

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月22日現在

機関番号：25406

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500586

研究課題名（和文）卓球のショット軌跡予測に基づく有効スペースの定量化

研究課題名（英文） Quantitative study on the effectual target space based on the prediction of the shot trajectory in table tennis.

研究代表者

楠堀 誠司（KUSUBORI SEIJI）

県立広島大学・生命環境学部・准教授

研究者番号：10513856

研究成果の概要（和文）：

本研究では卓球のショットについて分析を行った。まず打球速度の分析を行い、最大速度で打球した場合にボールが卓球台を横切る時間は人間の全身反応時間の限界値（0.1sec）に相当することを見出した。また、無回転（the theoretical spin-free：TSF）ボールの理論的軌跡を算出し、ショット軌跡に対するボールスピンのはたらきを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we analyzed the shots of actual games in table tennis competition. First of all, we computed the ball speed, and found that when hit with maximum speed the ball could go across the table within 0.1 sec, which is as same as the limiting value of total body reaction time of human. Further we computed the theoretical spin-free ball shot trajectory, and clarified the functions of ball spin on shot trajectory.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	200,000	60,000	260,000
2012年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	1,300,000	390,000	1,690,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：スポーツバイオメカニクス、卓球、有効スペース、ショット軌跡

1. 研究開始当初の背景

一般に球技では、スペース活用の出来具合はゲームの評価指標となっている（デーブラ

ー, 1985; Hughes and Bartlett, 2004).
スペースを活用・支配し、有利な状況でゲームを進めることができるかは、ポイント

獲得上重要な要因とされる。特にネット型の球技においてスペースは、ウィニング・ショットの打球目標となり、ポイントと直接的に結びつく。例えばテニスでは、ゲーム中に生じるオープン・スペースはオープン・コートと呼ばれており、ベースライン付近への打球によって対戦相手をバックコート奥深くへ追いやってオープン・コートを作り出し (Braden and Bruns, 1977)、オープン・コートへの打球、あるいは、相手の動きの逆をつくショットを放ってポイントを取ることが基本的戦術とされている (US Tennis Association, 1996)。従来のネット型球技におけるゲーム分析・パフォーマンス評価では、ポイントや勝利など結果に関連して評価がなされてきたが、結果に至るまでの過程そのものの評価については客観的に行われていない。ポイントに至る過程を、ポイント獲得行動に照らし合わせながら定量化できなければ、過程そのものを正しく評価することはできない。これに対して、有効スペースを定量化することは、その瞬間にどの程度優勢な状況にあるのか、そして、一つ一つのショット自体がどの程度の有効性をもったショットであるかを知る方法であると考えられる。

また、このようなウィニング・ショットを可能にするスペース以外にも、卓球では対戦相手の power zone (Seemiller and Holowchak, 1997) をはずしたショットによって、対戦相手に威力ある有効打を打たせないことや、crossover point (Heaton, 2009) への打球によって、対戦相手にフォアハンドあるいはバックハンドのどちらで返球すべきかの判断をさせるようなショットも有効とされている。これらショットの例に見られるように、ウィニング・ショットとしてポイントにつながるわけではないものの、卓球においては、一つ一つのショットにも有効性の度合いが

存在すると考えられる。これらのことから、一つ一つのショットが有効となり得るスペースがゲーム中にいかに出現するかを知ることは、ネット型の球技において打球目標地点として重要な情報となり、ゲーム評価としての重要な指標となり得る。しかしながら、これまでのネット型球技に関する研究では、有効スペースを定量化する研究はほとんどみられない。

瀧と長谷川 (2003) は、サッカー・プレイヤーの位置、および、初速度、加速度によってプレイヤーの移動をモデル化し、プレイヤーが到達可能なスペースを定量化している。その上で、味方プレイヤー同士がボールの受け渡し可能なスペースの視覚化を行っている。また、Pollard and Reep (1997) は、サッカーのゴール付近エリアでのプレイヤーに関する情報 (ゴールまでのシュート位置の距離、ゴールに対するシュート角度、シュート直前のプレイヤーのボールへのタッチ回数、シュート時の相手ディフェンダーまでの距離、セットプレーであるかないか) をもとに、シュートが得点に至る可能性を定量化している。これら研究では、スペースやゴール確率を定量化しており、このような情報をもとにポジションやパス方向などを考察するきっかけを生み、新たなコーチング指標の提示を可能にするものと思われるが、いずれもパフォーマンス評価には至っていない。

Kusubori ら (2004) はプレイヤーの動作・位置情報などをもとにした統計学的方法 (重回帰分析) によって、ソフトテニス・ダブルス・ゲームにおけるオープン・スペース定量化を試みている。この研究では、ベースラインプレイヤーの水平打球距離を予測し、打球可能エリア (面積) の定量化方法を提案している。打球可能エリアは、

ベースラインプレーヤーにとっては潜在的な打球可能対象範囲であり、このエリア面積が大きいほど対戦相手にとっては体力的にも精神的にも負担が増すと考えられる。しかしながら、打球軌道全体を追跡することができず、重回帰分析によって得られる予想打球距離は2次元予測（水平距離）であり、スペース定量化の精度を上げるためには、3次元の打球地点の予測が欠かせない。ところで、Jinji and Sakurai (2006) は、野球の投球ボール軌跡について3次元計測を行っている。この研究のように軌跡自体を詳細に追跡し、軌跡を正確に知ることができれば、より高い精度でのスペース定量化が可能になると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、プレーヤーのキネマティクスデータとともに統計学的手法によって卓球のショット軌跡を3次元的に予測することで、プレーヤーが潜在的に打球可能な地点を求める。その上で、対戦相手のキネマティクスデータをもとにして、対戦相手にとって返球の困難度が増すと考えられるスペースを、オープン・スペースを含めて定義する。これら作業からプレーヤーが潜在的に打球可能なスペースを含めたスペースを有効スペースとして捉え、卓球台上のエリア（面積）として定量的に求めたい。これら目的のために、ショット軌跡そのものの特徴を明らかにす

る必要がある。通常ボールには回転（スピン）がかけられているが、スピンによってショット軌跡がどの程度変化するかなど、ショット軌跡の特徴を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

撮影とデータ分析：2010 Japan Open を同期した2

4. 研究成果

(1) 打球速度：表1に男子シングルス決勝における打球速度の平均ピーク値を、打法毎に示した。打法ごとに見た場合、ドライブ、その他（不十分な態勢でのショット）、ブロック、ハーフボレー、フリック、つつつきの順で高い値を示した。ラリー中のフォアハンドショットの平均ピーク値は $16.52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、卓球台を横切る場合に要する時間は 0.166 sec に相当する。最大値である $27.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ では 0.1 sec で卓球台を横切ることになり、これは人間の全身反応時間の限界値に相当する。

(2) ショットにおけるスピンのはたらしき：無回転（the theoretical spin-free : TSF）ボールの理論的軌跡：本研究では Jinji & Sakurai (2006) と同様の方法で、TSF ボールの理論的軌跡を算出した。飛来するボールに掛かる力は、重力およびドラ

表 1-全ショットの 카테고리毎の平均ピーク値 ($m \cdot s^{-1}$, 平均 (標準偏差))

全ショット	13.37 (5.03) (最大 27.17, 最小 4.18)					
打球	フォアハンド (n=247)	バックハンド (n=198)				
サイド	15.06 (8.41) *	11.27 (3.55)				
状況	レシーブ後の ショット (n=366)	レシーブ (n=79)				
	14.64 (4.47) **	7.49 (2.82)				
打法	ドライブ (n=313)	P (n=63)	HV (n=20)	B (n=19)	F (n=16)	その他 (n=14)
	15.39 (4.20)	5.88 (1.02)	10.97 (2.08)	11.38 (2.70)	9.57 (3.54)	12.40 (1.43)
レシーブ 後の ショット	フォアハンド (n=206)	バックハンド (n=160)				
	16.52 (4.47) *	12.23 (3.13)				

**p<.00001, *p<.0001. P, HV, B, F はそれぞれつつき, ハーフボレー, ブロック, フリックを示している.

ツグの合力とする仮定に基づき, 軌跡を算出した. ボール軌跡の実測値を二次関数によって最小二乗近似し, 得られた近似関数を2回微分することでボールの平均飛行加速度値を得た. したがって, 飛行時のTSFボールの理論的運動方程式は以下ようになる.

$$\frac{d^2\mathbf{x}}{dt^2} = A_Y \cdot \mathbf{x}_i; \frac{d^2\mathbf{y}}{dt^2} = A_Y \cdot \mathbf{y}_j; \frac{d^2\mathbf{z}}{dt^2} = A_Y \cdot \mathbf{z}_k - g,$$

ここで g は重力加速度, A_Y は固定座標系 Y 方向 (打球方向) のボール平均加速度値, \mathbf{x}_i , \mathbf{y}_j , \mathbf{z}_k はそれぞれボールの近似軌跡の変位ベクトルを固定座標系の各軸に正射影して得られたベクトルである.

図 1 にショット軌跡の観測値および理論的無回転ボールの軌跡例を示した. また表 2 に, ドライブ, および, つつき, カットの各打法の平均値を示した. ドライブでは, すべての TSF ボールは実測値よりも長い軌跡を示

し, 卓球台をオーバーした. つつきでは,

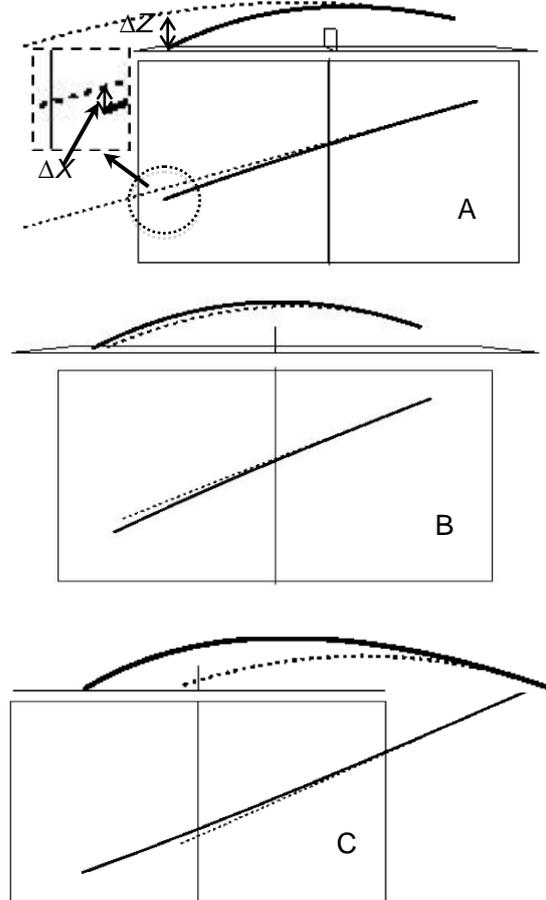


図 1: バックハンドドライブ (A), フォアハンドつつき (B), フォアハンドカット (C) におけるショット軌跡の例. 実線および点線はそれぞれ観測値, 理論的無回転ボールを示している.

TSF ボールのうち 17 ショットは実測値よりも短い軌跡を示した. 反対にカットでは, すべての実測値は TSF ボールよりも長い軌跡を示した. また実測値と TSF ボールにおける X-Y 平面でのボール着地点の横変位量は, カット > ドライブ > つつきの順で有意差が見られた.

ショット軌跡の最高点については, ドライブでは TSF ボール, 反対にカットとつつきでは実測値で優位に高かった.

実測値の着地点における Z 方向 (図 1) の変位量は, ボール回転による飛行中のマグヌ

ス効果による仕事量を反映しているが、ドラ

表 2 ドライブ, および, つつつき, カットの各打法の平均値と標準偏差. ΔX は観測値と理論的無回転ボール間の横変位量を示している.

	ドライブ (<i>n</i> = 30)	つつつき (<i>n</i> = 30)	カット (<i>n</i> = 30)
ΔX (m)	0.10 (0.08)	0.07 (0.07)	0.22 (0.15) [†]
軌跡長 (m)			
実測値	2.91 (0.60)	1.80 (0.28)	3.68 (0.54)*
TSF	6.16	1.81	3.33
ボール	(2.40)*	(0.29)	(0.52)
飛行中の軌跡高最大値 (m)			
実測値	1.08 (0.05)	1.03 (0.03)*	1.18 (0.09)*
TSF	1.18	1.02	1.10
ボール	(0.09)*	(0.03)	(0.08)
マグヌス効果による飛行中のボールに働く仕事量の推定値 (J)	0.01 (0.01) [†]	4.29×10^{-4} (3.06×10^{-4})	4.69×10^{-3} (2.03×10^{-3})

*は TSF と観測値間で, †は 3 打法間で有意差があることを示している.

イブ>カット>つつつきの順で有意差が見られた.

本研究における TSF ボール軌跡を求める方法は単純な仮定に基づいているが, マグヌス効果の影響をよくあらわしているものと思われる.

参考文献

Braden V. and Bruns B. (1977) : Vic Braden's Tennis for the Future. Little, Brown & Company, Canada

デーブラー H. (1985) : 『球技運動学』, 谷釜訳, 不昧堂出版, 東京

Heaton J. (2009) : Table Tennis. The Crowood Press, Wiltshire

Hughes M. and Bartlett R. (2004) : The use of performance indicators in performance analysis. In Notational analysis of sport (2nd ed.) , pp166-188. Hughes, M., and Franks, I. (Eds.) , Routledge, London

Jinji T. and Sakurai S. (2006) : Direction of spin axis and spin rate of the pitched baseball. Sports Biomechanics 5,2, 197-214

Kusubori S. et al. (2004) : Measuring open space quantitatively in one-up-one-back formation during soft-tennis doubles game. Proceedings of 22nd International Symposium on Biomechanics in Sports, Mario Lamontagne et al. (Eds.), 362-365, Ottawa

Pollard R. and Reep C. (1997) : Measuring the effectiveness of playing strategies at soccer. The Statistician 46, 4, 541-550

Seemiller D. and Holowchak M. (1997) : Winning Table Tennis. Human Kinetics, IL

瀧剛志, 長谷川純一 (1998) : チームスポーツにおける集団行動解析のための特徴量とその応用. 電子情報通信学会論文 D-28, 1802-1811

US Tennis Association (1996) : Tennis Tactics. Human Kinetics, IL

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には
下線)

[学会発表] (計3件)

- ①楠堀誠司, 吉田和人: 卓球ゲームにおける
打法や状況毎の打球速度. 日本体育学会第
62回大会. 鹿屋体育大学, 2011
- ②Kusubori Seiji, Yoshida Kazuto, Sekiya
Hiroshi: The functions of spin on shot
trajectory in table tennis. Proceedings
of 30th Annual Conference of
Biomechanics in Sports, 2012, 245-248,
Melbourne
- ③楠堀誠司, 吉田和人: 卓球のショット軌跡
におけるスピンのはたらき. 日本バイオメ
カニクス学会 2012 大会論集, 127, 2012,
北翔大学, 北海道

6. 研究組織

(1) 研究代表者

楠堀 誠司 (KUSUBORI SEIJI)
県立広島大学・生命環境学部・准教授
研究者番号: 10513856

(2) 研究分担者

吉田 和人 (YOSHIDA KAZUTO)
静岡大学・教育学部・教授
研究者番号: 80191576
関矢 寛史 (SEKIYA HIROSHI)
広島大学・総合科学研究科・教授
研究者番号: 40281159