

ボール挙動測定器を用いたテニスのサーブのボール速度とボール回転数の 解析の可能性

村上俊祐¹⁾, 高橋仁大²⁾, 村松憲³⁾, 佐藤文平⁴⁾, 佐藤雅幸⁵⁾, 小屋菜穂子⁶⁾, 北村哲⁷⁾, 前田明²⁾

¹⁾ 鹿屋体育大学大学院

²⁾ 鹿屋体育大学

³⁾ 慶應義塾大学

⁴⁾ (株)ボディプラスインターナショナル/日本体育大学

⁵⁾ 専修大学

⁶⁾ 九州共立大学

⁷⁾ びわこ成蹊スポーツ大学

キーワード: テニス, ボール速度, ボール回転数, サービス, トラックマン

【要旨】

本研究では、テニスの打球の速度と回転数を計測できる新たな機器(トラックマン)による測定結果の傾向を確認する(研究Ⅰ)とともに、サーブのボール速度(以下、サービス速度)とボールの回転数(以下、サービス回転数)との関係について、日本の14歳以下トップ選手、日本トップ選手、さらに村松ら(2015)の示した世界トップ選手のデータを比較し、異なる競技レベルにおけるサーブの速度と回転数の実態を明らかにした(研究Ⅱ)。本研究で用いたトラックマンによるボールの速度と回転数の測定は、従来行われてきたハイスピードカメラ及びスピード測定器による測定と同等の精度があり、即時にフィードバックできることから、トレーニング現場で有用なデータを提供できると考えられた。異なる競技レベルの選手におけるボールの速度と回転数との関係を検討した結果、ボールの速度と回転数の関係から選手の競技レベルを評価できる可能性が示唆された。ボールの速度と回転数の両方で高い数値を示すような打球が、質の高い打球であると考えられた。

スポーツパフォーマンス研究 8, 361-374, 2016年, 受付日: 2015年12月18日, 受理日: 2016年10月13日

責任著者: 高橋仁大 891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1番地 鹿屋体育大学 hiroo@nifs-k.ac.jp

Analyzing the speed and spinning frequency of tennis serves: measurements with an instrument that uses radar technology

Shunsuke Murakami¹⁾, Hiroo Takahashi²⁾, Tadashi Muramatsu³⁾, Bunpei Sato⁴⁾,
Masayuki Sato⁵⁾, Nahoko Koya⁶⁾, Tetsu Kitamura⁷⁾, Akira Maeda²⁾

¹⁾ Graduate School, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

²⁾ National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

³⁾Keio University

⁴⁾BodyPlus International/Nippon Sport Science University

⁵⁾Senshu University

⁶⁾Kyushu Kyoritsu University

⁷⁾Biwako Seikei Sport College

Key words: tennis, ball speed, ball spin, serve, TrackMan

【Abstract】

Study I analyzed the speed and spinning frequency of tennis serves with a new instrument, TrackMan. In Study II, a comparison of Japanese top players younger than 14 years old, Japanese top players, and world top players as mentioned by Muramatsu in 2015, revealed a relationship between speed and spinning frequency in tennis serves at different skill levels. Because TrackMan has the same accuracy of measurement as the conventional method, which uses a high-speed camera and a speed-measuring instrument, but can also supply instant feedback, TrackMan seems to be a useful instrument for training. The results of the analysis of the relationship between ball speed and spinning frequency of tennis serves at different levels suggests that TrackMan might be useful for evaluating players' skill level, that is, balls served at a high speed and with a greater amount of spin are higher quality service balls.

1. はじめに

ラケットスポーツにおいて、近年注目されているのがボールの回転数である(村松ら, 2010; 吉田ら, 2014; 村上ら, 2015)。ボールに回転を与えることにより、ボールの軌道やバウンド後の挙動に変化が現れるからである。それ故、ボールに回転を与えられるということは、テニスにおいて重要な能力の一つである。また近年のラケットの軽量化やガットの高反発化により、以前よりもボールに多くの回転を与えることが可能となっている(ショーンボーン, 2007)。

ボールの回転数は、ハイスピードカメラの映像を利用することで測定することが可能になってきており、ボールの回転数を測定する研究がテニスや卓球を対象に行われている(村松ら, 2010; 吉田ら, 2014; 村上ら, 2015)。しかしこれらの方法では、ボールの回転数を測定するために映像からボールが1回転するフレーム数を読み取る必要がある。そのため回転数を算出するための時間が必要となり、トレーニング現場で即時にフィードバックすることができないという課題が残るといえる。

一方、ボールの速度については、近年、高速化が指摘されている。その中でもサービスについては、1999年以降2009年にかけて、漸増していることが指摘されている(Cross and Pollard, 2009)。また高橋ら(2007)も、1980年代と1990年代の試合に比べ、2000年代の試合ではサービスからリターンまでのショット時間が短縮されていたことを示しており、その要因として打球速度の高速化をあげている。こういったボール速度の測定については、トレーニング現場でも簡便に使用可能な、スピードガンに代表されるスピード測定器が開発されている。また大会会場やテレビ放送などにおいても、サービスのボール速度は逐一表示されており、男子の世界トップ選手は時速200kmを越すサービスを打つことなどが一般的に知られている。

このように打球されたボールの挙動(あるいは特質)(以後、ボールの質とする)を評価するにあたり、速度と回転数は重要な指標になると考えられる。特に村松ら(2015)も指摘するように、速度と回転数の関係を考察することは、どちらか一方により打球を評価するよりも、選手が打球する技術をより的確に評価できる指標になるといえ、高い意義があることは明白であるといえる。一方で以前よりも簡便になったとはいえ、速度と回転数を同時に計測するためにはスピード測定器とハイスピードカメラの2つの機器が必要であり、実験的環境を整える必要があるとともに、回転数を即時にフィードバックするためには課題も残っている。

しかし近年、このようなボールの挙動を簡便に測定可能な機器である、トラックマンテニスレーダー(アプライドオーフィス社; 以下、トラックマン)が開発され、話題を呼んでいる(Wilson, online)。トラックマンは打球されたボールの各種挙動を解析するために開発されたシステムである。当該機は、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。

本研究では、テニスの打球の速度と回転数を計測できる新たな機器であるトラックマンによる測定精度を確認する(研究Ⅰ)とともに、サービスのボール速度(以下、サービス速度)とボールの回転数(以下、サービス回転数)の関係について、日本の14歳以下トップ選手、日本トップ選手、さらに村松ら(2015)の示した世界トップ選手のデータを比較し、異なる競技レベルの選手におけるボールの速度と回転数との関係を検討する(研究Ⅱ)ものとする。

2. 研究Ⅰ. トラックマンによる測定精度の検証

2-1. 研究目的

トラックマンにより測定されるボールの速度と回転数の測定精度を検証するために、スピードガンにより測定されるボール速度とハイスピードカメラの映像から算出されるボールの回転数との比較を行った。

2-2. 研究方法

実験は図 1 のように、トラックマンによる測定とスピードガンおよびハイスピードカメラを用いたサービスの速度と回転数の測定を同時に行い、同一の打球の結果を比較することとした。

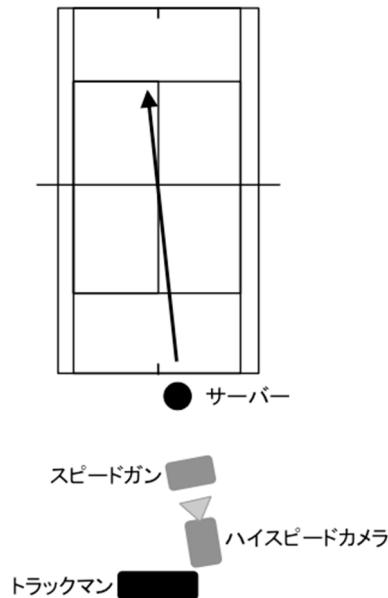


図1 トラックマンによる測定精度の検証実験の模式図

全日本選手権優勝経験のあるプロ選手(以下、日本トップ選手)によるサービスを対象試技とした。実験試技は 3 種類のサービス(フラット, スライス, スピン)を全力で打球するものとし、3 種類の試技で 6 球程度のデータが得られるまで測定を行った。

サービス速度については、スピードガン(Stalker SOLO-2, Applied Concept Inc.社製)の数値と比較した。サービス回転数については、村松ら(2010)の手法に基づくハイスピードカメラによる測定手法と比較した。ハイスピードカメラは HAS-D3(ディクト社製)を用いた。フレームレートは 2000fps とし、ボールに印刷されているブランドのロゴを目印に、ボールが 1 回転するのに要する時間を計測し、1 分間あたりの回転数(rpm)を算出した。

トラックマンは機器の説明書に基づき、機器の中心がセンターマークの延長線上になるようにし、レーダーがコート全体を捕捉するよう、可能な限り後方に設置した。スピードガンはできるだけ正確な数値を得られるよう、打球されるサービスのコースの延長線上に設置した。ハイスピードカメラは、ボールに印刷されているブランドのロゴを確認できるよう、できるだけ大きな画角で捉えられるようにするとともに、打球方向に対するボールの回転が確認できるよう、打球されるサービスのコースの延長線上に設置した。トラックマン、スピードガン、ハイスピードカメラのいずれか 1 つでもデータを得られなかった試技は分析から除外した。トラックマンで 1 球、ハイスピードカメラでは 4 球でデータが得られず、いずれも分析から除外した。最終的に得られたデータ数はフラットが 6 球、スライスが 5 球、スピンの 12 球で、総データ数は 23 球であった。

得られたデータから、サービスの速度、回転数のそれぞれについて相関係数を算出するとともに、二種類の測定機器間の差を元にしたブランド・アルトマンプロットを用いて、トラックマンの測定精度を検証した。

2-3. 結果及び考察

2-3-1. サービス速度の測定結果

図2は、トラックマンによるサービス速度と、スピードガンによる測定結果との関係を示したものである。また、両機器によるサービス速度の差を基にしたブランド・アルトマンプロットを図3に示した。

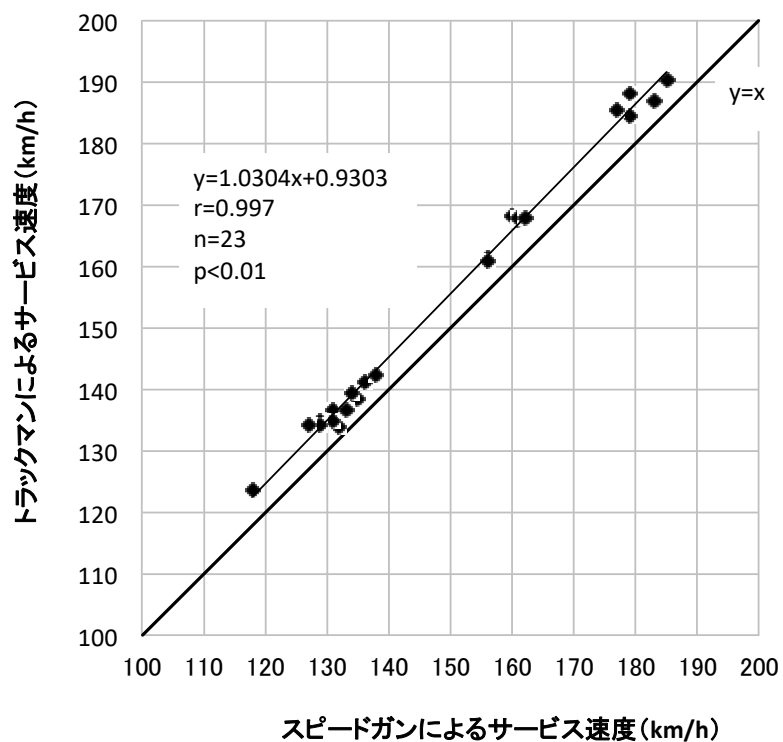


図2 トラックマンによるサービス速度とスピードガンによるサービス速度との関係

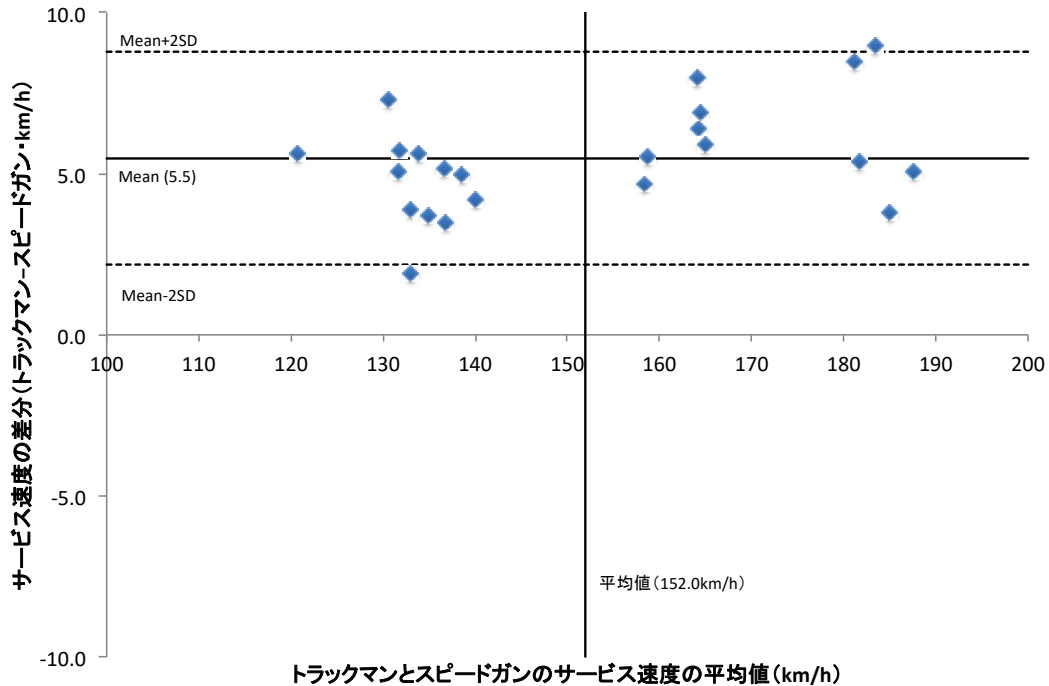


図3 トラックマンとスピードガンによるサービス速度のブランド・アルトマンプロット

図2より、サービス速度の測定結果は高い相関係数が得られた。一方で $Y=X$ のラインと比較すると、測定値は常にグラフの上方にあることから、全体的にトラックマンの方がスピードガンよりも高い数値を示す傾向にあった。図3から、トラックマンの方がスピードガンよりも平均して 5.5km/h 高い値を示しており、その傾向は速度の高低に関わらず同じ傾向にあることが明らかとなった。宮西ら(2000)は、スピードガンのレンズ面(光軸)と測定対象物の進行方向を合致させなければ正確なスピードは計測されないと述べており、電波と測定対象物の軌道の角度差が大きくなるほど計測誤差も大きくなるとしている。本研究においてもその点を考慮し、スピードガンはサービスのコースの延長線上に設置したが、測定値には上記のような誤差が含まれていたものと考えられる。

トラックマンの説明書によると、センターマーク後方約 6m の位置に設置することにより、シングルスコート全体にレーダーを照射することが可能となる。シングルスコート全体にレーダーを照射していることから、スピードガンよりも広範囲に速度の計測が可能になっていると考えられる。

本研究の結果から、トラックマンによるサービス速度の測定は、速度の高低に関わらずスピードガンよりも約 5km/h 高い値を示す傾向にあることが確認された。速度の高低に関わらず一定の傾向で測定されたことから、スピードガンと同等の精度でサービス速度を測定できるものと判断できる。

2-3-2. 回転数の測定結果

図4は、トラックマンによるサービスの回転数と、ハイスピードカメラの映像から算出した測定結果との関係を示したものである。また、両機器によるサービスの回転数の差を基にしたブランド・アルトマンプロットを図5に示した。

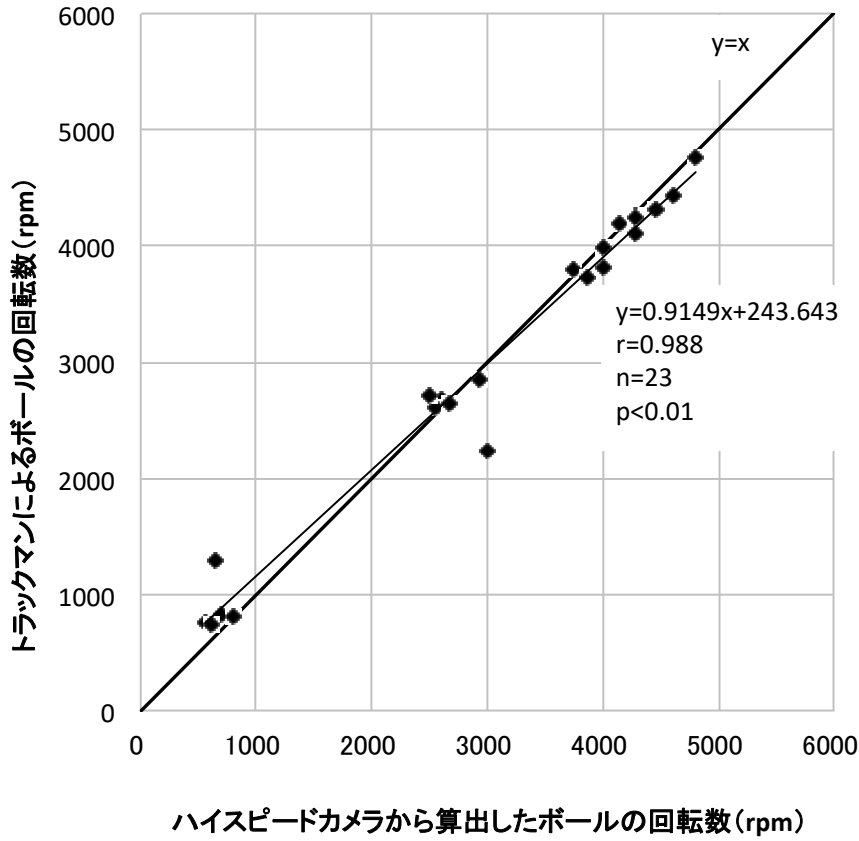


図4 トラックマンによるボールの回転数とハイスピードカメラから算出したボールの回転数との関係

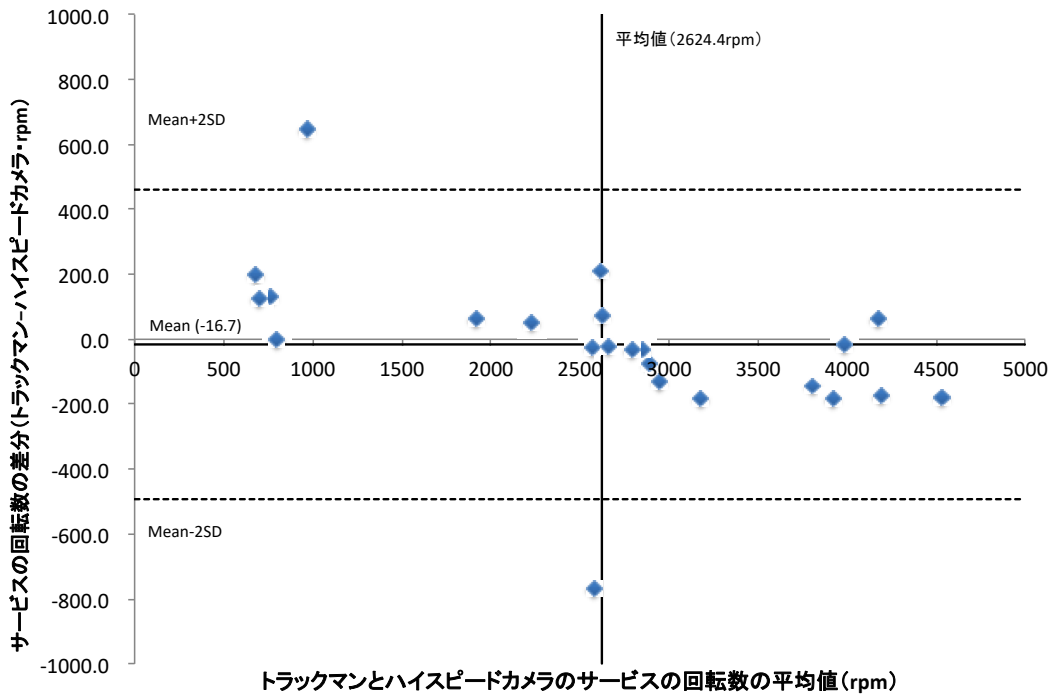


図5 トラックマンとハイスピードカメラによるサービスの回転数のブランド・アルトマンプロット

サービスの回転数についても、速度と同様に高い相関係数が得られた(図 4)。Y=X のラインと比較すると、低い回転数ではトラックマンの値の方が高く、高い回転数ではハイスピードカメラの値の方が高い傾向を示した。図 5 から、低い回転数において 1 件、中程度の回転数において 1 件、誤差の平均から 2SD の範囲を超えるデータが見受けられたが、それ以外のデータは差分の平均値付近にあるといえる。また、トラックマンによる回転数の測定値とハイスピードカメラから算出した回転数の測定値の差の平均は-16.7rpm であった。本研究で対象とした打球全体の回転数の平均はおおよそ 3050rpm であったことから、両機器の差は約 0.5% であり、全体の傾向としてはハイスピードカメラによる回転数の算出と同程度の測定の精度があると判断できる。

トレーニングの現場における測定では、一定の精度があり、かつ簡易にデータを取得できることが必要である。特にボールの回転数を計測することは、これまで非常に時間のかかる作業が必要だったものが、トラックマンを用いることにより打球直後にデータを確認することができることから、トレーニングの現場においても一定の精度を持ってデータを提供することができるといえる。

2-4. まとめ

上記のようにトラックマンによる測定結果は、速度についてはスピードガンよりも常時 5.5km/h 高い数値を示していたが、速度の高低により傾向は変わらなかったことが確認された。また回転数については、村松ら(2010)の測定方法と比較してほぼ同等の数値を示すことが確認された。これらの結果から、トラックマンによる測定はトレーニングの現場で用いることができる有用なデータを示すものであると考えられた。

3. 研究 II 異なる競技選手カテゴリーにおけるサービス速度と回転数との関係: 日本ジュニアトップ選手, 日本トップ選手及び世界トップ選手との比較より

3-1. 研究目的

研究 II は、異なる競技選手カテゴリーにおけるサービス速度と回転数との関係について検討した。異なる競技レベルのボールの速度と回転数のデータを同時に示すことにより、今後の指導現場での目標値になり得るといえる(村松ら, 2015)ことから、異なる競技レベルにおけるサービスの速度と回転数の関係を明らかにすることを目的とした。

3-2. 研究方法

トラックマンを使用して 14 歳以下の日本トップジュニア選手(以下, ジュニア選手)のサービスの速度と回転数を測定した。それらのデータと研究 I で測定した日本トップ選手のデータ, ならびに村松ら(2015)の示した世界トップクラステニス選手(以下, 世界トップ選手とする)のデータを比較した。

対象としたジュニア選手は、全日本ジュニア選手権等で上位に進出した経験のある 14 歳以下のジュニア選手 7 名であった。7 名の選手の身長は平均値は 167.2±6.3cm であった。

ジュニア選手のファーストサービス(フラット)とセカンドサービス(スピン)の 2 種類のサービスを測定した。ファーストサービスではできるだけ速いサービスを、セカンドサービスではできるだけ回転数の多いサービスを打つように指示した。それぞれの種類のサービスをデュースコートから 3 球, アドコートから 3 球の計 6 球, 合計 12 球分のデータを収集した。本研究ではジュニア選手のサービスの速度と回転数の最大努力値を得ることを目的にしたことから、サービスがサービスエリアに入ったかどうかについては考慮していない。測定は図 6 のように行った。

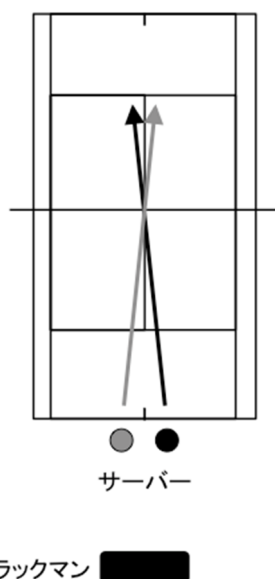


図6 ジュニア選手のサービス測定の模式図

ジュニア選手のサービスの測定には、トラックマンを用いた。トラックマンの設置は、研究 I と同様に、機器の説明書に基づき、機器の中心がセンターマークの延長線上になるようにし、レーダーがコート全体を捕捉するよう、可能な限り後方に設置した。

世界トップ選手のデータは、村松ら(2015)による、2010 年に行われた国際大会に出場した世界トップ選手 7 名のデータを用いた。どの選手も大会の前後 1 年以内にシングルスの世界ランキングが 50 位以内を記録していた。7 名の選手の身長はの平均値は $186.7 \pm 5.3\text{cm}$ であった。身長は ATP World Tour のウェブサイト参照した (<http://www.atpworldtour.com/en/players>:参照日 2016 年 9 月 12 日)。世界トップ選手のサービス速度は、同大会のサービス速度データを保管している Hawk-Eye 社から提供を受けた。サービスの回転数は、本研究の研究 I と同じく、ハイスピードカメラ(HAS-D3, ディクト社製)を用いてボールに印刷されているブランドのロゴを目印に、ボールが 1 回転するのに要する時間を計測し、1 分間あたりの回転数(rpm)を算出した。

以上のデータについて、ジュニア選手のファーストサービスとセカンドサービスそれぞれについて、またジュニア選手、日本トップ選手および世界トップ選手のデータについて相関分析を行い、相関係数、決定係数、回帰モデルを算出した。

3-3. 結果及び考察

3-3-1. ジュニア選手のサービス速度と回転数の関係

本研究で測定されたジュニア選手のサービス速度と回転数の関係を図 7 に示した。図 7 には、ジュニア選手のファーストサービス、セカンドサービスそれぞれのデータを対象にして算出した回帰式についても示した。回帰式の決定係数(R^2)はファーストサービスで 0.028, セカンドサービスで 0.006 と低い数値であった。表 1 には選手ごとの回帰式と決定係数を示した。選手ごとに見るとファーストサービスでは 0.062 から 0.581, セカンドサービスでは 0.353 から 0.887 であった。

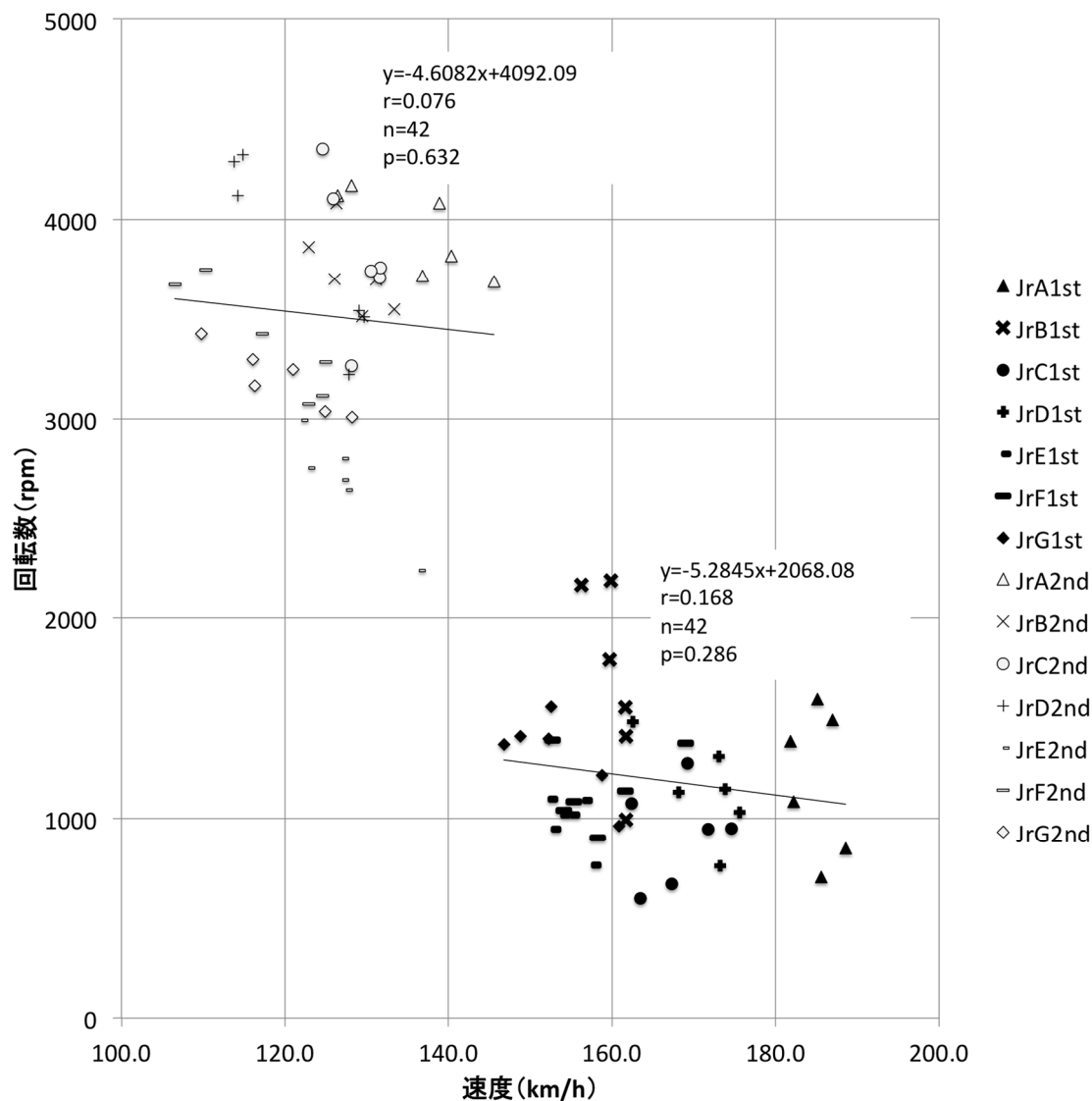


図7 ジュニア選手のサービス速度と回転数との関係

表1 ジュニア選手のファーストサービスとセカンドサービスの回帰式と決定係数

	ファースト 回帰式	1st R ²	セカンド 回帰式	2nd R ²
JrA	$y = -34.4x + 7550.8$	0.062	$y = -22.865x + 7043.3$	0.612
JrB	$y = 13.676x - 1381.3$	0.065	$y = -73.956x + 13343$	0.353
JrC	$y = 9.3241x - 322.31$	0.085	$y = -32.948x + 7267.3$	0.842
JrD	$y = -32.584x + 6717.9$	0.416	$y = -54.725x + 10487$	0.882
JrE	$y = -165.58x + 28199$	0.581	$y = -35.99x + 8348.3$	0.423
JrF	$y = -28.066x + 5621.7$	0.565	$y = -21.926x + 5814.5$	0.846
JrG	$y = -29.064x + 5486.9$	0.247	$y = -46.318x + 8576.7$	0.887
全体	$y = -5.2845x + 2068.1$	0.028	$y = -4.6082x + 4092.1$	0.006

ジュニア選手全体のファーストサービス、セカンドサービスそれぞれの速度と回転数には、村松ら(2015)が示した負の相関関係は認められなかった。選手ごとに見ると、セカンドサービスにおいて4名の選手で決定係数が0.8を超える値を示した。ファーストサービスではいずれの選手も0.6以下の決定係数であり、2名の選手(B, C)は正の回帰式を示した。

本研究で負の相関関係が認められなかった理由として、対象がジュニア選手であったことが挙げられる。いずれの選手も全日本大会等で上位に進出した選手ではあるが、14歳以下という年齢であるため、身体的にも発達の途中の段階である。本研究で測定の対象としたサービスは、身長の高い選手ほどサービスエリアに入れるための誤差の許容範囲が小さくなるという点が指摘されている(Brody, 1987)。つまり身長の高い選手ほど有利な技術であるといえる。この点は、高い速度のファーストサービスで選手ごとの決定係数が低かった結果に影響していると考えられる。また、身長の低いジュニア年代ではサービスにスピードを求めることは少なく、確実にエリアに入れるサービスが必要であるため、日常的に回転をかけるサービスを練習している可能性がある。この点は、セカンドサービスにおいて決定係数の高い選手が見られた点に影響していると考えられる。本研究で対象としたジュニア選手のうち、セカンドサービスにおいて決定係数の高かった JrD および JrF の2名は、いずれも身長が161.1cmと平均値よりも低かった。これらの点も、回転の必要性が高いセカンドサービスにおける決定係数の高さに影響していると考えられる。

以上のことから、身体的に発達途上のジュニア選手のサービスに関して速度と回転数の関係を検討する際には、選手ごとの発達段階を把握した上でデータの解釈をする必要があると考えられる。

3-3-2. ジュニア選手、日本トップ選手及び世界トップ選手のサービス速度と回転数の比較

図8には、ジュニア選手のデータと日本トップ選手によるサービス速度と回転数、さらに村松ら(2015)の示した世界トップ選手のサービス速度と回転数のデータを合わせたグラフを示した。

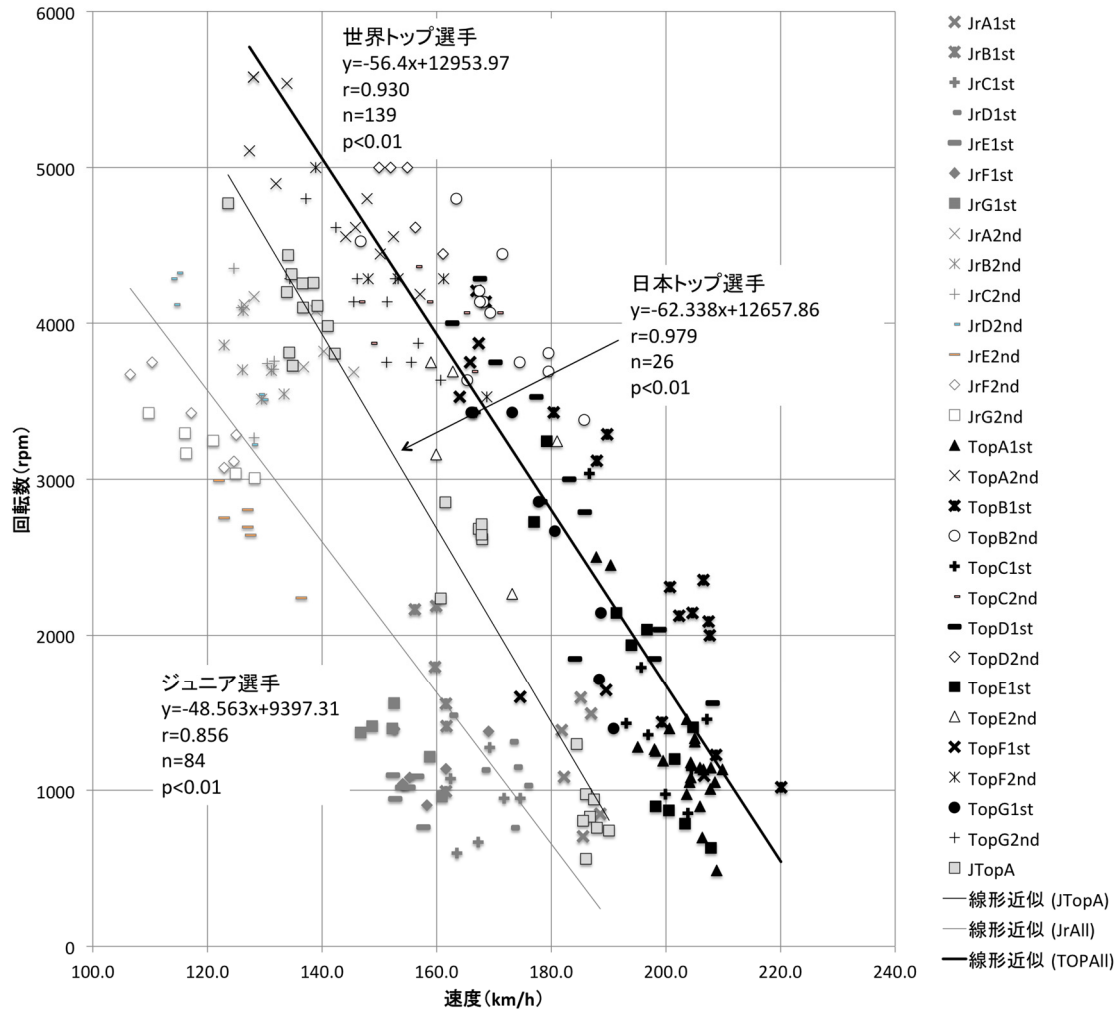


図8 ジュニア選手, 日本トップ選手および世界トップ選手のサービス速度と回転数の関係
 (世界トップ選手のデータは村松ら(2015)から)

図8からは、ジュニア選手のデータよりも日本トップ選手のデータが、また日本トップ選手よりも世界トップ選手のデータが全体的にグラフの右上に分布していることが確認できる。また各グループの回帰式についても、グラフの右上から世界トップ選手、日本トップ選手、ジュニア選手の順番であった。これは世界トップ選手がジュニア選手や日本トップ選手よりも同じ速度でより多い回転数の打球ができていて、また同じ回転数でもより高い速度で打球できていることを意味している。つまり速度と回転数から作図されるこのグラフにより、選手の打球のレベルを示すことができると考えられる。村松ら(2015)は速度と回転数から得られるこの図において、回帰直線が右上に位置するためには「インパクト時のラケット速度が大きい」ことが必要であると述べ、さらに競技レベルが高いほど回帰直線が右上に位置するという仮説を立てている。本研究で対象とした選手の競技レベルが世界トップ選手、日本トップ選手、ジュニア選手という順番で高いとするならば、回帰直線は競技レベルが高いほど右上に位置しており、村松ら(2015)の仮説を支持するものである。本研究では対象者数に偏りがあることから、本研究の結果だけで村松ら(2015)の仮説が支持できると言い切ることはできないが、今後の研究で明らかにすべき課題である。

この速度と回転数の分布は、村松ら(2015)や村上ら(2015)が指摘するように、分布がグラフの右上にいくほどに打球のスキルが高いことを示すとともに、データの分布範囲が大きいことが村上ら(2015)の指摘する打球の多様性

を可能にしていることを示しているともいえ、選手の打球の「質」を示す大きな手がかりになるものと考えられる。野球において、神事・桜井(2008)は、投球されたボールの質を評価するためには、ボール速度、回転軸の方向、回転速度の3つの指標が必要であると述べており、本研究のように速度と回転数を評価の観点にすることには意義があるといえる。本研究では示していないが、トラックマンは地面からの垂直平面上でのボールの回転軸に関するデータも得ることができ、いわゆるトップスピン(順回転)の打球を0度、スライス(逆回転)の打球を180度などと示すことができる。このことから、野球と同じく3つの指標でボールの質を評価できる可能性がある。

また本研究で示しているデータのうち、ジュニア選手と日本トップ選手については、実験的環境で各選手が指定された球種を最大努力で打球した場合のデータである。一方、村松ら(2015)による世界トップ選手のデータは実際の試合中のデータである。実際の試合中は、スコアの状況や配球など様々な状況が背景にあるとともに、指定されたエリアの中にボールを入れることが必要であることから、全力で打球することは少なく、常に速度や回転数をコントロールして打球しているといえる。つまり、試合中に収集したデータは実験的環境で得られるデータよりも打球の速度および回転数は低くなっている可能性がある。さらに、図8のように世界トップ選手の場合はその分布の範囲全体にデータが出現しているが、ジュニア選手と日本トップ選手の場合は、データの出現範囲がグラフの右下と左上にある程度固まっている。これは実験的環境で最大努力により打球したため、速度を重視したサーブの場合は右下に、回転数を重視したサーブの場合は左上にデータが出現したことを示している。実際の試合では、これらの最大努力によるサーブに加え、試合の状況に応じて速度と回転数を柔軟に調整しながらサーブを打球していると考えられ、そのようなデータにより、グラフの右下と左上をつなぐ範囲にもデータが出現してくるものと考えられる。

今後はジュニア選手や日本トップ選手を対象に、実際の試合でのデータとの比較を行い、実際の試合では全力での打球と比較してどの程度の割合で速度と回転数をコントロールしているかを明らかにすることにより、選手の持つ能力と試合場面での打球のコントロールとの関係を明らかにできると考えられる。

4. 結論

本研究で用いたトラックマンによるボールの速度と回転数の測定は、従来行われてきたハイスピードカメラ及びスピード測定器による測定と同等の精度があり、即時にフィードバックできることから、トレーニング現場で有用なデータを提供できると考えられた。

異なる競技レベルの選手におけるボールの速度と回転数との関係を検討した結果、ボールの速度と回転数の関係から選手の競技レベルを評価できる可能性が示唆された。速度と回転数の両方で高い数値を示すような打球が、質の高い打球であると考えられた。

今後も、様々な競技レベルの選手を対象に、ボールの速度と回転数のデータを収集し、その関係を明らかにしていくことが必要である。

5. 文献

- ・ 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*, 49, 8-10.
- ・ 出村真一(2007)健康・スポーツ科学のための研究方法—研究計画の立て方とデータ処理方法—. 杏林書院: 東京.
- ・ 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-Davies, J., (eds.) *Tennis science and technology 3*. International Tennis Federation, 349-356.
- ・ 神事努, 桜井伸二(2008) 投球されたボールの球質はどのような動作によって決定されるのか?. バイオメカニクス研究, 12(4), 267-277.
 - ・ 宮西智久, 向井正剛, 川口鉄二, 関岡康雄(2000) スピードガンと画像計測によるボールスピードの比較. 仙台大学紀要, 31, 72-77.
 - ・ 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(2015) 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.
 - ・ ショーンボーン: 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. 大修館書店: 東京.
 - ・ 高橋仁大, 前田明, 西藺秀嗣, 倉田博(2007) プレー時間に注目したテニスのゲーム分析ーウインブルドン大会決勝の推移ー. バイオメカニクス研究, 11(1), 2-8.
 - ・ Wilson (online) “トラックマン”とのコラボレーションで「S ラケ」の威力 & 効果が期待できる! http://www.tennisclassic.jp/special/wilsonwebmagazine/products/s_racket/1404.html, (参照日 2015年8月29日).
 - ・ 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.