

お湯の自然冷却～ニュートンの冷却の法則による近似～

高知県立高知西高等学校
物理教諭 北岡 和樹

要旨

カップに入ったお湯を室内に置いておくと、お湯はやがて冷め、常温の水になる。本稿では、温度センサを用いて、お湯が冷める様子の温度-時間グラフを測定した。参考文献(1)によると、お湯の冷め方はニュートンの冷却の法則によって説明することができる。そこで、測定したデータをニュートンの冷却の法則の式を用いて近似した。

1. Introduction 序論

お湯の冷め方は一次関数で表すことはできない。参考文献(1)によると、お湯の冷め方は、ニュートンの冷却の法則で説明することができる。ニュートンの冷却の法則は、「物体が放射によって失う熱量は、その物体と周囲との温度差に比例する。」という法則である。このとき、最初のお湯の温度を T_0 、室温を T_e 、物質の熱容量や表面の状態・広さで決まる比例定数を k とすると、 t [s]後の温度 $T(t)$ は、

$$T(t) = (T_0 - T_e)e^{-kt} + T_e \quad \dots \text{①}$$

という式で与えられる。¹⁾ 今回はこの式を用いて、測定データを近似した。

2. Research question

「お湯の冷め方はどのような関数で説明することができるのだろうか。」

3. apparatus

- 断熱カップ (かき氷用のカップ, 直径 9.3 mm) × 2
- 水道水 (適量)
- ワイヤレス温度センサ PS-3201 (株式会社 島津理化)
- PC (測定用)
- Capstone (PC ソフト)

4. Method

- ① 断熱カップにお湯を適量入れた。
- ② ワイヤレス温度センサを用いて、お湯の温度の時間変化を測定。
* ワイヤレス温度センサは 2 Hz に設定。
- ③ Capstone のデータをエクスポートし、エクセルでデータ処理。
- ④ ニュートンの冷却の法則の理論式 (式①) を近似。
* エクセルのソルバー機能を使って、測定値と理論値の二乗誤差の和を最小化となるよう比例定数 k を決定。

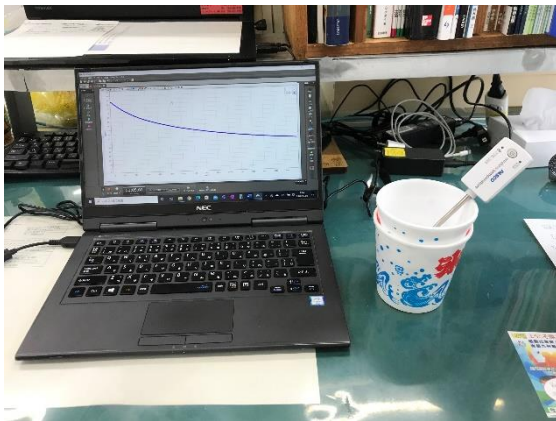


図 1 : 測定の様子①



図 2 : 測定の様子②

5. Data collection & processing

5. 1 実験データ・データ処理

① 実験日・実験場所・実験条件

2020年9月2日・高知県立高知西高等学校・冷房 26 °C 設定

② 測定データ・データ処理

T_0 (最初のお湯の温度) 83 °C , T_e (室温) 27 °C

	A	B	C	D	E	F	G
1	時間 (s) 計測#1	温度 (° C) 計測#1	理論値	誤差	二乗誤差の和		パラメータ
2	0	82.9	83	-0.1	34381.71739	k	-0.0006596
3	0.5	83	82.98154	0.018465		T0 : 初期温度	83
4	1	83	82.96308	0.036924		Te : 室温	27
5	1.5	83.1	82.94462	0.155376		e^k : 設定値	0.9993406
6	2	83.1	82.92618	0.173823			
7	2.5	83.1	82.90774	0.192263			
8	3	83.1	82.8893	0.210698			
9	3.5	83.2	82.87087	0.329126			
10	4	83.2	82.85245	0.347548			
11	4.5	83.2	82.83404	0.365965			
12	5	83.2	82.81563	0.384375			
13	5.5	83.2	82.79722	0.402779			
14	6	83.2	82.77882	0.421177			
15	6.5	83.2	82.76043	0.439569			
16	7	83.1	82.74205	0.357955			
17	7.5	83.1	82.72367	0.376334			

図 3 : 測定データ (一部) とデータ処理

③ 測定データとニュートンの冷却の法則による近似（グラフ）

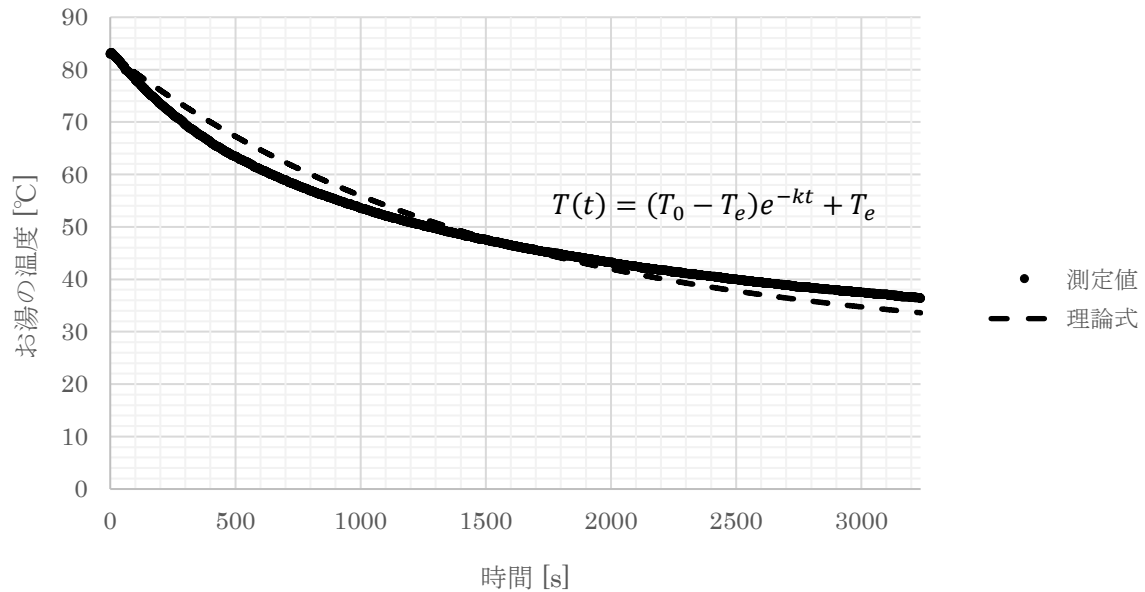


図 4：お湯の自然冷却（ニュートンの冷却の法則による近似）

5. 2 考察・評価・今後の課題

図 4 より，お湯の自然冷却はニュートンの冷却の法則により近似できることがわかった。しかし，測定データと理論値との差については評価できていない。

今後の課題としては，式①における比例定数 k が何によって決まるのか，また各変数によってどのように変化するかを調べる必要がある。変数の候補としては，液体の種類，液体の質量，カップの表面積，液体の体積が考えられる。

6. Conclusion 結論

今回の実験結果から，お湯の自然冷却はニュートンの冷却の法則によって説明できることがわかった。しかし，冷却速度を決定する要因は，今後の課題である。

7. 参考文献

- 1) 太田敏之，お湯の冷める実験，< <http://www7b.biglobe.ne.jp/~math-tota/su2/hotwater.htm> >，参照日 2020 年 9 月 2 日。