

水と粉は何が違うか ー逆さコップの実験から見えることー

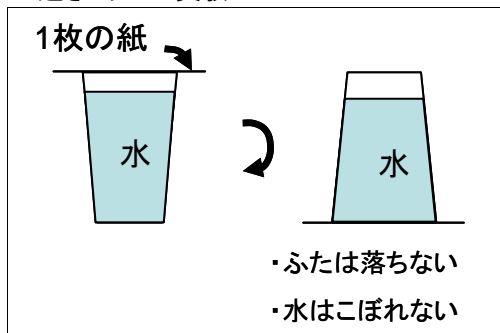
元立教大学理学部 佐々木研一

はじめに

よく知られている「逆さコップの実験」(図 1)で水がこぼれない理由として、大気圧があるからというだけの説明を聞かすが、水を粉に変えて実験すると、大気圧があるにもかかわらず、ふたは落下し、中味の粉はこぼれてしまう。粉の場合、大気圧はまったく役に立たない。水と粉では何が違うのだろう。水のどのような性質が重要な役割を果たしているかについて、昨年度のJASEB会合で紹介した実験に補足の実験を加え、説明する。

実験と考察

1. 逆さコップの実験



【図 1】 逆さコップの実験とは

用意したもの: コップ(グラス)、ふたにする紙・アルミ板・プラバン、水槽、水。紙はちり紙のようなよれよれではなく、わら半紙以上の腰のあるものがよい。

実験: 図 1 のように水を入れたコップに紙でふたをし、軽く手を添えて逆さにする。ふたか

らそっと手を離しても、ふたは落ちず、水はこぼれない。これが「逆さコップの実験」である。

アルミ板やプラバンをふたにするとほとんど失敗しなかった。慣れると手を添えなくても逆さにできた。

次に、水を入れてアルミ板でふたをしたコップを逆さにし、ふたとコップの下部を水槽の水に浸したところ(図 2)、アルミ板はゆっくりとコップから離れ、落下したが、コップの水はそのまま(こぼれない)だった。



【図 2】 逆さコップをふた(アルミ板)ごと水につけたところ。ふたはゆっくりとコップを離れ、落下した。しかし、内部の水はこぼれ出なかった。

考察: ふたが落ちず、水がこぼれないよく聞く理由は、ふたの下側からの 1 気圧と上側からの 1 気圧(=水圧+中の空気圧)が釣り合うから落ちないという説明である。この「中の空気圧」は 1 気圧から水圧分*だけ減圧されており、最終的にふたにかかる圧力は同じ水圧を加えるので、水圧とは無関係に 1 気圧となる。

この説明が正しいければ、図2のように、逆さコップの下部をふたと水に浸しても、ふたは下から 1 気圧+水深相当の水圧を受け、落ちないはずである。しかし落下した。圧力だけでは説明がつかず、それ以外の条件が必要である。

なお、ふたの落下原因はふたとコップのすき間部分から水の表面が消失したことであり、その表面の表面張力が重要な働きをしていた

と考えられる。

* 逆さコップ内の水圧は最大でも1気圧(=外圧)であり、水の高さにして約10 mを越えることはできない。(トリチェリーの原理)

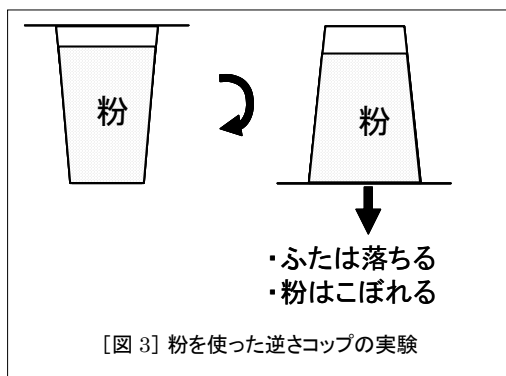
これで、逆さコップの実験が成立するためには**圧力以外に不可欠な条件が存在する**ことがわかった。

不可欠な条件を探すにはどうすればよいか。方法は単純である。不可欠と思われる条件を取り除く。それで水がこぼれれば、その条件が不可欠となる。

2. 水を使わず粉を使う逆さコップの実験

まず、根本的に不可欠な条件は水の存在ではないかと考え、水の使用をやめてみた。

用意したもの:コップ、白玉粉、片栗粉、プラバンで作った平らなふた、ストロー、水少々。



実験:コップに白玉粉または片栗粉を入れ、ふたをして逆さにした(図 3)。ふたからそっと手を離したところ、ふたは落ち、粉はこぼれた。より細かい片栗粉の場合はふたの落下が遅れることがあった。

次に、コップに片栗粉を入れ、ふたをして逆さにし、ストローに水を含ませ、コップとふたのすき間にぐるり一周たっぷり水を浸み込ませた。

その後、手を離したが、ふたは落ちなかった。

最後に、空のコップのふちをたっぷりぬらし、プラバンでふたをし、コップを逆さにしたところ、ふたは落下しなかった。

考察:コップと粉とふただけで**水が存在しない**逆さコップの実験では、いとも簡単に粉はこぼれた。しかし、コップとふたのすき間にストローで水を浸み込ませると粉はこぼれなくなった。これらのことから、**逆さコップの実験には水が不可欠**であり、最低限、**水はコップとふたのすき間に必要**であること、及び、その水の**表面張力**がすき間に作用し、**空気の進入をブロック**することがわかった。

これを単純化した実験が、最後に示した、コップとプラバンとそのすき間に少量の水だけを介在させた実験である。これは逆さコップ実験で水の量を極限にまで切りつめた場合に相当し、すき間の水の**表面張力**がふたを引き付け、落下を食い止めたようだ。

基本的な確認であるが、容器の中味がこぼれ出るためには、何かが代わりに入らなければならない。つまり、逆さコップの実験で水がこぼれ出ないためには、すき間から空気が入らなければよい。その空気の進入を防ぐのがすき間の素材の**ぬれ性**とすき間に作用する水の**表面張力**と考えられる。

表題の「水と粉は何が違うか」、の答えは、逆さコップの実験が成立するための条件を水は具えているが粉は具えていないことから導かれる。水はコップとふたのすき間をふさぐが、粉はふさがない。それは、水分子間の凝集力(水素結合、表面張力)は大きい、粉の粒子

間の引力は弱く、しかもすき間だらけなので、空気は水の層をくぐり抜けられないが、粉の層を簡単に通過できるという理由による。

3. 超はっ水性のふたを使う逆さコップの実験

ふたに**ぬれ性**が必要かどうかを、ぬれ性をほとんどなくした超はっ水性のふたを用いて調べた。

用意したもの:コップ、水、ベルベット地(10 cm 角)、それと同じサイズのダンボール板、はっ水スプレー。ベルベット地はダンボール板に接着剤で貼り付けた後、起毛面にはっ水スプレーを吹き付け、超はっ水面とした。

実験:コップに水を入れ、超はっ水面をコップ側に向け



〔図 4〕超はっ水性のふたを使った逆さコップの実験。水はすぐこぼれた。

てふたをし、ふたに手を添えて逆さにした。慎重に手を離そうと試みたが、ふたとコップの間に少しでもすき間ができるとすぐ水がこぼれ出し(図 4)、水をコップにとどめたまま手を離すことはできなかった。

考察:ふたが超はっ水性(ぬれ性が超微弱)の場合、ふたで水をとどめることができなかったということは、ふたのある程度の**ぬれ性**が**逆さコップ実験の成立に不可欠**であることを示した。

図 4 の写真を詳しく見ると、こぼれ出る方向の逆サイドには、内側に進入する気泡が見える。水がこぼれるきっかけはこの空気の進入で

あり、その結果水が押し出されたとみられる。空気の進入は、水を嫌う超はっ水性の面から導かれて進行したようだ。

第 2 節の考察で確認したとおり、空気が入らなければ水はこぼれない。こぼれるきっかけは空気の進入である。空気の進入に抵抗し、さまたげるのは、ふたとコップの**すき間に存在する水表面**の表面張力であるが、コップのふちとふたの双方に**水に対するぬれ性**がなければ、水には常にあるはずの表面張力がまったく役立たないということもこの実験から見えた。

なお、表面張力が有効に作用する水表面の位置がコップとふたのすき間部分でなければならないことは、図 2 の実験でよくわかる。

結論

紙一枚で逆さコップから水が漏れない基本条件は、**水と空気が入れ替わらないこと**である。それを成立させる条件は①コップのふちとふたが共に水に対する**ぬれ性**を持つこと、②コップとふたのすき間に水(水表面)が存在し、**表面張力**を作用させることである。これとは別に、大気圧が存在し、内部の圧力を打ち消すことも必要である。

逆さコップの実験は、大気圧だけで説明できる現象ではなく、水のように、表面張力があり、コップやふたをぬらす(親和性を示す)液体があつて初めて成立する現象である。

・本実験と関連実験を次のサイトで紹介:

<http://onogakuenblog.typepad.jp/rika/>

・筆者のホームページ:

<http://www.ksclab.com/>