

4063/e

凍らせたジュースのおいしい飲み方

～ 溶解・冷却時間と凝固点降下から考える～

慶徳義塾湘南藤沢中等部

3年 宮内 唯衣

1. はじめに

夏、プールや海に行く際、私はペットボトルに入ったジュースを凍らせて持っていくことが多い。水筒に比べて軽く、また捨てられるため便利である。

しかし、溶けたところから飲んでいくと、最初は口侯が痛くなるくらい甘く、最後の方はほぼ味を感じない。

その理由を探ると共に、最後までおいしく飲む方法を考えた。

2. 実験とその結果

2-1 加熱



↑ 実験道具

実験道具：塩分計、糖度計、紙コップ、ストロー、ボール、各種溶液、ストップウォッチ、計量カップ

① 紙コップ、各種溶液は、実験毎に数や種類が異なるため、実験毎に記載。
※ 塩分、糖度計は Amzdeal 社のものを使用。

最初甘くて、最後水っぽいのは、凍っていたところが溶ける、つまり加熱の時に走っている現象である。

まずは、それを実際に表現し、どれくらいの差が生じているのかを試みる。

実験方法：① 実験前に温度と湿度を確認し、毎回同じところで行う。

1. 溶液の塩分濃度、糖度を塩分計・糖度計で測る。(計測器の目盛りを読みとる)
2. 溶液を容器に入れたまま冷凍庫に入れて、完全に凍らせる。この時途中で冷凍庫を開けない。
3. 凍たら、外に出し、溶けるのを待つ。ストップウォッチをスタートする。
4. 3で冷凍庫から出してから、30分がたったら(ストップウォッチ)、その時点で溶けている分だけ紙コップに入れる。
5. 4で紙コップに入れた液体の塩分濃度と糖度を測る。
6. 計量カップでその液体の量を測る。
7. これ以後、30分ごと(2から60, 90, 120...)に3〜5を容器内の氷が溶けきるまで繰り返す。
8. 最後に、全ての紙コップの液をボールに入れ、混ぜた上で、もう一度塩分、糖度を測る。

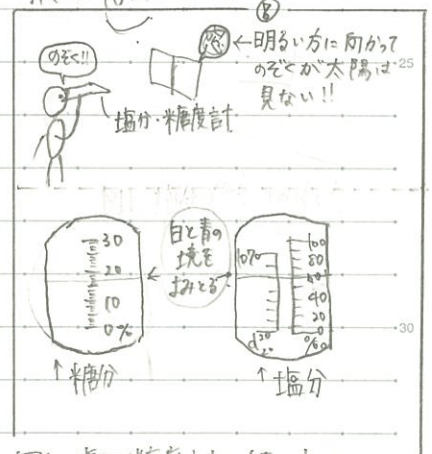
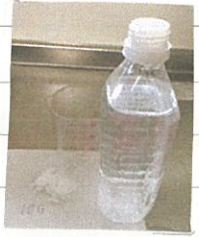


図1: 塩分・糖度計の使い方

※ 塩分濃度は $\frac{\text{パーセント}}{100}$ 表示なので $\times \frac{1}{10}$ して、 $\frac{\text{パーセント}}{10}$ 表記で以後書くこととする。

2-1-① 甘みだけが先に味が濃くなる原因は何なのか？

○ 食塩水 (10.0g / 500ml 食塩) を PETボトルに入れて凍らせ、溶け出しを見る。



結果

時間 (分)	量 (ml)	塩分 (%)	120	72.0	0.9	240	39.0	0.0
30	53.2	3.5	150	105.4	0.4	260	8.5	0以下
60	62.3	2.4	180	58.5	0.0			
90	44.0	1.9	210	63.2	0.0			

全体 ... 比重 1.015 / 20 → 2.0%

表1: 食塩水の溶け出し (30分ごとの塩分濃度と溶け出した量)

塩分のところを見ると、30分後は最初よりも濃く、最後になると、0.0以下で、水と同じになっていた。

○ よって、糖みだけが原因ではなく、塩分でも同じような現象が起る。

② 色々なものでやってみるとどうなるのか？



2-1-② 色々な種類の飲料でやるとどうなるのか？

- ① 果汁100%オレンジジュース ② 果汁25%オレンジジュース ③ スポーツ飲料 (Aquarius) ④ 乳酸菌飲料 (カルピス)

結果

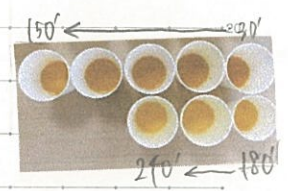
①~④をPETボトルに入れて凍らせ、溶け出しを見る。

① 全体 = 糖度 11.10% 塩分濃度 9.3%

時間 (分)	30	60	90	120	150	180	210	240
溶け出し量 (ml)	28.0	50.5	46.2	57.3	52.0	47.4	44.8	23.8
糖度 (%)	20.28	16.00	13.07	9.98	8.90	6.62	3.32	1.62
塩分濃度 (%)	—	—	—	7.6	7.5	5.2	2.3	1.1

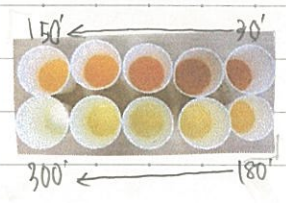


白みがかつた黄色いものは味が薄い。果実の残渣と考えられる。



② 全体 = 糖度 9.98% 塩分濃度 8.2%

時間 (分)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
溶け出し量 (ml)	46.0	91.6	75.0	62.0	65.0	52.4	45.5	36.5	22.5	3.5
糖度 (%)	19.32	15.58	12.10	9.78	6.22	3.80	2.40	1.42	0.32	0.00
塩分濃度 (%)	—	—	9.7	7.8	5.2	3.8	1.8	1.7	0.0	0以下



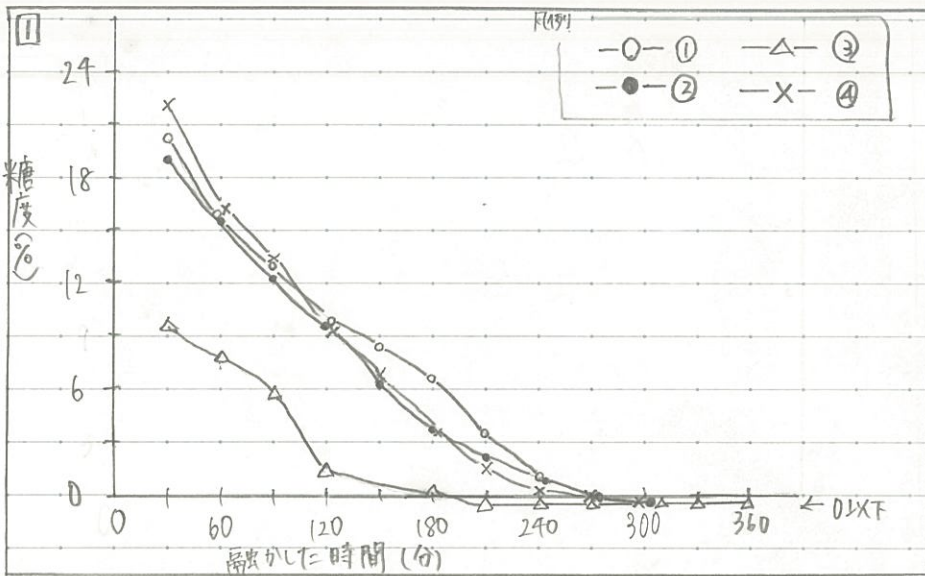
③ 全体 = 糖度 3.50% 塩分濃度 2.8%

時間 (分)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
溶け出し量 (ml)	38.4	87.7	56.5	50.0	57.7	42.2	48.7	40.0	23.5	28.0	18.5	12.3
糖度 (%)	10.92	7.90	5.30	3.84	2.00	0.71	0.01	0以下	0以下	0以下	0以下	0以下
塩分濃度 (%)	9.3	6.3	5.7	2.9	1.5	0.2	0以下	0以下	0以下	0以下	0以下	0以下

④ 全体 = 糖度 10.1% 塩分濃度 8.7%

時間(分)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
融け出した量(ml)	63.2	96.0	69.8	64.0	73.2	60.3	49.2	30.5	17.0	6.2
糖度 (%)	22.30	16.15	13.41	9.45	6.80	3.50	1.60	0.60	0.00	0以下
塩分濃度 (%)	—	—	—	7.7	5.5	2.6	1.0	0.2	0以下	0以下

表2: 様々な溶液をペットボトルに入れた時の融け方 (-は10%以上で測定不能)



①より、

全ての溶液において、融け出す時間が短いほど糖度が濃く、長いほど薄くなる。

実験より



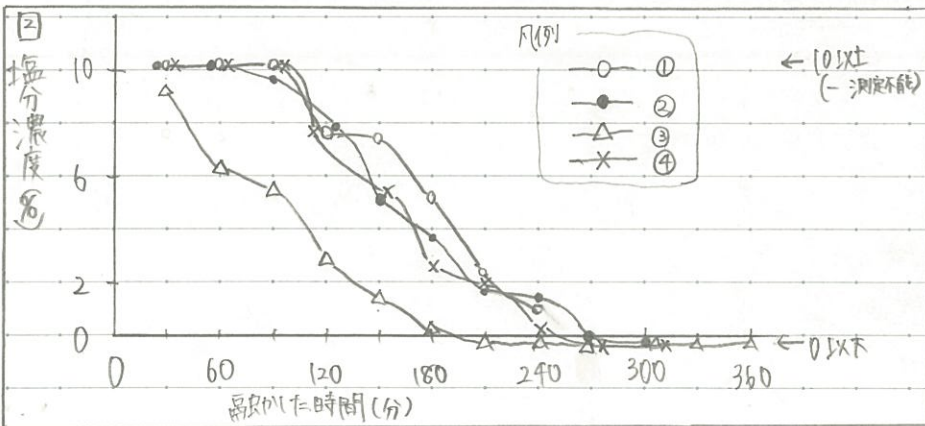
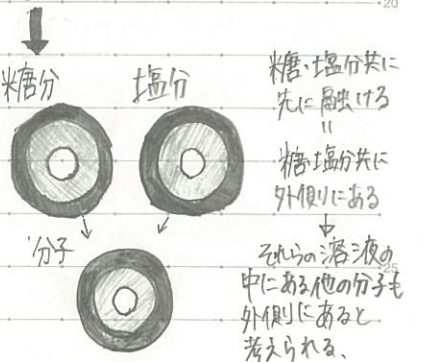
ペットボトルの中に氷の柱が出てきて、それがじじじ細くなっていくように溶ける。

→ 融ける時、外から中心へ 侵食するように溶けていく。



②より

全ての溶液において、融け出す時間が短いほど塩分濃度が高く、長くなるほど低くなる。



グラフ1 ① 融け出した時間と溶液の糖度の推移

② 融け出した時間と溶液の塩分濃度の推移

① これは容器の断面が丸く、円柱状になっている。ペットボトルが原因なのか。

2-1-② 他の容器で行うとどうなるのか?

○ 2-1-① で使った ②~④ の溶液をパウチ、コップに入れて凍らせ融け方を見る。



結果

② パウチ (300ml)

時間(分)	30	60	90	120	150
溶け出した量(ml)	36.5	64.0	107.9	78.2	25.4
糖度(%)	21.00	6.20	9.84	6.60	4.91
塩分濃度(%)	8.7	8.3	8.0	5.5	3.4

② コップ (330ml)

時間(分)	30	60	90	120	150	180
溶け出した量(ml)	66.0	63.4	78.2	61.9	33.0	11.3
糖度(%)	22.00	15.10	5.22	1.23	0.00	0以下
塩分濃度(%)	—	—	4.0	0.8	0以下	0以下

③ パウチ (300ml)

時間(分)	30	60	90	120	150	180	210	240	270
溶け出した量(ml)	39.0	35.0	48.0	29.0	30.5	36.0	29.5	30.0	23.0
糖度(%)	10.00	8.92	4.30	2.65	2.20	0.14	0.00	0以下	0以下
塩分濃度(%)	8.3	6.7	3.0	2.7	1.5	0.2	0以下	0以下	0以下

③ コップ (330ml)

時間(分)	30	60	90	120	150	180	210
溶け出した量(ml)	36.5	65.9	73.2	58.0	63.8	21.3	15.7
糖度(%)	14.4	5.00	3.10	1.22	0以下	0以下	0以下
塩分濃度(%)	—	4.2	2.0	0.7	0以下	0以下	0以下

④ パウチ

時間(分)	30	60	90	120	150	180
溶け出した量(ml)	42.0	67.0	61.3	65.7	45.0	9.0
糖度(%)	18.80	14.60	10.22	6.14	2.60	0.80
塩分濃度(%)	—	—	8.1	4.8	2.5	0.6

④ コップ (330ml)

時間(分)	30	60	90	120	150	180
溶け出した量(ml)	42.0	75.2	69.5	65.0	44.7	17.0
糖度(%)	22.40	17.00	8.42	2.25	0.00	0以下
塩分濃度(%)	—	—	7.4	1.5	0以下	0以下

表3: 容器を変えて凍らせたものを溶かした時の溶け方。(—は10%以下で測定不能)

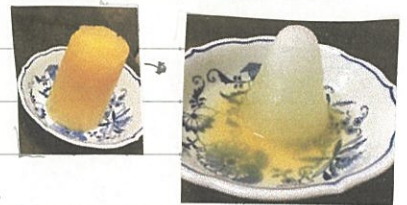
◎ 数値を見てみると...

塩分濃度・糖度共に時間が長くなるにつれて低くなっていく。

◎ 溶け方を見てみると...

パウチ → 最後、中に柱のように氷が残る

コップ → 周りが溶けて山のような形になる。最後、真ん中の氷が白っぽくなる。



→ 容器が違っても外周りに味の成分が集まっている = 容器は関係ない

② 溶剤が問題なのか。

2-1-③ 凍らせる前提で作られた溶剤ならいいのか？

- ・ 「アエリアス 冷凍パック」と「凍らせておいしいカルピス」を使用する。
- これを凍らせて溶け方を見る。



① 2-1-①と2-1-②との対照実験を行う。



結果

② アメリアス冷凍パック (490ml)

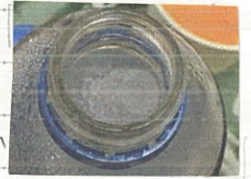
時間(分)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
融氷(融け)量 (ml)	47.8	74.0	53.8	59.0	46.5	54.7	40.5	42.9	48.0	30.5	29.0
糖度(%)	11.41	8.25	7.00	4.90	3.60	1.20	0.98	0.20	0以下	0以下	0以下
塩分濃度(%)	9.5	6.9	5.8	3.9	2.8	1.5	0.1	0以下	0以下	0以下	0以下

① 数値を見てみると...

→ やはり塩分、糖分共に濃度が時間と共に長くなる程濃度は下がります。

② 融氷量を見てみると...

→ 真ん中に氷の柱が残る。



③ 凍らせておいしいカピス (490ml)

時間(分)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
融氷(融け)量 (ml)	82.3	27.0	40.2	107.3	45.3	52.7	40.0	35.0	40.5	16.6	6.4
糖度(%)	20.20	17.12	10.20	6.11	3.40	3.21	1.60	0.40	0.00	0以下	0以下
塩分濃度(%)	—	—	7.9	4.5	2.7	2.3	1.0	0.2	0以下	0以下	0以下



↓
溶液に関係はない

① スーパーで買ってきたら凍らせて... という商品も、液体の状態が入っており、普通に立てて売り場の冷凍庫に凍らせているらしい。→ 凍らせ方に秘密はない

表4: 冷凍対応の溶液を凍らせて融氷かけた時の融氷量
(-は10%以上で 凍結不能)

※ 冷凍対応のものも普通のものとの違いは? ※
別: 最初に甘味(味)が出てくるため、おいしくはない。しかし、冷凍→490ml 普通→500ml という違いがある。また、②には「凍パック」とあることから、凍らせても糖度は高い。凍結防止剤を使っているため、凍らせても安全に、おいしく飲みやすいという意味と考えられる。

④ 加熱でこのような変化が起こるなら逆に冷たくなるとどうなるか。

2-2 冷却

実験道具: 塩分計, 糖度計, 透明のコップ, スpoon, ストロ

実験方法

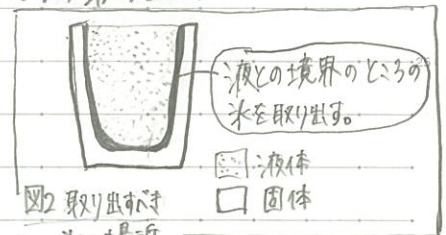
① 容器による変化はなからため、中が見えやすい透明のコップで行う。

1. 溶液を330ml コップの中に入れ、冷凍庫に入れる。
2. 1から30分が経過したら、1度冷凍庫から取り出し、様子を見る。
3. 凍っていたら、液体の部分と氷になった部分をリシずり取り出し、それぞれの塩分濃度と糖度を測る。(図2)

※なるべく混ざらないように液体はストローで、氷は1番表面のものをスポンで削り取り、氷を切取る。

4. また冷凍庫に入れる。

5. 2~4の作業をこれ以後30分ごと(1から60, 90, 120...) に行う。



○ 2-1-①で使った①~④の溶液で行う。

結果

①	時間(分)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540
氷	糖度	/	/	9.21	7.23	9.30	10.61	8.10	10.15	9.60	11.42	8.40	9.52	13.00	12.20	10.35	12.10	13.25	12.95
液	糖度	/	/	11.00	11.60	11.42	11.70	12.43	12.95	12.00	12.63	13.10	13.42	14.05	15.00	15.55	16.20	17.11	16.35
氷	塩分濃度	/	/	7.8	7.3	7.7	7.1	6.5	7.8	8.9	9.1	8.3	8.6	9.1	9.5	8.2	9.7	9.5	9.8
液	塩分濃度	/	/	9.5	9.4	9.5	10.0	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

②	時間(分)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	
氷	糖度	/	/	8.90	7.12	7.15	10.11	8.00	8.91	10.35	10.82	9.05	10.00	12.54	15.60	17.25	15.43	13.50	17.32	19.00
液	糖度	/	/	10.22	10.15	11.00	11.42	12.44	12.45	13.00	12.15	13.92	15.00	16.14	17.81	18.24	20.20	20.45	22.31	22.00
氷	塩分濃度	/	/	7.3	6.0	8.2	9.2	8.4	9.8	8.0	8.9	5.5	7.5	7.4	6.8	7.7	7.9	8.1	—	—
液	塩分濃度	/	/	8.5	8.4	8.3	9.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

③	時間(分)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540
氷	糖度	/	/	2.91	3.00	3.15	3.50	2.37	3.25	3.50	3.81	3.75	4.00	4.98	4.54	4.25	4.72	5.24	5.08
液	糖度	/	/	4.64	3.99	4.00	4.39	4.42	4.40	4.41	5.21	5.15	5.30	7.42	7.95	8.05	8.30	8.21	8.35
氷	塩分濃度	/	/	2.3	2.2	1.9	1.9	3.0	3.1	2.4	2.7	2.1	2.0	2.4	3.1	3.0	2.4	3.5	4.3
液	塩分濃度	/	/	3.0	2.8	3.1	2.9	3.2	4.1	3.0	3.1	3.4	3.2	4.4	3.9	3.5	3.8	5.0	6.3

④	時間(分)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540
氷	糖度	/	/	8.80	8.85	7.42	9.80	8.51	8.80	6.21	7.25	9.80	8.25	10.00	10.55	9.12	13.00	12.05	14.95
液	糖度	/	/	10.25	10.40	10.62	11.00	10.25	10.03	10.42	10.82	11.25	14.60	14.83	15.98	16.70	17.10	17.20	17.72
氷	塩分濃度	/	/	5.2	7.3	6.3	7.1	6.2	8.4	5.8	6.6	7.6	7.9	8.2	8.1	9.0	8.8	9.1	—
液	塩分濃度	/	/	8.3	8.5	8.9	8.2	8.6	8.0	8.6	9.0	9.1	9.8	—	—	—	—	—	—

表5: 様々な溶液を凍らせていた時の塩分濃度と糖度

凍らせていく時の様子



図3: 凍り方

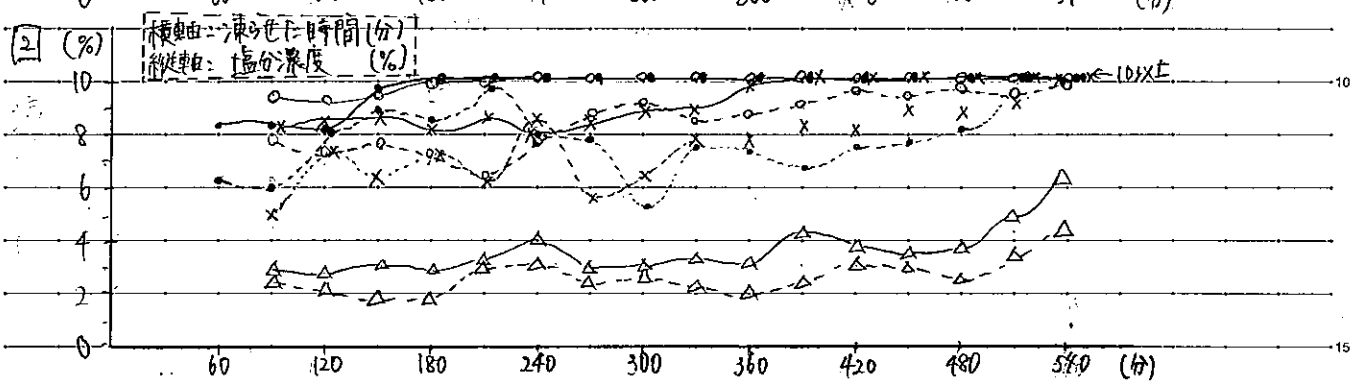
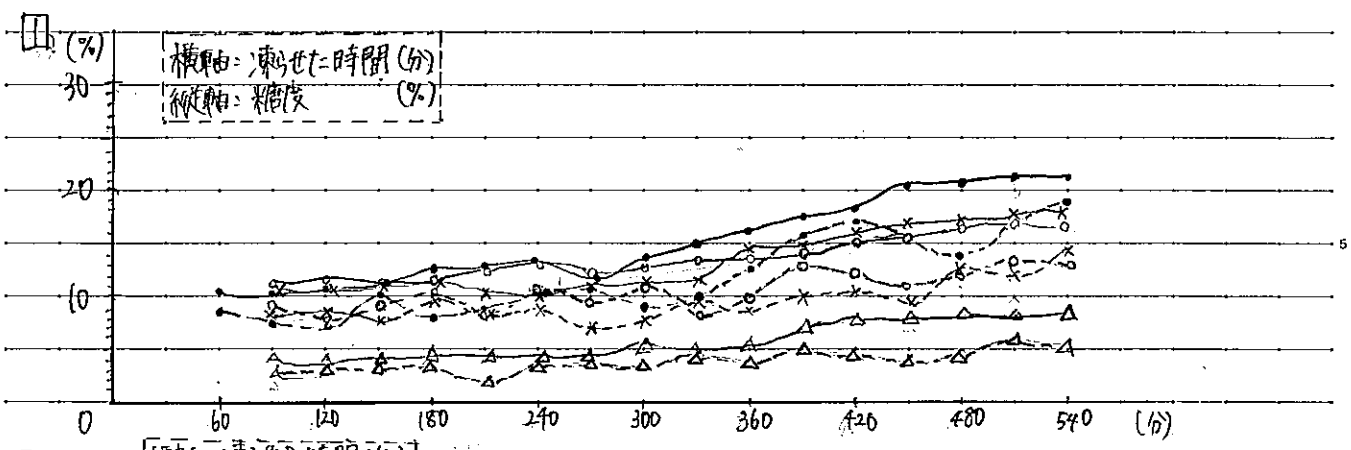


まず、表面にうすい氷が張り、その後はコップの側面から
じゅんじゅん内側へ侵食するように凍っていた。

最終的には、①~④ 全て、一番上の表面にとろとした
ものが残る。そして、それは、全てにおいて
塩分は10%、糖分は30%より高く
入っており、非常に濃度が高かった。



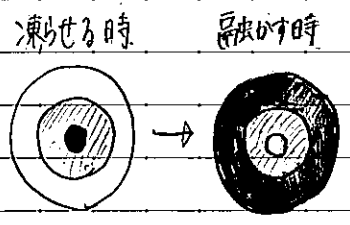
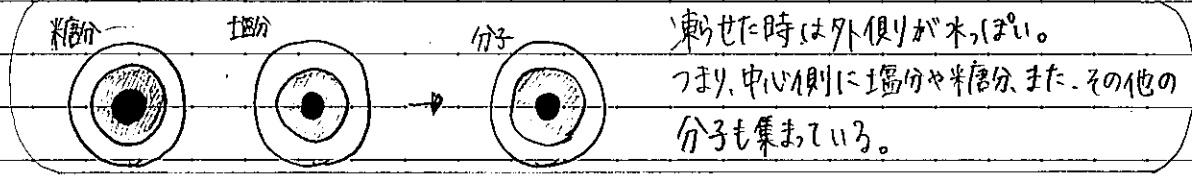
とろとしたもの。



〈グラフ②: 凍らせ時間と残った溶液と表面の氷の糖度(①), 塩分濃度(②)の推移〉

氷を取り出す時、30分凍った表面だけを取り出すことは、液体が混ざったり、違う部分が出たりするため、葉巻いよ、誤差はあると思うが、氷も液体もどんどん濃くなっている。(グラフ②)

氷が濃くなる → 凍り対象が最初均等、時間がたつにつれ濃くなる 液体が濃くなる → 次の凍り対象が濃くなる
+ 凍っていくのは周りからだため(図3)...



味の部分、水分子以外の分子が左のように変化していることから、溶かす時に水が外に出ていき、味の部分が中央に集まること分かる。

② 味の無い氷ならどうなるのか。

↓
これを行うと、味の部分と水の部分の間でエネルギーのやり取りがどう行われているのか導き出せる!!

2-3 木の融け方

○ 木をペットボトルに入れ、2-1のくり返しを繰り返す。

今この表中、777中の0以下とは、
ほぼ木、あるいは木が融け出している
という事を表していると考えられる

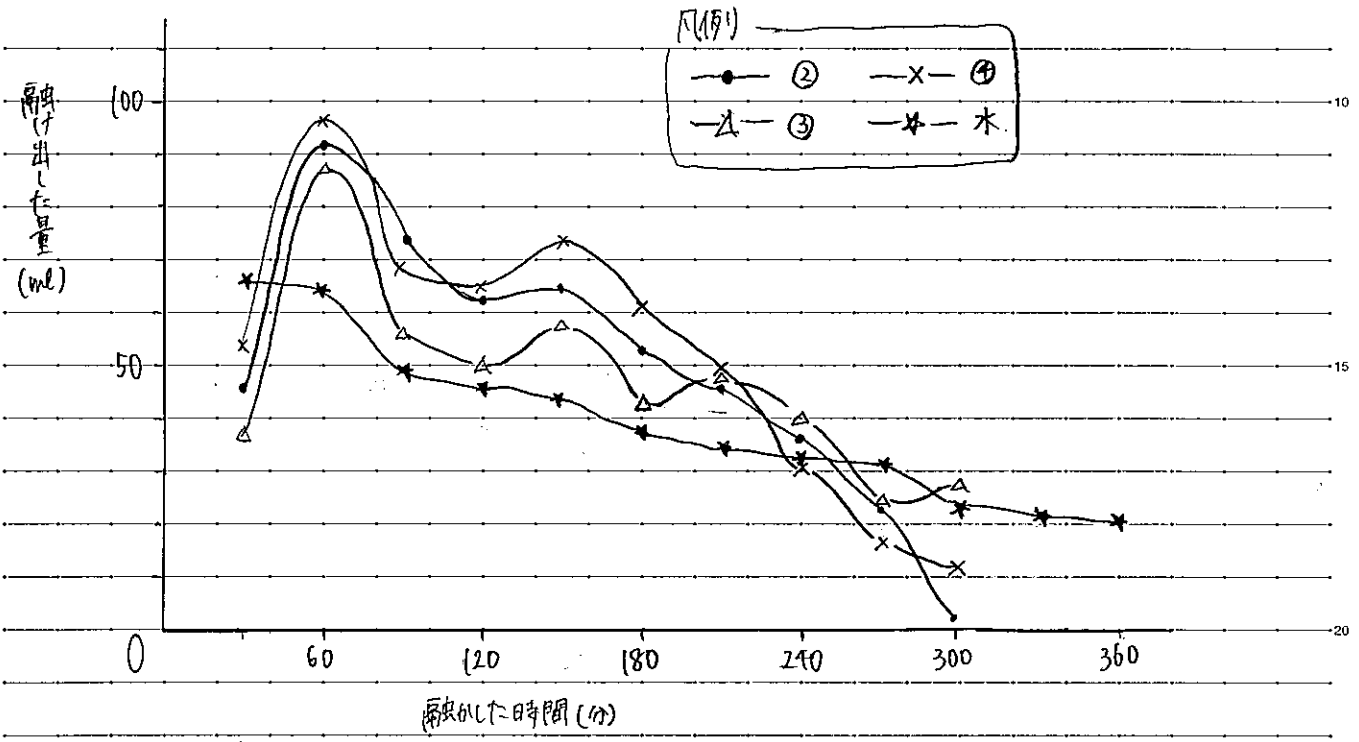
結果

時間(分)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
融け出した量(ml)	66.0	64.0	49.5	46.3	42.0	38.7	35.0	33.5	32.0	22.0	21.0	20.7

糖度 0以下
塩分濃度 0以下

表6: 凍らせたペットボトルの木を融かす時

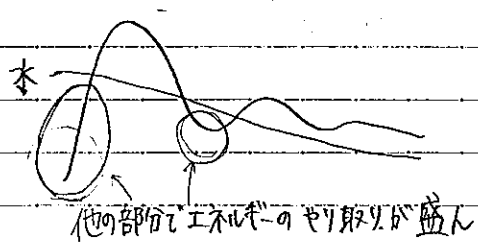
3. 考察



グラフ3 融かした時間と融け出した溶液の量の推移

木はH₂O分子以外何も入っていないと考えられるため、出ている、空気に触れている
ところの面積がとけていく。そのためグラフより、きれいな右下がりの特徴形となっている。

しかし、水以外の溶液について見ると上下が激しく、きれいな右下がりではない。



液体にする、氷を融かすこと以外にも
エネルギーが使われていると考えられる。

左のようにグラフの中で下がっているところは
他の部分でエネルギーが使われていると推測できる。

4. 凍らせたジュースをおいしく飲むには...?

最初に味成分の分子が出ないように、出にくくなるようにすれば良い。たくさん分子が出てきてしまうのならば、高めていく。氷の大きさを小さくすれば出てくる分子も少なくなるため、

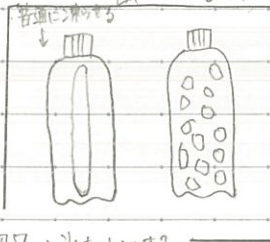
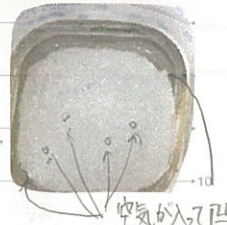


図7: 氷を小さくする

最初に分子が出すぎないだろう。

- ⑨ 30分ごとに振って凍らせたものを高めます。 → (3時間かけて凍らせた。
(← 振ると氷粒が小さくなるため、高めていく氷の大きさが小さくなる?)
しかし、最初に甘いものが出て、最後うすかった。



空気が入って凹凸ができています。

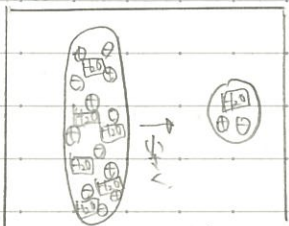


図8: 氷を小さくした時の分子モデル

小さくしたところで、もとの濃度は同じであるので、出てくる分子量が減る訳ではない(図8)

しかし、こうした方が、氷がもろいことが分かった。普通に凍らせた場合は残った氷が固く、割れる気配がなかったが、振って凍らせると中に空気が入り、割れやすかった(右上写真)

⑩ 30分ごとに振って凍らせたものを高めます PART 2

(500mlPETの時)

ガラスより、1番たくさん高める時間帯は、高まかし始めてから60分後。よって、振って凍らせたものを

70分くらいたてから振ると、高まけ出した氷が空気が入っていたところに入り込み、

氷同士の結合がゆるみ、シャーベット状になる。全てがシャーベットになるでしょうか?

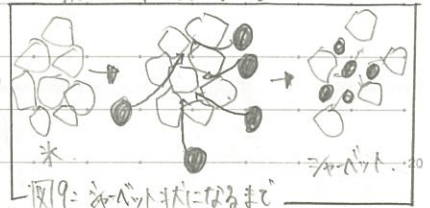


図9: シャーベット状になるまで

	塩分濃度%	糖度%
①	8.3	10.02
③	2.7	3.82
④	7.9	9.52

表7の、②③④全てで、もとの糖度・塩分濃度に

近い結果が出た。③のスポーツドリンクは2時間たてないと、シャーベット状にならなかった。

水以外の分子が少ないため、H₂O分子の結合が他のものより強くなるからと考えられる。

表7: 振りながら高めた時



シャーベット状になって出ている

結論: 振りながら凍らせたものを、冷凍庫から取り出して60分以降(500mlの場合)に振ってシャーベット状にすると最初から最後までおいしく飲める。

5. 終わりに.

シャーベット状になるとおいしく飲めることが分かった。また、それは空気が入って、もろいからすぐ氷がくずれて、混ざるためだった。そこで、シャーベット状に凍らせたものを販売したり、中に空気を含みやすい液体の開発をしたり、最後までおいしいジュースの店頭販売が実現すればよいと思う。身近な問題を解決することはとても楽しいことだと感じた。

参考文献: 「身の回りから見た化学の基礎」 菅原 寛泰・後藤 景子 著 (株)化学同人発行 2009年初版
「日々に出会う化学のことば」 加藤 俊二・竹村 富久男 著 (株)化学同人発行 1991年初版
イトヨーカドー・ユカ・コーラの調査