

水の過冷却と脱出後の温度上昇について

熊本県立八代工業高等学校 理科研究班 1年 米岡紗菜

2年 水田映莉香、海野琴音、松本沙樹

1. 研究の動機

私たちは授業で「寒剤と過冷却～水が凍る瞬間を見よう～」の実験を行った。

○実験の方法

- ①ビーカーに氷を入れ、食塩を加え寒剤をつくる。
- ②水を入れた試験管を、氷を入れたビーカーに入れる。
- ③試験管を回転させ、試験管内の水を均等に冷やす。
- ④試験管内が -2°C 以下に下がったら凍っていないのを確認する。
- ⑤試験管に衝撃を与え、試験管内が凍る様子を観察する。
- ⑥衝撃を与えた直後から温度が上昇し（過冷却脱出）、一旦上昇が止まった温度を確認する。



○実験の結果

凍る瞬間が観察できた。衝撃後過冷却からの脱出が始まり温度が上昇し、一旦止まる時の温度は、 1°C ～ 2°C での停止が多かった。

○この結果で不思議に思ったこと

衝撃後の温度上昇は 0°C で一旦停止すると思っていた。しかし衝撃後の温度上昇は 0°C より高かった。なぜ 0°C より高いのか？

○予想

- ①水の密度は 4°C が一番大きいので、温度計の位置が関係。
- ②液体が固体に変わる時に発生する凝固熱ではないか。

2. 予想の検証実験

実験の手順は授業でおこなった上記のやり方と同じであるが、右図のように

試験管の底から水面までの長さ：a

試験管の底から温度計先端までの長さ：b

過冷却温度（衝撃前温度）：c
を変えて実験をおこない、衝撃後の温度（停止時間が最も長い時）、温度停止時間を記録した。

条件 a：3cm～8cm、b：1cm～7cm

(a=bはおこなわない)

温度計 温度計はガラス面に触れない、試験管の中央で測定する。

補正 20個の温度計で、最も多かった温度の温度計を使用。

(氷が溶け出す 0°C が分からなかった)



3. 検証実験の結果

No	a	b	衝撃前温度	衝撃後温度	停止時間s	底からの割合
1	3.0	1.0	-2.4	1.6	40	33
2	3.0	1.0	-4.5	1.6	45	33
3	3.0	2.0	-4.5	1.9	29	67
4	3.0	2.0	-3.2	1.9	30	67
5	3.0	2.0	-2.9	1.9	16	67
6	3.0	1.0	-3.7	1.6	35	33
7	4.0	1.0	-4.4	1.6	36	25
8	4.0	1.0	-3.2	2.4	30	25
9	4.0	2.0	-6.1	1.9	102	50
10	4.0	2.0	-4.5	1.6	51	50
11	4.0	3.0	-3.7	1.9	29	75
12	4.0	3.0	-2.1	1.9	25	75
13	5.0	1.0	-4.8	1.6	222	20
14	5.0	2.0	-3.2	1.6	115	40
15	5.0	3.0	-1.6	1.9	58	60
16	5.0	4.0	-2.1	1.9	19	80
17	5.0	2.0	-3.2	1.6	65	40
18	5.0	4.0	-4.8	1.9	19	80
19	5.0	3.0	-1.3	1.9	68	60
20	5.0	1.0	-1.3	1.6	16	20
21	5.0	2.0	-1.3	1.6	42	40
22	5.0	3.0	-8.8	1.9	84	60
23	5.0	4.0	-6.1	2.0	21	80
24	5.0	4.0	-3.2	2.0	21	80
25	5.0	2.0	-3.7	1.6	75	40
26	6.0	1.0	-1.6	1.6	60	17
27	6.0	2.0	-6.9	1.6	85	33
28	6.0	3.0	-6.4	1.9	51	50
29	6.0	4.0	-5.3	2.0	78	67
30	6.0	5.0	-6.4	1.9	19	83
31	6.0	2.0	-0.2	1.6	41	33
32	6.0	1.0	-2.9	1.6	75	17

黄色は衝撃前温度が低いデータ

No	a	b	衝撃前温度	衝撃後温度	停止時間s	底からの割合
33	6.0	2.0	-4.4	1.6	63	33
34	6.0	3.0	-3.7	1.6	35	50
35	6.0	4.0	-2.8	1.9	45	67
36	6.0	5.0	-6.4	2.2	18	83
37	6.0	3.0	-6.1	1.9	118	50
38	6.0	5.0	-4.4	2.6	51	83
39	7.0	1.0	-6.0	1.6	119	14
40	7.0	2.0	-3.7	1.6	59	29
41	7.0	3.0	-1.3	1.6	17	43
42	7.0	4.0	-7.7	1.9	84	57
43	7.0	5.0	-6.0	1.9	35	71
44	7.0	6.0	-3.7	2.8	48	86
45	7.0	1.0	-0.8	1.6	135	14
46	7.0	2.0	-6.0	1.6	167	29
47	7.0	3.0	-2.8	2.6	32	43
48	7.0	4.0	-8.8	1.9	153	57
49	7.0	5.0	-4.4	2.0	111	71
50	7.0	6.0	-3.7	2.0	12	86
51	7.0	6.0	0.0	3.4	22	86
52	8.0	1.0	-0.8	1.6	85	13
53	8.0	2.0	-4.4	1.6	97	25
54	8.0	3.0	-1.2	1.6	38	38
55	8.0	4.0	-4.8	1.6	155	50
56	8.0	5.0	-7.6	1.9	70	63
57	8.0	6.0	-3.2	2.0	43	75
58	8.0	7.0	-4.8	2.8	38	88
59	8.0	1.0	-2.8	1.6	41	13
60	8.0	2.0	-1.6	1.6	217	25
61	8.0	3.0	-1.6	1.9	39	38
62	8.0	4.0	-4.4	1.6	39	50
63	8.0	5.0	-4.5	1.6	35	63
64	8.0	6.0	-1.0	1.9	21	75
65	8.0	7.0	-1.2	2.0	9	88

(1) 温度計の位置との関係 (グラフ1)

この結果から、温度計の位置が、

- ①底からの割合で50%以下では 1.6°C が多く、50%以上では 1.9°C が多かった。
- ②割合が高いと（水面に近づく）と 2.0°C 以上も増えてくるが値バラツキも多い。

③過冷却脱出後（衝撃後）の温度は、水面に近づくにつれて、高くなるようだ。

④予想では水面近くが 0°C 、試験管の底が 4°C と予想したが、全く逆の結果となった。

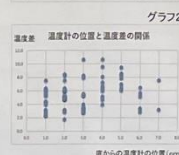
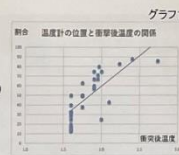
(2) 凝固熱（温度差）の関係

65回の測定データから、衝突前温度が最も低かったのは、 -8.8°C

その時の過冷却脱出後の温度は、 1.9°C

温度差、 10.7°C が最も大きかった。

しかし、温度差と温度計の位置や温度差と水の量（重さ）に関係性は見られなかった。(グラフ2)



○今回予想した、

- ①水面からの温度計の位置、
- ②凝固熱の関係は、今回の実験では検証できなかった。

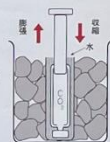
4. 発展、ちょっと挑戦

今回の実験で過冷却により水の温度が -8.8°C まで下がった。また過冷却脱出後の温度は数秒で 1.9°C まで上昇した。この差、約 10°C を運動に変換できないかと考えた。

【方法】

500mLビーカーに氷と大さじ5杯の食塩を入れ寒剤を作り、二酸化炭素を入れた注射器を、水を満たした容器に入れ、右図のように寒剤の中に入れる。

(注射器シリンダー：内径1.4cm 高さ8.5cm)

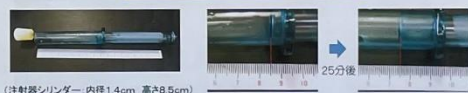


【結果】

寒剤は -15°C まで下がり、高さが7.5cmとなった。

冷却前の体積： $0.7 \times 0.7 \times 3.14 \times 8.5 = 13.08\text{mL}$
冷却後の体積： $0.7 \times 0.7 \times 3.14 \times 7.5 = 11.54\text{mL}$

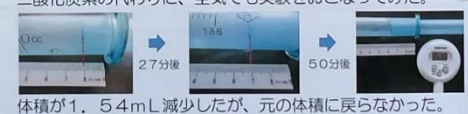
体積が1.54mL減少



しかし過冷却脱出後も体積は減少したままだった。原因は過冷却脱出後も注射器の周りが凍っていた。注射器を取り出すと徐々に元の高さまで戻った。

【比較】

二酸化炭素の代わりに、空気でも実験をおこなってみた。



体積が1.54mL減少したが、元の体積に戻らなかった。

5. 研究のまとめと考察

今回の実験では、過冷却脱出後の温度がなぜ 0°C よりも高くなるのか、検証できなかった。原因は、

実験装置が小さく、細かな温度分布のデータがとれなかったのではと考えている。しかし、容器を大きくすると容器内の冷却温度に差が発生する。容器内の温度計は 0°C 以上なのに容器内の水が凍っていることがあった。今後は攪拌をしながら過冷却状態をつくることも検討している。

今後は過冷却脱出後の温度差 10°C を利用した、

体積の減少→体積回復→体積の減少

のサイクルを連続して行えるような研究をしていきたいと思う。改善点として下図のような三層構造や凍らない液体、膨張収縮しやすい気体または液体などを検討している。



また二つの異なる金属をつないで、金属に温度差を与えると電流が流れる、ゼーベック効果についても研究し、電気エネルギーへの変換にも取り組みたいと思う。

【参考文献】 三省堂・化学Ⅰ・Ⅱ新研究、実教出版・化学総合資料