

スーパーボールを使ったマジックとその考察

山本 愛士*・前原 俊信**

(令和 3 年 9 月 28 日 受付)

A simple magic using a super ball

Aishi YAMAMOTO and Toshinobu MAEHARA

(Received Sep. 28, 2021)

Abstract

A simple magic using a super ball and a cylinder was found. We analyzed this mysterious phenomenon by considering conditions for equilibrium. We proposed that a large coefficient of friction of super balls and an elasticity of hands play important roles for this magic.

Key Words: super ball, cylinder, magic, coefficient of friction, elasticity

1. はじめに

スーパーボールは、ポリブタジエンを主成分とする小さな球形の玩具であり、1965年にWham-O社が発売した商品名である。はね返り係数が0.8~0.9と大きくよくはね返るため、子供達の玩具として親しまれている。この大きなはね返り係数を有することを利用し、大きさの異なる2個の連結したスーパーボールを落とすと、上側のスーパーボールが元の高さよりも高くはね上がる「すつとびボール」と呼ばれる教材がある [1]。また、スーパーボールは、軽くて大きな静止摩擦係数を持つという性質もある。平行に配置した2枚の板にスーパーボールを板に向かって投げ入れると、板の間をはねた後、投げ入れた側に戻ってくるといった特異な現象が起こる [2]。これは、回転がかかったスーパーボールは、大きな摩擦力のため、特異な向きにはね返ることが原因である。このようなスーパーボールの性質を利用した演示実験が科学館等で行われている。本稿では、スーパーボールと円筒を使った簡単なマジックを発見したので、報告する。

2. スーパーボールを使ったマジック

用意するものは、スーパーボール1個と内径がスーパーボールより大きい円筒1本だけである。普通によく出回っているスーパーボールは直径22mm程度であり、円筒はキッチンラップの芯が利用できる。円筒は不透明で中が見えない方が、マジックとしては面白い。

スーパーボールを円筒の中に入れ、両端を手でふさぐように持つ。円筒を斜めにして、中でスーパーボールを転がす。下端まで転がってきたら、上下を逆にして転がす。これを1~2度やると、スーパーボールは転がらず、下に落ちてこなくなる。上側の手を円筒から離すと、スーパーボールは落ちる [3]。これだけの簡単なマジックである。透明なアクリルパイプを使って見てみると、上側の手にスーパーボールがくっついたようになっている (図1)。

* 広島工業大学工学部機械システム工学科

** 広島工業大学環境学部地球環境学科



図1 円筒内でスーパーボールを転がして手に当たった後、円筒を立てたところ。スーパーボールが手にくっついて落ちてこなくなる。

3.マジックの原理

この一見不思議な現象は、以下のように説明できる。スーパーボールに作用している力を図2に示す。まず、スーパーボールには大きさ F_G [N] の重力が作用している。スーパーボールの質量を m [kg]、重力加速度の大きさを g [m/s²] とすると、 $F_G=mg$ と書ける。さらに、手および円筒から静止摩擦力が作用しており、それぞれ f_1 [N]、 f_2 [N] とする。静止摩擦力が作用するという事は垂直抗力も作用しているので、手および円筒からの垂直抗力をそれぞれ N_1 [N]、 N_2 [N] とする。ここで最も重要と思うのは、手とスーパーボールとの間の静止摩擦力であろう。これが作用しないとつり合いの式が書けない。スーパーボールが転がって手に当たったときに、少しだけ手がへこみ、円筒を反対に傾けると、スーパーボールが回転し、手との間に静止摩擦力が生じるものとする。これが結果として、円筒とスーパーボール間の垂直抗力や静止摩擦力を生じさせている。

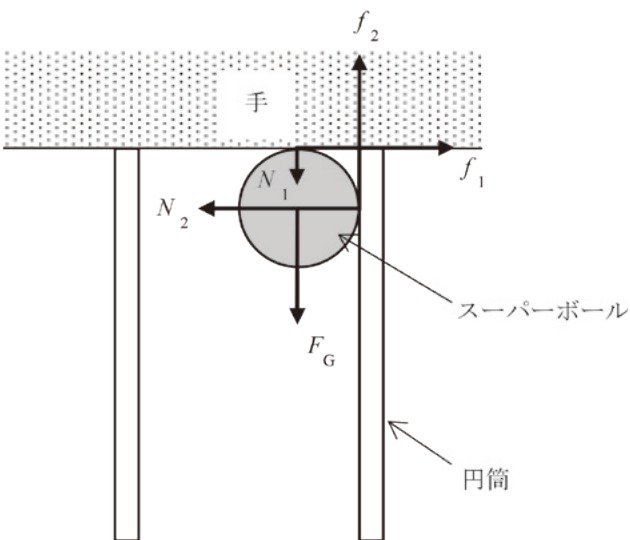


図2 スーパーボールが手にくっついたときのスーパーボールに作用する力。

図2から鉛直方向および水平方向の力のつりあいの式をたてると、

$$f_2 = N_1 + F_G \quad (1)$$

$$f_1 = N_2 \quad (2)$$

となる。また、 r をスーパーボールの半径とすると、力のモーメントのつりあいから、

$$f_1 r = f_2 r \quad (3)$$

を得る。以上の式から、以下の関係が得られる。

$$f_1 = f_2 = N_2 \quad (4)$$

$$N_1 = f_1 - F_G \quad (5)$$

ここで、手とスーパーボールとの静止摩擦係数を μ とすると、(5)式は、

$$N_1 \leq \mu N_1 - F_G \quad (6)$$

と不等式で表され、

$$F_G \leq (\mu - 1) N_1 \quad (7)$$

を得る。スーパーボールの μ は1以上になるので、この関係式は成立し、スーパーボールは落ちない。

これと類似の現象として、スーパーボールをドアと床の接するところに置くと、ドアストッパー代わりにするという報告がある [4]。この文献で書かれている式は、上式と全く同じ形の式になっている。ドアストッパーと本稿との違いは、静止摩擦力の起源である。ドアストッパーの場合は、ドアが実質的に動くことで静止摩擦力を発生させているのに対し、このマジックでは、手の弾力性が静止摩擦力を発生させていると考えられる。例えば、手の代わりに弾力性のないアクリル板を使うとくっつかないで落ちてしまうことからわかる [3]。また、[4] では重力は大きな役割を果たしていないが、この実験では、(7)式を満たす必要があり、実は微妙なところで成り立っている。つまり、少しでも手とスーパーボールとの摩擦力が小さいと落ちてしまう。

図3に摩擦力が発生する様子を図示した。まず、スーパーボールが筒に沿って手の方に転がっていく (図3(a))。手に当たったときに、手を少し押し込んで止まる (図3(b))。実際には手の凹みはほとんどわからないが、図では誇張して描いている。これによって手からスーパーボールに垂直抗力 N_1 、そして静止摩擦力 f_1 が発生し、逆さにしても落

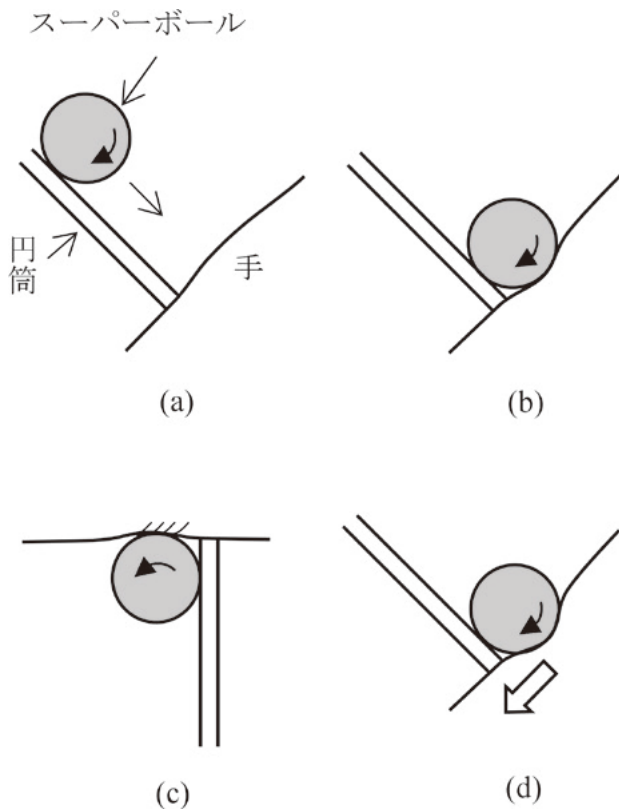


図3 スーパーボールは、円筒に沿って手の方向に転がった後 (a)、手を少し押し込んで止まる (b)。スーパーボールに N_1 、 f_1 が発生し、円筒を逆さにしても落ちなくなる (c)。(b) の状態で、(d) のように手を白矢印の方向にずらすとスーパーボールがさらに手に押し込まれ、より強固にくっつく。

ちてこなくなる (図3 (c))。実は、スーパーボールはそれほど勢いよく転がさなくても手で何度かはね返ってしまい、そのあとでくっつく。従って、押し込む力は手では感じられないくらい小さく、発生する静止摩擦力も落下しない程度の大きさである。手の代わりにゴム板やスポンジを使ってみたところ、くっつかない場合が多く、手はくっつくのにより条件になっていると考えられる。なお、図3 (d) のようにスーパーボールがくっついた後で、手を筒側に (図の白矢印の方向に) ずらすと、スーパーボールが回転してより手に押し込まれ、強固にくっつくことが確かめられる。

4. まとめ

スーパーボールと円筒を使った簡単なマジックを発見したので報告した。これは、スーパーボールの大きな摩擦係数と手の弾力性がキーとなっていると考えている。このマジックは、演示実験や探求活動の一テーマになると期待される。

文献

- [1] 塚本浩司, 「すつとびボールの研究史」, 物理教育, 49 (6), pp. 537-541 (2001).
- [2] R.L. Garwin, "Kinematics of an Ultraelastic Rough Ball", Am. J. Phys., 37(1), pp. 88-92 (1969).
- [3] この実験の動画は、<https://youtu.be/WiWJwbKxOsk> に掲載した。
- [4] 山本明利, 「スーパーボール・ドアストッパーの原理」 (2004), www2.hamajima.co.jp/~teijin/labo/doorstopper.pdf