

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

村松憲¹⁾, 池田亮²⁾, 高橋仁大³⁾, 道上静香⁴⁾, 岩嶋孝夫⁵⁾, 梅林薫⁶⁾

¹⁾慶應義塾大学

²⁾日本テニス協会

³⁾鹿屋体育大学

⁴⁾滋賀大学

⁵⁾東京都市大学

⁶⁾大阪体育大学

キーワード: 高速度カメラ, 回転, テニス, サービス, 世界トップレベル

【要旨】

テニスの指導現場やテニス雑誌、テレビの試合放送などでたびたび、「サービスに回転をかける」「良く回転がかかっている」といった表現が使われる。サービスにスピードだけでなく回転も重要な要素であることは広く理解されている。ところが、世界トップレベルの選手の試合におけるサービスの回転量を測定した研究は、我々の調査の及ぶ範囲では全く報告されていない。

2009年に行われた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名のサービスを高速度カメラで撮影(主として毎秒2000~3000フレーム、一部毎秒1000フレーム)し、ボールの回転量を測定した。その結果、1stサービスの回転量は概ね毎分1000~3500回転、2ndサービスは同じく3000~5000回転程度の中に分布していた。また、1stサービスは2ndサービスよりも各選手内で回転量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量の変動幅が大きい傾向が見られた。今後、高速度カメラが普及することが予想され、本研究はその際の比較データとしても重要な役割を持つと考えられる。

スポーツパフォーマンス研究, 2, 220-232, 2010年, 受付日:2010年7月5日, 受理日:2010年12月1日

連絡先:村松憲 慶應義塾大学体育研究所 〒223-8521 神奈川県横浜市港北区日吉4-1-1

mura@z7.keio.jp

Ball spin in the serve of the world's top 50 tennis players at an international tournament

Tadashi Muramatsu¹⁾, Ryo Ikeda²⁾, Hiroo Takahashi³⁾, Shizuka Michikami⁴⁾,
Takao Iwashima⁵⁾, Kaoru Umebayashi⁶⁾

¹⁾ Keio University

²⁾ Japan Tennis Association

³⁾ National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

⁴⁾ Shiga University

⁵⁾ Tokyo City University

⁶⁾ Osaka University of Health and Sport Sciences

Key Words: high speed camera, ball spin, tennis, serve,
world's top ranked tennis players

[Abstract]

Tennis coaches, tennis magazines, and TV tennis programs often use expressions such as “put a spin on the serve” and “good spin”. It is widely understood that not only the ball speed but also its spin is important in the serve. However, the present authors could not find any published research that measured the amount of ball spin of the service in the tennis games of the world's top-ranked players. The amount of ball spin of eight male players ranked in the world's top 50 at an international tennis tournament in 2009 was measured with a high speed camera (mainly 2000-3000 frames per sec, partly 1000 frames per sec). It was found that the amount of ball spin was distributed in the range of 1000-3500 rpm in the first serve, and 3000-5000 rpm in the second. Fluctuations in amount of ball spin in the first serve were bigger than in the second, and the fluctuations were greater in the taller players. In the future, it is expected that use of high-speed cameras will expand, so that the data from the present study will be useful at that time as a basis for comparison.

I. 問題提起と目的

テニスのサービスにおいて、ボールに回転をかけることは多くの選手・指導者にとって大きな関心事の一つである。最近のテニス雑誌の表紙を見ても「スピンサーブでしっかり回転をかける10ポイント」(テニスクラシックブレイク 2010年3月号)、「落ちるスピン&切れるスピン」(テニスクラシックブレイク 2010年2月号)、「とにかく入れたい人の“スライス”、スピードもパワーも欲張りしたい人の“トップスライス”」(T.Tennis 2010年05月号)など、サービスに回転をかけることの関心の高さがうかがえる。名著として現在まで広く読まれている「チルデンのベター・テニス」(チルデン,1980)では、フラットサービス(回転をあまりかけないサービス)について「この型はいかなるスピードをもコントロールできる背の高い人だけのものである。背の低いプレーヤーや女子が用いてもあまり価値がない」と書かれている。また、サービスに関する執筆の多い堀内昌一氏は、最近の著書(堀内ほか,2008)の中で、「今は、かつてのような『フラットサービスが基本』ではなく、『スピンサービスが基本』なのです」と述べている。またその理由として、「スピンサービスこそ、回転量、スピード、深さをコントロールできる」「それにより相手はリターンするときに時間差を感じて、バウンドがイレギュラーして、リターンしにくいボールであると感じます」と述べている。

このように、サービスに回転をかけることの重要性は広く認識されているものの、実際にどの程度回転がかかっているのか、という点について、具体的な報告は非常に限られている(桜井ほか,2007; Sakurai et al.,2007)。「tennis」と「spin」をタイトルに含む論文(「table tennis」を含む論文を除く)は2010年4月現在、「SPORTDiscus with Full Text」というデータベースで11件、同じく「Physical Education Index」では13件、「Science Direct」では同じく1件あった。しかしながら、いずれも試合におけるデータではなく、また世界トップレベルの選手を対象としたデータではなかった。プロ選手を対象とした報告(桜井ほか,2007; Sakurai et al.,2007)もあったが、ボールに小さなマーカーをつけてサービスを打つなど、実際の試合とは大きく異なる環境での調査であった。世界トップレベルの選手の試合におけるサービスの回転量を測定した研究は、我々の調査の及ぶ範囲では全く報告されていない。

本研究の目的は、世界トップレベルの選手が打つサービスの試合中の回転量について測定・検討することである。具体的には、1)世界トップレベルの選手のサービスの回転量はどの程度なのか、2)1st サービスと2nd サービスの回転量は大きく異なるのか、3)各選手はサービスに回転量の変化をどの程度与えているのか(変動幅はどの程度か)、またそれは1st サービスと2nd サービスとで異なるか、4)選手の身長と回転量との間に何らかの関係があるのか、などの点に着目した。最近、高速度カメラが個人でも購入できるほど普及してきたため、選手のサービスの回転量を測定することも可能になりつつある。トップ選手のサービス回転量を把握することで、指導の現場にとって有用な指針になると考えられる。

II. 方法

1. 対象とした選手・大会

対象とした選手は、シングルスの世界ランキング(ATP ランキング)が試合当日に50位以内である男子選手 8 名であった。ランキングは 'ATP World Tour' のホームページ (<http://www.atpworldtour.com/Rankings/Singles.aspx>) から得た。対象とした大会は、2009 年楽天ジャパンオープン(男子の賞金総額は122 万 6500 ドル)であった。大会主催者である(財)日本テニス協会に撮影の許可を得た。開催地は東京の有明コロシアムであった。

2. 高速度カメラ

有明コロシアム内のベースライン後方で前から 10 列目から 12 列目の場所に、カメラピットと呼ばれる撮影のための場所がある。コロシアムの最後列が 32 列であるので、概ね前から3分の1に位置するこのカメラピットに、高速度カメラ(Ditect 社、HAS-D3)を三脚、パソコンとともに設置した(図1:コロシアムの配置図、図2:高速度カメラの写真)。

カメラには2GBのメモリーが内蔵されており、撮影のたびにこのメモリーに映像が記録される。記録された映像はパソコンに転送し、ハードディスクに保存する。ファイル形式は AVI であった。ハードディスクに保存後、新たに映像を撮影する際にはカメラのメモリーを上書きする。

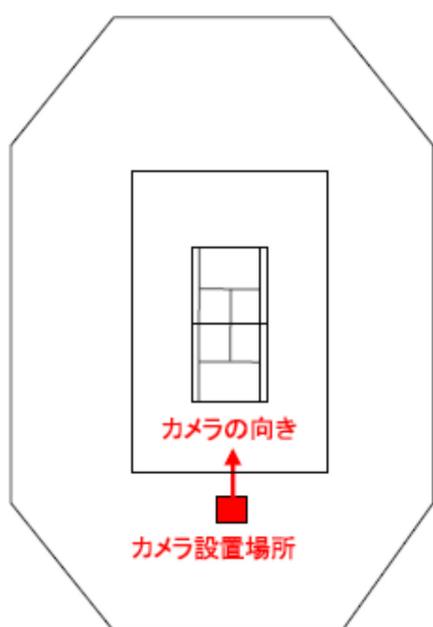


図1 有明コロシアムにおける高速度カメラの設置場所とカメラの向き



図2 撮影に用いた高速度カメラ一式
カメラとノートパソコンがケーブルで接続されている

3. 撮影

ボールの回転を映像から正確に計測するためには、ボールをなるべく大きくとらえることが必要である。ただし、撮影中にカメラを動かして高速で移動するボールを追うのが困難なため、カメラは固

定した。そのため、サービスのインパクト後しばらくボールの挙動を追えるよう撮影範囲を考慮した。フレームレート(1秒あたりのフレーム数、単位は fps)は 2000fps または 3000fps(一部 1000fps)とした。シャッタースピードについては、その時の試合会場の明るさによりなるべく速い速度を選んだが、ブレを防ぐため遅くても 1/2000 秒とした。このため、場合によっては映像が暗くなり、ボールの回転を鮮明にとらえることが出来ない場合もあった。その場合には測定対象から除外した。撮影の際には「ストップトリガー」をセットした。すなわち、選手がサービスを打ち終わった直後にボタンを押すことで、その直前の動画がメモリーに記録される。記録時間は、1000fps(解像度は 1280×1024)の場合 1.63 秒、2000fps(解像度は 800×600)の場合 2.23 秒、3000fps(解像度は 640×480)の場合 2.32 秒であった。記録はサービスがサービスコート内にバウンドしたものに限定した(フォルトのサービスは記録しなかった)。表1に高速度カメラ(HAS-D3)の仕様を示す。

表1 高速度カメラ「HAS-D3」(ディテクト社製)の仕様(左)と、各フレームレートにおける画像時間と録画時間

HAS-D3 カメラ仕様		基本フレームレートで使用できる 画面サイズと録画時間		
センサー	CMOS センサー	Fps	画像サイズ (px)	録画時間
センサーサイズ	13.568mm×13.68mm	100	1696 × 1710	7.39 秒
有効画素数	1,696×1,710pixel	200	1696 × 1710	3.69 秒
撮影速度	100～100,000 fps	500	1600 × 1600	1.67 秒
最低被写体照度	10Lux F 1.4 (200fps)	1,000	1280 × 1024	1.63 秒
レンズマウント	Cマウント	2,000	800 × 600	2.23 秒
シャッタースピード	最大1/100万(秒)	3,000	640 × 480	2.32 秒
		5,000	512 × 384	2.18 秒
		10,000	320 × 240	2.79 秒
		50,000	128 × 50	6.67 秒
		100,000	128 × 24	6.99 秒

4. 回転量の計測

試合で使用されたボールには、大会スポンサーのロゴとボールのブランドのロゴが大きく入っていた。この2つのロゴを目印に、ボールが1回転するのに要する時間を計測した。

この時間は、毎秒何フレームなのかを考慮して計測した。図3を用いて計測方法を具体的に説明する。図3は、大会スポンサーのロゴが1フレームごとに少しずつ移動していく様子を示している。ここではaフレーム目(フレーム番号4)を1回転目のスタートとする。

a フレーム目から徐々にロゴが移動し、その後 b フレーム目(フレーム番号41)で再び a フレーム目の位置に一番近い場所に到達した様子がわかる。a フレーム目に一番近いかどうかについては目視によって定めた。この例の場合、b フレーム目(フレーム番号41)と a フレーム目(フレーム番号4)のフレーム数の差は 37 であった。すなわち、37 フレームで1回転したと考えられる。この映像は 3000fps であったので、37 フレームは、 $37/3000$ 秒すなわち約 0.0123 秒に相当する。従って、1 分間での回転量は約 $60/0.0123$ すなわち約 4878rpm(rpm: 1 分間あたりの回転数)と計算できる。映

像から、1回転目のみならず2回転目、3回転目を確認できた場合、上記と同様の手順で2回転するのに要したフレーム数、3回転するのに要したフレーム数をそれぞれ求め、そこから1分あたりの回転量を求めた。これは、少しでも回転量の読み取り誤差(下記参照)を少なくするためである。

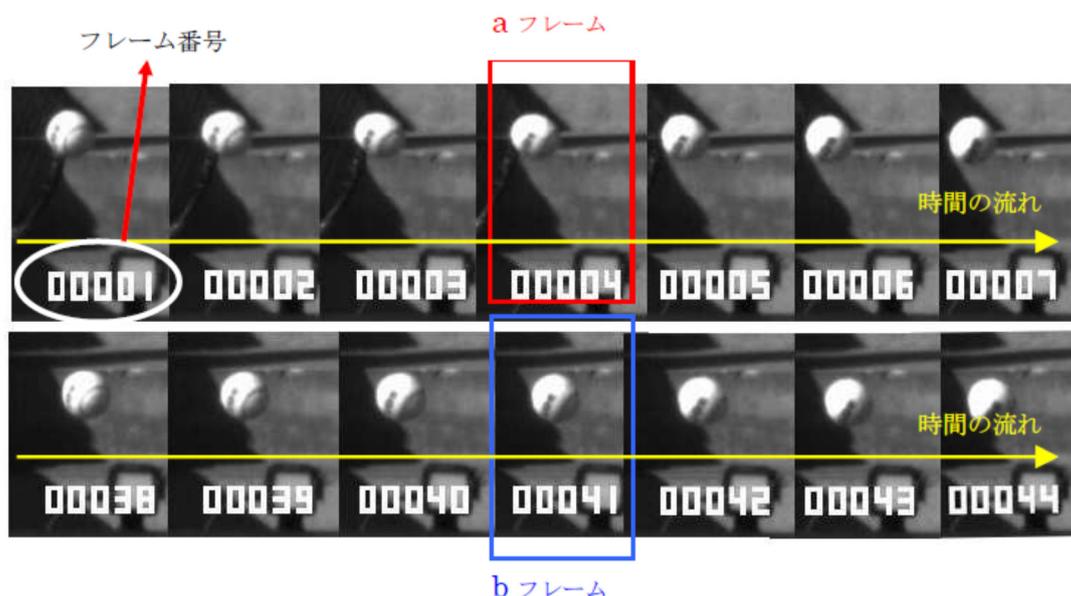


図3 映像から回転量を求める方法。ボールの回転はボールに印字されたマークによって判断する。
aフレーム目(4フレーム目)を基準にすると、bフレーム目(41フレーム目)で1周したと考えられる。この
際のフレーム差(b-a)から時間を割り出し、毎分当たりの回転量を算出する。

なお、1回転目に比べて2回転目、あるいは3回転目において、回転速度が低下する傾向はまったく見られなかった。実際の動画を2つ示す(動画1: 回転量が1333rpmのサービス、動画2: 回転量が4800rpmのサービス)。

5. 映像を読み取る際の再現性の計測

2種類の方法で確認した。まず3つのサービス(3つの映像)について5回ずつ、1回転するのに要するフレーム数を計測した。その結果、表2のように計測毎の誤差は最大1フレームで、変動係数(標準偏差を平均値で除した値)は最大0.012であった。次に5つのサービス(5つの映像)について、1度目の測定から1ヶ月以上間隔を空けて、再度計測を行った(表3)。その結果、2度の測定の差異は最大で1フレーム、変動係数は最大0.0049であった。このように、映像を読み取る際の再現性が非常に高かったことから、映像を読み取る際の誤差は非常に小さいと考えられる。

表2 3つのサービス(サービスA~C)の回転量をそれぞれ5回測定した際の再現性

	サービスA	サービスB	サービスC
1回転に要するフレーム数 (1回目の測定)	51	37	39
1回転に要するフレーム数 (2回目の測定)	51	37	39
1回転に要するフレーム数 (3回目の測定)	50	36	39
1回転に要するフレーム数 (4回目の測定)	50	37	38
1回転に要するフレーム数 (5回目の測定)	51	37	39
1~5回目の測定の変動係数(フレーム数)	0.011	0.012	0.012

※ サービスA~C は3000fps で撮影した

※ 変動係数: 標準偏差を平均値で除した値

表3 1ヶ月以上の間隔をあけて2回測定した場合の、測定の再現性。5つのサービスについて。

	サービスA	サービスB	サービスC	サービスD	サービスE
1回転に要するフレーム数 (1回目の測定)	51	37	145	39	35
1回転に要するフレーム数 (2回目の測定)	51	37	144	39	35
1回目と2回目の測定の変動係数 (1回転に要するフレーム数)	0	0	0.0049	0	0
フレーム数から算出した回転量(rpm) (1回目の測定)	3564	4800	1237	2500	3396
フレーム数から算出した回転量(rpm) (2回目の測定)	3564	4800	1246	2500	3396
1回目と2回目の測定の変動係数 (回転量)	0	0	0.0049	0	0

※ サービスA~D は3000fps で撮影した。サービスE は同じく2000fps。

※ 変動係数: 標準偏差を平均値で除した値

III. 結果

各選手(選手A~H)の1st サービスと2nd サービスの回転量を図4に示す。図中、赤い丸が1st サービス、青い四角が2nd サービスを示し、1つのプロットが、1つのサービスの回転量を示す。ただし、まったく同じ回転量のサーブが含まれている場合、1つのプロットが複数のサービスを示してい

ることもある。トップ選手のサービス回転量が概ね、1st サービスは 1000～3500rpm、2nd サービスは 3000～5000rpm の中に分布していることがうかがえる。なお、各選手の平均回転量を 8 名について平均した値は、1st サービスが 2219rpm、2nd サービスが 3838rpm であった。

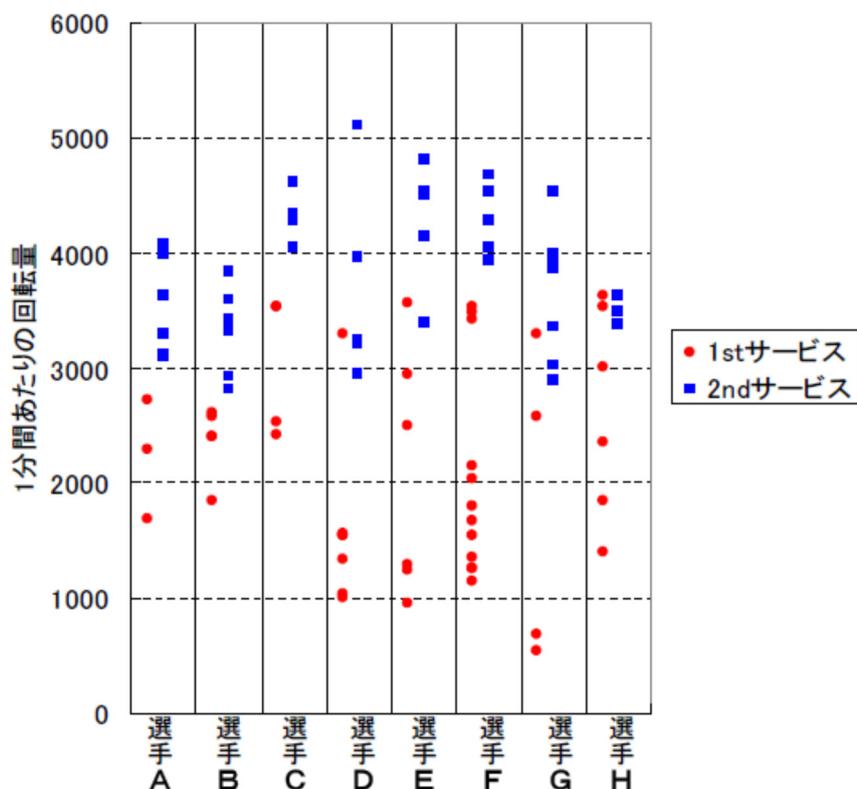


図4 8名の選手(選手A～H)の1stサービス、2ndサービスの1分あたりの回転量。赤い丸が1st サービス、青い四角が2nd サービスを示す。1つのプロットが、1つのサービスの回転量を示す。ただし、まったく同じ回転量のサーブが含まれている場合、ひとつのプロットが複数のサービスを示していることもある。

1. 1st サービスと2nd サービスの比較

図5は、1st サービスと2nd サービスの回転量を比較している。各プロットは8名の選手それぞれの平均値を示す。1st サービスと2nd サービスには、回転量に顕著な差異がみられた。図6は、1st サービスと2nd サービスの各選手内の回転量の変動幅(ここでは標準偏差としてあらわしている)を示す。全体として、1st サービスのほうが2nd サービスよりもばらつきが大きい傾向が見られた。

2. 身長による違い

図7は、各選手の身長と1st サービスの平均回転量の関係を示す。図8は、同じく2nd サービスについての関係を示す。1st サービス、2nd サービスともに、「身長が高いほど回転量が少ない」あるいは逆に「身長が高いほど回転量が多い」という傾向は見られなかった。

図9は各選手の身長と1st サービス回転量の標準偏差との関係を示す。身長が高い選手ほど、1st サービスの回転量の変動幅が大きい(回転量の少ないサーブと多いサービスを幅広く打ち分

けている)という傾向がみられた。図10は、同じく 2nd サービスにおける関係である。2nd サービスの場合、1st サービスのような傾向は見られなかった。

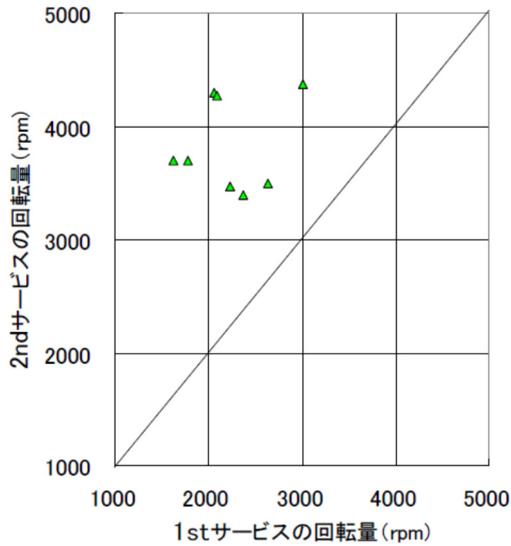


図5 1st サービスと2nd サービスの回転量の比較。各プロットは、8名の選手それぞれの平均値を示す。

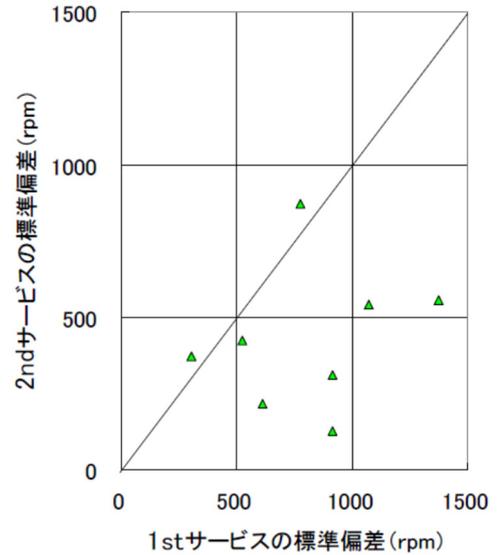


図6 1st サービスと2nd サービスそれぞれの変動幅(標準偏差)。

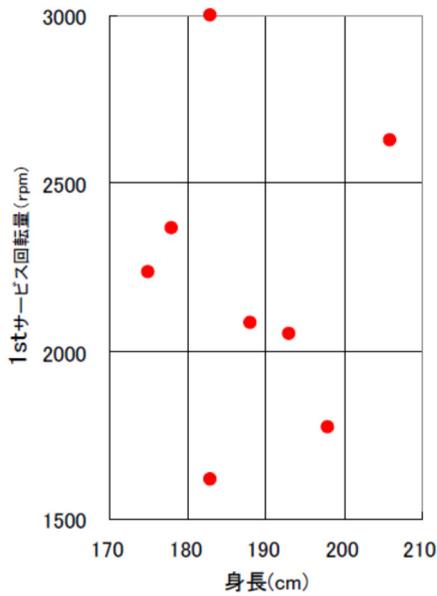


図7 各選手の、身長と平均1st サービス回転量との関係

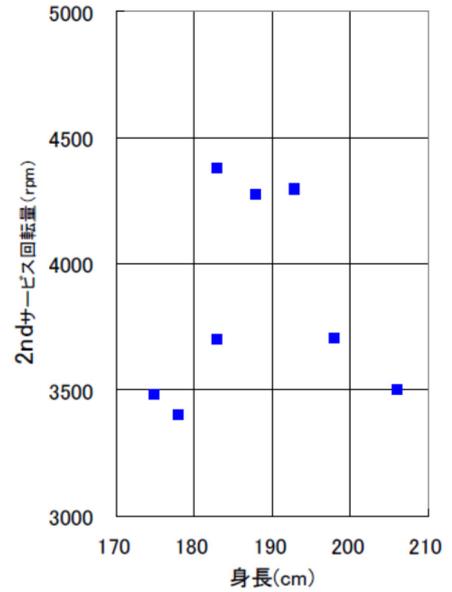


図8 各選手の、身長と平均2nd サービス回転量との関係

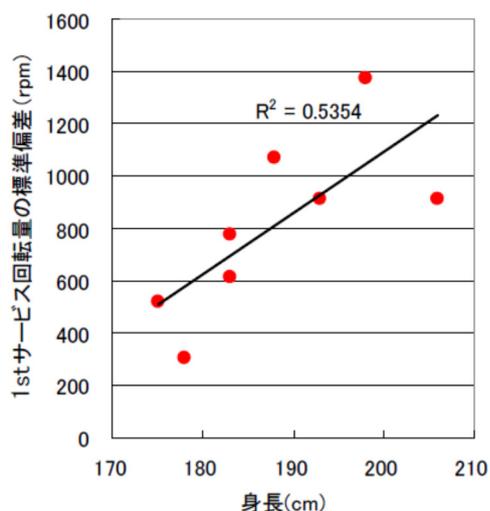


図9 各選手の、身長と1st サービス回転量標準偏差との関係

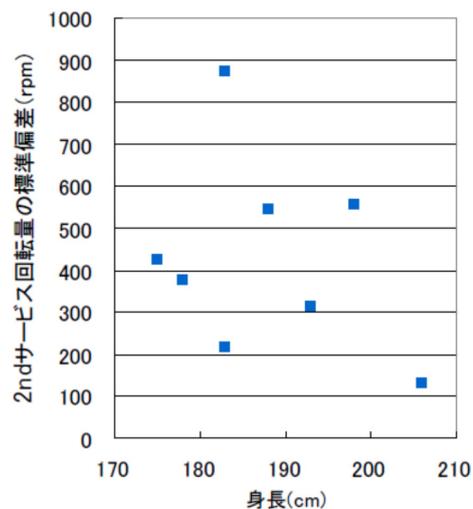


図10 各選手の、身長と2nd サービス回転量標準偏差との関係

IV. 議論

本研究は、世界トップクラスの選手の国際大会におけるサービスの回転量を計測した。いくつかの角度から結果等について検討を加えたい。

1. 本研究の限界、問題点

まず、本研究の限界、問題点について検討したい。

最初に、本研究では、試合中のすべてのサービスを対象としたのではなく、無作為に試合中にピックアップしたものである。従ってたまたま回転量の多いサービスをピックアップしていた、あるいはその逆の可能性も否定できない。しかしながら、各選手につき 10 回以上のサービスを計測していること、8名の選手を計測していることから、世界トップ選手の傾向を掴むことは可能であると考えられる。本研究において、データ数をこれ以上増やせなかった原因としては、1) 本研究で用いた高速度カメラでの撮影においては、一旦カメラのメモリーに蓄えた画像情報(最大2GB)をパソコンに転送し、ハードディスクに保存するため、1 試行毎にある程度の時間がかかる、2) できるだけボールを大写しにしようとしたため、ボールが1 回転する前に画面の範囲から外れてしまうこともあり、そのような場合は分析対象外となってしまった、3) 撮影した映像が暗すぎたり明るすぎたりして、ボールのロゴが鮮明に写っていないケースがあり、その場合は計測対象から除外した、などが挙げられる。3) については、テニスコート内の場所により明るさが異なる(屋根が開いている場合は、太陽の当たり具合が違うため。屋根が閉じている場合は、照明の当たり具合が違うため)ため、その都度カメラの調整を詳細に行う必要があり、その調整がうまくいかなかったためと考えられる。また、世界ランキングが 50 位以内と限定したことから選手が 8 名のみになってしまった。このことも、データ数が少なくなる原因である。今後より多くの選手を計測し、データを増やしていくことが必要である。

次にボールの回転量の測定には、誤差を伴う。特に本研究では、ボールに特殊なマークを付けて実験室的に行ったのではなく、通常の試合をそのまま撮影したため、回転量の測定にとって最良の状況とは言えない。しかしながら、本研究で撮影した試合では、偶然ではあるがボールに大きなマークが施されていたため、計測しやすい状況であった。また、誤差の測定を行うことで、どの程度

の誤差があるのかを明らかにすることができた。その結果、「結果」でも述べたように誤差は4%未満に収まっていると考えられ、現在のトップ選手の傾向を掴むには十分な精度であると考えられる。本研究では、数値そのものの厳密さを追究するのが目的ではなく、トップ選手の回転量がどの程度なのか、ということをつかむことが主な目的であるため、この誤差によって本研究の目的が達成できなくなるとは考えられない。

更に、選手の身長であるが、これは実際に測定したわけではなく、'ATP World Tour'のホームページ(<http://www.atpworldtour.com/Players/Player-Landing.aspx>)から引用したため、どの程度正確かどうかはわからない。しかしながら他に情報の入手方法がないため、やむを得ないと考えている。また、今回は170cm台の選手が小数(2名)だったことから、今後は日本人選手にも多い170cm台の選手のデータを増やすことも考えたい。

本研究では、ボールの回転をできるだけ正確に捉えるために、望遠レンズを用いてかなりボールを大きく写すようにした。ところが回転量の少ないサービスの場合、ボールが1回転する前に画面から外れてしまうことが、ごくまれにあった。この問題を解決するのに簡単な方法は、画角を広げてサービスのインパクトから着地点付近までが入るようにすることだが、そうするとボールが小さく撮影される。これは測定の誤差につながるが、その場合、解像度の高い1000fpsでの撮影も考えられる。

2. 先行研究との比較

世界トップクラスの選手のサービス回転量については、我々の調べた範囲では、殆ど報告されていないが、Sakurai et al.,(2007)は、7名の男子テニス選手(そのうちの5名は世界ランキングを持つ)について、フラットサービスの回転量が平均1240rpm、スライスサービスが同じく2300rpm、キックサービスが同じく3400rpmであったと報告している。

本研究においては8名の選手の平均で、1st サービスが2219rpm、2nd サービスが3838rpmであったことから、回転量だけから考えれば、1st サービスがSakurai et al.,(2007)の報告のスライスサービスに近く、同じく2nd サービスはキックサービスに近いと考えられる。

しかしながら、Sakurai et al.,(2007)の研究ではボールやラケットに小さなマーカーを付けて実験室で測定を行っており、本研究とは状況が大きく異なる点、また被験者の競技レベルが「5名の世界ランキング保持者と2名のランキング非保持者」ということで本研究とは大きく異なる可能性が高い点を考えると、直接比較するのは困難であると考えられる。

3. 計測の精度・誤差について

映像を読み取る際の再現性については、「方法」で述べたように非常に高かった。比較的鮮明な映像が撮影できたこと、ボールに鮮明なロゴが2つ印字されていたことなどが、読み取り精度を上げたと考えられる。

次に、フレームレートが十分であるかどうかについて考えてみたい。本研究で最も回転量が多かったのは、約5000rpmであった。もし5000rpmのサービスを1000fpsで撮影すると、12フレームで1回転していることになる。本研究では上述したように、ボールに付けられたロゴの位置が、1回転してもとの位置に一番近い場所に戻ってくるまでのフレーム数を数える方法で回転量を測定している

ため、「もとの位置に一番近い」状態が、あるフレームとその次のフレームの間に生じている可能性がある。すなわち、最大で0.5フレームの誤差が生じる可能性がある。12フレームで1回転の場合、0.5フレームは4.17%(0.5を12で除した値)に相当する。このことからフレームレート数が不十分なために生じる誤差は、本研究の場合、最大で約4.2%であると考えられる。2000fpsでの撮影の場合、同じく約2.1%、3000fpsでの撮影の場合、同じく約1.4%となる。すなわちフレームレートが多ければ多いほど誤差は小さくなるが、1000fps程度でもサーブの回転量測定に伴う誤差は5%未満であり、大雑把な傾向をつかむには十分であると考えられる。なお本研究では主として2000fpsと3000fpsとで撮影し、1000fpsで撮影したのは1選手のみであった。

その1選手の最大回転量は3830rpmであった。すなわち約15.7フレームで1回転していることになる。もし0.5フレームの誤差が生じた場合、計測される回転量の誤差は、0.5を15.7で除して、約3.2%となる。これが、本研究で生じる最大の誤差であると考えられる。

また、本研究においては、ボールの回転軸が一定である、という前提の元で測定した。

もし回転軸がボールの回転とともにずれていく場合、「方法」において述べた「a フレーム目の位置に一番近い場所に到達」という方法では正確に回転量を測定することができない。

しかしながら、実際の映像を見ると回転軸はほぼ一定であると考えられるため、回転軸のずれについては、本研究では無視した。

4. 1st サービスと2nd サービスの回転量の違いについて

1st サービスと2nd サービスの間には、回転量に明確な違いがあった(図5)が、これが意味するものは何だろうか？。フォルト(有効なエリアにバウンドしないこと)が失点に直結する2nd サービスでは、1st サービスに比べて、スピードよりも確実性を優先することが多い(Chow et al.,2003)。このことは世界トップレベルの選手でも同様であり、2010年の全米オープンテニスの公式ホームページ(http://www.usopen.org/en_US/scores/stats/day21/1701ms.html)によれば、優勝したナダル選手の1st サービス平均スピードと所定エリアに入る確率はそれぞれ187km/h、67%、2nd サービスは同じく142km/h、95%であり、スピードと確率にトレードオフの関係が生じていると考えられる(Chow et al.,2003)。一般に、回転量が多くなればボールスピードは減少する(Cross and Lindsey, 2005; 桜井ほか,2007)こと、またトップ選手においては、2nd サービスは1st サービスと同様のラケットスピードが認められると報告されている(Chow et al.,2003)ことを考慮すると、1st サービスと2nd サービスの違いを生み出している一因が、回転量の違いである、と考えられる。本研究は、これまで殆ど明らかでなかった回転量の違いを実際に計測することで、この点について重要なデータを呈示したと考えられる。

5. 回転量の変動幅の、1st サービスと2nd サービスでの違いについて

各選手とも、1st サービスにおいても2nd サービスにおいても、幅広い回転量のサービスを打っていることが観察された(図4)。この変動幅は1st サービスにおいて、より顕著であった(図6)。スピードが注目されがちな1st サービスでも、実際の試合では回転量に大きな変化を与えていることが明らかとなった。回転量の大きな変化は、スピードや弾道に大きな変化を与えていると考えられる(Cross and Lindsey, 2005; 桜井ほか,2007.)、レシーバーの予測を難しくしている(武田ほか, 2002)

と考えられる。また、2nd サービスでも、1st サービスほどではないが回転量に変化を与えており、相手に容易にリターンさせないサービスを打っていると考えられる。

6. 身長による回転量の違いについて

図7、図8が示すように、選手の身長と各選手の平均回転量との間に、顕著な関連性は見出せなかった。ところが1st サービスについては、身長と回転量の変動幅の間に、顕著な関連が見られた(図9)。身長が高い選手は、回転量が少ないサーブを混ぜる傾向がある一方で、身長の低い選手は、回転量の少ないサーブをあまり用いない、という傾向が示唆される。図4において、選手 A,B は身長 170cm 台、同じく C,D,E は 180cm 台、F,G,H は 190cm 以上の選手であるが、この傾向が見てとれる。打点が高いことは、サービスにおいて誤差の許容範囲を大きくすることにつながり、速いサービスを入れる上で有利である(Cross and Lindsey, 2005)ことから、このような傾向が現れていると考えられる。近年テニス選手が大型化し、そのことはテニスの競技にとって有利であると言われている(ショーンボーン,2007)が、本研究から示唆される「身長の高い選手は、サービスに回転量の変化をより大きく与えることができる」という点も、高身長選手に有利な要因となっているものと考えられる。

7. どのくらいのカメラ性能であればサービスの回転を測定できるか？

例えば、3000rpm(1秒間に50回転)の回転を測定する場合について考えてみたい。

現在大手電気店等にならぶ一般向けのカメラの中で、カシオ社の「ハイスピードエクシム EX-F1」は最大で 1200fps での動画撮影が可能である。もし 3000rpm の回転を 1200fps(1分間に 72000 フレーム)のカメラで撮影するとボール1回転は 24 フレームに相当する。おおよその回転量を知るには十分であると考えられる。ただし上記 EX-F1 の場合、1200fps だと解像度が 336×96 ピクセル、とかなり小さくなり測定が困難である可能性がある(ボールのマークを読み取るためには解像度が低いので、よほどボールを大写しにする必要があるが、そうするとインパクト後すぐにボールを見失う可能性が高い)。上記 EX-F1 の場合、1200fps の他に 600fps、300fps のモードがあるが、600 の場合は 432×192 ピクセル、300 の場合は 512×384 ピクセルとなっている。300fps の場合、3000rpm の回転を測定する場合、6フレームで1回転、ということで撮影は可能であるが、誤差は大きくなる。ただし、おおよその値を調べるだけであれば十分可能である。また、画面の解像度がある程度高くないと計測は困難であるため、現時点で電気店で一般的に購入できる高速度カメラでボールの回転を大雑把に測定するには EX-F1 の 300fps モードが最適であると考えられる。ちなみに一般的なビデオカメラの 30fps を考えると、3000rpm の回転の場合、1回転あたりのフレーム数が 0.6 となり「何周目か」ということもわからないので計測は困難である。

8. 今後の研究の方向性

今後、以下の点について研究をすすめることにより、より実践に役立つデータを得ることを考えている。

- 1) 本研究の信頼性を更に高めるために、データ数(1選手あたりのデータ数および、選手の人数)を増やしていく。対象とする大会の数を増やすのみならず、撮影・保存方法を工夫することで、試合中に得られる映像の数を増やすことを検討中である。
- 2) 様々な競技レベルの回転量を測定することで、レベルと回転量に関係があるかどうかを調査する。本研究の対象よりもランキングが低い選手についても分析・検討を行う予定である。
- 3) 身長による違いを引き続き調査する。特に、170cm 台、160cm 台の選手のデータを充実させ、日本人選手に直接役立ちやすい情報を入手する予定である。
- 4) ボールのスピードと回転量の関連についても検討する。本研究では回転量のみに着目したため、スピードを測定できなかったが、スピードもサービスにおいて重要な要素であるため、併せてデータを得られるよう検討する。
- 5) 回転の方向(回転軸の向き)についても検討する。同じ回転量でも、回転軸の向きによって弾道が異なると考えられ(Cross and Lindsey, 2005; 桜井ほか,2007.)、回転軸の向きに変化を与えることでサービスの効果を高める可能性も考えられる。
- 6) スコアと回転量の関係について検討する。例えば、ブレイクポイントにおけるサービスの回転量は、他のポイントの回転量と異なるのか、といった点は戦術上重要な意味を持つと考えられる。

V. 謝辞

(財)日本テニス協会には、撮影許可を初めとして、大変お世話になりました。ここに御礼申し上げます。

VI. 文献

- ・ Chow,J.W., Carlton,L.G., LIM,Y.-T., Chae,W.-S., Shim,J.-H., Kuenster,A.F.,Kokubun,K. (2003) Comparing the pre- and post-impact ball and racquet kinematics of elite tennis players' first and second serves: a preliminary study. *Journal of Sports Sciences*, 21: 529-537.
- ・ Cross,R., Lindsey,C. (2005) *Technical tennis : racquets, strings, balls, courts, spin, and bounce*. Vista, Calif. : Racquet Tech Pub.,pp.119-152.
- ・ 堀内昌一, 森稔詞, 丸山淳一, 木本知, 高田充(2008)トッププレーヤーベストショット 777. ベースボール・マガジン社, p.4.
- ・ 桜井伸二, 神事努, 笹川慶, 塚田卓巳, 山崎剛盛(2007)「ボールの回転と軌跡」*東海保健体育科学*, 29:1-16.
- ・ Sakurai, S., Jinji, T., Reid,M., Cuitenho,C., Elliott, B. (2007) Direction of Spin axis and spin rate of the ball in tennis service. S197, *Journal of Biomechanics* 40(S2).
- ・ 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ニング BOOK. ベースボール・マガジン社, pp.85-86.
- ・ 武田守弘, 関矢寛史, 大場渉(2002) サービスフォームがサービスコースおよび球種予測に及ぼす影響. *テニスの科学*, 10: 69-75.
- ・ W.T.チルデン: 福田雅之助訳(1980) *チルデンのベター・テニス*. ベースボール・マガジン社, p.52.