

卓球におけるワールドクラス選手のサービスの回転数

吉田 和人¹⁾ 山田 耕司²⁾ 玉城 将³⁾
内藤 久士⁴⁾ 加賀 勝⁵⁾

Kazuto Yoshida¹, Koshi Yamada², Sho Tamaki³, Hisashi Naito⁴ and Masaru Kaga⁵: The rotation speed of the service ball delivered by world-class table tennis players. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 59: 227-236, June, 2014

Abstract : The rotation speed of the ball spin has been considered a key factor in winning table tennis matches. This study quantified the rotation speed (rotations per second: rps) of service balls delivered by quarter-finalists in the 2009 World Table Tennis Championships. Ball services were recorded during the quarter-finals of both the men's and women's singles, involving 4 matches and 8 players per gender, using a high-speed video camera (1000 fps) for calculation of the rotation speed, and a standard video camera (30 fps) for distinguishing players and aces (including those touched by the receiver). Eventually, the rotation speeds of 329 services were calculated, and these ranged from 13.7 to 62.5 rps. For men, 50-60 rps was the most frequent (40.0%) range of the rotation speeds, while for women, the corresponding range was 40-50 rps (43.8%); the average (\pm SD) rotation speed was significantly greater for men than for women (46.0 ± 9.0 vs. 39.2 ± 9.3 rps, $p < 0.001$). The fastest rotation speed was 62.5 rps for both genders. Chinese men produced a slower rotation speed than did other men (43.5 ± 8.9 vs. 51.0 ± 6.8 rps, $p < 0.001$). For women, however, the rotation speed was similar between Chinese players and the others (39.9 ± 10.2 vs. 38.5 ± 8.2 rps). The rotation speeds of aces were scattered over a wide range of 37.0-58.8 rps for men and 27.8-62.5 rps for women, implying a weak association between aces and fast rotation. These pioneering data may help clarify some of the technical and tactical aspects of table tennis, and can be used to develop training and game strategies for successful performance.

Key words : quantitative study, World Table Tennis Championships, singles quarter final, ace
キーワード : 定量的研究, 世界卓球選手権, シングルス準々決勝, サービスエース

1. 緒 言

野球の投球, バレーボールのサービス, サッ

カーのシュートなど様々なスポーツの局面で利用されるボールの回転は, マグナス効果により飛行中のボールの軌道を変化させる. これによって, 対戦者はボールを時間的・空間的に正確にとらえ

- 1) 静岡大学教育学部
〒422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷836
 - 2) NPO 法人卓球交流会
〒422-8005 静岡県静岡市駿河区池田190-2
 - 3) 慶應義塾大学大学院理工学研究科
〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1
 - 4) 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科
〒270-1695 千葉県印西市平賀学園台 1-1
 - 5) 岡山大学大学院教育学研究科
〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1
- 連絡先 吉田和人

1. Faculty of Education, Shizuoka University
836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka 422-8529
 2. Table Tennis Friendship Club
190-2 Ikeda, Suruga-ku, Shizuoka 422-8005
 3. Graduate School of Science and Technology, Keio University
3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8522
 4. Graduate School of Health and Sports Science, Juntendo University
1-1 Hiragakuendai, Inzai, Chiba 270-1695
 5. Graduate School of Education, Okayama University
3-1-1 Tsushima-Naka, Kita-ku, Okayama 700-8530
- Corresponding author ehkyosi@ipc.shizuoka.ac.jp

られなくなる。一方、卓球でのボールの回転は上記の効果に加え、ラケットとボール接触時の摩擦力により、対戦者が返球の方向をコントロールできなくなるという効果にも大きく貢献する。卓球では、このゲーム戦略が特に多用されており、ボールの回転は速度やコースと共に、打球の威力を決定する3つの要素（荻村，1967）の中の一つとして重要視されている。実際に、世界トップレベルの選手でさえ、対戦者の打球の速度やコースに対応することで十分な打球体勢にありながら、回転に対応できないことにより返球の方向をコントロールできずに失点する場面が頻繁に観察される。

卓球のボールの回転には、速度やコースと異なり、肉眼では十分に観察できないという特徴がある。そのため、打球の回転数の大小に関する評価は、対戦選手や観戦者の主観に委ねられてきた。これを明らかにするべく、これまで世界トップレベルの卓球選手の打球の回転数の測定に着手した研究はいくつかみられる。これらの多くでは、配球用ロボットなどから発射されるボールを打ち返す場面を主な測定対象とし、打法や選手の競技レベルがボールの回転数にどのように影響しているかを明らかにしている（葛西，1993；Wu et al., 1992；Xie et al., 2002）。また、サービス時のボールの回転数を測定した研究もある（Lee and Xie, 2004a）。この研究では、回転方向や打球サイドなどを指定したサービス球種におけるボールの回転数を明らかにし、それらを球種間で比較している。しかし、以上で挙げた研究は実験環境による検証のため、ゲームの戦略的要因からなる実際の試合におけるボールの回転数や、回転数の頻度分布を明らかにするには至っていない。

実際に卓球の国際大会を測定対象とした研究はいくつかみられるが（Kusubori et al., 2012；Lee and Xie, 2004b；Wang et al., 2008；吉田ほか，1991，1993），世界トップレベル選手が繰り出す打球の回転数を測定した研究は、Wang et al. (2008)に限られる（2007年女子ワールドカップ）。しかし、この研究では世界トップレベルの中国選手3名のみが対象となり、それぞれ2本

（3名の中の1名は1本だったため、合計で5本）の下回転サービスの回転数を明らかにしたに過ぎず、世界トップレベル選手の試合中のボールの回転数を全般的に理解するにはより多くのデータが必要である。さらに、Wang et al. (2008)の研究では、次の改善すべき点が挙げられる。(1)対象とした試合数、回転数や回転方向の測定方法の詳細などが示されていない。(2)回転数測定のための高速度ビデオカメラによる撮影が200 fpsで行われており、卓球における高速なボールの回転を測定するための撮影として十分でない。この主な理由として、200 fpsのフレームレートでは、同研究のボールの回転数の最大値である40 rpsの場合、映像1フレームでボールが72°回転することになり、ボールに刻印されたメーカーのマーク（以下、ボールのマーク）が1回転する間のフレーム数から、それに要する時間の厳密な測定が難しいなどがある。

以上のように、卓球では、ボールの回転が球威の重要な要素の一つと考えられているにもかかわらず、「世界トップレベルの選手が、実際の国際大会でどの程度の回転のボールを打ち出しているか」については、ほとんど明らかとなっていない。世界トップレベルの試合中のボールの回転数を明らかにできれば、「ボールの回転の影響を強く受ける」という従来からの指摘が、実際にどの程度事実であるかの解明が大きく進むことになる。このことは、世界各国の卓球選手やその指導者らにとって、競技力向上のために応用できる有益な知見をもたらすものと期待できる。また、卓球の競技特性が広く理解され、多くの人の卓球への興味・関心を高めることに寄与するものと考えられる。

そこで、本研究の目的は、世界卓球選手権大会の男女シングルの試合のサービスを対象に、世界トップレベルの卓球選手が打ち出すボールの回転数を明らかにすることとした。これにより、サービスの回転数の男女差や、サービスエース（サービスのみによる得点）の発生する回転数などについても検討する。また現在、世界トップレベルとの対戦が豊富な多くの選手らのコメント

(卓球王国編集部, 2009, 2010; 卓球レポート編集部, 2009)などをみると、「中国選手のサービスは回転数が大きく、威力がある」との理解が、競技現場において広く定着していることがわかる。しかし、これについての定量的検証による事実確認は未だなされていないため、サービスの回転数を中国選手と中国以外の選手の間で比較する。

2. 方 法

2.1 撮影方法

撮影は、2009年4月28日から5月5日に開催された世界卓球選手権横浜大会会場（横浜アリーナ）で行われた。この撮影については、(1)卓球の競技特性を明らかにする研究のためのデータ収集が目的であること、(2)観客の観戦や大会運営に支障をきたさないことなどを説明し、国際卓球連盟より許可を得た。

撮影には、高速度ビデオカメラ（Vision Research社製、Phantom MIRO4）と家庭用ビデオカメラ（SONY社製、DCR-TRV70）を用いた。高速度ビデオカメラでは、サービスの回転数を測定するための映像を撮影し、そのフレームレートは1000 fps、露光時間は997.5 μ s、画像サイズは320×240画素とした。フレームレートについては、Wang et al. (2008)の研究の5倍の分解能で回転数の測定が可能であること、コンピュータに記録するための時間が長くなり過ぎてサービスの撮影数が少なくなることの2点を考慮して、1000 fpsとした。家庭用ビデオカメラでは、サーバーの特定やサービスエースかどうかの判別のための映像を30 fpsで撮影した。ビデオカメラは全て、卓球台のセンターラインの後上方にあたる3階席に敷設した（Fig. 1）。高速度ビデオカメラには、望遠レンズ（NIKON社製、Ai AF Zoom-Nikkor ED 80—200 mm F2.8D、あるいは、SIGMA社製、APO 120—300 mm F2.8 EX DG HSM）を取り付けてボールのマークを観察できるようにし、カメラに向かって構える側の選手のサービスを記録対象とした。

今回の撮影では、サービス1本ごとの高速度

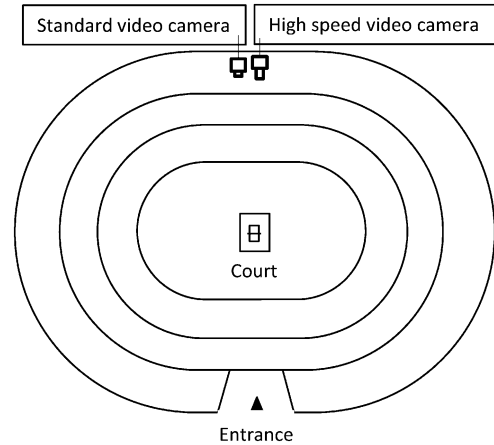


Fig. 1 The position of the high speed video camera (1000 fps) and the standard video camera (30 fps). Both cameras were rested on tripods on the 3rd floor of the venue. A telephoto lens was attached to the high speed camera to be able to capture the rotation of the ball mark.

映像をパーソナルコンピュータに記録した後、次のサービスの撮影に備える手順を組んだ。そこで、頻繁に生じるサービスシーンに追いつくための対応として、コンピュータのデータ記録時間を次の方法により短縮した。(1)画質は、ボールのマークの動きから回転数が測定できる程度とする。(2)対象は、サービスの打球時点（あるいはその直後）からサーバーコートでのボールバウンド時点（あるいはその直前）までとする。

2.2 分析方法

分析対象は、男女準々決勝の8試合（男女各8名）において、高速度ビデオカメラと家庭用ビデオカメラの両方の映像が得られた355本のサービスとした。これは、男女準々決勝における今回の撮影対象（カメラに向かって構える側の選手のサービス。サービスミスおよびレットは除く）のサービス387本の91.7%であった。

準々決勝に進出した男子選手は、中国代表5名、デンマーク代表1名、日本代表1名、韓国代表1名であった。彼らの大会時の世界ランキング（2009年4月1日国際卓球連盟発表）は、上位者から順に、1位、2位、3位、5位、7位、

9位, 18位, 37位であった。女子選手は, 中国代表4名, チェコ代表1名, 日本代表1名, 韓国代表1名, シンガポール代表1名であった。彼女らの世界ランキングは, 上位者から順に, 1位, 2位, 3位, 6位, 12位, 25位, 90位, 99位であった。

ラケットの握りは, 男子選手では5名がシェイクハンドタイプ, 3名がペンホルダータイプであった。女子選手では全員がシェイクハンドタイプであった。ラバーについては, 男女各1名(いずれも, ラケットの握りがシェイクハンドタイプ)が片面にツブを外向きにしたものを使用しており, それら以外は全て, ツブを内向きにしたものを使用していた。なお, 今回の測定で回転数が明らかになったサービスの中に, ツブを外向きにしたラバーで打球したものはみられなかった。

サービスの回転数については, 高速度ビデオカメラの映像において, サーバーの打球からサーバーコートでの第1バウンドまでの間に, ボールのマークが1回転する間のフレーム数を計測することにより算出した (Fig. 2)。この計測は, 計測に慣れている2名で行った (intra-class correlation = 0.97)。2名の計測結果が異なったサービスについては, さらに新たな1名が計測した。このような手順により, 2名の計測結果が同じとなることによって, 各サービスの回転数を決定した。なお, 今回の測定では, (1)観客用3階席からの撮影であり, 台に対するカメラの光軸を

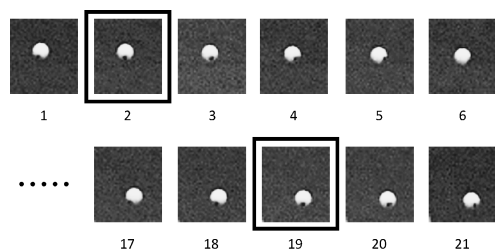


Fig. 2 Sequential images of a spinning ball captured by the high speed video camera at 1000 Hz. The Figure shows that the printed mark on the ball surface rotates 360° between the 2nd and the 19th frames (in 17 frames), corresponding to 0.017 s thus 58.8 rps.

任意に設定できなかったこと, (2)サービスの回転測定のために, 複数の高速度ビデオカメラを同期して利用できなかったこと, (3)競技フロアでの校正用の撮影ができなかったことなどから, 撮影映像から対戦者に対するサービスの回転方向を厳密に特定することはできなかった。

計測されたサービスの回転数は10 rps 以上20 rps 未満, 20 rps 以上30 rps 未満, 30 rps 以上40 rps 未満, 40 rps 以上50 rps 未満, 50 rps 以上60 rps 未満, 60 rps 以上70 rps 未満と, 10 rps ごとに6群のいずれかに振り分けられ, 各回転数群のサービス数を特定した。

記録されたサービスについて, サービスエースであったか否かの判定は2名の卓球研究者により行われた。これらの研究者はいずれも, 卓球の競技経験と指導経験を有する日本卓球協会スポーツ医科学委員会委員であった。ただし, 本研究では, サービスエースを発生させるボールの回転数に着目しているため, 主要因が回転の影響と判断されるものを抽出した。つまり, コースやスピードに対応できなかったことが主要因のものと, 強打などにおけるレシーバー自身のミスによるものは, 検討の対象外とした。

2.3 統計処理

男女間, 国籍間 (中国 vs. その他), およびラケットのグリップ間 (shake-hand vs. pen-hold, 男子選手のみ) における2群間の平均値の比較は, Levene の等分散性の検定を経て, t 検定により行った。全ての検定において, 危険率5%未満をもって有意とした。

3. 結 果

3.1 分析データ

分析対象の355本のサービスの中で, 回転数を測定できたものは329本 (全分析対象の92.7%), 測定できなかったものは26本 (同7.3%) であった。回転数を測定できなかった原因は, 22本のサービスが「回転軸の向きによって, あるいは, サーバーの身体の陰に隠れているなどによって,

Table 1 Comparison of the rotation speed of service ball (mean \pm SD) between genders, nationalities and grip types.

		Men			Women		
		Player (n)	Service (n)	Rotation Speed (rps)	Player (n)	Service (n)	Rotation Speed (rps)
All		8	185	46.0 \pm 9.0	8	144	39.2 \pm 9.3 [†]
Nationality	Chinese	5	124	43.5 \pm 8.9	4	77	39.9 \pm 10.2
	Others	3	61	51.0 \pm 6.8 ^{††}	4	67	38.5 \pm 8.2
Grip	Shake-hand	5	120	46.0 \pm 9.0	8	144	39.2 \pm 9.3
	Pen-hold	3	65	45.9 \pm 9.1	nil	nil	n.a.

[†] $p < 0.001$, significant difference in rotation speed between men and women.

^{††} $p < 0.001$, significant difference in rotation speed between Chinese men and the other men.

映像でボールのマークが観察できない」, 4本のサービスが「打球時点からサーバーコートでのバウンド時点までの間に, ボールが1回転しない」であった. 4本のサービスはいずれも, 打球後すぐに自領コートエンドライン近くにバウンドさせるスピード系ロングサービスであった.

3.2 男女, 国籍, グリップ間における回転数の比較

Table 1より, サービスの平均回転数は男女間で有意差がみられ ($p < 0.001$), 男子選手のサービスの回転数の方が女子選手と比べ大きかった. 中国選手と中国以外の選手との比較においては, 男子のみで有意となり ($p < 0.001$), 中国以外の選手のサービスの回転数の方が大きかった. ラケットのグリップによる回転数の違いはみられなかった (男子選手のみ対象).

3.3 サービスの回転数分布

Fig. 3には, サービスの回転数の分布を男女別に示した. サービスの回転数の最頻値は, 男子選手では50 rps以上60 rps未満, 女子選手では40 rps以上50 rps未満であり, これらのサービスの出現頻度は, 男子選手で40.0%, 女子選手で43.8%であった. また, 男子選手においては40 rps以上50 rps未満においてもサービス頻度が高かった (39.5%).

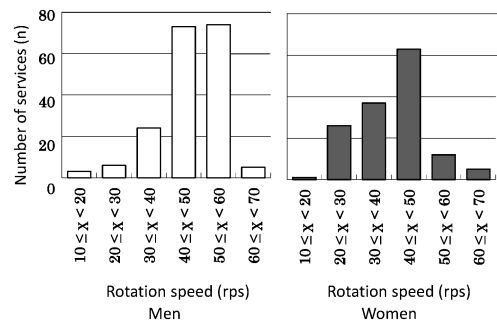


Fig. 3 A frequency distribution graph showing the number of services for each rotation speed range (grouped by every 10 rps).

3.4 選手ごとのサービスの回転数とサービスエース

Fig. 4には, 選手ごとのサービスの回転数分布とサービスエース時の回転数を示した. 箱の中の太線は中央値, 箱の上端は75パーセンタイル値, 下端は25パーセンタイル値, ひげは最大値と最小値を示した. 選手ごとのサービスの回転数については男女共に, 中央値, 75パーセンタイル値, 25パーセンタイル値, 回転の範囲 (最大値—最小値) が選手間で大きく異なった. サービスの回転数の最大値は, 男女いずれも62.5 rpsであり, 男子では4名, 女子では2名にみられた. 最小値は, 男子が17.5 rps, 女子が13.7 rpsであった.

サービスエース (本研究の定義に該当したもの) の総数は男子19本, 女子13本であった. それら

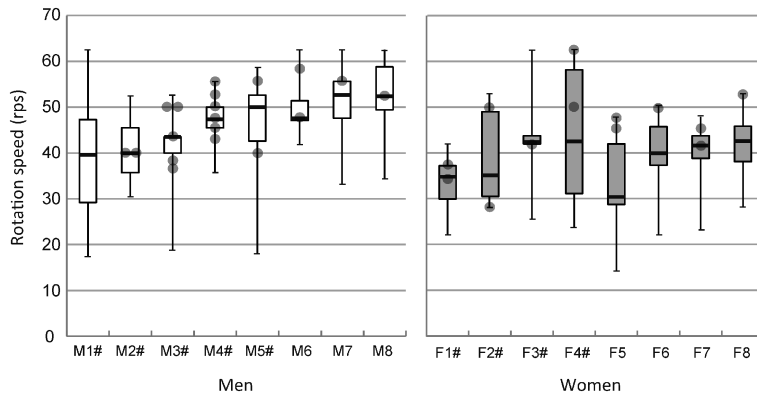


Fig. 4 Box-and-whisker plots for the rotation speed of service ball for each individual player (# Chinese players). The rotation speeds of aces are indicated by [●] per individual. Lower (Q1) and upper (Q3) quartiles are depicted with the box, and the median (Q2) with the thick line [—] inside the box. The bottom and top of the whisker represent the minimum and maximum values, respectively.

の回転数は、男子で37.0—58.8 rps, 女子で27.8—62.5 rps であった (Fig. 4).

4. 考 察

4.1 サービスの回転数

サービスの回転数の分布から、男子選手では50 rps 以上60 rps 未満, 続いて40 rps 以上50 rps 未満の回転域で高頻値となった。女子選手では特に40 rps 以上50 rps 未満が最頻値となった (Fig. 3)。さらに、回転数の平均値をみると男子選手のサービスは女子選手と比べ有意に大きく、その差は約15%であった (Table 1)。このことから、世界トップレベルの試合では、男女それぞれにサービスの出現頻度の高い回転域があり、選手にとってはそれらの回転域への対応が重要であると考えられる。卓球のサービスでは、ラケットとボールの衝突のさせ方によって、ボールに作用する力の方向を調節することが重要な技術の1つとされている。そのため、スマッシュなどのような全力での強打の場合とは異なり、女子選手と比べて筋力が大きいとされる男子選手のサービスの方が、必ずしも回転数が大きいとは考えられてこなかった。今回の結果で男女間にみられたサービスの回転数の差について、その技術的要因とし

て、男子選手のサービスは女子選手と比べ、(1)打球時にラケットからボールに作用する力の方向を調整する技術が優れていた、(2)絶対的な筋力の差がラケットスイングの加速に貢献し、打球時のスイング速度を大きくしていた、などが考えられる。また、ゲーム戦略的要因として、女子選手はサービス後のプレーのしやすさを考えて、あえて回転数の小さいサービスを多用していたなどが考えられる。しかし、この研究で得られた結果から、男女のサービスの回転数に差が生じた主たる要因を特定するには至らなかった。

また、サービス回転数の分布は選手間でも大きく異なっていた (Fig. 4)。卓球においてサービスは、選手自身がすべてをコントロールできる唯一のクローズドスキルである。そのため、こうした回転数の分布に、各選手のゲーム戦略が表れていることが推察される。今後、選手ごとのサービスの回転に関するデータを増やすことにより、様々な対戦者との試合、あるいは同一対戦者との複数の試合での分布の変化などを検討し、その詳細を解明していくことが必要である。

4.2 サービスエースの回転数

サービスエースの回転数は男子で37.0—58.8 rps, 女子で27.8—62.5 rps と比較的広範囲で発

生し、絶対的に高い回転域でサービスエースが集中するという結果はみられなかった (Fig. 4). 男子では特に40—60 rps, 女子では40—50 rps 域にサービスエースの大半が属したが, これは打たれたサービスの数がこれらの帯域で最も多かったためと言える (Fig. 3, 4).

選手ごとのサービスエース数は, M4 が 6 本, M3 が 5 本であり, その他の選手ではいずれも 2 本以下であった. M3 と M4 のサービスの回転数の最大値は, 男子選手 8 名の中で, それぞれ小さい方から 1 番目と 3 番目であった (Fig. 4). さらに, この 2 名の選手では, 回転数が 25 パーセント値以下においてもサービスエースが複数みられた (Fig. 4).

卓球の競技現場では, 回転数の大きいサービスを打ち出すことが, レシーバーの打球の方向を狂わせるために有効であると考えられており, 多くの指導書 (例えば, 日本卓球協会, 2012) では, 回転数の大きいサービスを習得するためのコツが紹介されている. しかし, 今回の結果から, 卓球トップ選手の試合においてボールの回転によるサービスエースを獲得するためには, 打ち出した直後のサービスの回転数が絶対的に大きいことが必ずしも重要ではないと推察される.

しかしながら女子選手においては, 男子選手と同様に, 全体的に広範囲でサービスエースが発生している中, 個人内での高い回転域, もしくは最大値を記録したサービスによるエースが比較的多くみられた (Fig. 4). このことから女子選手では, それぞれの試合における選手ごとの高い回転域でのサービスを放つことがエースに繋がった可能性が示唆される.

4.3 卓球のドライブとサービスの回転数の比較

既述の通り, 世界トップ選手のドライブの回転数は, いくつかの実験により明らかにされているが, それらの実験では, 当時の公式球であった 38 mm ボールが使用されている. 現在の公式球である 40 mm ボールの特性については, 湯ほか (2002) の実験により, 「38 mm ボールと比べて

回転量が約 5—20% 低下する」ことが明らかにされている. この値を用いた換算 (吉田, 2007) によると, 1987年の中国ナショナルチームの選手のスピードドライブとループドライブの回転数の平均値 (Wu et al., 1992) は 107.9—128.2 rps と 102.7—122.0 rps, 1969年の世界チャンピオン伊藤繁雄選手のスピードドライブとループドライブの回転数の平均値 (葛西, 1993) は 89.8—106.6 rps と 92.6—110.0 rps になる.

上記のスピードドライブやループドライブの測定値と比較すると, サービスの回転数の平均値は 30—50% 程度であった. ドライブとサービスの回転数にはこれほどの違いがあるにもかかわらず, 卓球では, 対戦相手の回転への対応の難しさが, サービスで指摘されることが多い. これについては, 主に回転数の大きい上回転のボールが打ち出されるドライブと, 回転数や回転方向の多種多様なボールが打ち出されるサービスとの違いとの関連が推察されるが, 特に本研究では, サービスが様々な回転域で打たれていることが支持される結果となった (Fig. 3, 4).

4.4 実践への示唆

本研究により, 世界トップレベルの選手がサービスエースを得るためには, 単に回転数の大きいサービスを打ち出すのではなく, 例えば, 対戦者にとって回転の判別が難しい打ち方などが重要であると示唆される. 実際に吉田ほか (1995) は, 卓球のサービスにおけるボールの回転調節について, 世界トップレベルを含む選手を対象に実験的検討を行い, 対戦者にとって回転の判別が困難な動作が有効な役割を果たしていることを明らかにしている. このような打ち方の習得には, レシーバー視点からのビデオ映像の利用などが有効であると考えられる.

一方, 女子選手では, 各選手の 75 パーセント値以上の高回転側に外れた時にサービスエースが多くなる傾向が観察された (Fig. 4). つまり, 女子選手では高回転の有利性がある程度支持されると言える. しかし, 高回転のサービスを多用する選手において必ずしもサービスエースが多

くはないことや、サービスエースが広い回転域にかけて発生していることから、回転の判別を困難にする打ち方なども重要である可能性が示唆される。近年の女子選手の強化の方向性の1つとして、プレーの男性化が有効であると言われており(星野, 2012; 岸, 2012), 男子選手のようなプレーができることの重要性が指摘されている。本研究におけるサービスの平均回転数や回転数分布の結果から、女子選手は男子選手と比べ、高回転のサービスを打ち出すことや返球することが少なく不慣れであり、このことが高回転サービスの有利性にある程度関与していると推察される。以上から、女子選手の強化策としては、回転の判別を困難にすることなどに加え、上記の指摘通り男子選手のような回転数の大きいサービスを習得することや、回転数の大きいサービスに対するレシーブ技術を高めるため、男子選手のサービスを返球する練習を行うことが効果的であると言えよう。

中国選手と中国以外の選手との間でサービスの回転数の平均値を比較すると、男子では、中国以外の選手の方が有意に大きく ($p < 0.001$), 女子では、両群間に有意差がみられなかった (Table 1)。この結果は、前述した「中国選手のサービスの回転数は大きい」という世界一流選手らの指摘(卓球王国編集部, 2009, 2010; 卓球レポート編集部, 2009)とは異なるものであった。つまり、中国選手への対策としては、「サービスの回転数が絶対的に大きいわけではない」という前提で、サービスにおける回転調節時の動作などに着目することが重要であると考えられる。

また本研究の結果は、様々な競技レベルの選手や指導者にとって、サービスの回転数の参考基準になると考えられる。選手がこれらの結果を具体的に利用する場面として、(1)自身のサービスの回転数と世界トップレベルとの比較、(2)世界トップレベルのサービスの回転数を体感するための、配球マシンを使ったレシーブ練習時の回転数の設定、などが挙げられる。これらは、通常の蛍光灯を使用した室内の卓球場において、高速なフレームレートを任意に設定できる家庭用デジタルカメラを用いることにより簡便に実施できる。これに

ついて著者らは、回転数を明らかにしたいボールの近くにカメラ(CASIO社製, EX-F1,あるいは、CASIO社製, EX-FH100)を敷設し、1000fps(画像サイズは224×64画素)以上のフレームレートで撮影するという方法で可能であることを確認している。この方法によって、各々のサービスやレシーブの課題が、ボールの回転数の絶対的な大きさに関連するものか、あるいは、(回転数は世界トップレベルに近いので)対戦者にとって回転判別の難しい打ち方など、回転数以外の重要項目に関連するものかを見極めることが可能となると考える。

今回の測定では、観客席からボールの回転を測定できる高性能カメラが大きな役割を果たした。今後、高性能カメラの開発が進むことにより、それらのスポーツの競技現場へのさらなる応用が期待できると考える。

4.5 今後の課題

卓球では、これまで大会場での測定がほとんど行われてこなかった。その一要因として、大会場での測定環境が十分に整っている状態にはないことが挙げられる。今回の研究の成果と課題などをもとに、トップ選手の大会場面でのパフォーマンスを対象とした卓球の競技特性を解明するための研究環境の整備を、国際卓球連盟や日本卓球協会と共に進めて行く必要があると考える。

世界トップレベルの国際卓球大会におけるボールの回転の実際について、(1)分析選手数やデータ数を増やすこと、(2)回転数と回転方向を同時に明らかにすること、(3)ドライブやカットなど、サービス以外の打球を対象に分析を進めることなどが、今後の課題である。

5. まとめ

- 1) サービスの回転数の最頻値は、男子選手では50 rps以上60 rps未満(40.0%)、女子選手では40 rps以上50 rps未満(43.8%)であった。
- 2) サービスの回転数の平均値±SDについて

は、男子選手が 46.0 ± 9.0 rps、女子選手が 39.2 ± 9.3 rpsであり、男子選手の方が女子選手と比べ有意に大きかった ($p < 0.001$)。男女のサービスの回転数の最大値はいずれも62.5 rpsであった。

- 3) 中国選手と中国選手以外のサービスの回転数を比較すると、男子では中国選手以外の方が中国選手より大きく ($p < 0.001$)、女子では両群間に有意差はみられなかった。
- 4) ボールの回転によるサービスエースの回転数は、男子選手で37.0—58.8 rps、女子選手で27.8—62.5 rpsであった。

これらは、ボールの回転が重要とされている卓球の競技特性の解明に寄与するとともに、選手や指導者らにとって、強化指針の作成や実際の練習などにおける有益な情報となると考える。

謝辞

本研究にあたり、国際卓球連盟には大変お世話になりました。とりわけ、国際卓球連盟スポーツ医科学委員会副委員長であった辻裕氏には、世界卓球選手権横浜大会での撮影がスムーズに実施できるよう、多大なご協力をいただきました。また、国際卓球連盟のイベント・マーケティングのマネージャーであった Christian Veronese 氏には、大会場での撮影実施に関する貴重なご助言をいただきました。その他、慶應義塾大学特任准教授（元国立スポーツ科学センター研究員）の太田憲氏には、大会場での撮影にご協力いただきました。この紙面を借りて、深甚の謝意を表します。

付記

本稿は、平成21年度日本卓球協会スポーツ医科学研究費および日本学術振興会科学研究費（課題番号24650384）の助成を受けて実施された研究に関わる成果の一部である。

文 献

星野一朗 (2012) 強化への取り組みについて。日本卓球協会編, 2012強化指導指針。日本卓球協会: 東京, pp. 6-12.

- 葛西順一 (1993) 卓球—ボールの速度と回転数。J. J. Sports Sci., 12(6): 372-378.
- 岸 卓臣 (2012) 世界で戦っていくためのポイント 女子ジュニアナショナルチーム。日本卓球協会編, 2012強化指導指針。日本卓球協会: 東京, pp. 21-22.
- Kusubori, S., Yoshida, K., and Sekiya, H. (2012) The functions of spin on shot trajectory in table tennis. International Conference on Biomechanics in Sports, 30: 245-248.
- Lee, K.T. and Xie, W. (2004a) The variation in spins produced by Singapore elite table tennis players on different types of service. International Symposium on Biomechanics in Sports, 22: 326-329.
- Lee, K.T. and Xie, W. (2004b) Comparative studies between the techniques of Singapore and Thailand male elite table tennis players for SEA Games 2001. International Symposium on Biomechanics in Sports, 22: 330-333.
- 日本卓球協会編 (2012) 卓球コーチング教本。大修館書店: 東京, p. 126.
- 荻村伊智朗 (1967) 世界の選手に見る卓球の戦術・技術。卓球レポート編集部: 東京, pp. 13-14.
- 卓球王国編集部 (2009) 日本王者が見る中国卓球。卓球王国, 144: 93.
- 卓球王国編集部 (2010) 世界の技 in モスクワ vol. 5。卓球王国, 163: 89-97.
- 卓球レポート編集部 (2009) 第50回世界選手権横浜大会 (個人戦)。卓球レポート, 53(6): 10-23.
- 湯 海鵬・溝口正人・豊島進太郎 (2002) 40 mm 卓球ボールの打撃特性。体育学研究, 47: 155-162.
- Wang, J., Zhou, J.H., Li, X.F., and Li, L.S. (2008) Biomechanical kinetic analysis of serve techniques in table tennis for elite women player Yining Zhang. International Conference on Biomechanics in Sports, 26: 580.
- Wu, H.Q., Qin, Z.F., Xu, S.F., and Xi, E.T. (1992) Experimental Research in Table Tennis Spin. International Journal of Table Tennis Sciences, 1: 73-78.
- Xie, W., Teh, K.C., and Qin, Z.F. (2002) Speed and spin of 40mm table tennis ball and the effects on elite players. International Symposium on Biomechanics in Sports, 20: 623-626.
- 吉田和人・飯本雄二・牛山幸彦・加賀 勝・鈴木健治 (1991) DLT 法による一流卓球選手の移動解析。スポーツ教育学研究, 11(2): 91-102.
- 吉田和人・飯本雄二・牛山幸彦・加賀 勝・鈴木健治

(1993) 戦型の異なる卓球一流選手の3次元移動解析. 東海保健体育科学, 15: 1-8.

吉田和人・蛭田秀一・島岡みどり・竹内敏子・飯本雄二・油座信男 (1995) 卓球サービスの3次元動作解析—回転の異なるサービスにおける動作について—. 第12回日本バイオメカニクス学会大会論文集: 294-299.

吉田和人 (2007) 卓球におけるボールの回転操作. バイオメカニクス研究, 11 (3): 220-228.

(平成25年9月13日受付)
(平成26年3月18日受理)

Advance Publication by J-STAGE
Published online 2014/4/21