

Title	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
Sub Title	How does a tennis player's ball speed, ball spin, and racket speed change when the opponent's balls get stronger?
Author	村松, 憲(Muramatsu, Tadashi)
Publisher	慶應義塾大学体育研究所
Publication year	2017
Jtitle	体育研究所紀要 (Bulletin of the institute of physical education, Keio university). Vol.56, No.1 (2017. 1) ,p.9- 22
Abstract	How does a tennis player's ball speed, ball spin, and racket speed change when the opponent's balls get stronger? In this paper, "stronger" balls are defined as either having greater spin when speed is the same or greater speed when spin is the same. To address this question, two different tennis ball machines fed strong and weak balls, respectively, to a university student tennis player, who hit forehand ground strokes. When the player hit balls fed by the strong machine, his ball speed, ball spin, and racket speed respectively decreased by about 11.3%, 14.9%, and 20.7%, compared with the weak machine. Ball speed decline was significant (p0.05). These results indicate that a tennis player's balls could get weaker when the opponent's balls get stronger.
Notes	挿図
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	http://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00135710-00560001-0009

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 —

村松 憲*

How does a tennis player's ball speed, ball spin, and racket speed change when the opponent's balls get stronger?

Tadashi Muramatsu¹⁾

How does a tennis player's ball speed, ball spin, and racket speed change when the opponent's balls get stronger? In this paper, "stronger" balls are defined as either having greater spin when speed is the same or greater speed when spin is the same. To address this question, two different tennis ball machines fed strong and weak balls, respectively, to a university student tennis player, who hit forehand ground strokes. When the player hit balls fed by the strong machine, his ball speed, ball spin, and racket speed respectively decreased by about 11.3%, 14.9%, and 20.7%, compared with the weak machine. Ball speed decline was significant ($p < 0.01$), but ball spin and racket speed decline was not significant ($p > 0.05$). These results indicate that a tennis player's balls could get weaker when the opponent's balls get stronger.

キーワード：テニス，速度，回転量，ハイスピードカメラ，スピードガン，フォアハンドグラウンドストローク
Key words : tennis, speed, spin, high-speed camera, forehand groundstroke

はじめに

「強いボールを打つ」「ボールを強く打つ」といった表現はテニスの現場でよく用いられる。「強い」ボールが打てるということは、競技力という観点から考えると大変有利であり、「強い」ボールは相手から余裕を奪い、試合を有利に進められると考えられる。本研究においては、「強い」ボールとは、ボールの速度－回転量グラフにおいてより「右上」（村松ほか2015a）に位置するボール、すなわち同じ速度であればより大きな回転量、同じ回転量であればより大きな速度を持つボールのことでありと定義する（別の見方をすると、より大きなラケットスピードで、なおかつよりラケットの中心部で打球したボールであるということもできる）。ただしこの場合の

「回転」は、「逆回転」（スライス）ではなく「順回転」（トップスピン）を指すものとする。同じ速度のボールでも、より大きな順回転がかかっているならば、1) バウンド後のボール速度が、順回転量が小さいボールに比べて大きい（Brody 1987b）、2) マグナス効果によりボールが落下しやすくなり（Cross and Lindsey 2005c）、コートの内側にバウンドしやすくなるためエラーを増やさずに速いボールを打ったり、左右に角度をつけて浅いボールを打ったり、高い軌道のボールを打つことで高いバウンドを作り出し相手選手を後方に押しやる上で有利になる、といった効果が現れる。このように順回転をかけて打つショットは非常に有利であるため、近年のテニスにおいてはラケット速度を上げ（ショーンボーン2007）、強い順回転をかけて打つことが主流となっている（坂井

* 慶應義塾大学体育研究所准教授

1) Associate Professor, Institute of Physical Education, Keio University

2010)。

このようにテニスにおいてボール回転量はボール速度と並んで大変重要であるにもかかわらず、これまで回転量に注目した研究報告はごく限られていた(桜井ほか2007, Sakurai et al.2007)。そこで村松ほか(2010)が世界トップクラス選手のサービス回転量について、1st サービスは1000~3500rpm (rpmは1分間に回転したボールの回転数)、2nd サービスは3000~5000rpm程度であったと報告した。2nd サービスは1st サービスに比べて速度が低下するが、回転量は大きく増大していることが明らかとなった。また村松ほか(2015a)が世界トップクラス選手のサービスのボール速度と回転量の関係を、更に村松ほか(2015b)が世界トップクラス選手のフォアハンドグラウンドストロークのボール速度と回転量の関係を報告した。この中で村松ほか(2015b)は、「対戦相手のボール速度が大きいほど、選手に余裕がなくなり、選手のボール速度・回転量ともに小さくなる」のかどうかを検討し、その結果、対戦相手のボール速度が大きいほど選手のボール速度が小さくなること、またボール回転量についてはこの傾向が見られないこと、を報告している。本研究ではこの点を更に掘り下げ、対戦相手のボールが強くなったときに選手が打つショットにどのような変化(ボール速度・回転量・ラケット角速度)が生じるのかという点について、多角的に検討することを目的とした。なお本研究は被験者が1名のみであり、また試行数も比較的少数であるため、一般性を検証するという性質のものではなく、1つの事例についてその結果を報告するとともにその結果について議論するものである。

方 法

1. 被験者

被験者となったのは男子大学生テニス選手で、全日本学生テニス選手権大会および全日本テニス選手権大会の本戦への出場経験を持っており、利き腕は右であった。以下「選手A」と呼ぶ。

2. ボールマシン・対象としたショット

高速のボールを出すために「プラス・ボールマシン」(株式会社アプローチ)を使用した。以下このマシンを「高速マシン」と呼ぶ。低速のボールを出すために「マイオートテニス」(テニスサポートセンター)を使用し

た。以下このマシンを「低速マシン」と呼ぶ。なお本研究で対象としたのはフォアハンドグラウンドストロークであった。

3. テニスコート・テニスボール・気象状況

屋外の砂入り人工芝コートを使用した。使用したボールはブリヂストンスポーツ株式会社の「XT8」であり、使用したボールは全て、密閉されていた缶から実験当日に開封したものであった。実験当時は気温約21度、風速約3 m/s、晴れであった(気象庁の発表による)。実験を行ったのは2014年4月の日中であった。

4. 実験手順

- 1) テニスコートに高速マシンと低速マシンを1台ずつ設置した。図1はテニスコートにおけるこれらマシンの設置場所とマシンから出されたボールが選手Aのラケットに衝突する位置、ならびにスピードガンと高速度カメラの設置位置を示す。高速マシンにおいても低速マシンにおいても、発射後のボールが地面にバウンドしてから頂点に達した後、下降に転じてから選手Aがベースライン上において概ね胸部の高さで打球できるようにマシンを調整した。胸部の高さに設定したのは、現在の競技テニスにおいては「ウェスタン」もしくは「セミウェスタン」と呼ばれるグリップの握り方が主流となっており、こういった握り方の場合、胸部の高さでの打球が自然であるためである(村松2015)。低速マシンにおいては速度・発射角度の調整を行った(回転量の調整は仕様上不可)。この調整の結果、ボール速度は32km/h、ボール回転量は130rpmであった。高速マシンにおいては速度・発射角度に加えて回転量の調整を行うことが可能である。そのためこれら3つの組みあわせにより様々なボールを出すことが可能であるが、選手Aが極力「ボールが強いと感じる」ようにした。この調整の結果、ボール速度は96km/h、ボール回転量は2200rpmであった。このように高速マシンは低速マシンと比較して速度、回転量ともに大きなボールを出していることから、高速マシンのボールは低速マシンのボールよりも「強い」ボールであるといえる。
- 2) 低速マシンから出されたボール(以下「低速マシンのボール」)に対して選手Aが4球打球した。選手A32に出した指示は、「試合の時に良く打つ打ち方で打ってください。最初の2球は右奥に、次の2球は左

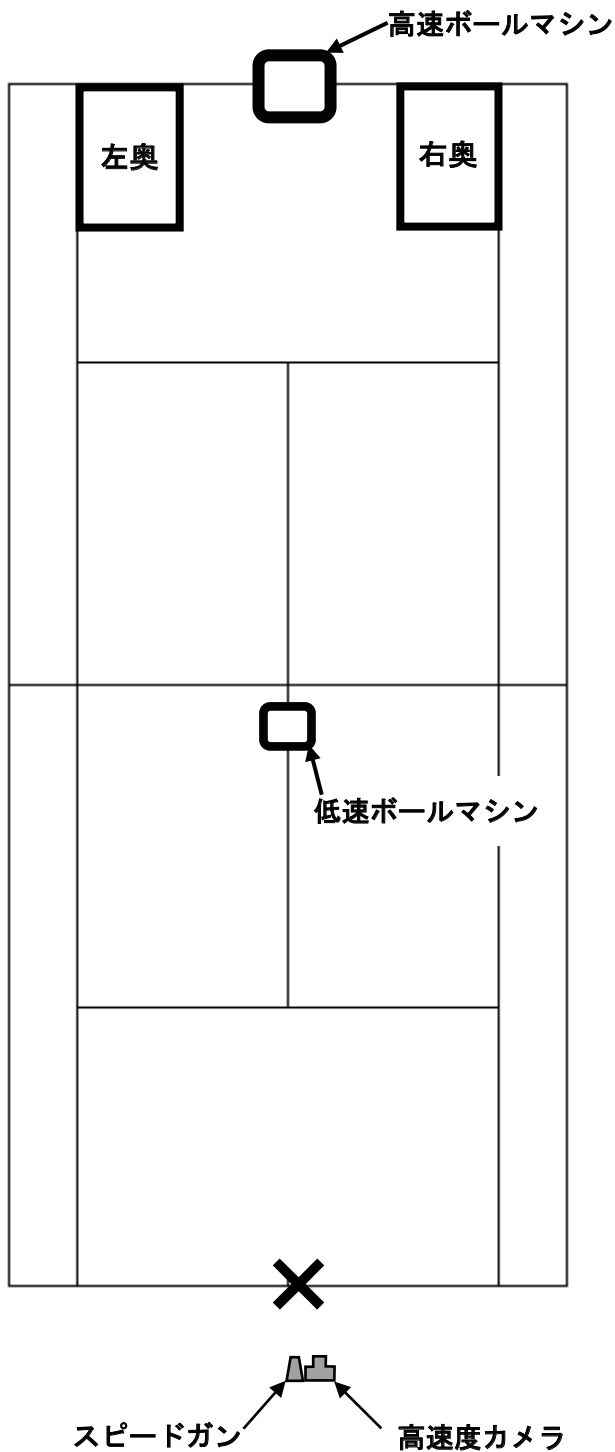


図1 高速ボールマシン・低速ボールマシン・スピードガン・高速度カメラのテニスコートにおける設置位置と、「右奥」・「左奥」の場所。×印は、マシンから出されたボールが選手Aのラケットに衝突する位置を示す。

奥に打ってください」であった。「右奥」というのは、図1において「右奥」と表示された場所であり、「左奥」というのは同図において「左奥」と表示された場所であった。1回打球した後、約30秒間隔を空けた。30秒間の間隔は、データの保存・記録に必要な時間であった。右奥に打ったときと左奥に打った時とで速度-回転量関係に違いが見られるかどうかを明らかにするためにこのような設定とした。なお、「試合のときに良く打つ打ち方」を以下、「通常の打ち方」と呼ぶ。

- 3) 同じく低速マシンのボールに対して、「先ほどよりもトップスピンを強くかけて打ってください。最初の2球は右奥に、次の2球は左奥に打ってください」という指示の元、4球打球した。「右奥」「左奥」の意味は上記「2」と同一である。1回打球した後、約30秒間隔を空けて次の打球を行った。通常の打ち方とトップスピンを強くかける打ち方とで、速度-回転量関係に違いが見られるかどうかを明らかにするためにこのような設定とした。
- 4) 上記「2」を再度行った。
- 5) 上記「3」を再度行った。
- 6) 高速マシンから出されたボール（以下「高速マシンのボール」）に対して、上記「2」と同様に「通常の打ち方」で、4球打球した。最初の2球が右奥、次の2球が左奥を狙うのも上記「2」と同様である。
- 7) 同じく高速マシンのボールに対して、上記「3」と同様に、「トップスピンを強くかけて打ってください」という指示の元、4球打球した。最初の2球が右奥、次の2球が左奥を狙うのも上記「3」と同様である。
- 8) 上記「6」を再度行った。
- 9) 上記「7」を再度行った。

なお以下の分析は、狙った場所である「右奥」もしくは「左奥」に実際にボールがバウンドしたかどうかを問わず行うこととした。

5. ボール速度計測

高速マシン・低速マシンから出たボールの速度、そして選手Aが打ったボール速度は全て、スピードガン「Stalker Solo 2（Applied Concepts社製）」で計測した。このスピードガンの計測レンジは8~960km/h、使用周波数帯は24.125 GHz、計測精度（誤差）は±0.16km/hと3%のうち大きい方であった。なおこのスピードガンはテニスのバイオメカニクスを扱った論文でも使用されているものであった（Wongら2014）。正確な計測を行

うため、選手Aがコート「右奥」を狙うときは、スピードガン—選手A—「右奥」が一直線に並ぶようにした。同様に、「左奥」を狙うときはスピードガン—選手A—「左奥」が一直線に並ぶようにした。ボールマシンから出た速度についても選手Aが打ったボールの速度についても、それぞれ最大速度を採用した。すなわち、ボールマシンから出たボール速度についてはボールマシンから発射された直後の速度、また選手Aが打ったボールの速度についてはインパクト直後の速度をもって、ボール速度とした (Elliott ら2003)。

6. ボール回転量計測

高速マシン・低速マシンから出たボールの回転量、そして選手Aが打ったボールの回転量の計測には全て、高速度カメラ「HAS-D3 (株式会社ディテクト社製)」を利用した。高速度カメラはベースライン後方で三脚に固定し、選手Aが打球した直後のボールが鮮明に撮影できるように光軸・画角・絞り等を調整した。フレームレート (1秒あたりのフレーム数、単位はfps) は2000fps、解像度は800×600、シャッタースピードは1万分の1であった。ボールに印字されたロゴを目印に、ボールが1回転するのに要した時間を計測することで、ボール回転量を算出した。このボール回転量算出方法は、村松ほか (2010)、村松ほか (2015a)、村松ほか (2015b) と同様であった。

7. ラケット角速度計測

ラケットの角速度を、小型無線センサ WAA-010 (ワイヤレステクノロジー株式会社製) (詳しくは森山2011参照) により計測した。WAA-010は質量19gの3軸角速度センサを搭載しており、サンプリングレートは1000Hzであった。センサからノートパソコンへBluetoothによりデータ送信した。このセンサを図2のようにグリップエンドに装着し、X、Y、Z軸を定義した。3軸のうち、本研究では図2におけるX軸、Z軸周りの角速度に注目した。角速度の単位はdps (degree per second, °/秒) で表す。

8. 統計分析

本研究の目的「対戦相手のボールが強くなったときに選手が打つショットにどのような変化 (ボール速度・回転量・ラケット角速度) が生じるのかという点について、多角的に検討すること」のために、以下の分析をSPSS (ver22) により行った。

- 1) 角速度 (X軸周り) からボール速度を予測する回帰式が有意かどうか
- 2) 角速度 (Z軸周り) からボール回転量を予測する回帰式が有意かどうか
- 3) 低速マシンのボールを打ったときと高速マシンのボールを打ったときとで、ボール速度に有意差があるかどうか (独立したサンプルのt検定)。

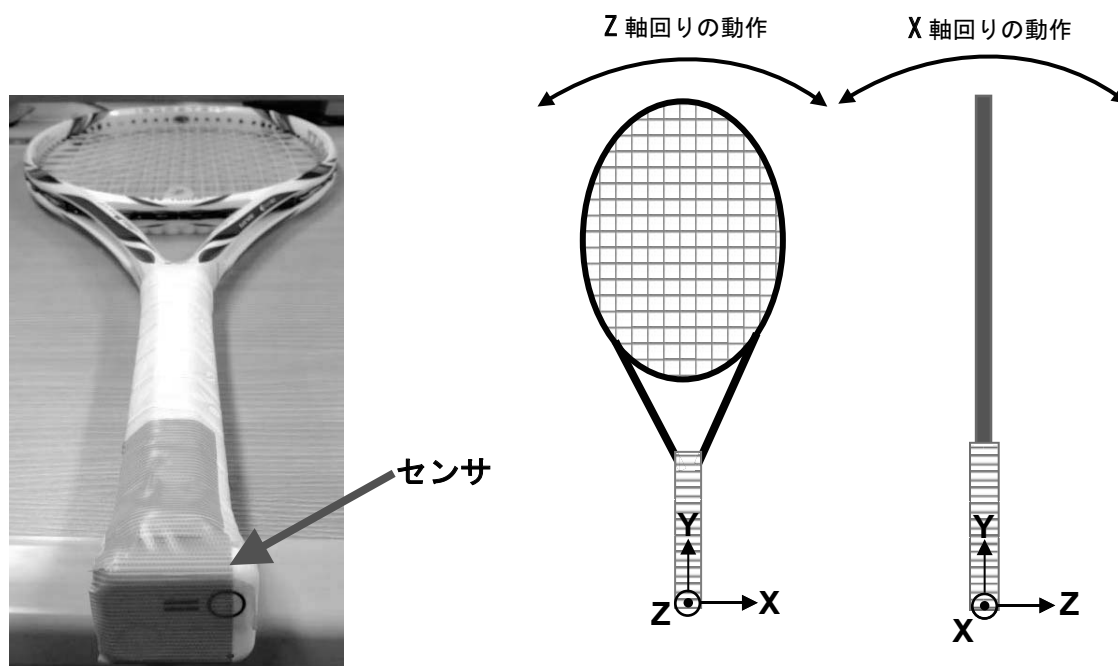


図2 センサの取り付け位置と、X軸、Z軸の定義

- 4) 低速マシンのボールを打ったときと高速マシンのボールを打ったときとで、ボール回転量に有意差があるかどうか（独立したサンプルのt検定）。
- 5) 低速マシンのボールを打ったときと高速マシンのボールを打ったときとで、角速度（X軸周り）に有意差があるかどうか（独立したサンプルのt検定）。
- 6) 低速マシンのボールを打ったときと高速マシンのボールを打ったときとで、角速度（Z軸周り）に有意差があるかどうか（独立したサンプルのt検定）。
- 7) 低速マシンのボールを打ったときと高速マシンのボールを打ったときとで、速度-回転量関係に違いが見られるかどうか（それぞれの回帰の有意性の確認、もし2つの回帰式が共に有意であれば、回帰直線の傾き・y切片の差の検定）
- 8) 通常の打ち方とトップスピンを強くかける打ち方で、速度-回転量関係に違いが見られるかどうか（それぞれの回帰の有意性の確認、もし2つの回帰式が共に有意であれば、回帰直線の傾き・y切片の差の検定）
- 9) 「右奥」を狙ったときと「左奥」を狙ったときとで、速度-回転量関係に違いが見られるかどうか（それぞれの回帰の有意性の確認、もし2つの回帰式が共に有意であれば、回帰直線の傾き・y切片の差の検定）

なお上記7, 8, 9における「回帰直線の傾き・y切片の差の検定」については、市原（1991）の方法により行った。

なお上記の各t検定を行うにあたり、Leveneの検定を用いて等分散を仮定できるかどうかを調査し、等分散が仮定されたか否かによってそれに応じた検定を行った。

結 果

上記「統計分析」の番号に対応した結果を示す。

- 1) 角速度（X軸周り）からボール速度を予測する回帰式が有意かどうか。図3は角速度（X軸周り）とボール速度の関係を示す。X軸周りの角速度からボール速度を予測する回帰式は $y = 0.027x + 66.4$ であり、回帰は有意であった（ $p < 0.01$ ）。
- 2) 角速度（Z軸周り）からボール回転量を予測する回帰式が有意かどうか。図4は角速度（Z軸周り）とボール回転量の関係を示す。Z軸周りの角速度からボール回転量を予測する回帰式は $y = 1.50x + 739.3$ であり、回帰は有意であった（ $p < 0.01$ ）。
- 3) 低速マシンのボールを打ったときと高速マシンの

ボールを打ったときとで、ボール速度に有意差があるかどうか（独立したサンプルのt検定）。Leveneの検定の結果等分散が仮定された（F値の有意確率が0.05以上）ため、等分散を仮定したt検定を行い、その結果ボール速度に有意差が認められた（ $p < 0.01$ ）。なお低速マシンのボールを打ったときのボール速度は約132km/h、同じく高速マシンの場合は約117.5km/hであり、高速マシンの場合は低速マシンの場合に比べて約11.3%速度が小さくなっていた。（図5）

- 4) 低速マシンのボールを打ったときと高速マシンのボールを打ったときとで、ボール回転量に有意差があるかどうか（独立したサンプルのt検定）。Leveneの検定の結果等分散が仮定されなかった（F値の有意確率が0.05未満）ため、等分散を仮定しないt検定を行い、その結果、ボール回転量に有意差が認められなかった（ $p = 0.057$ ）。なお低速マシンのボールを打ったときの平均ボール回転量は約2634rpm、同じく高速マシンの場合は約2242rpmであり、有意差はないものの、高速マシンの場合は低速マシンの場合に比べて約14.9%小さな値を示していた。（図6）
- 5) 低速マシンのボールを打ったときと高速マシンのボールを打ったときとで、角速度（X軸周り）に有意差があるかどうか（独立したサンプルのt検定）。Leveneの検定の結果等分散が仮定されなかった（F値の有意確率が0.05未満）ため、等分散を仮定しないt検定を行い、その結果、有意差が認められた（ $p < 0.01$ ）。低速マシンのボールを打ったときの角速度（X軸周り）は約2403dps、同じく高速マシンの場合は約1906dpsであり、高速マシンの場合は低速マシンの場合に比べて約20.7%角速度が小さくなっていた（図7）。
- 6) 低速マシンのボールを打ったときと高速マシンのボールを打ったときとで、角速度（Z軸周り）に有意差があるかどうか（独立したサンプルのt検定）。Leveneの検定の結果等分散が仮定された（F値の有意確率が0.05以上）ため、等分散を仮定したt検定を行い、その結果、有意差が認められなかった（ $p = 0.59$ ）。低速マシンのボールを打ったときの角速度（Z軸周り）は約1163dps、同じく高速マシンの場合は約1108dpsであった。高速マシンの場合は低速マシンの場合と近い値で、平均で4.7%角速度が小さくなっているだけであった（図8）。
- 7) 低速マシンのボールを打ったときと高速マシンの

ボールを打ったときとで、速度-回転量関係に違いが見られるかどうか(図9)。

7-1 低速マシンのボールを打ったとき、速度から回転量を予測する回帰は有意であった($p < 0.01$)。

7-2 高速マシンのボールを打ったとき、速度から回転量を予測する回帰は有意であった($p < 0.01$)。上記2つの回帰式について、傾きとy切片に差が見られるのかどうか検定したところ、傾きにもy切片にも有意な差が見られた($p < 0.01$)。

8)「通常の打ち方」と「トップスピンを強くかける打ち方」とで、速度-回転量関係に違いが見られるかどうか(図10)。

8-1 低速マシンのボールに対して、通常の打ち方で打ったときのボール速度からボール回転量を予測する回帰は有意ではなかった($p > 0.05$)。

8-2 低速マシンのボールに対して、トップスピンを強くかけて打ったときのボール速度からボール回転量を予測する回帰は有意であり($p < 0.05$)、回帰式は $y = -64.6x + 11180$ であった。

8-3 高速マシンのボールに対して、通常の打ち方で打ったときのボール速度からボール回転量を予測する回帰は有意であり($p < 0.05$)、回帰式は $y = -28.0x + 5527.5$ であった。

8-4 高速マシンのボールに対して、トップスピンを強くかけて打ったときのボール速度からボール回転量を予測する回帰は有意ではなかった($p > 0.05$)。

上記8-1の回帰が有意ではなかったことにより、「低速マシンのボールを打つ際、通常の打ち方と、トップスピンを強くかける打ち方とで、速度-回転量関係が異なるのかどうか」について、明らかにすることができなかった。また同じく8-4の回帰が有意ではなかったことにより、「高速マシンのボールを打つ際、通常の打ち方と、トップスピンを強くかける打ち方とで、速度-回転量関係が異なるのかどうか」について、明らかにすることができなかった。なお低速マシンのボールに対する通常の打ち方の場合、速度と回転量の平均値はそれぞれ140.8km/h, 2104rpm, トップスピンを強くかける打ち

方の場合は同じく、124.1km/h, 3164rpmであり、通常の打ち方の場合はトップスピンを強くかける打ち方の場合と比較して速度は有意に($p < 0.01$)大きく、回転量は有意に($p < 0.01$)小さかった。また高速マシンのボールに対する通常の打ち方の場合、速度と回転量の平均値はそれぞれ125.5km/h, 2012.1rpm, トップスピンを強くかける打ち方の場合は同じく、109.5km/h, 2472.7rpmであり、通常の打ち方の場合はトップスピンを強くかける打ち方の場合と比較して速度は有意に($p < 0.01$)大きく、回転量は有意に($p < 0.05$)小さかった。

9)「右奥」を狙ったときと、「左奥」を狙ったときとで、速度-回転量関係に違いが見られるかどうかについて(図11)。

9-1 低速マシンのボールに対して「右奥」を狙ったとき、速度から回転量を予測する回帰は有意であった($p < 0.01$)。

9-2 低速マシンのボールに対して「左奥」を狙ったとき、速度から回転量を予測する回帰は有意であった($p < 0.01$)。

9-3 高速マシンのボールに対して「右奥」を狙ったとき、速度から回転量を予測する回帰は有意であった($p < 0.01$)。

9-4 高速マシンのボールに対して「左奥」を狙ったとき、速度から回転量を予測する回帰は有意であった($p < 0.01$)。

上記9-1と9-2の回帰式について、傾きとy切片に差が見られるのかどうかを検定したところ、傾きにもy切片にも有意差が見られなかった($p > 0.05$)。同様に上記9-3と9-4の回帰式について、傾きとy切片に差が見られるのかどうかを検定したところ、傾きにもy切片にも有意差が見られなかった($p > 0.05$)。なお低速マシンのボールに対して右奥を狙ったときの速度と回転量はそれぞれ133.3km/h, 2743.8rpmであり、同じく左奥を狙ったときは131.6km/h, 2524.4rpmであった。右奥を狙ったときと左奥を狙ったときの間に有意差は見られなかった($p > 0.05$, 速度も回転量も)。同様に、高速マシンのボールに対して右奥を狙ったときの速度と回転量はそれぞれ114.9km/h, 2223.8rpmであり、同じく左奥を狙ったときは120.1km/h, 2261.0rpmであった。右奥を狙ったときと左奥を狙ったときの間に有意差は見られなかった($p > 0.05$, 速度, 回転量とも)。

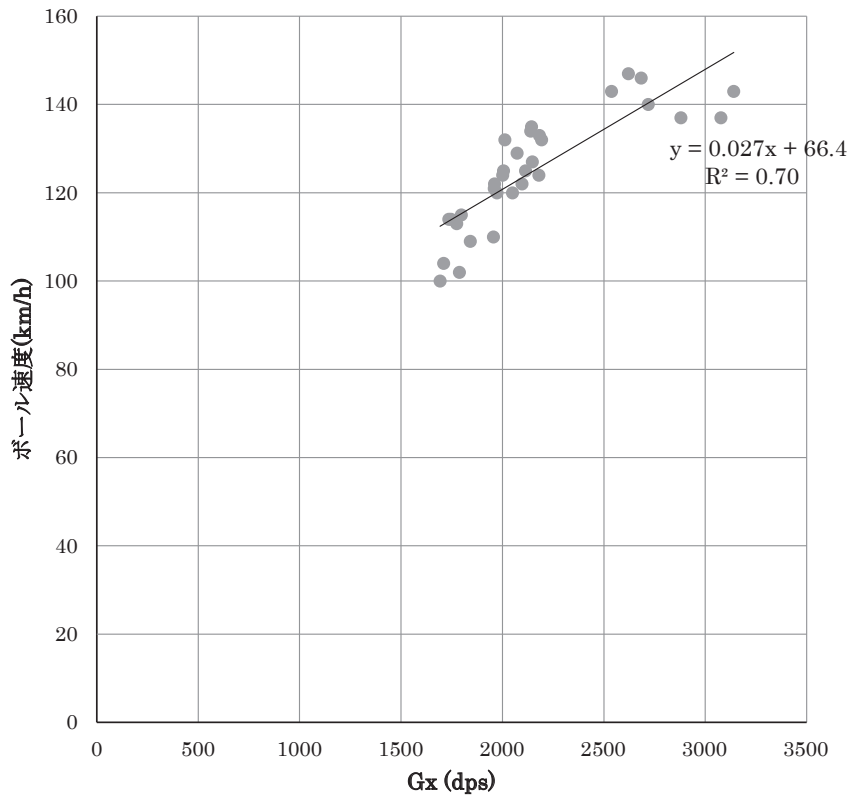


図3 角速度 (X 軸周り) からボール速度を予測できるかどうかを示す図。
回帰は有意であった ($p < 0.01$)。

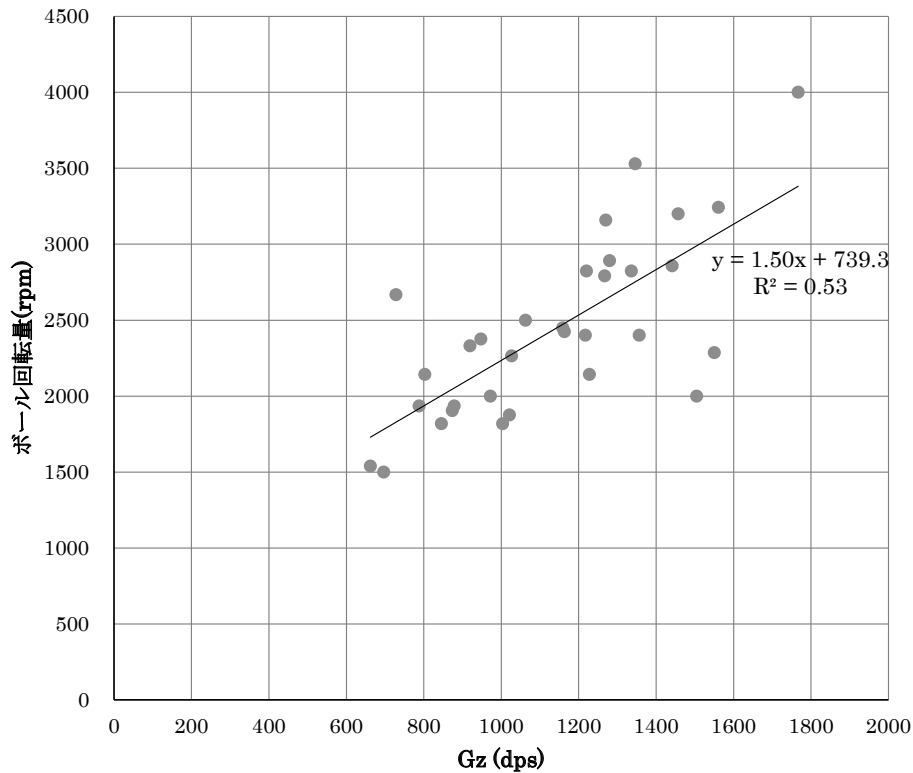


図4 角速度 (Z 軸周り) からボール回転量を予測できるかどうかを示す図。
回帰は有意であった ($p < 0.01$)。

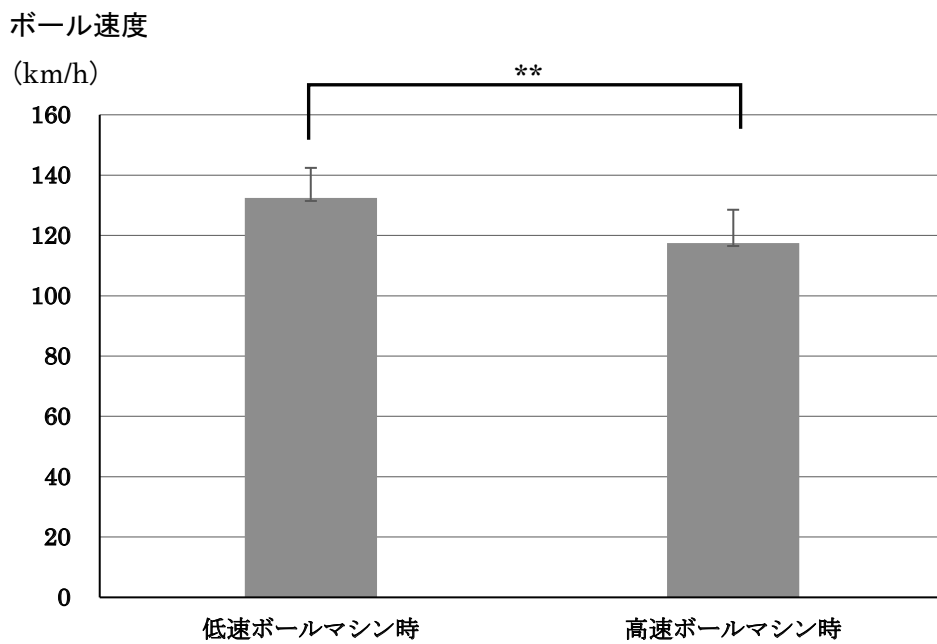


図5 低速ボールマシンから出たボールを打ったときと、高速ボールマシンから出たボールを打ったときのボール速度 (平均値 + 標準偏差) ** < 0.01

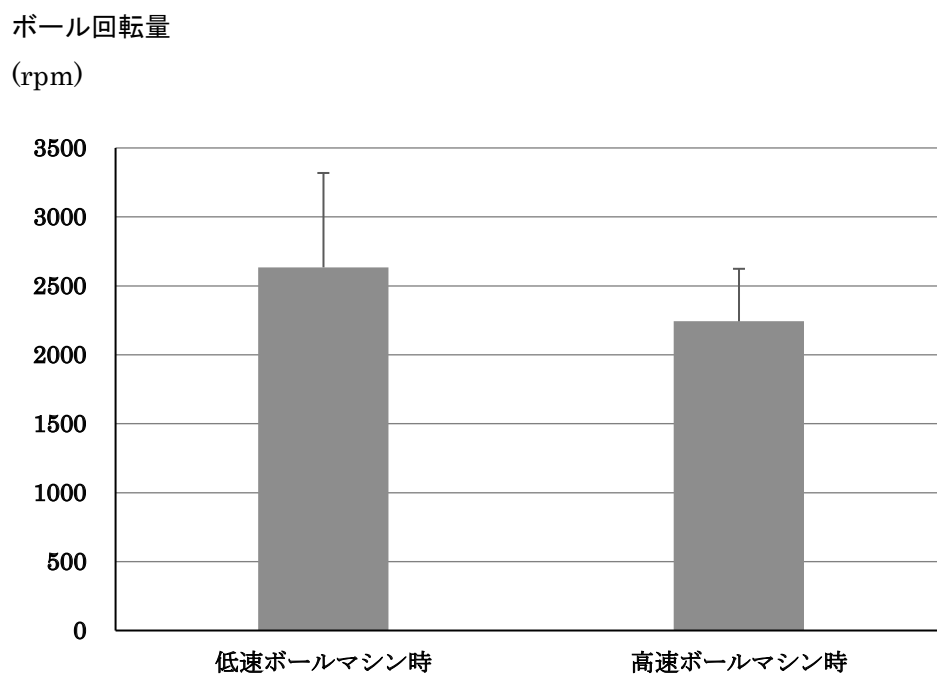


図6 低速ボールマシンから出たボールを打ったときと、高速ボールマシンから出たボールを打ったときのボール回転量 (平均値 + 標準偏差)

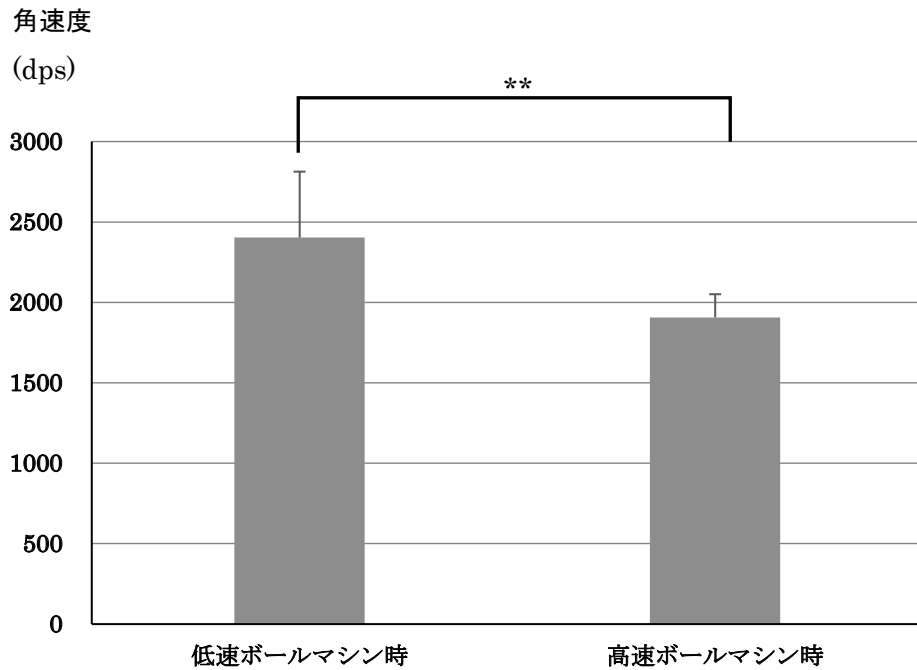


図7 低速ボールマシンから出たボールを打ったときと、高速ボールマシンから出たボールを打ったときの角速度 (X 軸周り) (平均値 + 標準偏差) ** < 0.01

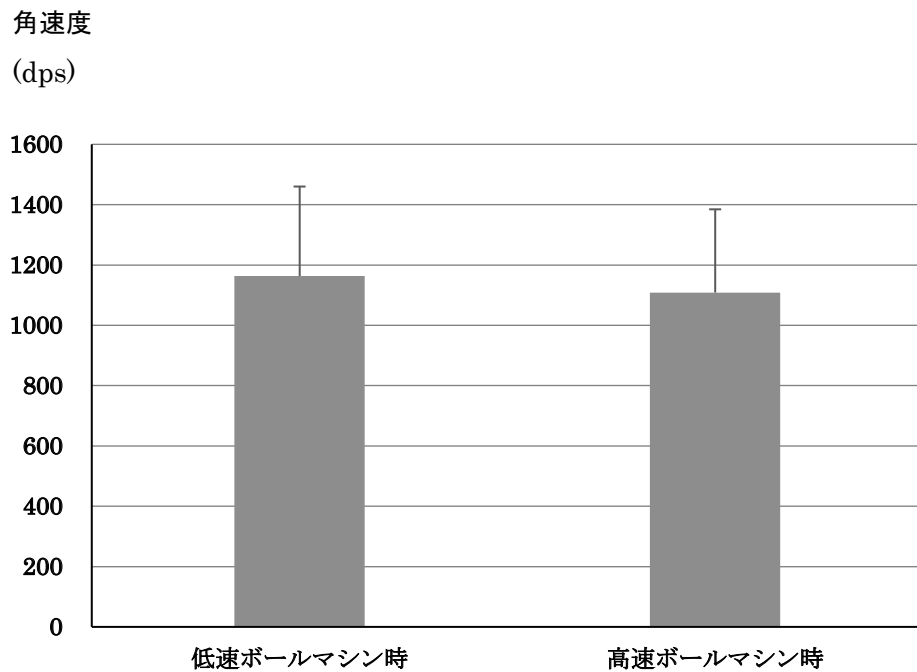


図8 低速ボールマシンから出たボールを打ったときと、高速ボールマシンから出たボールを打ったときの角速度 (Z 軸周り) (平均値 + 標準偏差)

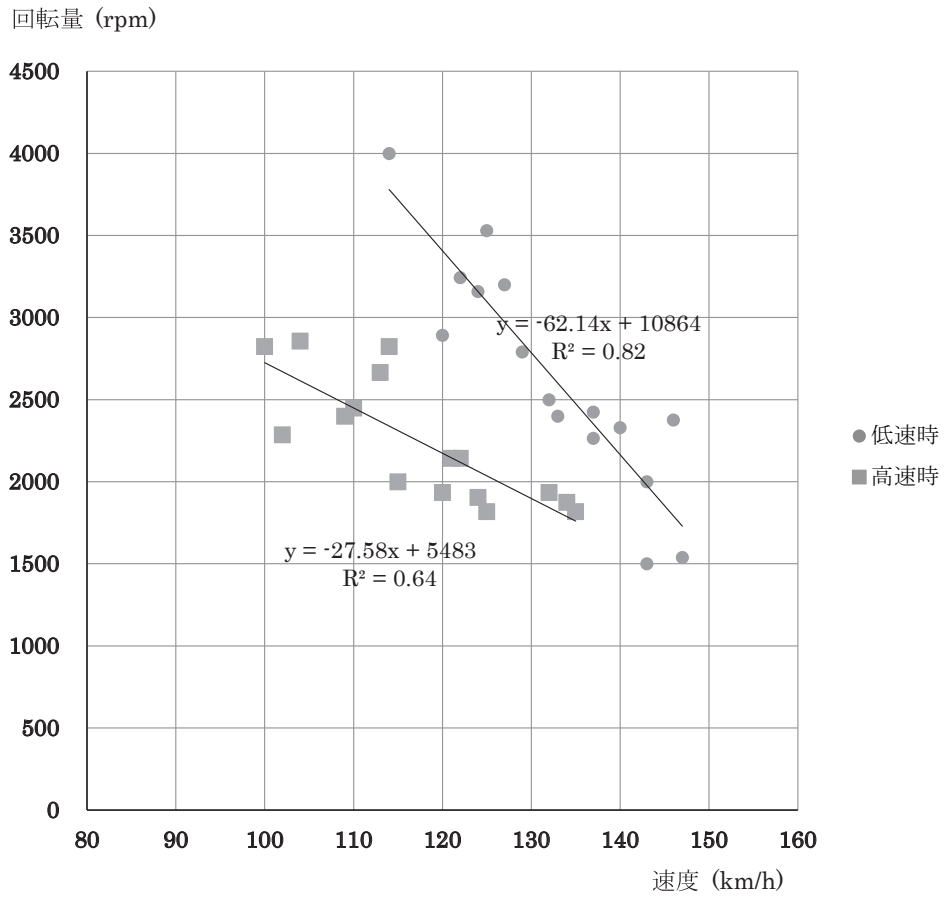


図9 低速ボールマシンから出たボールを打ったときと、高速ボールマシンから出たボールを打ったときのボール速度 - 回転量関係の比較

回転量 (rpm)

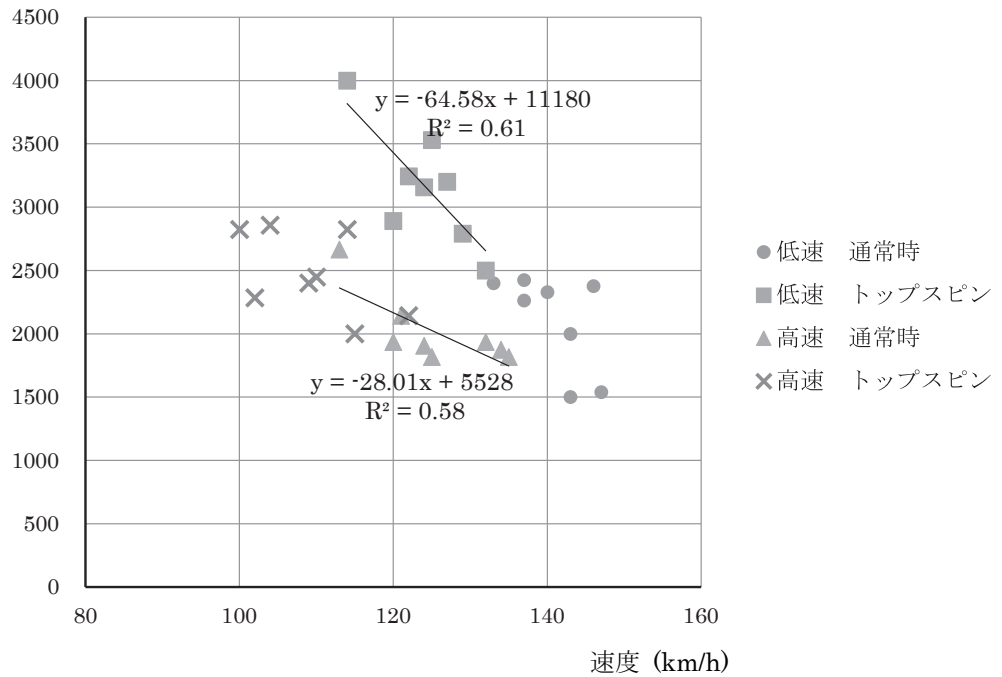


図10 「通常の打ち方」と「トップスピンを強くかける打ち方」のボール速度 - 回転量関係の比較

回転量 (rpm)

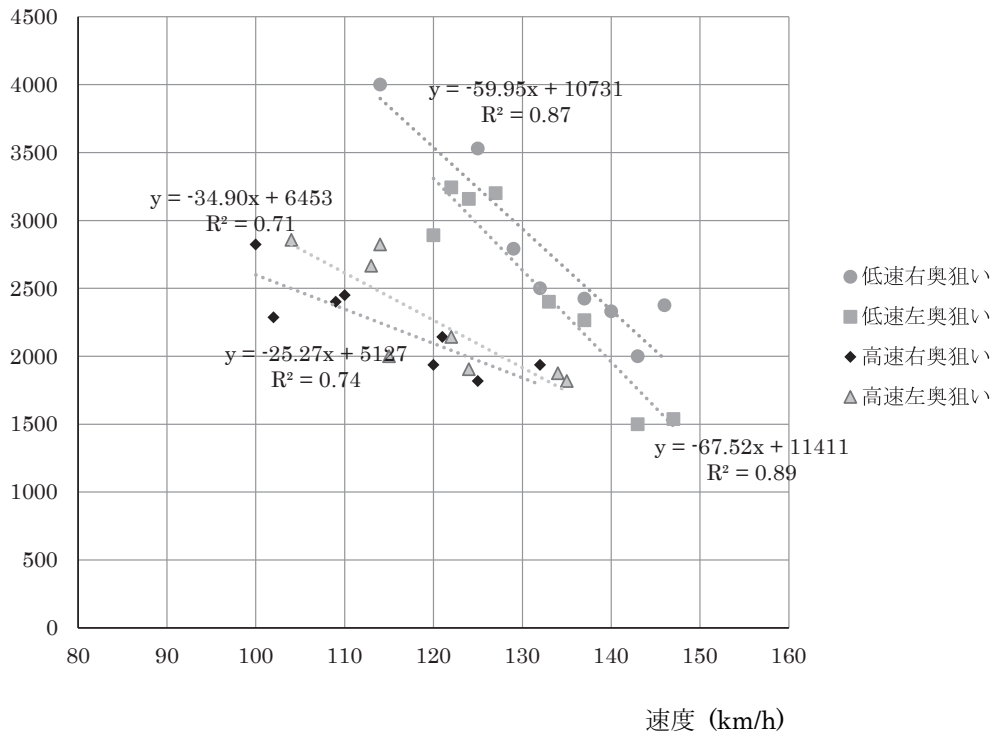


図11 「右奥」を狙ったときと「左奥」を狙ったときのボール速度 - 回転量関係の比較

考 察

本研究は、飛んできたボールが「弱い」時と「強い」時とで、選手の打つボールの「強さ」がどのように変わるのかを定量的に分析した。本研究の主たる結果は、相手のボールが強くなったとき、選手が打つボール速度が有意に低下し（結果3）、ボール回転量も有意ではないが平均で約14.9%低下した（結果4）という点である。また結果7が示すように、相手のボールが強くなると、選手が打つボールの速度-回転量関係が有意に変化していた。これらの結果から、本研究においては「相手のボールが強くなると、自分の打つボールが弱くなりやすい」という傾向が見られるといっても良いだろう。しかしながら本研究は被験者が1名のみであり、試行数も比較的少なく、またボールの「強さ」も2種類のみであるため、この傾向が強い一般性をもっているという主張は差し控える必要があると考える。今後の更なる研究により、この傾向について明らかになる可能性があるだろう。

本研究における「強い」ボールは速度が96km/h、ボール回転量は2200rpmであったが、このボールはどの程度「強い」のだろうか。これまでボール速度と回転量の両方を報告した研究が殆どないため、比較が難しいが、村松ほか（2015b）の報告する世界トップクラス選手のフォアハンドグラウンドストローク（平均でボール速度が約132km/h、ボール回転量が約3486rpm）と比較すると速度・回転量ともに大幅に小さい値であった。ボール速度を報告した研究では、Landlinger et al.（2012）は男子プロテニスプレーヤーが正確に、かつなるべく速いボールを打つよう指示されたときに約125km/hの速度であったと報告している。ボール回転量については明らかでないが、やはり本研究の高速マシンのボールよりも速度が大きかった。今後、本研究で行った2種類の強さのみならず、より強いボールを含む様々な強さのボールに対するフォアハンドグラウンドストロークを調査することで、「強いボールの返球が弱くなりやすいのか」という本研究のテーマをより明確に検討することができるようになると考えられる。なお本研究では試技数が比較的少なかったため、狙った場所に打球後のボールがバウンドしたかどうかに関わらず分析を行ったが、試技数を増し、狙い通りか否かについて分析することで、より有益な情報が得られる可能性があると考えられる。

結果1, 2より、ボール速度はX軸周りの角速度から概ね予測することが可能であり、またボール回転量は

Z軸周りの角速度から概ね予測することが可能であると考えられる。Brody（1987a）は、ボール速度はラケット速度に強く依存している、と述べているが、ラケット速度を大きくしてもトップスピンを強くかける打ち方をすればボール速度はそれほど大きくならないと考えられる。ボール回転量がZ軸周りの角速度から概ね予測することが可能であるという結果は、CrossとLindsey（2005a）の見解を支持するものであった。なお図3において角速度（X軸周り）が2500dps以上の領域では「角速度が増大するとボール速度も増大する」という関係がみられない。この原因については本研究から明らかにすることができなかった。今後試技数の拡大等により、X軸周りの角速度からボール速度を予測できるかどうかという点について、より明確にする必要があるだろう。

結果3は高速マシンのボールを打つ時に、低速マシンのボールを打つ時よりも有意にボール速度が低下したことを示しているが、その原因として結果5が示す「X軸周りのラケット角速度が有意に低下したこと」が考えられる。それでは何故、X軸周りのラケット角速度が低下したのだろうか？

可能性として大きく分けると、ラケット速度そのものが低下したことと、ラケット速度は低下せずにスイング方向が変化したこと、の2種類が考えられる。ここではこの2つの可能性を念頭に検討したい。まずラケット速度そのものが低下するとしたら、どのような理由が考えられるだろうか。推測の域を出ないが、相手からのボールが強くなると、正確に（狙った場所に打つという意味で）打球するのが難しいと感じるため、思い切ったスイングがしづらくなる、という可能性が考えられる。実際、選手Aは実験中、低速マシンのボールを打つ時に比べて高速マシンのボールを打つ時に、「打つのが難しく感じる」というコメントをしていた。高速マシンといっても、ボール速度が96km/h、ボール回転量は2200rpmであり、選手Aの打つボールに比べればかなり「弱い」のであるが、それでも低速マシン（ボール速度は32km/h、ボール回転量は130rpm）に比べれば著しく「強い」ボールであるため、そのように感じたのではないだろうか。なお、Z軸周りのラケット角速度に変化が殆どみられない（結果6）ことから、「高速マシンのボールを打つ際に、トップスピンをより強くかけるためにX軸周りの角速度を減少させつつZ軸周りの角速度を増大させている」という可能性、言い換えると「ラケット速度は低下せずにスイング方向が変化したこと」が否

定され、高速マシンのボールを打つ際にラケット速度そのものが減少していることが伺える。

結果6より、低速マシンのボールを打つ時に比べて高速マシンのボールを打つ時には、Z軸周りの角速度の低下は殆ど無かった（有意差なし、平均で差異は5%未満）が、結果4よりボール回転量は約14.9%低下した（有意差は見られなかった）。有意差が見られなかったが $p = 0.057$ ということで、有意に近い数値がみられたことから、ここでは仮に「Z軸周りの角速度の低下が見られないのに、回転量の低下が15%ほど見られたのは何故だろうか」という問題提起を試みたい。言い換えれば「ラケットを同じように上方に振り上げているのに、トップスピンの量が減ったのは何故だろうか」ということである。順回転で飛行してきたボールに、順回転を与えて打球するには、ボールの回転方向を逆転させる必要がある（CrossとLindsey, 2005b）。このため、飛んできたボールの順回転量が大きくなると、同じようにスイングしても打ち出したボールの順回転量が小さくなりやすいと考えられる。実際CrossとLindsey（2005d）は、3820rpmの順回転で飛んできたボール（約53km/h）に対して、ラケットを30度上方に振り上げて打っても、結果として打ち出されるボールには159rpmの順回転しかかからない、と述べている。このことも、上記「はじめに」で述べた、ボールに順回転をかけて打つことの利点に加えるべき重要な点であると考えられる。強い順回転をかけることができれば、対戦相手は順回転をかけづらくなるため、強く打つのが難しくなり（アウトしやすくなるため）、また角度をつけたショットを打ちづらくなる（順回転量が小さいため飛距離が大きくなりやすく、角度をつけて打つとアウトしやすくなるため）からである。繰り返しになるが、本研究では回転量に有意差が見られなかった（結果4より）ため、この推察はあくまで「回転量が減少したとしたら」という仮定に基づくものであるが、「相手のボールの順回転量が大きいと、こちらのボールがアウトしやすくなる」というのはテニス経験者であればおそらく殆どの人が感じていることと思われ、その感覚を説明するものとしてここに記した。

結果8から、本研究においては、「通常の打ち方とトップスピンを強くかけた打ち方とで、速度-回転量関係が異なるかどうか」については明らかにすることができなかった。今後データ数を増やすことにより、更なる検討が必要である。

結果9から、右奥を狙ったときと左奥を狙ったとき

とで、ボール速度、ボール回転量に有意な差がなく（ $p > 0.05$ ）、また速度-回転量関係を示す回帰直線のy切片にも傾きにも有意な差がなかった（ $p > 0.05$ ）。なおラケット角速度に関して、X軸周りにおいてもX軸周りにおいても、右奥を狙ったときと左奥を狙ったときとで有意な差が見られなかった（ $p > 0.05$ 、低速マシンに対しても、高速マシンに対しても）。右方向を狙うときと左方向を狙うときとでこれらの差が見られなかったことから、右に打つ時も左に打つ時も同様なスイングをしている可能性が示唆された。しかしながらLandlinger et al.（2010）はフォアハンドグラウンドストロークにおいてクロスコートに打ったときの方がダウンザライン（ストレート）に打ったときよりもラケット速度（手前コートから相手コートに向かう方向の速度成分）が大きいと報告しており、今後更なる検討が必要であると考えられる。

まとめ

対戦相手のボールが強くなったときに選手の打つボール速度、回転量、ラケット速度にどのような変化が生じるのかという点について検討するために、男子大学生テニス選手を対象に、低速マシンのボールを打ったときと高速マシンのボールを打ったときのボール速度、回転量、ラケット角速度を比較した。その結果、低速マシンのボールを打ったときに比べ、高速マシンのボールを打ったときのボール速度は約11.3%低下し、ボール回転量は約14.9%低下し、ラケット角速度（X軸）は約20.7%低下した。ボール速度は有意に低下した。これらの結果から、対戦相手のボールが強くなると選手の打つボールが弱くなる傾向が見られた。このような研究は筆者の調べた範囲内では殆ど無く（村松ほか2015b）、テニス指導の現場に役立つ知見が得られたと考えられる。

謝辞

角速度の計測・ボール速度の計測等にご協力いただいたカシオ計算機株式会社の英敏夫様、阿部和明様、青木由隆様、実験実施にご協力いただいた慶應義塾大学体育研究所の坂井利彰様と慶應義塾体育會庭球部ヘッドコーチの原莊太郎様、実験にご協力いただいた皆様、また日頃テニスについて情報提供して下さった多くの方々へ厚く御礼申し上げます。

文 献

- Brody, H. (1987a) Tennis Science for tennis players, University of Pennsylvania Press, pp.46-49.
- Brody, H. (1987b) Tennis Science for tennis players, University of Pennsylvania Press, pp.68-69.
- Cross R. and Lindsey C. (2005a) Technical Tennis: Racquets, Strings, Balls, Courts, Spin, and Bounce. p.42, Ursa.
- Cross R. and Lindsey C. (2005b) Technical Tennis: Racquets, Strings, Balls, Courts, Spin, and Bounce. p.122, Ursa.
- Cross R. and Lindsey C. (2005c) Technical Tennis: Racquets, Strings, Balls, Courts, Spin, and Bounce. pp.123-126, Ursa.
- Cross R. and Lindsey C. (2005d) Technical Tennis: Racquets, Strings, Balls, Courts, Spin, and Bounce. p.138, Ursa.
- Elliott B, Fleisig G, Nicholls R, Escamilla R. (2003) Technique effects on upper limb loading in the tennis serve. J Sci Med Sport, 6 : 76-87.
- 市原清志 (1991) バイオサイエンスの統計学. 南江堂, pp.218-222.
- Landlinger, J., Lindinger, S.J., Stöggl, T., Wagner, H., & Müller, E. (2010) Kinematic differences of elite and high-performance tennis players in the cross court and down the line forehand. Sports Biomechanics, 9 (4): 280-295.
- Landlinger, J., Stöggl, T., Lindinger, S., Wagner, H., & Müller, E. (2012) Differences in ball speed and accuracy of tennis groundstrokes between elite and high-performance players. European Journal of Sport Science, 12 (4): 301-308.
- 森山正吾 (2011) Bluetooth小型無線ハイブリッドセンサII WAA-010, 日本バーチャルリアリティ学会誌 16 (2), 106-107.
- 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 (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 (2015), テニスの技術, テニス指導教本 I, 日本テニス協会編, pp.44-47
- 坂井 利彰 (2010) テニス 世界最先端の練習法, 東邦出版, p.31.
- 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.
- シヨンボーン (2007), シヨ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. 11-12.
- Wong, F.KH, Keung, J.HK, Lau, N.ML, Ng, D. KS, Chung, J. WY, Chow, D. HK. (2014) Effects of Body Mass Index and Full Body Kinematics on Tennis Serve Speed. Journal of Human Kinetics volume 40: 21-28.

(受付：2016年8月16日，受理：2016年11月1日)