

PH004

スープを飲むとき急に冷たく感じるのは本当か？

～温度変化の少ないコップの開発～

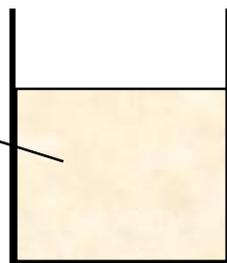
広島大学附属高等学校

川野舞奈 永田芙佳

予備実験 1 : コーンスープの温度が急に大きく下がるのは本当か？

方法

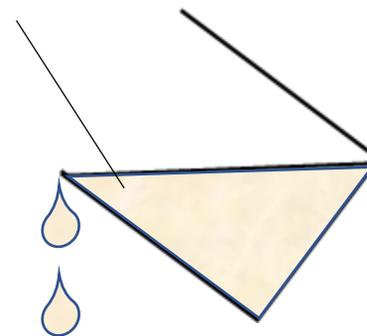
150mL, 約70°Cの
水
または
コーンスープ



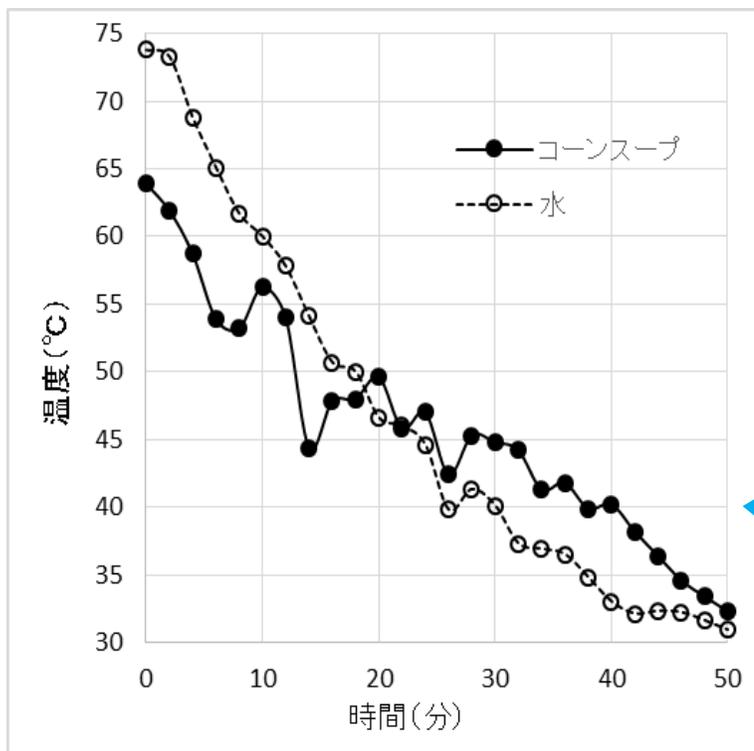
この場所をデジタル
温度計で測定



一定量(約10 g), 一定時間間隔
(2分) で手で流し出す。
(流し出しは4秒間) (50分間)

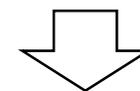


結果



水とコーンスープの冷却曲線

水の温度変化 → 時間の経過とともに単調に下がった
コーンスープの温度 → 上下を繰り返しながら下がった

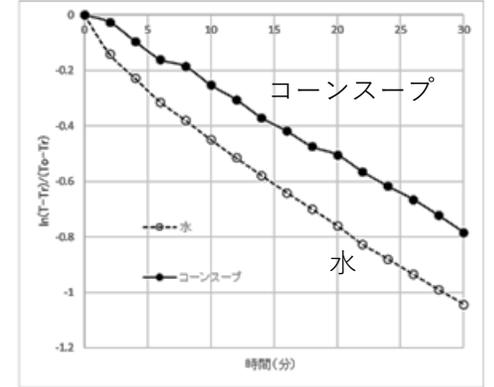


液体の性質が温度の上下の要因ではないか

予備実験 2:異なる種類の液体（水，牛乳，コーンスープ）では温度の下がり方が違っているのだろうか。

結果（中心付近を測定）

- ・水と牛乳ではほぼ等しい
- ・コーンスープはゆっくり冷却する



水とコーンスープの温度変化
(縦軸は対数)

予備実験 3:コーンスープ(粘性液体)の濃度の違いが温度変化に影響を与えるのか。

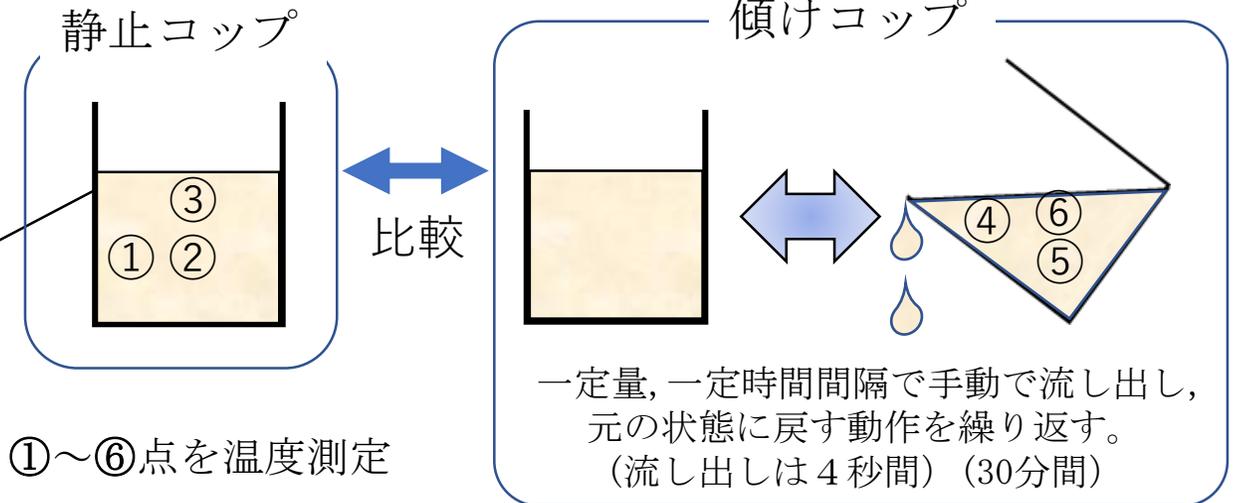
結果

粘性の違いが温度変化に与える影響はほとんどない
⇒今後の実験では粘性を濃度1倍に固定する

予備実験 4:コップ内の液体を「飲む」動きと同じ操作をしたとき，コップ内の液体はどのような温度変化をするのか。

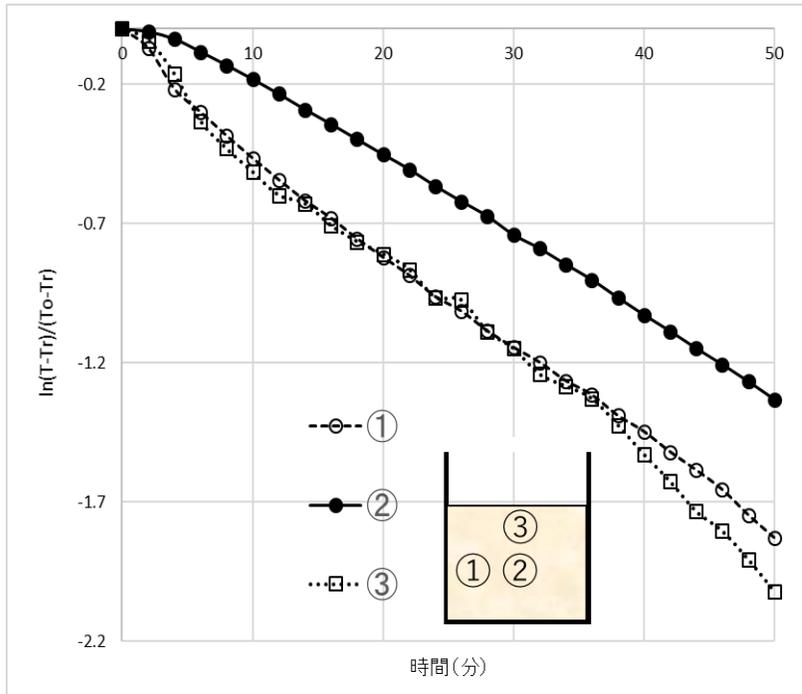
150mL, 約70~75°Cの水, 牛乳, コーンスープ

方法

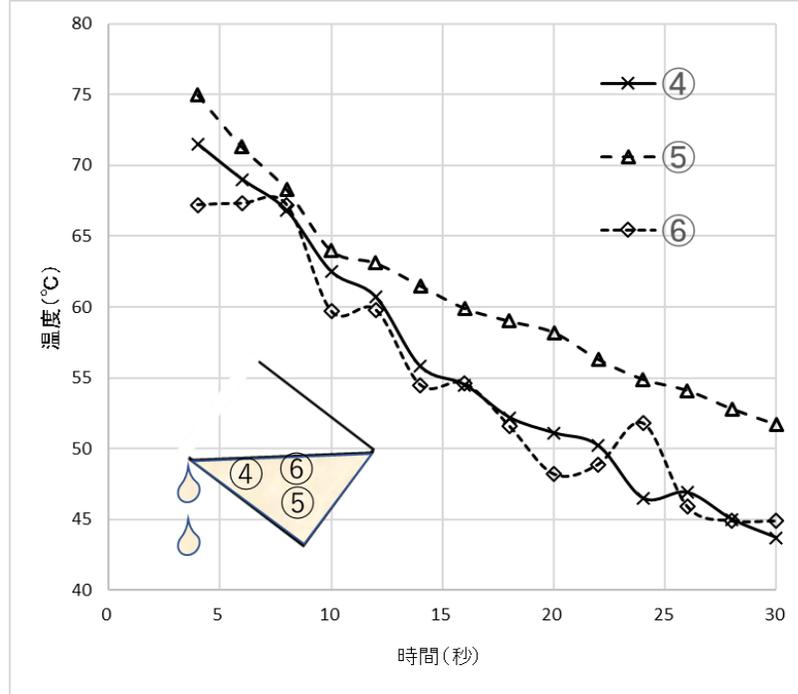


結果

液体の種類	「静止コップ」と「傾けコップ」の温度変化
水, 牛乳	どちらも違いはなかった
コーンスープ	測定点によって違いが生じた



「静止コップ」 (縦軸は対数)



「傾けコップ」

異なる箇所でのコーンスープの温度変化

予備実験 1～4 からわかったこと

傾ける操作 (今後「イベント」という) をするとき液体の温度が上下変化する現象は,

- ・コロイド (牛乳) 液体は影響を与えない
- ・粘性液体 (コーンスープ) が影響を与える
- ・粘性液体の表面の流れ出す挙動が影響を与えているのではないかと

実験方法の改良

①とろみ剤の使用

⇒とろみ剤（商品名「とろみエール」）で粘性を付けた水（粘性水）を使用することで、**粘性以外の条件を排除**

※250mlの水に2.5gのとろみ剤を加えた粘性水の濃度を「1倍」とする

②ガラス容器傾け装置の開発

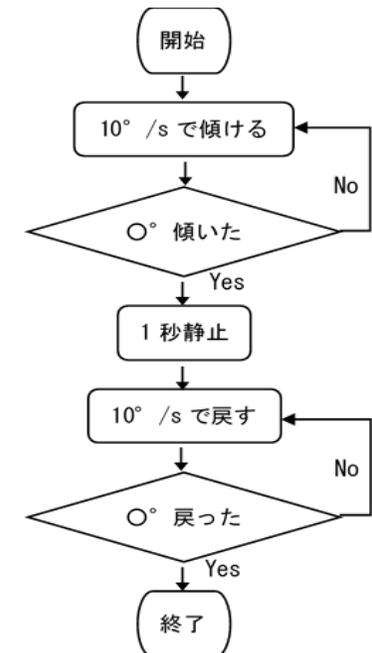
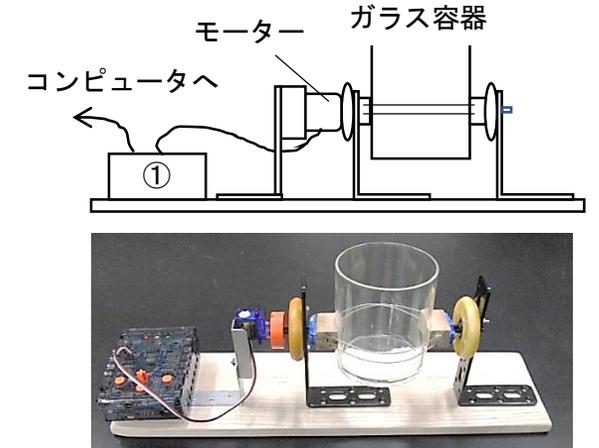
⇒プログラミング（S4A）を使用したコンピュータ制御装置の開発することで、**手動によるばらつきを排除**

③測定位置の固定

⇒アダプターをガラス容器上に取り付け、デジタル温度計のプローブ位置を固定することで、液体温度の**測定位置を常に固定**



温度測定アダプター

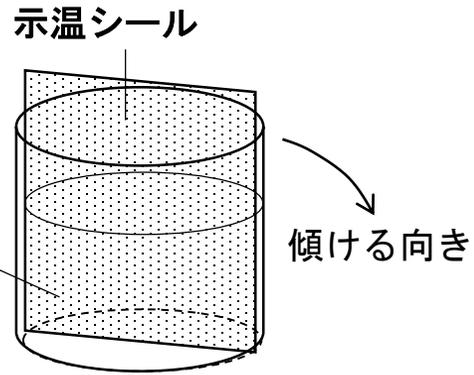


フローチャート

本実験 1 : ガラス容器内の液体の温度分布を測定する

方法

250ml, 約70°Cの
水
または
粘性水



※30°C (暗紫) → 45°C (紫) → 60°C (赤) → (白)

結果



(1)



(6)



(9)

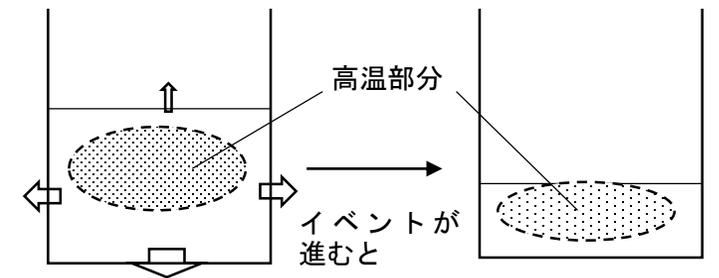


(11)



(16)

示温シールによる粘性水の温度分布の変化
() 内の数字はイベント数を示す



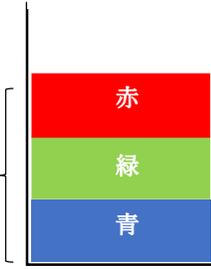
温度分布の変化と熱伝導の速さを示す概念図
(矢印の太さが熱伝導の速さを示す)

本実験 2 : 粘性水はガラス容器内のどの部分から流れ出ているのか

方法

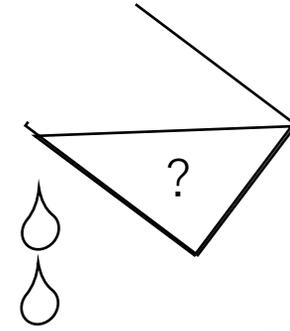
粘性水を3色に色分けし、しずかに流し入れる

粘性水の濃度を1倍、2倍、3倍に変える

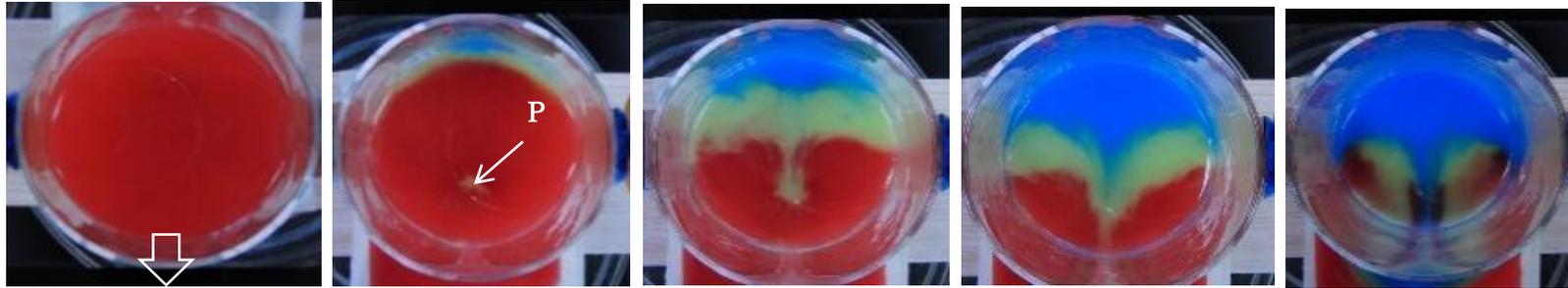


← →

一定量(約8g), 一定時間
間隔(1分)で流し出す。
(流し出しは1秒間)



結果



① (1) ② (6) ③ (11) ④ (16) ⑤ (21)

3色粘性水の動き (濃度2倍) (①中の矢印は流れ出る向きを示す。他も同様)

傾ける向き

点P

飲み口の温度が上下する原因

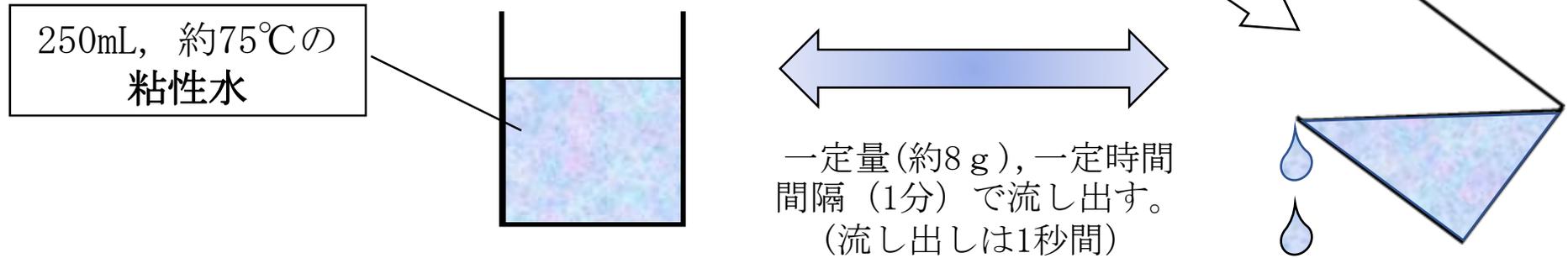
→ガラス容器内の異なる場所から集まった異なる温度の粘性水が点Pで合流する動きが原因ではないか?

疑問?

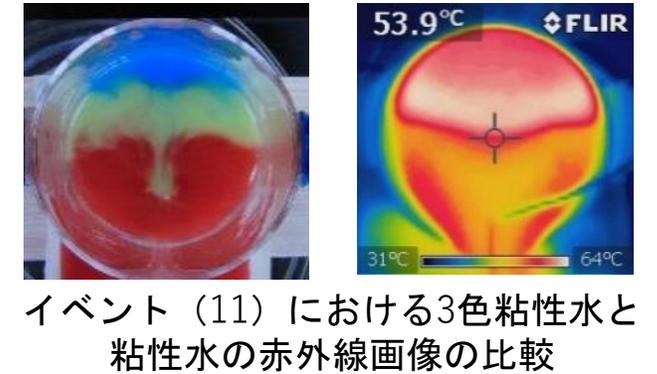
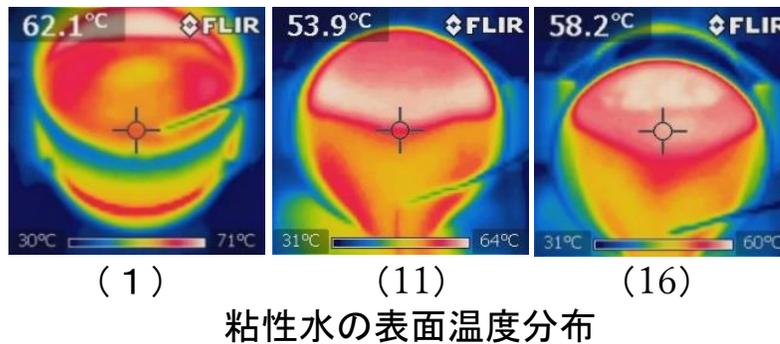
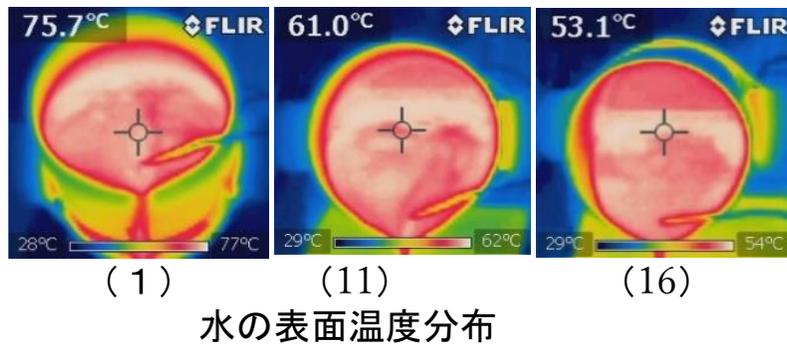
どの温度の粘性水がどのように合流し, 流れ出ているのか?

本実験 3 : 粘性水が流れ出るときの液面と飲み口の温度分布はどのようなになっているのか

方法



結果

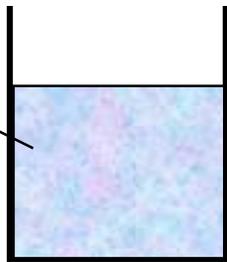


点Pで、ガラス容器内の異なる場所から集まった異なる温度の粘性水が合流し、それらの混合粘性水が流れ出ていることが確認できる。

本実験4：粘性水の液面（点P）と飲み口での温度変化のようすとの関係を調べる。

方法

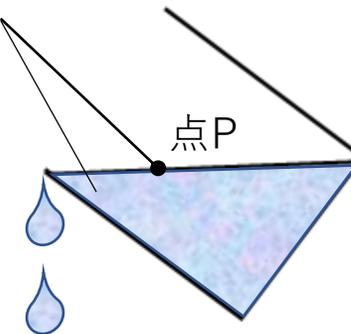
250mL, 約75°Cの粘性水



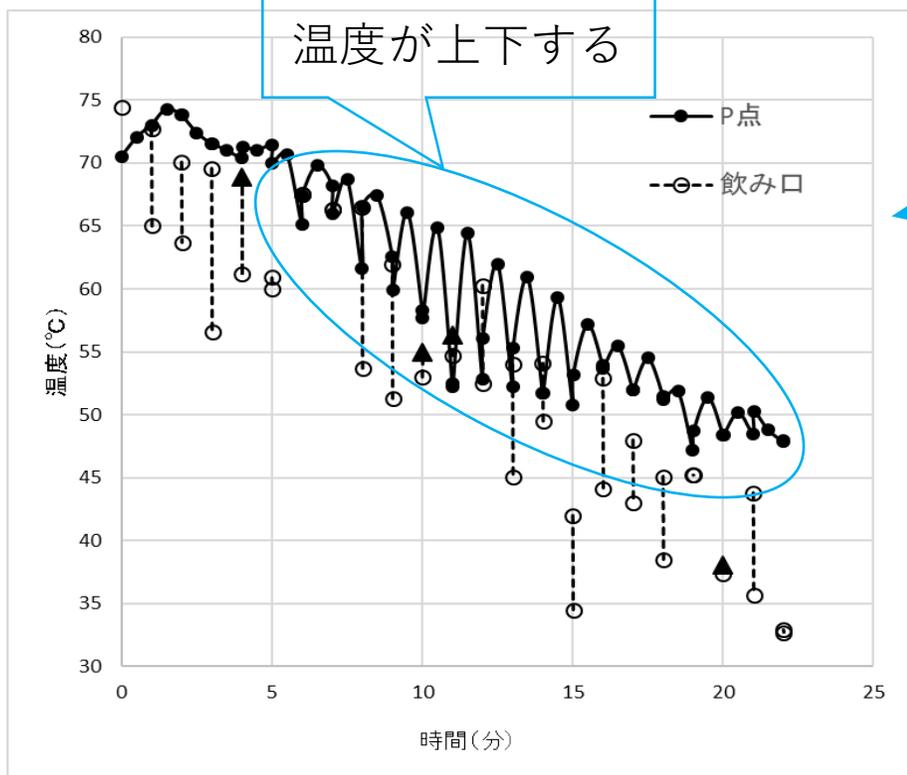
この場所をデジタル温度計で測定



一定量(約8g), 一定時間
間隔(1分)で流し出す。
(流し出しは1秒間)



結果



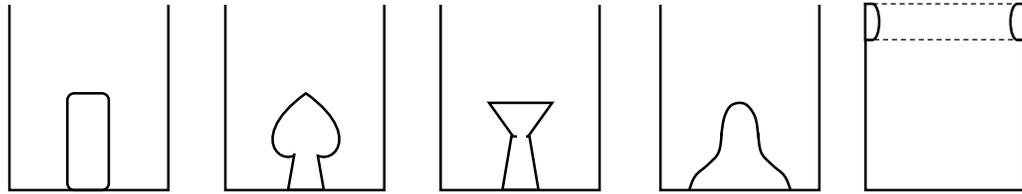
点Pと飲み口での温度変化

点Pの位置で、ガラス容器内の異なる場所から異なる温度の液体が合流している
⇒温度の上下が大きくなっている

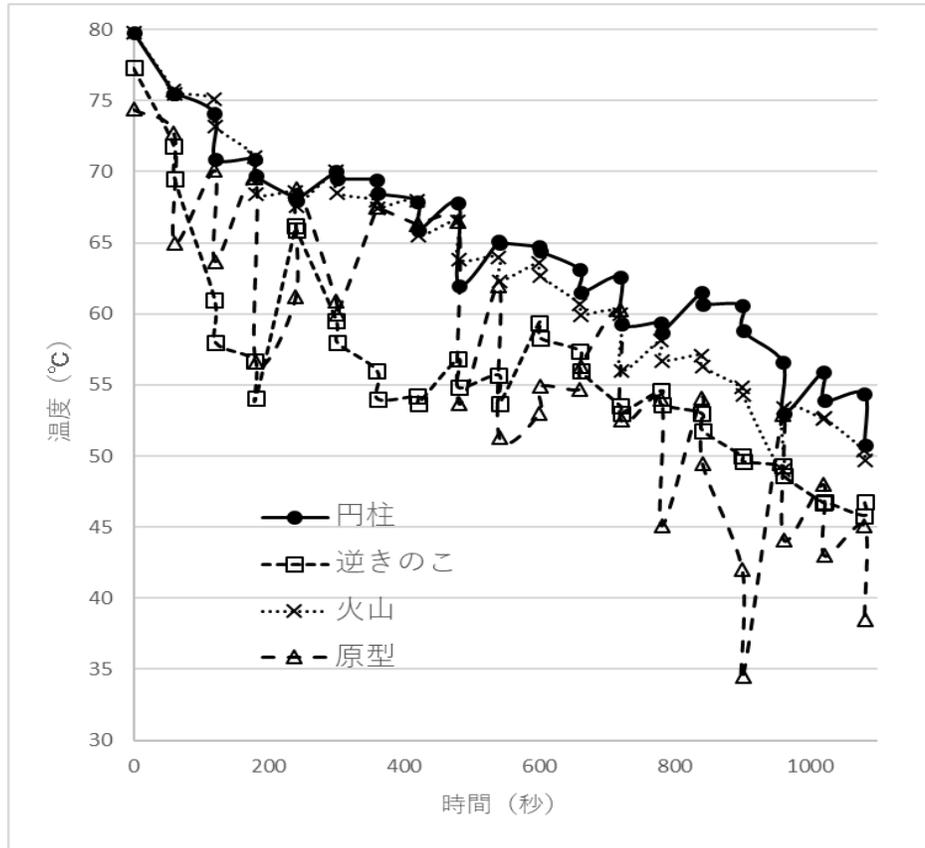
飲み口では、点Pの温度変化と類似している
⇒点Pで合流した温度の異なる液体がそのまま流れ出ている

実験のまとめ
ガラス容器が傾いて粘性水が流れ出るとき、ガラス容器内の異なる場所の異なる温度の粘性水は、液面のある点（点P）で合流・混合し、その後流れ出る。この現象は粘性が異なる場合でも同様の結果を示した。

改良型ガラス容器の考案と評価



(a)円柱モデル (b)きのこモデル (c)逆きのこモデル (d)火山モデル (e)壁モデル
改良型ガラス容器の断面図



改良型ガラス容器と原型の温度変化

改良型ガラス容器と原型のイベントごとの温度変化
(温度変化の大きさ: ■ 5°C以上, ■ 4°C以上5°C未満, ■ 3°C以4°C未満)

イベント数 時間 (秒)	円柱 ΔT 円柱	きのこ ΔT きのこ	逆きのこ ΔT 逆	火山 ΔT 火山	壁型 ΔT 壁型	原型 ΔT 原型						
1	75.5	68.1	71.8	75.7	75	72.7						
60-61	75.5	0	67.7	-0.4	69.5	-2.3	75.5	-0.2	74.5	-0.5	65	-7.7
2	74.1	-1.4	67.1	-0.6	61	-8.5	75.1	-0.4	73.1	-1.4	70.1	5.1
120-121	70.9	-3.2	65.9	-1.2	58	-3	73.2	-1.9	67.4	-5.7	63.7	-6.4
3	70.9	0	65.2	-0.7	56.7	-1.3	71	-2.2	70.9	3.5	69.6	5.9
180-181	69.7	-1.2	64.7	-0.5	54.1	-2.6	68.4	-2.6	66.3	-4.6	56.6	-13
4	68.1	-1.6	64.2	-0.5	66.2	12.1	68.6	0.2	65.6	-0.7	61.2	4.6
240-241	68	-0.1	62.4	-1.8	65.9	-0.3	67.6	-1	65.6	0	68.8	7.6
5	70	2	59.1	-3.3	59.5	-6.4	70	2.4	60.1	-5.5	60.9	-7.9
300-301	69.5	-0.5	56.2	-2.9	58	-1.5	68.5	-1.5	60.1	0	60	-0.9
6	69.4	-0.1	58.8	2.6	56	-2	68	-0.5	67	6.9	67.5	7.5
360-361	68.5	-0.9	58.6	-0.2	54	-2	67.4	-0.6	67	0	67.5	0
7	67.9	-0.6	59.6	1	54.2	0.2	68	0.6	66.1	-0.9	66.3	-1.2
420-421	65.9	-2	58	-1.6	53.7	-0.5	65.5	-2.5	66.1	0	66.3	0
8	67.8	1.9	56.4	-1.6	56.8	3.1	66.5	1	64.7	-1.4	66.5	0.2
480-481	62	-5.8	55.4	-1	54.8	-2	63.8	-2.7	59.7	-5	53.7	-12.8
9	65.1	3.1	58.5	3.1	55.7	0.9	64	0.2	63.3	3.6	62	8.3
540-541	65	-0.1	56.8	-1.7	53.7	-2	62.3	-1.7	60.7	-2.6	51.3	-10.7
10	64.7	-0.3	57.6	0.8	59.4	5.7	63.6	1.3	61.7	1	53	1.7
600-601	64.4	-0.3	54	-3.6	58.3	-1.1	62.7	-0.9	59.7	-2	54.9	1.9
11	63.1	-1.3	56.5	2.5	57.4	-0.9	60.7	-2	60.4	0.7	54.7	-0.2
660-661	61.5	-1.6	54.9	-1.6	56	-1.4	59.9	-0.8	59.3	-1.1	56.3	1.6
12	62.6	1.1	50.2	-4.7	53.5	-2.5	60	0.1	59.1	-0.2	60.3	4
720-721	59.3	-3.3	48.7	-1.5	53	-0.5	56	-4	58.7	-0.4	52.5	-7.8
13	59.4	0.1	51.6	2.9	54.6	1.6	58.1	2.1	56.5	-2.2	54	1.5
780-781	58.7	-0.7	48	-3.6	53.6	-1	56.7	-1.4	55.6	-0.9	45.1	-8.9
14	61.5	2.8	52.2	4.2	53	-0.6	57.1	0.4	56.2	0.6	54.1	9
840-841	60.7	-0.8	49	-3.2	51.8	-1.2	56.3	-0.8	56.2	0	49.5	-4.6
15	60.6	-0.1	48.9	-0.1	50	-1.8	54.8	-1.5	54.8	-1.4	42	-7.5
900-901	58.8	-1.8	47.1	-1.8	49.6	-0.4	54.3	-0.5	54.8	0	34.5	-7.5
16	56.6	-2.2	50.2	3.1	49.3	-0.3	49	-5.3	52.6	-2.2	52.9	18.4
960-961	53	-3.6	48	-2.2	48.6	-0.7	53.4	4.4	51.9	-0.7	44.1	-8.8
17	55.9	2.9	47.5	-0.5	46.7	-1.9	52.6	-0.8	52.1	0.2	48	3.9
1020-1021	53.9	-2	47.2	-0.3	46.8	0.1	52.7	0.1	49.9	-2.2	43	-5
18	54.4	0.5	46.8	-0.4	45.8	-1	50.4	-2.3	50.6	0.7	45.1	2.1
1080-1081	50.8	-3.6	43.2	-3.6	46.8	1	49.7	-0.7	49.5	-1.1	38.5	-6.6

	(a)円柱	(b)きのこ	(c)逆きのこ	(d)火山	(e)壁	原型
1 イベント平均	-0.70	-0.61	-0.72	-0.72	-0.90	-0.76
標準偏差	1.88	2.19	3.12	1.75	2.18	7.05

改良型ガラス容器の温度変化の1イベント平均 (°C), および標準偏差

評価実験：円柱モデルの評価

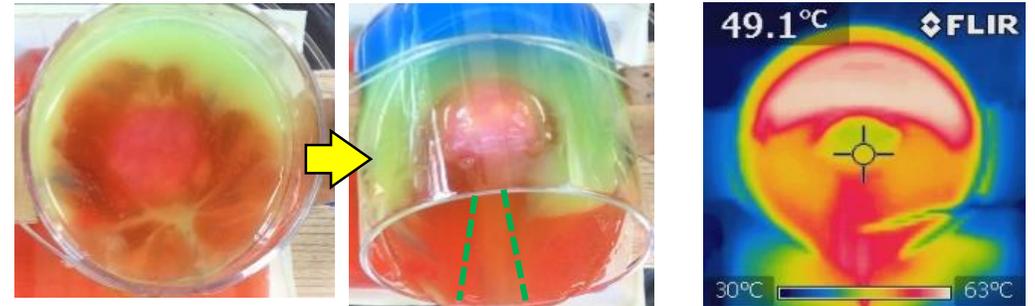
方法 3色粘性水を用いた評価，熱画像カメラによる評価を行う

結果

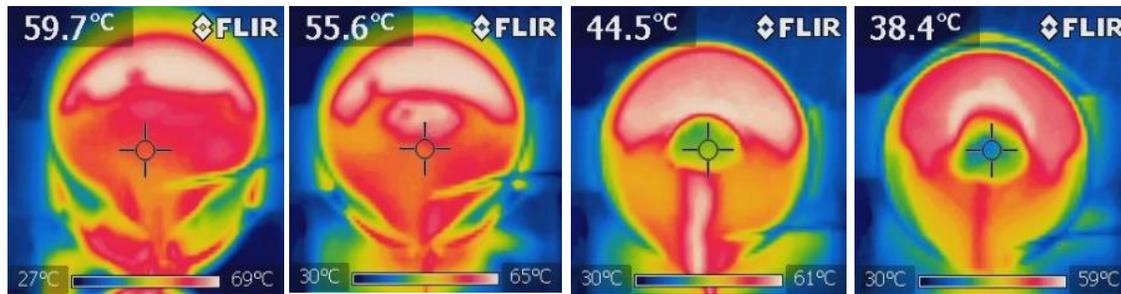


3色粘性水の動き（図中矢印の方向が流れ出る向き）

はっきりとした点Pが消滅している



イベント(9)における3色粘性水と粘性水の赤外線画像の比較



(1)

(6)

(11)

(16)

赤外線画像

異なる温度の粘性水は合流せずに流れ出ている

(a) 円柱モデルが粘性液体の温度の上下を防ぐ効果がある

今後の課題

より温度が安定するコップを開発する

展望

- ①嚥下機能の低い方が液体に粘性をつけて飲むとき、温度が上下する危険性を抑えることが期待される
- ②粘性液体を流し出す操作が必要とされる過程への応用
(例) ・ 温度コントロールの必要な薬品の合成
・ 融解した金属の流し出し
・ 料理

薬品の合成¹⁾



融解した金属の流し出し²⁾



料理³⁾



引用・参考文献

後藤憲一，伊佐雄，藤井盛澄，宮垣盛男，國友正和共著 基礎物理学 I ,共立出版,1984,p.142-143

1) https://www.freepik.com/premium-photo/test-tubes-with-colorful-chemicals-close-up-laboratory_5778053.htm

2) <https://www.japanmetal.com/news-t2016110770479.html>

3) <https://www.ikashiya.com/entry/tempering>