

令和 2 年 9 月 10 日現在

機関番号：25406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01666

研究課題名(和文)卓球のインパクト現象解明とボール回転とショット軌跡との関係に関する空気力学的研究

研究課題名(英文) The impact phenomenon, and an aerodynamical study between ball spin and shot trajectory in the table tennis shots.

研究代表者

楠堀 誠司 (KUSUBORI, Seiji)

県立広島大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号：10513856

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：日本人女子卓球エリート選手を対象に、フォアハンド・パワードライブおよびナックルショットを打球した際のインパクト付近を高速カメラ2000Hzで撮影した。野球のピッチング研究(Jinji & Sakurai, 2006)と同様の方法でボール表面上の印の3次元座標値を求め、ボールの回転軸および回転軸周りの回転速度を求めた。

結果は、2000Hzの撮影ではインパクト時間、ラケット上でのボールの移動距離観測は困難であった。ボールの回転軸周りの回転速度は、パワードライブ、ナックルでそれぞれ 181.4 ± 55.2 回/秒、 104.6 ± 39.9 回/秒であり、従来考えられていた回転数よりも高いことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来卓球のボール回転数については多くの報告がなされてきたが、その大半はサーブのボール回転数であり、ショットのボール回転数については報告が殆どなされていない。また、従来の方法ではボール表面上の公認マークを追跡し、その公認マークをもとにした回転数を計測していたが、ボールの回転軸周りの回転数の報告はなかった。

本研究では、まず卓球の二種類のショットにおけるボール回転軸を求めたこと、その回転軸周りの回転数を求めたことが従来の研究とは異なる点である。これらを求めることで、より精度高く回転数の計測が可能になると思われる。

研究成果の概要(英文)：We aimed to determine the spin rate of forehand power drives and knuckle shots in table tennis. Six Japanese female elite players participated, and the participants were asked to hit forehand power drives and knuckle shots with maximum effort. A high-speed camera operating at 2000 Hz was used to record impact phenomenon and ball rotation. The three-dimensional coordinate values of the marks on the ball surface were obtained using the similar method as in baseball pitching study (Jinji & Sakurai, 2006), and the spin rate around the axis of rotation of the ball was obtained.

The results showed that it was difficult to observe the contact time between the racket and the ball and the distance the ball traveled on the racket when shooting at 2000 Hz. The spin rate of the ball around the axis of rotation was found to be 181.4 ± 55.2 and 104.6 ± 39.9 times per second for the power drive and knuckle, respectively, which are higher values than the values reported in the previous studies.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：卓球 インパクト ボール回転速度 回転軸

1. 研究開始当初の背景

卓球のインパクト現象については、川副と鈴木 (2002) が固定した卓球ラケットにボールを衝突させた結果を報告している。しかしながら、ラケットとボールの反発係数は実打の場合とは異なることがテニスでは知られていて、実打の場合のボール速度を求めるためには「見掛けの反発係数」を考慮する必要がある (Lindsey, 2002)。卓球においても実打での測定が必要であると考えられるが、卓球のインパクト現象については、インパクト時間を含めて詳細はわかっていない。さらに、卓球のボールの回転数は最大で 100rps 以上になるとされ (吉田ら, 2014)、卓球のボールは質量が小さく、ボール回転量そのもののボールの飛翔軌跡への影響は大きいと考えられる。それゆえ、インパクト現象の理解はショット軌跡を知る上で欠かすことはできない。Nakashima et al. (2010) はテニスのインパクト現象に関する先行研究を踏まえて、卓球のインパクト現象についてラケットの弾性要素モデルを使って実測値と比較し、モデルの妥当性を検証している。しかしながら、インパクト間におけるラケット上でのボール挙動とボールの飛翔軌跡との関係は明らかにされていない。

テニスのインパクト現象に関する研究 (Brody et al., 2002; Cross and Lindsey, 2005) では、ラケットとボールの接触現象に焦点が当てられ、卓球のインパクト現象をモデル化した研究 (Nakashima et al., 2010; Nonomura et al., 2010) ではラケット上のボールの挙動は考慮されていない。つまり、インパクト現象については、特に卓球の場合ラケット上のボールの挙動は考慮されず、ボールはラケット上のある「点」でインパクトし、その「点」から飛び出すことが前提になっている。

卓球では様々なショットが使われるが、それはボール回転をコントロールすることでゲーム状況を有利なものにするためである。しかしながら、ボール回転に大きな影響を与えると考えられるインパクト現象やボールの回転については、サービス以外では知られていない。また、サービスの回転数に関する研究においても、ボール表面上の公認マークを追跡してその回転数を計測しているが、ボール回転軸やその回転軸周りの回転数は知られていない。

2. 研究の目的

本研究では、卓球のラリーで使われるパワードライブ、および、ナックルショットについて、ボール回転軸周りの回転速度を求めることである。

3. 研究の方法

3-1. 被験者および試技:

世界ランカーを含む日本人女子エリート選手 6 名 (右利き 5 名, 左利き 1 名, 年齢 24.3 ± 3.5 歳, 身長 1.57 ± 4.54 m, 体重 51.2 ± 2.8 kg, 競技歴 18.3 ± 4.8 年) に対して、送球機からフィードされたボールを、フォアハンド・パワードライブおよびナックルによって全力で打球するよう求めた。尚、本研究は、県立広島大学研究倫理委員会の承認を得て行われた。

3-2. データ収集および処理:

ボールは、ニッタク社製プラスチック製 3 スタープレミアムを使用した。ボール表面にサインペンで 30 個のマーク (特徴点) をつけた。

実験は卓球専用体育館内で行われ、実験時の室内気温、および、湿度、気圧は実験開始時それぞれ 21°C , 36%, 1005hpa, 終了時 19°C , 48%, 1001hpa であった。

打球されたボールの回転を計測するため、卓球台真横から高速度カメラ (MEMRECAM Q1m/Q1v, nac イメージテクノロジー社製) により 2000Hz で撮影した (図 1)。試技撮影前に、 0.346×0.65 m の範囲で分析できるように較正点を撮影した。得られた動画を PC に取り込み、デジタルソフト (Frame DIASVI, DKH 社製) により 4 点実長換算法によってボール表面上の特徴点の 2 次元座標値を得た。キャリブレーションの標準誤差は、3mm 以下であった。

3-3. ボール回転計測:

野球の投球に関する研究 (Jinji & Sakurai, 2006) と同様の方法で、打球直後のボール回転軸、および、回転軸周りの角速度を算出した。

パーソナルコンピューターに取り入れたインパクト付近の動画を Frame-DIAS6 (DKH 社) を用いてデジタル化した。ボール表面上につけたマークから 4 点を選び、2 コマ連続でデジタル化した (図 2)。また、ボールの最上端、および、最下端、最左端、最右端の位置もデジタル化した。これら 8 点の 3 次元座標値を、以下の関係式から算出した。

$$x^2+y^2+z^2=r^2 \quad (1)$$

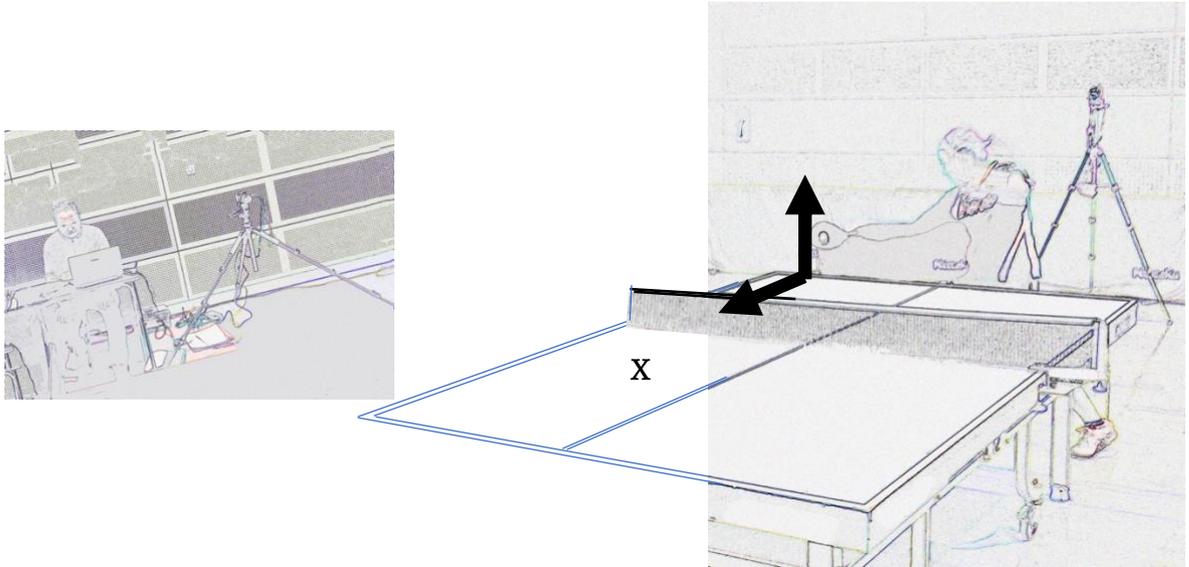


図1 撮影環境とグローバル座標系を示した模式図。左は高速カメラ，後方は確認用カメラ。

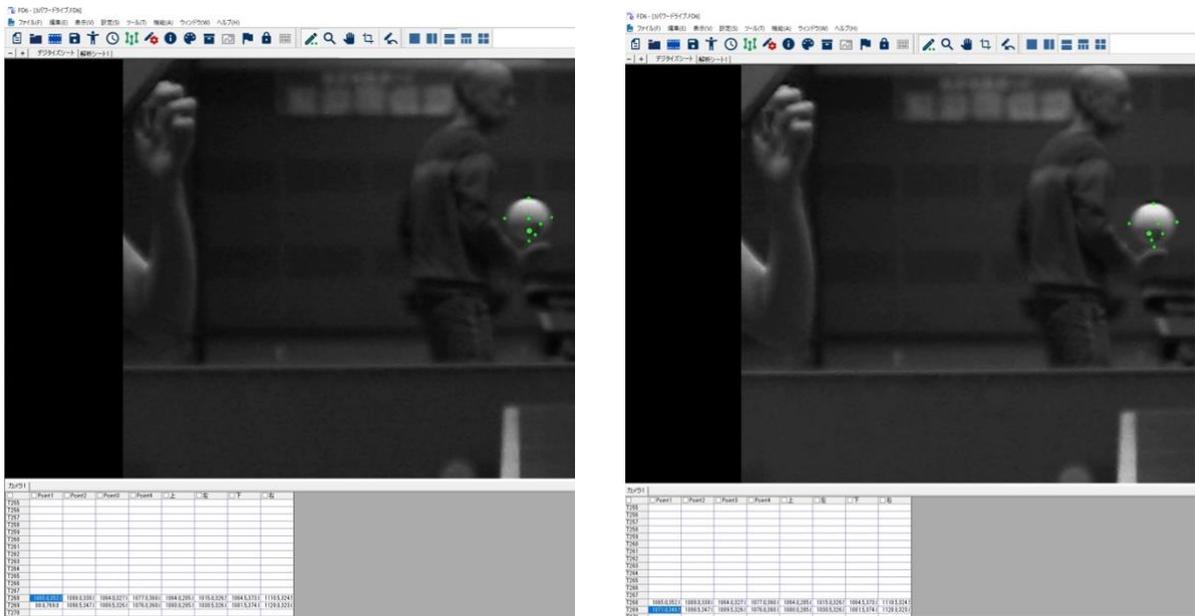


図2 ボール回転軸および回転速度算出のために行ったデジタイズ画面の一例。ボール上端，および，下端，左端，右端，ボール表面上の特徴点4点を，連続する2コマでデジタイズした。

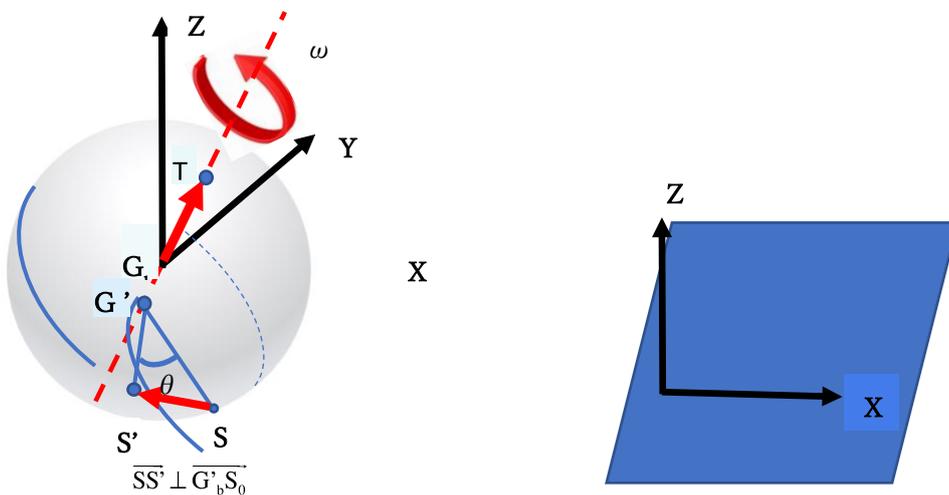


図3 グローバル座標系（右）およびボール座標系（左）の関係を示す模式図。

ここで、 (x, y, z) はボール表面上のマークの 3 次元座標、 r は卓球ボールの半径 (0.02m) である。ボール表面上のマーク 4 点の 3 次元座標値を用いて、ボール中心を通過する仮想回転軸とボール表面上の接点 T とする。この時、仮想回転軸とボール表面上の点 S とは垂直関係にある。同様に S' とも垂直関係にある (図 3)。S, S' を含む平面に対して、

$$\overline{G_b G'_b} = k \begin{pmatrix} S_{0x} \\ S_{0y} \\ S_{0z} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\overline{SS'} \perp \overline{G'_b S_0} \quad (3)$$

これら関係から内積を使って、連立方程式を解けば、T (T_x, T_y, T_z) および k ($\|k\|$) を求めることができる (法線ベクトル)。その結果角度 θ を求めることができ、ボール回転角速度が求まる (図 3)。これを 4 つの特徴点に対して行い、Jinji and Sakurai (2006) 同様その平均値を算出した。

4. 研究成果

4-1. 結果

表 1 フォアハンド・パワードライブおよびナックルの打球速度、回転角度、回転角速度、回転数の結果 (Mean±SD)

	打球速度 (m/s)	回転角度 θ ($^{\circ}$)	回転角速度 (Hz)	回転数 (回/秒)
パワードライブ (n=6)	17.2±1.6	32.7±9.93	1139.5±346.6	181.4±55.2
ナックル (n=6)	13.9±1.4	18.8±7.16	657.5±250.5	104.6±39.9

表 1 にフォアハンド・パワードライブおよびナックルの打球速度、回転角度、回転角速度、回転数の結果を示した回転軸周りの回転数は、パワードライブでは 181.4±55.2 (回/秒)、ナックルでは 104.6±33.9 (回/秒) であり、パワードライブはナックルよりも高い値を示した。

4-2. 考察

卓球のワールドクラス選手のサービス回転数を計測した吉田ら (2014) によると、サービスの回転数は男子選手で 46.0±9.0 (回/秒)、女子選手で 39.2±9.3 (回/秒) であった。今回の卓球フォアハンドショットにおける回転数は、サービスの回転数のパワードライブでおよそ 4 倍、ナックルでおよそ 2 倍の回転数であった。卓球ショットの回転数に関する吉田 (2007) の推定値は、スピードドライブで 107.9–128.2 (回/秒)、ループドライブで 102.7–122.0 (回/秒) であるが、本研究の値はこれら値よりも高い値であった。

本研究ではボール回転軸周りの回転数を計測しているため、単純な比較は避けなければならないが、先行研究で行われていなかった回転軸周りの回転数の計測、ラバー特性の向上などの影響が考えられよう。

4-3. 本研究での課題

課題としては 3 点考えられる。まず、計測方法の検討である。本研究では、デジタイズの際 4 点実長換算法を用いたが、一般には 2 次元 DLT 法での計測誤差が小さいとされる。再度 2 次元 DLT 法を持ちたい方法を検討する必要がある。また、Jnji and Sakurai 同様ボール表面上の 4 点を用いて誤差に対応したが、本研究では 5 点以上のデジタイズも可能であり、より精度高く誤差について検討することが可能である。しかしながらこの場合、最終的な統計処理において、例え

ばショット間の比較検定の場合「平均値の平均の検定」を行う必要がある。Z変換による標準正規化の必要性についても検討する必要がある。これらが本研究における課題である。

4-4. まとめ

日本人女子エリート選手 6 名のフォアハンド・パワードライブおよびナックルにおける回転数を計測した。その結果、フォアハンド・パワードライブおよびナックルでは、それぞれ 181.4 ± 55.2 (回/秒), 104.6 ± 39.9 (回/秒) となり、高速回転していることが分かった。

4-5. 研究発表

楠堀誠司, 吉田和人: 「日本人女子エリート卓球選手によるショットの回転速度」. 第 31 回日本コーチング学会 (web 学会) 発表

参考文献

- Brody H., Cross R. and Lindsey C. (2002) : The Physics and Technology of Tennis. USRSA, 330 Main St. Vista, CA
- Cross R. and Lindsey C. (2005) : Technical Tennis ; Racquets, Strings, Balls, Courts, Spin, and Bounce. Racquet Tech Publishing, Vista, CA, 111-126
- Jinji T. and Sakurai S. (2006) Direction of spin axis and spin rate of the pitched baseball. Sports Biomechanics, 5, 197-214
- 川副嘉彦, 鈴木大介 (2002) : 卓球における衝突解析とラケットの性能予測, 日本機械学会 Dynamics & Design Conference 2002 講演論文集, No.02-9, CD-ROM 版 218,1-6.
- Lindsey C. (2002) : Energy and coefficient of restitution. In The Physics and Technology of Tennis. Brody H., Cross R. and Lindsey C. USRSA, 330 Main St. Vista, CA
- Nakashima A., Tsuda Y., Kobayashi Y. and Hayakawa Y. (2010) : A Real-Time Measuring Method of Translational/Rotational Velocities of a Flying Ball. Proceedings of IFAC Symposium on Mechatronic Systems, Cambridge, Massachusetts, USA
- Nonomura J., Nakashima A., Hayakawa Y. (2010) : Analysis of Effects of Rebounds and Aerodynamics for Trajectory of Table Tennis Ball. Proceeding of SICE Annual Conference 2010, Taipei, Taiwan, 1567-1572
- 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
- 吉田和人ら (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 (1), 227-236

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 楠堀誠司, 吉田和人
2. 発表標題 日本人女子エリート卓球選手によるショットの回転速度
3. 学会等名 日本コーチング学会第31回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	関矢 寛史 (Sekiya Hiroshi) (40281159)	広島大学・総合科学研究科・教授 (15401)	
研究分担者	吉田 和人 (Yoshida Kazuto) (80191576)	静岡大学・教育学部・教授 (13801)	
研究協力者	井田 博史 (Ida Hirofumi)	上武大学	
研究協力者	高橋 憲司 (Takahashi Kenji)	長崎国際大学	