

サイエンスショー「バランス大実験」実施報告

長谷川 能三*

概要

2014年12月5日から2015年3月1日までのサイエンスショー「バランス大実験」は新たに企画したもので、「やじろべえ」や「おきあがりこぼし」がどうして倒れないのかなどを、重心の位置やその動きについての実験を通して理解していく内容とした。ここでは、その内容等について報告する。

1. はじめに

これまで力学・光学・電磁気学等に関するサイエンスショーを企画してきており、力学では、振動・音・圧力を扱ってきた。今回は、力学の中でも基本的な部分である静力学について、バランスをテーマにしたサイエンスショー企画した。尚、今回は能動的なバランス制御については取り扱わなかった。

2. 実験内容

今回のサイエンスショーでは、以下のような実験を行った。ただし、演習担当者や観覧者層により、多少実験の選択や順序が異なる。

2-1. やじろべえ

バランスをとるものとして、まず「やじろべえ」を取り上げた。ただし、サイエンスショー実施中に訊いてみたところ、「やじろべえ」を知っているのは小学生では3~5割程度しかいないという状況であった。

また、伝統的なスタイルの「やじろべえ」を見てほしいと、大型玩具店から玩具問屋街、インターネットなどで探したが、見つけることができなかった。

そこで、サイエンスショーで使用した「やじろべえ」は、木球や竹ひご等で製作したもので、通常の形の「やじろべえ」(写真1下)以外に、おもりが斜め上にあるもの(写真1上)や、左右に水平にあるもの(写真1中)、片方のおもりが重いもの(写真2下)を用意した。サイエンスショーでは、これらの「やじろべえ」がバランスをとって倒れないかどうかを実験し、「やじろべえ」を作るときに

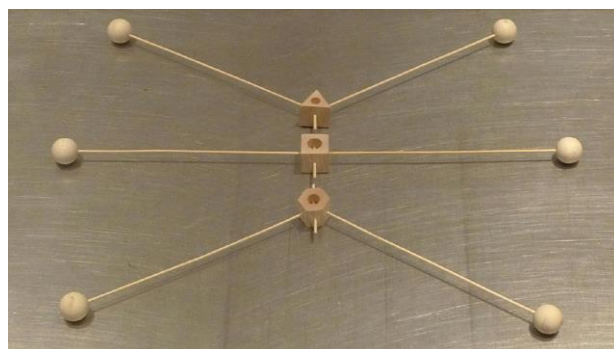


写真1. いろいろな形のやじろべえ

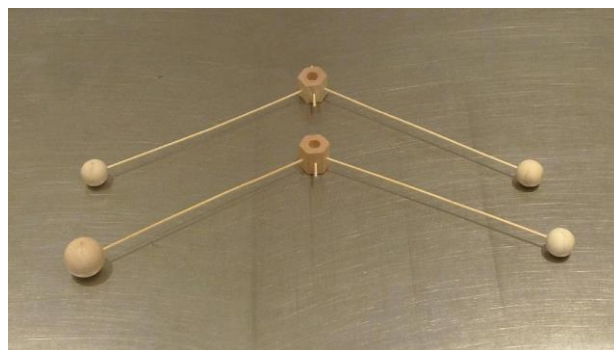


写真2. 左右のおもりの重さが違うやじろべえ(下)

は、左右のおもりが下がった位置にある「へ」の字型にしなければならないことを導いた。

尚、「やじろべえ」を知らない子どもも多いため、通常の「やじろべえ」が倒れないだけでもある程度反応があり、他の形の「やじろべえ」でバランスが取れるかどうかについても、意見が分かれることが多かった。

2-2. 日用品やじろべえ

バランスが取れる「やじろべえ」は、「へ」の字型になっていることから、「へ」の字型のものであれば例えば日

*大阪市立科学館 学芸員
E-mail: hasegawa@sci-museum.jp

用品でも「やじろべえ」のようにバランスが取れるか実験した。

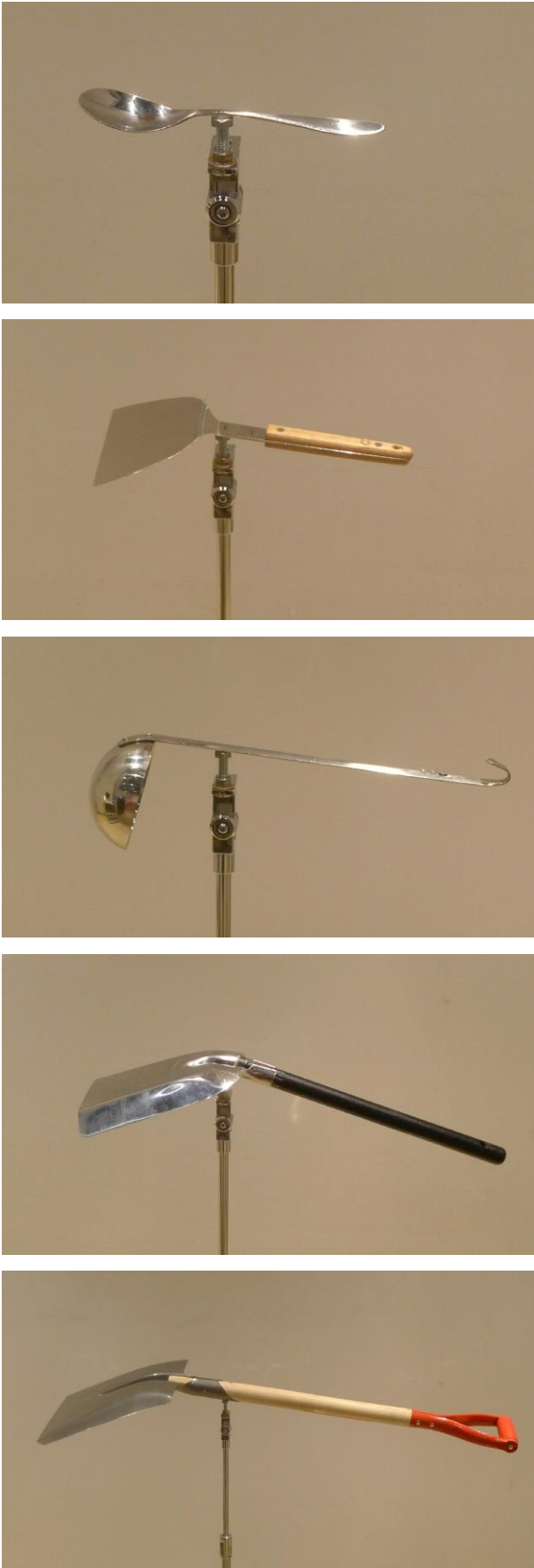


写真3. 日用品やじろべえ

使用したものは、「スプーン」、お好み焼き等の調理に使う「かえし」（「テコ」や「コテ」とも言う）、「お玉」、「十能」、「角型ショベル」（関東では「スコップ」と呼ばれる大型のもの）を用意した。このうち、「スプーン」と「かえし」については、バランスを取りやすいように少し曲がりを大きくした。いずれも、見た目の真ん中で支えてもバランスが取れるとは限らないが、見学者から「もっと右」「もっと左」などの声も出るようになり、うまく支点の位置を選べば、バランスを取ることができる。

また、これ以外に「フライパン」も用意したが、このような形の場合には、伏せた向きにしなければバランスがとれない。



写真4. フライパンは伏せた向きでない釣り合わない

2-3. 重心の位置

このようにバランスを取るのに重要なキーワードとして「重心」を上げ、その重心の位置を求めた。

通常、重心の位置を求めるには、物体をある点で支えてぶら下げ、支える場所を変えてもう一度ぶら下げる。2回それぞれについて支えている点から真下に伸ばした線が交わるところが重心である。しかし、これは重心というものがどういうものであるのか理解している上で、重心の位置を求める方法である。

そのため、重心を知らない、もしくはおぼろげなイメージしか持っていない方にとっては、重心がどこにあるのかを考えるのは難しいようであり、このような論理的

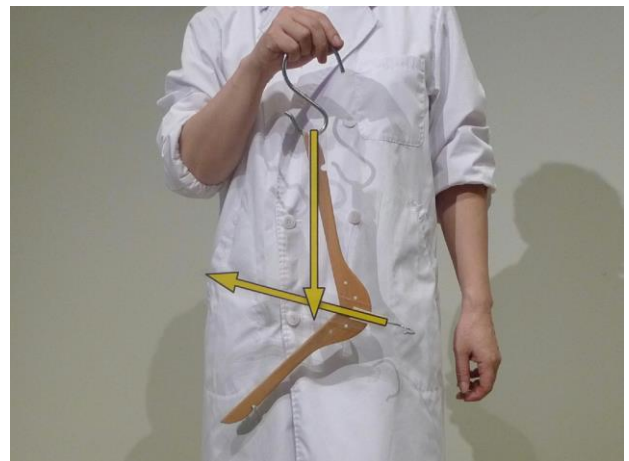


写真5. 一般的に重心の位置を求める方法

な方法が適切とは限らない。特にタイヤのような形のものでは何もない空間に重心があるが、物体から離れたところに重心があるとは発想しにくいようである。そのため、重心はどこにあるのでしょうかと聞いかけると、タイヤの下端を指し示す方が多かった。

そこで、重心を求めるのに次のようなアプローチでも行なった。まず、ものの真ん中がどこかを考えてもらい印をつけ、ぶら下げると支えている点の真下に印がくることを確認する。これを、丸いお盆、四角いお盆、タイヤ、ハンガーと、だんだん複雑な形のもで行なった。その上で、このような重さのバランスをとった真ん中が重心であると紹介した。こちらの方法では、タイヤのような形でも真ん中が空中にあることに違和感はない。

バランスがとれる「やじろべえ」を作るためには、この重心が支える場所よりも下にならなければならない、重心が上にあると倒れてしまう。そのために、「やじろべえ」は「へ」の字型になっている。

2-4. バランスバード

写真6の鳥型のおもちゃは「バランスバード」等の名前で売られているおもちゃで、くちばしの先で支えると不思議な姿勢でバランスがとれる。これは、鳥の胴体や尾は軽く、翼の先の部分におもりが入っているからで、おもりが入った翼がくちばしよりも低い位置になっている。



写真6. バランスバード

光をあてると翼の先に入っているおもりが見える



写真7. 日用品やじろべえモビール

2-5. やじろべえモビール

通常のコモビールは糸でぶら下げていくが、今回、「やじろべえ」を組み合わせてコモビールのようにした。ここでは「やじろべえコモビール」と呼ぶこととする。

まず日用品を使った「やじろべえ」の延長で、「フライパン」の柄の上に「お玉」、「お玉」の柄の上に「かえし」、「かえし」の柄の上に「スプーン」をのせた。しかし、バランスのとれた「フライパン」の柄の上に「お玉」をのせようとすると全体の重心の位置が変わり、支える場所を修正しなければならない。さらに、「かえし」「スプーン」とのせていくたびに、支えている位置をすべて修正していく必要がある。

また、通常のコモビールと違い、厚みのある柄の上に次の「やじろべえ」をのせていくため、重心が少しずつ高くなる。このため、ひとつひとつの「やじろべえ」単独ではバランスがとれていても、「やじろべえコモビール」にしようすると、バランスがとれない場合がある。今回使用した日用品では、この「フライパン」「お玉」「かえし」「スプーン」の4つを組み合わせるのが、「やじろべえコモビール」として最大であった。

そこで、重心と支える位置を合わせたアルミニウム製の「10連やじろべえコモビール」を用意した。これを小さい方から順にのせていくことで、のせる位置を修正する

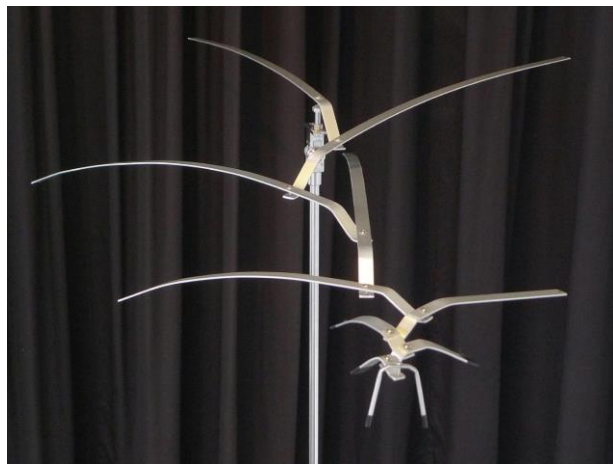


写真8. 10連やじろべえモビール

小さいものから順に、ひとつ大きなものの上ののせる

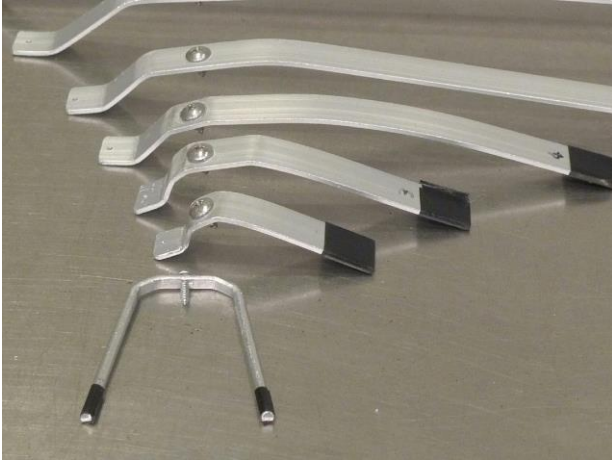


写真9. 10連やじろべえモビールのパーツ
各やじろべえの支えるところは木ねじにしており、
木ねじの先をのせる位置にくぼみをつけてある

ことなくバランスをとることができる。また、10連全体で
バランスを合わせているため、一番小さい「やじろべえ」
をとるだけでもバランスが合わなくなり、全て崩れる。

2-6. おきあがりこぼし

次に、「やじろべえ」以外でバランスをとるものとして、
「おきあがりこぼし」を取り上げた。どちらも伝統的な日
本の玩具であるが、「おきあがりこぼし」の方が知っている
人が少し多いようであった。

「おきあがりこぼし」についても伝統的なスタイルのもの
を使用しなかったが、入手したものは底がかなり平ら
で、「おきあがりこぼし」らしい動きではなかった。このた
め、写真10の「おきあがりこぼし」を使用した。



写真10. おきあがりこぼし

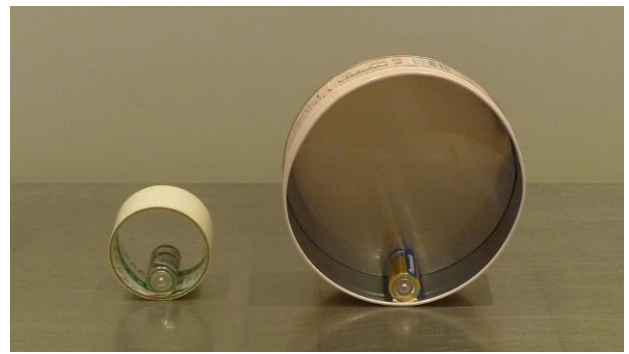


写真11. 「おきあがりこぼし」のモデル

「おきあがりこぼし」がどうして起き上がるかは、底が
丸く重心が下の方にある(底の曲率中心より重心が下
にある)からである。そこで、写真11のようなモデルを用
意した。ではなぜ底が丸く重心が下の方であれば起き
上がるのかであるが、ここでは重心の位置に注目した。
「おきあがりこぼし」を傾けると重心の位置は高くなり、
重心の位置を下げるために起き上がるが、勢いのため
に行き過ぎるとまた重心の位置が高くなり、また戻ろう
とする…ということを繰り返していく。

またこのように重心の位置が低いところで安定する
のは、「やじろべえ」でも同じである。「やじろべえ」の場
合は、支えている点を中心に回転するため、重心がそ
の真下にあるときに、一番重心が低くなり、この位置で
安定する。

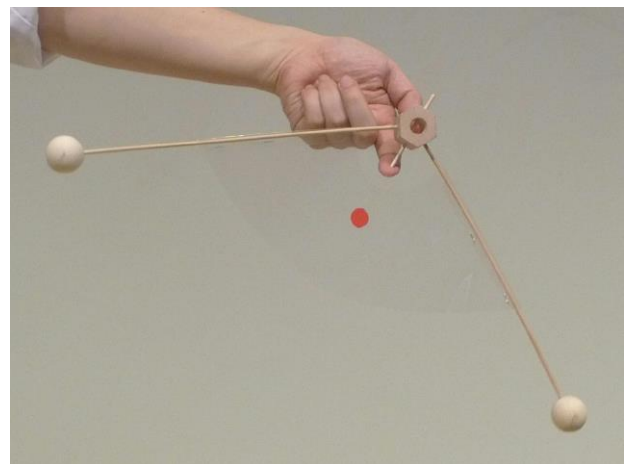


写真12. 傾いた「やじろべえ」の重心の位置

2-7. 逆さおきあがりこぼし

「やじろべえ」のバランスがとれるのは、支えていると
ころよりも重心が下にあるからであり、重心が上にあると
安定しない。このため、まっすぐな棒や板などを下側の
1点で支えようとしても、傾いて落ちてしまう(写真13)。
ところが、同じ棒を丸い台の上ののせると、安定して倒
れない。これは、棒が傾くと棒と台が接している位置が
外側へ動き、復元力が働くからである。「おきあがりこぼ
し」でも、同じように復元力が働いていると考えること



写真13. 重心が上にあると落ちてしまう



写真14. 逆さおきあがりこぼし

もできるし、前述のように重心の位置の高さの変化で考えることもできる。「おきあがりこぼし」は、「おきあがりこぼし」の底が丸く、平らな机の上に置くが、こちらは棒がまっすぐで丸い台の上に置く。丸い部分が本体ではなく台の方になっているが、同じ働きをしている。そこで、ここではこれを「逆さおきあがりこぼし」と呼ぶこととする。

もちろん、「逆さおきあがりこぼし」でも「おきあがりこぼし」と同様、傾けると重心が高くなり、重心が低いところで安定しているとも考えることもできる。

尚、「おきあがりこぼし」が安定するのは重心が下にあるからであると、「やじろべえ」と似た表現で説明されることもある。しかし、「逆さおきあがりこぼし」と同様、支えている点よりも重心が上であり、「やじろべえ」とは異なる。

2-8. ワインスタンド

写真15のワインスタンドは、1枚の板の1辺が厚み方向に斜めにカットされていて、ワインを差し込む穴があいているだけのものである。もちろんそのままでは、斜めにカットされた辺を下にして立てることはできない。ところが、穴にワインを差し込むと写真15のように立てることができる。このようなワインスタンドは市販もされているが、今回は板をカットして製作した。

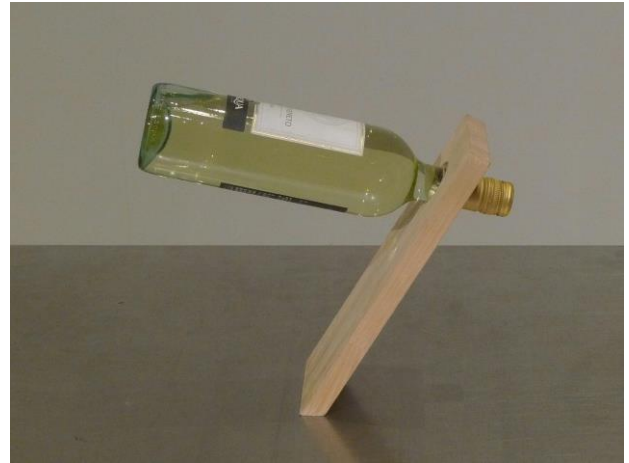


写真15. ワインスタンド

このワインスタンドは、ワインを差し込むことにより、ワインスタンドの接地面の真上に重心が移動するので倒れない。

ではなぜ接地面の真上に重心があると倒れないのか、この場合も、「やじろべえ」や「おきあがりこぼし」と同じように、重心の高さで考えることができる。平らな面で接地してその上に重心がある場合、傾けると必ず重心が高くなるため、倒れないのである。但し、傾け過ぎると却って重心が低くなるため、倒れてしまう。接地面が狭くなると、傾きが小さくても重心が低くなり始めるため、倒れやすく、立てるのが難しくなる。

2-9. グラス積み

接地面が非常に狭くても、重心をその接地面の上にもってくれば立てることができる。このことから、底の平らなグラスであれば、写真16のようにグラスを3個積みすることができる。これについて詳しくは、本誌 27 ページ「グラス積みの力学」を参照されたい。



写真16. 3段に積んだグラス

2-10. 缶の斜め立て

ワインスタンドやコップ積みと同じような実験で、簡単にできるものとして、缶を斜めに立てるといふを行なった。ジュースなどの缶は、たいてい底の周囲が斜めになっており、この斜めの部分の上に重心があれば、斜めに立てることができる。しかし、開封前の缶でも、空き缶でも、斜めには立たない。

そこで、空き缶に水を入れて重心の位置を調整したところ、350mLの缶の場合、3分の1程度の水を入れると斜めに立てることができた。また、いろいろな種類の缶で試したが、350mLの缶であればどの缶でも立てることができた。しかし、500mLの缶の場合は、水の量を調整しても立てるのが難しかった。



写真17. 斜めに立った缶

3. 行なわなかった実験

サイエンスショーでは、予備実験の段階では用意していたが、実際には行なわなかったものもある。今回も、予備実験では例えば以下の実験等を準備していた。

3-1. 板のずらし積み

同じ形・大きさの板などを積み、少しずつずらすと、一番上の板を一番下の板の上から完全にはみ出させ

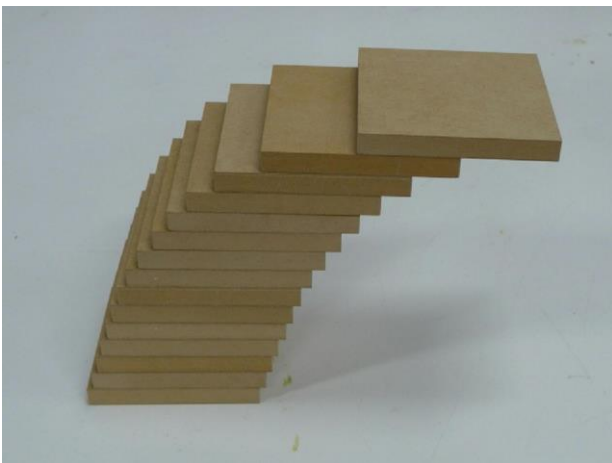


写真18. 一番上の板が完全にはみ出した状態

ることができる。理論上は、重ねる板の枚数を増やせば、いくらでもはみ出させることは可能である。

しかし、うまく積むには時間がかかるなどから、今回は割愛した。

3-2. ショートケーキの分割

円形や長方形のものを重心を通る直線で分割すると二等分することになるが、一般的には重心を通る直線で分割しても二等分になるわけではない。しかし、「重心」という名称のイメージから、誤解されることも少なくない。そこで、ショートケーキ形の板を重心を通る直線で2つに分割し、質量が一致しないことを示した。

しかし、重心の概念そのものがおぼろげな方が多く、せっかく重心がわかってきた時にこの実験を行なうと混乱するため、割愛した。

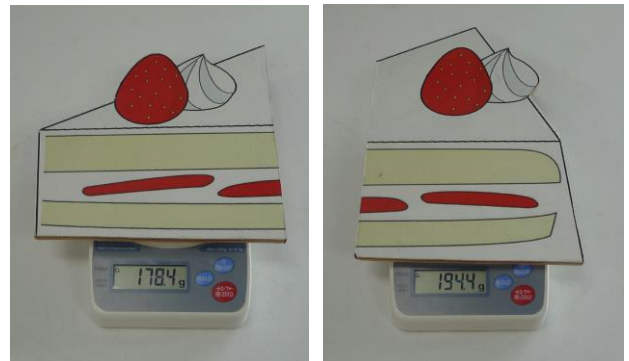
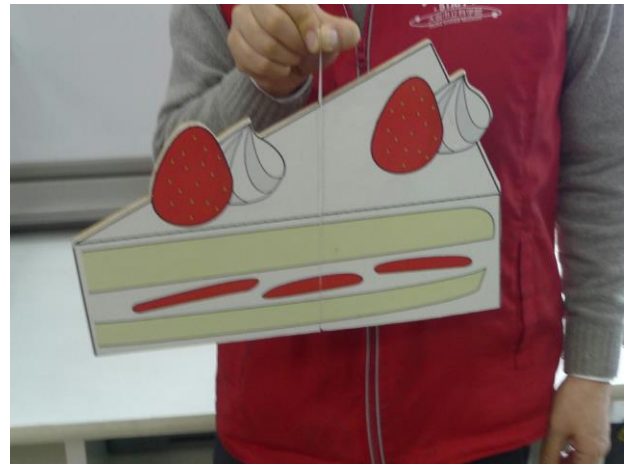


写真19. ショートケーキ形を重心で切った時の質量

4. まとめ

今回、能動的なバランス制御は扱わず、静力学の範囲だけでは実験や内容が不足しているかと思ったが、そうではなかった。特に「重心」については、言葉はしていても、重心がどのような点であるかはおぼろげな方が多かった。また、どのような場合に安定するかについては、位置エネルギーよりも力で説明する方がわかりやすいかと考えたが、実際にサイエンスショーを行なうと、重心の高さが低いところで安定するという説明で統一することで、わかりやすくなったようである。