

逆回転を帯びたテニスボールの運動解析と練習法提案

石川, 聖也 / ISHIKAWA, Seiya

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

55

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2014-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00010321>

逆回転を帯びたテニスボールの運動解析と練習法提案

MOTION ANALYSIS OF THE BACKSPIN TENNIS BALL

石川聖也

Seiya ISHIKAWA

指導教員 渡辺嘉二郎

法政大学大学院理工学研究科システム工学専攻修士課程

General levels of players hitting the "glide slice" is now not many. This study that measured using a high speed movement of the camera when the backspin tennis ball bounce, to analyze the "glide slice", to the improvement of technology by showing clearly to those who play tennis as a hobby aims to help. Going to clarify important points to beat by analyzing the speed and angle, the spin a "glide slice".

Key Words : glide slice, backspin, speed, angle, spin

1. はじめに

テニスのストロークにおいて大きく分けて順回転(ドライブ)と無回転(フラット)、逆回転(スライス)が存在する。

また、スライスショットには受け手が滑ると感じるスライスと止まると感じるスライスが存在する。

さらに、滑ると感じるスライスについては低く伸びるボールであればあるほど、相手のリズムを崩したり相手を迷わせたりする効果が高く、強打のラリーのなかになんかそういったショットが混じってきた時に一球目から思い切り打ち返してくる選手はプロでもほとんどいない。

しかし現在、テニスを趣味とする一般レベルの人やコーチングを受けていない高校生、サークル活動をする大学生などは、滑ると感じるスライスのことを知っている人は多くない。さらにそのショットを理解し意図して打ち分けている人はかなり少ない。

また、ラケットとボールの衝突やスピンを帯びたボールの軌道などは研究がなされている([1],[2],[3])が、逆回転に注目したコート面との衝突に関してほとんど研究がなされていない。

本研究は逆回転スピンを帯びたテニスボールのバウンド時の運動をハイスピードカメラを用いて測定し、「滑るスライス」を解析することで、テニスを趣味としてプレイする人にわかりやすく示すことで技

術の向上に役立てることを目的とする。

2. 「滑るスライス」について

(1) スライスの認識調査

テニスを趣味とする人のスライスに対しての認識を調べるためにテニスサークルに所属する52名にアンケート調査を行った。

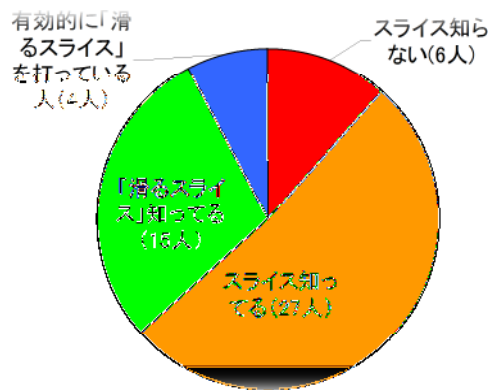


図-1 アンケート結果

この結果から見ても「滑るスライス」をわかりやすく示すことができれば、プレーが広がる人が多いと考えた。

(2) 滑るスライスショットについて

「滑るスライス」とは受け手がバウンド時に滑ると感じるスライスショットのことを言う。あくまで受け手の感性による表現であるので、「滑るスライス」に対して考察する。

まず「滑るスライス」についての情報を集めると次のように記述されていることが多い。例としてテニス365(テニスに関するウェブサイト)に書かれている記述を以下に示す。[4]

>次はスライスにテーマを移し、「滑るスライス」について考えてみよう。目標は、バウンド時に①コートで低く滑らせて、②相手の打点を食いこませるようなスライスを打てるようになること。回転とスピードが両立した、いわゆる「ペースのあるボール」が求められる。

という記述がされている。

(3) ボールのモデル化

ボールの運動を解析するにあたり、ボールの運動の単純化を計り測定のためにボールの運動のモデル化を行った。

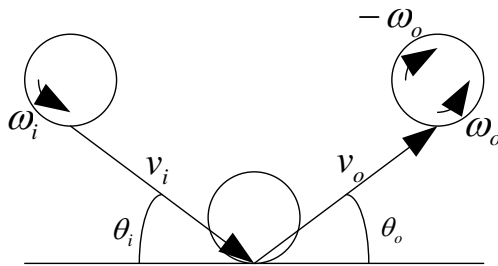


図-2 バウンド時のボールの運動のモデル化

ボールの運動のモデル化を行ったとともに、上記(2.2の記事参照)の下線部に関して作成したモデルに合わせて考察を行った。

①より θ_o (反射角)が小さいということが、②より予想していた場所よりも後ろに打点をとらせること、つまり v_i (入射速度)に対して v_o (反射速度)が速い、もしくは v_i に対して v_o が速く感じるということが考えられる。

3. 測定方法

(1) 測定装置

- ・HIGH SPEED EXILIM EX-F1
- ・5cm 平方のマス目を書いた目盛り板
- ・カメラの台
- ・テニス用具

(2) 測定モデル

下記の位置に目盛り板を配置した。



図-3 測定のモデル(カメラ視点)

(3) 測定対象

- ・入射・反射速度
- ・入射・反射角度
- ・入射・反射角速度

(図-2 参照)

(4) 動画の数値化

下記の図がカメラから観た目盛り板とボールの動きである。これから数値データを取り出す。

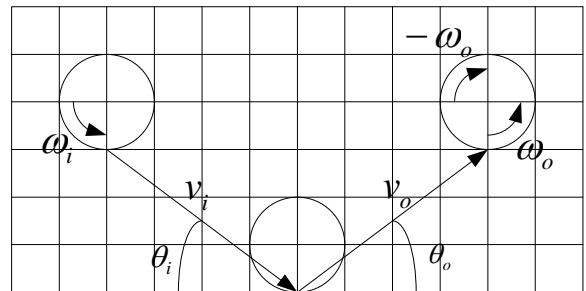


図-4 測定原理

a) 速度データの数値化

速度データを5cm 平方のマス目上でcm/Fを読み取り、水平方向と垂直方向について数値化する。そこから計算で進行速度を算出する。

例えば、一つ目のボールと二つ目のボールが600F 差であれば水平方向の速度は20cm/600F であり秒速40cm ということになる。これにより速度を数値化する。

b) 角度データの数値化

角度については水平、垂直、進行方向の速度ベクトルから余弦定理を用いて算出した。

c) ボール比による速度修正

カメラからの距離で起こる誤差を修正するためにボールの動画内での大きさの比を利用して速度を修正する。

例えば、動画中のボールの大きさが10cm であつたら距離から速度を計算する上で 距離×ボールの元の直径/10 で計算している。

4. 結果

以下測定結果のグラフを示す。

減速率と入射角度についてのグラフ、入射角ごとの回転速度と減速率についてのグラフを示す。

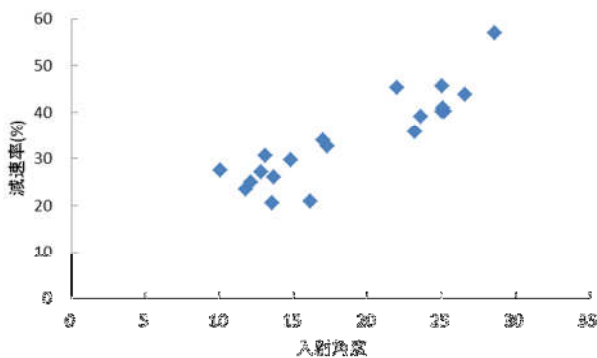


図-5 減速率と入射角度

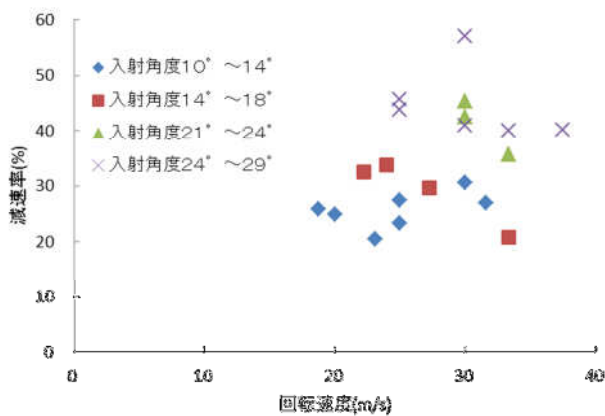


図-6 入射角ごとの回転速度と減速率

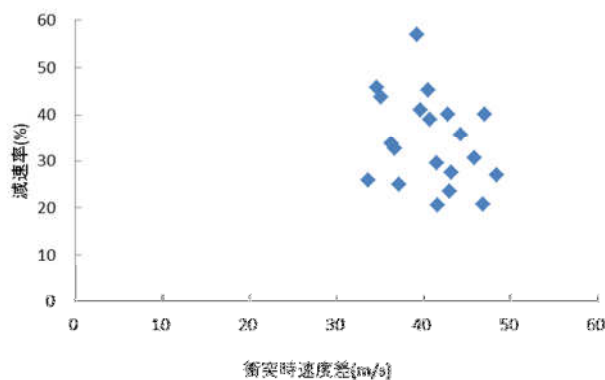


図-7 衝突時速度差(水平速度+回転速度)と減速率

5. 考察

(1) 結果のまとめ

図5から減速率が入射角度に大きな影響を受けている。入射角度が低いほど減速率は低くなっている。

また、図6からも入射角度に依存していることが見て取れる。今回「滑るスライス」、「止まるスライス」について意識しながら計測をしていて、図5と図6から入射角 20°あたりを境にグラフのプロットが分かれているように見える。これは自身が意識した「滑るスライス」と「止まるスライス」に分かれており、入射角度 20°前後がそれを分けるラインになると考えられた。

また図6と図7から、減速に影響すると考えていた回転速度について、回転速度(大)=減速率(大)ならず入射角度に依存するものだと考えられた。

(2) 「滑るスライス」の弾道

結果より入射角度 18°以下のボールを「滑るスライス」と推定できるが、「滑るスライス」の条件をわかりやすくするために弾道について考える。

a) 入射角度が低い理想の弾道

入射角度ができるだけ低い弾道とは、ボールの垂直方向の速度が限りなく0に近い状態でバウンドするという事である。テニスではネットを越えてコートにバウンドしなくてはいけないため、ネットより上の高さでボールを打ち下に凸の放物線を描きながら揚力と重力が釣り合う時点でバウンドするという事になる。これはバウンドする前の時点で重力より揚力が大きくなければ下に凸の放物線を描き釣り合うときにバウンドといったことが起こらないので揚力と重力について考える必要がある。

b) マグナス効果による揚力と重力について

実際にテニスをプレイしていくなかで、マグナス効果による揚力が重力よりも大きくなる可能性があるか検証する。テニスボールの揚力は逆回転を帯びたボールの上下についてベルヌーイの定理を当てはめると

$$\frac{v^2}{2} + \frac{P}{\rho} + gZ = const \quad (1)$$

V : 流体の速度, P : 流体の圧力, ρ : 流体の密度, g : 重力の加速度, Z : 鉛直方向の座標 である。これによりボール上下の圧力差を求め、クッタジュウコフスキーの法則から圧力が作用する面積をボールの断面積の 1/4 と仮定すると揚力 F は

$$F = \frac{1}{2} \pi \cdot \rho \cdot r^2 \cdot V \cdot \omega \quad (2)$$

となる。ここで一般プレイヤーのスライスショットの平均速度 50 km/h、回転速度 25 rev/s で計算すると、ボールの直径 6.7cm(規定の中間値)、大気圧下 25°C では

$F=0.15236592$ Nであり、これはボールの重さ 57.7kg(規定の中間値)にかかる重力 $f(g)=0.56584371$ N に対して十分低く、速度と回転速度が共に比例の関係であるためプロテニスプレイヤーの打球でも揚力が重力よりも大きくなることはないと考えられる。このことより逆回転を帯びた打球は下に凸の放物線を描くことができなく、すべて山なりのボールになることがわかる。

6. 練習法提案

バウンド解析の結果から一般プレイヤーの技術向上に向け練習法について検討し、提案を目指す。

(1) 練習での目標

バウンド解析の考察から入射角度を低くするためには速度が重要な要素であることがわかり、速度を出すために重要なボール打点時のラケット角度に注目する。

速度を出すためには進行方向に向かってラケット面がたっている状態で打つのが好ましいと考えられるので、打点の高さにも影響されるが地面に対してラケット面が垂直に近い状態で打つのが理想的だと考えられる。

ここでプロ選手であるロジャー・フェデラーの高い打点でのスライスショットの角度は 10° 付近である。

そこで練習法を提案する上での目標を「ラケット角度 10° 付近でのスライスショット」とする。

(2) ラケット角度の測定

a) 測定方法

ハイスピードカメラによりボール打点時の画像を捉え角度を算出する。測定の対象は次の4つのパターンとする。

- (1) ネット際での無回転ショット
- (2) ネット際での逆回転ショット
- (3) ベースライン付近での無回転ショット
- (4) ベースライン付近での逆回転ショット

13人(図のA~M)に対してそれぞれについて5球ずつ測定した。

b) 測定結果

コート面に対して垂直を 0° として、測定したデータを4つのパターンごとに平均と標準偏差を求め、並べて示す。

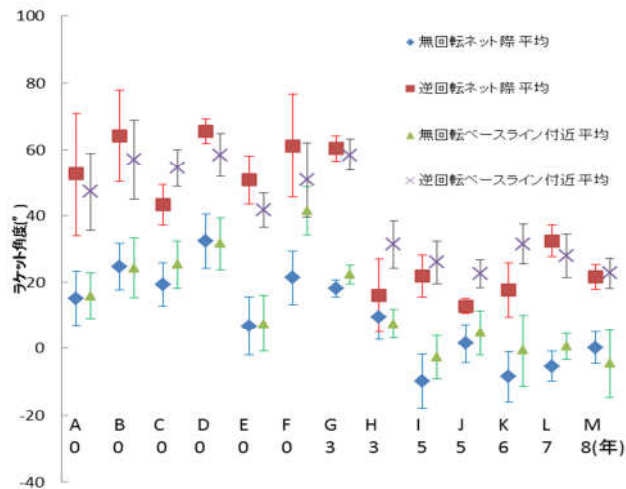


図-8 ラケット角度の平均と標準偏差

c) 考察

結果のグラフは左より未経験者7人、経験者6人であるが、全ての状況についてラケット角度に大きく違いがあると見て取れる。特に逆回転のショットについては大きく違いが出ている。またラケット角度のばらつきにも差が出ている。

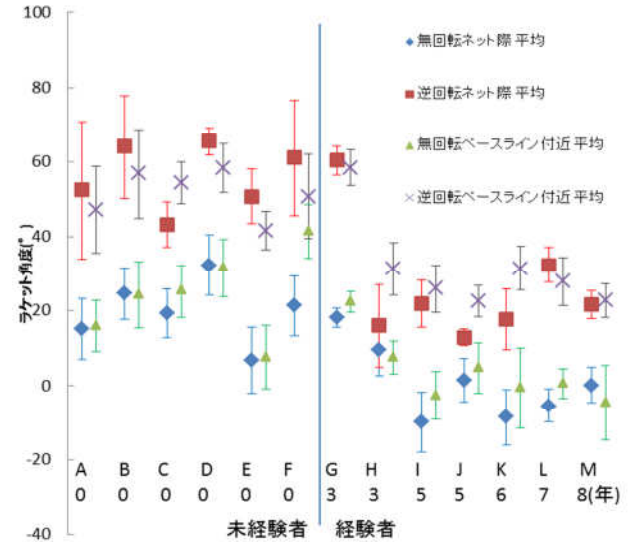


図-9 未経験者と経験者の比較

まず目標とするラケット角度 10° に対しては無回転ショットのほうが近く逆回転ショットに関してはほとんどの人が角度が大きくなってしまっていることが分かる。

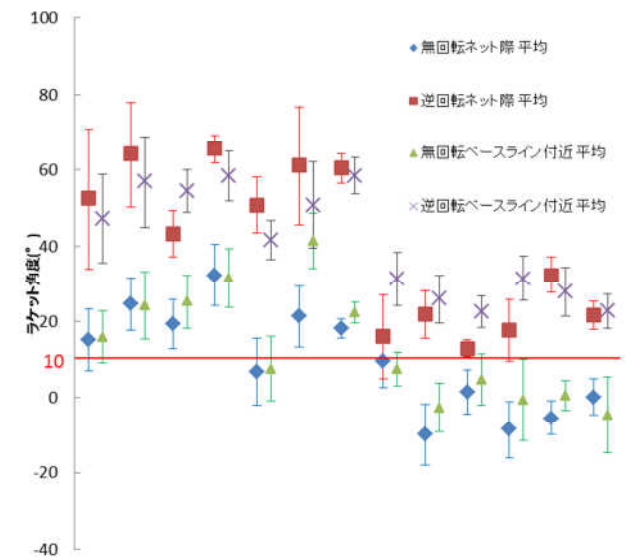


図-10 ラケット角度 10° との比較

また無回転ショットに関してはほとんどの人がベースライン付近よりネット際の方が角度が低くなっており、ネット際の方がコートにボールを入れるためのプレッシャーや難易度低くラケット角度を低くできると考えられる。

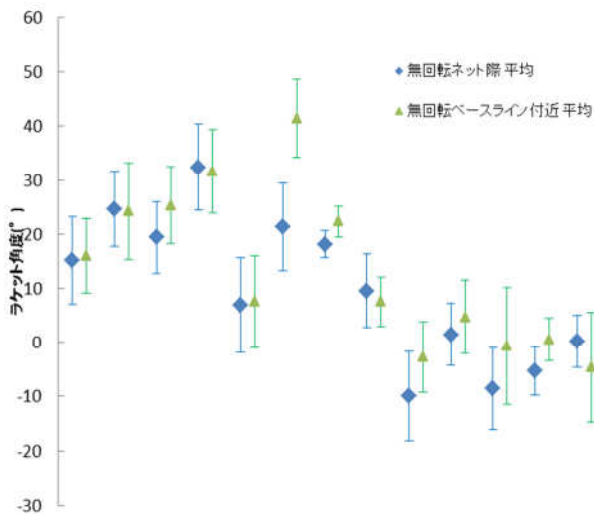


図-11 無回転ショットのみの比較

逆回転ショットについては未経験者と経験者に大きな違いが出ており、角度だけでなくネット際とベースライン付近の角度の関係がほぼ逆の結果となった。これは未経験者が逆回転をかけるためにボールの下をこするようにスイングしていたからであると考えられる。それによりネット際に比べベースライン付近からのショットでは、距離を稼ぐためにボールを飛ばそうとし角度が低くなったと考えられる。

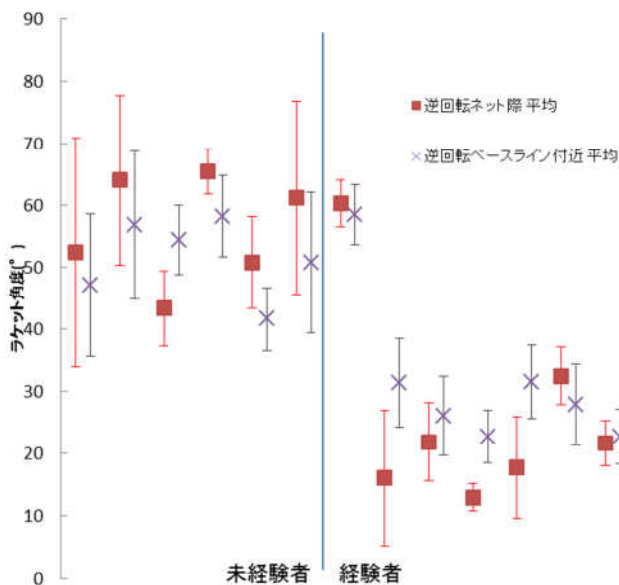


図-12 逆回転ショットのみの比較

これら2つの点からネット際で高い打点から無回転に近いショットを打ち少し逆回転を加えていく練習と逆回転ショットで遠くに飛ばす練習の2つが目標とする「ラケット角度 10° 付近でのスライスショット」のために有効な練習であると考えられた。

7. 結論

本研究ではテニスをプレイする人の技術向上を目的として、逆回転スピンを帯びたテニスボールの運動解析を行った。

計測から入射角度が低いほど減速が少なくなり、回転速度によって減速率があまり変化していないことが分かった。逆回転を帯びたボールの軌道が下に凸の放物線をとらず、全て山なりになることがわかった。これより入射角度が低いショットを打つためには回転数を多くするよりも速度が重要である。

目標とする「ラケット角度 10° 付近でのスライスショット」のための練習法としては

- (1)逆回転ショットと遠くに飛ばす練習
- (2)ネット際で無回転に近いスライスショットを打つ練習が有効であると考えられる。

8. 今後の課題

- ・有効と考えた練習法(1)(2)についての練習効果検証
- ・ばらつきによるリスクを考慮した理想的な弾道の検証

9. 参考文献

- [1]佐藤明,小林一敏,前田寛,宮地力：“テニスコートにおけるボールのはねかえりについての力学的研究”
- [2]小泉孝之,辻内伸好,村瀬光明：“テニスボールの衝突現象解析”,日本機械学会シンポジウム講演論文集,2000
- [3]吉田米夫：“テニスボールのスピンの効果”
- [4]テニス 365：“http://news.tennis365.net/lesson/tokushu/back/back08_04.html”
- [5]S R Goodwill and S J Haake：“Modelling of tennis ball impacts on a rigid surface”,Institution of Mechanical Engineers,2004
- [6] Effects of spin on the motion of a ball <http://carini.physics.indiana.edu/E105/spinning-balls.html>
- [7] 竹中, 浦田共著, 水力学例題演習, コロナ社
- [8] 三浦公亮, 蝶間林利男著, テニスの科学, 光文社
- [9] NASA TUNNELS TEST TENNIS BALLS http://www.nasa.gov/centers/ames/news/releases/2000/00_58AR.html
- [10]テニスの力学-1 テニスボールに働く力 [http://hamakazuchan.la.coocan.jp/tennis/\(1\)force%20on%20tennis%20ball.pdf](http://hamakazuchan.la.coocan.jp/tennis/(1)force%20on%20tennis%20ball.pdf)