

# 卓球ボールの飛行中における回転数の変化について

上島 慶<sup>1)</sup> 牛山 幸彦<sup>2)</sup> 八坂 剛史<sup>2)</sup> 大庭 昌昭<sup>2)</sup>

## I. 緒言

卓球競技で使用されるラケットには、ゴム製のラバーシートが貼付されており、ボールを打球する際に摩擦が生じて回転がかかりやすい<sup>1)</sup>。このことから、相手が対応困難な回転をボールにかけることは、得点を重ねるうえで重要な要素であり、競技レベルが上がると、相手の打球コースが予測できても、相手の回転に影響されて失点してしまうことも少なくない。また、卓球競技は、早いピッチや高い打球点で返球することは有効である<sup>2)</sup><sup>3)</sup><sup>4)</sup><sup>5)</sup>。しかし、相手が打球するボールの回転数が大きいほど、早いピッチや高い打球点で打球すると相手の回転の影響を強く受け、エラーをする可能性が高くなる。また、卓球競技は、卓球台にバウンドしたボールを返球しなければならないため、卓球台との摩擦による回転の変化によってもパフォーマンスが左右される<sup>6)</sup>。さらに、卓球ボールは、軽量であることから空気抵抗を受けやすく、飛行中においても回転数は減衰する。このことから、卓球競技は、飛行中における回転数の変化についても把握しておく必要がある。しかし、これまでの卓球競技におけるボールの回転に関する研究をみると、中国トップクラスや元世界チャンピオンなどの一流選手や国内大学生などを対象として打法別に打球直後の回転数を計測したものが多く、飛行中の回転数の変化について明らかにしたものはみられない<sup>7)</sup><sup>8)</sup><sup>9)</sup>。卓球ボールの回転数は、空気抵抗によって減衰するため、ボールの回転数がどのように減衰していくかを明らかにすることができれば早いピッチや高い打球点でも、

相手打球の回転の影響をなるべく受けずに返球できる最適な打球点の指標を得られる可能性がある。

そこで、本研究では、飛行中のボールの回転数を計測し、ボールの初速や初期回転数の違いにより生じる飛行中の回転数の変化を明らかにすることを目的とした。

## II. 研究方法

### 1. 実験方法

本研究は、ボールスピードと回転数を設定可能なロボットマシン (Butterfly 社製アミカス3000) を用いてボールを射出させた。射出させたボールは、設定した5地点でハイスピードカメラ (CASIO 社製 EX-ZR100) によって、毎秒480コマで撮影した。図1は、実際に設置したカメラの配置を示している。実験は、射出させたボールが5台全てのカメラに撮影されたものを1試技とし、それぞれの条件につき20試技行った。また、本実験は、射出させたボールの撮影に加えて、試技ごとにボールの第一バウンドと配置された各カメラとの距離も計測した。

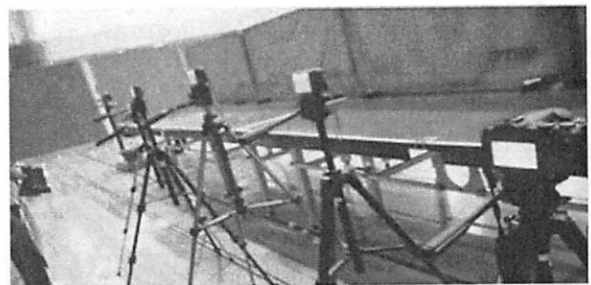


図1 実際に配置されたカメラ

### 2. 計測地点

図2は、本研究の計測地点を示している。計測地点は、ボールの第一バウンドから第一バウンドと同じ高度まで落下した区間で5地点設定した。

1) 新潟大学大学院現代社会文化研究科

2) 新潟大学人文社会・教育科学系

受理日：平成25年12月10日

地点は、地点1が第一バウンドの直後（ボールが台から離れた点）、地点3は頂点（ボール高度の最高点）、地点5は地点1と同じ高さに設定した。地点2と地点4は、第一バウンドからの計測距離を用いて、それぞれ地点1と地点3の中点と、地点3と地点5の中点とした。

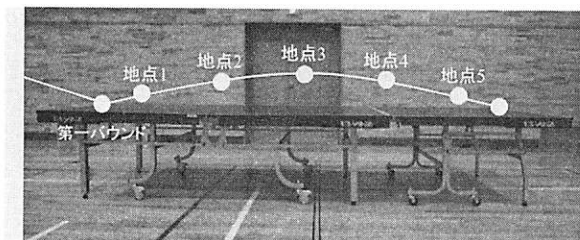


図2 計測地点

### 3. 計測条件

表1は、本研究における計測条件を示している。計測条件は、トップスピン9条件、バックスピン9条件の合計18条件とした。なお、表中のTSはトップスピン、BSはバックスピンを表している。

表1 本実験の計測条件

		Ball spin (rpm)		
		2000	3000	4000
Ball speed (m/sec)	4.0-4.5	BS	BS	BS
	5.0-5.5	BS	BS	BS
	6.0-6.5	BS	BS	BS
	8.5-9.5	TS	TS	TS
	10.0-11.0	TS	TS	TS
	11.0-12.0	TS	TS	TS

### 4. 回転数の算出

本研究におけるボールの回転数は、撮影された映像をもとに、ボールが1回転に要したフレーム数をxとして、以下の計算式により算出した。図3は、実際に撮影されたボールの画像を示している。

$$\text{一分間あたりの回転数 (rpm)} = \frac{480 \text{ (frame/s)}}{x \text{ (frame)}} \times 60$$

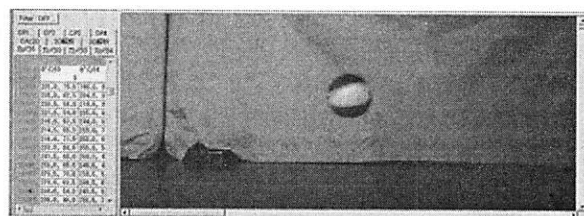


図3 撮影されたボール

### 5. 分析方法

本実験は、ボールの回転数の変化を明らかにするために、それぞれの条件ごとに各地点で計測された20試技の回転数を平均し、各地点間で対応のあるt検定を用いて比較した。なお、有意水準は、すべて5%以下とした。さらに、回転数と飛行距離の2変量から回帰曲線を作成することで、飛行距離にともなう回転数の変化についても考察を行った。

## Ⅲ. 結果および考察

### 1. トップスピン

図4、図5、図6は、トップスピンの各条件における回転数の平均値と第一バウンドからの距離の関係性を示したグラフである。地点ごとの回転数は全ての条件において有意差が認められ、ボールの回転数は有意に減衰していることが示された。また、回転数と第一バウンドからの距離から作成された回帰曲線を見ると、射出されたボールのスピードが上がるにつれて傾きが大きくなっていることから、ボールスピードが上がるに伴って回転数の減衰も大きくなる傾向が示された。さらに、ボールスピードが10.0m/sec以上の場合は、射出されるボールの回転数が上がることによって、減衰も大きくなることが分かった。これらは、ボールの回転数やスピードが上がることで、ボールが空気抵抗をより受けることで減衰が大きくなるものと考えられる。ただし、図4の2000rpmにおける10.0-11.0m/secの条件では、同じ回転数で設定された8.5-9.5m/secよりも回転数の減衰は小さかった。筆者らの卓球台の摩擦係数とボールの回

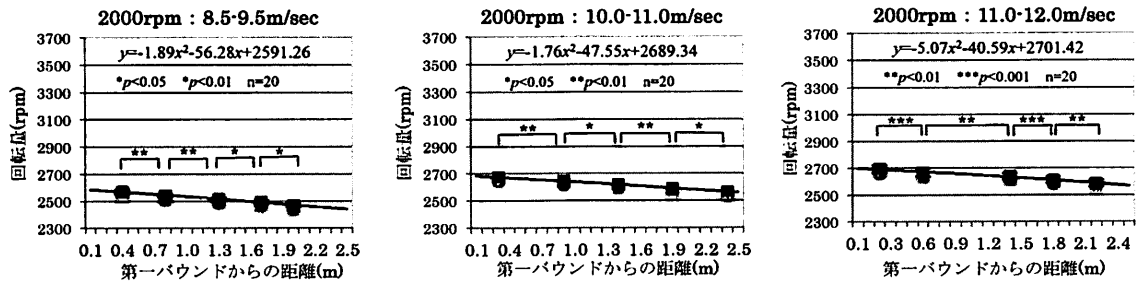


図4 トップスピン2000rpmの各条件における回転数の変化(平均値)

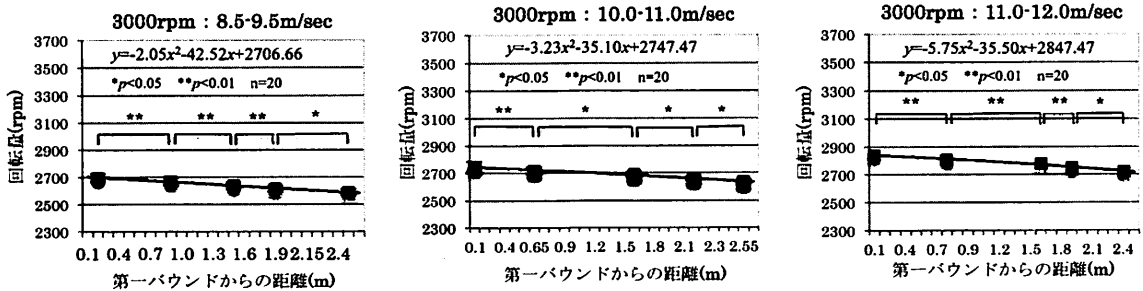


図5 トップスピン3000rpmの各条件における回転数の変化(平均値)

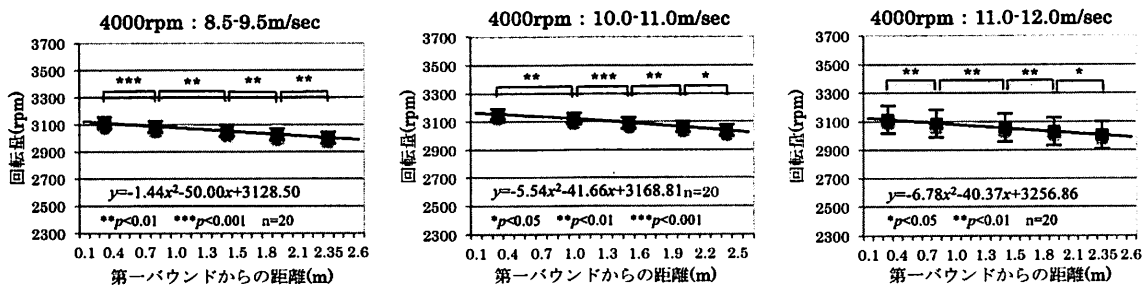


図6 トップスピン4000rpmの各条件における回転数の変化(平均値)

転減衰についての研究では、バウンドする前のボールの回転数が、3000rpm以下のトップスピンであった場合は、摩擦力がボールの進行方向と逆向きに働くことで、ボールの回転数がバウンド前よりも増加することを報告している<sup>6)</sup>。このことから、本研究の2000rpmにおける結果は、ボールがバウンドする際の台との摩擦によって、初期値よりもボールの回転数が増加したために生じたものと考えられる。

次に、各条件における回転数と第一バウンドからの距離の関係性を試技ごとに考察することで、相手コートに高確率で返球するための打球点について検討を行った。図7、図8、図9は、各条件における回転数の変化を試技ごとに表したグラフである。各グラフの破線は、ボールが頂点を迎え

た位置を示している。まず、図7の2000rpmに設定した回転数の変化について考察を行う。ボールスピード8.9-9.5m/secの条件では、曲線を見ると、頂点を越えた第一バウンドから1.8mの付近で収束し、その後分散している傾向にある。この結果から、相手がトップスピン2000rpmのボールスピード8.5-9.5m/secで打球した場合、回転の変化は、第一バウンドから1.8m付近で小さくなると考えられる。そのため、1.8m付近で打球することで、回転の変化による影響を抑えて返球できる可能性がある。同様に、10.0-11.0m/secと、11.0-12.0m/secを考察すると、ボールスピード10.0-11.0m/secの場合では、第一バウンドから2.3-2.5m付近、ボールスピード11.0-12.0m/secでは、2.4-2.6m付近で曲線が収束している傾向があ

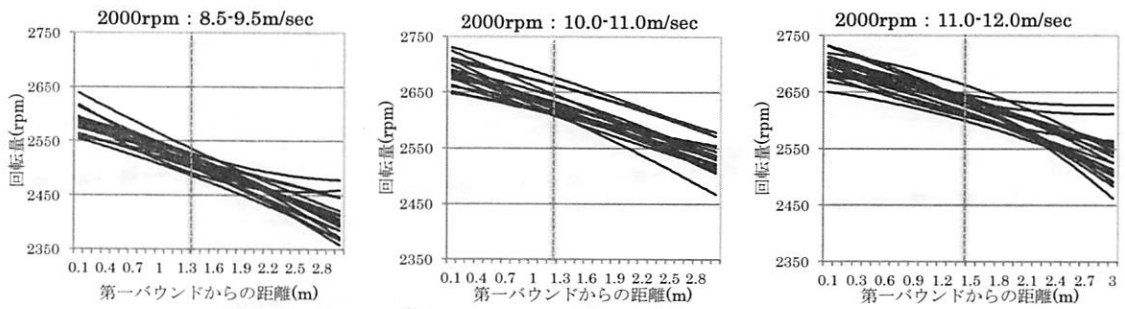


図7 トップスピン2000rpmの各条件における回転数の変化(試技ごと)

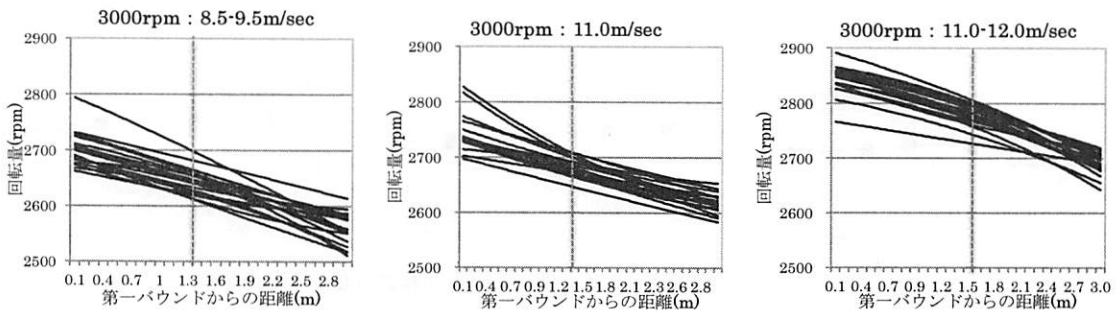


図8 トップスピン3000rpmの各条件における回転数の変化(試技ごと)

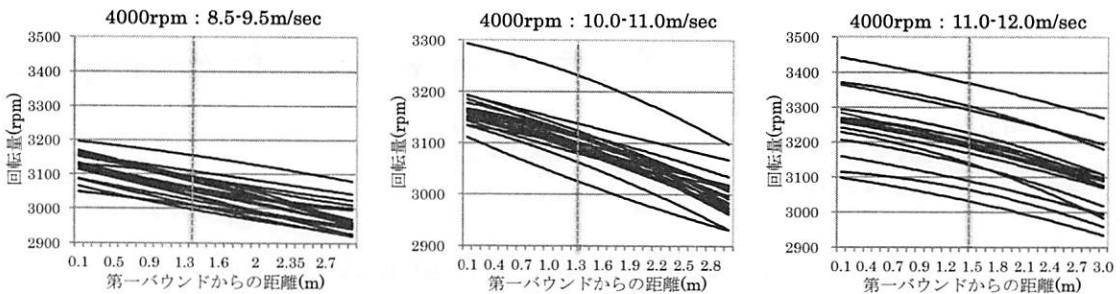


図9 トップスピン4000rpmの各条件における回転数の変化(試技ごと)

る。これらの位置でボールを打球することで、相手の打球した回転に受ける影響を小さくできるものと考えられる。

図8の3000rpmでは、ボールスピード8.5-9.5m/secの条件をみると、回帰曲線は、試技ごとにややばらつきがみられるが、第一バウンドから2.3-2.5m付近で交差している傾向にあった。

このことから、第一バウンドから2.4m付近で回転の変化が小さくなる可能性が考えられる。また、11.0-12.0m/secの条件では、第一バウンドから2.3-2.6m付近で曲線が収束している傾向にあり、8.5-9.5m/secの条件とおおよそ同じ位置で回転数の変化が小さくなるものと考えられる。10.0-11.0m/secの条件は、顕著に曲線が収束している

ところはみられなかったが、ボールスピードと第一バウンドから2.4m前後で回転の変化が小さくなる可能性が考えられる。これらの結果から、トップスピン3000rpmにおいては、どの速度においても、第一バウンドから2.3-2.6mの範囲で打球することで、回転の変化を抑えて返球できるものと考えられる。

図9の4000rpmでは、顕著な曲線の収束はみられないが、2000rpmと3000rpmの結果から、第一バウンドから2.5m付近あるいは、それ以降で回転の変化が小さくなるものと考えられる。4000rpmの条件は、2000rpmや3000rpmと比較すると、特に11.0-12.0m/secの条件において、試技ごとの誤差が大きい。これは、ロボットマシン

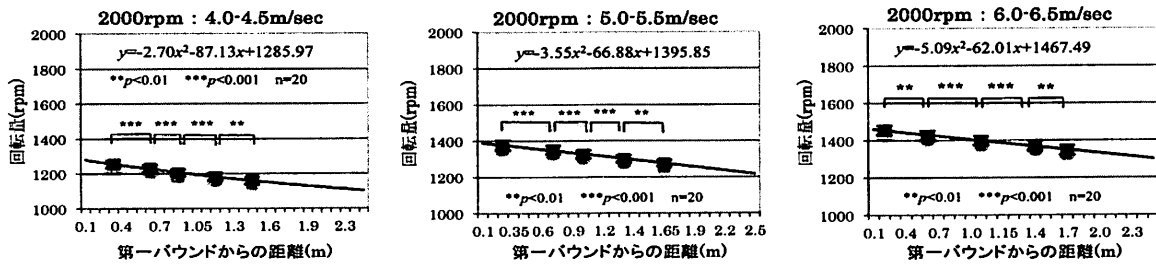


図10 バックスピン2000rpmの各条件における回転数の変化 (平均値)

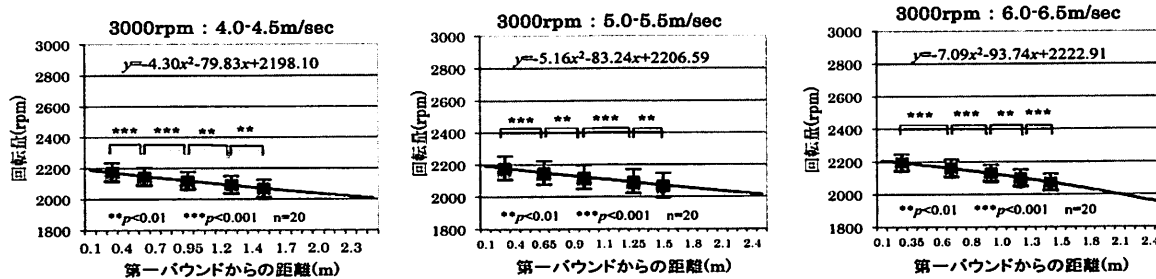


図11 バックスピン3000rpmの各条件における回転数の変化 (平均値)

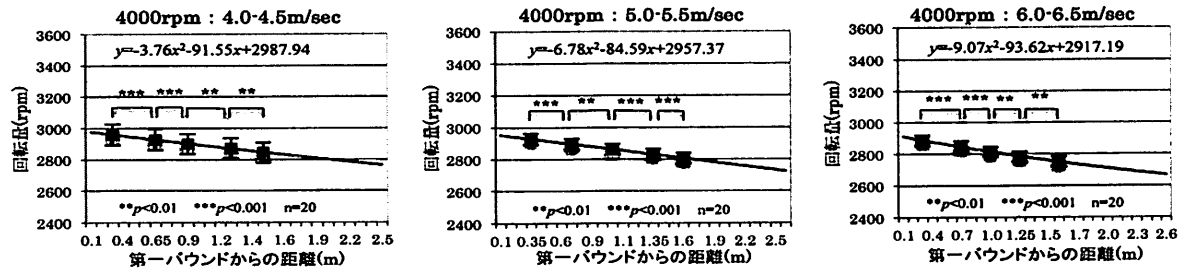


図12 バックスピン4000rpmの各条件における回転数の変化 (平均値)

の性能によるもので、初期設定の回転数とボールスピードを上げることにより、ロボットマシンから射出されるボールの回転数やボールスピードにばらつきが生じたことが原因であると考えられる。また、4000rpm以外の条件でも、傾向とは異なる試技がいくつかみられた。これについても、試技によりロボットマシンから射出されたボールのスピードに誤差が生じた可能性がある。そのため、本研究は、ロボットマシンの性能評価にもつながることが示された。今後の課題としては、ロボットマシンから射出後のボールスピードも計測し、ボールの回転数との対応関係も考察していく必要性があげられた。

## 2. バックスピン

図10、図11、図12は、バックスピンの各条件における回転数の平均値と第一バウンドからの距離の関係性を示したグラフである。回転数は、全ての地点間において、5%あるいは1%有意水準で有意な差が認められ、バックスピンにおいてもボールの回転は、有意に減衰していることが示された。回帰曲線からは、射出されるボールのスピードが上がるにつれて、回転の減衰も大きくなることが示された。また、ボールスピードが5.0m/sec以上の場合では、射出されるボールの回転数が高くなるにつれて減衰も大きくなる傾向にあった。これは、トップスピンと同様に、回転数やボールスピードが上がることで、空気中の空気抵抗をより受けるためであると考えられる。さらに、ボールの回転がバックスピンの場合、ボールと卓球台

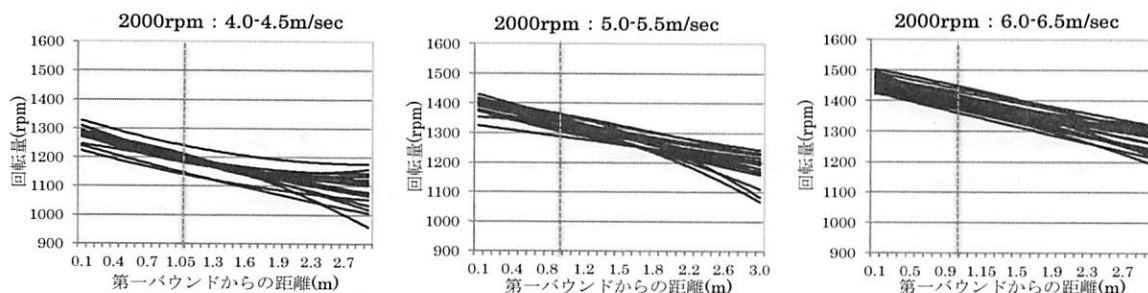


図13 バックスピン2000rpmの各条件における回転数の変化(試技ごと)

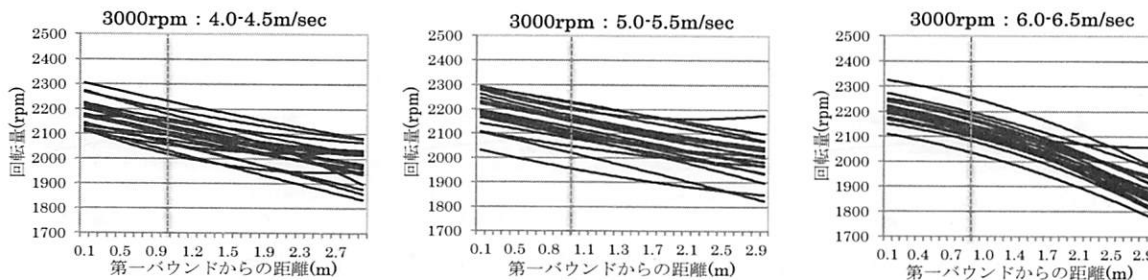


図14 バックスピン3000rpmの各条件における回転数の変化(試技ごと)

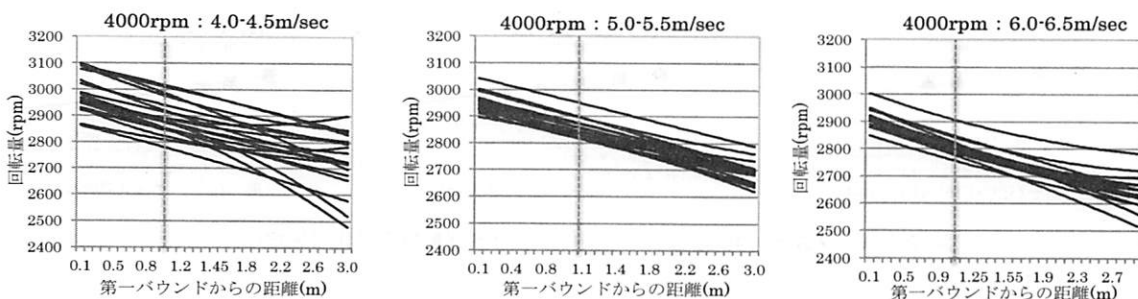


図15 バックスピン4000rpmの各条件における回転数の変化(試技ごと)

の摩擦は、ボールの進行方向とは逆方向に生じることが明らかにされている<sup>8)</sup>。そのため、ボールの回転数が増加することで生じる摩擦も大きくなり、回転数の増加に応じて、卓球台にバウンドする際の回転数の減衰も大きくなったものと考えられる。

次に、トックスピンと同様に各条件の回転数の変化を試技ごとに考察することで、最も回転の影響を受けにくい打球点の検討を行った。図13、図14、図15は、バックスピンにおける各条件の回転数の変化を試技ごとに示したグラフである。破線は、ボールが頂点に達した位置である。まず、図13の2000rpmについて考察すると、4.0-4.5m/secの条件では、多くの曲線が第一バウンドから1.6m付近で収束し、その後は分散している傾向にあっ

た。また、5.0-5.5m/secの条件では、第一バウンドから、1.9m付近で収束している傾向にあり、6.0-6.5m/secの条件では、曲線に顕著な収束はみられないものの、第一バウンドから2.1m付近からやや曲線が広がっている傾向にあった。これらの結果から、バックスピン2000rpmにおいては、第一バウンドから1.6-2.1mの範囲で打球すると、回転の変化による影響を抑えて返球できるものと考えられる。

図14の3000rpmでは、2000rpmに比べると試技ごとの誤差が大きく、これはトックスピンの4000rpmと同様に、ロボットマシンから射出されるボールの回転やスピードのばらつきが原因であると考えられる。3000rpmは、ばらつきが大

きいため、他の条件と比較すると顕著な曲線の収束は確認できないが、4.0-4.5m/sec と6.0-6.5m/sec の条件では、第一バウンドから2.0m 付近で曲線が重なっている傾向がある。このことから、第一バウンドから2.0m 付近で回転の変化が小さくなる可能性が考えられる。

図15の4000rpm みると、4.0-4.5m/sec の条件は、5.0-5.5m/sec と6.0-6.5m/sec の条件よりも回転数の誤差は大きく、顕著な曲線の収束はみられなかった。しかし、4.0-4.5m/sec の曲線をみると、図13のバックスピン2000rpm における5.0-5.5m/sec と傾きが類似しており、2000rpm の5.0-5.5m/sec で回転の変化が小さくなる2.0m 前後と同様の付近で、曲線がやや交差している傾向がみられた。このことから、4000rpm の4.0-4.5m/sec では、第一バウンドから2.0m 前後で回転の変化が小さくなる可能性があると考えられる。また、6.0-6.5m/sec の条件でも、第一バウンドから2.0m 付近で曲線が収束している傾向にあることから、バックスピンの4000rpm においては、速度に関わらず、第一バウンドから2.0m 付近で打球することで回転の影響を受けにくくできるものと考えられる。

本研究のバックスピンにおける条件で得られた結果から、バックスピンは、ボールスピードが4.0-6.5m/sec の場合、第一バウンドから1.6-2.1m の範囲で打球すると、最も回転の変化を受けにくく返球できるものと考えられる。しかし、バックスピンのボールは、トップスピンのボールを返球する場合とは異なり、トップスピンにして返球する場合は、ボールの回転数の変化が小さい場合でも、ボールの回転数が大きければ、回転に影響されてネットへエラーしてしまう可能性がある。そのため、回転の変化が小さくなる範囲の回転数を把握しておく必要があり、その範囲の回転数をみると、本研究から2000rpm で打球されたボールは、1100-1300rpm 程度まで減衰し、3000rpm では1900-2100rpm 程度、4000rpm では2700-2800rpm

程度まで減衰することが分かる。そこで、バックスピンのボールをトップスピンにして返球する場合のスイングスピード（接線方向の速度）を計算すると、2000rpm のボールを返球する場合は、38.0m/s よりも速いラケットのスイングスピードで打球する必要がある、かなり困難であると推察することができる。そのため、対戦相手が3000rpm よりも高い回転のボールをバックスピンで打球した場合は、ボールに対するラケット角度を変えて打球するか、第一バウンドから2.1m よりもさらに後方から打球する必要があると考えられる。反対に、対戦相手が3000rpm よりも低い回転数のボールを打球した場合は、1.6m よりも前方でボールを返球することが可能であることが推察できる。

より早い打球点でボールを返球することは、卓球競技において戦術的に有効であるが、相手の回転の影響を受けやすいためエラーする確率が高い。そのため、このように飛行中のボールの回転の変化を明らかにしていくことで、今後さらに科学的にエラーする確率の低い打球点の指標を得られるものと考えられる。

#### IV. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- 1 回転数の減衰は、打球されたボールの回転数やスピードが上がるにつれて大きくなる。
- 2 ただし、トップスピンのボールスピードが低い場合においては、回転数が減衰しない場合もある。
- 3 回転数の変化は、トップスピンでは、第一バウンドから1.8-2.6m の範囲、バックスピンでは、第一バウンドから1.6-2.4m の範囲で小さくなる傾向にある。
- 4 飛行中におけるボールの回転数の変化を明らかにすることで、相手の打球したボールの回転の変化を受けにくい打球点の指標を得ることが可能である。

## V. 今後の課題

本研究で得られた結果のなかには、回転数の誤差が大きい試技があった。そのため、今後は、ボールの回転数に加えて、ボールスピードとの関係性も考察することで、さらに具体的な回転数の変化を明らかにできるものと考えられる。

## 付記

本研究は、(公財)日本卓球協会スポーツ医科学委員会研究助成によるものであることを付記する。

## 引用参考文献

- 1) 財団法人日本卓球協会、「卓球コーチング教本」、p.6、p.52、(株)大修館書店、(2012)
- 2) 上島慶、牛山幸彦、楊飛、飯塚進柱ほか：卓球競技における選手の技能評価に関する研究、新潟体育学研究第28巻、新潟県体育学会、pp39-44、(2010)
- 3) 上島慶、牛山幸彦、飯塚進柱、関有李ほか：卓球競技のカット主戦型におけるボールの飛行特性に関する研究、新潟体育学研究第29巻、新潟県体育学会、pp83-90、(2011)
- 4) 関有李、牛山幸彦、上島慶、飯塚進柱ほか：配球パターンとボールの飛行時間の関連からみた卓球ゲーム分析法、新潟体育学研究第29巻、新潟県体育学会、pp91-99、(2011)
- 5) 吉田和人：卓球におけるボールの回転操作、バイオメカニクス研究 Vol.11 No.3、日本バイオメカニクス学会、pp220-228、(2007)
- 6) Kamijima, K., Ushiyama, Y., Yasaka, T. and Ooba, M.:Effect of different playing surfaces of the table on ball bounces in table tennis, International Journal of Table Tennis Science No.8 (Accepted) ,ITTF Sports Science Committee
- 7) Wu Huan Qun, Qin Zhifeng, Xu Shaofa, and Xi Enting:Experimental Research in Table Tennis Spin, International Journal of Table Tennis Science No.1,ITTF Sports Science Committee, pp73-78,(1992)
- 8) 葛西順一：卓球？ボールの速度と回転数、Japanese journal of sports sciences 12(6)、日本バイオメカニクス学会、pp372-378、(1993)
- 9) 牛山幸彦、玉木徹、五十嵐久人、橋本修：大学卓球選手におけるトップスピン量の測定、新潟大学教育人間科学部紀要5(2)、新潟大学、pp231-236、(2003)
- 10) 金達郎、浅井武、瀬尾和哉、大塚加寿磨：飛翔中における野球ボールの回転数の変化、ジョイント・シンポジウム講演論文集、日本機会学会、pp14-18、2003
- 11) 笹原英夫、三浦朗、柳原英児、菊地邦雄：弾道演算から推定したテニスボールの回転数、日本体育学会大会号(36)、日本体育学会、p.404,1985