

大小のゴム風船のゆくえ

19世紀末に英国王立協会フェローとして活躍したC. V. Boysの著作に「シャボン玉の科学 (1896年版)」というものがあります¹⁾。その中に、大小二つのシャボン玉をチューブで繋ぐとどうなるかという興味深い実験が掲載されています。答えを先に言ってしまうと、小さいシャボン玉がしぼみ、大きいシャボン玉がその分大きくなります。シャボン玉に働く力を考えると、しぼむ方向には外側からの大気圧とシャボン玉自身の表面張力があります。膨らむ方向には吹き込んだ呼気による内圧があります。よく知られたLaplaceの式によれば²⁾、外圧と内圧の差はシャボン玉の半径に反比例します。したがって、半径が小さい方が内圧が高くなり、小さいシャボン玉がしぼむのです。実は、この本のこの章の冒頭には“A soap-film or bubble is really elastic, like a piece of stretched india-rubber. (石けん膜、すなわちシャボン玉は確かに弾性的なのです。まるで伸ばした天然ゴム片のようにです。)”と書かれています。なるほど、ゴムの張力をシャボン玉の表面張力に置き換えれば同じ実験ができそうです。そして実際にやってみるとこちらの方が簡単です。

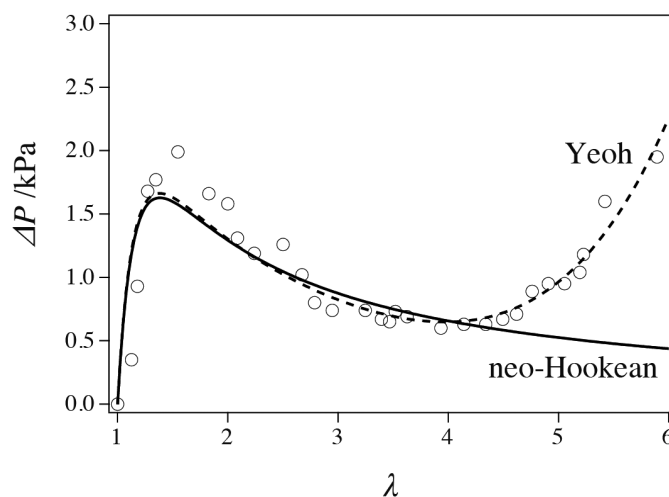
用意するものはゴム風船二つと三方コックだけ。簡単なので皆さんも是非やってみてください。面白いことに、子供にどうなるか予想させると、ほとんどの場合「大きな風船から空気が移動して、最後には同じ大きさになる」という答えがでてきます。「大きな風船の方が元に戻ろうとする力が強いから」と理由を述べてくれる子もいます。さてそれではやってみましょう、と手品師のようにコックを回して二つのゴム風船を繋ぐと小さい方がしぼみ、わっ

と驚かせるという算段です。実は膨らみ始めの小さなゴム風船の方が内圧は高いのです。風船は膨らませ始める時が一番大変なのは経験的にも納得がいきますよね。そしてこのことは理論的にも示すことができます³⁾。ただしここからがゴムの面白いところ。いろいろ調べていくと、そうならない場合があります。例えばある程度膨らませた同士では、(子供たちの予想の通り)大きな方から小さな方へ空気が移動し、同程度の大きさになって落ち着く場合もあります。(neo-Hooke則という意味で)単純な弾性ではなく、伸び切り鎖効果が効いてくるとそういうことも説明できます(図中のYeohモデル)。難しい話は別のところとして、ゴムの伸長比 λ に対する外圧と内圧の差 ΔP をグラフ化したものを図に示します。実験は高さが2 mもあるマンメーターを使って行いました。ここからゴム風船の弾性率は0.1 MPaと計算されましたが、数字としては結構妥当なのではないでしょうか。ゴム風船を科学すると、このように面白い話を展開できます。Boysはそこまでゴムのことを理解していたでしょうか。

最後に、少し難しいかもしれませんが、小さいゴムと大きいゴムがそれぞれそのままの大きさに釣り合う場合があることが予測されます。この図を見ながらゴム風船をいじくり回してみても、もしうまくいったら教えてください。

- 1) 電子書籍として下記のURLから購読することができます。
<http://www.gutenberg.org/files/33370/33370-h/33370-h.htm>
- 2) ゴム風船の場合をLaplaceの式で説明しているウェブサイトをよく見かけますが、それは間違いです。Laplace圧だけでは図のような振る舞いは再現できません。
- 3) 土井正男：ソフトマター物理学入門、岩波書店、東京、p.77 (2010)。

(東北大学 中嶋 健)



伸長比と圧力差の関係