

ボールの回転とバウンドの高さの関係性

～軟式テニスのカットサーブでは、なぜ、ボールがバウンドしないのか～

星野秀太 新後閑大起 小佐野祐希 内川遼

群馬県立高崎高等学校

要旨

本研究では、軟式テニスボールの回転とバウンドの高さの関係性を調査した。軟式テニスのカットサーブでは、ボールがほとんどバウンドしなくなる。カットサーブでは、ボールの中心が膨らんで扁平し、楕円型にボールが潰れるなどの現象が見られるが、ボールが潰れることによって、バウンドしなくなるのか、ボールが高速回転することによって、バウンドしなくなるのかは定かではない。研究の結果、回転している軟式テニスボールが弾みにくいのは、ボールが潰れることで反発係数が変化することは直接の原因ではなく、ボールが潰れて楕円型になることで、地面とのわずかな衝突角度の変化で、水平方向にエネルギーが奪われやすくなる結果、鉛直方向にバウンドしなくなる可能性が示唆された。

1. はじめに

1.1 研究全体の目的

先行研究では、軟式テニスボールのバウンドの高さは回転数や形状変化に影響されないとされていた¹⁾。しかし、本研究では、図1のように形が変化しているにも関わらず影響がないということに疑問に感じ、再度検証することを目的とした。本研究は、軟式テニスボールの回転が、ボールのバウンド高に与える影響を実験的に解明し、回転数とバウンド高の関係性を明らかにすることを旨とした。

研究の動機・背景

先輩の研究発表ではバウンドの高さはボールの回転数や形状変化に関係ない！！

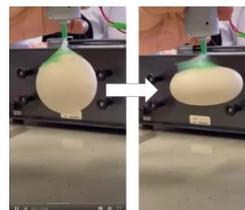


図1 軟式テニスボールの回転と変形

1.2 研究の仮説

軟式テニスボールのバウンドの高さは、回転数が増加するほど、小さくなるが予想される。また、この現象はボールの回転または形状変化によって生じる。

2. 実験

2.1 実験1

軟式テニスボールの回転数と反発係数の関係

2.1.1 仮説

ボールの回転数が多くなるとバウンド高は低くなるだろう。

2.1.2. 方法

使用器具として、軟式テニスボール、モーター、スズランテープ、養生テープ、ライター、電源装置、スタンド、メジャーを用いた。

これらの器具を用いて、ボールの回転数を調整し、バウンド高を測定するための基礎データを収集した。図2のように、モーターにスズランテープと養生テープでボールを取り付け、モーターでボールを回転させた後、ライターでスズランテープを焼き切る。この方法によって、ボールを回転させながら、落下させることができる。1mの高さから軟式テニスボールを落とし、バウンド高を調べた。モーターの回転数を変化させることで、回転数と反発係数（バウンド高）の関係を調べた。



図2 軟式テニスボールの落下実験

2.1.3 結果

図3に軟式テニスボールの回転数とバウンド高および、バウンド高から求めた反発係数を示す。

回転数[rpm]	高さ[cm]	反発係数
0	53.45	0.731
1200	64	0.800
2100	71.5	0.846
2124	76	0.872
2600	73	0.854
2655	82	0.906
3000	82	0.906
3140	61	0.781
3160	50	0.707
3500	45	0.671
3540	23	0.480
3600	32	0.566
3768	53	0.728

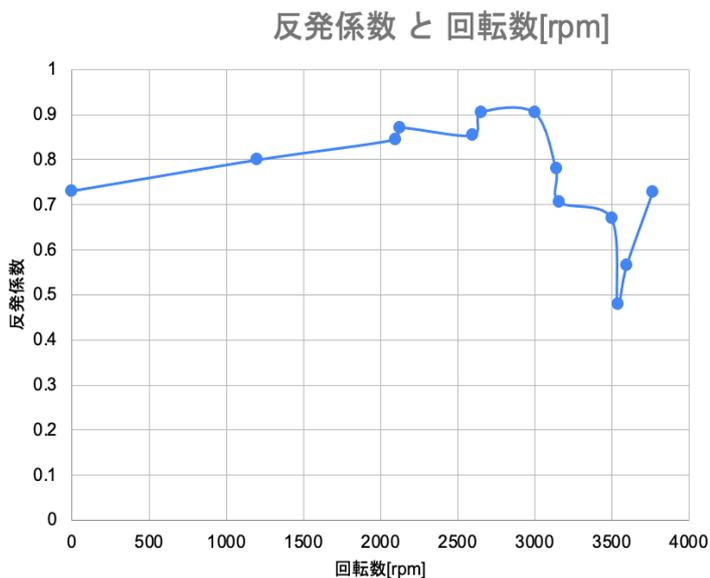


図3 軟式テニスボールの回転数と反発係数（バウンド高）の関係

2.1.4 考察

仮説に反して、ボールの回転数が増加すると、バウンド高も増加するが、一定の回転数を超えると逆に減少することが確認された。このような変化が、回転数の増加によるものなのか、ボールが潰れることによるものなのかを確認する目的で、ボールが回転しても変形が少ない硬式テニスボールを用いて実験2を行うことにした。

2.2 実験2

硬式テニスボールの回転数と反発係数の関係

2.2.1 仮説

回転数を増やしても、形状変化が小さいならば反発係数に変化はあられないだろう。

2.2.2 方法

図4のように、2.1と同じ方法で硬式テニスボールを使い、回転数とバウンド高を調べ、反発係数を計算し比較した。



図4 硬式テニスボールによる実験

2.2.3結果

図5に硬式テニスボールの回転数とバウンド高および、バウンド高から求めた反発係数を示す。

回転数 [rpm]	高さ [cm]	反発係数
0	56	0.748
1200	61	0.781
1350	52	0.721
1920	60	0.775
2132	60	0.775
2400	53	0.728
3140	54	0.735
3600	55	0.742
4000	56	0.748

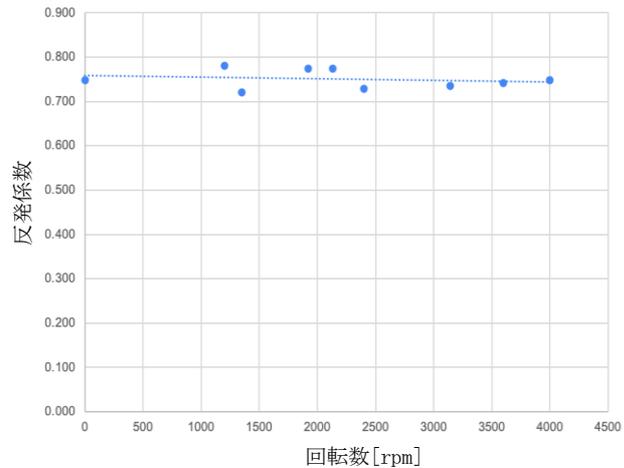


図5 硬式テニスボールの回転数と反発係数（バウンド高）の関係

2.2.4考察

硬式テニスボールでは回転数による反発係数の変化はあまり見られなかった。このことから、ボールが潰れなければ、反発係数が変化しないことが示唆された。逆に、軟式テニスボールにおいてはボールが潰れることによって反発係数が変化することが予想される。特に、実験1の軟式テニスボールでは、回転数が大きくなると反発係数が小さくなったことから、ボールを潰すほど、反発係数が小さくなることを予想される。これを確かめるために、実験3を行った。

2.3実験3

軟式テニスボールを回転させずに、潰した場合の反発係数の変化

2.3.1仮説

軟式テニスボールを回転させない場合、ボールを潰すほど、反発係数は小さくなるだろう。

2.3.2方法

図6のように、軟式テニスボールを壁に押し当て、円形のテープでボールに力を加えることでボールを潰す。潰した距離（凹み）を変化させながら、図7のように、円形テープの中心の隙間から、速度センサーつき台車の突起をボールに衝突させ、台車の速さの変化から反発係数を調べた。台車はおりつき、振り子を衝突させることで一定の初速度を与えた。



図6 軟式テニスボールに力を加えて潰す様子

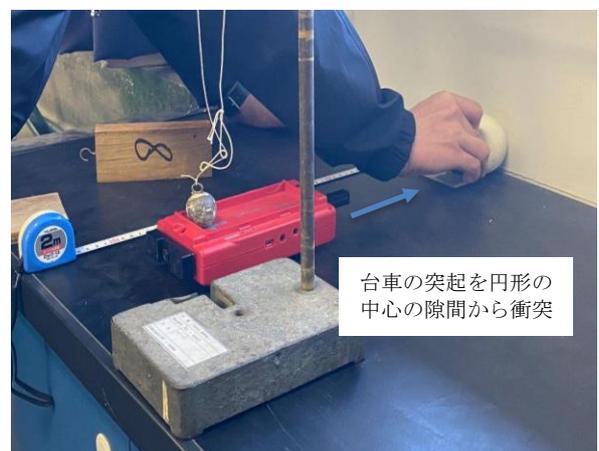


図7 台車の突起を軟式テニスボールに衝突させている様子

2.3.3結果

図8に軟式テニスボールの凹みと、衝突時に台車の速度変化から算出した反発係数の変化を示す。凹みが大きいとは、ボールの潰れ方が大きいことを表している。

凹み	0cm	1cm	2cm	4cm
平均	0.721	0.696	0.712	0.785
標準偏差(SE)	0.049	0.109	0.108	0.044
標準誤差(SD)	0.015	0.035	0.034	0.014

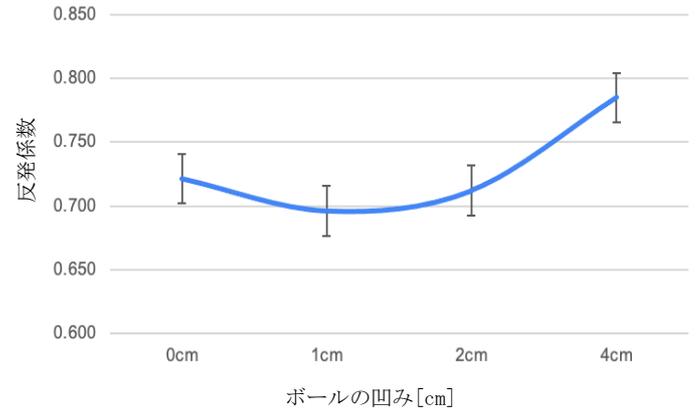


図8 軟式テニスボールの凹みと反発係数の変化

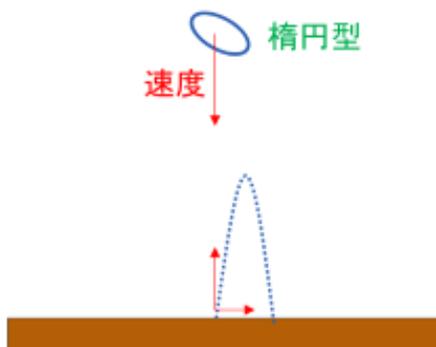
2.3.4考察

凹み1cmあたりで一度反発係数が小さくなったが、さらに4cmまで潰していくと反発係数が大きくなった。ボールを大きく潰す(凹ませる)とボール内部の圧力があがるため、反発係数が大きくなったと考えられる。

この結果は仮説に反する。実験1では、ボールの回転数を大きくする(ボールが大きく潰れる)と、反発係数が小さくなっていったが、今回の実験3では、ボールが大きく潰れると反発係数が大きくなっていった。したがって、軟式テニスボールの落下で回転数が大きくなると弾みにくくなるのは、ボールが潰れることで反発係数が変化することは直接の原因ではなく、別の要因があると示唆される。

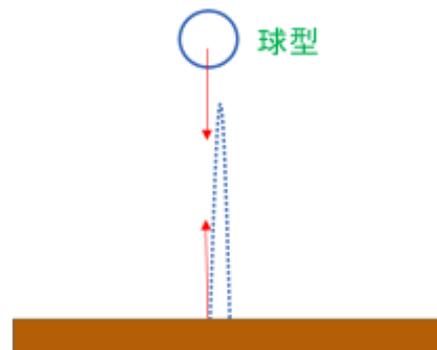
一方で実験2の硬式テニスボールでは、回転数の変化によって反発係数が変化しなかった。軟式テニスボールと硬式テニスボールの違いは、衝突の際に楕円型であるか、円形(球型)であるかの違いである。そこで、図9のように、軟式テニスボールでは、衝突の際に楕円型であることによって、鉛直方向から、わずかな衝突角度の違いで、並進方向に飛びやすくなり、その結果として、鉛直方向に飛びにくくなっているのではないかと考えた。このことを調べる目的で、実験4として、衝突角度をつけた斜め衝突の実験を行った。

回転した軟式ボール



回転数が増えると楕円型となるため、僅かな落下角度のずれで、速度の水平成分が生じて、その分、鉛直成分が減少し、高さは低くなる

回転した硬式ボール



回転数が増えても球型であるため、落下角度がずれても、速度の水平成分は生じることなく、跳ね返る高さに影響しない。

図9 実験4を実施する上での仮説

2.4実験 4

軟式テニスボールを無回転の場合と高速回転させた場合の斜め衝突

2.4.1仮説

回転させた状態で斜めに落下させるのは困難であったことから、図10のように台の方を傾けて実験を行う。この場合、図9で示した仮説が正しければ、高速回転させた場合は無回転の場合に比べて、高さは小さくなり、距離（水平落下地点）は長くなると考えられる。

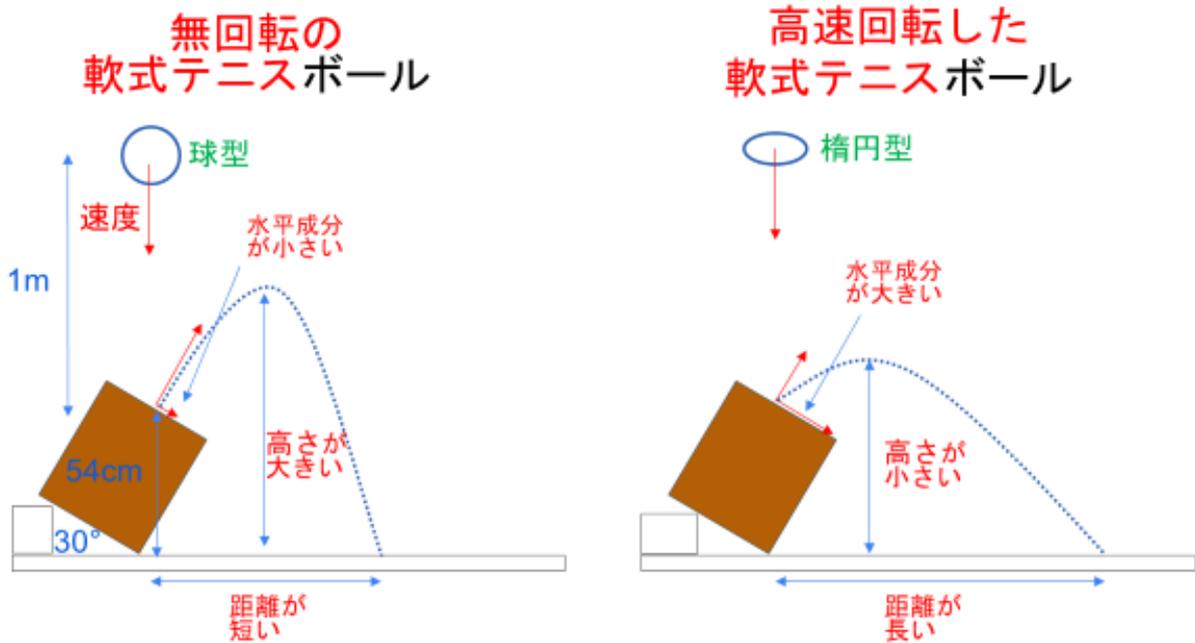


図10 実験4の仮説

2.4.2方法

30°傾けた椅子に1mの高さから無回転の場合と、3000rpmで回転させた場合について、軟式テニスボールを落とし、高さ（水平落下地点）を調べた。椅子の高さは54cmである。

2.4.3結果

図11に斜め衝突における無回転の場合と3000rpmの場合における高さ（水平落下地点）を表したグラフを示す。

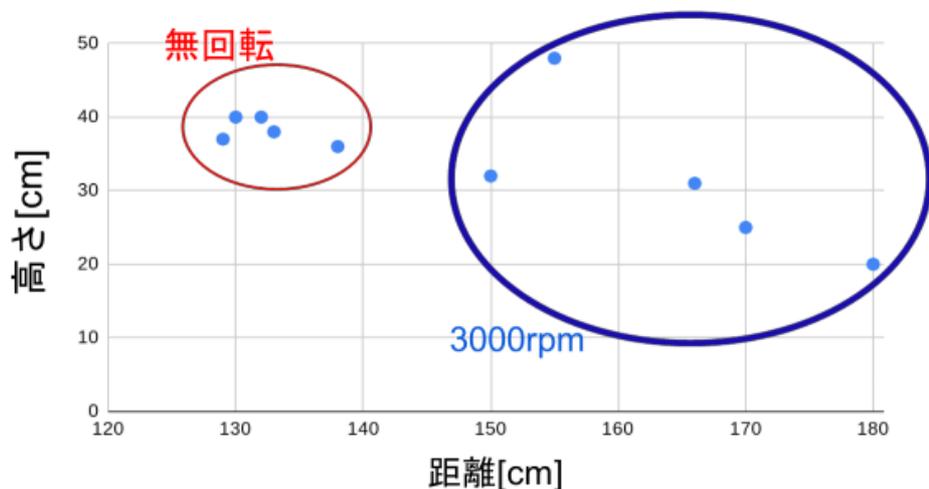


図11 斜め衝突における回転数による高さ（水平落下地点）の比較

2.4.4 考察

仮説通り、無回転(赤丸)のボールにくらべて3000rpmで回転させたボール(青丸)は高さが低く、距離が大きかった。このことから、軟式テニスボールでは、回転数を上げると、衝突の際に楕円型であることによって、わずかな衝突角度の違いで、水平方向に飛びやすくなり、その結果として、鉛直方向に飛びにくくなっている可能性が高いと考えられる。

3. まとめ

3.1 結論

回転している軟式テニスボールが弾みにくいのは、ボールが潰れることで反発係数が変化することは直接の原因ではなく、ボールが潰れて楕円型になることで、地面とのわずかな衝突角度の変化で、水平方向にエネルギーが奪われやすくなる結果、鉛直方向にバウンドしなくなる可能性が示唆された。硬式テニスボールでは回転数を上げても球型が維持されるので、回転数によってバウンドする高さに変化しないと考えられる。

3.2 今後の展望

今後の研究では、異なる種類のボールや表面材質の変化による影響も調査することで、より理解を深めることが期待される。また、実験装置の精度向上とデータ収集の高度化を図ることで、より正確な結果を得ることができる。

謝辞

群馬県立高崎高等学校の教諭の岡田直之先生、QST高崎サイエンスフェスタ等の外部発表での多くの講師の方々に様々な助言を頂きました。心より感謝申し上げます。

参考文献

1) 富山県立富山東高校科学部「みらいぶ」高校生サイト

<https://www.milive.jp/live/2016sobun/butsuri209/>

2) 各種サッカーボールの物理的特性

[PDF]<https://opac.11.chiba-u.jp/da/curator/900024429/KJ00004179427.pdf>

3) 球体の回転と反発の関係性について

[PDF]<https://tetsu-science.lolita-punk.jp/rika/pdf5/P04.pdf>