

テニスにおけるサービス・サービスリターンの
スピード及び回転数に着目したゲームパフォーマンス分析

鹿屋体育大学大学院 体育学研究科

体育学専攻

学籍番号 197001

柏木涼吾

令和5年6月

目次

第一章 研究背景および関連研究領域の概観	1
第一節 スポーツにおけるゲームパフォーマンス分析に関する研究	2
第二節 テニスにおけるゲームパフォーマンス分析に関する研究	3
第三節 テニスにおける打球のスピードと回転数に関する研究	6
第四節 競技としてのテニス	8
第五節 問題の所在	13
第二章 研究の目的および研究課題	14
第一節 研究目的	15
第二節 研究課題	16
第三章 研究の意義および限界	17
第一節 研究の意義	18
第二節 研究の限界	19
第四章 研究課題I	20
プロテニス選手がサービスのスピード及び回転数を変化させる要因	20
第一節 目的	22
第二節 方法	24
第一項 調査対象	24
第二項 測定方法	25
第三項 倫理手続き	25
第四項 測定項目	25
第五項 サービスの結果の分類	25
第六項 サービスのコースの分類	26
第七項 カウントの分類	27
第八項 統計処理	27
第三節 結果	28
第一項 サービスの結果別のスピード及び回転数	28
第二項 サービスのコース別のスピード及び回転数	36
第三項 カウント別のサービスのスピード及び回転数	42

第四節 考察	43
第一項 サービスにおけるスピード及び回転数とサービス結果の関係	43
第二項 サービスにおけるコース別のスピード及び回転数	45
第三項 重要なカウントにおけるサービスのスピード及び回転数	49
第五節 まとめ	50
第五章 研究課題II	51
サービスのスピード及び回転数とポイント取得率の関係	51
第一節 目的	53
第二節 方法	55
第一項 調査対象	55
第二項 測定方法	55
第三項 測定項目	55
第四項 コースの分類	55
第五項 統計処理	56
第三節 結果	57
第一項 サーバーの得点時と失点時におけるサービスのスピード及び回転数	57
第二項 スピード及び回転数毎のポイント取得率	58
第三項 コース別でのサーバーの得点時と失点時におけるサービスのスピード及び 回転数	59
第四項 コース別でのスピード及び回転数毎のポイント取得率	60
第四節 考察	64
第一項 サーバーの得点時と失点時におけるサービスのスピード・回転数及びスピー ド・回転数毎のポイント取得率	64
第二項 コース別でのスピード及び回転数とポイント取得率	66
第五節 まとめ	68
第六章 研究課題III	69
サービス及びサービスリターンにおけるスピード及び回転数の関係	69
第一節 目的	71
第二節 方法	73
第一項 調査対象	73

第二項	測定方法	73
第三項	測定項目	73
第四項	コースの分類	73
第五項	統計処理	74
第三節	結果	75
第一項	リターンにおけるスピードと回転数の関係	75
第二項	リターンにおけるスピード及び回転数	76
第三項	サービスのスピード及び回転数とリターンのスピード及び回転数の関係	79
第四項	サービスのスピード及び回転数とリターンのスピード及び回転数の関係	81
第四節	考察	84
第一項	リターンにおけるスピードと回転数の関係	84
第二項	リターンのスピード及び回転数	85
第三項	サービスのスピード及び回転数とリターンのスピード及び回転数の関係	89
第四項	サービスコース別のリターンのスピード及び回転数	90
第五節	まとめ	92
第七章	研究課題IV	93
大学生テニス選手におけるサービス・サービスリターンの		93
スピード及び回転数		93
第一節	目的	94
第二節	方法	95
第一項	調査対象	95
第二項	測定方法	95
第三項	測定項目	95
第四項	コースの分類	95
第五項	統計処理	95
第三節	結果	96
第一項	サービスのスピード及び回転数	96
第二項	リターンのスピード及び回転数	97
第四節	考察	101
第一項	サービスのスピード及び回転数	101

第二項	リターンのスピード及び回転数	102
第五節	まとめ	106
第八章	総括論議	107
第一節	新たな指針となるサービスデータの提供	108
第二節	リターンのスピード及び回転数とサービスとリターンの関係性	109
第三節	大学生選手とプロ選手の比較	110
第四節	ゲームパフォーマンス分析における留意点の顕在化	110
第九章	結論	112
文献	114

第一章 研究背景および関連研究領域の概観

第一節 スポーツにおけるゲームパフォーマンス分析に関する研究

近年、様々なスポーツにおいてゲームパフォーマンス分析が行われている。球技におけるゲームパフォーマンス分析とは、試合での実際のパフォーマンスを映像や様々な ICT 機器を用いて分析することであると言われている (O'Donoghue, 2015)。中川 (2019) は、ゲームパフォーマンス分析には量的分析と質的分析の 2 種類があると述べている。量的分析はゲームパフォーマンスを特定の項目を定めて記録し数量的に分析することであり、“記述分析 (Notational Analysis)” とも呼ばれている。質的分析は試合中のチーム、選手のプレーを観察して主観的にパフォーマンスを分析することである。実際のコーチング現場ではこれらの 2 つの手法を適宜使いながらゲームパフォーマンス分析を行うことになるが、特に、量的分析であるゲームパフォーマンスの記述分析が現在の実践現場では幅広く普及している。

実践現場においてゲームパフォーマンス分析を行う目的は、選手やコーチ、監督などに“正確で信頼できる”情報を提供することであると言われている (O'Donoghue, 2015)。Laird and Waters (2008)は、UEFA (欧州サッカー連盟) のプロコーチライセンスを取得しているコーチを対象にサッカーの試合での出来事をどの程度思い出せるかを測定したところ、その正確性は 59%であったと報告している。また、これはサッカー経験のない大学生では 45%とさらに低かった (Franks and Miller, 1986)。このように指導力の高いコーチは一般的な人に比べて試合の回想の正確性は高いものの、それでも半分近くは間違った認識をしている可能性が高いことが明らかになっている。また、感情や、観客の声援や指摘なども選手やコーチに影響を与える (Cohen et al., 2011)。ゲームパフォーマンス分析はこのような誤った認識、記憶の限界、感情の偏りに影響されない客観的な情報を提供し、より効果的で正しい意思決定をサポートすることが目的である。

また、ゲームパフォーマンス分析は実践現場のみではなく、研究現場においても注目されている。中川 (2019) はゲームパフォーマンス分析の目的として、スポーツにおけるゲーム構造やプレー構造の解明、ルール変更の効果の検証、戦術研究への適用などをあげており、今後のゲームパフォーマンス分析に関する研究の重要性を示唆している。

第二節 テニスにおけるゲームパフォーマンス分析に関する研究

テニスは判定補助テクノロジーであるホークアイシステム(SONY社;以下ホークアイ)をいち早く導入した競技である。ホークアイはイギリスのホークアイイノベーションズ社が開発した技術で、2006年の全米オープンから採用された(Collins and Evans 2008; Collins, 2010; Bordner, 2015)。現在ではサッカー、野球、バドミントン、バレーボール、アメリカンフットボール、クリケットなど様々な競技で導入されている(Helsen, 2006; 森, 2015; 國部, 2017)。ホークアイは、2次元画像処理(ボールの中心を見つける)と3次元三角測量(時間の経過に伴うボールの軌道のモデリング)といった大きく2つの要素技術で構成されており、これを8~12台のカメラで、1秒あたり最大340フレームのフレームレート(静止画像数)で実行し、ボールの軌跡をトラッキングするものである(SONY, 2021; Liu et al, 2022)。この技術は、審判が判定を見直すための材料を提供するビデオ判定のようなタイプの判定補助テクノロジーと異なり、それ自体が判定を行う、審判のためのテクノロジーではなく審判の代わりをするテクノロジーである(柏原, 2018)。このホークアイが導入されたことで、テニスには“チャレンジ”制度がルールに加わった。ホークアイが導入されているコートにおいて、選手はライン判定に意義がある場合に、1セットあたり3回まで意義を申し立てる(=チャレンジ)ことができる。神和住(2009)は2008年のウィンブルドンにおいて、チャレンジの結果を分析したところ、チャレンジ成功率が約3割(224回中64回)であったと報告している。これは審判(人間)の眼には限界があり、ホークアイがいかに正確であるかを示唆している。さらに、このホークアイは、テニスのゲームパフォーマンス分析にも活用されている。ホークアイでは、ボールに加えて選手の座標もトラッキングすることができるため、ゲームでの打球データや選手のパフォーマンスを正確に測定することができる(Xiao and Zhao, 2022)。Mecheri et al. (2016)はホークアイを用いてプロ選手の試合の打球データを算出し、得られたデータからサービスのスピード、サービスの落下位置、男女差など様々な側面からサービスの傾向を分析している。Reid et al. (2016)は2012年から2014年の全豪オープンにホークアイで測定されたデータを用いて男子選手と女子選手のサーブ、サーブリターン、グラウンドストローク、試合中の移動距離、移動速度を比較している。また、Whiteside and Reid (2017)は2012年から2015年の全豪オープンで測定した25,680球の1stサービスを分析し、サービスエースとサービスのスピード、レシーバーの位置、サービスの落下位置の関係性を明らかにしている。Vives et al. (2022)はホークアイの2010年から2019年のダブルスの試合の打球データから、ダブルスでのサ

ービスのスピードやサーバーの位置、打ってからバウンドまでの時間、バウンド後の速度低下率などを明らかにしている。このように近年ホークアイを用いたゲームパフォーマンス分析が増えてきているが、ホークアイはプロテニスの試合でも上位の試合の一部でしか設置されていないのが現状である。そのため、プロ選手の中でも下位のランキングの選手やプロ選手でない大学生や高校生、ジュニア選手の打球データは測定できない。そこで近年、テニスコート後方に設置するだけでテニスの打球をトラッキングできる、トラックマンテニスレーダー(TrackMan社;以下トラックマン)が用いられている。トラックマンは、3Dドップラーレーダーを使用し、ボールの初速度や打球直後の回転数などの打球データ、ボールの軌道などの軌跡データ、着地位置などの接地点データを算出できる(村上ほか, 2016)。テニス以外にも、ゴルフ、野球で使用されており、実践現場、研究現場ともに注目されている機器である(Johanson et al., 2015; Fisher, 2019; Huang and Hsu, 2020; 藤井ほか, 2020; Nasu and Kashino, 2021; Suzuki, et al., 2021)。トラックマンの精度に関しても様々な側面から検討されており、スピード及び回転数の測定に関しては高い精度であることが報告されている(村上ほか, 2016; Sato et al., 2017; Murata and Takahashi, 2020)。これまでは、回転数を正確に簡易的に測れる機器がほとんどなく、ハイスピードカメラの映像を利用して回転数を測定する方法が多く用いられてきた(吉田ほか, 2014; 村松ほか, 2015a; 村松ほか 2015b; 村上ほか, 2015)。しかし、この方法では、ボールの回転数を測定するためにボールが1回転するのに要した時間をハイスピードカメラの映像とフレーム数から計測し回転数を算出する(村松ほか, 2010; 村松, 2017)ため、データを算出するのに多くの時間を要する。そのため、多くのデータの取得や、即時的なフィードバックは難しい。それに比べ、トラックマンは回転数を簡便的に正確に測定できるため、近年トラックマンを用いたテニスの回転数に関する研究が増えてきている。村上ほか(2020a)はトラックマンを用いて日本トップ選手2名の練習マッチを測定し、ゲーム中のグラウンドストロークの打球のスピード、回転数、ネット上の通過位置、インパクト位置に関するデータを算出した。高橋ほか(2022)は、トラックマンを用いて大学女子テニス選手のサービスのスピード及び回転数を測定し、測定したデータをもとにサービスのパフォーマンスを向上させる取り組みの事例を報告している。Koya et al. (2022)はトラックマンを用いて男女ジュニアテニス選手を対象にサービスのスピード、回転数を測定し、これらと体格、体力の関係性について明らかにしている。このようにトラックマンを用いてテニスにおける打球のスピード及び回転数を測定した研究は増えつつあるものの、実際にプロテニス選手の試合を測定し

た研究は少ない．実際にプロテニス選手の試合を測定した研究として，村上ほか（2020b）はトラックマンを用いて ITF 女子サーキット 10000 ドル大会に出場した選手を対象に試合中の打球を測定し，サービス，ストロークのスピードや回転数を明らかにしている．このようなデータがあることで，このレベルの試合を目標とする選手の指標となり，選手の練習やコーチの指導に活かすことができる．しかし，このように試合中の打球データを測定した研究は少ないのが現状である．村上ほか（2020b）も言及しているが，このような実際の試合のデータを幅広く収集していくことで，様々な競技レベルの選手の育成，パフォーマンス向上につながっていくと考える．

第三節 テニスにおける打球のスピードと回転数に関する研究

テニスにおける打球のスピードについて、近年高速化が進んでいると言われている（村上ほか，2016）。特にサービスについては、1999年以降から2009年にかけて正確性もスピードも漸増していることが報告されている（Cross and Pollard, 2009）。同様に高橋ほか（2007）も打球スピードの高速化によって1990年代の試合に比べて2000年代の試合ではサービスが打たれてからリターンが打たれるまでのショット時間が短縮されていたことを示している。近年は、プロの試合ではホークアイによって試合中継でサービスのスピードが逐一表示されることから、ほとんどの男子選手が200km/hを超えるサービスを打てるということは一般的に知られている（村上ほか，2016）。そのため、現代テニスにおいてスピードの速いサービスを打てることは試合で勝つ上で重要な要素であることが指摘されている（Reid et al., 2016; Sato, 2021）。また、Whiteside and Reid (2017)はサービスエースに関わる要素としてサービスのスピードは重要な要素であることを明らかにしている。他にもテニスにおける打球のスピードに関わる研究として、男子選手のサービスのスピードは女子選手よりも有意に速いといった報告や（Reid et al., 2016）、サービスのスピードや正確性に関わる動作に関するメカニズムを明らかにした研究（Antúnez et al., 2012）、サービスのスピードと体力要素との関連について明らかにした研究（小屋ほか，2018）など様々な知見が見られる。これらのことから、テニスにおいて打球のスピードという指標はゲームパフォーマンス分析を行う上でも重要な指標であることが示唆される。

また、打球のスピードと同様に近年は回転数に関する注目も集まっている（村上ほか，2016；Sato et al., 2017; Takahashi et al., 2019）。村松ほか（2010）は、世界ランキング50位以内の選手を対象にサービスの回転数を測定したところ、1stサービスの回転数は概ね毎分1000～3500回転、2ndサービスは同じく3000～5000回転の中に分布していたことを明らかにしている。また、1stサービスは2ndサービスに比べて各選手内での回転数の変動幅が大きいこと、身長が高い選手ほど1stサービスにおいて回転数の変動幅が大きいことも示している。Sato et al. (2021)はサービスの回転の種類に着目して、フラット、スライス、キックの順に回転数が多くなることを報告している。さらに、テニス選手のサーブを評価するためにはボールのスピード以外にボールの回転数は重要な指標になると述べている。しかし、テニスにおける打球の回転数に関する研究は実験室的な状況での分析は進んでいるものの（Sakurai et al., 2013; Sato et al., 2021）、実際の試合での回転数を踏まえたゲームパフォーマンス分析はほとんど行われていないのが現状である。そのため、打球のス

ピード，回転数を踏まえたゲームパフォーマンス分析を行うことで今後新たな知見が得られることが考えられる．

第四節 競技としてのテニス

競技としてのテニスで試合に勝つためには、時に3時間を超える試合でパフォーマンスを維持する体力、様々な状況の中ボールをコントロールする技術、緊張する場面でも高いパフォーマンスを発揮するメンタル、200km/hを超える打球に反応するための瞬発力、動体視力、予測力、試合に勝つための戦略など様々な要因が必要になる (Kovacs, 2007).

体力面に着目すると、テニスは、短時間の高強度運動と、短時間の休息(約20秒)を交互に繰り返し (Fernandez et al., 2007), 3セットマッチでは1.5~3時間, 5セットマッチでは5時間を超えることがある競技である (Kovacs et al., 2004). また, 男子トッププロのシングルの試合において, 1ショットあたりの平均移動距離は3m, 1ポイントあたりでは約9~11m移動し, 1時間あたりハードコートでは3200m, クレーコートでは3600m移動していると報告されている (Murias et al., 2007; Fernandez et al., 2009). これらのことから, テニスは高強度かつ長時間の運動においてパフォーマンスを発揮し続ける全身持久力及び間欠的持久力が求められる競技であると言える (Kovacs, 2010; 小屋ほか 2014).

心理面に関して, 対面スポーツであるテニス競技は選手同士の心理面での探り合い, あるいはモチベーションや集中力の維持など, 精神面での影響がパフォーマンスに多大な影響を及ぼすと言われている (吉田ほか, 2015). テニスは心理的な駆け引きを駆使してゲームが進行し, 1ポイントごとにプレーが区切られるため, ポイント間やチェンジコート時に様々な考えが浮かびやすく (海野・山田, 2010), 特にポイントを奪われた時の悔しさや自分への怒りなどが次のプレーへの集中を阻害することがある. また, 女子高校生テニス選手を対象にした研究では, 対戦相手の身体的特徴や, ユニフォーム, ラケットなどの装着物がパフォーマンスに影響していたという報告もある (佐々木・青柳, 2022). このように, 様々な要因がパフォーマンスに影響を及ぼすテニス競技において, ベストパフォーマンスを発揮するために必要なメンタルスキルは「モチベーション」「集中力」「感情のコントロール」「思考のコントロール」であると言われている (日本テニス協会編, 2023). これらのスキルが充実し, 試合中に自己コントロールができれば冷静さを保ち, 頭が冴え, 予測が可能になるため, 自動的なプレーや無理なく楽なプレーができる可能性が高まる (武田, 2014). これらのスキルを向上させるために, テニス選手は目標設定やメンタルトレーニングに取り組むことが重要であり, その方法や有効性については多くの報告がされている (Landin et al., 1999; 村上ほか, 2000; ガルウェイ, 2000; ジム・レーヤー, 2003; 武田・吉田, 2006; 窪田ほか, 2012; 岡村ほか, 2019; 武田, 2022).

テニス指導教本（日本テニス協会編，2015）では，テニスの技術を構成する要素として，入力系として打球技術の選択などを図るための状況判断能力や認知能力，また相手のプレーに対する予測能力，そして意志力などがあると言われている．出力系としては，基礎としての体力要素（筋力，持久力，柔軟性，敏捷性，調整力，バランスなど）があり，そしてボールコントロールに影響を与えるボディーワーク，ラケットワーク，フットワークの3要素があると述べられている．ボールコントロール能力とは，相手コートの狙ったエリアへ，適切なスピード・回転・高さで打球できる能力である．テニスのシングルスでは，相手コートは縦が 11.855m，横が 8.23m の大きさで，ネットの高さは中央が 0.914m，両サイドのポストが 1.07m であり，相手コート内にボールを収めるためには，スピードと回転の両方をコントロールすることが必要である（日本テニス協会編，2015）．このスピードと回転はおおよそ反比例の関係にあり，スピードを速くしようとすれば回転数は少なくなり，回転数を多くしようとすればスピードは遅くなる（Sakurai et al., 2013；村松ほか，2013；村松ほか，2015a；村上ほか，2016）．また，Cross and Lindsey（2011）は，スピードと高さ（軌道）もおおよそ反比例の関係があると述べている．ある場所にボールをコントロールする場合，スピードの速い打球で狙おうと思えばボールの高さは低くなり，スピードの遅い打球で狙おうと思えばボールの高さは高くなる（Barlett et al., 1995）．さらに，回転をコントロールすることにより打球範囲は広がる．トップスピンでは，回転数の少ない打球はネットを超えた後のボールの打球が緩やかであるが，回転数の多い打球はネットを超えた後のボールの落下が急激になるため同じ深さの場所にボールをコントロールする時により高い軌道をとれることからネットミスの確率を低くすることができる（日本テニス協会編，2015）．このように，スピードと回転，高さを適切にコントロールし，狙ったエリアへ打球できるボールコントロール能力がテニスにおいて重要である．

競技としてのテニスで勝つためには，戦略や戦術といった要素も重要である．テニスの現場で考えると，戦略とは所属するチームのシーズン全体やトーナメントへの参加計画，プレーヤーが目指す自分のプレースタイルを指し，戦術とは個々の試合でプレーヤーが実際に行うプレーや試合のスコアなど状況により選択するプレーを指すと言われている（日本テニス協会編，2015）．テニスはほとんどの試合では誰からのアドバイスも受けることができないため，試合中は選手自身で戦術を考えなければならない．様々な情報から試合中の様々な局面での戦術を考え，それを実行する体力的要素，技術的要素，心理的要素が必要になる．また，試合前に対戦相手の情報を多く集めたり，コーチなどと戦術を考える選

手も多い。テニスだけでなく、競技としてのスポーツではこの戦術を考えるために多くの情報を得ることが勝つために重要な要素になるため、近年では情報の収集、分析、活用をサポートする「アナリスト」の存在が増えてきている（徐，2018；橘，2022；高林，2023）。このような選手やコーチが状況判断を行うための客観的な情報を提供することをゲームパフォーマンス分析と呼び（Hughes and Bartlett, 2019；高橋，2019），近年ゲームパフォーマンス分析に関する研究も増えてきている（森重，2010；中川，2011；田村ほか，2015；沼田ほか，2021；木葉，2022）。テニスにおいてもアナリストや ICT システムを導入してゲームパフォーマンス分析を行う国が増えてきており，今後より一層ゲームパフォーマンス分析を活用した情報戦略の重要性が増してくることが予想される（日本テニス協会編，2023）。

また，競技としてのテニスにおいて，サービスとサービスリターンは最も重要な 2 つの技術であると言われており（Furlong, 1995; Pestre, 1998; Cahill, 2002; Unierzyski and Wieczorek, 2004），Kreise(1997)はテニスにおいて，サービスは最も重要なショット，リターンはその次に重要なショットであると述べている。Reid et al. (2010) は，2nd サービスでのポイント獲得率と 2nd サーブに対するリターンのポイント獲得率が選手の世界ランキング変動の 52%を占めていたと報告している。また，テニスの試合は必ずサービス・サービスリターンで始まるほか，高橋ほか（2006）はテニスの試合においてサービス・サービスリターンだけでポイントが終わる割合は 30%を占めていたことを明らかにしている。これらのことからサービス及びサービスリターンがテニスの試合で勝つため，プロテニス選手として活躍するために不可欠な技術であることが示唆される。

サービスに関して，近年スピードと回転数に着目した研究が増えてきている。いくつかの研究で，競技力の高い選手ほどスピードが速い 1st サービス，回転数の多い 2nd サービスを打てることが報告されている（村上ほか，2016；Takahashi et al., 2019；Sato et al., 2021）。また，実際の試合においてテニスのサービスのスピード・回転数を測定した研究も見られる（Goodwill et al., 2007；村松ほか，2010；Mecheri et al., 2016）。しかし，これらの研究ではサービスのコースまでは見ていない。サービスはコースによって用いられる球種が異なるといった報告があるため（Gillet et al., 2009），サービスの特徴やサービスがリターンに及ぼす影響を明らかにするためにはコースを踏まえた分析が必要であることが考えられる。また，テニスのサービスではコース以外にも様々な状況がある。例えば，サービスが入った時（以下：IN），入らなかった時（以下：FAULT），サービスエースになった時（以下：

ACE), 重要なカウント (高橋ほか, 2006) などが挙げられる. このような様々な条件での選手のサービスのスピード及び回転数を知ることは競技としてのテニスにおいて重要な知見になると考える. また, 競技におけるテニスでは, ポイントを取得し, ゲームに勝利することが最終的な目標となるため, これらを踏まえた最終的なポイント取得がどのようになったのかを明らかにすることも重要である.

リターンに着目した研究として, Hizan et al. (2011)はプロ選手とジュニア選手のサービスリターンを比較したところ, プロ選手はジュニア選手に比べて 1st サービスに対するリターン時のポイント獲得率が有意に低く, 2nd サービスに対するリターン時のポイント獲得率が有意に高いことを報告している. また, 他にもリターンに関する研究としてプロ選手のクレーコートにおけるサービスリターンを統計的に分析した研究(Gillet et al., 2009)などがみられたが, これらの研究は試合のスタッツのみを分析したものである. リターンのスピード及び回転数を測定した研究として, オーストラリアンオープンの男女の試合中のリターンのスピードを明らかにした研究 (Reid et al., 2016) が見られるが, この研究はフォアハンドとバックハンドを一括りにしており, 回転数については測定対象としていない. テニスにおいて, フォアハンドとバックハンドは異なった特徴が見られるため(三橋ほか, 2012; 北村ほか, 2015; Kashiwagi et al., 2019a; 村上ほか, 2020b), リターンの研究をする上で, これらは個別に分析する必要があると考える. また, 村松ほか (2010) はテニスにおいてボールのスピードと回転数の両方をコントロールすることは重要な要素であると述べており, リターンにおいてもスピード及び回転数の特徴を明らかにすることは重要であると考えられる. 特に, 競技スポーツとしてのテニスにおいてプロテニス選手のデータは重要な指標になると考えられ, プロテニス選手のリターンの打球スピードと回転数を把握することは競技力向上を目指す上で重要である.

また, サービスを返球する技術がリターンであるため, リターンとサービスは密接に関わっている. そのため, テニスにおいてリターンのみではなくサービスとサービスリターン相互のスピード及び回転数の関係性について明らかにすることで, サービスおよびサービスリターンについてより詳細に理解できると考える. Kashiwagi et al., (2019a)はストロークにおけるスピード及び回転数の相互関係について明らかにしたところ, フォアハンドは打球のスピードに大きく影響されるが, バックハンドは打球のスピード, 回転数どちらにおいても影響を受けづらいということを明らかにしている. しかし, サービスとリターンにおいてはこのような関係性について明らかにした研究は見られない. これらの関係

性について明らかにすることでサービス及びサービスリターンについてより現場に活かせる知見を得ることができると考える。

第五節 問題の所在

この章の問題を整理すると次の問題点を指摘することができる。

- 1) テニスにおけるスピード、回転数に着目したゲームパフォーマンス分析はホークアイの導入により行われつつあるものの、その数は少なく、加えてホークアイが導入されている大会（グランドスラム・ATP ワールドツアー）に出場できる選手のデータが分析されているのみで、その下部大会（ATP チャレンジャーツアー、ITF ワールドツアー）に出場している選手や大学生のようなアマチュア選手のデータはさらに少ない。
- 2) テニスにおけるサービスとサービスリターンのスピード及び回転数を様々な側面から分析した研究はほとんどなく、また、サービスとサービスリターンがどのような影響を受けているのか、サービスとサービスリターン相互のスピード及び回転数の関係性について明らかにした研究も同様に見られない。

第二章 研究の目的および研究課題

第一節 研究目的

第一章で整理された問題点から、テニスにおいて最も重要とされるサービス・サービスリターンについて、その関係性をスピード及び回転数から明らかにすることがテニス競技の発展に重要であると考えられる。また、これを世界トップ選手ではなく、下部大会に出場しているプロ選手を対象に行うことで、プロテニス選手を目指す大学生や高校生にとって、より目指しやすい指標になることが考えられる。

そこで本研究では、ATP ワールドツアーの下部大会である ATP チャレンジャートーナメントに出場した選手を対象に、(1) ATP チャレンジャーレベルの選手のサービスのスピード及び回転数を様々な状況から分析し、新たな指針となるサービスデータを提供すること (2) リターンのスピード及び回転数とサービスとリターンの関係性を明らかにすることを目的とした。これらのデータを基に、(3) 大学生のサービス・サービスリターンとプロテニス選手のサービス・サービスリターンを比較し、本研究のデータを活用するための施策を提案することも同様に目的とした。

第二節 研究課題

本研究では、上述した研究目的を達成するために、以下に示す研究課題を設定した。

【研究課題Ⅰ】

プロテニス選手がサービスのスピード及び回転数を変化させる要因

- I-1. サービスの結果別のスピード及び回転数
- I-2. サービスのコース別のスピード及び回転数
- I-3. カウント別のサービスのスピード及び回転数

【研究課題Ⅱ】

サービスのスピード及び回転数とポイント取得率の関係

- II-1. サーバーの得失点時ごとのサービスのスピード及び回転数
- II-2. サービスのスピード及び回転数毎のポイント取得率
- II-3. サーバーの得失点時ごとのサービスのコース別でのスピード及び回転数
- II-4. サービスのコース別でのスピード及び回転数ごとのポイント取得率

【研究課題Ⅲ】

サービス及びサービスリターンにおけるスピード及び回転数の関係

- III-1. リターンにおけるスピードと回転数の関係
- III-2. 1st サービスに対するリターンと 2nd サービスに対するリターンのスピード及び回転数
- III-3. フォアハンドリターンとバックハンドリターンのスピード及び回転数
- III-4. サービスのスピード及び回転数とリターンのスピード及び回転数の関係
- III-5. サービスコース別のリターンのスピード及び回転数

【研究課題Ⅳ】

大学生テニス選手におけるサービス・サービスリターンのスピード及び回転数

- IV-1. 1st サービスのコース別でのスピード及び回転数
- IV-2. 2nd サービスのコース別でのスピード及び回転数
- IV-3. 1st サービスに対するリターンと 2nd サービスに対するリターンのスピード及び回転数
- IV-4. フォアハンドリターンとバックハンドリターンのスピード及び回転数

第三章 研究の意義および限界

第一節 研究の意義

近年、様々なスポーツにおいてゲームパフォーマンスという分野が発展しており、スポーツにおける実践現場、研究現場の双方に活かされている。また、これはテニスにおいても同様である。さらに、テクノロジーの発達により、テニスでは打球のスピード、回転数といった要素も測定しやすくなり、テニスにおけるゲームパフォーマンス分析のさらなる発展が期待される。しかし、様々な研究が行われつつあるものの、その数はまだ少ないのが現状である。本研究では、テニスにおいて特に重要とされるサービス、サービスリターンを打球のコースや状況、重要なカウントなど様々な側面から分析を行うことで現場に活かすことのできるデータを得られることが期待される。また、本研究での検討内容や方法論は、卓球やバドミントンなどのラケット競技はもちろん、ゲームパフォーマンス分析を行う様々な競技にも応用できるものとする。

第二節 研究の限界

本研究には、研究方法および得られた知見の一般化・普遍化に関して、以下の限界が存在する。

1) 本研究では、ATP チャレンジャートーナメントに出場した選手および大学生選手を対象に分析を行っており、よりレベルの高い選手や、逆にさらに下のレベルの選手にも同様に本研究の結果を適用できるかは定かでない。

2) テニスのサービスには球種（フラット、スライス、キック）が存在する。本研究ではこの球種の判断を一般的なテニスの通説（D ワイドコースで回転数の多い打球はスライス等）や一部の先行研究（Gillet et al., 2009; Sato et al., 2021）に基づいて行っている。今後はこれらを正確に判断するための手法も検討しなければならないと考える。

3) 本研究ではトラックマンを用いてゲーム中の打球の測定を行っているが、トラックマンにて測定できなかった打球も存在する。例えば、サイドラインの外側で打たれた打球や、ネット付近で打たれた打球は測定されないことが多い。そのため、特にサイドライン外で打たれたリターンの打球数が実際よりも少なくなっていることを考慮しなければならない。

第四章 研究課題 I

プロテニス選手がサービスのスピード及び回転数を変化させる要因

本研究は、以下の投稿論文、学会発表および未公開資料をまとめたものである。

【事例研究】

柏木涼吾・村上俊祐・岡村修平・沼田薫樹・高橋仁大（2023）テニスのゲームにおいてプロテニス選手がサービスのスピード及び回転数を変化させる要因，テニスの科学，31，13-24.

【学会発表】

Kashiwagi, R., Murakami, S., Numata, K., Okamura, S., Iwanaga, S., Takahashi, H. (2020) The differences of the ball speed and the spin rate depending on the results of tennis serves, International Sports Science and Sports Medicine Conference 2020 (Virtual Edition), published by Malaysian Journal of Movement, Health & Exercise, 10(1):48-50.

柏木涼吾・村上俊祐・沼田薫樹・高橋仁大（2020）テニスのサービスにおけるスピードおよび回転数-IN・FAULT・ACEに着目して-，日本体育測定評価学会第19回大会.

柏木涼吾・村上俊祐・沼田薫樹・岩永信哉・高橋仁大（2019）テニスのサービスにおけるコースごとのスピード及び回転数，第5回日本スポーツパフォーマンス学会.

Abstract

In recent years, there has been an increase in the number of studies measuring the speed and spin rate of tennis players using the Trackman Tennis Radar and Hawk-Eye, but few studies have clarified how tennis players actually use different service speeds and spin rate during a match. In this study, we investigated the differences in speed and spin rate in 14 matches of 20 male professional tennis players who participated in the ATP Challenger Tournament, focusing on the results of the service (IN, FAULT, ACE), the course of the service, and the important counts during the game. The results showed that the frequency of INs tended to decrease as the speed of the service increased and the spin rate decreased, and that ACEs were more likely to occur as well. The results also showed that the D-wide course had a low speed and a high spin rate, while the D-center and A-wide courses had a high speed and a low spin rate. In the 2nd service, a large percentage of the balls were hit to the opponent's backhand side. Also, they hit to the forehand side, they hit the ball with high speed. These results indicate that the strategy used in the 2nd service is to prevent the opponent from taking the initiative. The results of the analysis of speed and spin rate by service course showed different characteristics for each course, suggesting that it is important to analyze services by service course in the future. Furthermore, the results showed that the players tended to use the 1st service with high speed for important counts.

第一節 目的

テニスにおいて、サービスは唯一相手の影響を受けずに選手自ら放つショットであり、最もパワフルで、ゲームを優勢に進めるための重要なショットである(Kovacs and Ellenbecker, 2011). 佐藤ほか(2003)は、テニスのサービスにおける戦術として、オープンコートを作る上でスピードとコースが重要であると述べている。また、村上ほか(2016)は、競技レベルが上がるごとにサービスのスピードも速くなる傾向にあることを明らかにしている。これらのことから、テニスにおいて、サービスのスピードはゲームを優位に進めるために重要な要素であると考えられる。

サービスの回転数に関して、Goodwill et al. (2007)は、デビスカップに出場した7名の男子選手のサービスの回転数を測定し、回転数の最大値が4300rpmであったことを報告している。村松ほか(2010)は国際大会に出場した男子選手8名のサービスをハイスピードカメラで撮影し、1st サービス及び、2nd サービスにおけるスピード及び回転数の分布を明らかにしている。このように、テニス選手のスピード及び回転数を測定した研究が近年増えてきているが、その測定方法の限界から、試合全体を通して測定することは難しく、これらの研究は試合中の一部のデータのみを測定したものである。しかし、近年、テニスにおける打球のスピード及び回転数を簡便に測定可能な機器、トラックマンテニスレーダー(トラックマン社；以下、トラックマン)が開発された。このトラックマンを用いて、村上ほか(2016)は世界トップ選手、日本トップ選手、ジュニアトップ選手のサービスのスピード、及び回転数の関係性について明らかにしている。また、村上ほか(2020b)はITF女子トーナメントに出場した選手を対象に試合中のサービスのスピード及び回転数を測定している。しかし、これらはサービスが入った時と入らなかった時でスピード及び回転数が異なるのか、サービスエース時のスピード及び回転数はどのようになっているのかについては明らかにされていない。また、サービスのコースそれぞれにおけるスピード及び回転数の違いについては明らかにされていない。競技におけるテニスではポイントを取得し、ゲームに勝利することが最終的な目標となるが、ポイント取得とは関係が弱くとも、プロテニス選手が様々な条件でどのようにスピード及び回転数を使い分けているかを知ることは、テニス競技において重要な知見になると考える。また、テニスのゲームでは様々な状況があり、ポイントを取ることでゲームを取りやすくなる重要なカウントがある(高橋ほか, 2006)。そのため、特に競技レベルの高い選手は状況によってスピード及び回転数を変化させていると考えられる。

そこで、試合全体のサービスのスピード及び回転数を様々な側面から分析することで、プロテニス選手がサービスのスピード及び回転数を変化させる際の要因を明らかにすることができるのではないかと考えた。試合全体のサービスのスピード及び回転数を分析することで、サービスが入った時（以下、IN）、入らなかった時（以下、FAULT）、サービスエースを取った時（以下、ACE）でスピード及び回転数にどのような違いがあるのかを明らかにすることができる。他にも、サービスのコース別にスピード及び回転数を比較することでプロテニス選手がコース別にどのようにスピード及び回転数を変化させているのかを明らかにすることができる。また、高橋ほか（2006）はテニスにおいてゲームを獲得するために重要なカウントがあり、30-30 と Deuce でのポイント取得がゲームを獲得するために重要であることを明らかにしている。このようなゲーム中の重要なカウントにプロテニス選手はスピード及び回転数をどのように変化させているか明らかにすることで、今後のテニスにおけるゲーム戦略の有用な知見になると考えられる。

これらのことから、本研究では、テニスのゲームにおいてプロテニス選手がサービスのスピード及び回転数を変化させる要因として、サービスの結果（IN, FAULT, ACE）、サービスのコース、ゲーム中の重要なカウントに着目して、これらでスピード及び回転数にどのような違いが見られるかを明らかにすることを目的とした。

第二節 方法

第一項 調査対象

ATP チャレンジャー大会のシングルス 14 試合を対象に分析を行った。また、対象とした試合は全てハードコートで行われた。対象とした選手は右利きの男子プロテニス選手 20 名で、ATP ランキング（2017 年 3 月時点）及び選手それぞれのサーブスピード、回転数の平均値は表 1 の通りであった。

表 1 対象選手の ATP ランキング及びサーブのスピード、回転数の平均値

	ランキング (位)	サーブスピード (km/h)	サーブ回転数 (rpm)
選手A	356	178.3 ± 7.0	2312 ± 695
選手B	587	175.3 ± 6.2	2423 ± 543
選手C	148	187.7 ± 13.3	2336 ± 772
選手D	149	172.6 ± 11.7	2511 ± 707
選手E	513	173.5 ± 5.9	2114 ± 501
選手F	244	177.9 ± 13.4	2184 ± 840
選手G	191	186.1 ± 11.0	2698 ± 828
選手H	185	192.8 ± 12.5	1601 ± 855
選手I	144	177.6 ± 15.8	2985 ± 997
選手J	233	178.0 ± 9.7	2448 ± 818
選手K	266	194.0 ± 8.2	1846 ± 723
選手L	186	165.8 ± 7.0	2114 ± 807
選手M	205	177.8 ± 11.9	2413 ± 800
選手N	176	172.3 ± 11.3	2300 ± 1075
選手O	240	186.3 ± 8.2	1795 ± 781
選手P	178	193.0 ± 8.9	2478 ± 419
選手Q	301	192.6 ± 6.4	1481 ± 530
選手R	170	191.2 ± 7.7	1878 ± 941
選手S	174	178.6 ± 5.7	2179 ± 681
選手T	521	180.7 ± 5.3	2053 ± 703

第二項 測定方法

テニスコートの後方両側、または片側にトラックマンを設置し、テニスコートのベースライン中央部と設置したトラックマンの間の距離を測定し、キャリブレーションを行った。設置したトラックマンでスピード及び回転数を測定した。また、IN・FAULT・ACE 及び打球コースを判定するためにデジタルビデオカメラ（Sony Handy Cam HDR-CX590V）をテニスコートの後方に設置し、撮影を行った。分析対象となった打球は 1st サービス 1343 球， 2nd サービス 513 球であった。

第三項 倫理手続き

データの測定及び測定したデータを研究として使用することについて、トーナメントのスーパーバイザー及び大会運営責任者から許可を得た。

第四項 測定項目

測定項目は以下の 3 項目とした。

- ・サービスの結果別のスピード及び回転数
- ・サービスのコース別のスピード及び回転数
- ・カウント別のサービスのスピード及び回転数

第五項 サービスの結果の分類

サービスの結果に関して、サービスが入った打球を IN，ネット及びアウトになった打球を FAULT，レシーバーが触れずにサービスでポイントが決まった打球を ACE とした。また，2nd サービスでは ACE の打球数が極端に少なかったため，分析対象としなかった。測定した打球数は表 2 の通りである。

表 2 サービスの結果別の打球数

	IN	FAULT	ACE
1st サービス	798	469	76
2nd サービス	466	46	1

第六項 サービスのコースの分類

サービスのコースは、Gillet et al. (2009), を参考にデュースサイドのセンター（以下、Dセンター）、ボディ（以下、Dボディ）、ワイド（以下、Dワイド）、アドバンテージサイドのセンター（以下、Aセンター）、ボディ（以下、Aボディ）、ワイド（以下、Aワイド）の3つに分類した（図1）。分類したコースをもとに、撮影した映像からコースの判定を行った。また、北村ほか（2017）を参考に、対象の試合映像を主分析者として筆者1名、テニスの選手経験及び指導経験を持ち、なおかつテニスの科学研究に従事しているもの1名を補助分析者とし、2名で一致しなかった打球を分析対象から除外した。対象となった打球数は表3の通りである。

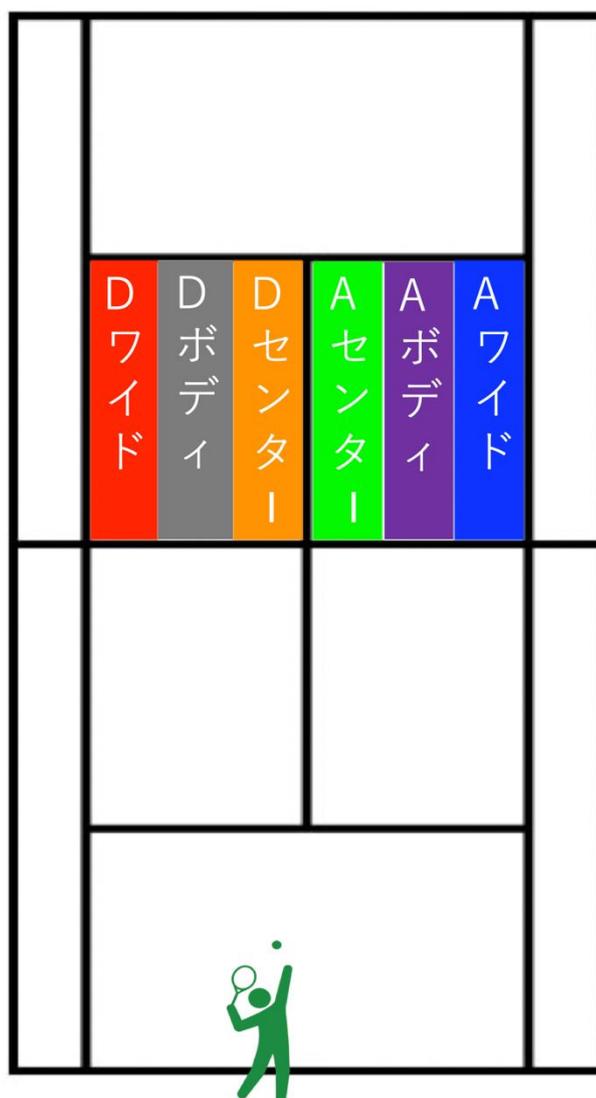


図1 サービスのコースの分類

表 3 サービスのコースごとの打球数

	Dワイド	Dボディ	Dセンター	Aセンター	Aボディ	Aワイド
1st	323	70	301	283	79	250
2nd	43	93	112	39	125	62

第七項 カウントの分類

本研究では、先行研究を参考に 30-30 と Deuce をゲーム獲得における重要なカウントとした（高橋ほか，2006；O’ Donoghue, 2001）。加えて高橋ほか（2006）は 0-0，15-15，30-30，Deuce を Even count という同一の分類としていた。そこで本研究においては 30-30 と Deuce を重要なカウント，0-0，15-15 を同点カウントとして分類した。

第八項 統計処理

データの分析には IBM SPSS Statistics バージョン 26 を用いた。1st サービスにおける IN・FAULT・ACE，サービスコースの比較は，対応のない一元配置分散分析により有意性を確認したのち，多重比較には Tukey 法を用いた。また同様に効果量（ η^2 ）も算出した。2nd サービスにおける IN・FAULT，重要なカウントの比較には，F 検定により等分散性の有無を確認したのち，対応のない t 検定を用いた。有意水準は 5%とした。また，同様に効果量（d）も算出した。

サービスサイド毎のサービスのスピード及び回転数の関係については，Pearson の積率相関係数を算出した。

スピード，回転数ごとの IN 率の分析に関して，Mecheri et al. (2016)を参考にサービススピードを 10km/h 毎に段階的に分類した。回転数に関しては，500rpm 毎に段階的に分類した。 χ^2 検定により IN 率の偏りを確認し， χ^2 検定の結果が有意だった場合，残差分析を行い比較した（田中・山際，1989）。

第三節 結果

第一項 サービスの結果別のスピード及び回転数

(1) 1st サービスにおける結果別のスピード及び回転数

1st サービスにおける，IN，FAULT，ACE ごとでのスピード及び回転数を，一元配置分散分析を用いて比較した．IN 時のスピードは 180.7 ± 13.8 (km/h)，回転数は 2330.1 ± 824.4 (rpm)，FAULT 時のスピードは 183.2 ± 12.9 (km/h)，回転数は 2141.0 (rpm)，ACE 時のスピードは 187.2 ± 12.7 (km/h)，回転数は 2070.9 ± 900.0 (rpm)であった．スピードに関して，1st サービス IN 時のスピードは FAULT 時 ($p=0.048$) 及び ACE 時 ($p=0.013$) に比べて有意にスピードが遅いという結果が示された．また，ACE 時は FAULT 時に比べて有意にスピードが速いという結果が示された ($p=0.018$) (図 2) 効果量は小であった ($\eta^2=0.01$)．

回転数に関して，1st サービス IN 時の回転数は FAULT 時 ($p=0.011$) 及び ACE 時 ($p=0.032$) に比べて有意に回転数が多いという結果が示された．また，FAULT 時と ACE 時では有意な差は見られなかった ($p=0.927$) (図 3)．効果量 ($\eta^2=0.01$) は小であった．

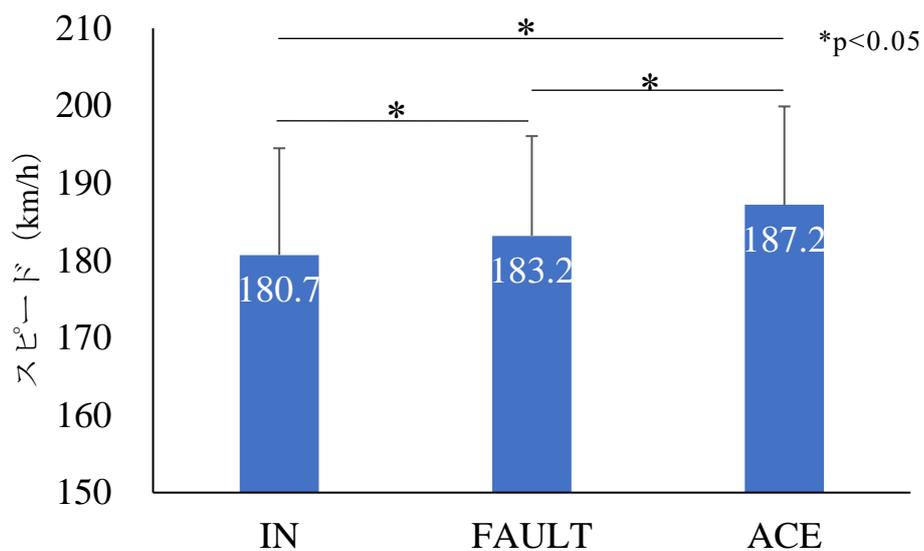


図 2 1st サービスにおける結果別のスピード

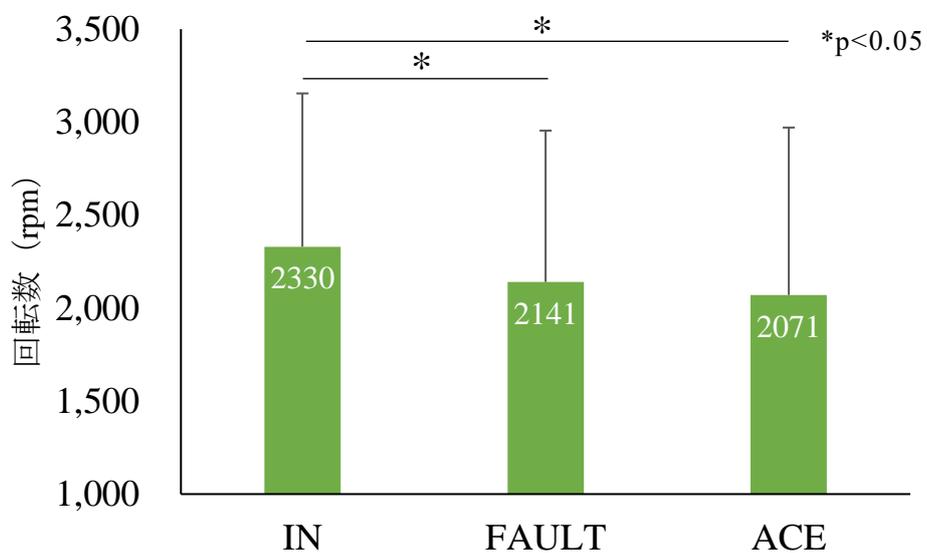


図 3 1st サービスにおける結果別の回転数

(2) 2nd サービスにおける結果別のスピード及び回転数

2nd サービスにおける IN 時と FAULT 時のスピード及び回転数を、t 検定を用いて比較した。IN 時のスピードは 148.1 ± 9.6 (km/h)、回転数は 3964.4 ± 488.2 (rpm)、FAULT 時のスピードは 151.3 ± 10.0 (km/h)、回転数は 3840.6 ± 670.9 (rpm)であった。スピードに関して、2nd サービス IN 時のスピードは FAULT 時に比べて有意に遅いという結果が示された ($p=0.047$) (図 4)。また、効果量は小であった ($d=0.33$)。

回転数に関して、2nd サービス IN 時と FAULT 時で有意な差は見られなかった ($p=0.146$) (図 5)。また、効果量は小であった ($d=0.21$)。

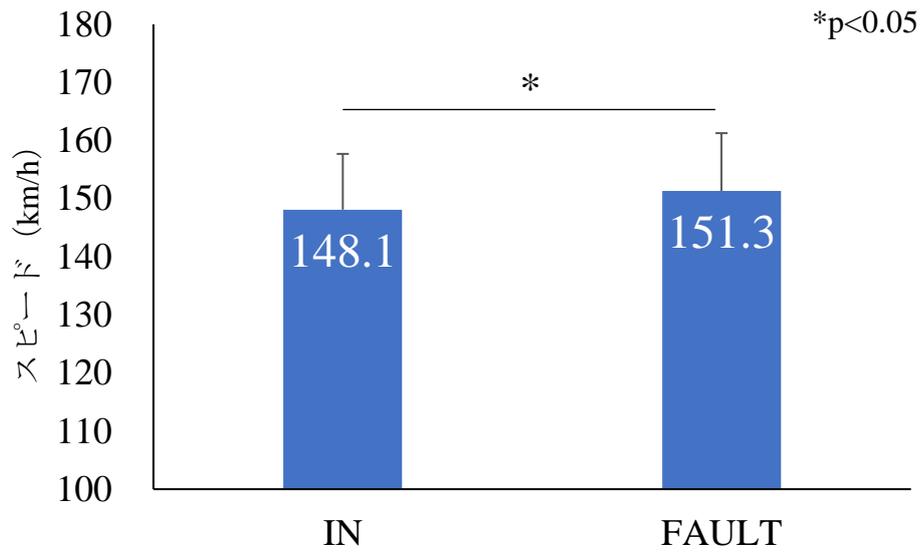


図 4 2nd サービスにおける結果別のスピード

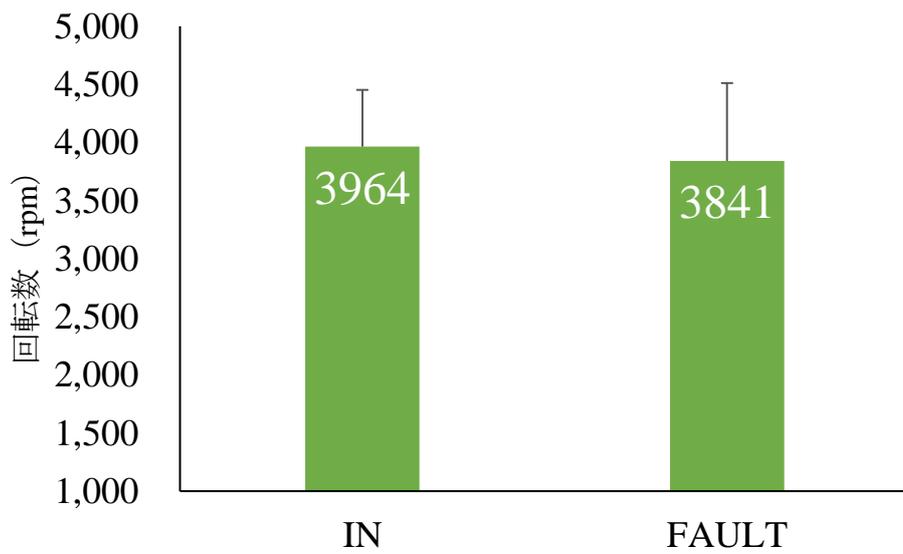


図 5 2nd サービスにおける結果別の回転数

(3) 1st サービスにおける IN 率とスピードの関係

1st サービスにおけるスピード毎での IN 率について χ^2 検定を行った結果、IN 率の偏りは有意であった($\chi^2(5)=12.320$, $p=0.006$) ことから、各スピード間で残差分析を行った。その結果、160-170(km/h)での IN 率が有意に高く ($p=0.012$)、180-190(km/h)での IN 率が有意に低い ($p=0.026$) という結果が示された。また、 ~ 160 (km/h)での IN 率が低い傾向が見られたが($p=0.071$)、その他にはおいては有意な差は見られなかった(表 4)。

表 4 1st サービスにおける IN 率とスピードの関係

	IN(球)	FAULT(球)	Total(球)	IN率(%)	p値	割合(%)
Total	874	469	1343	65.1	-	100.0
160(km/h)未満	63	22	85	74.1	0.071	6.3
160-170(km/h)	126	45	171	73.7*	0.012	12.7
170-180(km/h)	225	123	348	64.7	0.848	25.9
180-190(km/h)	233	152	385	60.5*	0.026	28.7
190-200(km/h)	155	87	242	64.0	0.711	18.0
200(km/h)超過	72	40	112	64.3	0.854	8.3

* $p<0.05$

(4) 1st サービスにおける IN 率と回転数の関係

1st サービスにおける回転数毎での IN 率について χ^2 検定を行った結果、IN 率の偏りは有意な傾向が見られた($\chi^2(4)=9.198$, $p=0.056$) ことから、各回転数間で残差分析を行った。その結果、 $\sim 1500(\text{rpm})$ での IN 率が有意に低い ($p=0.022$) という結果が示された。また、 $3000(\text{rpm})\sim$ 以上での IN 率が高い傾向が見られたが($p=0.063$)、その他にはおいては有意な差は見られなかった (表 5)。

表 5 1st サービスにおける IN 率と回転数の関係

	IN(球)	FAULT(球)	Total(球)	IN率(%)	p値	割合(%)
Total	874	469	1343	65.1	-	100.0
1500(rpm)未満	171	117	288	59.4*	0.022	21.4
1500-2000(rpm)	185	111	296	62.5	0.292	22.0
2000-2500(rpm)	184	85	269	68.4	0.201	20.0
2500-3000(rpm)	156	80	236	66.1	0.717	17.6
3000(rpm)超過	178	76	254	70.1	0.063	18.9

* $p<0.05$

(5) 2nd サービスにおける IN 率とスピードの関係

2nd サービスにおけるスピード毎での IN 率について χ^2 検定を行った結果、IN 率の偏りは有意であった ($\chi^2(3) = 12.066$, $p = 0.007$) ことから、各スピード間で残差分析を行った。その結果、 $\sim 140(\text{km/h})$ での IN 率が有意に高く ($p = 0.046$)、 $150-160(\text{km/h})$ での IN 率が有意に低い ($p = 0.002$) という結果が示された。また、 $140-150(\text{km/h})$ での IN 率が高い傾向が見られたが ($p = 0.096$)、その他においては有意な差は見られなかった (表 5)。

表 6 2nd サービスにおける IN 率とスピードの関係

	IN(球)	FAULT(球)	Total(球)	IN率(%)	p値	割合(%)
Total	467	46	513	91.0	-	100
140(km/h)未満	98	4	102	96.1*	0.046	19.9
140-150(km/h)	180	12	192	93.8	0.096	37.4
150-160(km/h)	123	22	145	84.8*	0.002	28.3
160(km/h)超過	66	8	74	89.2	0.549	14.4

* $p < 0.05$

(6) 2nd サービスにおける IN 率と回転数の関係

2nd サービスにおける回転数毎での IN 率について χ^2 検定を行った結果、IN 率の偏りは有意であった($\chi^2(3)= 8.543, p=0.036$) ことから、各回転数間で残差分析を行った。その結果、 $\sim 3500(\text{rpm})$ での IN 率が有意に低い($p=0.005$)という結果が示された。その他においては有意な差は見られなかった (表 7)。

表 7 2nd サービスにおける IN 率と回転数の関係

	IN(球)	FAULT(球)	Total(球)	IN率(%)	p値	割合(%)
Total	467	46	513	91.0	-	100.0
3500(rpm)未満	83	16	99	83.8*	0.005	19.3
3500-4000(rpm)	171	13	184	92.9	0.260	35.9
4000-4500(rpm)	160	11	171	93.6	0.155	33.3
4500(rpm)超過	53	6	59	89.8	0.731	11.5

* $p<0.05$

第二項 サービスのコース別のスピード及び回転数

(1) 1st サービスにおけるコース別のスピード及び回転数

1st サービスにおけるコース別のスピード及び回転数について、デューズサイド（図 6, $y=-36.547x+8940.4$, $r=-0.56$), アドバンテージサイド（図 7, $y=-27.133x+7122.6$, $r=-0.37$) どちらにおいても負の相関が見られた。また、一元配置分散分析を行なったところ、表 8, 表 9, 表 10 のような結果が示された。D ワイドは他のコースに比べてスピードが有意に遅く回転数は有意に多かった ($p<0.05$)。また、D センター及び A ワイドは他のコースに比べてスピードが速く回転数が少ない傾向が見られた。A センターに関しては、スピードをある程度保ちながら回転数も比較的高い傾向が見られた。

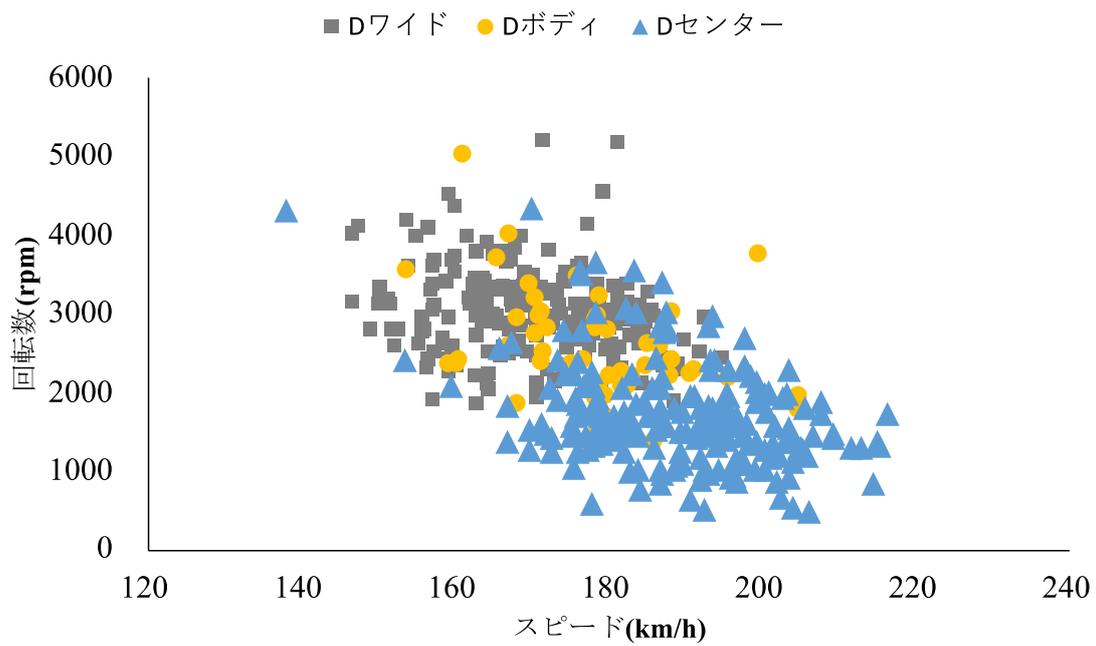


図 6 D サイドでの 1st サービスのスピード及び回転数

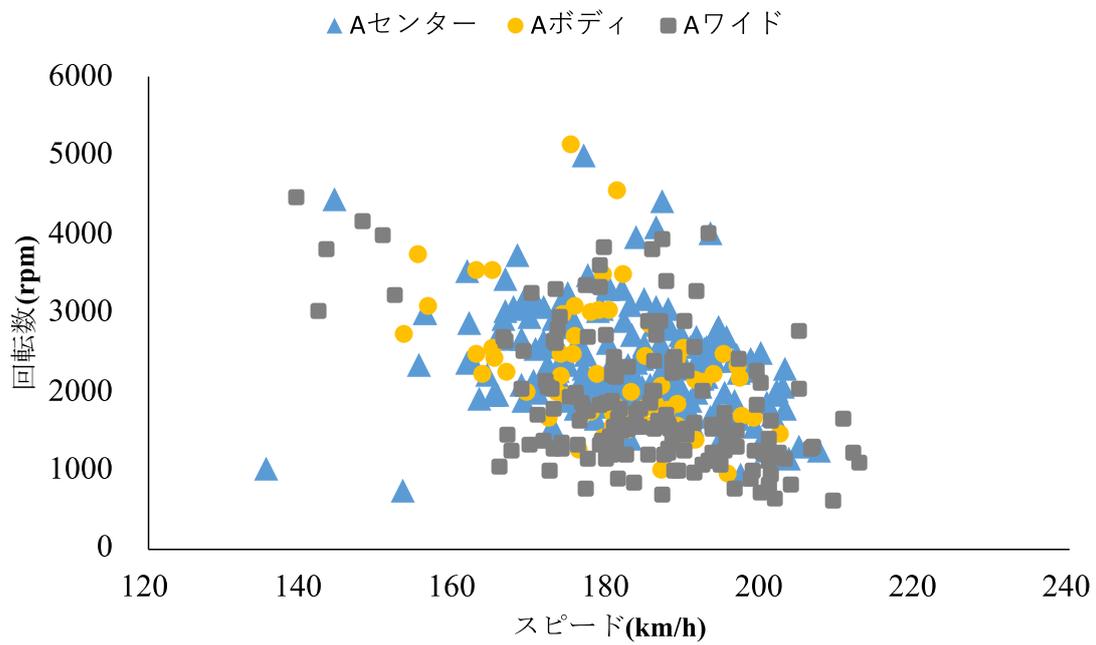


図 7 A サイドでの 1st サービスのスピード及び回転数

表 8 1st サービスにおけるコース別のスピード及び回転数

1st	Dワイド	Dボディ	Dセンター	Aセンター	Aボディ	Aワイド
スピード	169.7±10.7	177.9±12.5	189.3±11.3	182.3±12.0	180.8±11.2	184.8±13.6
回転数	3040.1±515.8	2584.3±801.5	1730.2±620.3	2406.9±621.2	2255.9±637.4	1884.5±798.7

表 9 1st サービスにおけるコース別のスピードの検定結果 (p 値)

1stスピード	Dワイド	Dボディ	Dセンター	Aセンター	Aボディ	Aワイド
Dワイド		0.012*	0.001*	0.001*	0.001*	0.001*
Dボディ			0.001*	0.582	0.941	0.112
Dセンター				0.001*	0.001*	0.052
Aセンター					0.982	0.653
Aボディ						0.511
Aワイド						

*p<0.05

表 10 1st サービスにおけるコース別の回転数の検定結果 (p 値)

1st回転数	Dワイド	Dボディ	Dセンター	Aセンター	Aボディ	Aワイド
Dワイド		0.016*	0.001*	0.001*	0.001*	0.001*
Dボディ			0.001*	0.823	0.365	0.001*
Dセンター				0.001*	0.001*	0.586
Aセンター					0.819	0.001*
Aボディ						0.044
Aワイド						

*p<0.05

(2) 2nd サービスにおけるコース別のスピード及び回転数

2nd サービスにおけるコース別のスピード及び回転数について、デューズサイド（図 8, $y=-13.484x+5841.7$, $r=-0.40$ ）、アドバンテージサイド（図 9, $y=-25.818x+7787.2$, $r=-0.39$ ）どちらにおいても負の相関が見られた。また、一元配置分散分析を行なったところ、表 11, 表 12, 表 13 のような結果が示された。D ワイド及び A センターは他のコースに比べてスピードが速い傾向が見られた。回転数に関しては全てのコースにおいて有意な差は見られなかった。

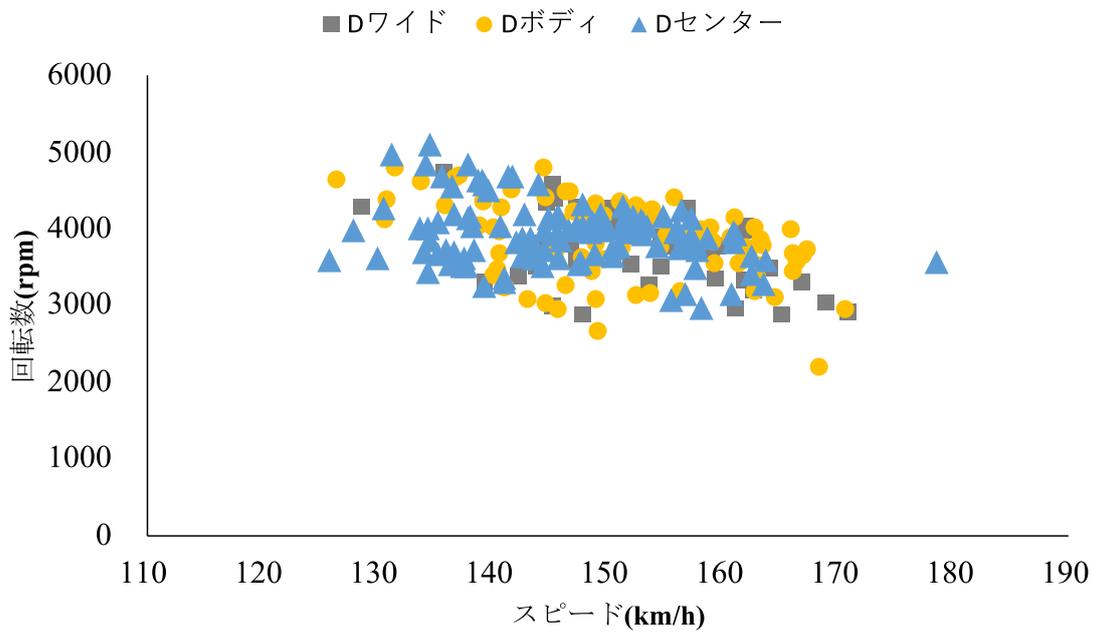


図 8 D サイドでの 2nd サービスのスピード及び回転数

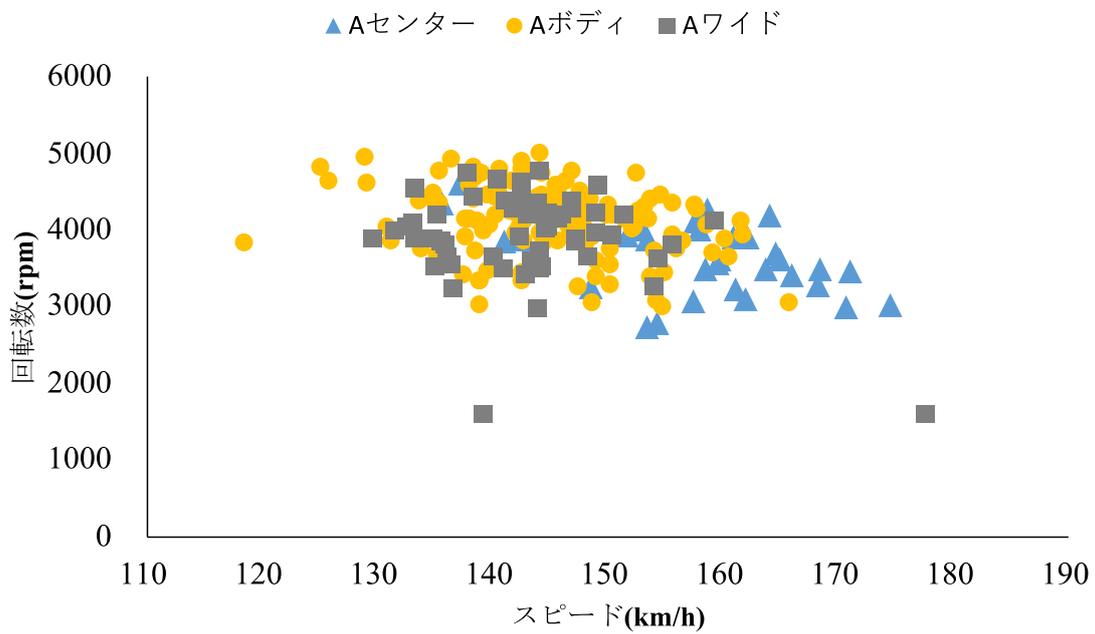


図 9 A サイドでの 2nd サービスのスピード及び回転数

表 11 2nd サービスにおけるコース別の回転数

2nd	Dワイド	Dボディ	Dセンター	Aセンター	Aボディ	Aワイド
スピード	154.1±9.0	152.2±8.2	147.3±9.3	156.4±9.5	145±8.3	143.9±5.5
回転数	3706.1±485.2	3910.9±418.7	3977.4±390.2	3829.8±443.2	4133.9±473.8	3926.0±567.7

表 12 2nd サービスにおけるコース別のスピードの検定結果 (p 値)

2ndスピード	Dワイド	Dボディ	Dセンター	Aセンター	Aボディ	Aワイド
Dワイド		0.967	0.023*	0.961	0.001*	0.001*
Dボディ			0.024	0.421	0.001*	0.001*
Dセンター				0.001	0.528	0.438
Aセンター					0.001*	0.001*
Aボディ						0.992
Aワイド						

*p<0.05

表 13 2nd サービスにおけるコース別の回転数の検定結果 (p 値)

2nd回転数	Dワイド	Dボディ	Dセンター	Aセンター	Aボディ	Aワイド
Dワイド		0.228	0.564	0.975	0.263	0.451
Dボディ			0.563	0.478	0.876	1.198
Dセンター				0.976	0.266	0.455
Aセンター					1.282	1.611
Aボディ						0.165
Aワイド						

第三項 カウント別のサービスのスピード及び回転数

重要なカウントにおいて、1stサービスのスピードは有意に高い値($p=0.013$)を示した。回転数に関しては有意な差は見られなかった（表 14）。

2nd サービスにおいて重要なカウントでスピード及び回転数に有意な差は見られなかった（表 15）。

表 14 1st サービスにおける重要なカウント及び 0-0, 15-15 でのスピード及び回転数

1st	スピード(km/h)	p値	回転数(rpm)	p値
0-0, 15-15	178.3 ± 14.3	0.013*	2428.4 ± 871.3	0.773
30-30, 40-40	182.3 ± 14.5		2401.2 ± 927.2	
				$p<0.05$

表 15 2nd サービスにおける重要なカウント及び 0-0, 15-15 でのスピード及び回転数

2nd	スピード(km/h)	p値	回転数(rpm)	p値
0-0, 15-15	149.8 ± 9.1	0.330	3912.1 ± 450.0	0.278
30-30, 40-40	148.2 ± 9.6		4033.3 ± 466.1	

第四節 考察

第一項 サービスにおけるスピード及び回転数とサービス結果の関係

(1) 1st サービスにおけるスピード及び回転数とサービス結果の関係

1st サービスにおいて、ACE はスピードが速いが、IN 率が低くなる傾向が見られた(図 2, 表 4)。テニスにおいて、相手コート内にボールを収めるためには、ネット上を通過させるボールの高さをコントロールする必要がある。ある場所にボールをコントロールする場合、速いスピードで狙おうと思えばボールの高さは低くなり、遅いスピードで狙おうと思えばボールの高さは高くなる(日本テニス協会, 2015)。このことから、スピードの速いボールは IN 率が低くなったと考えられる。また、Whiteside and Reid(2017)はサービスエースにおける重要な要素を調査したところ、サービスコースの次にサービスのスピードが重要であることを明らかにしていることから、本研究も同様に ACE 時のスピードが IN 時よりも速くなったと考えられる。

回転数に関して、回転数が多いサービスは ACE の割合が低いが、IN 率が高くなる傾向が見られた(図 3, 表 5)。テニスのサービスにおいて、一般的にはスピードと回転数は負の相関がある(Cross and Lindsey, 2005; 村上ほか 2016; 桜井ほか, 2007)。このことから、回転数が多い打球ほどサービスのスピードが遅くなり、ACE になりにくくなったと考えられる。また、回転数の多い打球はネットを超えた後のボールの落下が急激になり、同じ深さの場所にボールを到達させる時、回転の多い打球はより高い軌道をとれることになり、ネットミスの確率を低くすることにつながる(日本テニス協会, 2015)。また、回転の多い打球は少ない打球に比べて打球の落下が急激になることから、アウトの確率を低くすることにもつながると考えられる。このように、回転数の多い打球はミスする確率を減らすことができるため、より安全にコート内にコントロールする際に用いられることが多い。これらのことから、1st サービスであっても回転数の多い打球はサービスの IN 率を高めたい場面で用いている可能性が示唆される。

(2) 2nd サービスにおけるスピード及び回転数とサービス結果の関係

2nd サービスにおいて、スピードが速いサービスの IN 率が低くなる特徴が見られた(図 4, 表 6)。1st サービスにおけるスピード及び回転数とサービス結果の関係(本節第一項(1))でも述べたが、テニスにおいて、速いスピードで狙おうとすればボールはネット上の低いところを通す必要がある(日本テニス協会, 2015)。このことから、2nd サービスにおいても同様にスピードの速いボールは IN 率が低くなったと考えられる。

回転数に関して、2nd サービス IN 時と FAULT 時で有意な差は見られなかった(図 5)が、3500rpm 以下での IN 率が有意に低いという結果が示された。1st サービスにおけるスピード及び回転数とサービス結果の関係(本節第一項(1))でも述べたが、回転数の多い打球はネットミスの確率を低くすることにつながる(日本テニス協会, 2015)。このことから、回転数の少ない 3500rpm 以下の打球はそれ以上の回転数の打球に比べてネットミスの確率が高くなり、IN 率が低くなったのではないかと考えられる。

このようにサービスの結果によってスピード及び回転数が異なるという結果が示され、サービスの分析を行う際にはサービスを一括りに分析するのではなく、分析対象の打球の結果に応じて分析をわけていくことの重要性が示唆された。

第二項 サービスにおけるコース別のスピード及び回転数

(1) 1st サービスにおけるコース別のスピード及び回転数

1st サービスにおいてコース別のスピード及び回転数を比較したところ、D ワイドでは他のコースに比べてスピードが遅く、回転数が多いという特徴が見られた（図 6, 図 7, 表 8, 表 9, 表 10）. 先行研究において、D ワイドではスライスサーブが多く用いられることが報告されている（Gillet et al. 2009）ことから、D ワイドでの回転数の多いサービスの多くはスライスサーブだと考えられる. 右利きの選手において、スライスサーブはサーバーから見て左に曲がる打球である（Sato et al., 2021）. そのため、D ワイドでスライスサーブを用いることで対戦相手を大きく動かすことができる. 本研究において対象となったプロテニス選手はこの D ワイドで回転数の多いサービスを用いていることから、D ワイドでは回転数が多いほど有利になるという認識を持って回転数の多いサービスを選択していることが考えられる.

D センター及び A ワイドでは、他のコースに比べてスピードが速く、回転数が少ない傾向が見られた（図 6, 図 7, 表 8, 表 9, 表 10）. テニスでは、ネットの中央が低くなっており、ネットの中央を通すサービスは比較的ネットをしにくくなるためスピードの速い打球をミスなく打ちやすくなる（堀内, 2012；ショーンボーン, 2007）. そのため、本研究において対象となったプロテニス選手はミスをする確率が低くなる D センターでは、スピードが速く回転数の少ないサービスを多用していたと考えられる. A ワイドに関して、A ワイドで回転数の多いサービスを用いる場合、キックサーブで対戦相手のバックハンドを狙ったり、角度をつけて対戦相手を動かす戦略が用いられるが、D ワイドでのスライスサーブのように対戦相手を動かすのは難しい. このように回転数の多いサービスの有効性が低いことから、スピードが速く、回転数の少ないサービスを A ワイドでは多く用いているのではないかと考えられる.

A センターでは、D ワイドよりはスピードが速く、D センター、A ワイドよりは回転数が多いという特徴が見られた（表 8, 表 9, 表 10）. また、図 7 において、A センターは A ワイドと同程度のスピードで回転数が多い特徴のサービスが多く分布されている傾向が見られた. 一般的にはスピードと回転数は負の相関がある（Cross and Lindsey, 2005；村上ほか 2016；桜井ほか, 2007）と言われていることからサービスの回転数が増えればスピードが遅くなると考えられる. しかし、本研究において A センターでは A ワイドに比べて回転数が高くなっているがスピードは同程度であった. このことから、A センターでは A

ワイドに比べてスイングスピードが速いことが考えられる。AセンターはDワイドと同様に選手から見て左に曲がるスライスサーブで対戦相手を動かすことができるため、回転数の多い打球が有効になる。回転数の多い打球はネットミスの確率が低くなり（日本テニス協会，2015），また，Dセンターと同様にネットの中央を通すため比較的ネットミスをしにくくなる。これらのことから，Aセンターでは回転を相手に対して有効に使いながら，さらにネットが低くミスの確率が低いため，スピードの速さと回転の多さの両方を他のコース以上に求めた結果，スイングスピードが高まったのではないかと考える。

今回のサービスコース別での分析において，コース別で異なる特徴が見られたため（図10），今後サービスの分析を行う上で，コースを考慮した分析を行うことの重要性が示唆された。

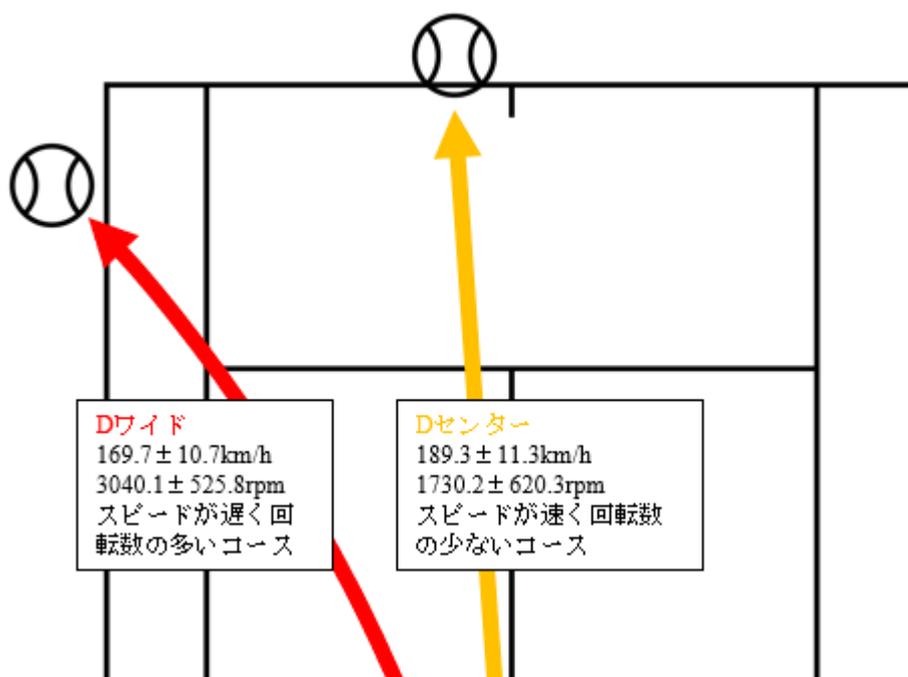


図 10 1st サービスのデュースサイドの特徴図

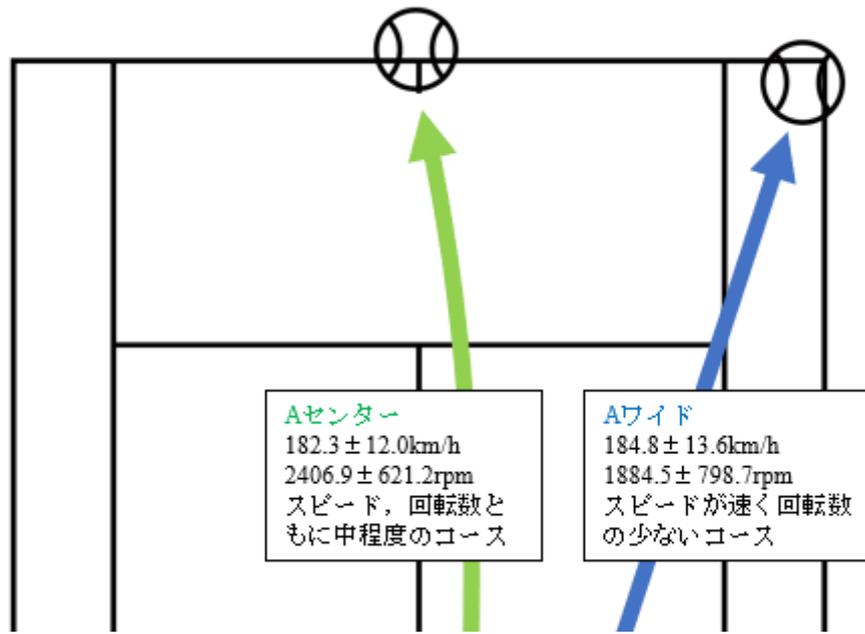


図 11 1st サービスのアドバンテージサイドの特徴図

(2) 2nd サービスにおけるコース別のスピード及び回転数

2nd サービスにおいてコース別のスピード及び回転数を比較したところ、D ワイド及び A センターのスピードが他のコースに比べて速い傾向が見られた(図 8, 図 9, 表 11, 表 12, 表 13)。これは、D ワイド及び A センターではスピードが遅くなる傾向が見られた 1st サービスと反対の結果である。D ワイド及び A センターは多くの場合レシーバーがフォアハンドで返球することになるコースである。テニスにおいて 2nd サービスは 1st サービスに比べてスピードが速いリターンを打たれやすく(Kashiwagi et al., 2019b)、サーバーの優位性が低くなる。そのため、2nd サービスでは対戦相手のバックハンド側にサービスをコントロールすることが多くなる。本研究においても、2nd サービスではフォアハンド側に比べてバックハンド側に打った割合が多くなっている(表 3)。宮地ほか(2009)はテニスにおいて、フォアハンドストロークは最も有効打になる割合が高いショットであると述べていることから、2nd サービスにおいて対戦相手のフォアハンド側に打つことは対戦相手から強いリターンを打たれ、主導権を握られる可能性が高いと考えられる。そのため、本研究で対象となったプロテニス選手が対戦相手のフォアハンド側に 2nd サービスを打つ際には、ミスをする確率が高くなったとしても、対戦相手に主導権を握られないようにスピードの速いサービスを選択していたのではないかと考えられる。

回転数に関してはコースによって有意な差は見られず、1st サービスに比べて全体的に回転数が多い傾向が見られた。このことから、2nd サービスではどのコースにおいても 1st サービスに比べて回転数を増やし、できるだけ IN 率を高めるような戦略が取られていることが考えられる。

また、一般的に、D ワイド、A センターはスライスサーブを打つことが多く、D センター、A ワイドはキックサーブを打つことが多いことが知られている。Sato et al. (2021)はスライスサーブはキックサーブに比べてスピードが速く、回転数が少ないということを報告している。今回の結果から、スピードに関してはスライスサーブを多く打つコースがスピードが速いという結果を示したが、回転数に関しては違いが見られなかった。実際に試合中の球種がどのようなになっているのか、今後さらに検討していく必要があると考える。

このように、サービスコースでサービスを分類するとそれぞれのコースで異なる特徴がみられることが明らかになり、サービスのコースごとに分析を行うことの重要性が示唆された。

第三項 重要なカウントにおけるサービスのスピード及び回転数

テニスでは、総ポイント数が相手を上回ったとしても試合には負けてしまうケースがあり(O'Donoghue, 2001), ゲームを取得するためのキーとなるカウントを取得する選手がいわゆる「勝負に強い」プレーヤーだと言われており, またそのキーとなる重要なカウントが 30-30, Deuce という指摘もある(高橋ほか, 2006). 本研究では, この重要なカウントにおける 1st サービスのスピードが 0-0, 15-15 に比べて有意に高い値を示した(表 14). このことから, 本研究で対象となったプロテニス選手は, 重要なカウントにおいてスピードの速いサービスを選択していることが示唆された. Mecheri et al. (2016)はサービスのスピードが速くなるほどポイント取得率が高くなる傾向にあると報告している. これらのことから, ある程度 IN 率が下がってもスピードの速いサービスを用いることは有効であり, プロテニス選手においては, 特に重要なカウントでスピードの速いサービスを用いることの優位性を認識してこのような戦略を用いていることも考えられる. しかし, 2nd サービスにおいては重要なカウントと 0-0, 15-15 でスピード及び回転数で有意な差は見られなかった(表 15). 2nd サービスにおけるコース別のスピード及び回転数(本節第二項(2))でも述べたが, 2nd サービスではバックハンドにコントロールして対戦相手から主導権を握られないようにすることが重要であり, 重要なカウントにおいてもやはり対戦相手に攻められにくいバックハンドにコントロールすることが重要であると考えられる. このことから, 2nd サービスにおいてはスピードの速いサービスを用いるよりも, 対戦相手のバックハンドにコントロールすることが重要であるため, 今回のような結果が示されたのではないかと考えられる.

このようにカウントによってもサービスのスピードが異なる傾向がみられ, サービスの分析を行う上でカウントも重要な要素になるということが示唆された.

第五節 まとめ

本研究では、ATP チャレンジャー大会に出場した男子プロテニス選手のサービスのスピード及び回転数が増加する要因について調査した。サービスの結果別のスピード及び回転数に関して、1st サービスにおいて ACE はスピードが速く回転数が少ない傾向があるが IN 率が低くなり、1st サービス、2nd サービスともに IN は FAULT に比べてスピードが遅くなる傾向がみられた。

サービスのコース別のスピード及び回転数に関して、1st サービスにおいて、D ワイドコースはスピードが遅く回転数が多い、D センターや A ワイドはスピードが速く回転数が少ないという結果が示された。2nd サービスにおいては、対戦相手のバックハンド側に打つ割合が多く、フォアハンド側に打つ際にはスピードの速い打球を用いて主導権を握られない戦略が用いられていることが明らかになった。

カウント別のサービスのスピード及び回転数に関して、重要なカウントにおける 1st サービスのスピードがその他のカウントに比べて有意に高い値を示し、本研究で対象となったプロテニス選手は、重要なカウントにおいてスピードの速いサービスを選択していることが示唆された。

これらの結果は、テニス選手やコーチにとっては経験から想定できる結果なのではないかと推察される。しかし、実際の試合でサービスのスピード及び回転数をこれらの指標で数値として表した研究は少なく、今後のテニスの科学研究を進展させる上で有用な知見になるのではないかと考える。また、サービスの結果、コース、カウントによってスピード及び回転数に異なる特徴が見られ、今後のサービスの分析においてそれぞれを考慮したうえで分析を行うことが重要であることが示唆された。

第五章 研究課題Ⅱ

サービスのスピード及び回転数とポイント取得率の関係

本研究は、以下の投稿論文、学会発表および未公開資料をまとめたものである。

【原著論文】

柏木涼吾・村上俊祐・岡村修平・沼田薫樹・岩永信哉・高橋仁大（2022）テニスにおける1st サービスのスピード及び回転数とポイント取得率の関係-サービスコースに着目して-, 九州体育・スポーツ学研究, 36(2):1-11.

【学会発表】

柏木涼吾・村上俊祐・岡村修平・沼田薫樹・高橋仁大（2019）テニスのサービスにおいてスピード及び回転数がポイント取得に及ぼす影響-サービスコースに着目して-, 日本コーチング学会第31回大会.

Abstract

Regarding the previous studies about the relationship between the service and the point acquisition rate, Mecheri et al. (2016) indicated a significant effect of the high speed of the serve on the high winning percentage on the serve in the ATP tournaments. However, the relationship between the spin rate of the service and the point acquisition rate has not been clarified. Since there is a negative correlation between the service speed and the spin rate (Murakami et al., 2016), there may be a significant effect of the low spin rate of the serve on the high winning percentage on the serve. However, this tendency may vary by service course. However, there is no research that investigates the relationship between service speed and spin rate and point acquisition rate for each course. Therefore, in this study, first, we clarified the influence of not only service speed but also the spin rate of service on point acquisition. In addition, we clarified the relationships between the serve speed with the spin rate, the point acquisition and the course of the serve. As a result, it became clear that the speed and the spin rate affect the point acquisition rate. However, it was also shown that different characteristics were seen in each course. In the D-wide, the results show that the higher the spin rate, the higher the point acquisition rate. In D-center and A-wide, the higher the speed and the lower the spin rate, the point acquisition rate becomes higher. In addition, at A-Center, there was no difference in point acquisition between the fast serve and the high spin rate serve.

第一節 目的

テニスにおける技術は「始まりの技術」としてのサービス、リターン、「ベースラインの技術」としてのストローク、「攻撃的技術」としてのボレー、スマッシュ、ドロップショット、アプローチショット、「守備的技術」としてのロブ、パッシングショット、と9つの技術に分類されると言われている（高橋，1998）. この中で、サービスは唯一相手の影響を受けないクローズドスキルだと言われている（日本テニス協会，2015）.

サービスのゲームパフォーマンス分析に関する研究では、サービスはゲームを取得する上で大きな得点源であることを明らかにした研究（高橋ほか，2006），ATP ランキングの高い選手は2nd サービスでのポイント取得率が高いことを明らかにした研究（Reid et al., 2010），男子プロテニス選手の1st サービスにおいてサーバーの優位性はサービス後のラリー3-4球目まで持続することを明らかにした研究（O'Donoghue & Brown, 2008）などがあり，試合に勝つため，ポイントを取得するためにサービスは非常に重要であることが示唆されている.

サービスの戦術として，佐藤ほか（2003）はスピードとコースが攻撃及びオープンコートを作る上で重要だと述べている. また，勝者の1stサービスのスピードの最大値及び平均値は敗者よりも速かったという報告がなされており（佐藤ほか，2003），サービスのスピードは試合に勝つために重要であると考えられる. また，サービスのコースに関する研究として，男子プロテニス選手は2ndサービスを相手のバックハンド側に打つ割合が多いといった報告や，サービスのコースによって用いられる球種の割合が異なるといった報告，女子選手は男子選手に比べて2ndサービスをボディに打つ割合が多いと言った報告がされている（Gillet et al., 2009; Mecheri et al., 2016）. このように，サービスのスピードとコースに関して多くの研究がなされているが，テニスの打球はスピードに加えて回転といった要素も重要であることが近年指摘されており（村松ほか，2010），サービスの回転数に関する研究も増えてきている.

Goodwill et al. (2007) は，デビスカップに出場した男子選手7名のサービスの回転数を測定したところ，サービスの回転数の最大値は4300rpmであったと報告している. また，村松ほか（2010）はテニスの国際大会において世界ランキング50位以内の男子選手8名のサービスを測定した結果，1stサービスの回転数は約1000～3500rpm，2ndサービスは約3000～5000rpmの間で分布していたと報告している. また，身長が高い選手は低い選手に比べて回転数の変動幅が大きいことも言及している. このように実際の現場にお

けるサービスのスピードや回転数を測定した研究は多く見られるが、サービスのスピード及び回転数が実際にポイント取得にどのような影響を及ぼしたのかを明らかにした研究は少ない。

サービスとポイント取得率の関係に関して、Mecheri et al. (2016)は ATP トーナメントにおいて、サービスのスピードが速くなるほどポイント取得率が高くなることを明らかにしている。しかし、サービスの回転数とポイント取得率の関係に関しては明らかにされていない。サービスのスピードと回転数には負の相関が見られていることから（村上ほか、2010）、回転数が少なくなるほどスピードが速くなり、ポイント取得率が高くなることが考えられるが実際にこれを明らかにした研究は見られない。また、研究課題 I ではサービスのコースによってスピードと回転数に異なる傾向がみられたことから、この傾向はサービスのコースによって異なる可能性も考えられるが、同様にサービスのスピード及び回転数とポイント取得率の関係をコース別に調査した研究もまた見られない。

そこで本研究では、ATP チャレンジャートーナメントにおけるサービスのスピード及び回転数を測定し、それらとポイント取得との関係を明らかにすることを目的とする。さらに打球のコースにも着目して検討し、実際の指導現場で参考になる有用な知見を提供することを目的とする。

第二節 方法

第一項 調査対象

研究課題 I と同様の選手及び試合を対象とした。

第二項 測定方法

研究課題 I と同様である。対象とした打球は、成功した 1st サービスとし、測定した打球が 1244 球、1st サービスの成功率が 75%であり、分析対象となった打球は 937 球であった。

第三項 測定項目

測定項目は以下の 4 項目とした。

- ・サーバーの得失点時ごとのサービスのスピード及び回転数
- ・サービスのスピード及び回転数毎のポイント取得率
- ・サーバーの得失点時ごとのサービスのコース別でのスピード及び回転数
- ・サービスのコース別でのスピード及び回転数ごとのポイント取得率

第四項 コースの分類

研究課題 I と同様の方法で行った（図 1）。分析対象となった打球は D ワイド 158 球，D センター 163 球，A センター 150 球，A ワイド 99 球であった。分類したコースから，それぞれのコース別にスピード及び回転数毎でのポイント取得率を算出した。また，本研究ではセンターとワイドでの違いを明らかにするためにボディコースは分析対象から除外した。

第五項 統計処理

データの分析には IBM SPSS Statistics バージョン 26 を用いた。得点時と失点時に関しては、F 検定により等分散性の有無を確認したのち、対応のない t 検定を用いた。有意水準は 5%未満とし、測定値の比較のため、効果量を算出した。評価基準には Chohen の基準を用いた。

サービスのスピード及び回転数に関しては Pearson の相関分析を行ない、相関係数及び有意確率を算出した。有意水準は 5%とした。

Mecheri et al. (2016) を参考にサービスのスピードを 10km/h 毎に段階的に分類した。回転数に関しては、500rpm 毎に段階的に分類した。分類したデータをもとにクロス集計表を作成し、 χ^2 検定を用いてポイント取得率の偏りを分析した。また、 χ^2 検定の結果が有意だった場合、どのセルが有意性に貢献したのか判定するために残差分析を行った (田中・山際, 1989)。

第三節 結果

第一項 サーバーの得点時と失点時におけるサービスのスピード及び回転数

表 16 はサーバーの得点時と失点時における 1st サービスのスピード及び回転数を示している。サーバーの得点時と失点時におけるサービスにおいて、対応のない t 検定を用いたところ、スピード及び回転数どちらにおいても有意な差は見られなかった。また、効果量も小であった。

表 16 サーバーの得点時と失点時におけるスピード及び回転数

	スピード (km/h)			p	d	回転数 (rpm)			p	d
得点	181.5	±	13.9	0.08	0.11	2243.3	±	843.0	0.36	0.07
失点	180.0	±	12.4			2296.3	±	729.3		

第二項 スピード及び回転数毎のポイント取得率

スピード毎でのポイント取得率について χ^2 検定を行った結果、ポイント取得率の偏りは有意であった($\chi^2(4) = 13.360$, $p < 0.01$, Cramer's V = 0.126) ことから、各スピード間で残差分析を行った。その結果、190-200km/hでのポイント取得率が有意に高くなっていることが示された(表 17)。

また、回転数に関しても同様に回転数毎でのポイント取得率について χ^2 検定を行った結果、ポイント取得率の偏りは有意であった($\chi^2(5) = 15.604$, $p < 0.01$, Cramer's V = 0.136) ことから、各回転数間で残差分析を行った。その結果、1500rpm未満でのポイント取得率が有意に高く、2000-2500rpmでのポイント取得率が有意に低くなっていることが示された(表 18)。

表 17 スピード毎のポイント取得率

スピード(km/h)	170未満	170-180	180-190	190-200	200超過
得点数	117	131	138	113▲	48
失点数	63	87	92	36▽	21
ポイント取得率(%)	65.0	60.1	60.0	76.0	69.6

▲有意に多い,▽有意に少ない, $p < 0.05$

表 18 回転数毎のポイント取得率

回転数(rpm)	1500未満	1500-2000	2000-2500	2500-3000	3000-3500	3500超過
得点数	123▲	111	104▽	90	79	41
失点数	43▽	66	79▲	57	40	13
ポイント取得率(%)	74.1	62.7	56.8	61.2	66.4	75.9

▲有意に多い,▽有意に少ない, $p < 0.05$

第三項 コース別でのサーバーの得点時と失点時におけるサービスのスピード及び回転数

コース別でのサーバーの得点時と失点時におけるサービスのスピードにおいて対応のない *t* 検定を用いたところ、A ワイドでの得点時のサービスのスピードは失点時に比べて有意に速くなっていた。また、効果量も中程度であった。しかし、その他のコースにおいては得点時と失点時で有意な差は見られなかった（表 19）。回転数に関しては、D ワイドでの得点時のサービスの回転数が失点時に比べて有意に多くなっていた。その他のコースにおいては得点時と失点時で有意な差は見られなかった（表 20）。

表 19 コース別でのサーバーの得点時と失点時におけるサービスのスピード

		スピード (km/h)							
		Dワイド		<i>p</i>	<i>d</i>	Dセンター		<i>p</i>	<i>d</i>
得点	169.0 ± 10.8			0.43	0.20	189.7 ± 11.1		0.36	0.10
失点	171.1 ± 9.7					188.6 ± 11.4			
		Aセンター		<i>p</i>	<i>d</i>	Aワイド		<i>p</i>	<i>d</i>
得点	182.7 ± 12.5			0.57	0.03	186.4 ± 13.1		0.03*	0.51
失点	182.3 ± 10.5					180.3 ± 10.1			

**p*<0.05

表 20 コース別でのサーバーの得点時と失点時におけるサービスの回転数

		回転数 (rpm)							
		Dワイド		<i>p</i>	<i>d</i>	Dセンター		<i>p</i>	<i>d</i>
得点	3086.7 ± 551.0			0.02*	0.28	1701.1 ± 608.7		0.18	0.15
失点	2944.4 ± 428.6					1792.4 ± 628.8			
		Aセンター		<i>p</i>	<i>d</i>	Aワイド		<i>p</i>	<i>d</i>
得点	2407.7 ± 642.2			0.70	0.02	1855.3 ± 823.0		0.42	0.14
失点	2393.0 ± 574.1					1962.5 ± 703.6			

**p*<0.05

第四項 コース別でのスピード及び回転数毎のポイント取得率

(1) D ワイドにおけるスピード及び回転数毎のポイント取得率

D ワイドにおけるスピード毎のポイント取得率について χ^2 検定を行った結果、ポイント取得率の偏りに有意な差は見られなかった。 ($\chi^2(3)=1.364$, ns, Cramer's V = 0.093) (表 21)。

D ワイドにおける回転数毎のポイント取得率について χ^2 検定を行った結果、ポイント取得率の偏りは有意であった ($\chi^2(3)=6.831$, $0.05 < p < 0.10$, Cramer's V = 0.208) ことから各コース間で残差分析を行った。その結果、3500rpm 超過でのポイント取得率が有意に高かった (表 22)

表 21 D ワイドにおけるスピード毎のポイント取得率

スピード(km/h)	160未満	160-170	170-180	180超過
得点数	24	30	27	22
失点数	9	16	18	12
ポイント取得率 (%)	72.7	65.2	60.0	64.7

表 22 D ワイドにおける回転数毎のポイント取得率

回転数(rpm)	2500未満	2500-3000	3000-3500	3500超過
得点数	19	27	35	22▲
失点数	12	22	17	4▽
ポイント取得率 (%)	61.3	55.1	67.3	84.6

▲有意に多い, ▽有意に少ない, $p < 0.05$

(2) D センターにおけるスピード及び回転数毎のポイント取得率

D センターにおけるスピード毎のポイント取得率について χ^2 検定を行った結果、ポイント取得率の偏りは有意であった ($\chi^2(3)=8.193, p<0.05, \text{Cramer's } V = 0.224$) ことから各スピード間で残差分析を行った。その結果、190-200km/h でのポイント取得率が有意に高かった (表 23)。

D センターにおける回転数毎のポイント取得率について χ^2 検定を行った結果、ポイント取得率の偏りに有意な差は見られなかった ($\chi^2(3)=1.145, \text{ns}, \text{Cramer's } V = 0.084$) (表 24)。

表 23 D センターにおけるスピード毎のポイント取得率

スピード(km/h)	180未満	180-190	190-200	200超過
得点数	26	25	36▲	18
失点数	17	20	8▽	13
ポイント取得率 (%)	60.5	55.6	81.8	58.1

▲有意に多い, ▽有意に少ない, $p<0.05$

表 24 D センターにおける回転数毎のポイント取得率

回転数(rpm)	1500未満	1500-2000	2000-2500	2500超過
得点数	43	39	13	10
失点数	21	20	10	7
ポイント取得率 (%)	67.2	66.1	56.5	58.8

(3) Aセンターにおけるスピード及び回転数毎のポイント取得率

Aセンターにおけるスピード毎のポイント取得率について χ^2 検定を行った結果、ポイント取得率の偏りに有意な差は見られなかった ($\chi^2(3)=0.402$, ns, Cramer's V = 0.052) (表 25).

Aセンターにおける回転数毎のポイント取得率について χ^2 検定を行った結果、ポイント取得率の偏りに有意な差は見られなかった ($\chi^2(3)=0.710$, ns, Cramer's V = 0.069) (表 26).

表 25 Aセンターにおけるスピード毎のポイント取得率

スピード(km/h)	170未満	170-180	180-190	190超過
得点数	14	25	30	30
失点数	8	14	16	13
ポイント取得率 (%)	63.6	64.1	65.2	69.8

表 26 Aセンターにおける回転数毎のポイント取得率

回転数(rpm)	2000未満	2000-2500	2500-3000	3000超過
得点数	25	35	22	17
失点数	15	17	9	10
ポイント取得率 (%)	62.5	67.3	71.0	63.0

(4) A ワイドにおけるスピード及び回転数毎のポイント取得率

A ワイドにおけるスピード毎のポイント取得率について χ^2 検定を行った結果、ポイント取得率の偏りは有意であった ($\chi^2(3)=10.742, p<0.05, \text{Cramer's } V = 0.329$) ことから各スピード間で残差分析を行った。その結果、190km/h 超過でのポイント取得率が有意に高く、170-180km/h でのポイント取得率が有意に低いという結果が示された (表 14)。

A ワイドにおける回転数毎のポイント取得率について χ^2 検定を行った結果、ポイント取得率の偏りに有意な差は見られなかった ($\chi^2(3)=2.257, \text{ns}, \text{Cramer's } V = 0.147$) (表 15)。

表 27 A ワイドにおけるスピード毎のポイント取得率

スピード(km/h)	170未満	170-180	180-190	190超過
得点数	8	14▽	20	27▲
失点数	2	12▲	13	3▽
ポイント取得率 (%)	80.0	53.8	60.6	90.0

▲有意に多い, ▽有意に少ない, $p<0.05$

表 28 A ワイドにおける回転数毎のポイント取得率

回転数(rpm)	1500未満	1500-2000	2000-2500	2500超過
得点数	29	18	12	15
失点数	8	7	8	7
ポイント取得率 (%)	78.4	72.0	60.0	68.2

第四節 考察

第一項 サーバーの得点時と失点時におけるサービスのスピード・回転数及びスピード・回転数毎のポイント取得率

1st サービスにおいて、得点時と失点時でスピードに有意な差はみられなかった(表 16)。これは先行研究とは異なる結果となった(Mecheri et al., 2016)。また、1st サービスにおけるスピード毎のポイント取得率を比較したところ、190-200km/h でのポイント取得率が他のスピード帯に比べて有意に高いという結果が示された(表 17)。一方で、200km/h 超過のポイント取得率には有意な差はみられなかった。Whiteside and Reid (2017)はサービスエースに最も重要な要素はサービスの落下位置がラインから近いことであり、サービスのスピードはその次に重要な要素であることを明らかにしている。このことから、今回対象とした選手は 190-200km/h ではライン付近にコントロールすることができ、ポイント取得に繋げていたが、200km/h 越のサービスではライン付近のコースにコントロールできなかったため、エースやポイント取得に繋がらなかったということが考えられる。しかし、本研究では実際にラインからどのくらいの距離に打球が落下したのかということまでは実証できないため、今後実際の打球落下位置を踏まえた分析を行うことでこれを明らかにできるのではないかと考える。また、本研究において 200km/h 超過の対象数が他のデータに比べて少なく、140-170km/h, 170-180km/h, 180-190km/hよりはポイント取得率が高い値を示していることから、より多くのデータを取得することで異なる結果が示される可能性も考えられる。

1st サービスにおける回転数において、得点時と失点時でサービスの回転数に有意な差は見られなかった(表 16)。しかし、1st サービスにおける回転数毎のポイント取得率を比較したところ、1500rpm 未満でもっともポイント取得率が高くなり、2000-2500rpm でもっともポイント取得率が低くなった(表 18)。テニスの打球について、スピードと回転数は負の相関にあると言われており、回転数が増えるとボールスピードは遅くなりやすく、逆に回転数が少なくなるとボールスピードは速くなりやすい(Cross and Lindsey, 2005; 村上ほか, 2016; 桜井ほか 2007)。また、研究課題 I においてもスピードと回転数が負の相関を示している(図 6, 図 7, 図 8, 図 9)。このように回転数が少なくなるとスピードが速くなることから、1500rpm 未満ではサービスのスピードが速くなったことでポイント取得率が高くなったと考えられる。

これらの結果から、テニスのサービスにおいてスピード及び回転数が得失点に影響を与

えていることが示唆されたが,本項での考察はサービスのコースを踏まえたものではない.
そのため,本結果はあくまでもサービスを一括りに分析した際の結果であることを留意する必要がある.次項にてコースを踏まえた考察を行う.

第二項 コース別でのスピード及び回転数とポイント取得率

1stサービスのDワイドにおいて、得点時の回転数が失点時に比べて有意に多く(表 20)、また、回転数の多いサービスのポイント取得率が高くなりやすいという結果が示された(表 22)。また、研究課題 I において、プロ選手はDワイドコースでは他のコースよりもスピードが遅く、回転数が多い打球を多く用いているという特徴を明らかにした。このことから、プロ選手はDワイドコースにおいて有効な打球を選択しているということが、得失点、ポイント取得の観点からも示唆される。先行研究(Gillet et al., 2009; Sato et al., 2021)では、Dワイドコースにおいて、スライスサービスが多く用いられていることが報告されている。スライスサービスで回転を多くかけることで対戦相手をコートの外に追い出し、オープンコートを作るという戦術を効果的に用いるためには、スピードの速いサービスよりもスピードの遅く回転の多いサービスの方が有効であると考えられる。日本テニス協会(2015)は、テニスの戦術として、オープンコートを作ることが重要であり、オープンコートは「空間的オープンコート」と「時間的オープンコート」、「心理的オープンコート」の3種類に分けられると述べている。空間的オープンコートとは、プレーヤーが相手のボールを待つための合理的な場所、つまり「合理的待機位置」に戻れないときに生じるエリアを示す。Dワイドコースへのサービスは、相手をコートの外に追い出すことで「空間的オープンコート」を作ることができると言える。このことから、より相手をコートの外に追い出すことのできる回転数の多いサービスのポイント取得率が高くなったのではないかと考えられる。先行研究(Gillet et al., 2009; Sato et al., 2021)では、デュースサイドのワイドコースにおいて、スライスサーブが多く用いられていることを示しているが、スピンサービスやスライスサービスとスピンサービスの中間的なサービスに位置するスピンスライスサービスなど回転数の多いスライスサービス以外のサービスを用いていることも考えられる。本研究では、映像からこれらを判断するのが困難なため回転の種類を分類することができなかった。今後これらを踏まえて検討することでより具体的にコース毎の効果的なサービスについて明らかにできるのではないかと考える。

1stサービスのDセンターにおけるスピード毎のポイント取得率において190-200km/hのポイント取得率が有意に高かった(表 23)。また、1stサービスのDセンターにおける回転数毎のポイント取得率においては有意な差は見られなかった(表 24)。しかし、200km/h 超過でのポイント取得率においては有意な差は見られなかった。Whiteside and Reid(2017)は、男子プロテニス選手においてエースを取りやすい1stサービスの特徴を調

査したところ、センターコースはワイドコースよりもエースになる角度が狭いため、よりラインに近い場所にサービスをコントロールする必要があると述べている。このことから、コントロールできる範囲のスピードである 190-200km/h のポイント取得率が高く、200km/h 超過でのポイント取得率が高くならなかったのではないかと考える。ただ、本研究はビデオカメラで撮影した映像を用いて分析を行っているため、サービスの落下位置について具体的に数値に表すことができない。そのため、実際に 190-200km/h のサービスと 200km/h 超過のサービスの落下位置に差が見られるのか明らかにすることはできなかった。今後サービスの落下位置を加味したデータを追加することでより具体的なサービスの分析ができるのではないかと考える。

1st サービスの A センターにおけるスピード毎のポイント取得率、回転数毎のポイント取得率において有意な差は見られなかった（表 25, 表 26）。右利きの選手にとって A センターにおいては、回転を用いたスライスサーブによって対戦相手を動かす戦術を用いることができる。また、テニスではネットの中央が低くなっている。このことから、ネットの中央を通すサービスは比較的ネットをしにくくなるためスピードの速い打球をミスなく打ちやすくなる（堀内, 2012 ; ショーンボーン, 2007）。これらのことから、A センターにおいては回転数の多いサービスでは対戦相手を動かすことができ、また、A センターにおいてはスピードの速いサービスをミスなく打ちやすくなるということから、スピードの速いサービス、回転数の多い打球どちらも効果的であるためポイント取得率に偏りが見られなかったのではないかと考えられる。

1st サービスの A ワイドにおいて、得点時のスピードが失点時に比べて有意に速く（表 19）、190km/h 超過のサービスでのポイント取得率が有意に高い値を示した。（表 27）。しかし、回転数においては有意な差は見られなかった（表 28）。サーバーが右利きの際には、A ワイドで回転数の多いサービスを用いる場合、キックサーブで対戦相手のバックハンドを狙ったり、角度をつけて対戦相手を動かす戦術が用いられるが、D ワイドでのスライスサーブのように対戦相手を大きく動かしてオープンコートを作るのは難しい。このように、回転数を増やしたキックサーブを用いても D ワイドのように大きく対戦相手を動かすことができないことから、D ワイドのように回転数の多いサーブの有効性が低く、より速いサービスでのポイント取得率が高くなったのではないかと考える。

第五節 まとめ

本研究の結果から、Dワイドではスライスサーブのような回転数の多いサービスを用いることで対戦相手を大きく動かすことができるため、回転数の多いサービスが有効に働き、ポイント取得に繋がりやすくなると考えられる。しかし、DセンターやAワイドのような主にスピンサーブを多く用いるコースではサービスの回転数を増やすことはポイント取得には繋がらず、むしろポイント取得率が下がる傾向にあることが示された。Dセンター及びAワイドにおいて、回転を用いることで対戦相手の予測を外したり、緩急を用いたりするような意図を持ってこれらのコースに打つことももちろんあるが、サービスが入る確率を高くしようという意図を持って回転数の多いサービスを打つ選手も見受けられる。村田（2018）は女子プロテニス選手において、個人間で比較すると1stサービスの成功率と総ポイント取得率には相関が見られないと報告している。つまり、1stサービスが入る確率を高めても試合でポイントを多く取れるわけではないということである。本研究は男子プロテニス選手を対象としたものであるが、本研究の結果を踏まえると対戦相手を動かすような戦略を用いるために回転数の多いサービスを用いることは有効であるが、サービスを入れるために回転数を増やすことはポイント取得に繋がらないため、DセンターやAワイドのような回転が及ぼす影響の少ないコースではサービスが入る確率を下げてもスピードの速いサービスを多く用いる戦略が有効であると考えられる。Aセンターに関しては、スピードの速いサービスと回転数の多いサービスでポイント取得に違いが見られなかったことから、スピードの速いサービス・回転数の多いサービスのどちらも効果的な可能性があると考えられる。

第六章 研究課題Ⅲ

サービス及びサービスリターンにおけるスピード及び回転数の関係

本研究は、以下の投稿論文、学会発表および未公開資料をまとめたものである。

【研究資料】

柏木涼吾・村上俊祐・岡村修平・大澤啓亮・中村和樹・高橋仁大（2023）テニスのリターンにおけるスピード及び回転数：ATP チャレンジャートーナメントに出場したプロテニス選手を対象として、スポーツパフォーマンス研究，査読中。

【学会発表】

柏木涼吾・村上俊祐・岡村修平・大澤啓亮・中村和樹・高橋仁大（2022）テニスのリターンにおけるスピード及び回転数，第34回テニス学会。

Kashiwagi, R., Murakami, S., Numata, K., Numata, K., Iwanaga, S., Takahashi, H. (2019) The relationship between speed and spin of serve and serve-return in tennis, Asia-Pacific Conference on Performance Analysis of Sport 2019, published by Japanese Rugby Science, 31(2):32.

Abstract

It is said the server has the initiative in tennis because tennis rallies start with the serve. (Japan Tennis Association, 2023). However, to win a tennis match, player must break the opponent's service game at some point, so the skill of return is important to winning a match. Schonborn (2007) also states that "the service return is the most important shot in tennis". However, there are few studies that have examined the details of return hitting. In order to improve the return technique, it is important to clarify not only how professional players hit the ball, but also what kind of speed and spin rate they hit. Therefore, the purpose of this study was to clarify the return speed and spin rate of professional tennis players during a match. And also clarify the relationship between the speed, spin rate, and course of the service and the speed and spin rate of the return. The results revealed that the speed of the return for the 2nd service was significantly higher than that for the 1st service. Also, the comparison of forehand and backhand returns revealed that there was no significant difference between forehand and backhand returns in terms of speed and spin rate. In addition, the speed and spin rate of returns by service course showed different characteristics depending on the course.

第一節 目的

テニスにおいて、サービスは最も重要なショット、リターンはその次に重要なショットであると言われている(Kriese, 1997). 高橋ほか(2006)はテニスの試合においてサーブリターンでポイントが終わる割合は30%を占めていたことを明らかにしている. また, テニス指導教本(日本テニス協会編, 2015)では, テニスにおいて, 基本的に優位性を持っているサーバーのサーブを高い確率で返球することができれば, サーバーの優位性を崩すことができることから, 高いリターンの技術を持っていることは試合に勝つ上で重要であると言われている. しかし, 指導現場においてサービスに関する指導は重要視されており様々な指導が行われているが, リターンに関しては指導法自体が少なく, リターンの練習に割く割合も少ないのが現状である. これは, サービスがクローズドスキルであるため指導がしやすいのに対し, オープンスキルであるリターンの指導はサービスに比べて難しいということ, さらに, サービスに関する知見は多く見られるがリターンに関しては少ないということも要因ではないかと考えられる. 近年, サービスに着目した研究は多く行われており, デビスカップに出場した選手のサービスの回転数の特徴を明らかにした研究(Goodwill et al., 2007), 世界トップ選手, 日本のプロ選手, 日本のジュニア選手のサービスのスピード及び回転数の特徴及び違いを明らかにした研究(村上ほか, 2016), 女子テニス選手のゲーム中のサービスのスピード及び回転数を測定した研究(村上ほか, 2020b)など多岐にわたる. しかしリターンに着目した研究は少ない. リターンに着目した研究としてプロ選手と様々な年齢層の選手のサービス及びサービスリターンを統計的に比較した研究(Hizan et al., 2011), プロ選手のクレーコートにおけるサービスとサービスリターンを統計的に分析した研究(Gillet et al., 2009)などがみられた. しかし, これらの研究は試合のスタッツのみを分析したものである. リターンのスピード及び回転数を測定した研究として, オーストラリアンオープンの男女の試合中のリターンのスピードを明らかにした研究(Reid et al., 2016)が見られるが, この研究はフォアハンドとバックハンドを一括りにしており, また回転数については測定対象としていない. 村松ほか(2010)はテニスにおいてボールのスピードと回転数の両方をコントロールすることは重要な要素であると述べており, リターンにおいてもスピード及び回転数の特徴を明らかにすることは重要であると考えられる. 特に, 競技スポーツとしてのテニスにおいてプロテニス選手のデータは重要な指標になると考えられ, プロテニス選手のリターンの打球スピードと回転数を把握することは競技力向上を目指す上で重要である. そこで本研究では, プロテニス選手を

対象に試合時のリターンのスピード及び回転数を測定し、これらの特徴を明らかにすることを目的とした。

また、リターンは対戦相手のサービスから大きな影響を受ける。そのため、サービスのスピード及び回転数、サービスのコースによってリターンがどのような影響を受けているのか明らかにすることもテニスのリターンにおいて重要である。Kashiwagi et al. (2019a)はストロークにおける打球のスピード及び回転数の相互関係について明らかにしたところ、フォアハンドは打球のスピードに大きく影響されるがバックハンドは打球のスピード、回転数どちらにおいても影響を受けづらいということを明らかにしている。しかし、サービスとリターンにおいてはこのような関係性について明らかにした研究は見られない。これらの関係性について明らかにすることでサービス及びサービスリターンについてより現場に活かせる知見を得ることができると考える。そこで本研究では、サービスとリターンの打球の関係性について明らかにすることも目的とした。

第二節 方法

第一項 調査対象

研究課題 I・II と同様の選手及び試合を対象とした。

第二項 測定方法

研究課題 I・II と同様である。

第三項 測定項目

測定項目は以下の 5 項目とした。また、本研究ではスライスの打球（フォアハンド 22 球，バックハンド 48 球）を除いた打球を分析対象とした。対象となった打球数は表 29 に示した。

- ・リターンにおけるスピードと回転数の関係
- ・1st サービスに対するリターン（1stR）と 2nd サービスに対するリターン（2ndR）のスピード及び回転数
- ・フォアハンドリターン（以下 FHR）とバックハンドリターン（以下 BHR）のスピード及び回転数
- ・サービスのスピード及び回転数とリターンのスピード及び回転数の関係
- ・サービスコース別のリターンのスピード及び回転数

表 29 分析対象打球数

	デュースサイド		アドバンテージサイド	
	FHR	BHR	FHR	BHR
1stR	51	66	105	49
2ndR	49	73	33	74

第四項 コースの分類

サービスコースの分類は研究課題 I・II と同様の方法で行った（図 1）。

第五項 統計処理

統計処理には IBM SPSS Statistics バージョン 26 を用いた。リターンにおけるスピードと回転数の関係、サービスのスピード及び回転数とリターンのスピードの関係については Pearson の積率相関係数を算出した。1stR と 2ndR のスピード及び回転数、FHR と BHR のスピード及び回転数の比較については、二要因分散分析を用いて、多重比較には Tukey の多重比較検定を用いた。サービスコース別のリターンのスピード及び回転数の比較は、対応のない一元配置分散分析により有意性を確認したのち、多重比較には Tukey の多重比較検定を用いた。

第三節 結果

第一項 リターンにおけるスピードと回転数の関係

図 12 に全てのリターンの打球のスピード及び回転数の分布を示した。リターンにおいて、スピードと回転数で有意な相関は見られなかった ($r=-0.10$)。

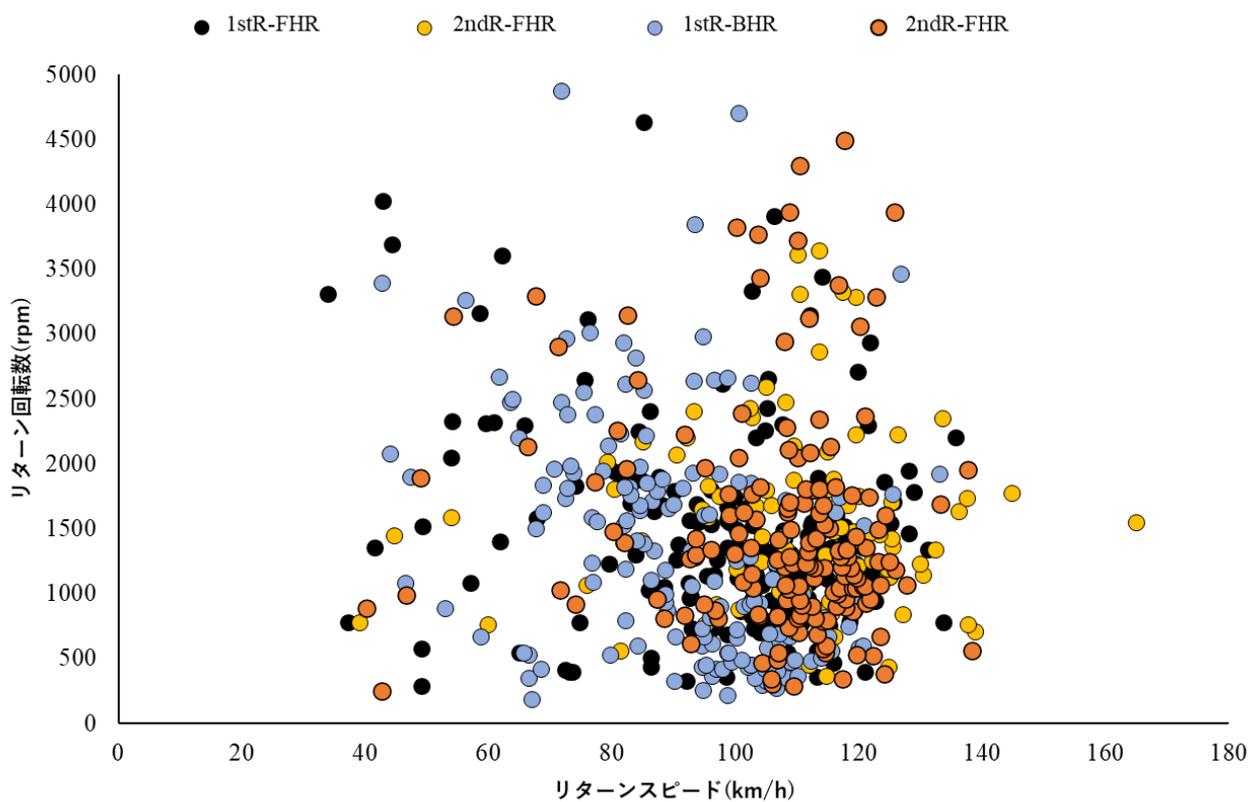


図 12 リターンのスピード及び回転数の分布

第二項 リターンにおけるスピード及び回転数

(1) デュースサイド

デュースサイドのリターンのスピードにおいてサービス要因 (1stR or 2ndR), リターン要因 (FHR or BHR) の二要因における二要因分散分析を行った。その結果, サービス要因の主効果が有意であり ($p<0.05$) 2ndR のスピードが速いということが明らかになった。リターン要因では有意な差は見られず, また交互作用も見られなかった (表 31)。

デュースサイドのリターンの回転数においても同様にサービス要因 (1stR or 2ndR), リターン要因 (FHR or BHR) の二要因における二要因分散分析を行った。その結果, リターン要因の主効果が有意であり ($p<0.05$), FHR の回転数が BHR に比べて多いということが明らかになった。サービス要因では有意な差は見られず, また交互作用も見られなかった (表 33)。

表 30 デュースサイドにおけるリターンのスピードの二要因分散分析の結果

変動要因	自由度	平方和	平均平方和	F値	有意確率	Pr(>F)
サービス要因	1	12119	12119	55.59	0.00	*
リターン要因	1	39	39	0.18	0.68	
交互作用	1	131	131	0.60	0.44	
誤差	235	51234	218			

表 31 デュースサイドにおけるリターンのスピードの平均値及び標準偏差 (km/h)

	1stR	2ndR
FHR	98.7±21.4	111.2±14.1
BHR	98.0±14.0	113.5±8.4

表 32 デュースサイドにおけるリターンの回転数の二要因分散分析の結果

変動要因	自由度	平方和	平均平方和	F値	有意確率	Pr(>F)
1stサービス or 2ndサービス	1	1101962	1101962	3.27	0.07	.
FHR or BHR	1	5132998	5132998	15.24	0.00	*
交互作用	1	988	988	0.00	0.96	
誤差	235	79147773	336799			

表 33 デュースサイドにおけるリターンの回転数の平均値及び標準偏差 (rpm)

	1stR	2ndR
FHR	1352±716	1423±537
BHR	1001±593	1154±464

(2) アドバンテージサイド

アドバンテージサイドのリターンのスピードにおいてサービス要因 (1stR or 2ndR), リターン要因 (FHR or BHR) の二要因における二要因分散分析を行った。その結果, サービス要因の主効果が有意であり ($p < 0.05$), 2ndR のスピードが速いということが明らかになった。また, FHR or BHR の主効果が有意であり ($p < 0.05$), FHR のスピードが BHR に比べて速いということが明らかになった。交互作用は見られなかった (表 35)。

アドバンテージサイドのリターンの回転数においても同様にサービス要因 (1stR or 2ndR), リターン要因 (FHR or BHR) の二要因における二要因分散分析を行った。その結果, サービス要因の主効果が有意であり ($p < 0.05$), 2nd サービスに対するリターンの回転数が 1st サービスに対するリターンに比べて多いということが明らかになった。リターン要因 (FHR or BHR) では有意な差は見られず, また交互作用も見られなかった (表 37)。

表 34 アドバンテージサイドにおけるリターンのスピードの二要因分散分析の結果

変動要因	自由度	平方和	平均平方和	F値	有意確率	Pr(>F)
サービス要因	1	2275	2275.1	16.46	0.00	*
リターン要因	1	1997	1996.6	14.45	0.00	*
交互作用	1	339	338.8	2.45	0.12	
誤差	257	35521	138.2			

表 35 アドバンテージサイドにおけるサイドにおけるリターンのスピードの平均値及び標準偏差 (km/h)

	1stR	2ndR
FHR	105.4±12.1	116.3±11.4
BHR	101.5±12.7	107.4±10.4

表 36 アドバンテージサイドにおけるリターンの回転数の二要因分散分析の結果

変動要因	自由度	平方和	平均平方和	F値	有意確率	Pr(>F)
サービス要因	1	4489718	4489718	11.37	0.00	*
リターン要因	1	103426	103426	0.26	0.61	
交互作用	1	94006	94006	0.24	0.63	
誤差	254	100289498	394841			

表 37 アドバンテージサイドにおけるサイドにおけるリターンの回転数の平均値及び標準偏差 (rpm)

	1stR	2ndR
FHR	1214±428	1453±512
BHR	1138±873	1460±691

第三項 サービスのスピード及び回転数とリターンのスピード及び回転数の関係

図 13～図 16 にサービスのスピード及び回転数に対するリターンのスピード及び回転数の分布を示した。リターンスピードとサービススピード (図 13, $r=-0.24$), リターンスピードとサービス回転数 (図 14, $r=0.18$), リターン回転数とサービススピード (図 15, $r=-0.20$), リターン回転数とサービス回転数 (図 16, $r=0.17$) で有意な相関は見られなかった。

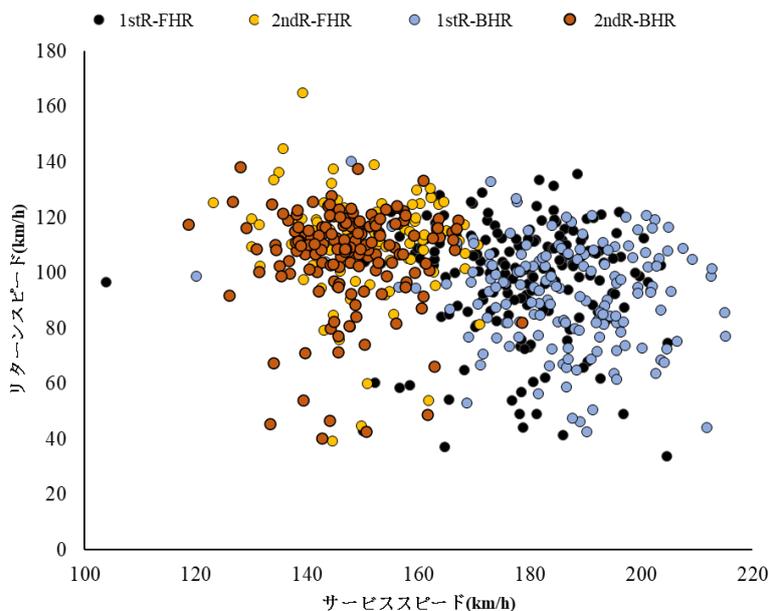


図 13 リターンスピードとサービススピード

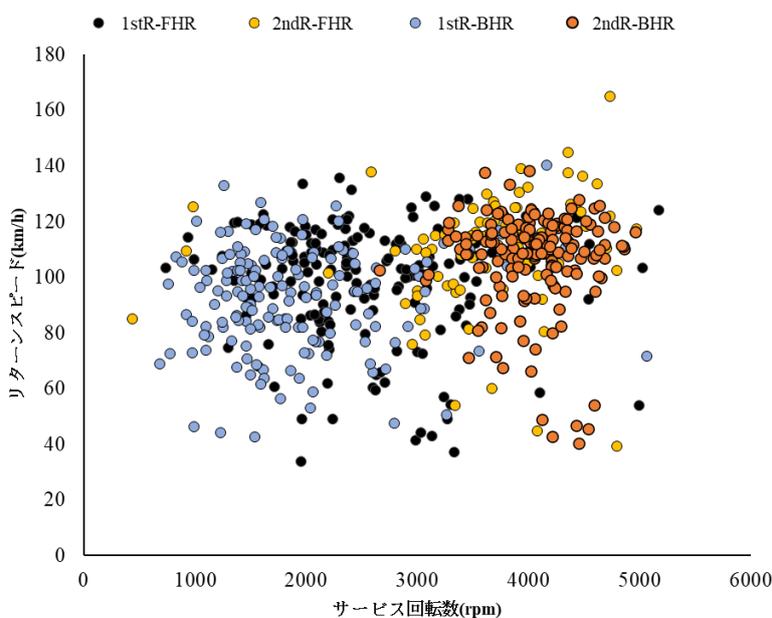


図 14 リターンスピードとサービス回転数

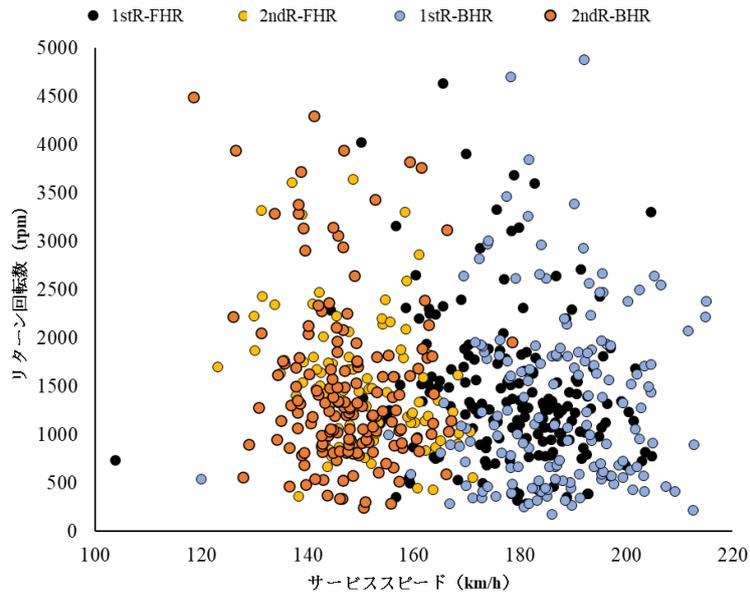


図 15 リターン回転数とサービススピード

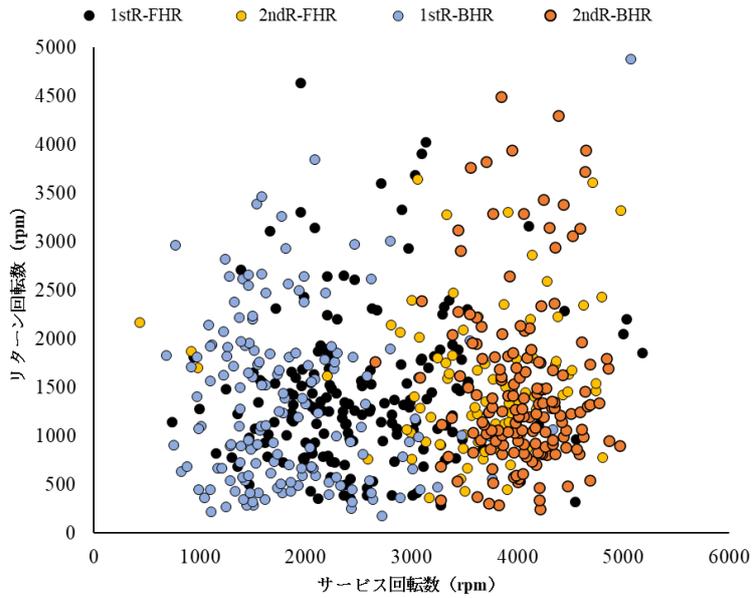


図 16 リターン回転数とサービス回転数

第四項 サービスのスピード及び回転数とリターンのスピード及び回転数の関係

図 17～図 20 にサービスコースごとのリターンのスピード及び回転数の比較を示した。1stR のスピードに関して、A ワイドが A ボディ、A センターに比べて有意にスピードが遅いという結果が示され、デュースサイドにおいては有意な差は見られなかった(図 17)。2ndR のスピードに関しても同様に A ワイドが A ボディ、A センターに比べて有意にスピードが遅いという結果が示され、デュースサイドにおいては有意な差は見られなかった(図 18)。1stR の回転数に関して、D ワイドが D センター、D ボディに比べて有意に回転数が多いという結果が示され、アドバンテージサイドにおいては有意な差は見られなかった(図 19)、2ndR の回転数に関して、A センターが A ワイド、A ボディに比べて有意に回転数が少なく、また D センターが D ボディ、D ワイドに比べて有意に回転数が少ないという結果が示された(図 20)。

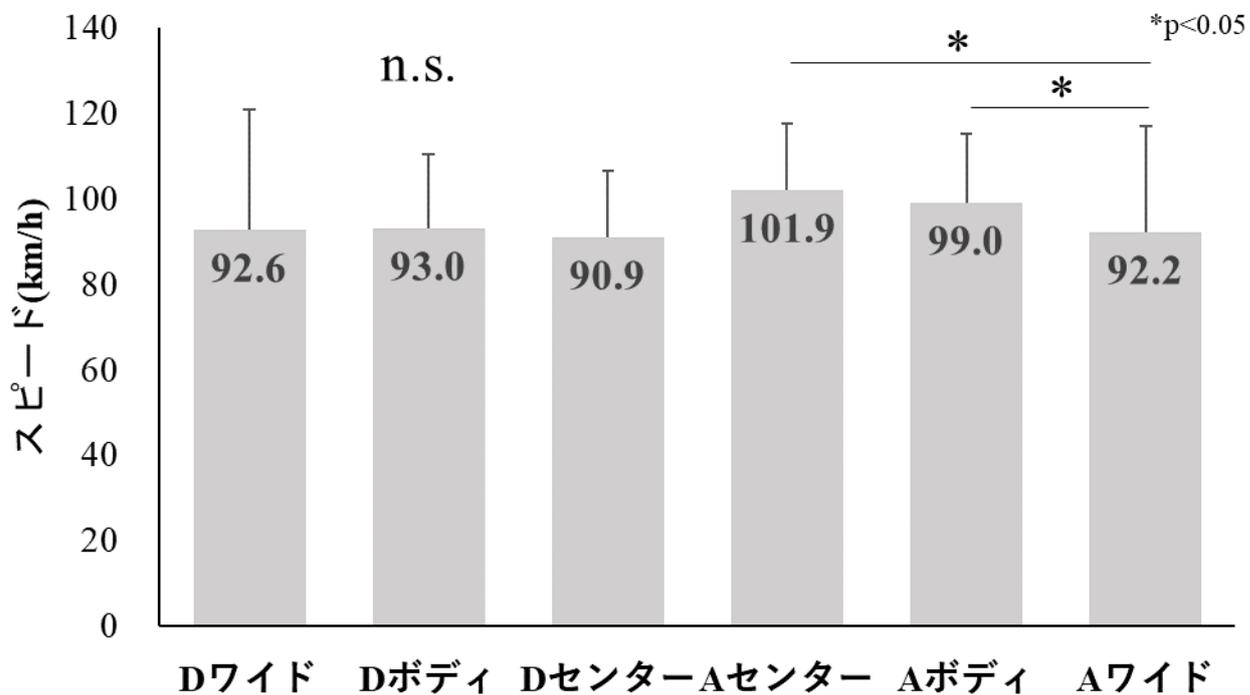


図 17 サービスコース別の 1st サービスに対するリターンのスピード

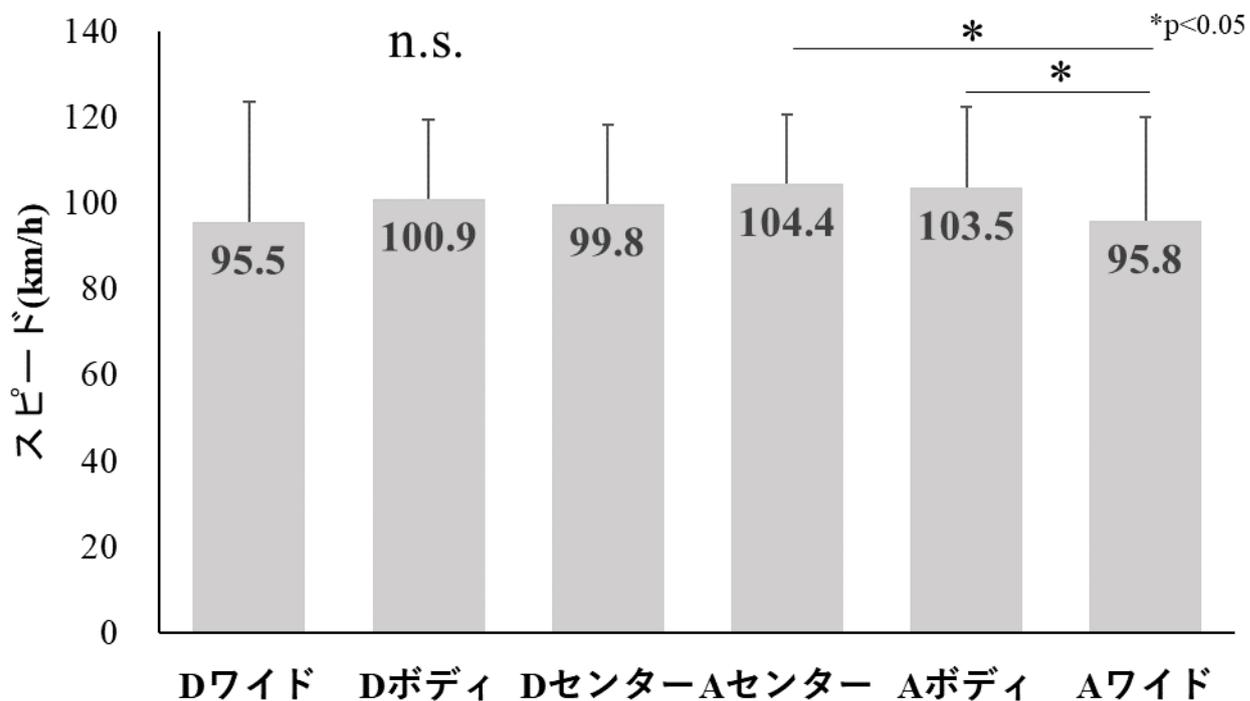


図 18 サービスコース別の 2nd サービスに対するリターンのスピード

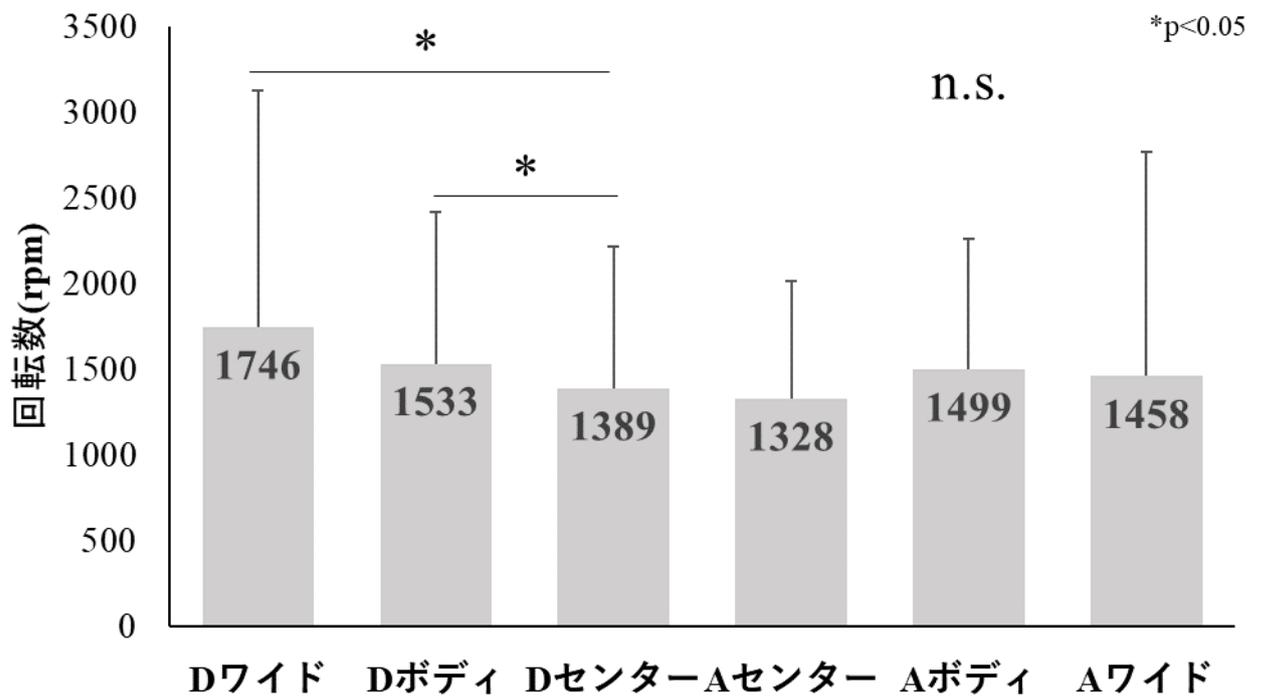


図 19 サービスコース別の 1st サービスに対するリターンの回転数

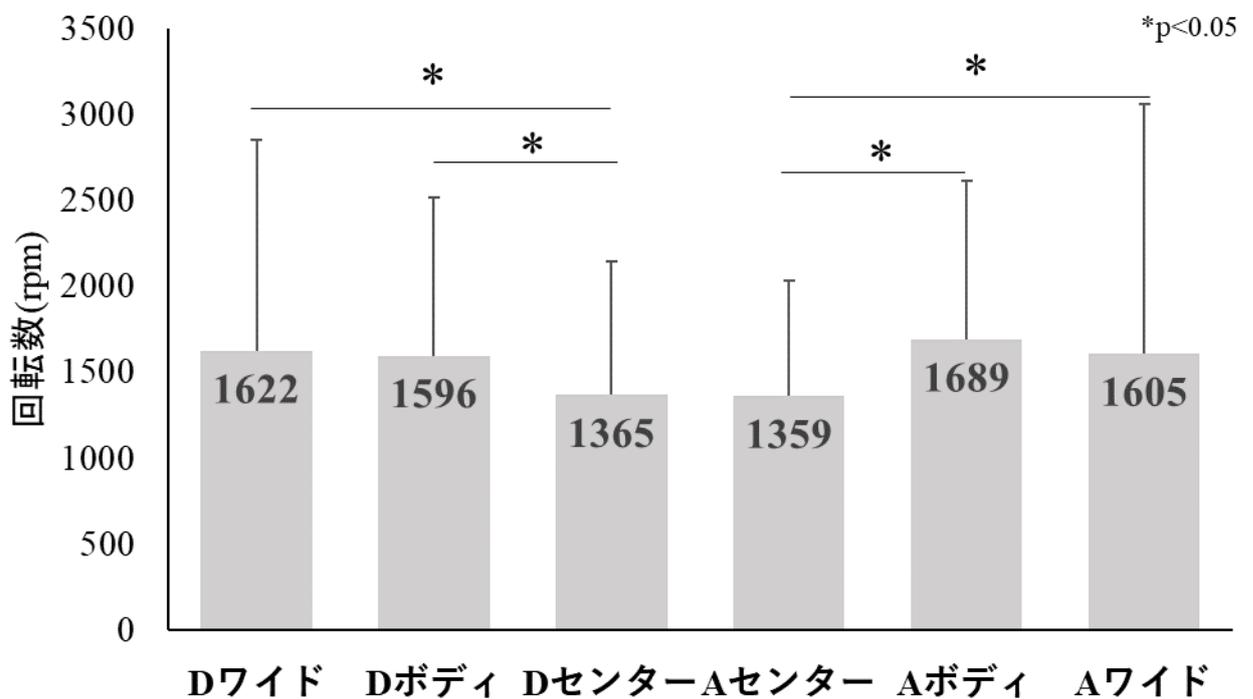


図 20 サービスコース別の 2nd サービスに対するリターンの回転数

第四節 考察

第一項 リターンにおけるスピードと回転数の関係

村上ほか(2016)は、サービスにおいてスピードと回転数に負の相関がみられることを明らかにしているが、リターンにおけるスピードと回転数に有意な相関はみられなかった(図12)。これは、リターンはサービスよりもストロークに近い特徴を持っていることが要因だと考える。サービスでは、高いレベルの選手においてはスイングスピードは大きく変えずに、スピードと回転数を変化させていると言われており (Sheets et al., 2011), そのためスピードと回転数に負の相関がみられることが明らかになっているが(村上ほか, 2016), リターンやストロークは、状況によってスイングスピードをコントロールする。そのため、打球のスピード及び回転数のばらつきが大きくなり、リターンにおいてスピードと回転数に有意な相関がみられなかったと考えられる。また、Kashiwagi et al.(2019a)は、対戦相手の打球から影響を受けやすいテニスのストロークでのラリーにおいて、相手の打球のスピードが速いほどフォアハンドストロークのスピードが遅く、回転数が少なくなることを明らかにしている。このことから、ストロークに近い特徴を持ったリターンのスピード及び回転数においても同様に対戦相手のサービスのスピードや他の様々な要素から大きな影響を受けており、サービスのようには打球に一定の傾向がみられず、リターンのスピード及び回転数に有意な相関がみられなかった要因の一つだと考えられる。

第二項 リターンのスピード及び回転数

(1) デュースサイド

デュースサイドにおいて、2ndR のスピードが 1stR に比べて速いということが明らかになった(表 31)。研究課題 I で示したが、テニスのサービスにおいて、2nd サービスは 1st サービスに比べてスピードが遅く回転数が多くなる(O' Donoghue and Ballantyne., 2004, Mecheri et al., 2016, 村上ほか, 2020b)。このことから、スピードの遅い 2nd サービスに対してスピードの速いリターンで攻める戦略が用いられるため、リターンのスピードが 1stR に比べて速くなったと考えられる。しかし、Kashiwagi et al.(2019a)はバックハンドストロークでのラリーにおいてバックハンドはフォアハンドに比べて相手の打球の影響を受けづらいことを明らかにしている。しかし、今回 BHR においても FHR と同様に、2ndR のスピードが 1stR に比べて速いという結果が示された。テニス指導教本(日本テニス協会編, 2023)では、相手の 2nd サービスに対する攻撃的なリターンという戦術は、レシーバーにとっての最も重要な戦術であると述べられている。このことから、プロ選手においても 2ndR はチャンスであると考えており、できるだけ攻撃的なショットを選択することが多くなったためこのような結果になったのではないだろうか。

また、デュースサイドにおいて FHR の回転数が BHR に比べて多いという結果が示された(表 33)。Goodwill et al.(2007)はストロークにおいてバックハンドはフォアハンドに比べて回転数が少なくなる傾向があることを報告している。本研究の結果から、リターンにおいても同様の結果を示した。しかし、スピードに関して FHR と BHR で有意な差が見られなかった。テニスにおいて対戦相手のバックハンドを狙うのはセオリーとされており、実際にラリーにおいて主導権を握るのはフォアハンドが 61%を占め、バックハンド(スライスを除く)は 24%であったと報告されている(宮地ほか, 2009)。しかしデュースサイドの 2ndR では FHR と BHR でスピードに違いが見られなかったことから、デュースサイドの 2ndR では対戦相手のバックハンドを狙うことに対する優位性がスピードに着目するとそこまで大きくないことが考えられる。もちろん、テニスの打球はスピード、回転に加えてコースや打球状況など様々な要素が折り重なっているため一概には言えないが、バックハンドを狙うことがセオリーとされている現在においては有用な知見になるのではないだろうか。

(2) アドバンテージサイド

アドバンテージサイドにおいて 2ndR は 1stR に比べてスピードが有意に速く、回転数も

有意に多いという結果が示された（表 35, 表 37）。2ndR は 1stR に比べておよそ 0.2 秒の時間的な余裕があることが明らかにされている(Takahashi et al., 2008)。この時間的な余裕があることで FHR で攻撃的なスピードが速く回転数の多いショットを打っていることが考えられる。

アドバンテージサイドの FHR と BHR を比較したところ、デュースサイドと異なり FHR のスピードが有意に速く、回転数においては有意な差は見られなかった（表 33, 表 35）。研究課題 I 及び II では、サービスのサイドやコースによってサービスの特徴が異なることを明らかにした。このことからデュースサイドとアドバンテージサイドで、リターンの特徴が異なる結果になるということが考えられる。コートサイドから FHR を打つデュースサイドに比べて、アドバンテージサイドではコートセンターから FHR を打つことになる。テニスではネット中央が低くなっているため、コートサイドから打つのに比べてネットミスをするリスクが低くなる。そのため、よりスピードの速い打球を用いることができていたのではないかと考える。

これらの結果から、リターンにおいて対戦相手のサービスが 1st サービスなのか、2nd サービスなのか、またフォアハンドなのかバックハンドなのかに加えて、デュースサイドなのかアドバンテージサイドなのかでもリターンに異なる傾向がみられることが明らかになった。このことから、リターンにおけるゲームパフォーマンス分析においてこれらをわけて分析することの重要性が示唆された。

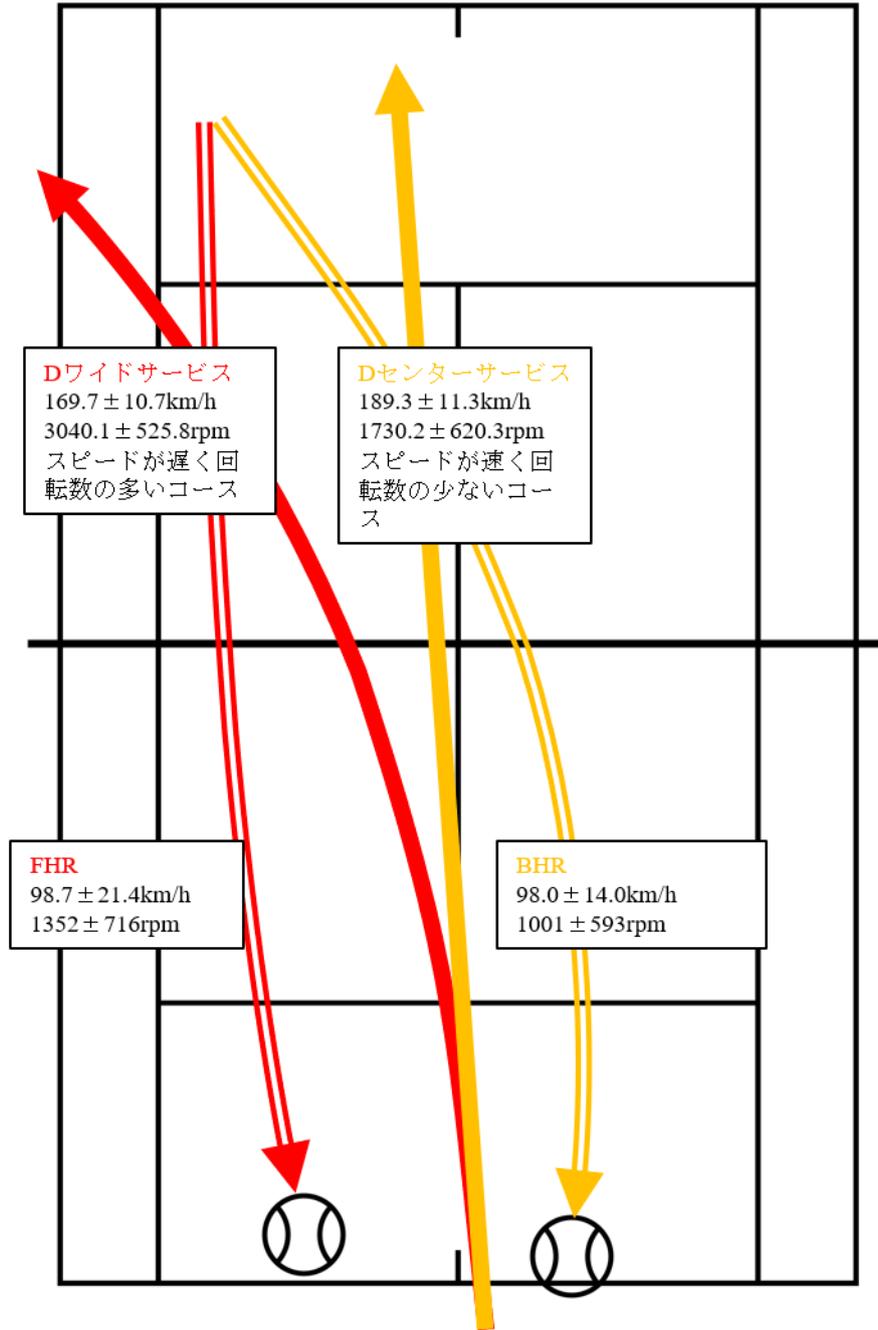


図 21 デュースサイドにおける 1stR のスピード及び回転数の特徴図

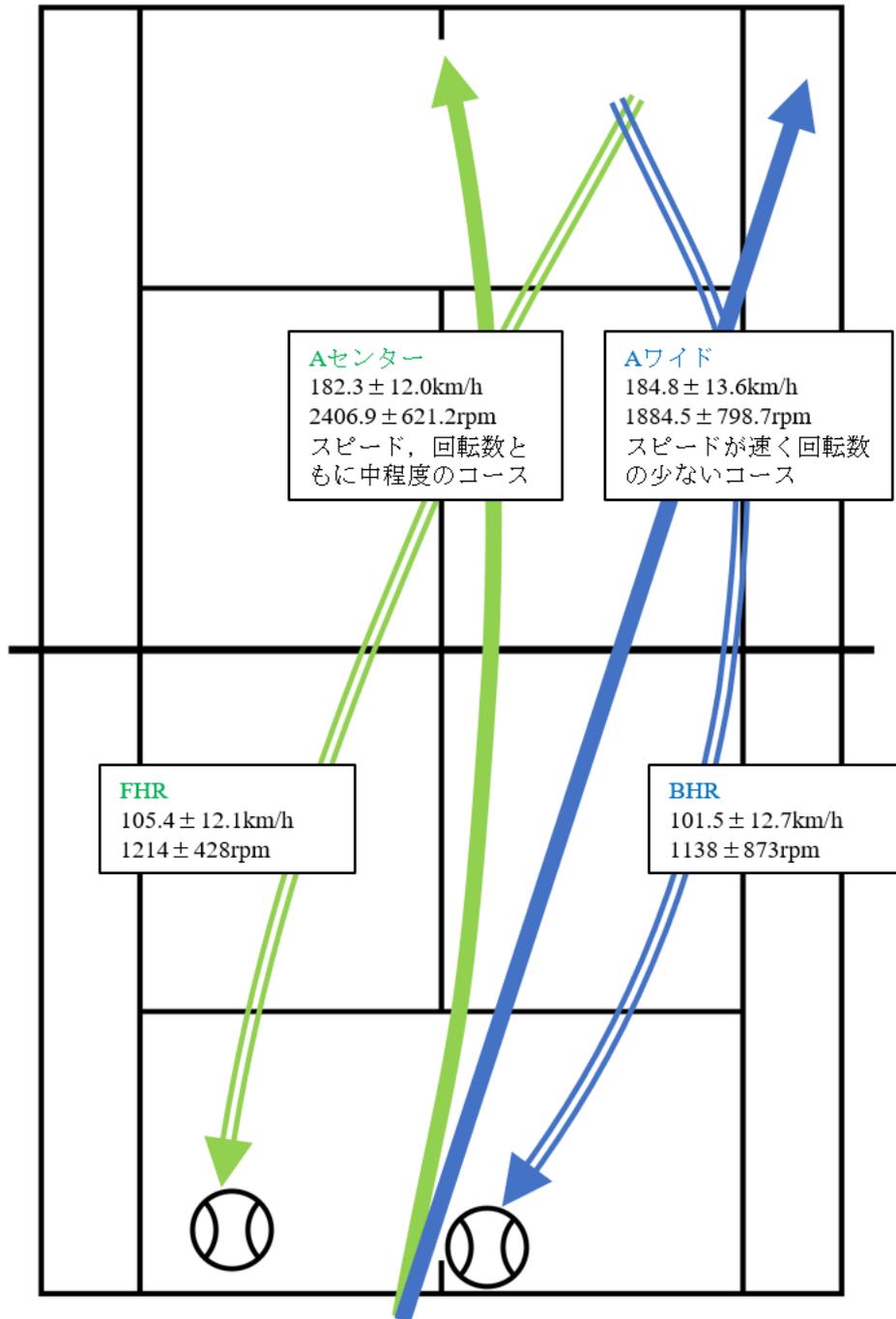


図 22 アドバンテージサイドにおける 1stR のスピード及び回転数の特徴図

第三項 サービスのスピード及び回転数とリターンのスピード及び回転数の関係

サービスのスピード及び回転数とリターンのスピード及び回転数で有意な相関関係は見られなかったが、打球の分布において 1stR はグラフの左上、2ndR はグラフの右下に位置する傾向がみられた（図 13-図 16）。Kashiwagi et al.(2019a)は対戦相手の打球のスピードが速くなるほどそれに対するストロークはスピードが遅く回転数が少なくなることを明らかにしている。今回もそれに近い結果が見られたが明確な差は見られなかった。それ以上に、選手は 1st サービスに対してどのような打球を打つか、2nd サービスに対してどのような打球を打つかというように、対戦相手の打球の質よりもその状況で自分の打つ打球を調整しているのではないかと考える。Hizan et al. (2011)は、プロ選手とジュニア選手の試合を統計的に比較したところ、プロ選手はジュニア選手に比べて 2ndR のポイント獲得率が有意に高かったことを報告している。また、テニス指導教本（日本テニス協会編、2023）においても 1st サービスに対してはまず返球すること、2nd サービスに対しては積極的に攻撃することが重要だと言われており、このような戦術的な考えを多くのプロ選手は持っているため今回のように 2ndR のスピードが 1stR に比べて速くなったのではないだろうか。

第四項 サービスコース別のリターンのスピード及び回転数

サービスコース別の 1stR, 2ndR のスピードに関して、デュースサイドでは有意な差は見られなかったが、アドバンテージサイドに関して、A センター、A ボディのスピードが A ワイドに比べて有意に速いという結果が示された (図 17, 図 18). 前述したが、テニスでは対戦相手のバックハンドを狙うことは基本的な戦略である。今回の結果では、アドバンテージサイドでは対戦相手のバックハンドを狙うことでリターンのスピードが遅くなるという結果が見られたためこの戦略が有効であることが考えられるが、デュースサイドにおいてはバックハンドを狙う有効性はリターンのスピードの面では見られなかった。本節第二項(2)でも述べたが、デュースサイドからバックハンドを狙うサービスに比べてアドバンテージサイドからバックハンドを狙う打球は角度をつけやすくリターン側の移動距離も大きくなる。アドバンテージサイドの BHR ではデュースサイドに比べて 2nd サービスで攻めることが難しくなりこのような結果になったのではないかと考える。

サービスコース別の 1stR の回転数に関して、D ワイドコースのリターンの回転数が D ボディ、D センターよりも有意に多くなった (図 19). またアドバンテージサイドにおいては有意な差は見られなかった。研究課題 II では、1st サービスにおいて D ワイドコースはその他のコースに比べてスピードが遅く、回転数が多い傾向があることを明らかにした。このことから D ワイドコースでは他のコースに比べて時間的な余裕があることが考えられる。そのため、他のコースでは時間的な余裕がないためブロックリターンのようなボレーに近い打ち方の打球になりやすいのに対し、D ワイドコースでは時間があるためラリー時のストロークに近い打ち方になり回転数が他のコースより多くなったのではないかと考える。さらに D ワイドコースではスライスサーブが打たれることが多く (Sato et al., 2022), コートの外からボールを持ち上げて打つ必要があるため、速いスピードの打球を用いることが難しく回転数が他のコースより多くなったのではないかと考える。

サービスコース別の 2ndR の回転数に関して、D センター及び、A センターの回転数が他のコースに比べて有意に低いという結果が示された (図 20). テニスではネットの中央が低くなっており、センターセオリーという基本的にはネットの中央を通す打球が有効であるというような戦略がある (堀内, 2012). ネットの中央が低くなっているためセンターコースは他のコースに比べてネットミスをするリスクが低く、速いボールも打ちやすい。そのため、これらのコースではスピードの速いリターンを多く用いたため回転数が少なくなったのではないかと考えられる。

これらの結果から、サービスのコースによってもリターンのスピード及び回転数が異なる傾向がみられることが明らかになり、リターンの分析を行ううえでサービスのコースを考慮することの重要性が示唆された。

第五節 まとめ

本研究では、プロテニス選手を対象に試合時のリターンのスピード、回転数及びサービスとリターンの打球の関係性を明らかにした。リターンでのスピードと回転数において有意な相関はみられず、リターンは比較的グラウンドストロークに近い特徴を示した。

また、サービスのスピード及び回転数に対するリターンのスピード及び回転数の関係について、サービスのスピード及び回転数とリターンのスピード及び回転数に相関はみられなかったが、**2ndR**は**1stR**に比べてスピードが有意に高くなるという特徴がみられた。このことから、リターンにおいては特に**2nd**サービスで攻撃的な打球を選択しているという特徴がみられた。

また、**FHR**と**BHR**を比べたところ、デュースサイドとアドバンテージサイドで異なる特徴がみられた。デュースサイドにおいてはスピードにおいて**FHR**と**BHR**で差が見られなかったが、回転数に関しては**FHR**の回転数が多い結果がみられた。それに対し、アドバンテージサイドではスピードにおいては**FHR**が**BHR**に比べてスピードが速い結果が見られたが、回転数に関しては差がみられないという結果を示した。

サービスコース別のリターンのスピード及び回転数ではコースに応じて異なる特徴を示し、コートサイドからのリターンはスピードが遅く、回転数が多くなりやすいのに対し、コートセンターからのリターンはスピードが速く回転数が少なくなりやすいという特徴を示した。

第七章 研究課題Ⅳ

大学生テニス選手におけるサービス・サービスリターンの スピード及び回転数

本研究は、以下の学会発表および未公開資料をまとめたものである。

【学会発表】

柏木涼吾・村上俊祐・岡村修平・大澤啓亮・中村和樹・高橋仁大（2022）テニスのリターンにおけるスピード及び回転数，第34回テニス学会。

第一節 目的

サービスとサービスリターンは、テニスにおいて最も重要な 2 つの技術であると言われている (Furlong, 1995; Pestre, 1998; Cahill, 2002; Unierzyski and Wieczorek, 2004). Reid et al. (2010) は、2nd サービスでのポイント獲得率と 2nd サーブに対するリターンのポイント獲得率が選手の世界ランキング変動の 52%を占めていたと報告しており、また、高橋ほか (2006) はテニスの試合においてサービス・サービスリターンだけでポイントが終わる割合は 30%を占めていたことを明らかにしている。これらのことからサービス及びサービスリターンがテニスの試合で勝つため、プロテニス選手として活躍するために不可欠な技術であることが示唆される。

研究課題 I・II・IIIでは ATP チャレンジャートーナメントに出場したプロテニス選手のサービス・サービスリターンのスピード及び回転数を明らかにした。第二章でも述べたが、現在ホークアイで測定された世界トップテニス選手のサービスのデータは多く取り上げられてきているが、下部大会である ATP チャレンジャーツアーや ITF ワールドツアーに出場している選手や、プロ選手でない大学生や高校生、ジュニア選手の打球データはほとんど明らかになっていない。プロ選手を目指す大学生選手にとっては下部大会のレベルでまず勝つ必要があるため、世界トップ選手より下のレベルである選手とどこに違いがあるのかを明らかにすることが大学生選手がより上のレベルに到達するために重要である。そこで本章では、大学生テニス選手のサービス・サービスリターンのスピード及び回転数を明らかにし、研究課題 I・II・IIIで明らかにした ATP チャレンジャートーナメントに出場したプロテニス選手のサービスのスピード及び回転数との比較を行うことを目的とした。

第二節 方法

第一項 調査対象

対象とした大学生テニス選手は地方学生テニス大会に出場した右利きの選手 6 名で、ハードコートで行った練習試合 9 試合を分析対象とした。また、比較対象としたプロテニス選手は研究課題 I, II, III と同様の選手及び試合であった。

第二項 測定方法

研究課題 I・II・III と同様にトラックマン及びビデオカメラを設置し、測定を行った。

第三項 測定項目

測定項目は以下の 4 項目とした。

- ・ 1st サービスのコース別でのスピード及び回転数
- ・ 2nd サービスのコース別でのスピード及び回転数
- ・ 1stR と 2ndR のスピード及び回転数
- ・ FHR と BHR のスピード及び回転数

第四項 コースの分類

サービスコースの分類は研究課題 I・II・III と同様の方法で行った (図 1)。

第五項 統計処理

統計処理には IBM SPSS Statistics バージョン 26 を用いた。リターンにおけるスピードと回転数の関係、サービスのスピード及び回転数とリターンのスピードの関係については Pearson の積率相関係数を算出した。1stR と 2ndR のスピード及び回転数、FHR と BHR のスピード及び回転数の比較については、二要因分散分析を用いて、多重比較には Tukey の多重比較検定を用いた。サービスコース別のリターンのスピード及び回転数の比較は、対応のない一元配置分散分析により有意性を確認したのち、多重比較には Tukey の多重比較検定を用いた。

第三節 結果

第一項 サービスのスピード及び回転数

(1) 大学生の 1st サービスにおけるコース別のスピード及び回転数

大学生の 1st サービスにおけるコース別のスピードに関して、D ワイドは D センターに比べてスピードが有意に遅く、A ワイドは A センターに比べてスピードが有意に遅いという結果が示された。また、回転数に関して、D ワイドの回転数が D センターに比べて有意に多く、A ワイドの回転数が A センターに比べて有意に多いという結果が示された（表 38）。

表 38 1st サービスにおけるコース別のスピード及び回転数

	1stサービススピード (km/h)					
	全コース	Dワイド	Dセンター	Aセンター	Aワイド	
スピード (km/h)	160.3±15.6	158.4±10.6 *	165.2±13.2	165.8±9.6	* 153.8±17.8	
回転数(rpm)	2165±907	2418±679 *	1946±976	1970±749	* 2377±1081	

(2) 大学生の 2nd サービスにおけるコース別のスピード及び回転数

大学生の 2nd サービスにおけるコース別のスピードに関して、D ワイドは D センターに比べてスピードが有意に速く、A センターは A ワイドに比べてスピードが有意に速いという結果が示された。また、回転数に関しては、A ワイドの回転数が A センターの回転数に比べて有意に多いという結果が示された（表 39）。

表 39 2nd サービスにおけるコース別のスピード及び回転数

	2ndサービス					
	全コース	Dワイド	Dセンター	Aセンター	Aワイド	
スピード (km/h)	135.2±12.9	141.7±13.5 *	133.4±9.3	148.8±14.9	* 127.7±9.3	
回転数(rpm)	3514±829	3532±1083 n.s.	3405±9.4	2841±509	* 3645±527	

第二項 リターンのスピード及び回転数

(1) デュースサイドにおける大学生のリターンのスピード及び回転数

デュースサイドのリターンのスピードにおいてサービス要因 (1stR or 2ndR), リターン要因 (FHR or BHR) の二要因における二要因分散分析を行った。その結果, サービス要因の主効果が有意であり, 2ndR のスピードが速いということが明らかになった。リターン要因では有意な差は見られず, また交互作用も見られなかった (表 41)。

デュースサイドのリターンの回転数においても同様にサービス要因 (1stR or 2ndR), リターン要因 (FHR or BHR) の二要因における二要因分散分析を行った。その結果, サービス要因の主効果が有意であり, 2ndR の回転数が多いということが明らかになった。また, FHR or BHR の主効果が有意であり, FHR の回転数が BHR に比べて多いということが明らかになった。さらに, 交互作用も見られた (表 43)。

(2) デュースサイドにおける大学生とプロ選手のリターンのスピード及び回転数の比較

デュースサイドのリターンのスピードに関して, FHR, BHR どちらにおいても 2ndR のスピードが大学生選手はプロ選手に比べて遅い傾向が見られた。回転数に関しては, 2nd サービスに対する FHR の回転数がプロ選手に比べて大学生選手の方が多くなる傾向が見られた (表 31, 表 33, 表 41, 表 43)。

表 40 デュースサイドにおけるリターンのスピードの二要因分散分析の結果

変動要因	自由度	平方和	平均平方和	F値	有意確率	Pr(>F)
サービス要因	1	1013	1013.3	7.63	0.01	**
リターン要因	1	102	102.4	0.77	0.38	
交互作用	1	115	114.7	0.86	0.35	
誤差	193	25643	132.9			

表 41 デュースサイドにおけるリターンのスピードの平均値及び標準偏差 (km/h)

	1stR	2ndR
FHR	100.3±14.7	102.7±11.2
BHR	97.5±10.7	103.4±9.3

表 42 デュースサイドにおけるリターンの回転数の二要因分散分析の結果

変動要因	自由度	平方和	平均平方和	F値	有意確率	Pr(>F)
サービス要因	1	1986	1986	13.31	0.00	***
リターン要因	1	3105	3105	20.81	0.00	***
交互作用	1	1457	1457.4	9.77	0.00	**
誤差	180	26860	149.2			

表 43 デュースサイドにおけるリターンの回転数の平均値及び標準偏差 (rpm)

	1stR	2ndR
FHR	1274±616	1701±560
BHR	915±318	1019±309

(3) アドバンテージサイドにおける大学生のリターンのスピード及び回転数

アドバンテージサイドのリターンのスピードにおいてサービス要因 (1stR or 2ndR), リターン要因 (FHR or BHR) の二要因における二要因分散分析を行った。その結果サービス要因の主効果が有意であり, 2ndR のスピードが速いということが明らかになった。また, FHR or BHR の主効果が有意であり, FHR のスピードが BHR に比べて速いということが明らかになった。さらに交互作用も見られた (表 45)。

アドバンテージサイドのリターンの回転数においても同様にサービス要因 (1stR or 2ndR), リターン要因 (FHR or BHR) の二要因における二要因分散分析を行った。その結果, サービス要因の主効果が有意であり, 2ndR の回転数が多いということが明らかになった。また, FHR or BHR の主効果が有意であり, FHR の回転数が BHR に比べて多いということが明らかになった。さらに, 交互作用も見られた (表 46)。

(4) アドバンテージサイドにおける大学生とプロ選手のリターンのスピード及び回転数の比較

アドバンテージサイドのリターンのスピードに関して, BHR のスピードが大学生選手はプロ選手に比べて遅い傾向が見られた (表 35, 表 45)。回転数に関して, 2ndR のフォアハンドが大学生選手はプロ選手に比べて速い傾向が見られた (表 37, 表 46)。

表 44 アドバンテージサイドにおけるリターンのスピードの二要因分散分析の結果

変動要因	自由度	平方和	平均平方和	F値	有意確率	Pr(>F)
サービス要因	1	1761667	1761667	9.28	0.00	**
リターン要因	1	9695044	9695044	51.05	0.00	***
交互作用	1	1031194	1031194	5.43	0.02	*
誤差	202	38363045	189916			

表 45 アドバンテージサイドにおけるリターンのスピードの平均値及び標準偏差 (km/h)

	1stR	2ndR
FHR	97.6±13.6	112.6±15.2
BHR	93.0±10.6	95.6±9.4

表 46 アドバンテージサイドにおけるリターンの回転数の平均値及び標準偏差 (rpm)

	1stR	2ndR
FHR	1261±435	2162±754
BHR	1140±478	1387±825

第四節 考察

第一項 サービスのスピード及び回転数

(1) 1st サービスにおけるコース別のスピード及び回転数

大学生の 1st サービスにおけるコース別の特徴を明らかにしたところ、デュースサイドに関しては研究課題 I におけるプロ選手と同様（表 9, 表 10）に D ワイドが D センターに比べてスピードが有意に遅く、回転数が有意に多いという結果が示された（表 8, 表 38）。しかし、アドバンテージサイドに関して、プロ選手においては A ワイドは A センターに比べて回転数が多く、スピードは変わらないという結果であったのに対し、大学生選手においては A ワイドは A センターに比べてスピードが速く、回転数が少ないという結果が示された（表 8, 表 38,）。研究課題 II におけるプロ選手のコース別のポイント取得率では、A ワイドはスピードが速く回転数が少ないほどポイント取得率が高くなることが明らかになった（表 27, 表 28）。今回対象とした大学生選手はプロ選手に比べて身長が低い。そのため、身長が高いプロ選手に比べて A ワイドコースにおいてスピードが速い打球をコントロールすることが難しく、スピードが遅く、回転数の多い打球になったのではないかと考えられる。

1st サービスにおけるコース別のスピードを大学生とプロ選手で比較したところ、全てのコースにおいて大学生のサービスのスピードが研究課題 I におけるプロ選手に比べて遅いという結果が示された（表 8, 表 38）。このことから、大学生選手においてスピードの速いサービスが打てるようになることはより上の競技レベルで勝つ上で非常に重要な要素であることが考えられる。

大学生の 1st サービスにおけるコース別の回転数を研究課題 I におけるプロ選手と比べると、D ワイド及び A センターでは大学生選手のサービスの回転数が研究課題 I におけるプロ選手に比べて有意に少ないことが明らかになった（表 8, 表 38）。研究課題 II において、D ワイドでは回転数が多いほどポイント取得率が高くなり、A センターではスピードが速いかつ回転数の多いサービスがポイント取得につながることを明らかにした（表 22, 表 25, 表 26）。また、村上ほか（2016）は競技レベルが上がるごとによりスピードが速く、回転数の多い打球を打つことができることを明らかにしている。これらのことから、大学生選手はこれらのコースではスピードに加えて回転数の多いサービスを打てるようになることが必要であると考えられる。また、D センター及び A ワイドでは大学生選手のサービスの回転数が研究課題 I におけるプロ選手に比べて有意に多く、D センター及び A ワ

イドでは、大学生選手はプロ選手に比べて回転数の多いサービスを多用していることが示唆された（表 8, 表 38）。研究課題Ⅱにおいて、これらのコースではより回転数が少なくスピードの速い打球がポイント取得率につながることが示唆された（表 23, 表 24, 表 27, 表 28）。また、村田ほか（2018）は、女子選手の結果からであるが、1st サービスの IN 率はゲーム取得率に影響は少なく、サービスのみでのポイント取得を高めることの重要性を示唆している。本研究において、それぞれの IN 率を比較すると、研究課題Ⅰにおけるプロ選手の 1st サービスの IN 率は 65.1%であったのに対し（表 4, 表 5）、大学生選手の 1st サービスの IN 率は 69.0%であり、大学生選手の方が高い値を示した。これらのことから、大学生選手は D センター及び A ワイドコースにおいて回転数の多いサービスでコートに入れる確率を高めることよりも、フォルトをする確率が高くなるとしても、よりスピードが速く、回転数の少ないサービスを多く用いることが必要であると考えられる。

（2）2nd サービスにおけるコース別のスピード及び回転数

大学生の 2nd サービスにおけるコース別の特徴を明らかにしたところ、デュースサイドにおいては研究課題Ⅰにおけるプロ選手と同様に D ワイドのスピードが D センターに比べて有意に速い特徴を示した（表 39）。アドバンテージサイドにおいてはスピードに関しては研究課題Ⅰにおけるプロ選手と同様に A センターのスピードが A ワイドに比べて有意に速いという結果を示したが、回転数に関して A センターが A ワイドに比べて有意に少ないという結果が示された（表 11, 表 39,）。このことから、A センターではよりリスクを抑えて回転数の多いサービスを用いてもよいのではないかと考えられる。

大学生の 2nd サービスにおけるコース別のスピード及び回転数を研究課題Ⅰにおけるプロ選手と比べると、1st サービスと同様に全てのコースにおいて大学生のサービスのスピードがプロ選手に比べて遅いという結果が示され（表 11, 表 39）。また、D ワイド以外の全てのコースで大学生選手のサービスの回転数がプロ選手に比べて少ないという結果が示された（表 11, 表 39）。これらのことから、特に 2nd サービスにおいてはプロ選手と大学生選手の技術レベルが顕著であり、2nd サービスの技術を向上させる取り組みが競技レベルを向上させるうえで重要であることが示唆される。

第二項 リターンのスピード及び回転数

（1）デュースサイドにおけるリターンのスピード及び回転数

デュースサイドにおける大学生のリターンのスピードに関しては研究課題Ⅲにおけるプロ選手と同様に FHR と BHR で有意な差は見られなかった (表 41)。回転数に関しては、FHR の回転数が BHR に比べて有意に多いという結果が示された (表 43)。研究課題Ⅲにおけるプロ選手に関しては、2ndR において FHR と BHR の回転数で差が見られないという結果であったが (表 32)、概ねスピードと回転数で同様の傾向が見られたと考えられる。

デュースサイドにおける大学生のリターンのスピード及び回転数を研究課題Ⅲにおけるプロ選手と比べると、デュースサイドにおける 2nd サービスに対する BHR において、大学生選手のスピードが遅いという結果が示された (表 31, 表 41)。このことから、プロ選手は大学生に比べて 2nd サービスに対して BHR で攻撃的な打球を多く打っていることが考えられる。テニスでは一般的に対戦相手のバックハンドを狙うことがセオリーであると言われており、守備的な状況になりやすい 2nd サービス時では特に対戦相手のバックハンドを狙うことが多くなる。本研究の結果から、プロ選手の競技レベルでは、2nd サービスに対して BHR でスピードが速く回転数の多い打球を用いて攻めることが重要であることが示唆された。

(2) アドバンテージサイドにおけるリターンのスピード及び回転数

アドバンテージサイドにおける大学生の 2ndR が 1stR に比べてスピードが有意に速く回転数が有意に多い、また、FHR が BHR に比べて有意にスピードが速く、回転数も多いという結果が示された。このことから、2ndR 及び FHR で攻撃的なショットを選択していることが示唆される。それに対し、プロ選手に関しては FHR と BHR で有意な差は見られなかった。テニス指導教本 (日本テニス協会編, 2023) では運動連鎖を用いるストロークの打ち方とリターンは異なり、ブロックリターンを代表するような腕と体を一体化させたボレーに近い打ち方になると言われている。そのため、このような打ち方では回転数が少なくなるのが一般的である。しかし、本研究の結果から、大学生選手は 2nd サービスに対する FHR ではストロークに近い打ち方をしていると考えられる。これは、大学生選手の 2nd サービスのスピードがプロ選手に比べて遅く、時間的な余裕があったためこのような結果になったのではないだろうか。

アドバンテージサイドに関して、BHR において大学生のリターンのスピードが研究課題Ⅲにおけるプロ選手に比べて遅いという結果が示された (表 35, 表 45)。このことから、

アドバンテージサイドにおけるリターンにおいて、プロ選手は BHR でスピードの速い打球を多く用いていることが明らかになった。一般的にテニスにおいて対戦相手のバックハンドを狙うことがセオリーである。しかし、プロ選手においては BHR も BHR とほとんど変わらないスピードでリターンをしていた。これは大学生選手とプロ選手の大きな違いであり、大学生選手にとっての課題であると考えられる。

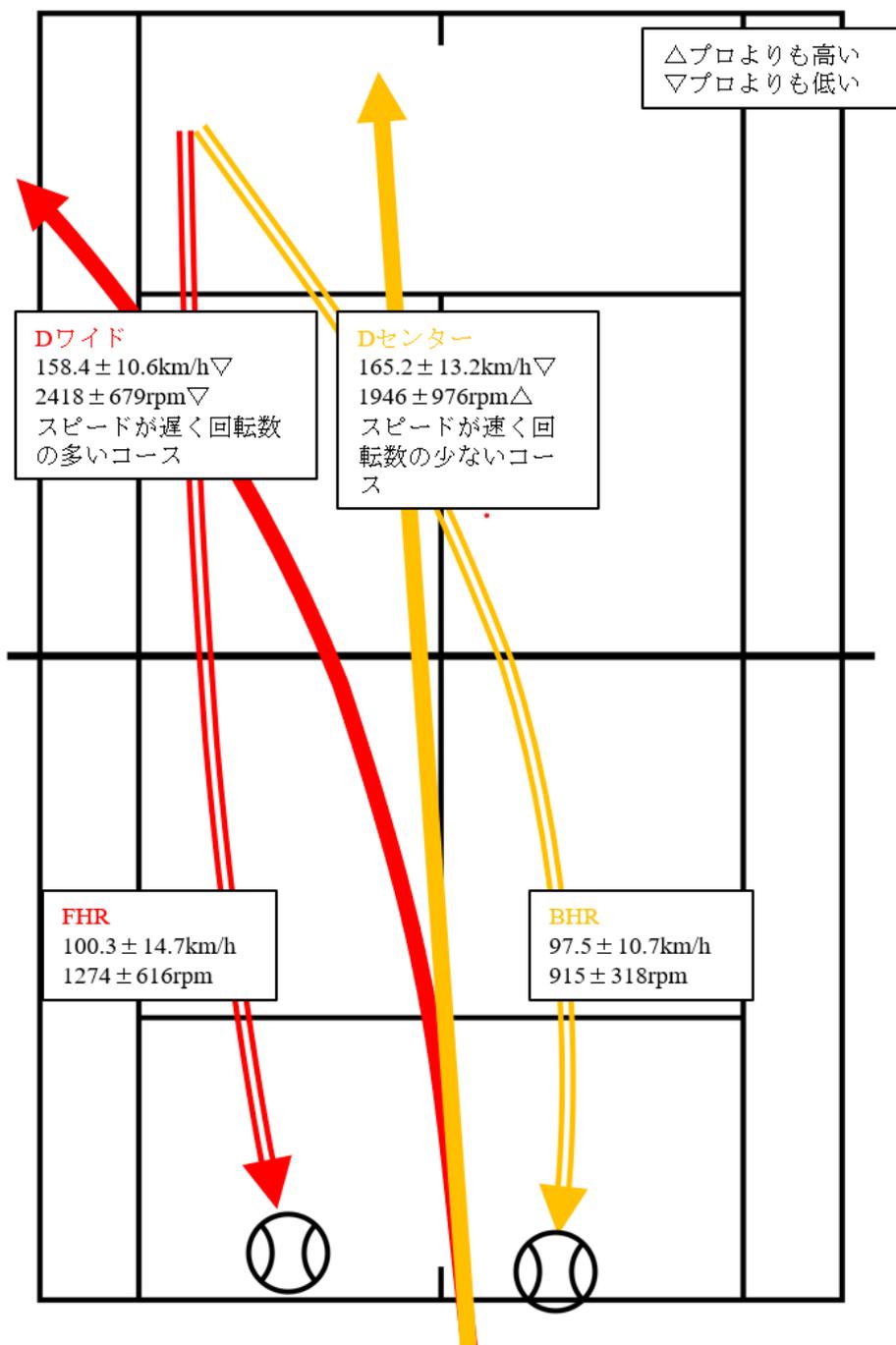


図 23 大学生選手のデューサイドにおける 1stR のスピード及び回転数の特徴図

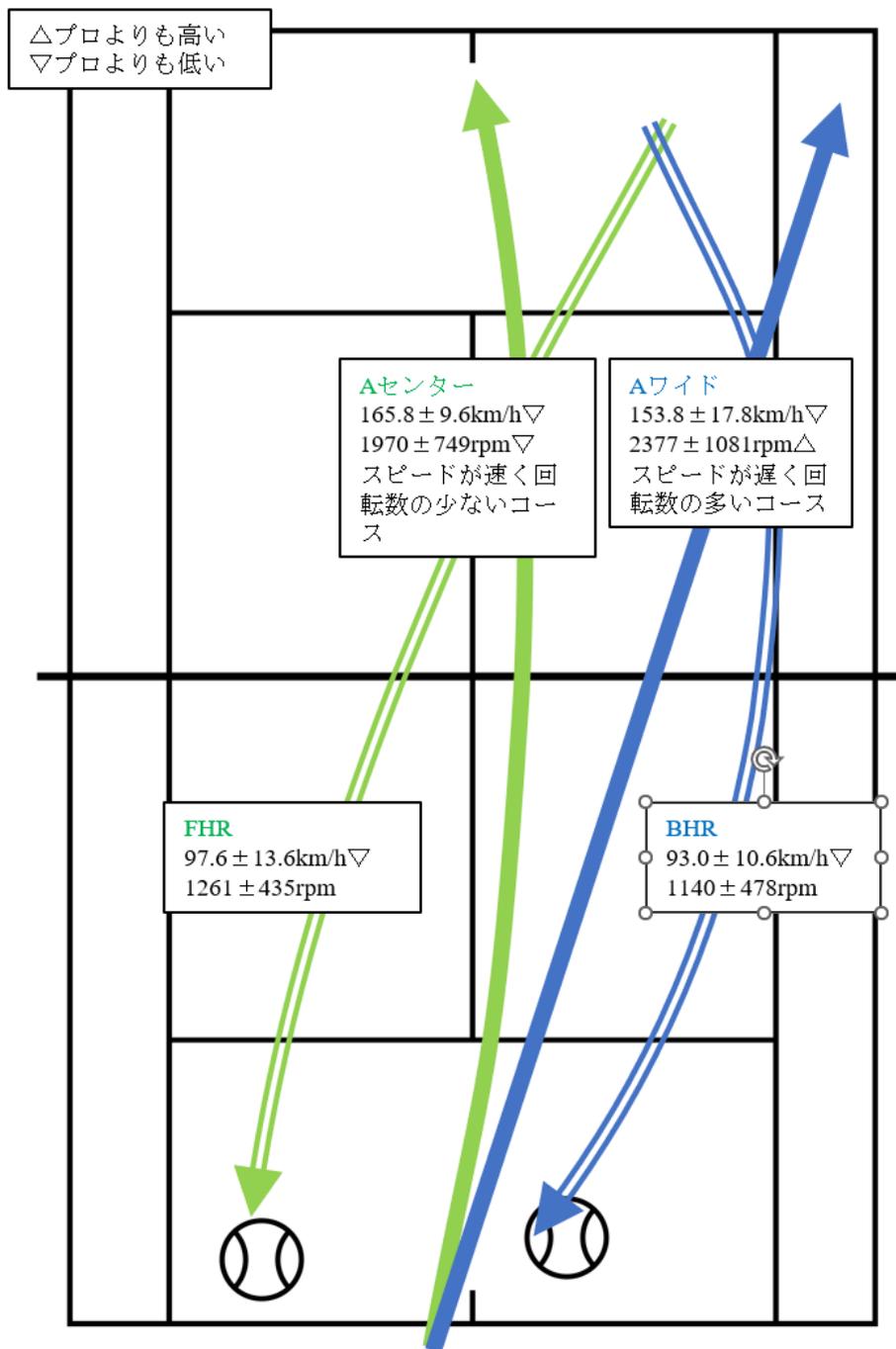


図 24 大学生選手のアドバンテージサイドにおける 1stR のスピード及び回転数の特徴
 図

第五節 まとめ

本研究課題では大学生選手のサービス及びリターンのスピード及び回転数を明らかにし、プロ選手と比較を行った。サービスに関しては、1st サービス、2nd サービスともに大学生選手はプロ選手に比べてスピードが遅いという結果が示された。回転数において、コースによって回転数を多くした方が良いコース、少なくした方が良いコースそれぞれで差が見られた。リターンに関しては、プロ選手の方がスピードが速い傾向が見られ、特にバックハンドリターンにおいてより攻撃的に攻めることができるようになることが大学生選手に必要な要素であることが示唆された。本研究の結果は、競技レベルに差があるためこのような差があるのは当然の結果ではあるが、大学生選手において特にスピードが速い打球を用いた方が良いコース、回転数が多い打球を用いた方が良いコースなど、それぞれのコースにおける有効な打球を理解すること、リターンにおいては、プロ選手のように1st サービスに対してはとにかく返球する、2nd サービスに対してはスピードの速い打球を用いるといった戦術的な要素などを理解し、練習や試合での戦略に活かすことができると考える。

第八章 総括論議

第二章で述べたように、テニスにおけるゲームパフォーマンス分析は益々行われるようになっており、競技におけるゲームパフォーマンス分析の重要性も認知され始めている（日本テニス協会編，2023）。Reid et al. (2010)は、2nd サービスでのポイント獲得率と2nd サーブに対するリターンのポイント獲得率が選手の世界ランキング変動の52%を占めていたことを報告している。また、Filipic, et al. (2008)は男女のプロテニス選手において様々なスタッツで勝者と敗者の間で統計的な有意差があることを報告しており、性別に関係なく、勝者はダブルフォルト、アンフォースドエラーが少なく、1st サービスのIN率、ネットアプローチでのポイント獲得率、1st サービス、2nd サービスのポイント獲得率、リターンのポイント確率で対戦相手を上回っていたことを明らかにしている。Hizan et al. (2011)はプロテニス選手とジュニア選手を比較するゲームパフォーマンス分析を行い、プロ選手は1st サービスに対するリターンのポイント獲得率が低いこと、また、ダブルフォルトが少なく、1st サービスのポイント獲得率が高く、2nd サービスリターンのポイント獲得率が高いことを明らかにしている。こうしたゲームパフォーマンス分析に、打球のスピード、回転数というさらに詳細な情報を加えることで、より選手やコーチに有用な情報を提供できると考える。

また、テニスは対戦相手の打球に大きく影響を受ける競技である。しかし、これまでのゲームパフォーマンス分析では対戦相手の打球は考慮されていないものがほとんどである。本研究ではサービスとリターンそれぞれの打球の分析だけにとどまらず、これらがどのように影響しあっているかについても明らかにでき、これまでになく知見が得られたと考える。

第一節 新たな指針となるサービスデータの提供

研究課題 I 及び II の結果から、ATP チャレンジャートーナメントに出場するレベルの選手のサービスのスピード及び回転数を明らかにできた。また、同様に、大学生選手の打球のスピード及び回転数についても明らかにした。第二章でも述べたが、現在のテニスのスピード、回転数に関わるゲームパフォーマンス分析は、多くがホークアイによって測定されたデータを用いたものである。ホークアイが導入されている大会は ATP ワールドツアー以上のグレードの大会で、そこに到達するためには下部大会である ATP チャレンジャーツアーや ITF ワールドツアーで勝ち上がり、世界ランキングを上げなければならない。そのため、プロテニス選手を目指す大学生選手や高校生選手はまず下部大会で勝つことを目標にしなければならない。そのような選手達に、本研究のデータは有用な指針になると考える。本研究で得られたデータと先行研究で示されている世界トップ選手及び日本トップ選手のデータを比べると図 25 のような違いがみられた。本研究で対象としたプロ選手は先行研究に比べて対象選手が多いため（本研究プロ選手 14 名、本研究大学生選手 6 名、日本トップ選手 1 名、世界トップ選手 7 名）傾きに異なる傾向がみられるが、村上ほか（2016）や Sato et al. (2021) が指摘するように、打球スピードと回転数の分布が右上に行くほど打球のスキルが高いことを示し、この指標から選手の競技レベルを評価できる可能性を示唆している。先行研究や本研究のデータをもとに、選手自身のサービスがどこに位置しているのかを明らかにすることでトレーニングや練習の方向性を決定することができると考える。

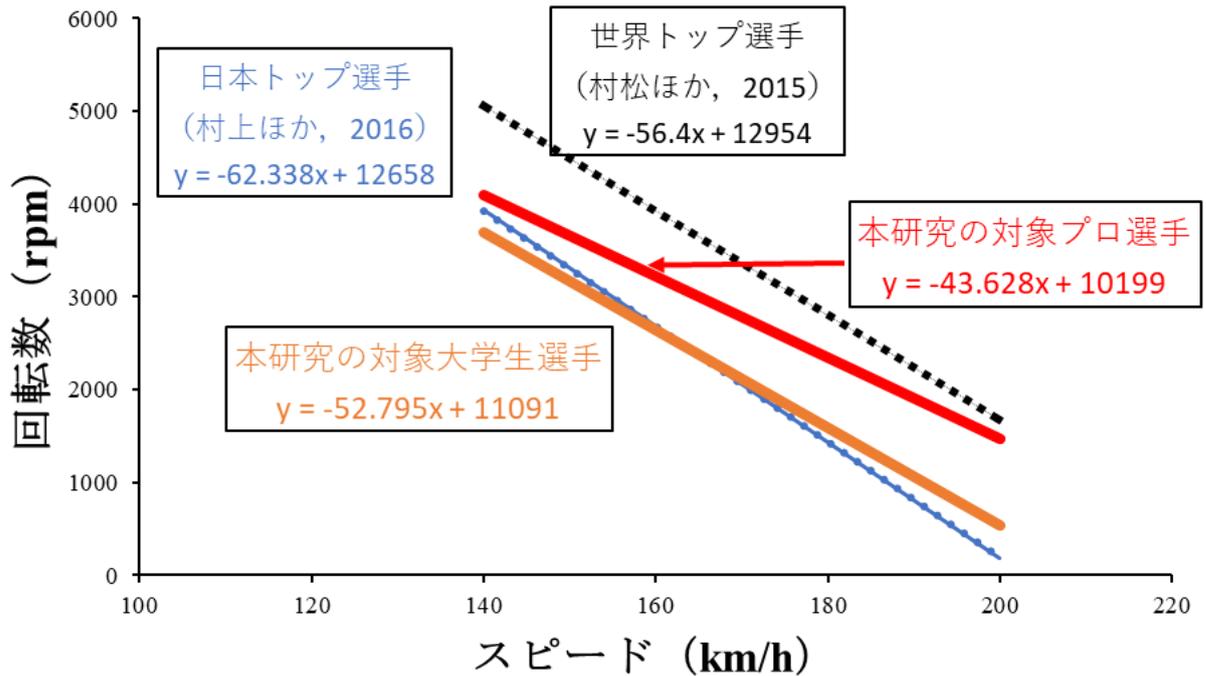


図 25 本研究の対象選手及び日本トップ選手，世界トップ選手のスピードと回転数の関係（村松ほか，2015；村上ほか，2016）

第二節 リターンのスピード及び回転数とサービスとリターンの関係性

研究課題Ⅲでは ATP チャレンジャートーナメントに出場した選手のサービスリターンのスピード及び回転数を「1stR と 2ndR」，「FHR と BHR」サービスのスピード及び回転数とリターン，「サービスコースとリターン」など様々な観点から分析した。リターンにおける打球のスピード及び回転数に関して，サービスと大きく異なる結果を示したのは当然ながら，ストロークとも異なる特徴がみられた。特に，先行研究におけるストロークのスピード及び回転数と比較すると（Kashiwagi et al., 2019a）リターンは回転数が少なく，また相手の打球のスピード，回転数以上にその状況（1st サービスに対するリターンなのか 2nd サービスに対するリターンなのか）で打球のスピードに大きな違いが生じることが示された。これまでにテニス選手のゲーム中のリターンのスピード及び回転数を明らかにした研究はほとんどないため，競技現場に有用なデータを提供できたのではないかと考える。また，サービスとリターンの関係性について，スピード及び回転数に関しては有意な相関は見られず，サービスのスピード及び回転数という要素よりも，1st サービスに対してどのような打球を打つか，2nd サービスに対してどのような打球を打つかというように，

対戦相手の打球の質よりもその状況で自分の打つ打球を調整していることが示唆された。

しかし、対戦相手からの影響をほとんど受けないクローズドスキルであるサービスに対し、対戦相手のサービスを返球するサービスリターンでは、影響を受ける要素が非常に多く、分析に際して本来はより多くの事象を考慮しなければならない。実際に本研究で分析した要素以外に「リターンの球種」「サービスの球種」「リターンの落下位置」「リターナーの立ち位置」「サーバーの立ち位置」「打球状況」（北村ほか，2017）などここでは挙げきれない要素が多く存在する。しかし、これら全てを網羅することは実際難しいのが現状である。そのため、ゲームパフォーマンス分析を行う際は、アナリストを含め、選手、コーチがこのような事実を考慮しながら、適切な情報を選択し、競技に活かせるゲームパフォーマンス分析を行うことが重要になる。

第三節 大学生選手とプロ選手の比較

研究課題Ⅳでは、大学生選手のゲーム中のサービス及びサービスリターンのスピード及び回転数を測定し、研究課題Ⅰ～Ⅲで示した ATP チャレンジャートーナメントに出場した選手と比較を行った。これによって、大学生選手とプロ選手でどのようなところに差があるのかを明らかにすることができ、大学生選手が取り組むべき課題を明確にすることができた。このことから、スピード及び回転数を踏まえたゲームパフォーマンス分析を行うことで、より現場に活かしやすいデータを提供することができることが示唆された。

第四節 ゲームパフォーマンス分析における留意点の顕在化

研究課題Ⅰ及びⅡではサービスのスピード及び回転数を様々な観点から分析した。特に、サービスのコースによってスピード及び回転数が異なる傾向が見られ（図 6，図 7，図 8，図 9），テニスに携わる方々が感覚として、そうではないか、と感じていた事象を実際に数値として表すことができ、実践現場及び学術現場どちらにおいても有用な知見を提供できたのではないかと考える。これまでのテニスのサービスのスピード及び回転数に関わるゲームパフォーマンス分析では、多くの研究がコースに関しては考慮せず、試合全体での打球を分析対象としていた（Reid et al., 2016; Mecheri et al., 2016; 村上ほか，2020b; Vives et al., 2022）。本研究でサービスのコースによって異なる傾向が見られたため、今後サービスの分析をする上ではコースを踏まえた分析をすることが、より正確で

信頼できる情報を提供するための重要な要素となることを示すことができたと考える。また、研究課題Ⅲ及びⅣで分析したリターンについても、サービスコース、サービスサイド、フォアかバックかといった要素それぞれを分けて分析を行ったところ、異なる傾向が見られた。ゲームパフォーマンス分析では様々な条件や状況の中から適切な情報を選手やコーチに提供する必要がある。テニスにおけるサービス以外の分析はもとより、テニス以外の競技においてもゲームパフォーマンス分析を行う際は様々な要因を考慮し、適切な分析を行うことが今後の競技の発展に重要になってくることが本研究から顕在化できたのではないかと考える。

第九章 結論

本研究は、ATP チャレンジャートーナメントに出場したプロ選手を対象に、(1) ATP チャレンジャーレベルの選手のサービスのスピード及び回転数を様々な状況から分析し、新たな指針となるサービスデータを提供すること、(2) リターンのスピード及び回転数とサービスとリターンの関係性を明らかにすることを目的とした。また、これらのデータを基に、(3) 大学生のサービス・サービスリターンとプロテニス選手のサービス・サービスリターンを比較し、本研究のデータを活用するための施策を提案することも同様に目的とした。

まず目的の一つ目である ATP チャレンジャーレベルの選手のサービスのスピード及び回転数を様々な状況から分析し、新たな指針となるサービスデータを提供するために、研究課題Ⅰにてプロ選手のサービスのスピード及び回転数をサービスの結果、コース、カウントごとに分析し、研究課題Ⅱではサービスのスピード及び回転数とポイント取得率との関係をサービスコースも踏まえて分析した。その結果、研究課題Ⅰにおいて、1st サービスのスピードが速く、回転数が少ないほどサービスエースになりやすいが、FAULTになる可能性も高くなることが示唆された。サービスコースに着目したところ、1st サービス、2nd サービスともにコースによってスピード及び回転数に違いが見られた。また、重要なカウントにおいてプロ選手はスピードの速いサービスを用いる傾向があることが明らかになった。研究課題Ⅱではサービスコース別でのサービスのスピード及び回転数とポイント取得率との関係を分析した結果、サービスコースごとに異なる特徴が見られた。特に、デュースサイドでは、D ワイドコースはスピードが遅く、回転数が多いほどポイント取得率が高かったのに対し、D センターコースではスピードが速く、回転数が少ないほどポイント取得率が高かったという真逆の傾向を示した。これらの二つの研究課題によって、ATP チャレンジャートーナメントに出場した選手のサービスのスピード及び回転数を明らかにし、競技現場においては選手の指標となるデータを提供でき、研究現場においては、特にゲームパフォーマンス分析に関して、全ての打球データを一括りに分析を行うことの危険性を示唆し、コースや状況から打球データを分析することの重要性を示すことができたと考えられる。

次に、目的の二つ目であるリターンのスピード及び回転数とサービスとリターンの関係性を明らかにするために研究課題Ⅲにて ATP チャレンジャートーナメントに出場した

プロ選手を対象にリターンのスピード及び回転数を様々な側面から分析し、またサービスとリターンの関係性をスピード及び回転数に着目して分析した。リターンに関してはこれまでにスピード及び回転数に着目して分析を行った研究がほとんどみられなかったが、本研究でリターンの打球のスピード及び回転数を様々な状況から示すことができた。また、サービス及びサービスリターンの打球の関係性について、サービスのスピード及び回転数とリターンのスピード及び回転数で相関関係はみられなかったが、1st サービスに対するリターンに比べて 2nd サービスに対するリターンのスピードが速くなりやすい傾向があること、フォアハンドリターンはバックハンドリターンに比べてスピードが速くなりやすいが、一般的に言われている傾向よりはプロ選手では差がみられなかったことを明らかにした。

目的の三つ目である大学生のサービス・サービスリターンとプロテニス選手のサービス・サービスリターンを比較し、本研究のデータを活用するための施策を提案するために研究課題Ⅳにて大学生選手のサービス、リターンのスピード及び回転数を明らかにし、これをプロ選手のサービス、リターンのスピード及び回転数と比較した。サービスに関して、大学生選手は 1st サービス、2nd サービスともにプロ選手に比べてスピードが遅く、コースに応じて必要な回転数の使い方も適切でないことが示された。また、リターンに関しても同様にプロ選手に比べてスピードが遅く、特にバックハンドリターンにおいて攻撃的な戦略を用いることと、それに伴う技術を向上させることの重要性が示唆された。これらの結果から、当然プロ選手と大学生選手では体力面、技術面どちらにおいても差があるため、特にサービスではスピード、回転数ともに大きな差がみられたが、プロ選手はバックハンドリターンで攻撃的な打球を多く選択しているという戦術的な面での示唆も得られた。このように、本研究のデータと選手の違いは体力面、技術面、戦術面などのなにが強く影響しているかを考え、これらのデータを活用することが競技力の向上につながるのではないかと考える。

以上の結果から、本研究は競技現場においては選手の指針となるサービス及びリターンのスピード、回転数を示し、これらのデータを競技にどのように活用していくかを示唆することができたと考える。また、研究現場においては、全ての打球データを一括りに分析を行うことの危険性を示唆し、コースや状況から打球データを分析することの重要性を示すことができ、本研究は競技現場及び研究現場の両方面にて活用し、選手のパフォーマンス向上やテニス競技の解明に大きく貢献することが期待される。

文献

- Antúnez, R., Hernández, F., García, J., Vaíllo, R. and Arroyo, J. (2012) Relationship between motor variability, accuracy, and ball speed in the tennis serve. *Journal of Human Kinetics*, 33:45-53.
- Bartlett, R. M., Filler, J. and Miller, S. (1995) A three- dimensional analysis of the tennis serves of national (British) and county standard male players, *Science and racket sports*, 98-102.
- Bordner, S, S. (2015) Call'em as they are: What's wrong with blown calls and what to do about them. *Journal of the Philosophy of Sport*, 42(1):101-120.
- Cahill, D. (2002) Tactics of the baseline player. *ITF Coaching and Sport Science Review*(27):3-4.
- Cohen, L. , Manion, L. and Morrison, K. (2011) *Research Methods in Education*, 7th edn, London: Routledge.
- Collins, H. and Evans, R. (2008) You cannot be serious! Public understanding of technology with special reference to “Hawk-Eye” , *Public Understanding of Science*, 17(3):283-308.
- Collins, H. (2010) The philosophy of umpiring and the introduction of decision-aid technology. *Journal of the Philosophy of Sport*, 37(2):135-146.
- Cross, R. and Lindsey, C. (2005) *Technical Tennis: Racquets, Strings, Balls, Courts, Spin, And Bounce*, Racquet Tech Pub, Vista, Calif.
- Cross, R. and Pollard, G. (2009). Grand slam men's singles tennis 1991-2009: Serve speeds and other related data, *ITF Coaching and Sport Science Review*, 16(49), 8-10.
- Cui, Y., Gómez, M.-Á., Gonçalves, B., Liu, H. and Sampaio, J. (2017) Effects of experience 39 and relative quality in tennis match performance during four Grand Slams. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 17(5):783-801.
- Cui, Y., Gómez, M.-Á., Gonçalves, B. and Sampaio, J. (2018) Performance profiles of professional female tennis players in grand slams, *PloS one*, 13(7), e0200591.
- Fernandez, F, J., Mendez, V, A., Fernandez, G, B. and Terrados, N. (2007) Match activity and physiological responses during a junior female singles tennis tournament, *British Journal of Sports medicine*, 41(11):711-716.
- Fernandez, F, F., Sanz, R, D. and Mendez, V, A. (2009) A review of the activity profile and physiological demands of tennis match play, *Strength and Conditioning Journal*, 31(4):15-26.
- Filipic, T., Filipic, A. and Berendijas, T. (2008). Comparison of game characteristics of male and

- female tennis players at Roland Garros 2005, *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, Gymnica*, 38(3):21-28.
- Filipic, A., Zecic, M., Reid, M., Crespo, M., Panjan, A. and Nejc, S. (2015) Differences in performance indicators of elite tennis players in the period 1991– 2010, *Journal of Physical Education and Sport*, 15(4):671-677.
- Fisher, K. (2019) A Repeated-measures Assessment of Golf Shot Performance at Varying Distances in Collegiate Female Golfers using the Trackman Portable Launch Monitor, *Journal of Advanced Sport Technology*, 3(1):1-7.
- Fitzpatrick, A., Stone, J. A., Choppin, S. and Kelley, J. (2019) A simple new method for identifying performance characteristics associated with success in elite tennis, *International Journal of Sports Science & Coaching*, 14(1):43-50.
- Franks, I.M. and Miller, G. (1986) Eyewitness testimony in sport, *Journal of Sport Behaviour*, 9:39-45.
- 藤井雅文・鈴木智晴・小松崇志・前田明（2020）トラッキングシステムを用いたスローイングテストの実用性の検討，*鹿屋体育大学学術研究紀要*， 58:81-86.
- Furlong, J.D.G. (1995) The service in lawn tennis: How important is it? In T. Reilly, M. Hughes and A. Lees (Eds.), *Science and Racket Sports* (pp. 266-271). London: E & FN Spon.
- ガルウェイ（2000）新インナーテニス，後藤新弥 [訳] 日刊スポーツ出版社：東京.
- Gillet, E., Leroy, D., Thouvarecq, R. and Stein, J, F. (2009) A Notational Analysis of Elite Tennis Serve and Serve-Return Strategies on Slow Surface, *Journal of Strength and Conditioning Research.*, 23(2):532-539.
- Goodwill, S. R., Capel-Davies, J., Haake, S. J. and Miller, S. (2007) Ball spin generation by elite players during match play, In: Miller, S. and Capel-Davis, J., (eds.) *Tennis science and technology 3*, International Tennis Federation, 349-356.
- Helsen, W., Gilis, B. and Weston, M. (2006) Errors in judging “offside” in association football: Test of the optical error versus the perceptual flash-lag hypothesis, *Journal of Sports Sciences*, 24(5):521-528.
- Hodgkinson, M. (2015) *Game, set and match: Secret weapons of the world’s top tennis players*, London: Bloomsbury Sport, pp11.
- 堀内昌一（2012）テニス丸ごと 1 冊戦略と戦術①，ベースボール・マガジン社：東京.

- Huang, J. and Hsu, H, J. (2019) Approximating strike zone size and shape for baseball umpires under different conditions, *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 20(2):133-149.
- Hughes, M. and Clarke, S. (1995) Surface effect on elite tennis strategy. In:Reilly, T., Hughes, M. and Lees, A. (Ed.) *Science and Racket Sports*. E & F Spon:London, pp272-277.
- Hughes, M. and Bartlett, R. (2019) What is Performance Analysis?, *Essentials of Performance Analysis in Sport*, Routledge, p:10.
- 板橋クリストファー・マリオ・村上俊祐・高橋仁大 (2022) テニスのノバク・ジョコビッチ選手のサービスゲームにおける各ポイントカウントの重要度, *スポーツパフォーマンス研究*, 14:184-191.
- 岩月猛泰・高橋正則 (2012) コートサーフェス別のファーストサービスに着目した世界一流テニス選手のゲーム分析-ロジャー・フェデラー対ラファエル・ナダルの場合-, *テニスの科学*, 20:1-12.
- 徐広孝・大澤啓亮・千葉洋平・小澤治夫 (2018) 中高生を対象としたテニスのアナリスト育成のための実践的研究 2—育成プログラムの効果検証—, *スポーツと人間: 静岡産業大学論集*, 3(2):149-156.
- Johnson, C. and McHugh, M. (2006) Performance demands of professional male tennis players. *British Journal of Sports Medicine*, 40(8):696–699.
- Johansson, U., Konig, R., Brattberg, P., Dahlbom, A. and Riverio, M. (2015) Mining Trackman Golf Data, 2015 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), 380-385.
- 海野孝・山田幸雄 (2010) 認知的セルフトークと心理的競技能力の関係: テニス・セルフトーク尺度の開発, *宇都宮大学教育学部紀要第1部*, 60: 91-106.
- 神和住純 (2009) HAWK EYE SYSTEM (鷹の眼), *法政大学体育・スポーツ研究センター紀要*, 27:7-12.
- 柏木涼吾・村上俊祐・沼田薫樹・岩永信哉・高橋仁大 (2019) テニスのサービスにおけるコースごとのスピード及び回転数, *第5回日本スポーツパフォーマンス学会*, P4.
- Kashiwagi, R., Okamura S., Murakami S. and Takahashi, H. (2019a) The ball speed and the ball spin created by ground strokes during the rallies in an actual tennis matches, *Science and Racket Sports VI*. Bangkok, Kuala Lumpur, Singapore: Samba tisk, pp:65-69.

- Kashiwagi, R., Murakami S., Numata K., Iwanaga S. and Takahashi H. (2019b) The relationship between speed and spin of serve and serve-return in tennis, *Japanese Journal of Rugby Science*, 31(2): 32.
- 柏原全孝 (2015) 判定者について：審判と判定テクノロジーをめぐる社会学的考察，*追手門学院大学社会学部紀要*，第 9 号：1-15.
- 柏原全孝 (2018) スポーツとテクノロジー：ホークアイシステムの場合，*甲南女子大学研究紀要*，第 54 号人間科学編：145-154.
- 木葉一総・和田智仁・高橋仁大 (2022) K-大学女子バスケットボール部へのゲームパフォーマンス分析ツールの導入とその効果：個人技術と戦術の理解に着目して，*鹿屋体育大学学術研究紀要*，59:37-46.
- 北村哲・高橋仁大・佐藤周平・松本健太郎・村上俊祐・前田明・西菌秀嗣 (2015) テニスの攻撃場面における ground stroke 動作の評価尺度，*テニスの科学*，23:9-18.
- 北村哲・高橋仁大・佐藤周平・松本健太郎・村上俊祐・前田明・西菌秀嗣 (2017) 打球場面に着目した男子トップテニス選手のグラウンドストロークにおける攻撃パフォーマンスの検討．*テニスの科学*，25：73-90.
- Klaus, A., Bradshaw, R., Young, W., O'Brien, B. and Zois, J. (2017) Success in national level junior tennis: Tactical perspectives, *International Journal of Sports Science & Coaching*, 12(5):618-622.
- 小屋菜穂子・北村哲・梅林薫・宮地弘太郎・道上静香・細木裕子 (2014) テニス競技のナショナルジュニア選手に求められる体力評価の検討，*テニスの科学*，22:23-32.
- 小屋菜穂子・北村哲・高橋仁大・三橋大輔 (2018) 男子エリートテニス選手におけるサーブパフォーマンスと体力との関連性-サーブスピードと回転量に着目して-，*コーチング学研究*，31(2):197-208.
- Koya, N., Kitamura, T. and Takahashi, H. (2022) The relationship between service performance and physical strength focusing on speed and spin rate in Japanese elite junior tennis players, *International Journal of Racket Sports Science*, 3(2):10-20.
- Kovacs, M.S., Strecker, E. and Chandler, W.B. (2004) Time analysis of work/rest intervals in men's collegiate tennis (abstract), *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18:364.
- Kovacs, M.S. (2007) Tennis Physiology-Training the competitive Athlete, *Sports Medicine*, 37(3):189-198.

- Kovacs, M.S. (2007) Strength & Conditioning for Tennis – A 25 year journey, *ITF Coaching and Sport Science Review*, 50:13-14.
- Kovacs, M.S. and Ellenbecker, T.S. (2011) A Performance Evaluation of the Tennis Serve: Implications for Strength, Speed, Power, and Flexibility Training. *Strength and Conditioning Journal*, 33(4): 22-30.
- 窪田辰政・山口豊・羽田碧・羽田萌・三橋大輔・山田幸雄・森脇保彦 (2012) 試合に向けての高校テニス部員への心理支援. *体育・スポーツ科学研究*, 12:49-55.
- 國部雅大 (2017) チャレンジシステムの分析によるバレーボールのレフェリーにおける判定の正確性に関する研究, *バレーボール研究*, 19(1):51-57.
- Laird, P. and Waters, L. (2008) Eye-witness recollection of sports coaches, *International Journal of Performance Analysis of Sport*, 8(1): 76–84.
- Landin, D. and Hebert E.P. (1999) The influence of self-talk on the performance of skilled female tennis players. *Journal of Applied Sport Psychology*, 11:263-282.
- レーヤー (2003) メンタル・タフネス-勝ち抜く「精神力を手に入れる」, 重川元志 [訳], ベストセラーズ: 東京.
- Liu,C., Wang, W., Liu,H. and Whng, J. (2022) Application of Hawk-Eye Technology to Sports Events, 2022 2nd International Conference on Information Technology and Contemporary Sports (TCS), 1-5.
- Ma, S, M., Liu, C.C., Tan, Y. and Ma, S.C. (2013) Winning matches in Grand Slam men's singles: An analysis of player performance-related variables from 1991 to 2008, *Journal of sports sciences*, 31(11), 1147-1155.
- Martin, C., Bideau, B., Touzard, P. and Kulpa, R. (2019) Identification of serve pacing strategies during five-set tennis matches, *International Journal of Sports Science & Coaching*, 14(1):32-42.
- Mecheri, S., Rioult, F., Mantel, B., Kauffmann, F. and Benguigui, N. (2016) The serve impact in tennis: First large scale study of big hawk-eye data, *Statistical Analysis and Data Mining*, 9(5):310-325.
- 三橋大輔・森井大治・海野孝 (2012) テニスプレーヤーにおけるフォアハンドストロークの技術, 戦術などの特徴に関する研究-競技レベルによる比較から-, *スポーツ運動学研究*, 25:29-43.

- 宮地弘太郎・伊藤雅充・宮地幸（2009）ラリーの主導権を握るショットに関する研究-世界トップレベル選手を対象として-, 関西国際大学研究紀要, 10:189-196.
- 森亭宏（2015）スポーツ競技の映像技術との関わり, 映像情報メディア学会誌, 69(4):309-312.
- 森重貴裕・石原雅彦・西中間恵・高橋仁大・清水信行（2010）バスケットボールにおけるゲーム分析サポートの実践事例, スポーツパフォーマンス研究, 2:207-219.
- Munivrana, G., Filipčić, A. and Filipčić, T. (2015). Relationship of speed, agility, neuromuscular power, and selected anthropometrical variables and performance results of male and female junior tennis players. *Collegium antropologicum*, 39(1), 109-116.
- 村上俊祐・北村哲・高橋仁大（2015）大学テニス選手のグラウンドストロークラリーにおけるボールの回転数に関する研究, テニスの科学, 23, 76-77.
- 村上俊祐・高橋仁大・村松憲・佐藤文平・佐藤雅幸・小屋菜穂子・北村哲・前田明（2016）ボール挙動測定器を用いたテニスのサービスのボール速度とボール回転数の解析の可能性, スポーツパフォーマンス研究, 8 : 361-374.
- 村上俊祐・北村哲・佐藤文平・岡村修平・柏木涼吾・前田明・高橋仁大（2020a）日本男子トップテニス選手のグラウンドストロークにおける打球データの分析-練習マッチにおける2選手の特徴-, スポーツパフォーマンス研究, 12:753-765.
- 村上俊祐・花木大樹・村松憲・三橋大輔・高橋仁大（2020b）テニスのゲームにおける打球スピードと回転数の実態：ITF 女子サーキット 10000 ドル大会に出場した選手を対象として, テニスの科学, 28:1-12.
- 村上俊祐・柏木涼吾・岩永信哉・沼田薫樹・高橋仁大（2020c）テニスにおけるサービスのパフォーマンス向上に向けた取り組みとその効果. スポーツパフォーマンス研究, 12 : 606-621.
- 村上貴聡・岩崎健一・徳永幹雄（2000）テニス選手に対するメンタルトレーニングの実施と効用性, 健康科学, 22:183-190.
- 村松憲・池田亮・高橋仁大・道上静香・岩嶋孝夫・梅林薫（2010）世界ランキング50位以内のテニスプレーヤーの国際大会におけるサービス回転量について, スポーツパフォーマンス研究, 2:220-232.
- 村松憲・高橋仁大・梅林薫（2013）テニス世界ランキング1位選手のボールの回転量について, テニスの科学, 21:98-99.

- 村松憲・高橋仁大・梅林薫 (2015a) 世界トップクラステニス選手のサービスにおける速度と回転量の関係について, *テニスの科学*, 23:1-7.
- 村松憲・高橋仁大・梅林薫 (2015b) 世界トップクラステニス選手のフォアハンドグラウンドストロークにおける速度と回転量の関係について, *スポーツパフォーマンス研究*, 7:292-299.
- 村松憲 (2017) テニスにおいて「強い」ボールの返球は「弱く」なりやすいのか? : 大学生トップクラス選手における一例からの一考察, *慶應義塾大学体育研究所紀要*, 56(1):9-22.
- 村田宗紀 (2018) WTA トーナメントにおけるトップ 100 位選手の 2018 年サービスの傾向, *スポーツパフォーマンス研究*, 10: 354-363.
- Murata, M. and Takahashi, H. (2020) Verification of the accuracy and reliability of the TrackMan tennis radar, *Journal of Sports Engineering and Technology*, 235(2), 1-7.
- Murias, J.M., Lanatta, D., Arcuri, C, R. and Laiño, F, A. (2007) Metabolic and functional responses playing tennis on different surfaces, *Journal of Strength and Conditioning and Research*, 21(1):112.
- 中川昭 (2011) ラグビーにおける記述的ゲームパフォーマンス分析を用いた研究, *筑波大学体育科学系紀要*, 34:1-16.
- 中川昭 (2019) ゲームパフォーマンス分析の意義と目的-記述分析に焦点を当てて-, *日本コーチング学会編, 球技のコーチング学*, 大修館書店: 東京, pp:112-121.
- Nasu, D. and Kashino, M. (2021) Impact of each release parameter on pitch location in baseball pitching, *Sports Medicine and Biomechanics*, 39(10):1186-1191.
- 日本テニス協会編 (2015) 新版テニス指導教本 I. 大修館書店: 東京.
- 日本テニス協会編 (2023) 新版テニス指導教本 II. 大修館書店: 東京.
- 沼田薫樹・濱田幸二・坂中美郷・柏木涼吾・高橋仁大 (2021) 女子バレーボールにおける決定木分析と項目反応理論を用いた達成基準と困難度の検討-V, LEAGUE と地方大学を対象として-, *バレーボール研究*, 23(1):18-23.
- O'Donoghue, P.G. and Ingram, B. (2001) A notational analysis of elite tennis strategy. *Journal of sports sciences*, 19(2), 107-115.
- O'Donoghue, P.G. (2001) The most important points in Grand Slam singles tennis, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72(2): 125-131.

- O'Donoghue, P.G. and Ballantyne, A. (2004) The impact of speed of service in Grand Slam singles tennis, *Science and Racket Sports III*, pp:213-220.
- O'Donoghue, P.G. (2005) Normative profiles of sports performance. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 5(1): 104-119.
- O'Donoghue, P. G. and Brown, E (2008) The Importance of Service in Grand Slam Singles Tennis, *International Journal of Performance Analysis in Sport.*, 8(3):70-78.
- O'Donoghue, P.G. (2010) *Research Methods for Sports Performance Analysis*, London:Routledge.
- O'Donoghue, P.G. (2015) *An Introduction to Performance Analysis of Sport*, London:Routledge.
- 岡村修平・高橋仁大・小笠希将・村上俊祐・柏木涼吾・野村慧介・中本浩揮 (2019) テニスにおけるサービス時のゲーム展開の予測が苦手コースのサービス・パフォーマンスに与える影響, *スポーツパフォーマンス研究*, 11:275-288.
- Pestre, B. (1998) Improving the game on fast courts through tactical situations. *ITF Coaches Review*, 14:13-15.
- Reid, M., McMurtrie, D. and Crespo, M. (2010) The relationship between match statistics and top 100 ranking in professional men's tennis, *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 10(2):131-138.
- Reid, M., Morgan, S. and Whiteside, D. (2016) Matchplay characteristics of Grand Slam tennis: implications for training and conditioning, *Journal of Sports Sciences*, 34(19), 1791-1798.
- 桜井伸二・神時努・笹川慶・塚田卓己・山崎剛盛 (2007) ボールの回転数と軌跡, *東海保健体育科学*, 29:1-16.
- Sakurai, S., Reid, M. and Elliott, B. (2013) Ball spin in the tennis serve: spin rate and axis of rotation, *Sports Biomech*, 12: 23-29.
- 佐々木万丈・青柳佳奈 (2022) 女子高校生テニス競技者の対戦相手の外見要因に対する認知と心理的特性の関係, *体育学研究*, 67:463-477.
- Sato, B., Wakatsuki, R., Kashiwagi, Y. and Funato, K. (2017) Ball velocity and spin at the impact of tennis serves: Reliability of a ball motion measurement instrument (TRACKMAN), *ITF Coaching & Sport science Review*, 73:24-26.
- Sato, B., Sato, S., Eshita, J. and Funato, K. (2021) Attempt to evaluate serve performance of Japanese top level tennis players using a doppler radar device -Focusing on the ball speed, the spin rate, and the number of trials required to achieve the task-, *Human Performance*

Measurement, 18:1-11.

佐藤陽治・江口淳一・岩嶋孝夫・久保田秀明・岩本淳・梅林薫（2003）男子プロテニス選手におけるサーブ速度変化の戦術的効果に関する一考察，学習院大学スポーツ・健康科学センター紀要, 11:1-26.

Sheets, L.A., Abrams, D.G., Corazza, S., Safran, R.M. and Andriacchi, P.T. (2011) Kinematics Differences Between the Flat, Kick, and Slice Serves Measured Using a Markerless Motion Capture Method, *Annals of Biomechanical Engineering*, 39(12), 3011-3020.

SONY (2021) ホークアイ (Hawk-Eye) 可視化のテクノロジーでスポーツの感動を支える, <https://www.sony.com/ja/SonyInfo/technology/stories/HawkEye/> (2023/3/2).

Stare, M., Zibrat, U. and Filipcic, A. (2015) STROKE EFFECTIVENESS IN PROFESSIONAL AND JUNIOR TENNIS, *Kinesiologia:Slovenica*, 21(2), 39.

Suzuki, T., Sheahan, J.P., Miyazawa, T., Okuda, I. and Ichikawa, D. (2021) Comparison of TrackMan Data between Professional and Amateur Golfers at Swinging to Uphill and Downhill Fairways, *The Open Sports Sciences Journal*, 137-143.

ショーンボーン；(財)日本テニス協会監訳（2007）ショーンボーンのテニストレーニングBOOK. ベースボール・マガジン社：東京.

橘肇（2022）スポーツパフォーマンス分析への招待：勝利の秘密を読み解く、もう1つの視点，中川昭 [監]，ブックハウス・エイチディ：東京.

高林諒一（2023）スポーツアナリティクスの世界と学術分野への応用可能性，*体力科学*, 72(1):142.

高橋仁大（1998）テニスのゲーム分析のための技術の分類についての一考察，*鹿屋体育大学学術研究紀要*, 20, 11-17.

高橋仁大・前田明・西菌秀嗣・倉田博（2006）テニスのゲームを取るために重要なカウント. *体育学研究*, 51:61-69.

高橋仁大・前田明・西菌秀嗣・倉田博（2007）プレー時間に注目したテニスのゲーム分析-ウインブルドン大会決勝の推移-, *バイオメカニクス研究*, 11(1):2-8.

Takahashi, H., Wada, T., Maeda, A., Kodama, M. and Nishizono, H. (2008) An analysis of the time duration of ground strokes in Grand Slam men's singles using the computerized scorebook for tennis, *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 8(3): 96-103.

高橋仁大・西中間恵（2013）テニスにおける Normative Performance Profiles を用いたゲ

- ーム評価 の検討, テニスの科学, 21, 1-13.
- Takahashi, H., Murakami, S., Kitamura, T., Wada, T. and Maeda, A. (2015) The Relationships between the Normative Performance Profiles and the Winning of Sets in Women's Singles Matches of Professional Tennis, *International Journal of Sport and Health Science*, 13:35-42.
- Takahashi, H., Kashiwagi, R., Okamura, S. and Murakami, S. (2019) The relationship between the ball speed and the ball spin rate of serves in collegiate male tennis players, *Science and Racket Sports VI*. Bangkok, Kuala Lumpur, Singapore: Samba tisk, pp:110-115.
- 高橋仁大 (2019) コーチング活動でのゲームパフォーマンス分析結果の活用, 日本コーチング学会編, 球技のコーチング学, 大修館書店: 東京, p:132.
- 高橋仁大・柏木涼吾・岡村修平・大澤啓亮・村上俊祐 (2022) 大学女子テニス選手を対象としたサービスのパフォーマンス向上の取り組み事例, *スポーツパフォーマンス研究*, 14:267-276.
- 武田守弘 (2014) テニス選手の最高のプレー発揮につながる心理的要因の分析, *広島体育学研究*, 40:21-29.
- 武田守弘 (2022) テニスの試合中における心理状態の評価-評価の妥当性と試合の流れによる推移-, *テニスの科学*, 2022, 30:1-10.
- 田村達也・堀野博幸・土屋純 (2015) サッカーにおけるボール奪取後の攻撃の分類方法の提案と検討-2012年 UEFA ヨーロッパ選手権における速攻とポゼッション攻撃に注目して-, *スポーツ科学研究*, 12:42-55.
- 田中敏・山際勇一郎 (1989) ユーザーのための教育・心理統計と実験計画. 教育出版: 東京.
- Unierzyski, P. and Wieczorek, A. (2004) Comparison of tactical solutions and game patterns in the finals of two grand slam tournaments in tennis. In A. Lees, J.-F. Kahn and I. W. Maynard (Eds.), *Science and Racket Sports III* (pp. 169-174). London: Routledge.
- Varas Caro, I. and Gómez Ruano, M. Á. (2016) Análisis notacional en jugadores de tenis de élite en función de las variables contextuales, *Kronos*, 15(1):1-12.
- Verlinder, M. Ruyskensvelde, J., Grop, V., Decker, S., Goosens, R. and Clarijs, J. (2004) Effect of gender and tennis court surface properties upon strategy in elite singles, *Science and Racket Sports III*, Roytledge:London & New York, pp:163-168.
- Vives, F., Crespo, M., Guzman, J.F. and Gallego R.M. (2022) Effective serving strategies in men's

- doubles Davis cup matches: an analysis using tracking technology, *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 22(4):638-648.
- Whiteside, D. and Reid, M. (2017) Spatial characteristics of professional tennis serves with implications for serving aces: A machine learning approach, *Journal of Sports Sciences*, 35(7):648-654.
- Xiao, M. and Zhao, Q. (2022) Research on tennis video target tracking based on visual analysis, *IPEC '22: Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers*, 929-932.
- 吉田和人・山田耕司・玉城将・内藤久士・加賀勝（2014）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*，59，227-236.
- 吉田滉・市村純・内藤祐子（2015）高校生テニス選手を対象としたメンタルトレーニング効果と心理的競技能力の特徴，*国士舘大学体育・スポーツ科学研究紀要*，15:47-53.