

## 1. 名医は出血させずに手術する

### — 2重風船割りマジック と ESWL —

下の画像のように、大きい風船の中に小さい風船が入った2重風船があります。どちらの風船も中に空気を入れてふくらんだ状態です。



さて、大きい風船を割らずに、中に入っている小さい風船を割るにはどのようにしたら良いのでしょうか？ マジックをお見せしましょう。

病院に行くとこのマジックのカラクリを応用した医療機器があります。

体の中に結石ができる病気があります。結石はカルシウムなどが固まって石のような塊になったものです。病院には、この結石を取り除く装置（体外衝撃波結石破碎装置《ESWL：たいがいしょうげきはけっせきはさいそうち》）があります。この装置がどのように結石を取り除くのか説明します。

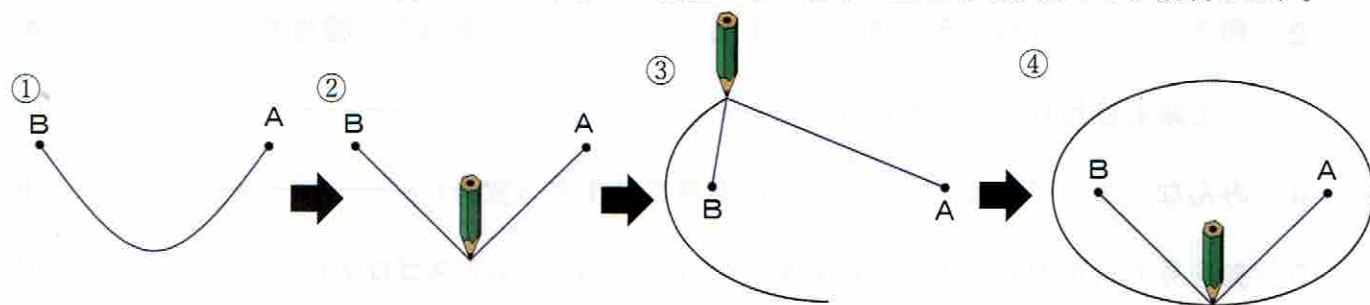


図 1

この装置は、楕円の性質を利用しています。まず、楕円を作図してみましょう。図1①のように、2点間ABの距離より長くて伸びない糸を用意し、糸の両端をそれぞれの点A、点Bにつなげます。次に鉛筆を糸に絡ませて、糸が弛まない（たるまない）ようにピンと張らせます（図1②）。糸がピンと張った状態で鉛筆を移動させます（図1③）。すると楕円を描くことができます（図1④）。このとき糸の両端の2点A、Bは楕円の焦点（しょうてん）と呼ばれます。

次に、このように描かれた楕円の内側が鏡になっている壁（図2）があるとします。2つの焦点をそれぞれ焦点A、焦点Bとします。焦点Aからレーザー光線を発射させて、鏡に反射させたとする

と、どの方向にレーザー光線を発射したとしても、必ず焦点 B に到達します (図 3)。これは、楕円の性質の一つです。

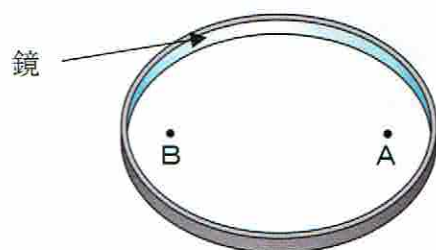


図 2

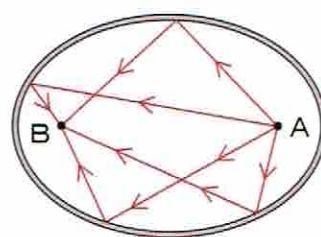


図 3

次に、楕円の 2 つの焦点 A、B を結ぶ線分を軸として楕円を回転させると、図 4 のようにラグビーボールのような立体 (回転楕円体) になります。その一部分を切り取ると、図 5 のようなオワンのような形になります。このオワンの内側が鏡になっているとすると、上記と同様に、焦点 A からレーザー光線を発射すると、光線は鏡に反射して焦点 B に集まります。

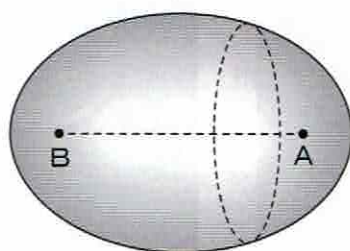


図 4

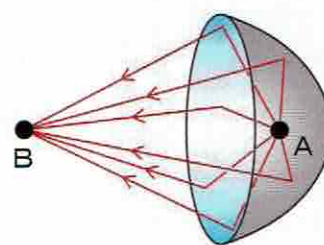


図 5

体外衝撃波結石破碎装置はこの仕組みを利用しています。まず結石のある患者をベッドに仰向けに寝かせます。ベッドの下には衝撃波発生器があり、それはオワン形 (回転楕円体の一部) になっていて、内部の焦点 A の位置から衝撃波を放ちます。もう一方の焦点 B を患者の結石のある位置に合わせます。衝撃波は発射地点 (焦点 A) から四方八方の方向へ進みますが、オワン形の壁で反射し、結石のある焦点 B に集まり、結石を粉碎します。ちなみに、焦点 A から楕円周上にある点 C までの線分の長さ、とその点 C ともう一方の焦点 B までの線分の長さの合計は、点 C が楕円周上のどこにあっても常に一定です。そのことから、焦点 A から発射された衝撃波がどの方向に向かっても、オワン形の壁に反射した衝撃波は、もう一方の焦点 B に同時に到達します。よって、とても強力な力で結石を粉碎します。しかも衝撃波は焦点の位置以外では合流しないので、他の臓器や筋肉にはキズをつけずにただ通り抜けてしまうだけです。そして粉碎されて粉々になった結石は体外に出ています。

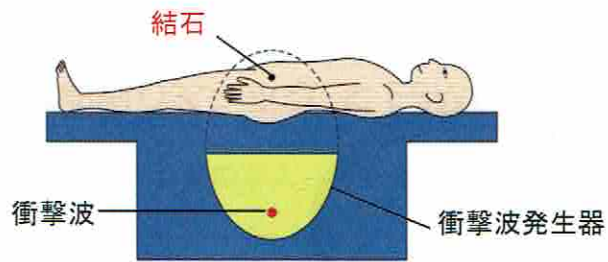


図 6

この装置の原理をマジックに応用します。画像1は大きな風船の中に、小さい黒い風船が入っている物です。画像2は、回転楕円体の一部でできた形の特特殊な鏡です。その鏡の焦点の位置でハロゲン球（とても明るい電球）を点灯させ、もう一方の焦点の位置に画像1の小さい黒い風船の表面を合わせると、大きな透明な風船は無キズの状態、中の黒い風船だけを割ることができます（画像3）。体外衝撃波結石破碎装置のように、内視鏡、MRI、CT、心電計、脈波計、脳波計、超音波などの医療機器には、多くの数学の理論が活用されています。



画像1 (2重風船)



画像2 (回転楕円体の鏡)



画像3 (小さい黒風船のみ割れた瞬間)