

円筒容器内の突起の大きさと水流の関係

The Relationship between Liquid Flow and the Size of a Projection in a Container

Abstract

When you drink corn soup from a can, you can eat more corn by making a dent near the mouth of the can. We studied the relationship between the flow of the soup and the size of the dent. We used a red food coloring and particles in order to observe the flow. Our experiment showed that the dent made the top water flow faster and made the bottom water flow slower. Examining the relationship between liquid flow and the shape of the container is important to devise better containers.

1. はじめに

缶に入ったコーンスープを飲むとき、飲み口のあたりをへこませると缶内にコーンが残りにくいことが知られている。これはへこみによって缶内部の水流に変化が生じるためである。へこみの大きさと水流や流速の変化を明らかにするため、突起を付けた容器内の水流を食紅とアルミ粒を使って観察した。

2. 研究方法

透明な円筒容器に定規、分度器、紐、おもりを取り付けて図1のような装置を作成した。容器の角度は、水が入った容器を机に置いた状態が 0° 、逆さにした状態が 180° となるよう、地面に垂直な線と円筒容器の母線がなす角（図1の θ ）で定義した。容器を直接手に持って傾けるのではなく、紐を一方方向に引いて容器を傾けることで、傾けるペースをより一定に保てるようにした。

容器は半径 63 mm、深さ 100 mmの円筒形。突起はクリアファイルをまるく切って高さ 12 mm、長さ 45 mmのもの（小）と高さ 16 mm、長さ 60 mmのもの（大）を作り、1か所で注ぎ口に接するように容器の内側に固定した。

この装置を用いて、以下の2つの実験を行った。

(1) 実験1

食紅を使用して横から流れを観察する。

- ① 容器に水 200 mL、食塩 2.6 g で作った食塩水を入れる。
- ② 水 2.0 mL に食紅の粉末 0.01 g を入れて溶かし、赤い液体を作る。以降、この液体を「食紅」と呼ぶ。
- ③ 食紅を 0.5 mL 取り、ピペットで食紅を水中に入れる。
- ④ 紐を引いて容器を傾け、その様子をiPhone12を使用して横から連写する。容器が傾くペースは $20^\circ / \text{s}$ になるようにする。

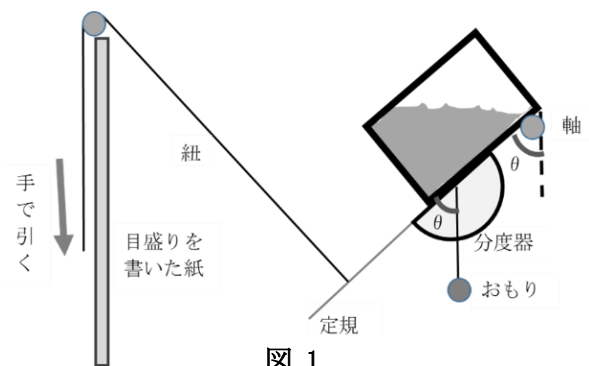


図 1

- ⑤ 水が流れ始める直前の画像とその 0.5 s 後の画像をExcelに取り込む。
- ⑥ 図2のように、⑤の2枚の画像から同じ食紅の塊の組を探して丸で囲み、それぞれの座標を読み取る。座標は図3のように取り、容器の直径を10目盛りとする。
- ⑦ ⑥で丸をつけた食紅の塊の組それぞれについて、0.5 s 間での移動距離（単位：目盛り）を求め、また食紅の移動を矢印で図示する。
- ⑧ 容器の飲み口付近に突起（大）をつけ、同様の実験を行う。

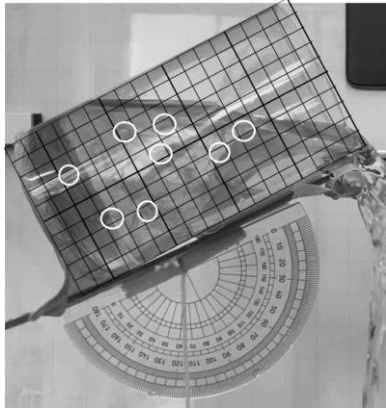


図 2

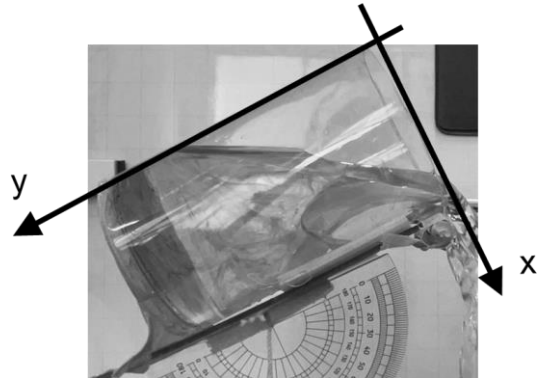


図 3

①で食塩水を使用した理由は、水道水に食紅を入れると密度の違いによって食紅が沈んでしまい、それでは水の流れを正確に知ることができないと考えたからだ。そこで 100 mL の水に 4.0 g、3.0 g、2.0 g、1.0 g の食塩をそれぞれ溶かした食塩水を作り、食紅を入れたところ、食塩が4.0 g、3.0 g、2.0 g のときは食紅が浮き、1.0 g のときは沈んだ。そこで食塩の量を 1.3 g にしたところ、短時間では浮いたり沈んだりしなかったため、実験 1 ではこの濃度の食塩水を水道水の代わりに用いることにした。食塩の密度を 2.16 g/cm^3 とすると、この食塩水の濃度は 1.28 %、密度は 1.0069 g/mL で、水 2.0 mL に加えたとき密度がこの値になる食紅の粉末の量は 0.014 g と計算される。

(2) 実験 2

アルミ粒を使用して表面の流れを観察する。

- ① 1 cm 角に切ったアルミホイルを丸め、アルミ粒を作る。
- ② 容器に水 200 mL を入れ、水面に①のアルミ粒を15個撒く。
- ③ 紐を引いて容器を傾け、その様子をiPhone12を使用して容器の中心の真上から連写する。容器が傾くペースは $20^\circ / \text{s}$ になるようにする。
- ④ 水が流れ出る直前の画像とその 0.5 s 後の画像をExcelに取り込む。
- ⑤ 図4のように、④の2枚の画像から同じアルミ粒の組を探して印をつけ、それぞれの座標を読み取る。座標は注ぎ口を原点とし、水が奥から手前に流れる位置に立ち水面を真上から見たとき、右方向を x 軸の正の方向、奥を y 軸の正の方向とし、容器の半径を5目盛りとする（図5）。
- ⑥ ⑤で印をつけたアルミ粒の組それぞれについて、0.5 s 間での移動距離（単位：目盛り）を求め、グラフに表す。
- ⑦ 容器の飲み口付近に2種類の突起をつけ、同様の実験を行う。

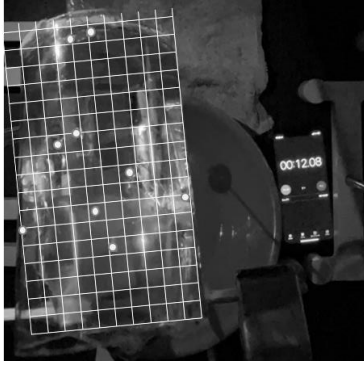


図 4

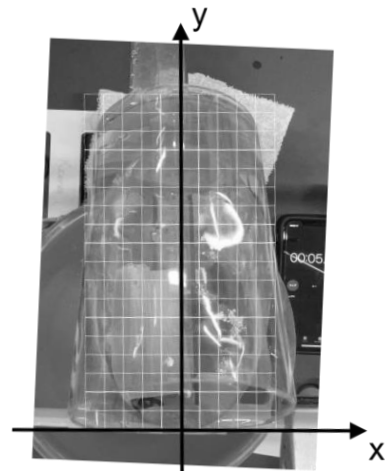


図 5

3. 実験結果

(1) 実験 1

図 6 において、矢印は水が容器から流れ出る直前とその 0.5 s 後の食紅の位置変化を、2本の直線はその2時刻における水面を表す。矢印の色は試行ごとに変えている。

突起の有無や水の注ぎ口からの距離、上層か下層かに関係なく、水は注ぎ口に向かって流れ、渦は見られなかった。突起がないときとあるときを比べると、上層の水の速さにはほとんど違いがないが、下層の水の流れは突起があるときの方がやや遅くなっていた。

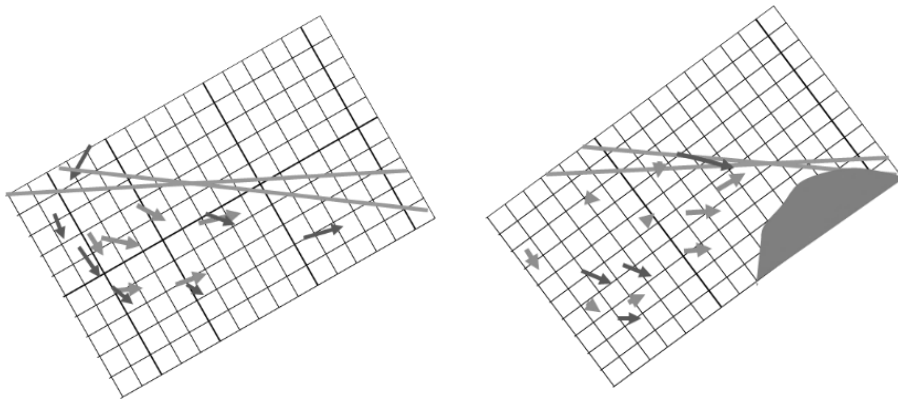


図 6 横から見た水流 (左: 突起なし 右: 突起 (大) あり)

(2) 実験 2

x の絶対値 $|x|$ 、 y と粒の 0.5 s での移動距離の関係は図 7 のようになった。突起 (大) があるときは突起 (小) のときや突起がないときに比べ、流れがやや速くなった。特に y が小さいとき、つまり注ぎ口近くでは、突起 (大) がある方がそのほかの場合より速く流れることが確認できた。突起 (大) の場合は注ぎ口近くの粒の 0.5 s での移動距離が大きく、計測できなかった。突起 (小) の場合は、流速は突起なしのときとほぼ同じか少し遅くなった。

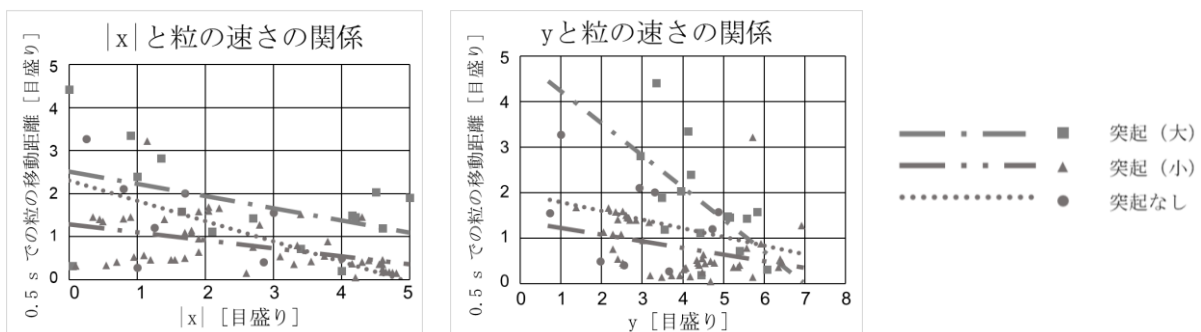


図 7 突起の有無・大小と表面流の関係

4. 考察

実験1で下層の水の流れが遅くなったのは、突起によって下層から水の注ぎ口に向かう流れが遮られたからと考えられる。

また実験2からは、大きな突起をつけた場合に表面の流れが速くなっていることがわかる。特に大きな突起をつけると、注ぎ口付近で流れが速くなる。これは突起によって、注ぎ口付近で水深が浅くなることと関連していると考えられる。

2つの実験から、大きな突起は下層の水の流れを抑え、表面の水が速く流れるようにするはたらきをしているといえる。しかし小さな突起の場合は突起なしの場合より水の流れが遅い傾向も見られた。この原因の1つは突起なしの場合の実験データが少なくデータに偏りがあること、もう1つは突起が小さく水流に与える影響が小さいことだと考える。

5. 今後の課題

試行回数が十分でなく、突起の大きさと流れの変化にはっきりとした関係を見出すことはできなかった。また食紅を用いた方法では細かい流れがよく観察できなかった。もっと細かい流れを分析できるよう、試行回数を増やす必要がある。

また、突起の大きさや傾けるペースは人が調整したため、実験ごとに少しの違いが出た。より精密で頑丈な装置作りが求められる。

この研究は容器の角度 θ がおおよそ 50° のときの水流についてのものだが、缶に入ったコーンスープを飲むときコーンが残るかどうかについては、 θ がおおよそ 90° のときの水流が大きく関係すると考える。コーンが残りにくい容器の形状を明らかにすることを目的とするならば、 θ が 90° に近いときの水流の観察が必要である。

6. 参考文献

明石光一郎, 「流体力学実験における流れの可視化」, 一般社団法人ターボ機械協会誌「ターボ機械」3巻3号p. 649-655, 日本工業出版社, 1975

有限会社坂根環境デザイン事務所, 「飲みやすい固形物入り飲料缶」, 特開2007-153441, 2007-6-21
種子田定俊, 「流体運動の可視化」, 公益社団法人高分子学会発行「高分子」22(5)p. 264-268, 1973