

2. よく跳ねる輪ゴムボール「どんなスーパーボールがよく跳ねるか」第 6 報

静岡大学教育学部附属島田中学校

3 年 豊田剛史

【研究目的】

露店の「スーパーボールすくい」で集めたボールの跳ね方の違いに疑問を持ち、小学 4 年生から研究を続けてきた。これまで、家庭用ビデオカメラを活用し、測定方法を改善して精度を上げるとともに、温度変化によるボールの跳ね方の違いにも注目して調べた結果、ボール温度が低くなるとともに低くなった。これらの変化は、ボール温度が低下することによりゴムがかたくなる、ゴムの特性の変化によるものと推定した。

これまでの調査結果から、スーパーボールの跳ね方の違いは、そのゴムの性質に依存することが推定された。しかしながら、このことを検証するため、特性の異なったゴムを用いてスーパーボールを作成することは、自宅では困難である。合成のりやラテックスなどの代用品でスーパーボールを自作する方法が知られているが、ゴムの成分と異なる(合成のり)、加硫処理が困難(ラテックス)、丸いボールの形成が困難、乾燥による水分の影響など、調査の対象としては望ましくない。

そこで、スーパーボールの代用として、輪ゴムを用いてボールを作成する方法があることを知り、この方法で、調査することにした。輪ゴムからボールを作ることから、特性の異なるゴムの輪ゴムを用いることで、ゴムの特性の異なるボールを作成することができ、輪ゴムの巻き方の違いも含めて、ボールの跳ね方の違いを検証できると考えた。市販の様々な大きさの合成ゴムや天然ゴムの輪ゴムを使い、輪ゴムの大きさの違い、輪ゴムの伸び方の違いなどを考察しながら、巻き方などを工夫し、よく跳ねる輪ゴムボールの作り方を調査したので報告する。

【研究方法】

スーパーボールの跳ね方の違いを検証する方法として、スーパーボールの代用として輪ゴムを用いてボールを作成することで調査した。材質の異なる輪ゴム(合成ゴムと天然ゴム)を用いて輪ゴムボールを作成し、ボールの跳ね方を測定して、ゴムの材質、巻き方のボールの跳ね方に及ぼす影響を調査した。また、より跳ねるようにできるか様々な条件を変え工夫してみた。

(1) 調べた輪ゴムとボール

スーパーボール(対照)：

直径 41.5mm、重さ 35g、合成ゴム製、黄色、半透明(有限会社産経ゴム社製)

輪ゴムボール「ラバーバンドボール」：

直径約 43mm、重さ約 35g、輪ゴム 65 本、合成ゴム製(ステープル社製)

合成ゴム製輪ゴム(写真 1. 参照)：

内径約 35mm、折幅約 55mm、切幅約 3mm、厚み約 1.1mm(ステープル社製)

天然ゴム製輪ゴム(共和社製、オーバンド)(写真 1. 参照)：

#18 ; 内径約 44.5mm、折幅約 70mm、切幅約 1.1mm、厚み 1.1mm

#16 ; 内径約 38mm、折幅約 60mm、切幅約 1.1mm、厚み 1.1mm

#170 ; 内径約 38mm、折幅約 60mm、切幅約 3mm、厚み 1.1mm

#14 ; 内径約 32mm、折幅約 50mm、切幅約 1.1mm、厚み 1.1mm

#12 ; 内径約 25.4mm、折幅約 40mm、切幅約 1.1mm、厚み 1.1mm

#10 ; 内径約 22.2mm、折幅約 35mm、切幅約 1.1mm、厚み 1.1mm

(2) 跳ね返り高さの測定

ボールの跳ね返り高さは、石板（園芸用御影石タイル、鏡面仕上げ、約 30cm 四方、厚さ約 2cm）約 3cm 幅の長さ約 180cm の木製角棒、スチール製まきメジャーと写真 2. のボール落下装置（自作）で、図 1. のように組み立てて測定した。測定は、写真 2. のようにボール最下端を基準とし、高さ 1m から 3 回落として、平均を出して求めた。跳ね返り高さは、家庭用ビデオカメラ（30 フレーム/秒）で撮影し、汎用動画編集ソフトを用いて、最大跳ね返り高さを示すフレームから読み取った。反発係数は、（跳ね返り高さ/自由落下高さ）の平方根から求めた。

(3) 輪ゴムの荷重による伸びの測定

荷重による輪ゴムの伸びは、S 字フック、スチール製まきメジャー、ペットボトルに水を入れて総重量 100g、200g、300g、400g、500g に調整したものをおもりにして、図 2. のように組み立てて測定した。



写真 1. 輪ゴムボール

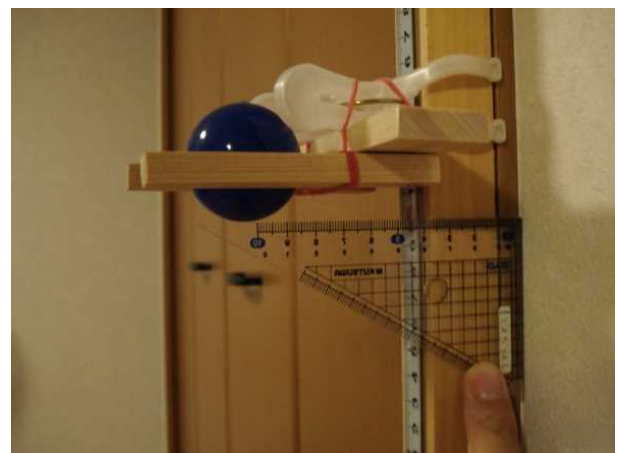


写真 2. ボール落下装置

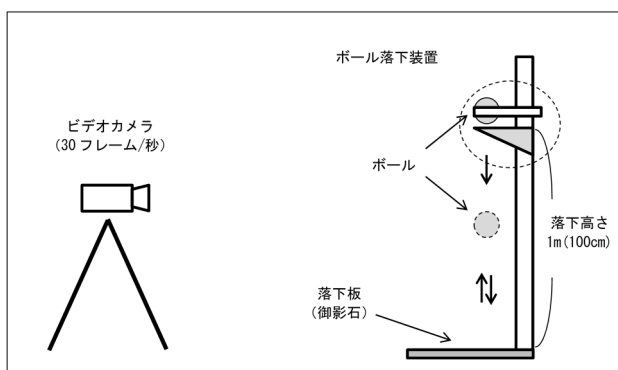


図 1. ボールの跳ね高さ測定装置

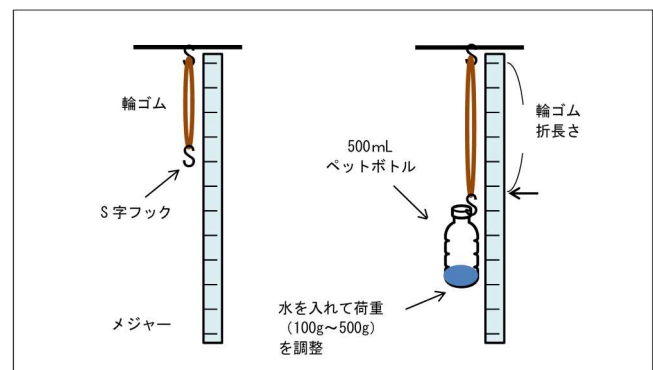


図 2. 輪ゴムの荷重による伸び測定装置

【結果および考察】

(1) 輪ゴムの材質による特性の違い

スーパーボールが跳ねるのは、その材質であるゴムが落下点で「伸びて縮む」こと、つまり変形した反動をばねに跳ね上がることから、跳ね方に影響するゴムの特性の「伸びて縮む」について検証した。

輪ゴムの荷重による伸びを測定して、合成ゴムと天然ゴムを比較した結果、合成ゴムの輪ゴムの場合は、荷重（100～500g）に対して輪ゴムの伸びは比例し、フックの法則に従った（図 3. 参照）。一方、天然ゴムの輪ゴムは、荷重（100～500g）に対して輪ゴムの伸びは比例よりも伸長し、フックの法則が成り立たなかった。また、著しい変化ではないが繰り返しの荷重で、同じ荷重でも同じ伸びにはならなかった（弾性ヒステリシス特性）（図 4. 参照）。さらに、合成ゴムと天然ゴムでの伸

び率を比較すると、同じ荷重で大きく異なった（例えば、荷重 500g で合成ゴムが約 50%に対し、天然ゴムでは約 200%）。

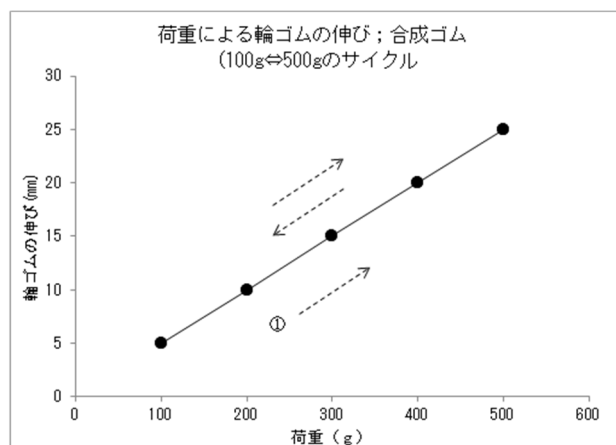


図3. 合成ゴムの輪ゴムの荷重による伸び

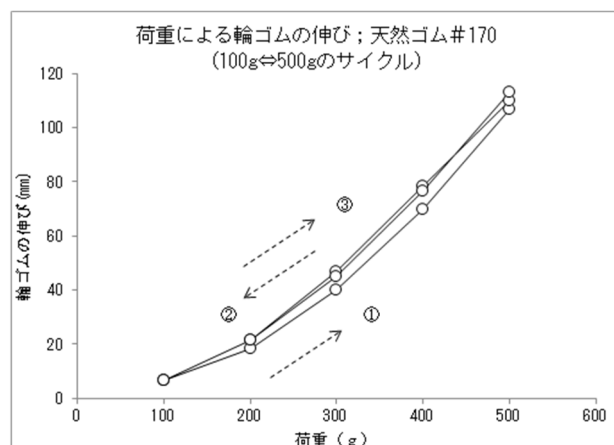


図4. 天然ゴムの輪ゴムの荷重による伸び

(2) 輪ゴムの材質による輪ゴムボールの跳ね方に及ぼす影響

同じ大きさの合成ゴムと天然ゴムの輪ゴムで、同じ巻き方で作成した輪ゴムボールの跳ね方を比較した結果、天然ゴムは合成ゴムよりも高い反発係数を示した。

天然ゴムと合成ゴムがそれぞれ示した反発係数の原因の一つは、輪ゴムの材質の特性の違いによるものと考えられた。

(3) 輪ゴムボールの輪ゴムの巻き方による跳ね方に及ぼす影響

合成ゴムと天然ゴムの輪ゴムボールで、「ゆる巻き」と「かた巻き」の跳ね方を比較した結果、合成ゴムと天然ゴムとも同様に、跳ね方は大きく改善され、材質の差にかかわらず、輪ゴムボールの内部まで、きっちりと巻いておくことで、よく跳ねる輪ゴムボールとすることができた。

「ゆる巻き」と「かた巻き」の跳ね方に差が出たのは、輪ゴムと輪ゴムの隙間が関係していると考えた。実際のスーパーボールでは隙間は確認されないことから、輪ゴムの隙間をより小さくする「かた巻き」の方がより跳ねると考えた。

(4) 輪ゴムの材質及び大きさ(号数)と輪ゴムボールの重量による跳ね方に及ぼす影響とその関係

跳ね方を改善する工夫として、「かた巻き」の輪ゴムボールに、輪ゴムを追加して巻き締めることを試してみた。結果、輪ゴムボールの重量で50%および100%追加した場合(30g→45g→60g)、合成ゴムと天然ゴムともに跳ね方は改善され、合成ゴムの場合はその効果が著しかった。

重量を増やすと、跳ね方が改善され、合成ゴムではその効果が著しかったことについて、(1)の結果で示された、合成ゴムの「伸びにくく、ヒステリシスを起こしにくい」という特性が関係していると考えた。この特性により、合成ゴムは伸ばされるほど、縮む力も強くなることで巻き絞められ、ボールの密度が高くなり、反発する力が強くなったからだと推測した。

大きさ(号数)が異なる天然ゴムの輪ゴムを購入し、30g から 90g まで5段階の重量で輪ゴムボールを作成し、跳ね方を調査した結果、輪ゴムボールの重量が大きくなるほど跳ね返り高さが高くなる傾向を示した。また、重量 90g では、輪ゴムの大きさで折幅約 35mm である#10 から折幅約 70mm の#18 まで、号数が大きくなるほど跳ね返り高さが高くなる傾向を示した。しかしながら、その他の重量では、その傾向は認められなかった(図5., 図6. 参照)。

また、重量 90g では、号数が大きくなるほど、跳ね返り高さが高くなる傾向を示したが、その他の重量ではその傾向が見られなかった原因として、輪ゴムの巻き方が関係していると考えた。より「かた巻き」にするため、ゴムの伸びに余裕があれば一本の輪ゴムを二重巻きにするが、輪ゴムの大きさとボールの大きさにより、一重巻きか二重巻きとなるか変わるため、結果がばらついたものと推測した。

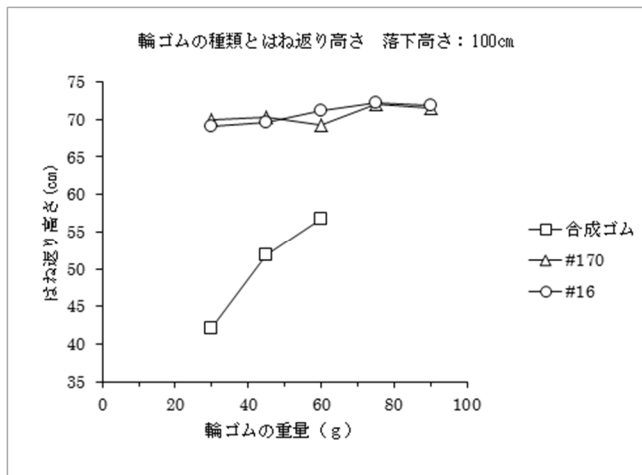


図5. 輪ゴムボールの重量の跳ね方に及ぼす影響（輪ゴムの種類別）

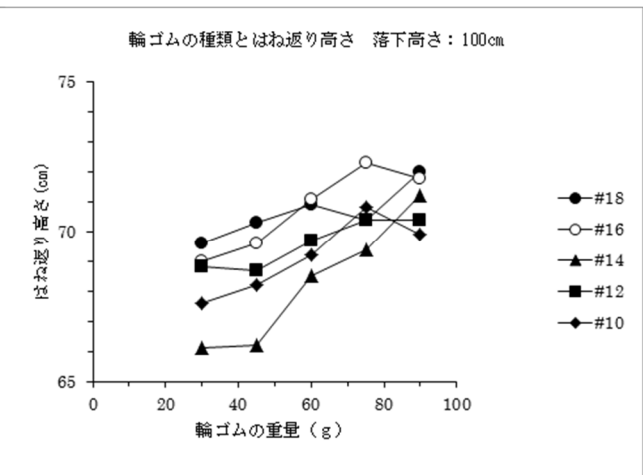


図6. 輪ゴムボールの重量の跳ね方に及ぼす影響（輪ゴムの号数別）

【結論】

（1）輪ゴムの材質による特性の違い

輪ゴムの荷重による伸びを測定して、合成ゴムと天然ゴムを比較した結果、材質の特性として、天然ゴムの弾性特性はフックの法則に厳密には従わず、ヒステリシス特性も示すが、合成ゴムと比べて同じ力でよく伸びることが分かった。

（2）輪ゴムの材質による輪ゴムボールの跳ね方に及ぼす影響

同じ大きさの合成ゴムと天然ガムの輪ゴムで、同じ巻き方で作成した輪ゴムボールの跳ね方を比較した結果、天然ゴムは合成ゴムよりも高い反発係数を示した。この差の原因の一つは、輪ゴムの材質の特性の違いによるものと考えられた。

（3）輪ゴムボールの輪ゴムの巻き方による跳ね方に及ぼす影響

合成ゴムと天然ゴムの輪ゴムボールで、「ゆる巻き」と「かた巻き」の跳ね方を比較した結果、合成ゴムと天然ゴムとも同様に、跳ね方は大きく改善され、材質の差にかかわらず、輪ゴムボールの内部まで、きっちりと巻いておくことで、よく跳ねる輪ゴムボールとすることができた。

（4）輪ゴムの材質及び大きさ(号数)と輪ゴムボールの重量による跳ね方に及ぼす影響とその関係

跳ね方を改善する工夫として、「かた巻き」の輪ゴムボールに、輪ゴムを追加して巻き締めることを試した結果、合成ゴムと天然ゴムともに跳ね方は改善され合成ゴムの場合はその効果が著しかった。これは合成ゴムの「伸びにくく、ヒステリシスを起こしにくい」特性が関係していると考え、合成ゴムは伸ばされるほど、縮む力も強くなることで巻き絞められ、ボールの密度が高くなり、反発する力が強くなったからだと推測した。

大きさ(号数)が異なる天然ゴムの輪ゴムを購入し、異なる重量で輪ゴムボールを作成し跳ね方を調査した結果、輪ゴムボールの重量が大きくなるほど跳ね返り高さが高くなる傾向を示した。また、重量90gでは、号数が大きくなるほど跳ね返り高さが高くなる傾向を示したものの、その他の重量ではその傾向は認められなかった。その原因として、輪ゴムの大きさとボールの大きさにより一重巻きか二重巻きとなるかわ変わるため、結果がばらついたものと推測した。

以上、市販の一般的な輪ゴム(#16、折幅 60mm)を1箱(100g)購入し、巻き方を工夫して輪ゴムボールを作成すれば(直径約 6cm)、手軽によく跳ねる「スーパーボールもどき」を作れることがわかった。

【参考文献】

「図解入門 よくわかる 最新ゴムの基本と仕組み」著者；伊藤 真義、株式会社 秀和システム
「視覚でとらえるフォトサイエンス物理図解」数研出版