

グラス積みの力学

長谷川 能三*

概要

2014年12月5日から2015年3月1日に実施したサイエンスショー「バランス大実験」の中で、水の入ったグラスを3個積み上げるという実験を用意した。これは、海外のバーでバーテンダーが行なっているのをテレビ番組で見て知ったものであるが、単にテクニックだけのものではなく、その方法は力学的に理にかなったものであった。そこで、このグラス積みにはどのような力学的なポイントやその安定性について明らかにする。

1. はじめに

このグラス積みは、テレビ番組^[1]で紹介されていたギネスビールのバーでバーテンダーが行なっていたもので、ビールが入ったグラスを3個積み上げるというものである。

そもそもグラスの底が凹んでいると1つ目のグラスの上に2つ目のグラスを積むことすらできないが、ギネスビールのグラスの底が比較的平らであることをうまく利用したパフォーマンスである。



写真1. グラスの3段積み

ただ、1つ目のグラスに対して、その上に積む2つ目のグラスは横にずらしていたのであるが、一番上に積む3つ目グラスはバーテンダーの手前側にずらしていたのである。このことに気づき、一瞬何故だろうと思ったが、少し考えると理にかなっている動作であったので、その点についてここで明らかにする。

2. グラスの2段積み

まず、グラスを2段積み重ねることを考える。このとき、グラスの半径は、通常上端より下端の方が小さい。このため、1つ目のグラスの真上に2つ目のグラスを積むことはできず、2つ目のグラスを横にずらさなければならない。グラスの底が平らであれば、2つのグラスは図1のように下段のグラスの上端の縁のある範囲で接している。この2つのグラスが接した「弧」と「弧の両端をつなぐ弦」で囲まれた範囲の上に上段のグラスの重心があれば、上段のグラスは下段のグラスの上に安定して載せることができる。

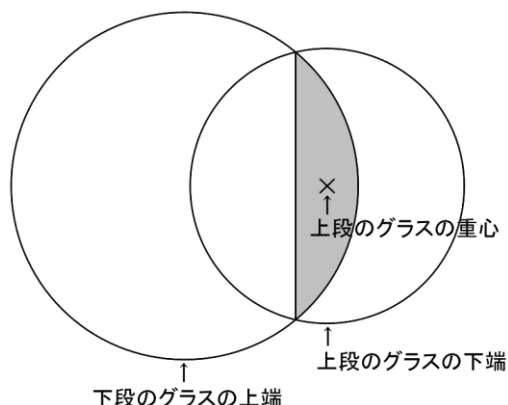


図1. グラスの2段積みでのグラスの位置関係

*大阪市立科学館 学芸員
中之島科学研究所 研究員
E-mail: hasegawa@sci-museum.jp

ただ、茶碗や皿の高台のように、ガラスの底の中央が凹んでいる場合には、2つのガラスは2点でしか接しないため、安定して載せることはできない。また、底の中央がほとんど凹んでいなくても、平らでない場合には、上段のガラスが斜めになり、安定して載せることが難しい。そこで、ここでは底が完全に平らなガラスの場合のみを考える。

それでは、底が平らなガラスを2段に積む場合、上段のガラスをどの位置に載せればいいのか。図2は、上段のガラスをずらした距離に対して安定して載せることができるかどうかを計算したもので、ガラスの上端の半径を単位として、横軸が上段のガラスをずらす距離、縦軸はガラスの下端の半径である。グラフで網掛けしている部分が安定して載せることができる範囲で、ガラスの下端の半径が小さいとこの範囲は狭く、ガラスの下端の半径が大きいとこの範囲は広がることになる。また、網掛けした範囲の中の太線は、最も安定して載せることができる位置を表わしている。ギネスビールのガラスは、上端の半径に対して下端の半径が0.79と比較的大きく、ずらす距離が0.61~1の範囲で安定してガラスを載せることができる。またずらす距離が0.82で一番安定する。サイエンスショーではプラスチック製のガラスを使用したがる、下端の半径が0.66と小さかった。そのため安定して載せることができるのは、ずらす距離が0.75~1の範囲でギネスビールのガラスよりも狭く、ずらす距離が0.88で一番安定する。

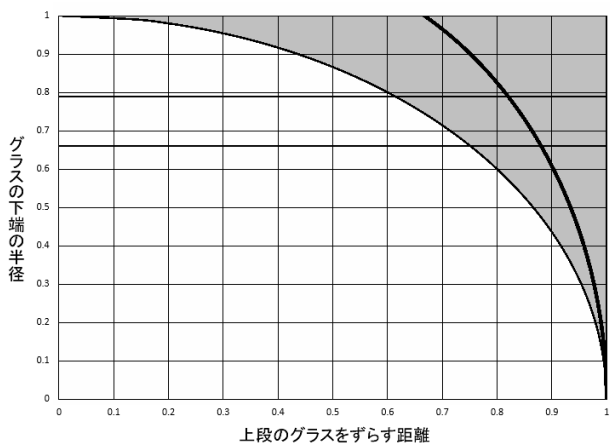


図2. ガラスの2段積みでガラスをずらす距離

3. ガラスの3段積み

次に、ガラスを3段積み重ねることを考える。ガラスが3個の場合も、図3のように左右にずらして積むことは可能である。この場合、中段のガラスと上段のガラスの位置関係は2節のとおりとなる。この2つのガラスを合わせた重心は、それぞれのガラスの重心を結んだ線の中点となる(2つのガラスの質量は同じとする)。この重心が、下段と中段のガラスが接している部分の「弧」と「弧

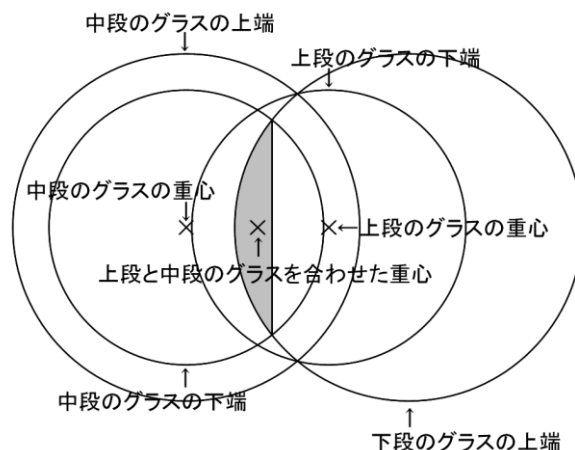


図3. 横にずらしたガラスの3段積みの位置関係

の両端をつなぐ弦」で囲まれた範囲の真上にあれば、安定して載せることができる。しかし、中段のガラスの上に上段のガラスを載せたまま、中段のガラスと上段のガラスを一緒にずらしていくことは難しい。逆に、まず下段のガラスの上に中段のガラスを載せ、その上に上段のガラスを載せようとする、上段のガラスが載っていない状態では中段のガラスは安定して載せることができないため、これも難しい。

ギネスビールのバーでバーテンダーが行っていたガラス積みでは、上段のガラスを横ではなく手前にずらしていた。横ではなく、手前にずらすことで、何が違うのであろうか。中段のガラスと上段のガラスは、ずらす方向は手前であるが、ずらす距離は同じく2節のとおりである。この2つのガラスを合わせた重心も、それぞれのガラスの重心を結んだ線の中点であり、この重心が、下段と中段のガラスが接している部分の弧と弦で囲まれた範囲の真上にあれば、安定して載せることも変わらない。

ただ大きく違うのは、中段のガラスだけの重心の位置と、中段と上段のガラスを合わせた重心の位置は、左右ではなく前後にずれているのである。また、下段と中段のガラスが接している部分は前後に長い弧であり、「この弧」と「弧の両端をつなぐ弦」で囲まれている範囲も前後に細長い。このため、この前後に細長い範囲に中段と上段のガラスを合わせた重心があれば、中段のガラスの位置を変えずに、上段のガラスを載せることができるのである。

ガラスの下端の半径が0.79の場合、図4のように3つのガラスを配置することで、上段のガラスの重心は上段と中段のガラスが接している部分の「弧」と「弧の両端をつなぐ弦」に囲まれた範囲の上であり、中段と中段のガラスを合わせた重心は中段と下段のガラスが接している部分の「弧」と「弧の両端をつなぐ弦」に囲まれた範囲の上であり、ガラスを3段積み重ねることができる。

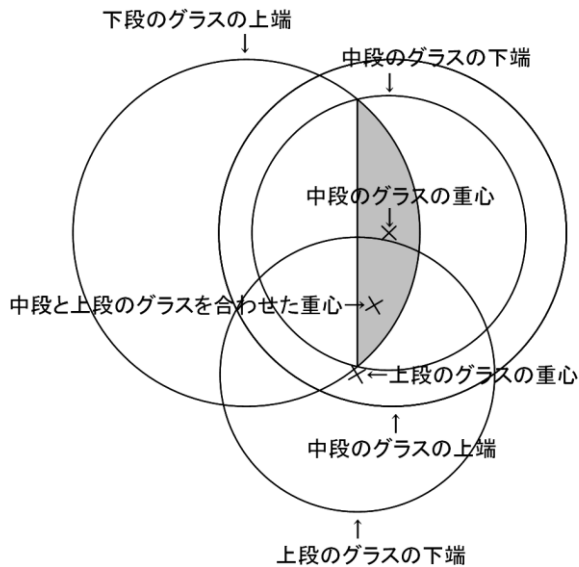


図4. 上段のグラスを手前にずらした場合の位置関係

この方法であれば、中段のグラスは下段のグラスの上に単独で安定して載せることができ、その後、上段のグラスを載せるときには中段のグラスを全く動かさずに、上段のグラスを安定して載せることができるのである。2つのグラスを一緒に動かす必要がなく、最初から安定した位置に載せることができるため、図3の場合よりも簡単にグラスを3段積みすることができるのである。ただ図4の場合、上段のグラスを載せる位置は、ちょうど手前ではなく、14度左にずらしてある。

グラスの下端の半径が0.66の場合にも、図4と同じような配置で、グラスを3段積むことができそうであるが、実は少し困ったことが起こった。それは、上段・中段・下段の3つのグラスを合わせた重心が、下段のグラスの底面の上からはみ出してしまふのである。これは3つのグラスの質量が同じ場合であるので、下段のグラスに入れる水の量を増やし、下段のグラスの質量を増せば、3つのグラスを合わせた重心が下段のグラスの重心寄りになり、解決することはできる。しかし、下段のグラスの方が水が多いのは、デモンストレーションとしてはあまりよくなかった。

4. まとめ

グラスの3段積みの場合、以上のように上段のグラスを手前にすることで、比較的簡単にグラスを積みことができることがわかった。

グラスの底の平面性を高めると、練習や慣れが必要ではあるが、グラスを積んでも思った以上に安定している。そこで、グラスの底を平らにするために、透明なエポキシ系接着剤を用いた。グラスを逆さにして窪みに接着剤を流し込み、なるべく空気が入らないようにラッ

プをかぶせ、平面性のいい机の上にグラスの底を押しつけた状態で接着剤が固まるのを待った。固まった後、ラップを剥がし、平らな机に置いた紙やすりの上でグラスを動かすことで、ラップの皺などで残った凸凹もなるべく平らにした。

しかし、サイエンスショーでは、グラスを倒して割れるのは危険であるので、プラスチック製のグラスを使用した。ただ、このグラスは下端の半径がやや小さかったこともあり、3段積みは少し難しかった。また、下段のグラスの水を少し多くしなければならなかった。

【参考】

[1] 毎日放送「ちちんぷいぷい」リアル世界くん