

# 十分杯の特徴的構造とサイフォンの原理について

グオン オーギョン  
権 五景

## I. はじめに

新潟県長岡市には「十分杯」という不思議な杯がある。広辞苑にはこの十分杯の二つの読み方が掲載されている。「じゅうぶんはい」と「じゅうぶんばい」である。この十分杯はサイフォンカップの一種で世界的にも珍しいものである。そして、長岡市は世界の中でサイフォンカップの種類が最も多く、それを中心とした文化が根ざしている地域と言える。また、十分杯の世界最大コレクション（約50点）を長岡大学が所蔵している。

ちなみに、世界では十分杯のような仕組みの杯をサイフォンカップと命名している。厳密に言うなら、十分杯もサイフォンカップの一つであることは間違いない。理由は形も仕組みもサイフォンカップに酷似しているからである。

本稿では十分杯の構造、その原理について触れていきたい。十分杯の構造はどれも似ているが、前述のように、長岡大学所蔵の十分杯は世界中のサイフォンカップと比べ、いくつかの違いがあるからである。また、原理についてわかりやすく、納得のいく既存の説明があまりなかったと感じていたため、実験を通して分かったことに基づいて仮説を立て、解説を試みた。

## II. 十分杯の特徴的構造

### 1. 十分杯の特徴的構造

十分杯は他の杯と以下の4つの点において大きく異なる。

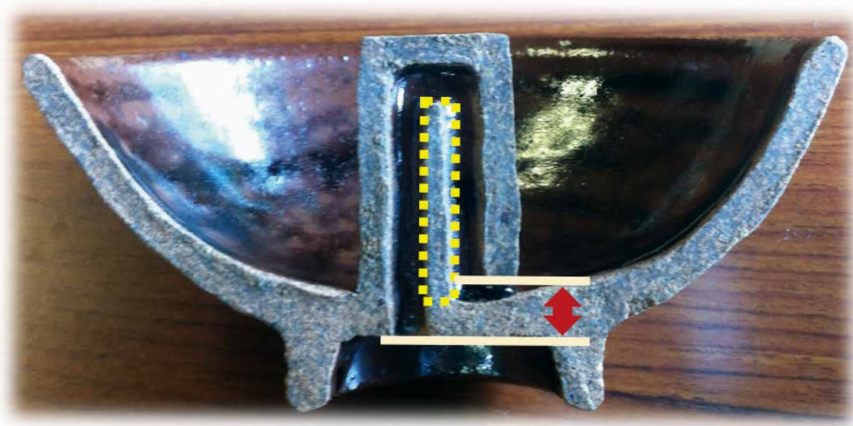
- ① 杯の中に「かざり」という突起がある（<図1>の左図を参照）。そのため、なかなか飲みにくい。
- ② 杯なのに底に「穴」がある（<図1>の右図を参照）。それにもかかわらず、一定の高さまで注いでも穴から酒が出ることはない。
- ③ 飾りの中は「管」が通っている（<図2>参照）。
- ④ この杯に「8分目」程度を超えて注ぐと中に入っていたすべてのお酒が底の穴から流れ落ちる。

<図1>十分杯の目立つ外見



(注) 加藤悌二作「北越銀行110周年松竹梅」

<図2> 飾り内部の構造



(注) 岡崎宗男作「十分杯の断面」

飾りの中は<図2>のように管（サイフォン）の形になっていて、管は<図1>の底の穴と繋がっている。杯の中の酒はこの管と穴を通して外に落ちていく仕組みなのである。この構造に二つの大事な仕掛けがある。一つは中央に壁（点線のなかの引っ張り）があるという点である。この壁のため、飾りの中に管ができるようになる。もう一つは管の左右の高さが異なる点である。即ち、右側の吸い込み口と左側の出口の間に高さの違いがあるのである。

## 2. さまざまな飾り

<図3>は主に長岡大学が所蔵している十分杯である。多種多様な飾りのついた十分杯がある。十分杯の文化が世界中で最も広まっている地域だからこそだと思われる。日本で最も古いとされる十分杯、初代市長が戊辰戦争後焼け野原になってしまった長岡の復興を祈願して作った十分杯、銀行や学校の記念品として配った十分杯等々がある。長岡でこれだけさまざまな形をした十分杯が多い理由は江戸時代の長岡藩三代藩主の時から関わりと、初代市長による節目の年に十分杯を配る文化からだと思われる。<図3>でさまざまな十分杯の飾りを鑑賞してみよう。

<図3> 十分杯の飾り



①長岡市郷土資料館に展示されている日本一古いとされる十分杯



②梅杯、初代長岡市長牧野忠篤の依頼で、当時日本を代表する宮川香山作



③梅杯、長岡市所在の蒼柴神社が県社昇格記念品、長岡市内で初めて作られた十分杯、悠久焼



④鷹杯、江戸中期の平戸焼



⑤公道杯、深川製磁作



⑥松杯、北越銀行 110 周年記念品、加藤悌二作



⑦竹杯、北越銀行 110 周年記念品、加藤悌二作



⑧梅杯、北越銀行 110 周年記念品、加藤悌二作



⑨梅杯、戦前(大正・昭和初期)長岡の土産品、悠久焼



⑩今千春作



⑪河童杯、竹田景子作



⑫鶴杯、新潟市行形亭記念品



⑬夫婦杯、杜々焼、山内静男作



⑭鳩杯、長岡市阪之上小学校百周年記念品



⑮龍杯、長岡高等学校百四十周年記念品



⑯招き猫、十分杯を愉しむ会依頼



⑰教訓茶碗琉球焼 (いとまん窯)



⑱米俵杯、長岡市所在長谷川陶器と長岡大学  
権五景ゼミナールがコラボして制作



⑲3Dプリンターで作った十分杯、  
長岡高専金子健正准教授作



⑳長岡歯車製作所作



㉑株式会社アルモ作



㉒岡崎宗男作



㉓情報なし



㉔ドイツ製サイフォン実験道具



㉕権五景ゼミナールの実験のためのアクリル十分杯

〈図3〉の形が最も一般的なサイフォンカップであるが、奇抜な形のサイフォンカップもある。飾りをなくしたり、または飾りを壁際に移動させたりしたものである。その中でも枡十分杯は得意なものである。長岡歯車資料館長の内山弘氏が手がけたものだが、枡の壁に穴を開けたり閉じたりして、管を作った画期的なものである。一見普通の枡にしか見えないが、八分目を超えるとすべての酒がなくなってしまう正真正銘の十分杯である。これらのサイフォンカップは非常に奇抜ではあるが、サイフォンカップの醍醐味である飾りが無いという難点もある。

〈図4〉管を壁に隠したサイフォンカップ



①枡杯、長岡歯車製作所作



②鯉杯、峯村昭三作



③分度湯呑、報徳二宮神社の土産物

サイフォンカップはギリシャ、ドイツ、中国、韓国にもある。それぞれ名称は異なるものの〈図2〉の構造は全く同じである。

ギリシャでは紀元前から作られたと言われており、ピタゴラスカップ、タンタルスカップという名称で呼ばれている。飾りは管を隠すための機能のみを有しており、飾りは鑑賞するためのものではない。

ドイツは素材がガラスであることが他と異なる。現代においても実験用としてサイフォンカップが作られているが、すべてガラス製である。非常にきめ細かく作られており、非常に高い完成度に驚かされる。ボヘミアンガラスの影響を受けた可能性があるとも考えられるが、チェコでは見つからない。

また、中国にどのような経路でサイフォンカップが伝わったかは解明されていない。公道杯が一般的な名称であり、意外と飾りの数は多くない。その理由はサイフォンカップにまつわる話が皇帝（洪武帝朱元璋）と関わっていた可能性が高い。つまり、公道杯は皇帝が使うものであり、誰もが簡単に公道杯を作ったり使ったりすることが許されなかった可能性が高い。ちなみに、公道とは、世の中の

道理、当たり前なことを指し、公道杯と命名したのは洪武帝のようである。さらに、世の中の道理や当たり前なこととは、欲張る者には何も残らず、戒めるものには残るということを指していると推測できる。

朝鮮半島では戒盈杯<sup>ゲーヨンベ</sup>と命名されているが、中国から伝わったと判断される。飾りがないわけではないが、かなり単純な構造である。

<図5>海外のサイフォンカップ



①ドイツ製サイフォングラス  
イギリス V&A ミュージアム所蔵



②ピタゴラス杯、ギリシャの土産物



③中国の九龍公道杯、景德鎮十大瓷歴陶瓷博物館所蔵



④中国の公道杯、現代の土産物



⑤朝鮮時代の戒盈杯、イギリス V&A ミュージアム所蔵

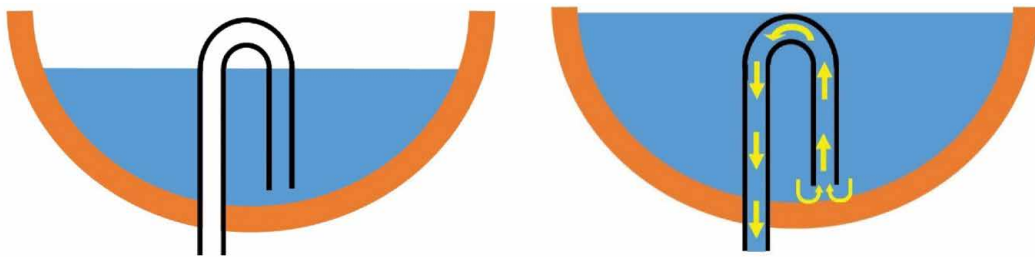


⑥韓国の戒盈杯

### Ⅲ. 十分杯の酒が流れ落ちる原理——管内最高点における圧力の不均衡

十分杯は、底に穴があるにもかかわらず、酒を注いでも八分目までなら垂れ落ちない。その理由は<図2>に示されているように、飾りの内部が一本の管となるように仕切る壁があるからである。より正確に言うと、<図6>の左図に示されているように、水面以上の高さには空気があるからである。そのため、壁の高さを超えない限り酒は杯の内側にあり、飾りのために酒を飲みにくいものの杯としての最低限の機能は保たれている。

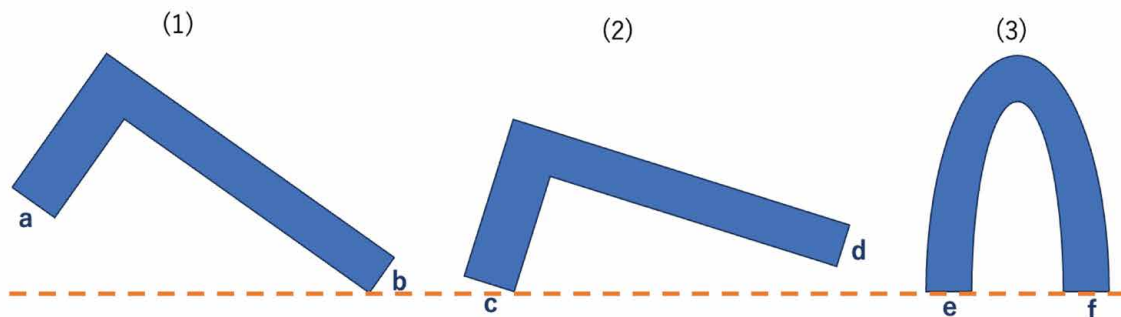
<図6>管の中が完全に水で満たされる前後の十分杯の断面イメージ図



ところが、右図に示されているように、管の頂点が浸かると長い方の管を通して外に落ちていく。なぜだろうか。この疑問に答えるために数多くの実験を行ってきた。本稿では、実験を通してわかったことを紹介したい。

実験の中身は、水をいっぱい入れたストローの二つの穴の高さを変えることで水はどちらに流れるかを確認するためのものだった。<図7>の(1)はbの方に全ての水が流れる。a側の水も頂点まで上がってから穴の位置が低いbの方へ落ちる。頂点からaまでの水量は頂点からbまでの水量より少ない。一方で、(2)の場合はcの方へ全ての水が落ちる。頂点からcまでの水量は頂点からdまでの水量よりもかなり少ないが、それでもストロー内の水は全てcの方に落ちる。要するに、重さとは関係なく、高さのみが関わることが確認できた。つまり、十分杯の飾り内の管の地面からの高さの違いが根本的な理由と言える。

<図7>ストローを利用した実験



ところで、実験で最も大変だったのは(3)の状態を作ることと、その結果を出すことだった。(1)と(2)の状態は何の苦労もなく自然にできた。そして、「もし、両穴の高さが同じならばどうなるのだろうか」という疑問が生じた。蛇口の前で数え切れないほど透明なストローに水を入れ、両穴を人

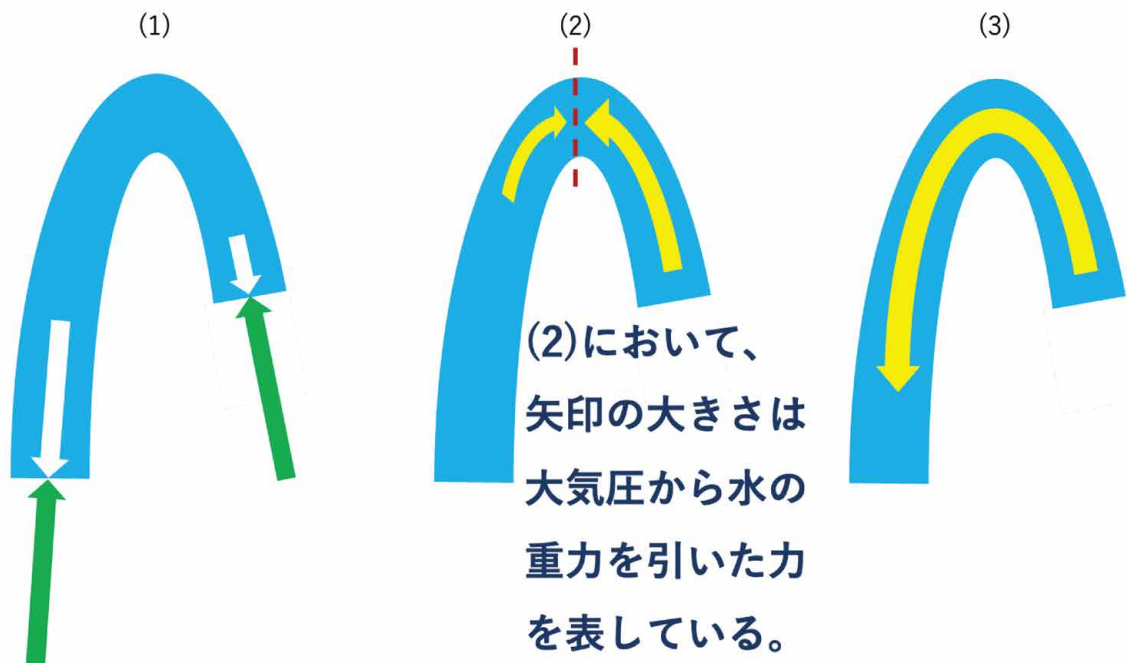


差し指で抑えてから大体同じだと思われる高さで指を離す実験を行った。右の方に流れたり左の方に流れたりした。目測ではあるが、どちらかに流れ落ちることがとても不思議だった。この不思議さが実験を継続させる原動力だった。両穴の高さを等しくする実験に失敗するほど意地になって取り組んでいた。仮説は二つあった。「両穴から同じく落ちる」か、「どちら側からも落ちない」か、だった。答えはある日の実験で明白となった。「どちら側からも落ちない」だった。ストローを親指と中指でつまみ、穴を塞いでいた人差し指は穴から離れていた状態だった。水は空気より重いにもかかわらず流れ落ちないことをとても不思議に感じた。そういうわけで、ある程度の重力がかかる空間で水が落ちないことは、「ストローの中に水が入っていて、加えて両穴の高さが同じだ」という条件と深い関係があると考えられるようになった。

そして、＜図7＞の（3）の現象が起きる理由として、＜図8＞のような大気圧と重力の力関係を考えてみた。

＜図8＞の（1）は両端の高さが異なる場合である。両端に下から働く大気圧の力は左右同じである。しかし、管内の重力の大きさは異なる。左側の重力が右側よりも大きい。そうすると、管内の頂点にかかる力は＜図8＞の（2）のようになる。つまり、力が相殺され右側からかかる力が大きくなる。そのため、＜図8＞の（3）のように水は左側に落ちる。＜図7＞の（3）の状態は管の頂点に働く力が同じであり、どちら側にも水が落ちなかったのである。

＜図8＞管内に働く2つの力

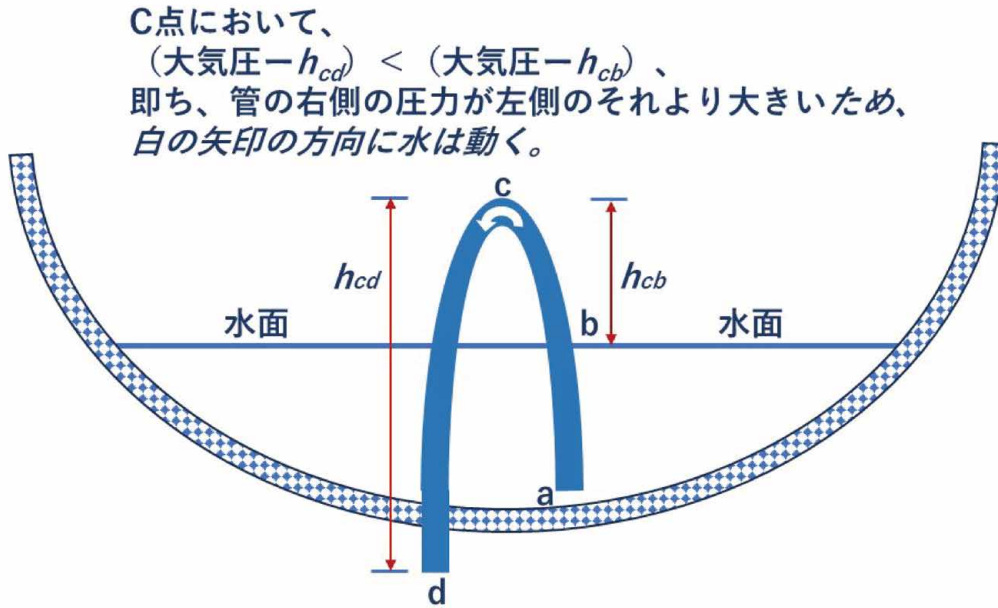


結論を先に言うと、「最高点における左右圧力の不均衡」が十分杯で不思議な現象が起きる原因である。それを図で示したのが＜図9＞である。＜図6＞の右図はすでに管の頂点が浸かっているため、管内の水は左の長い管を通して杯の外へ落ちていく。そうすると、自ずと杯の水位が下がっていくが、ここでは便宜上、杯の真ん中あたりまで下がったと考えよう。

水面 b から管内の頂点 c までの間にかかる圧力が出口 d から頂点 c までにかかる圧力よりも小さい。実験で使った米百俵十分杯の飾りの高さは約 3.5cm であるため、b と d に働く大気圧に差があるとは考

えにくい。つまり、両者にかかる大気圧が同じだとすると、 $(\text{大気圧} - \text{重力}(h_{cd})) < (\text{大気圧} - \text{重力}(h_{cb}))$ となる。大気圧から引く理由は水の重力と大気圧は反対方向に働くためである。それで、仮に両方の大気圧が10だとすると、管の左側の水は8で、右側は5だとしよう。そうだと、c点の左側に働く力は $(10 - 8)$ 、右側に働く力は $(10 - 5)$ であり、 $2 < 5$ となる。そのため、短い管の押し出す力が大きいため、管内の全ての水はdの穴を通して落ちていく。

<図9> 頂点における圧力の不均衡による説明



そして、水位が下がっていくにつれてdから落ちていく水の勢いは弱くなることを確認できるが、その理由は両側の管内にかかる力に差が小さくなり、拮抗するからである。<表1>は水位別管の両側の頂点cにかかる圧力のイメージを示している。水位が下がっていくにつれて左側にかかる圧力は不変だが、右側にかかる圧力は徐々に小さくなり、かろうじて左側の圧力に勝つ程度となる。そのため、落ちていく水の勢いは水位に比例して弱くなるのである。勢いに関わるのは水の量ではなく、頂点と水面との距離だということが明白となった。

<表1> 水位別管の両側の頂点cにかかる圧力のイメージ

水 位	c 点の左側にかかる力	c 点の右側にかかる力	両者の差
10分目	10-8	10+(12-10)	10
9分目	10-8	10+(11-10)	9
8分目	10-8	10-0	8
7分目	10-8	10-1	7
6分目	10-8	10-2	6
5分目	10-8	10-3	5
4分目	10-8	10-4	4
3分目	10-8	10-5	3
2分目	10-8	10-6	2
1分目	10-8	10-7	1

- (注1) 10分目の場合、c点の右側にかかる力を $10+(12-10)$ と示した理由は、大気圧を10とし、cからaまでの水圧を同じく10としたが、cを超える9分目と10分目の場合はその分の水圧を上乗せしたためである。本稿で使う圧力の大きさは実測値ではなく、あくまでイメージしやすくするために作ったものでしかないことに注意してほしい。
- (注2) 8分目で頂点cの右側にかかる圧力が $(10-0)$ とした理由は、水面には大気圧(10)がかかるが、aにかかる水圧とそれと反対方向に働く管内の圧力が同じであるため相殺(0)されるためである。
- (注3) 7分目で頂点cの右側にかかる圧力が $(10-1)$ とした理由は、8分目より水位が下がっており、いるためであり、水面下で相殺される力を除いて水位以上に管に入っている水が頂点cにかける圧力を最も小さい規模(1)にしたからである。その延長線上で、水位が下がるほど、水面下で相殺される圧力の規模は小さくなり、逆に水面上の管内に入っている水は多くなるため、管内の圧力は大きくなる。したがって、頂点cにかかる圧力は小さくなる。

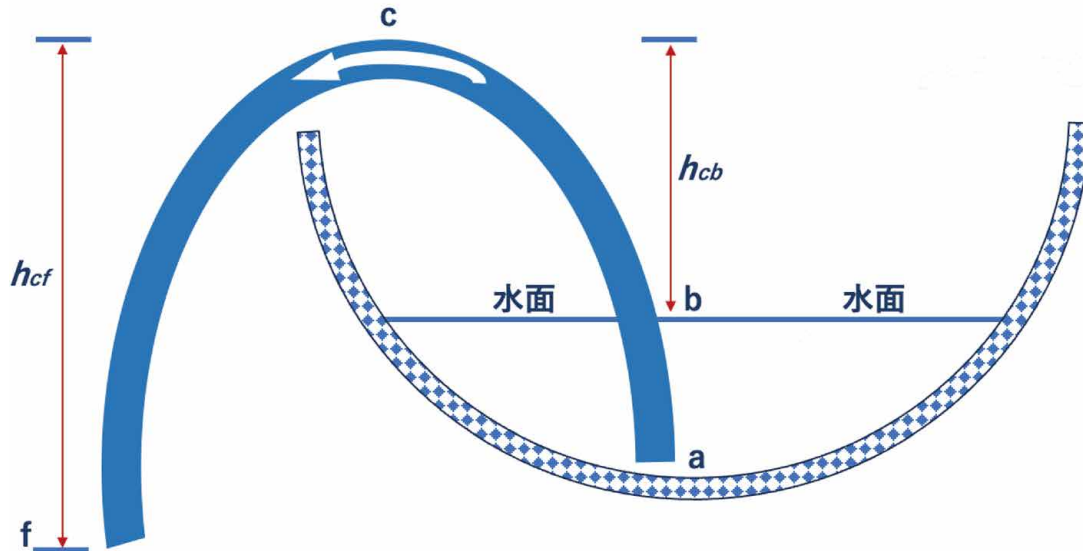
では、考え方を変えて、管の左右の高さを変えてみよう。実験を行うことを前提に図に示したのが<図10>である。管内の水の動きを確認するためには、吸い込み口は杯の中に置いて、出口を杯の外に出して置くことがよい。

<図10> 出口の高さが水面より低い場合

**C点において、 $(\text{大気圧} - h_{cf}) < (\text{大気圧} - h_{cb})$  である。**

**即ち、管の右側の圧力が左側のそれより大きい。**

**そのため、右管の水が左管の水を押し出し、白の矢印の方向に水は動く。**



出口fの高さが水面より低い場合は、cにおいて右から左へ働く力の方が反対側より働く力より大きいため、管内の水はfを通して落ちてしまう。これは一般的な十分杯と同じことになるのである。

では、出口の高さが水面と同じ場合はどうなるのだろうか。<図11>の実験でdから落ちる水は杯の中の水位と同じdの高さで止まった。その理由は管の頂点から大気圧が働く高さが同じであったからである。つまり、<図7>の(3)の状態になる。管の出口の高さをfからdの高さに持ち上げるにつれて流れ落ちる水の勢いは弱くなり、ストローの出口が水位に近づくにつれて粒になってポタポタと落ちていく。そして、杯の水面とストローの出口がほぼ同じ高さになったところで水の動き止まる。

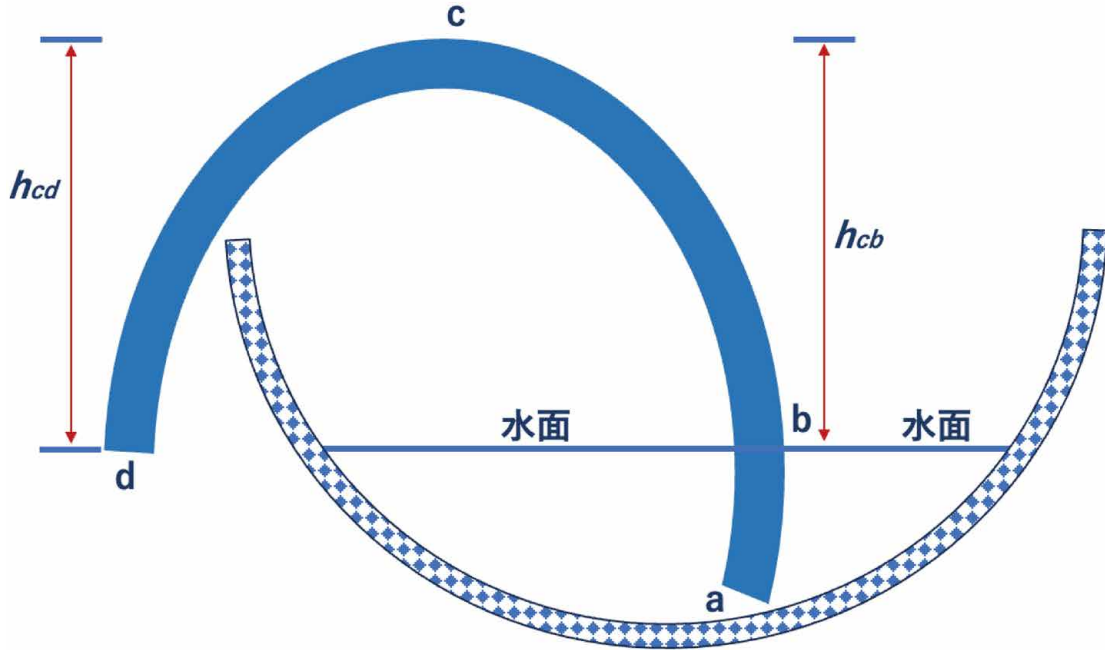
<図11> 出口の高さが水面と同じ場合

C点において、 $(\text{大気圧} - h_{cb}) = (\text{大気圧} - h_{cd})$  である。

即ち、管の左側の圧力と右側の圧力が同じであるため、

C点において押し出す力は拮抗する。

したがって、水はどちらの方にも流れ落ちずに動かない。



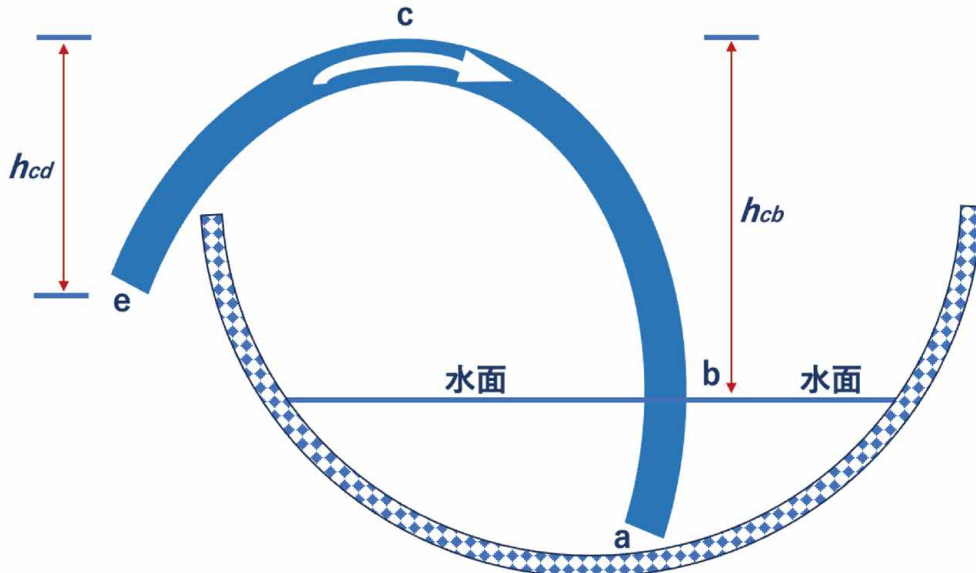
最後に、出口の位置を d より e の位置に上げるとどうなるのだろうか。

<図12> 出口の高さが水面より高い場合

C点において、 $(\text{大気圧} - h_{cd}) > (\text{大気圧} - h_{cb})$  である。

即ち、管の左側の圧力が右側のそれより大きい。

そのため、左管の水が右管の水を押し出し、白の矢印の方向に水は動く。



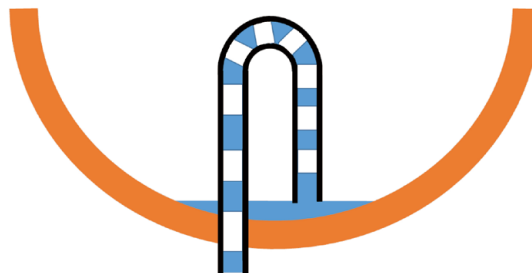
cにおいて働く力は管の左側の力が大きいいため、水は管内に逆流するようになる。cにおいて、管の左側から右側へ押す力がその反対側へ押す力よりも大きいため、水は杯の中に入る。

これまで図をもって杯の中の水が杯の外に流れ落ちる原理を解説してきた。ところで、力の不均衡によってバランスを崩した水が力の弱い方に流れていくのは分かったが、なぜそれが遡る形ですっと続くのだろうか。

考えられる理由は二つある。まずは、杯の中の水位が下がっても頂点cにおいて圧力の差は依然としてあるからである。もう一つの理由は、ベルヌーイの定理で考えるとわかりやすい。要するに、エネルギーは形が変わってもその量は不変だという。本稿で取り上げているお酒や水のような流体のエネルギーは、圧力E + 位置E + 速度E = 和は常に一定だと言う。速度Eと圧力Eは反比例的に変化するため、水が流れ出すと管の中の水は流速が増すため圧力は下がる。図解したように、出口が低い管の場合は頂点cにおいて圧力の均衡が破れるため、管内では水流が生じる。そして、管内の水流は管外、即ち、杯の中の水より圧力が低くなる。つまり、水流ができる前までは両方の圧力は同じだったが、水流ができてからは圧力の均衡が破れる。圧力は高い方から低い方に流れるため、継続的に水流ができる。ちなみに、NHKの実験によると水の場合、遡れるのは10mまでのようである。

そして、水位が吸い込み口aまで下がると、<図13>のように空気が管内に入る。そのため、吸い込み口aより水位が低いところの水がわずかに残る。

<図13>管内に空気が入った時の断面イメージ図



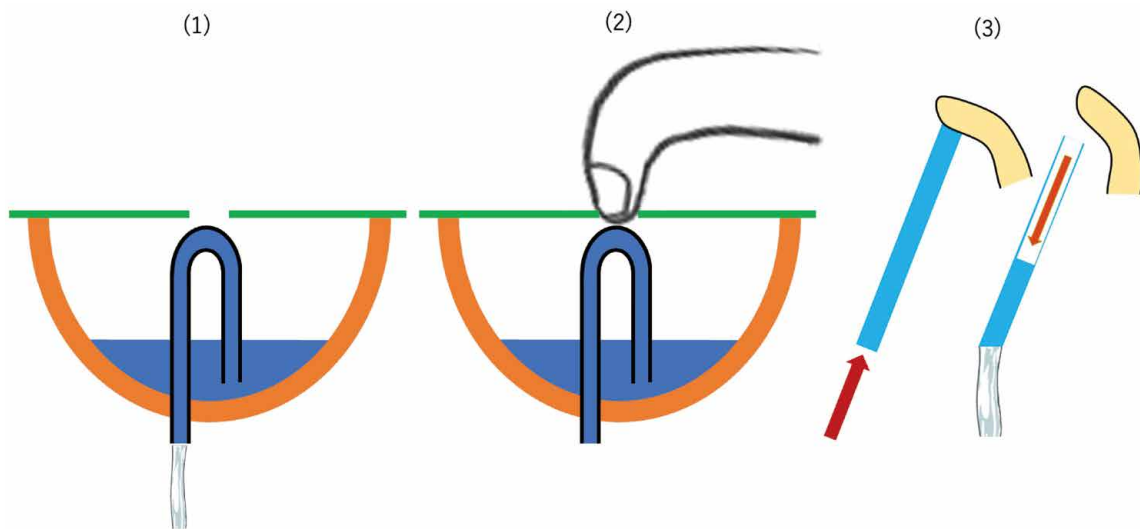
#### IV. 大気圧がなければどうなるのか

本稿は実験を通して得た事実に基づいて理屈の解説を試みたが、大気圧がない状態でどうなるかについても実験を行った。まず、十分杯の上をラップで被せてから穴を開けた。それをより正確に行うために作った物が<図3>の⑤にある以下の道具である。



そして、水が落ちる最中に指で穴を<図14>の(3)のように塞いでみた。すると、なんと水は止まった。その理由は誰もが経験したことのある(3)のストローの実験で解説したい。水いっぱいストローに指を付けると、水は落ちない。その理由はストローの下からは大気圧が働くが、上からは働かないからである。下からの大気圧が水の重力よりも大きいということである。しかし、指を離すと、両方と同じ大気圧が働く。つまりストローでは(大気圧+水の重力-大気圧)の力が働く。式で最初の大気圧と水の重力を足すのに対して後ろの大気圧を引く理由は、上の大気圧と水の重力が上から下に働くのに対して、後ろの大気圧は下から上の方へ反対方向に働くからである。つまり、<図14>の実験で改めて大気圧が働くことがわかり、それによって十分杯の醍醐味が体験できるのである。

<図14>大気圧が働かない状況下での実験



ところで、実生活の中で大気圧を実感することはなかなかできないが、飛行機に乗ると瞬時に体感できる。パックされている水を含め、密封されているものはすべて膨らんでいるが、着陸するとそれらの物はすべてへこんでしまう。この大気圧の力と管内の水の重力の押し合いが管内の水を動かしていたのである。

## V. 結びにかえて

本稿では、サイフォンカップの一種である十分杯の構造的特徴である飾りの装飾面と機能面を紹介した上で、十分杯に酒を入れた際に起きる現象について図をもって解説を試みた。理論に根拠したものではないものの、数百回の実験に基づいて解説を試みた。結論は、「大気圧と水の重力によって生じる管内の頂点における力のアンバランス」である。

## 参考ウェブサイト

NHK「高校講座ベーシックサイエンス第18回不思議な水の大冒険！～水圧と大気圧～」  
[https://www2.nhk.or.jp/kokokoza/watch/?das\\_id=D0022150198\\_00000](https://www2.nhk.or.jp/kokokoza/watch/?das_id=D0022150198_00000)

<謝辞>

本稿で紹介した多くの十分杯は故太刀川喜三氏が権五景ゼミナールの活動を高く買ってくださいって長岡大学に寄贈してくださったものである。ここに故人のご冥福をお祈りする。また、長岡歯車資料館長の内山弘氏に出会ってから十分杯の存在を知り、また、多くの配慮があつてここまで来ることができた。深くお礼申し上げる。