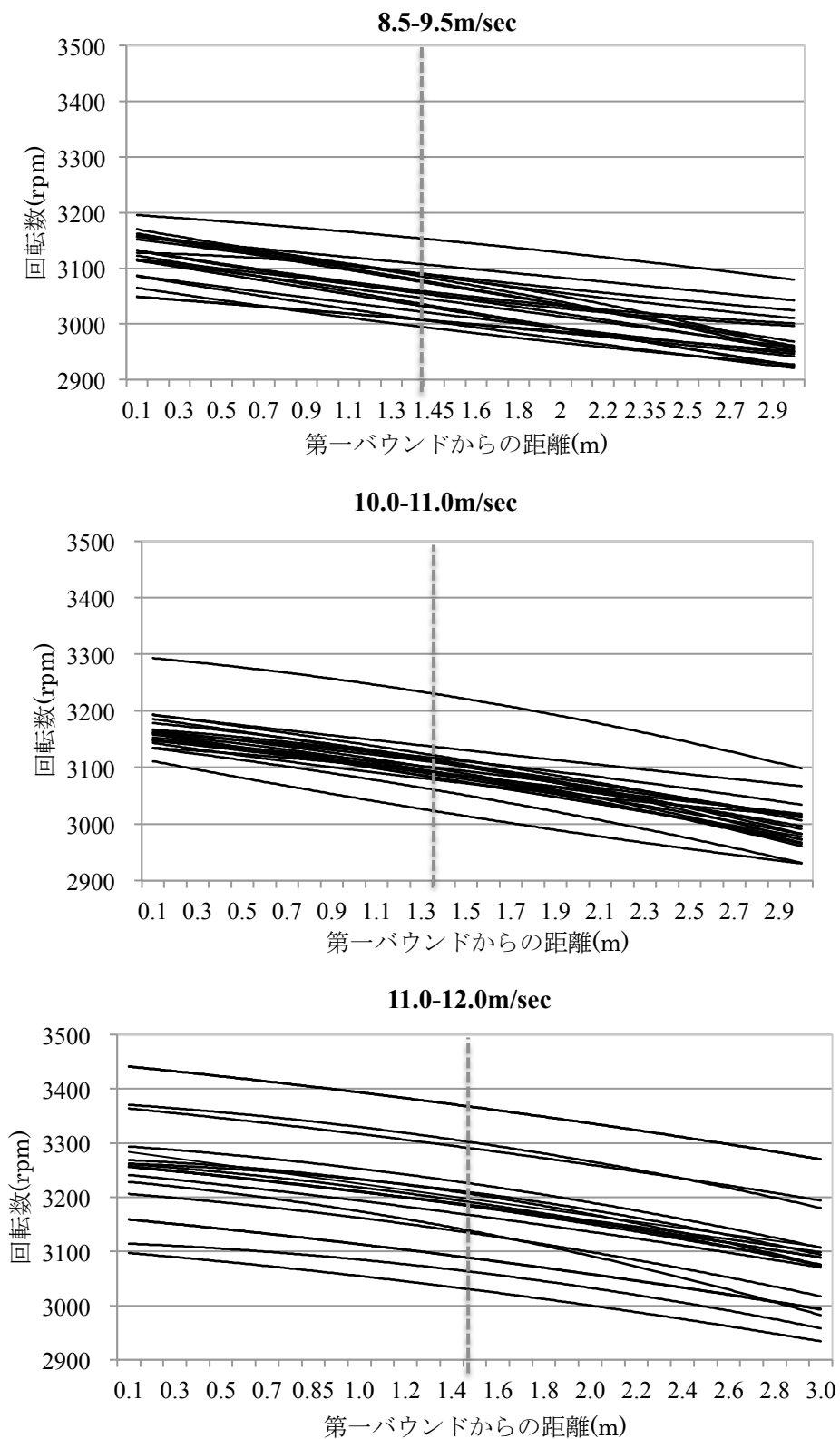


図 4.15 トップスピン 4000rpm における試技ごとの回帰曲線



## (2) バックスピン

図 4.16, 図 4.17, 図 4.18 は, バックスピンの各条件における回転数の平均値と第一バウンドからの距離の関係性を示したグラフである. 回転数は, 全ての時点間において, 5%あるいは 1%有意水準で有意な差が認められ, バックスピンにおいてもボールの回転は, 有意に減衰していることが示された. 回帰曲線からは, 射出されるボールのスピードが上がるにつれて, 回転の減衰も大きくなることが示された. また, ボールスピードが 5.0m/sec 以上の場合は, 射出されるボールの回転数が高くなるにつれて減衰も大きくなる傾向にあった. これは, トップスピンと同様に, 回転数やボールスピードが上がることで, 空気中の空気抵抗をより受けるためであると考えられる. さらに, ボールの回転がバックスピンの場合, ボールと卓球台の摩擦は, ボールの進行方向とは逆方向に生じることがバウンド前後の回転数の実験で明らかになっている. そのため, ボールの回転数が増加することで生じる摩擦も大きくなり, 回転数の増加に応じて, 卓球台にバウンドする際の回転数の減衰も大きくなったものと考えられる.

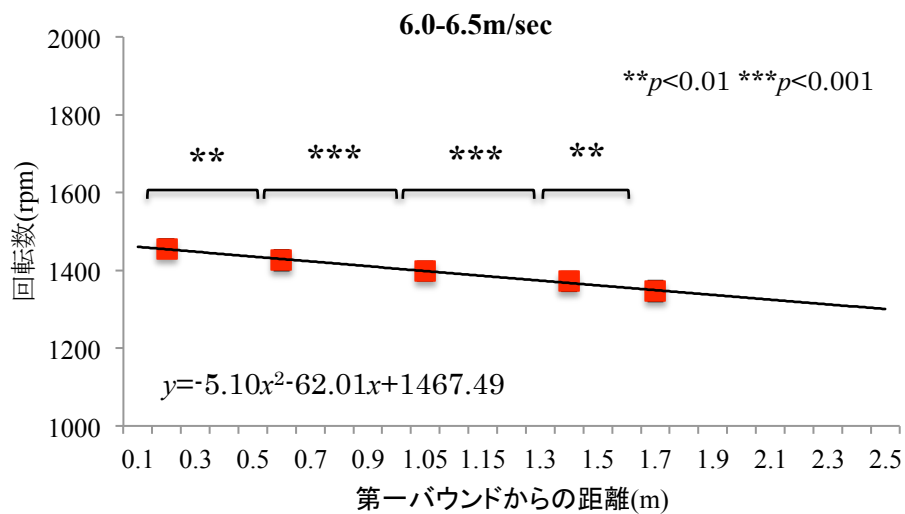
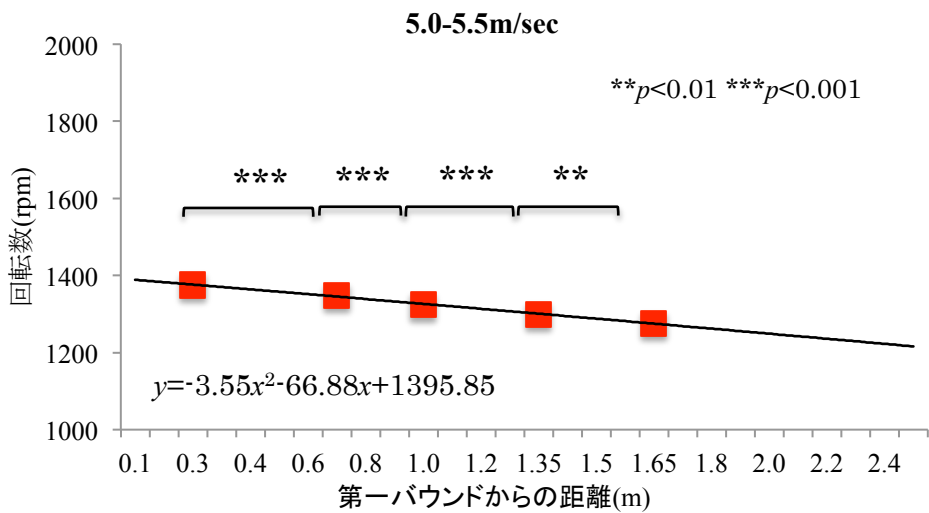
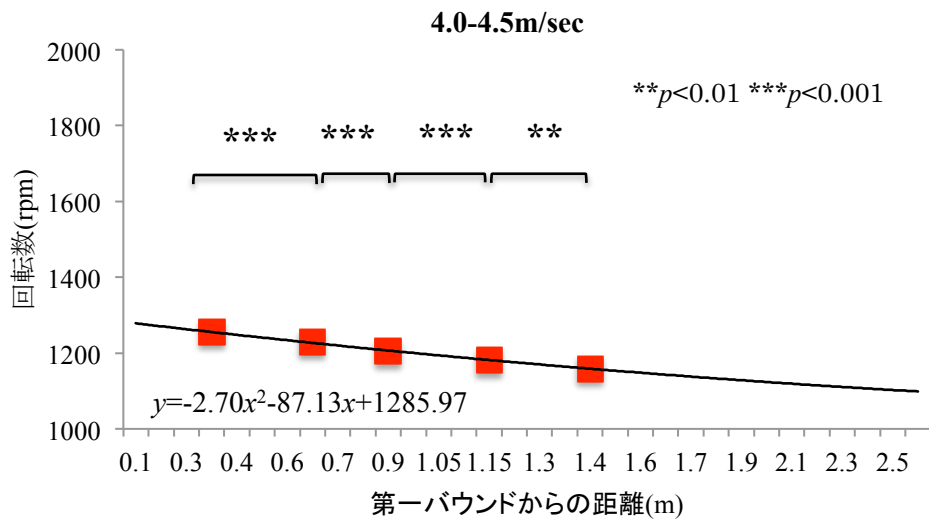


図 4.16 バックスピン 2000rpm における回転数の変化 (平均値)

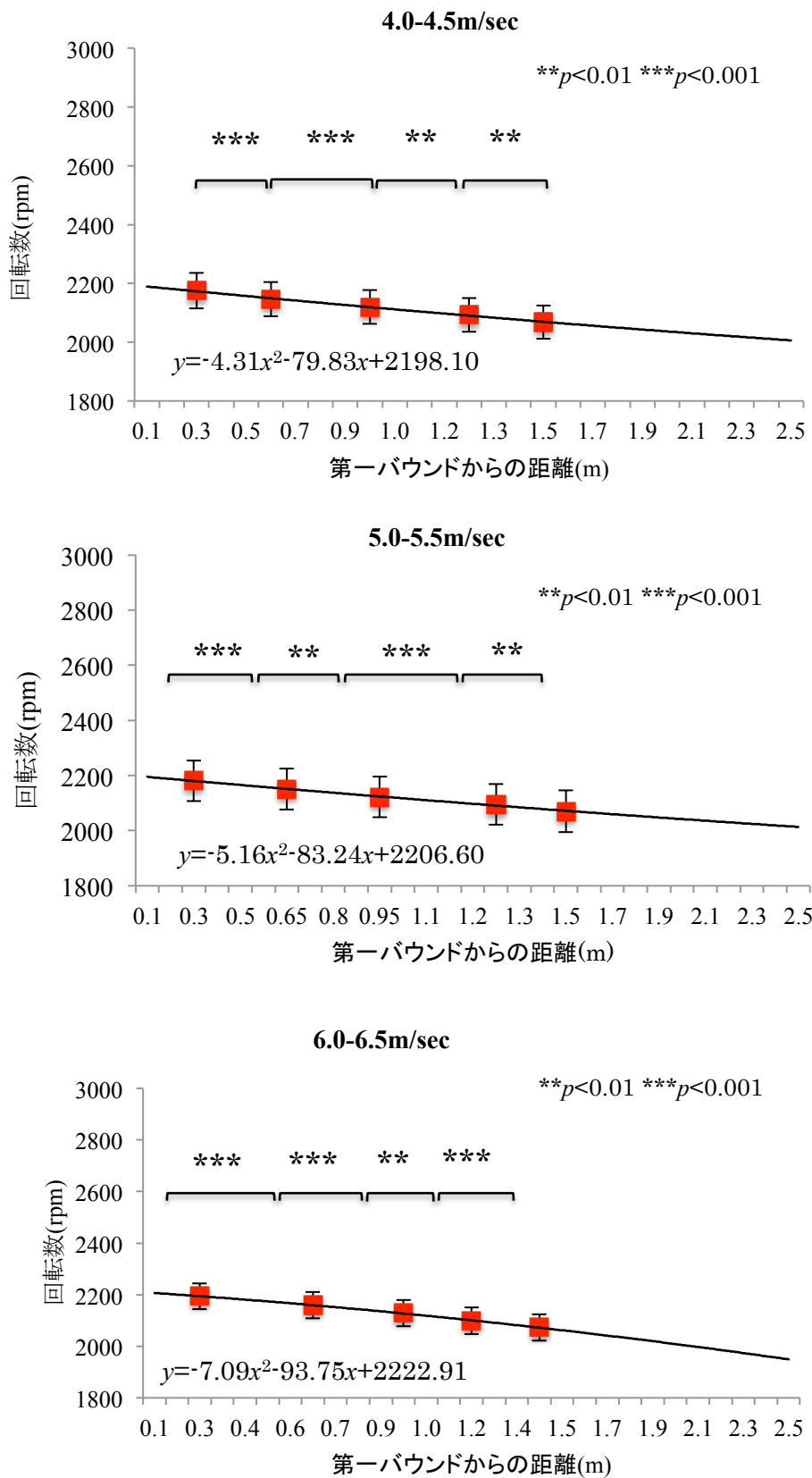


図 4.17 バックスピン 3000rpm における回転数の変化 (平均値)

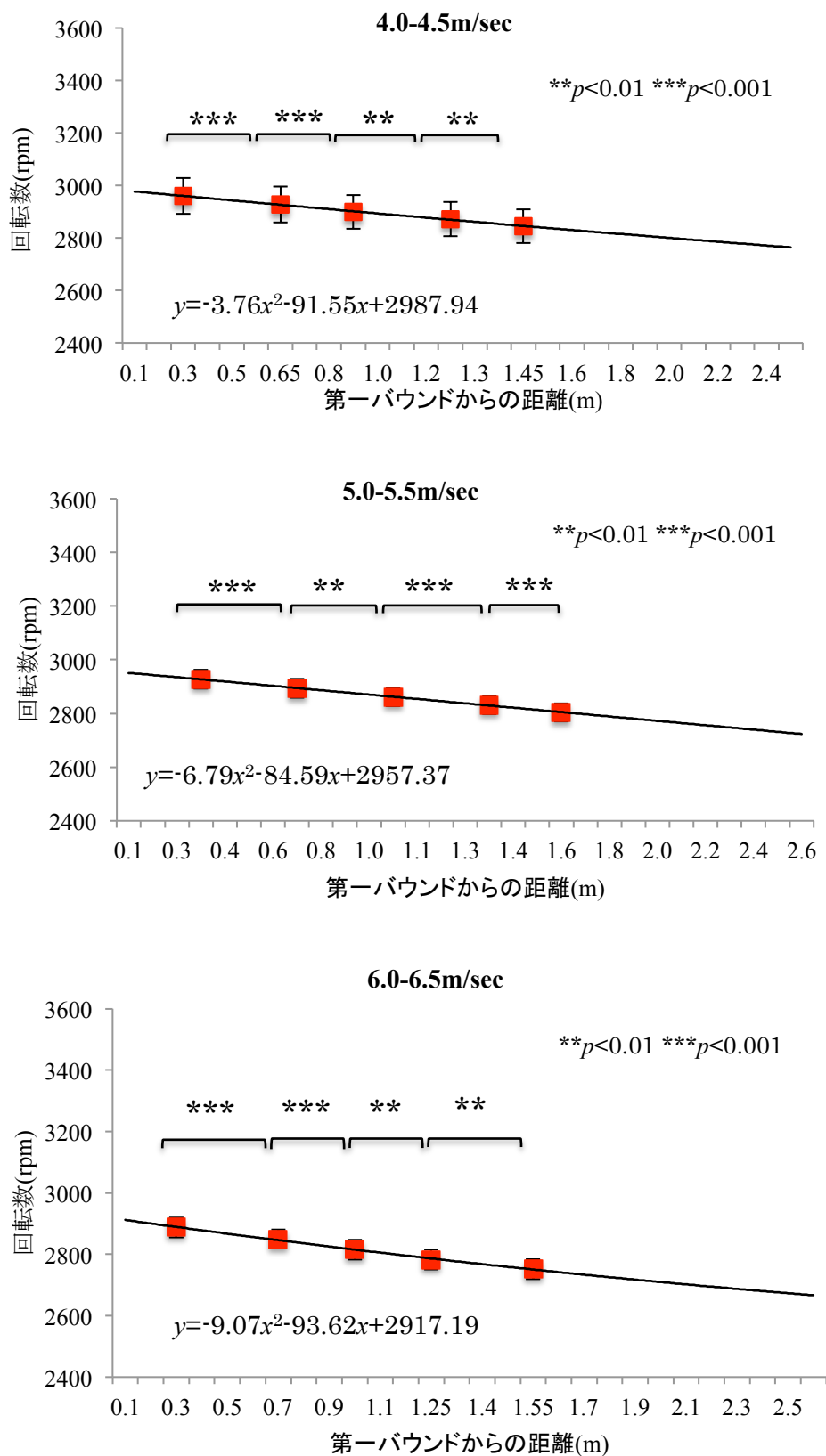


図 4.18 バックスピン 4000rpm における回転数の変化 (平均値)

次に、トップスピンと同様に各条件の回転数の変化を試技ごとに考察することで、最も回転の影響を受けにくい打球点の検討を行った。図 4.19, 図 4.20, 図 4.21 は、バックスピンにおける各条件の回転数の変化を試技ごとに示したグラフである。破線は、ボールが頂点に達した位置である。まず、図 4.19 の 2000rpm について考察すると、4.0-4.5m/sec の条件では、多くの曲線が第一バウンドから 1.6m 付近で収束し、その後は分散している傾向にあった。また、5.0-5.5m/sec の条件では、第一バウンドから、1.9m 付近で収束している傾向にあり、6.0-6.5m/sec の条件では、曲線に顕著な収束はみられないものの、第一バウンドから 2.1m 付近からやや曲線が広がっている傾向にあった。これらの結果から、バックスピン 2000rpm においては、第一バウンドから 1.6-2.1m の範囲で打球すると、回転の変化による影響を抑えて返球できるものと考えられる。

図 4.20 の 3000rpm では、2000rpm に比べると、試技ごとの誤差が大きく、これはトップスピンの 4000rpm と同様に、ロボットマシンから射出されるボールの回転やスピードのばらつきが原因であると考えられる。このように 3000rpm では、ばらつきが大きいため、他の条件と比較すると顕著な曲線の収束は確認できないが、4.0-4.5m/sec と 6.0-6.5m/sec の条件では、第一バウンドから 2.0m 付近で曲線が重なっている傾向がある。このことから、第一バウンドから 2.0m 付近で回転の変化が小さくなる可能性が考えられる。

図 4.21 の 4000rpm をみると、4.0-4.5m/sec の条件は、5.0-5.5m/sec と 6.0-6.5m/sec の条件よりも回転数の誤差は大きく、顕著な曲線の収束はみられなかった。しかし、4.0-4.5m/sec の曲線をみると、図 4.19 のバックスピン 2000rpm における 5.0-5.5m/sec と傾きが類似しており、2000rpm の 5.0-5.5m/sec で回転の変化が小さくなる 2.0m 前後と同様の付近で、曲線がやや交差している傾向がみられた。このことから、4000rpm の 4.0-4.5m/sec では、第一バウンドから 2.0m 前後で回転の変化が小さくなる可能性が

あると考えられる。また、6.0-6.5m/sec の条件でも、第一バウンドから 2.0m 付近で曲線が収束している傾向にあることから、バックスピンの 4000rpm においては、速度に関わらず、第一バウンドから 2.0m 付近で打球することで回転の影響を受けにくくできるものと考えられる。

本研究のバックスピンにおける条件で得られた結果から、バックスピンは、ボールスピードが 4.0-6.5m/sec の場合、第一バウンドから 1.6-2.1m の範囲で打球すると、最も回転の変化を受けにくく返球できるものと考えられる。しかし、バックスピンのボールは、トップスピンのボールを返球する場合とは異なり、トップスピンにして返球する場合は、ボールの回転数の変化が小さい場合でも、ボールの回転数が大きければ、回転に影響されてネットヘエラーしてしまう可能性がある。そのため、回転の変化が小さくなる範囲の回転数を把握しておく必要があり、その範囲の回転数をみると、本研究から 2000rpm で打球されたボールは、1100-1300rpm 程度まで減衰し、3000rpm では 1900-2100rpm 程度、4000rpm では 2700-2800rpm 程度まで減衰することが分かる。そこで、バックスピンのボールをトップスピンにして返球する場合のスイングスピード（接線方向の速度）を計算すると、2000rpm のボールを返球する場合は、38.0m/s よりも速いラケットのスイングスピードで打球する必要がある、かなり困難であると推察することができる。そのため、対戦相手が 3000rpm よりも高い回転のボールをバックスピンで打球した場合は、ボールに対するラケット角度を変えて打球するか、第一バウンドから 2.1m よりもさらに後方から打球する必要があると考えられる。反対に、対戦相手が 3000rpm よりも低い回転数のボールを打球した場合は、1.6m よりも前方でボールを返球することが可能であることが推察できる。

より早い打球点でボールを返球することは、卓球競技において戦術的に有効であるが、相手の回転の影響を受けやすいためエラーする確率が高い。そのため、このように飛行

中のボールの回転の変化を明らかにしていくことで、今後さらに科学的にエラーする確率の低い打球点の指標を得られるものと考えられる。

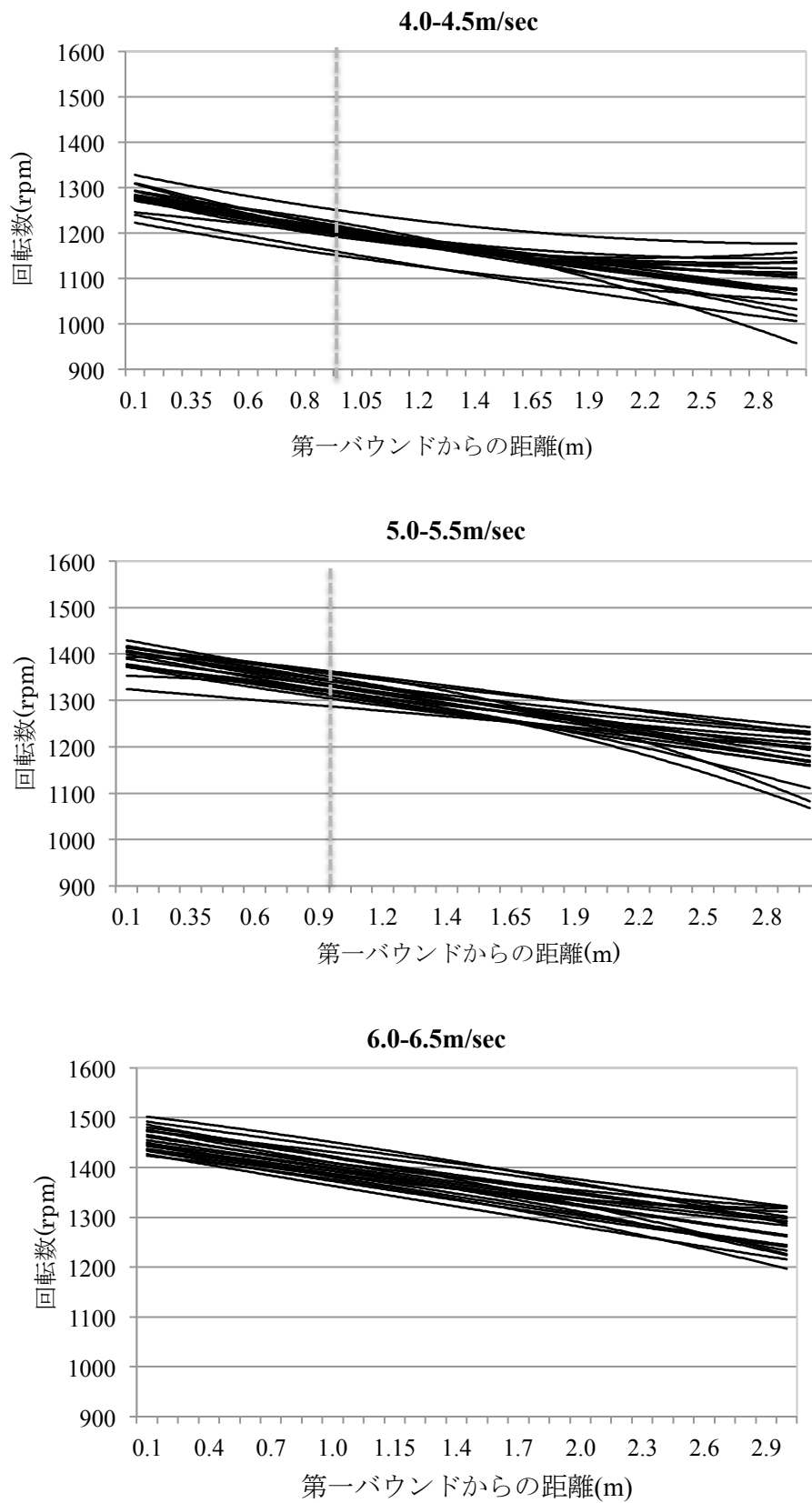


図 4.19 バックスピン 2000rpm における試技ごとの回帰曲線



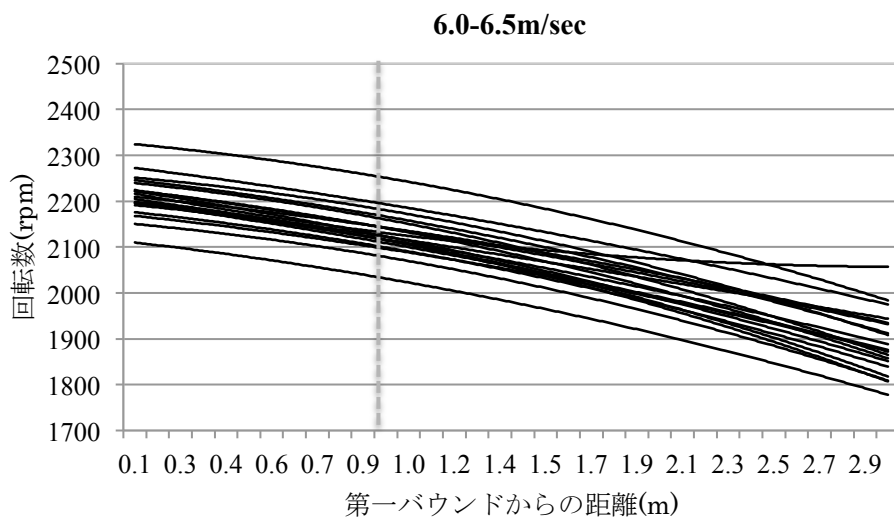
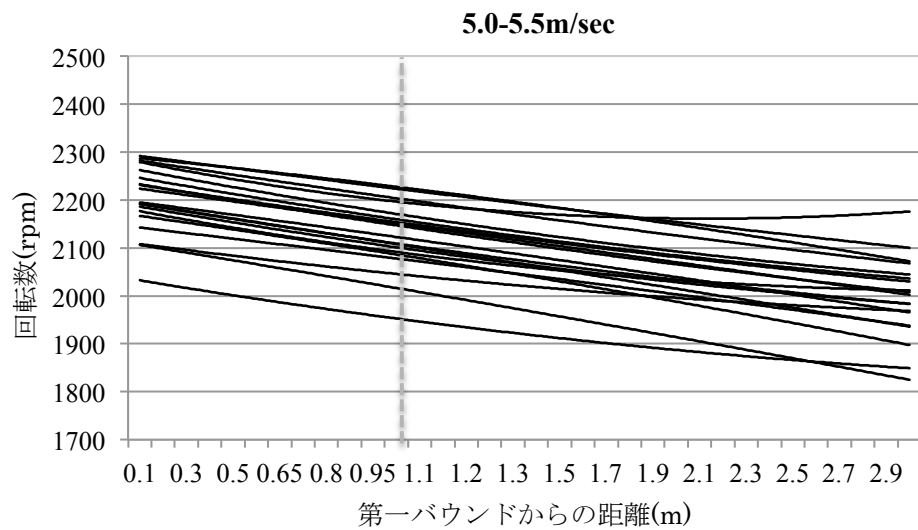
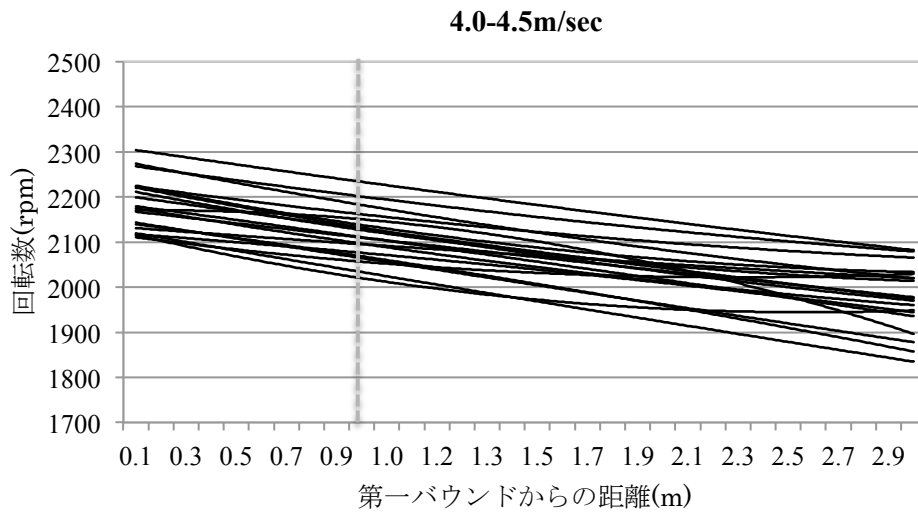


図 4.20 バックスピン 3000rpm における試技ごとの回帰曲線

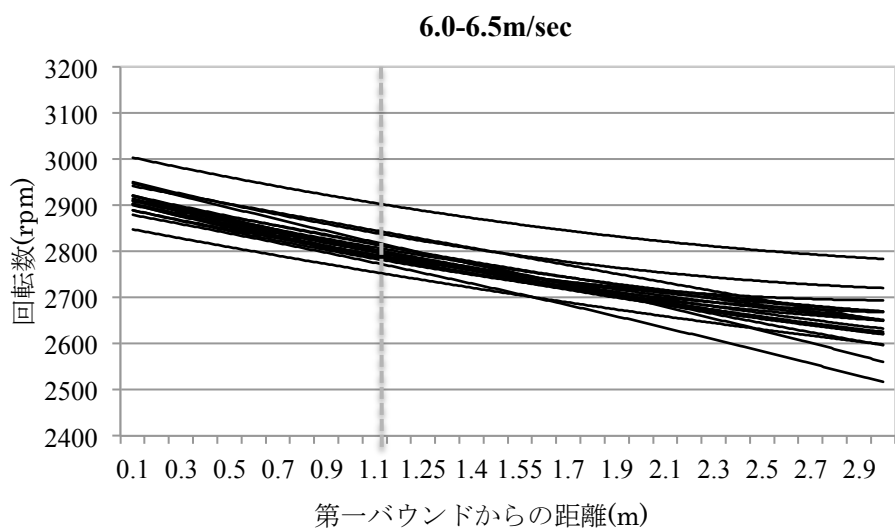
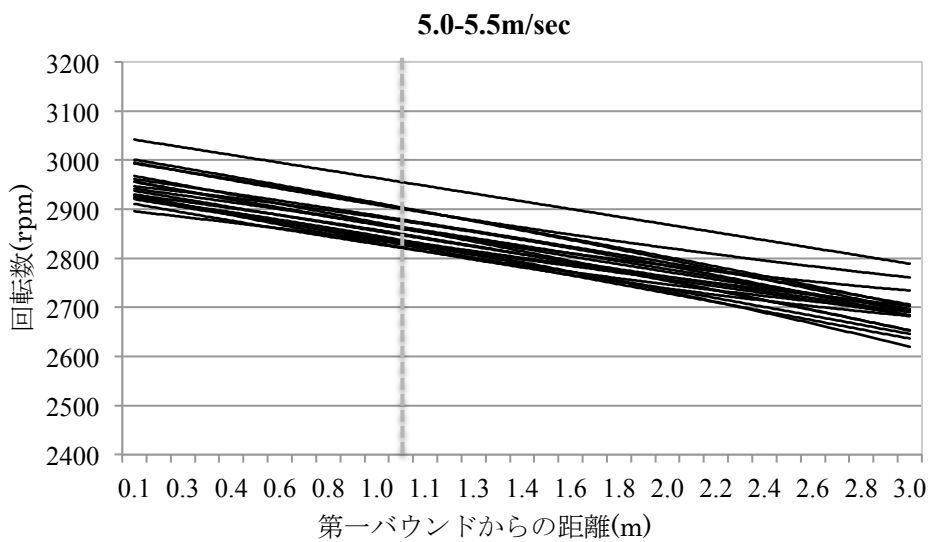
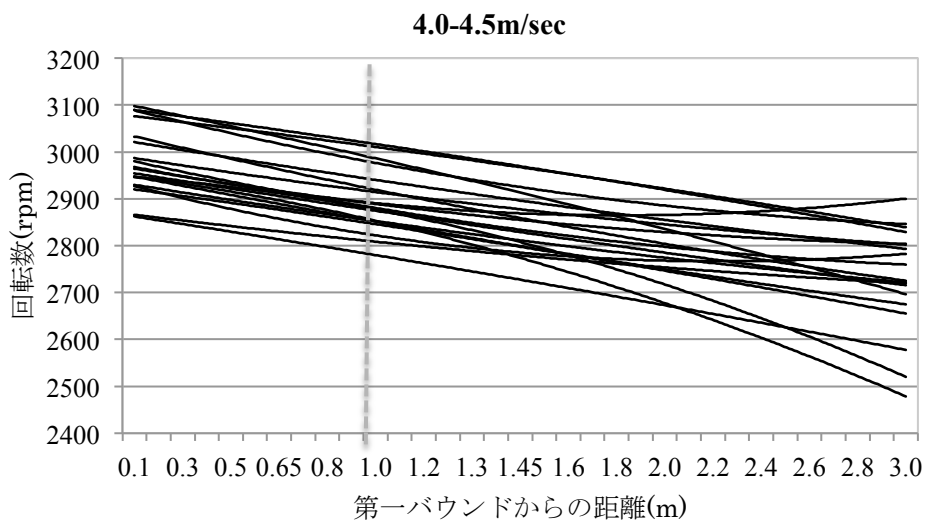


図 4.21 バックスピン 4000rpm における試技ごとの回帰曲線

#### 4. 4 本章のまとめ

卓球競技の回転に関する先行研究では、主に一流選手を対象として、選手が打球するボールの回転数を計測して、客観的に分析しているものが多い。しかし、卓球競技は、相手の打球するボールの回転数が予測できていたとしても、卓球台によるバウンドや、飛行中に回転数が減衰するため、それらの変化にもパフォーマンスが左右されてしまう。そのため、戦術を組み立てたり、技術を向上させたりするには、相手の打球だけではなく、卓球台とのバウンドによる回転数の変化や、飛行中の回転数の変化についても把握しておく必要がある。しかし、選手が打球してから、次の選手が打球するまでの回転数の変化について明らかにされた研究は、これまでにない。そこで、本章では、異なるメーカーの卓球台とボールを用いて、ボールがバウンドする際の回転数を定量化し、変化を明らかにした。さらに、バウンドしてから、打球するまでの間の回転数を定量化し、ボールの回転数の減衰を明らかにすると共に、高確率でボールを返球できる最適な打球点についても検討を行った。本章で得られた結果を以下にまとめる。

<バウンドによる回転数の変化について>

1. バウンド前のボールがトップスピンの場合は、回転数の大きさによってボールの進行方向に対する摩擦の働く方向が異なるため、バウンドによって回転数は、増加したり、減少したりする。これにより選手は、バウンド直後にボールが急に減速したり、加速したりすることを感じる可能性がある。
2. バウンド前の回転がバックスピンの場合は、摩擦力がボールの進行方向と逆向きに働くため、回転数は減少する。これにより選手は、バウンド直後にボールの急な減速を感じる可能性がある。

3. 卓球台の摩擦係数は、卓球台のメーカーによって異なり、SAN-EI>TSP>Nittakuの順で大きい。使用する卓球台のメーカーによってバウンド後のボールの回転数やスピード、角度が変化するため、選手は卓球台に応じた技術を身につける必要がある。
4. Nittakuの卓球台は、他のメーカーの卓球台と比較すると摩擦力が働きにくいいため、バウンド前後の変化は小さい可能性がある。

<飛行中におけるボールの回転数の変化>

5. 回転数の減衰は、打ち出されたボールの回転数やスピードが上がるにつれて大きくなる傾向にある。
6. ただし、トップスピンでボールスピードが低い場合は、回転数の減衰は大きくならないことがある。
7. 回転数の変化は、トップスピンでは、第一バウンドから 1.8-2.6m の範囲、バックスピンでは、第一バウンドから 1.6m-2.4m の範囲で小さくなる傾向にあった。そのため、この範囲でボールを打球することで返球できる確率を高めることができる可能性が示唆された。

## 第 5 章

### 終章と今後の展望

#### 5. 1 本研究のまとめ

対人競技で特にボール使用する競技は、対戦相手に対していかに戦術を立案して実行するかが勝敗を大きく左右するため、競技現場で試合内容を即時的に定量化し、得られた客観的情報を基に技術や戦術を分析・評価することが行われてきている。

しかし、卓球競技は、他の球技と比較するとラリーが非常にスピーディーで試合内容を即時的に記録することが困難であるため、競技現場で活用できる技術・戦術分析は確立されていない。そのため、卓球競技の競技現場では、現在も指導者の経験や主観的な分析によって選手にアドバイスが与えられることが多く、試合の結果に応じた適切な技術および戦術の分析・評価が行われなままトレーニングも行われている。

そこで本研究では、卓球競技における競技力の向上を最終的な目標として、技術・戦術の要素を「飛行特性」、「配球特性」、「回転特性」の3つの観点から客観的かつ定量的な情報を得るための方法論を確立することで、科学的根拠に基づく卓球競技の技術および戦術の分析や評価を試みた。

第2章では、赤外線レーザー光を活用して飛行特性を即時的に定量化して提示できるシステムを開発した。さらに、開発したシステムを競技現場で用いて選手の打球を実際に分析し、評価を行った。その結果、競技現場において飛行特性の観点から論拠となる資料を基に選手の打球を即時的に分析・評価できることが可能になった。また、このシステムを用いてゲームとゲームの間の休息時間に選手へアドバイスを与えた結果では、アドバイス前後の打球の変化から、試合結果に応じた打球技術や試合の内容を評価できると共に、飛行特性から選手の打球の癖も把握できることが明らかになった。具体的には、選手の打球したボールスピードが速い場合では、その打球はほとんどがロングであ

ると分析・評価することが可能である。また、ボールの打球角度が小さく、高度が低い場合は打球のピッチが速いことを推定することも可能である。このように、ボールの飛行特性は、選手の打球コースやピッチによっても変化するため、飛行特性に加えて打球コースやピッチを定量化し、三次元的に分析していくことで、より適切な戦術立案や技術の選択が可能になるものと考えられた。

そのため、第3章では加速度計を活用して卓球台にボールが落下した際の振動を記録し、記録された振動特性からボールの落下地点の即時的な定量化を行った。その結果、ボールの落下した領域を88%以上の確率で推定することが可能になった。これまでの卓球競技における打球コースに関するゲーム分析は、戦術を立案する上での重要な資料として数多く行われてきているが、方法論としては映像による分析がほとんどであるため、競技現場で活用するには実用性に欠けているものばかりであった。そこで、本章では、加速度計を用いて卓球台にボールが落下した際の振動からボールの落下地点を定量化するという新しい方法論によって配球特性の即時的な定量化を実現した。この方法論は、配球パターンに加えてボールの飛行時間も即時的に定量化することが可能であるため、それぞれの領域へどの程度の時間間隔で打球することが適切であるかも配球パターンと同時に分析・評価することが可能である。さらに、ボールの飛行時間は、打球されたボールがバックspinであるかトップspinであるかといった球種や、ツツキやドライブであるかなどの打法も推定することができる。そのため、この方法論を用いて技術および戦術を分析・評価することによって、選手が打球した領域、打球の時間間隔、用いた打法、ボールの回転軸を3次的に分析・評価することが可能になった。

卓球競技は、初心者同士の試合では、苦手な配球パターンを狙うなど少ない技術・戦術要素で得点できることが多い。しかし、競技レベルの高い選手は、ボールスピードの速いスマッシュを打球しても配球パターンを事前に見極められると対応されてしまうように、得点を重ねるためには技術・戦術要素を複数組み合わせることが必要になる。卓球競技は、他の球技と比較するとボールに与えられる回転数が大きいため、選手にアドバイスを与える際は、どこのコースへどのような回転で打球するかは重要である。また、相手の打球コースがネット手前と予測できていれば、ボールスピードも遅いと予測

できるが、ボールの回転が予測できなければエラーをしてしまうように、相手の打球を返球する上においてボールの回転を把握しておくことは必要になる。

そこで、第4章ではボールの回転特性を定量化し、分析・評価を行った。卓球競技は、相手の回転に打球が左右されやすいため、これまでの卓球競技における回転に関する文献では、選手が打球したボールの回転数を定量化し打法別に分析したものがいくつか見受けられる。相手が打球したボールの回転数は、戦術立案や返球技術の習得に必要な資料となるが、卓球ボールの回転特性は、卓球台上でのバウンドや空気抵抗によっても変化するため、あらゆる回転特性に応じた戦術立案や打球技術の選択・習得をするためには、相手が打球してから次の選手が打球するまでの間の回転特性の変化も把握する必要がある。相手が打球してから次の選手が打球するまでの間の回転特性の変化を明らかにした文献は、これまでのところ見受けられないため、第4章では、ボールがバウンドする前後の回転数とボールの飛行中における回転数の変化を定量化して、分析・評価を行った。その結果、バウンド前後の回転特性を定量化して分析することによって、相手の打球する回転特性や使用する卓球台のメーカーに応じた戦術立案や技術選択が可能になることが明らかになった。また、飛行中におけるボールの回転数の減衰は、相手が打球したボールの回転特性によって異なることから、相手の打球したボールの回転特性を定量化して分析することで、打球点に関する技術・戦術の分析・評価が可能になることが明らかになった。

本研究の成果によって、卓球競技における多くの指導書で示されている「時間（スピード）」、「空間あるいは球道（プレースメント）」、「回転」の技術・戦術要素を構成する全てのパラメーターを即時的に定量化することが実現された。回転特性については、映像を用いた分析であるが、近年ではハイスピードカメラが発展してきているため、映像分析による回転特性の定量化も可能性が見出されてきている。各章で定量化を行った方法論を総合的に組み合わせて1台の卓球台で分析・評価を行うことで、技術および戦術を構成する全てのパラメーターを客観的情報として提示しながら、指導者は選手にアドバイスを与えることが可能である。これにより指導者をはじめ選手も適切な戦術の立案

や技術の選択が可能になり、適切な課題をもとにしてトレーニングを行うことができる。

卓球競技の指導書では、これまで日本においても諸外国においても技術や戦術の運動構造やその技術情報が明確にされておらず、技術や戦術を構成する指導内容が体系化されていないため、指導者や選手の技術・戦術の組み立ては個々によって多様に考えられてきた。そこで、本研究で得られた研究成果を1つの技術・戦術分析評価トレーニングシステムとして競技現場で活用していくことによって、卓球競技の技術および戦術を分析・評価する方法論が確立されていくものと考えられる。卓球競技の技術および戦術を分析・評価する方法を体系化していくことができれば、選手自身で適切な戦術の立案や技術の選択ができるようになるため、選手はさらに高いパフォーマンスを発揮できるものと考えられる。



# 謝 辞

本研究は、著者が新潟大学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・教育科学系 牛山幸彦教授の指導のもとで行ったものである。

牛山幸彦教授には、著者が新潟大学教育学部健康スポーツ科学課程へ入学した当初より9年間という長い間、多大なるご指導ご鞭撻を賜りました。特に修士課程からは、牛山幸彦教授と同じ研究室に机を置かせて頂き、日々素晴らしい研究環境の中で知識の浅い著者に終始丁寧かつ適切な助言を賜りました。研究室における日々の議論は、今後の人生の礎となるものばかりでした。また、牛山幸彦教授は、研究環境のみならず、指導をする環境や競技を継続する環境も整えて下さり、私に卓球競技を通して多面的にももの見方や考え方、そして教育や研究に対する取り組む姿勢をご教示して下さいました。博士論文をまとめるにあたり最後まで温かいお言葉をかけて下さった牛山幸彦教授に深甚なる感謝の意を表します。まだまだ未熟者の筆者ですが、牛山幸彦教授の背中を目標にして、感謝の気持ちをこれからの教育・研究活動に活かしていきたいです。

八坂剛史教授と大庭昌昭准教授には、副査として多大なる助言を賜りました。八坂剛史教授は、著者にいつも励ましの言葉をかけて下さいました。また、卓球競技以外のスポーツと関わる機会を与えて下さり、スポーツの幅広い見方や考え方をご指導頂きました。大庭昌昭准教授は、著者が研究の方向性に迷いが生じた際に、いつもお時間を割いて適切な助言を与えて下さいました。また、研究の面白さや研究に対する姿勢も教えて下さいました。鹿児島での学会発表にご一緒させて頂いたのも非常に良い経験となりました。心より感謝致します。

五十嵐久人教授には、研究プロジェクトの指導教員としてご多忙の身ながら本研究をまとめる最後まで貴重な助言を賜りました。未熟な筆者を身体運動科学教室に所属した時から温かくサポートして下さいましたからこそ本研究をまとめることができました。心より感謝致します。

主査・副査そして指導教員の先生方以外にも多くの先生方にご指導を頂きました。特に、保健体育・健康スポーツ科学講座の先生方には、大学へ入学してから9年間の在学中に多くのご指導を頂き、本研究をまとめるまで温かく見守って頂きました。全ての先生方に心より感謝致します。

新潟大学学友会卓球部の後輩方々には、本研究を進めるにあたり多くのご協力を頂きました。度重なる実験では、快く被験者を引き受けて頂いたおかげで貴重なデータを得ることができました。また、これまでの数多くの卓球大会での議論は、著者に研究の手掛かりや必要性を示して下さいました。心より感謝致します。本当にありがとうございました。

新大クラブの保護者の方々や子どもたちにも感謝致します。保護者の方々には、著者の拙い卓球指導にも関わらず、いつも温かいお言葉をかけて指導・研究活動を応援して頂きました。また、子どもたちの「筆者と練習したい」と言ってくれる言葉は、筆者がここまで研究をまとめることができた力であり、研究の意義を再確認できるものでもありました。心より感謝致します。

この研究をまとめることができたのは、本当に多くの方々のお力添えがあったからこそであると感慨思いで振り返っています。健康スポーツ科学課程同期、新潟大学卓球部先輩・同期、博士前期課程同期、卒業・修了しても温かいお言葉を与えて下さった仲間がたくさんいました。そして、新大クラブをはじめとした卓球関係者の方々もいつも応援して下さいました。著者の学生生活をいつも身近で応援して下さい下さる方々もいました。著者に関わって下さった皆様と著者を育て下さった新潟大学に心より感謝致します。ありがとうございました。

最後になりましたが、本研究をまとめるにあたり著者を支えてくれた家族にも心から感謝の意を表します。両親の父 幸彦と母 葉子は、著者に卓球競技を始めるきっかけを与えてくれました。卓球競技をしていなかったから今の著者は間違えなくありません。両親は、著者が大学に進学しても大好きな卓球競技を思う存分させて下さり、そして大学院に進学してからは卓球競技の研究に思う存分取り組ませて下さいました。著者の目標をいつも応援して、経済的にも惜しみなく支援して下さい下さった両親には、感謝の念に尽きません。兄 悠は、著者をいつも温かく見守りながら応援して下さいました。祖母 美恵子は、誰よりも著者の身体をいつも気遣って下さいました。電話の祖母の心遣いと元気な声が著書の力になりました。そして、天国で安らかに著書を見守って下さった祖父 博人、祖父 利雄、祖母 嘉子に心から感謝致します。

2014年1月9日

上島 慶

# 参 考 文 献 ・ 参 考 資 料

## 第 1 章

1. 岸野雄三他編,『最新スポーツ大辞典』,大修館書店,1987
2. ベルナール・ジレ,近藤等訳,『スポーツの歴史』,白水社,1952
3. 玉木正之,『スポーツとは何か』,講談社現代新書,1999
4. 多木浩二,『スポーツを考える-身体・資本・ナショナリズム』,ちくま新書,1995
5. 加藤元和,「Carl Diem の世界スポーツ文化史の研究(4)-近代初期ヨーロッパの場合(3),イギリス-」,京都教育大学紀要 No.108, pp19-32, 2006
6. 笹川スポーツ財団,スポーツ団体等の状況に関する調査,  
[http://www.ssf.or.jp/research/list/pdf/h23\\_07\\_report\\_2-2-01.pdf](http://www.ssf.or.jp/research/list/pdf/h23_07_report_2-2-01.pdf)
7. 3 参照
8. 福岡孝純,谷本都栄,「現代におけるスポーツの意義と役割」,帝京経済学研究, pp145-154, 2008
9. 川辺光,「日本人のスポーツ観の構造的特質」,東京外国語大学紀要論文, pp251-269, 1980
10. 1 参照
11. 藤原豊樹,「武道概念の現状に関する一考察-伝統性と競技性に着目して-」,日本体育大学紀要 35 巻 2 号, pp91-98, 2006
12. 大塚正美,「体育の歴史と役割」,城西国際大学紀要, pp137-145, 2011
13. 野瀬清喜,大保木輝雄,野瀬英豪,「武道の伝統的な行動のしかたについて」,埼玉大学紀要教育学部, pp89-96, 2002
14. 9 参照
15. 文部科学省,スポーツ庁の在り方に関する調査研究 調査研究成果報告書,  
[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/sports/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2013/04/11/1333135\\_8.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/sports/detail/_icsFiles/afieldfile/2013/04/11/1333135_8.pdf)
16. 文部科学省,スポーツ基本法,  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/sports/kihonhou/index.htm?utm\\_source=twitterfeed&utm\\_medium=twitter](http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/kihonhou/index.htm?utm_source=twitterfeed&utm_medium=twitter)

17. 文部科学省, スポーツ基本計画,  
[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/sports/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2012/04/02/1319359\\_3\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/sports/detail/_icsFiles/afieldfile/2012/04/02/1319359_3_1.pdf)
18. 柴田陽介, 早坂信哉, 野田龍也他, 「する・見る・支えるスポーツ活動と主観的健康感の関連」, 運動免疫学研究 13(1), pp44-50, 2011
19. 高橋伸次, 時本識資, 「スポーツ参加の多様化と 21 世紀社会に向けたスポーツ振興の機軸-「する」スポーツへの多様な関わり方の振興-」, 地域政策研究第 2 巻第 1 号・2 号合併, pp35-55, 1999
20. 佐野毅彦, 「J リーグというイノベーション 日本スポーツ産業の課題と解決策に関する考察」, KEIO SFC JOURNAL Vo.6 No.1, pp48-65, 2007
21. 文部科学省, スポーツ予算関係資料,  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/sports/016/shiryo/\\_icsFiles/afieldfile/2012/10/19/1327015\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sports/016/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2012/10/19/1327015_1.pdf)
22. 文部科学省, ナショナル競技力向上プロジェクト (新規) 【施策目標 11-3】,  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/hyouka/kekka/1312267.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/hyouka/kekka/1312267.htm)
23. 文部科学省, 「マルチサポート事業」ターゲット競技種目の指定,  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/25/04/1330534.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/25/04/1330534.htm)
24. 文部科学省, 体力・スポーツに関する世論調査,  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/toukei/chousa04/sports/1338692.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chousa04/sports/1338692.htm)
25. 中島俊介, 「ラリー卓球の心理・心理的效果について」, 日本教育心理学会総会発表論文集(47), p.271, 2005
26. 佐藤智彦, 森照明, 佐藤眞一, 「リハビリテーションにおける卓球療法の効果」, 臨床スポーツ医学 15, pp1297-1300, 1998
27. 森照明, 「中高年の健康スポーツとしての卓球」, 臨床スポーツ医学 16, pp1078-1080, 1999
28. 森照明, 佐藤智彦, 「臨床脳スポーツ医学の課題と展望」, バイオメカニズム Vo.17, pp1-8, 2005
29. 産業能率大学, ロンドン五輪の選手と競技に関する調査 (五輪開催後速報),  
[http://www.sanno.ac.jp/research/gorin2012\\_2.html](http://www.sanno.ac.jp/research/gorin2012_2.html)
30. 荻村伊智朗, 『卓球物語』, 大修館書店, 1996

31. 藤井基男, 『卓球知識の泉』, 卓球王国ブックス, 2003
32. (公財)日本卓球協会, 『卓球コーチング教本』, 大修館書店, 2012
33. ITTF, 『The Journal of the Tennis Collector's Society』,  
<http://www.ittf.com/museum/TTC.html>
34. 城島充, 『ピンポンさん』, 角川文庫, 2011
35. 侯佳寧, 「中国における卓球の変容と社会問題についての研究」, 九州大学大学院人間環境学府修士論文, 2009
36. 葛西順一, 「卓球競技におけるボールスピードとラケット速度に関する研究」, 日本卓球協会スポーツ医・科学委員会平成 22 年度研究報告, 2010
37. 葛西順一, 「フォアハンドストロークのスイング速度とボールの回転数との関係」, 日本卓球協会スポーツ医・科学委員会平成 22 年度研究報告, 2011
38. 油座信男, 佐々岡潔, 高島規郎, 宮下充正, 「戦型別卓球選手の試合分析: その時間的・空間的特性と生体負担度」, 日本体育学会大会号(34), p.592, 1983
39. 湯海鵬, 溝口正人, 豊島進太郎, 「40mm 卓球ボールの打撃特性」, 体育学研究 47(2), pp155-162, 2002
40. 金達郎, 浅井武, 瀬尾和哉, 大塚和寿磨, 「飛翔中における野球ボールの回転数の変化」, ジョイント・シンポジウム講演論文集: スポーツ工学シンポジウム: シンポジウム: ヒューマン・ダイナミックス, pp14-18, 2003
41. 笹原英夫, 三浦朗, 磨井祥夫, 柳原英児, 菊地邦雄, 「弾道演算から推定したテニスボールの回転数」, 日本体育学会大会号(36), p.404, 1985
42. 高島規郎, 『卓球戦術ノート』, 卓球王国ブックス, 2001
43. 32 参照
44. 蛭田秀一, 松尾彰文, 西嶋洋子, 種田行男, 八木規夫, 他 2 名, 「1989 年度オリンピック強化指定選手体力測定結果について」, 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究第 13 報, pp.114-116, 1989
45. 蛭田秀一, 島岡みどり, 西嶋洋子, 吉村ゆかり, 志田幸久, 他 9 名, 「第 41 回世界卓球選手権大会代表選手の形態・体力測定結果について」, 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究第 14 報, pp.122-124, 1990
46. 蛭田秀一, 松尾彰文, 島岡みどり, 吉村ゆかり, 西嶋洋子, 他 2 名, 「1991 年度強化指定選手の体力測定結果と体カランキング」, 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告

No.Ⅱ 競技種目別競技力向上に関する研究第 15 報, pp.135-139, 1991

47. 38 参照
48. 葛西順一,「卓球選手の心機能評価に関する研究-酸素摂取量測定器 K4B2 を使用して」, 日本卓球協会スポーツ医・科学委員会平成 20 年度研究報告, 2008
49. 張環宇,「大学生タックユ選手の練習中における酸素摂取量及び心拍数の変化について」, 現代社会文化研究 No.46, pp237-247, 2009
50. Huan Yu Zhang, Yukihiko Ushiyama, Fei Yang, Shinji Iizuka, Kei Kamijima, “Estimation of Energy Consumption from Heart Rates of Chinese Professional Table Tennis Players in Training Conditions”, International Journal of Table Tennis Sciences No.6, pp.139-144, 2010
51. 牛山幸彦, 張環宇, 上島慶,「中国プロ卓球選手のプレー中における運動強度の測定」, 日本卓球協会スポーツ医・科学委員会平成 21 年度研究報告, 2009
52. 山岡憲二, 田阪登紀夫, 岩野悦真, 古川勝己, 倉敷千稔他,「女子卓球選手の試合状態における心拍数の変化」, 日本体育学会大会号(48), p.447, 1997
53. ヤーン・ケルン,「スポーツの戦術入門」, 大修館書店, 1998
54. 勝田隆,『知的コーチングのすすめ』, 大修館書店, 2002
55. 塚田直彦,「日本におけるアメリカンフットボールの戦術に関する史的研究」, 日本体育大学紀要 34 巻 2 号, pp125-138, 2005
56. 大川信行,「バスケットボールのポジションに関する史的考察-その役割の推移について-」, スポーツ史研究(13), pp13-28, 2000
57. 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』, 東邦出版, 2012
58. 吉田敏明,「バレーボールにおける戦術データと駆け引き」, オペレーションズ・リサーチ:経営の科学 51(7), pp441-444, 2006
59. 加藤久,「サッカーの戦術とコンピュータ分析の現状と課題」, オペレーションズ・リサーチ:経営の科学 44(3), pp.125-131, 1999
60. 奥田知靖, 大場渉, 土井秀和,「バスケットボールにおけるゲーム分析研究の現状と課題」, 大阪教育大学紀要第 54 巻第 1 号, pp203-212, 2005
61. 児玉善廣, 鈴木敏明, 吉田祐子,「バスケットボール用作戦支援システムの開発(2)-ランニング・スコア表示モジュール-」, 仙台大学紀要第 27 集, pp137-154, 1996
62. 榎本至, 南隆尚,「水球競技のリアルタイムゲーム分析システム」, バイオメカニクス

研究 Vo.2 No.3, pp166-172, 1998

63. 54 参照
64. 大野寿一, 勝英夫, 「卓球のゲーム分析 : (その 1) 攻撃型の戦術について」, 日本体育学会大会号(23), p.397, 1972
65. 勝英夫, 大野寿一, 「卓球のゲーム分析 : (その 2) サービ技術について」, 日本体育学会大会号(24), p.305, 1973
66. 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」, 日本体育学会大会号(38A), p.272, 1987
67. 葛西順一, 増田洋, 村上博巳, 飯本雄二, 油座信男, 「一流卓球選手の戦術分析」, 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究第 12 報, pp.117-121, 1988
68. 葛西順一, 「世界のトッププレイヤーのゲーム分析 (特にサービスとレシーブについて)」, 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究第 15 報, pp.143-147, 1991
69. 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), pp327-343, 1996
70. 38 参照
71. 油座信男, 「卓球の時間的・空間的特性」, バイオメカニズム学会誌 16(2), pp130-137, 1992
72. 吉田和人, 飯本雄二, 油座信男, 「実践ラリー時の選手移動距離とその速度」, 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究第 12 報, pp.112-116, 1988
73. 村上恭和, 「勝利はすべてミッションから始まる」, WAVE 出版, 2012
74. 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
75. 74 参照
76. 32 参照
77. (財)日本卓球協会, 『卓球指導教本』, 大修館書店, 1990
78. 田升彦介, 『卓球』, ベースボール・マガジン社, 1960
79. (財)日本卓球協会, 『公認スポーツ指導者 指導者養成テキスト』, 2006
80. 67 参照

81. 吉田和人, 飯本雄二, 「卓球競技におけるゲーム分析法」, 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No.Ⅱ 競技種目別競技力向上に関する研究第 14 報, pp.113-117, 1990
82. 李鋭利, 「初心者に対する卓球の技術・戦術指導について」, 北海道大学大学院教育学研究院紀要第 104 号, pp.79-121, 2008

## 第 2 章

83. 牛山幸彦, 川又宏司, 佐藤大輔, 「卓球競技における硬式球とラージボールの軌跡のシミュレーション」, 新潟体育学研究第 9 巻, pp39-44, 1990
84. 宮木操, 芦田信之, 高島規郎, 東照正他, 「卓球競技におけるスコア記録の新手法」, 日本体育学会大会号 40 巻 B, p.652, 1989
85. K.Kamijima, Y.Ushiyama, Z.Huanyu, Y.Fei, S.Iizuka “The Examination for Evaluating the Rally of the Table Tennis Game”, International Journal of Table Tennis Science No.6, pp.127-130, 2010
86. 上島慶, 牛山幸彦, 楊飛, 飯塚進柱他, 「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 28 巻, pp39-44, 2010
87. 上島慶, 牛山幸彦, 飯塚進柱, 関有李他, 「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 第 29 巻, pp83-90, 2011
88. Robert H. Bishop, 『LabVIEW2010 プログラミングガイド』, 株式会社アスキー・メディアワークス

## 第 3 章

89. 36 参照
90. 青木純一郎, 佐藤佑, 村岡功, 『スポーツ生理学』, 市村出版, 2001
91. Wu,X. and Zhang,Z., “Analysis of service techniques of top-level Chinese attacking table tennis players”, International Journal of Table Tennis Science No.3, pp111-115, 1996
92. Zhe Hao, Zhensheng Tian, Yujiao Hao, Jili Song, “Analysis on Technique and Tactics of Lin Ma and Hao Wang in the Men’s Single Table Tennis Final in the 29<sup>th</sup> Olympic Games”, International Journal of Table Tennis Science No.6, pp74-78, 2010



93. Ming-Hua Hsu, “A study on the Technical Analysis and Attack-Defense Performance of Men’s Top Four Single Players in 2008 Olympic Games”, International Journal of Table Tennis Science No.6, pp248-260, 2010
94. 大江正人, 『卓球 基本と練習メニュー』, 池田書店, 2009
95. 宮崎義仁, 『卓球 最強の戦術』, メイツ出版, 2009
96. 32 参照
97. 吉田和人, 「卓球競技におけるボールの回転操作」, バイオメカニクス研究 Vol.11 No.3, pp.220-228, 2007
98. 楊飛, 張環宇, 牛山幸彦, 溝井美貴, 「大学卓球選手の配球パターンに関する一考察」, 新潟体育学研究 第 27 卷, pp17-24, 2010
99. Yang Fei, Yukihiro Ushiyama, Lui Jie, Zhang Huan Yu, et al. “Analysis of the ball fall point in table tennis game”, International Journal of Table Tennis Science, No.6, pp131-138, 2010
100. 楊飛, 牛山幸彦, 大場昌昭, 張環宇他, 「大学卓球選手の三球目までの攻撃パターンについて」, 新潟体育学研究 第 28 卷, pp51-56, 2010
101. 楊飛, 「卓球競技における配球パターンの分析法」, 新潟大学現代社会文化研究科修士論文, 2009
102. 関有李, 牛山幸彦, 上島慶, 飯塚進柱他, 「配球パターンとボールの飛行時間の関連からみた卓球ゲーム分析法」, 新潟体育学研究 第 29 卷, pp91-99, 2011
103. 82 参照
104. 83 参照
105. 84 参照
106. 岡部荘一, 高島規郎, 芦田信之, 東照正, 「卓球競技における打球線の頂点について」, 日本体育学会大会号(47), p.538, 1996
107. 小西貞則, 「多変量解析入門-線形から非線形へ-」, 岩波書店, 2010

## 第 4 章

108. 小嶋武次, 飯野要一, 「卓球のフォアハンドドライブ中の体幹と上肢の動き : 競技レベルとボールの回転量の影響」, 日本卓球協会スポーツ医・科学委員会平成 20 年度研究報告, 2008

109. Iimoto,Y., Yoshida,K., and Yuza,N., “Rebound characteristics og the new table tennis Ball; Differences between the 40mm(2.7g) and 38mm(2.5g) balls”, International Journal of Table Tennis Sciences No.5, pp233-243, 2002
110. Tang,H.-P., Mizoguchi,M. and Toyoshima,S., “Speed and spin characteristics of the 40mm table tennis ball”, International Journal of Table Tennis Sciences No.5, pp278-284, 2002
111. Wu,H.Q. and Li,Z.B., “Research on Technical Diagnosis Method for Table Tennis Players”, International Journal of Table Tennis Sciences No1, pp.99-103, 1992
112. Shinji Iizuka, Yukihiro Ushiyama, Kazuto Yoshida, Yang Fei, et al., “The Measuring Ball Spin at the Service in Table Tennis by Junior Player”, International Journal of Table Tennis Sciences No.6, pp.123-126, 2010
113. 37 参照
114. 83 参照
115. 84 参照
116. 99 参照
117. 94 参照

## 研究業績一覧

### 学術論文（査読あり）

1. 上島慶, 牛山幸彦, 楊飛, 飯塚進柱, 五十嵐久人, 他 2 名, 「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 28 巻, pp. 39-44, 2010
2. 飯塚進柱, 牛山幸彦, 上島慶, 溝井貴美, 楊飛, 他 3 名, 「スポーツ選手の ID 化による競技サポートの検討」, 新潟県体育学研究第 28 巻, pp.21-24, 2010
3. 楊飛, 牛山幸彦, 大庭昌昭, 張環宇, 上島慶, 他 3 名, 「大学卓球選手の三球目までの攻撃パターンについて」, 新潟体育学研究第 28 巻, pp. 51-56, 2010
4. K.Kamijima, Y.Ushiyama, Z.Huanyu, Y.Fei, S.Iizuka, “The Examination for Evaluating the Rally of the Table Tennis Game”, International Journal of Table Tennis Science No.6, pp.127-130, 2010
5. S.Iizuka, Y.Ushiyama, K.Yoshida, Y.Fei, Z.Huanyu, K.Kamijima, “The Measuring Ball Spin at the Service in Table Tennis by Junior Player”, International Journal of Table Tennis Science No.6, pp.123-126, 2010
6. Y.Fei, Y.Ushiyama, L.Jie, Z.Huanyu, S.Iizuka, K.Kamijima, “The Analysis of the Ball Fall Point in Table Tennis Game”, International Journal of Table Tennis Science No.6, pp.131-138, 2010
7. Z.Huanyu, Y.Ushiyama, Y.Fei, S.Iizuka, K.Kamijima, “Estimation of Energy Consumption Quantity from Heart Rate of Chinese Professional Table Tennis Player in Training Conditions”, International Journal of Table Tennis Science No.6, pp.139-144, 2010
8. 上島慶, 牛山幸彦, 飯塚進柱, 関有李, 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」, 新潟体育学研究第 29 巻, pp. 83-90, 2011
9. 関有李, 牛山幸彦, 上島慶, 飯塚進柱, 広霞, 他 4 名, 「配球パターンとボールの飛行時間の関連からみた卓球ゲーム分析法」, 新潟体育学研究第 29 巻, pp. 91-99, 2011
10. 飯塚進柱, 上島慶, 関有李, 広霞, 籠島隼介, 他 3 名, 「レーティングシステムを用いたランキング決定法に関する研究-全日本卓球選手権大会速報データベースからの検証-」, 新潟体育学研究第 29 巻, pp. 101-111, 2011
11. 上島慶, 牛山幸彦, 関有李, 籠島隼介, 五十嵐久人, 他 2 名, 「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」, 新潟体育学研究第 30 巻, pp. 63-70, 2012

12. 関有李, 牛山幸彦, 上島慶, 籠島隼介, 五十嵐久人, 他 2 名, 「加速度計を用いた卓球ボール落下地点推定法の検討」, 新潟体育学研究第 30 巻, pp. 55-62, 2012
13. 上島慶, 牛山幸彦, 八坂剛史, 大庭昌昭, 「卓球台の振動特性によるボール落下地点推定法の検討」, 新潟体育学研究第 31 巻, pp. 3-10, 2013
14. K.Kamijima, Y.Ushiyama, T.Yasaka, M.Ooba, “Effect of Different Playing Surface of the Table Tennis on Ball Bounces in Table Tennis”, International Journal of Table Tennis Science No.8, pp.52-55, 2013
15. 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」, 新潟体育学研究第 31 巻 (Accepted)

### 学術論文誌 (査読なし)

1. 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, pp. 61-72, 2011

### 国内学会発表

(口頭発表)

1. 上島慶, 牛山幸彦, 楊飛, 飯塚進柱, 五十嵐久人, 他 2 名 : 卓球競技における選手の技能評価に関する研究, 新潟県体育学会平成 21 年度大会, 新潟大学, 2009 年 10 月 31 日
2. 飯塚進柱, 牛山幸彦, 上島慶, 溝井貴美, 楊飛, 他 3 名 : スポーツ選手の ID 化による競技サポートの検討, 新潟県体育学会平成 21 年度大会, 新潟大学, 2009 年 10 月 31 日
3. 楊飛, 牛山幸彦, 大庭昌昭, 張環宇, 上島慶, 他 3 名 : 大学卓球選手の三球目までの攻撃パターンについて新潟県体育学会平成 21 年度大会, 新潟大学, 2009 年 10 月 31 日
4. 上島慶, 牛山幸彦, 飯塚進柱, 関有李, 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, 新潟県体育学会平成 22 年度大会, 新潟大学, 2010 年 10 月 30 日
5. 関有李, 牛山幸彦, 上島慶, 飯塚進柱, 広霞, 他 4 名 : 配球パターンとボールの飛行時間の関連からみた卓球ゲーム分析法, 新潟県体育学会平成 22 年度大会, 新潟大学, 2010 年 10 月 30 日
6. 飯塚進柱, 上島慶, 関有李, 広霞, 籠島隼介, 他 3 名 : レーティングシステムを用いたランキング決定法に関する研究-全日本卓球選手権大会速報データベースからの検

証-, 新潟県体育学会平成 22 年度大会, 新潟大学, 2010 年 10 月 30 日

7. 上島慶, 牛山幸彦, 関有李, 籠島隼介, 五十嵐久人, 他 2 名: 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, 新潟県体育学会平成 23 年度大会, 新潟大学, 2011 年 10 月 29 日
8. 関有李, 牛山幸彦, 上島慶, 籠島隼介, 五十嵐久人, 他 2 名: 加速度計を用いた卓球ボール落下地点推定法の検討, 新潟県体育学会平成 24 年度大会, 新潟大学, 2012 年 10 月 29 日
9. 上島慶, 牛山幸彦, 八坂剛史, 大庭昌昭: 卓球台の振動特性によるボール落下地点推定法の検討, 新潟県体育学会平成 24 年度大会, 新潟大学, 2012 年 11 月 3 日
10. 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, 新潟県体育学会平成 25 年度大会, 新潟大学, 2013 年 10 月 19 日  
(ポスター発表)
1. 上島慶, 牛山幸彦, 楊飛, 飯塚進柱, 五十嵐久人, 他 2 名: 球競技における選手の技能評価に関する研究, 日本体育学会第 61 回大会, 中京大学, 2010 年 9 月 10 日
2. 関有李, 牛山幸彦, 楊飛, 上島慶, 飯塚進柱, 他 4 名: 大学卓球選手の配球特性分析に関する一考察, 日本体育学会第 61 回大会, 中京大学, 2010 年 9 月 10 日
3. 籠島隼介, 林豊彦, 牛山幸彦, 上島慶, 張環宇, 他 2 名: 卓球競技におけるバックハンドドライブの動作分析, 日本体育学会第 61 回大会, 中京大学, 2010 年 9 月 9 日
4. 飯塚進柱, 牛山幸彦, 広霞, 上島慶, 関有李, 他 2 名: スポーツ選手の ID 化による競技サポートの検討, 日本体育学会第 61 回大会, 中京大学, 2010 年 9 月 10 日
5. 上島慶, 牛山幸彦, 関有李, 籠島隼介, 八坂剛史, 大庭昌昭: 卓球競技におけるボールの飛行特性分析システムに関する研究, 日本体育学会第 62 回大会, 鹿屋体育大学, 2011 年 9 月 27 日

## 国際会議

1. K.Kamijima, Y.Ushiyama, Z.Huanyu, Y.Fei, S.Iizuka: The Examination for Evaluating the Rally of the Table Tennis Game, The 11<sup>th</sup> International Table Tennis Federation Sports Science Congress, Japan, Yokohama, 2009, April 26
2. S.Iizuka, Y.Ushiyama, K.Yoshida, Y.Fei, Z.Huanyu, K.Kamijima: The Measuring Ball Spin at the Service in Table Tennis by Junior Player, The 11<sup>th</sup> International Table Tennis Federation Sports Science Congress, Japan, Yokohama, 2009, April 26
3. Y.Fei, Y.Ushiyama, L.Jie, Z.Huanyu, S.Iizuka, K.Kamijima: The Analysis of the Ball Fall Point in Table Tennis Game, The 11<sup>th</sup> International Table Tennis Federation Sports Science

- Congress, Japan, Yokohama, 2009, April 26
4. Z.Huanyu, Y.Ushiyama, Y.Fei, S.Iizuka, K.Kamijima : Estimation of Energy Consumption Quantity from Heart Rate of Chinese Professional Table Tennis Player in Training Conditions, The 11<sup>th</sup> International Table Tennis Federation Sports Science Congress, Japan, Yokohama, 2009, April 26
  5. K.Kamijima, Y.Ushiyama, T.Yasaka, M.Ooba : Effect of Different Playing Surface of the Table Tennis on Ball Bounces in Table Tennis, The 13<sup>th</sup> International Table Tennis Federation Sports Science Congress, France, Paris, 2013, May 12

## その他

(研究報告)

1. 牛山幸彦, 上島慶:卓球ボールのネット上通過高度・角度・速度算出システムを用いたゲーム内容評価の検討, 日本卓球協会スポーツ医・科学委員会平成 20 年度研究報告, 味の素ナショナルトレーニングセンター, 2010 年 2 月
2. 牛山幸彦, 上島慶: 卓球ボールのネット上通過高度・角度・速度算出システムを用いたゲーム内容評価の検討, 日本卓球協会スポーツ医・科学委員会平成 21 年度研究報告, 味の素ナショナルトレーニングセンター, 2011 年 2 月
3. 楊飛, 牛山幸彦, 大庭昌昭, 飯塚進柱, 上島慶, 他 2 名: 卓球競技における配球パターンの分析, 日本卓球協会スポーツ医・科学委員会平成 21 年度研究報告, 味の素ナショナルトレーニングセンター, 2011 年 2 月
4. 牛山幸彦, 張環宇, 上島慶: 中国プロ卓球選手のプレー中における運動強度の測定, 日本卓球協会スポーツ医・科学委員会平成 21 年度研究報告, 味の素ナショナルトレーニングセンター, 2011 年 2 月
5. 牛山幸彦, 上島慶, 関有李: 加速度計を用いた卓球ボール落下点推定法の開発, 日本卓球協会スポーツ医・科学委員会平成 22 年度研究報告, 味の素ナショナルトレーニングセンター, 2012 年 2 月
6. 牛山幸彦, 公平治幸, 上島慶: 飛行中のボール回転数減衰に関する研究, 日本卓球協会スポーツ医・科学委員会平成 23 年度研究報告, 味の素ナショナルトレーニングセンター, 2013 年 2 月
7. 牛山幸彦, 尾竹由冴, 籠島隼介, 上島慶: ラバーの種類と打球圧による摩擦係数の変化, 日本卓球協会スポーツ医・科学委員会平成 23 年度研究報告, 味の素ナショナルトレーニングセンター, 2013 年 2 月
8. 牛山幸彦, 上島慶, 南波里香: 卓球競技における表面筋電図を用いた筋力特性評価方

法の検討-繰り返しフォアハンドドライブ時の上腕筋群に着目して-, 日本卓球協会スポーツ医・科学委員会平成 24 年度研究報告, 味の素ナショナルトレーニングセンター, 2013 年 2 月

(報告書)

9. 上島慶：国体のコーチを経験して，新潟県卓球連盟広報誌「卓球便」38 号，2012