

ストームグラスと湿度

泉川 拓望 廣岡 諄也 増田 颯斗

1. 研究目的

表1のようにストームグラス内の結晶は天気によって変化するとされている。19世紀ヨーロッパでは天気予報の道具として使われていた。しかし、5成分（純水、エタノール、樟脳、塩化アンモニウム、硝酸カリウム）で組成が複雑なこともあり、天気との詳しい関係は分かっていない。1990年の中本氏らの先行研究よりストームグラス内の結晶生成に影響を及ぼすものには温度があり、気圧、大気電場、磁場は関係しないことが分かっている。また、2008年のTanaka氏らの先行研究より温度履歴の違いが結晶の見た目に長期間影響することと、析出する結晶は樟脳のみであることが分かっている。しかし、湿度についての研究はなく、湿度と結晶の関係は分かっていた。そこで、雨の日と晴れの日とで湿度が異なることから、結晶変化には湿度が関係しているのではないかと考え、本研究を始めた。本研究ではストームグラス内の結晶の様子と湿度との関係性を調べることを目的とする。

天気	晴れ	雨	寒い冬・雪	気温の高い夏	嵐
ストームグラス内の様子	液体が澄む	細かい結晶が浮く	液体が白濁	低い位置に結晶ができる	葉型の結晶ができる

表1 各天気でのストームグラスにおける結晶の様子

2. 実験

<湿度固定に用いた手段>

湿度固定には飽和塩法を用いた。飽和塩法によって固定される湿度は温度や溶かす電解質の種類によって異なる。

<準備物>

100 mlビーカー, ガラス棒, 薬包紙, 薬さじ, 電子天秤, 純水, 冷温庫, 塩化リチウム 37.5 g, 塩化カルシウム 47.3 g, 炭酸カリウム 66.0 g, 臭化ナトリウム 55.0 g, 塩化ナトリウム 28.0 g, 硫酸ナトリウム 29.5 g

<電解質飽和水溶液の作成方法>

用意した電解質物質を 50ml の純水に溶かし、各物質飽和水溶液を作る。

*本研究では、湿度約 15%間隔で実験を行うため、上記の 6 種類の物質の飽和水溶液を作成した。以下の実験ではこの飽和水溶液のことを電解質飽和水溶液とする。

飽和塩法で用いた溶質	湿度 (20°C 文献値)
LiCl	11.3%
CaCl ₂	32.3%
K ₂ CO ₃	43.2%
NaBr	59.1%
NaCl	75.5%
Na ₂ SO ₄	93.0%

表2 各電解質と湿度 (参考文献1.2)

2.1 湿度を一定にした時のストームグラス内の結晶の様子

<目的>

密閉容器内で温度、湿度を固定したときストームグラス内の結晶外の影響を受けないと仮説を立てた。また、密封容器内のストームグラスは外気（温度・湿度等）の影響を受けないのかを検証した。

<準備物>

ストームグラス (市販), 冷温庫, 密閉容器 (パスタ保存容器), タイムラプス (枚3[min]),

*電解質飽和水溶液 (塩化カルシウム), 温湿度計 (誤差: 温度±1°C, 湿度±3%)

<実験方法>

- I. ストームグラス, 電解質飽和水溶液, 温湿度計, タイムラプスを密閉容器に入れて密閉する。
- II. 冷温庫で密閉容器内の温度を 20°Cに, 塩化カルシウム飽和水溶液液で湿度を 30%に固定する。
- III. ストームグラスの様子を 3 分間隔に設定したタイムラプスで 1 週間撮影する。

IV. 撮影した映像をパソコン上で再生し、ストームグラス内の結晶の様子を観察する。

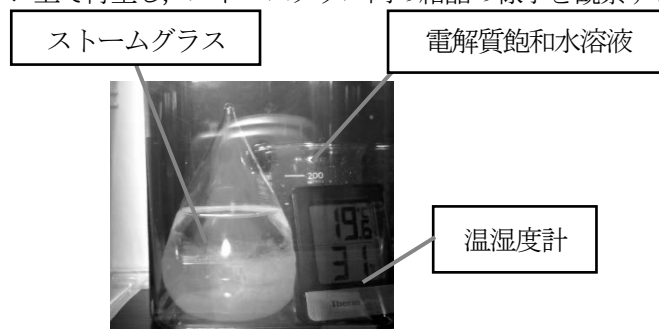


図1 密閉容器内の写真

2.2 湿度と結晶成長の関係について

<目的>

実験を進めていくうちに、結晶を全て溶かしたストームグラスの結晶は図2のように1日～2日かけて下から上へと成長した後、長い時間をかけて沈殿することが分かった。そこで、結晶が下から上まで成長する部分に着目した。また、湿度を変化させたときに結晶の高さ、成長の時間、結晶の形状が変化することに気づき、それについての相関を調べた。なお、結晶の高さは沈殿し始める直前の結晶の最高到達点の液面を100%としたときの割合、成長の時間は結晶が析出し始めてから沈殿し始めるまでの時間、結晶の形状は沈殿し始めるときの形状として定義した。



図2 時間ごとの結晶成長

<準備物>

薬包紙、薬さじ、電子天秤、スクリー管、冷温庫、密閉容器(デシケーター、パスタ保存容器)、タイムラプス (枚/min)、*電解質飽和水溶液、温湿度計 (誤差: 温度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 湿度 $\pm 3\%$)、樟脳 5.0 g, 純水 16.5ml, エタノール 20.0ml, 塩化アンモニウム 1.25g, 硝酸カリウム 1.25g

<実験方法>

- I. ストームグラスを以下の分量で作成し、スクリー管内で密封する。
樟脳 5.0 g, 純水 16.5ml, エタノール 20.0ml, 塩化アンモニウム 1.25g, 硝酸カリウム 1.25g
- II. 冷温庫で密閉容器内の温度を 15°C , 20°C に、飽和塩法で表2の値で示した湿度に固定する。
- III. 温度履歴と結晶の状態を統一するために結晶を水溶液全て 60°C のお湯で溶かしてからそれを密閉容器内に入れる。
- IV. 図3のように設置して1分間隔に設定したタイムラプスで2日間撮影する。
- V. 撮影した映像をパソコン上で再生し、結晶が最高点に達した時の時間と液面に対する結晶の高さと形状を目視で測り記録する。これをそれぞれの湿度で3回ずつ行った。

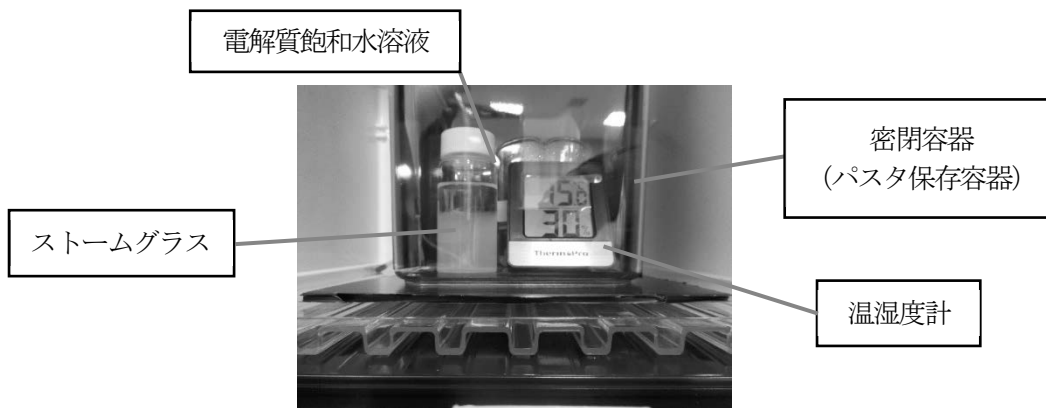


図3 実験 2.2 の実験装置

2.3 成分ごとに分けたストームグラスと湿度の関係について

<目的>

実験 2.2 の結果より、粒状結晶の形状が塩化アンモニウムの結晶の形状と似ていることから、粒状結晶の成分は塩化アンモニウムであると仮説を立てた。本実験では、粒状結晶はどの溶質の再結晶かどうかと、どの成分を加えたときに湿度の影響を受けるのかを調べた。

<準備物>

冷温庫、密閉容器(デシケーター)、タイムラプス (枚/min)

*電解質飽和水溶液、温湿度計 (誤差：温度±1℃、湿度±3%)

樟脳 10g、純水 33ml、エタノール 40ml、塩化アンモニウム 1.25g、硝酸カリウム 1.25g

<実験方法>

- I. ①～④の成分ごとに分けたストームグラスを以下の分量で作成し、試験管内で密封する。
 - ① 樟脳 2.5 g、純水 8.25ml、エタノール 10.0ml
 - ② 樟脳 2.5 g、純水 8.25ml、エタノール 10.0ml、塩化アンモニウム 0.625g
 - ③ 樟脳 2.5 g、純水 8.25ml、エタノール 10.0ml、硝酸カリウム 0.625g
 - ④ 樟脳 2.5 g、純水 8.25ml、エタノール 10.0ml、塩化アンモニウム 0.625g、硝酸カリウム 0.625g
- II. 冷温庫で密閉容器内の温度を 20℃に、飽和塩法で湿度を任意の湿度で固定する。
- III. 各ストームグラスを 60℃のお湯に入れ、結晶をすべて溶かし、水をふき取ってからすぐにIIの密閉容器に入れる。
- IV. 図4のように設置して、1分間隔のタイムラプスで2日間撮影する。
- V. 撮影した映像をパソコン上で再生し、結晶が最高点に達した時の時間と液面に対する結晶の高さと形状を目視にて判断し、記録する。これをそれぞれの湿度で2回ずつ行った。

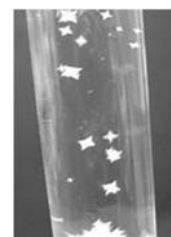


図4 塩化アンモニウムの結晶

<http://science.cafenadi.com/?eid=1308> より引用

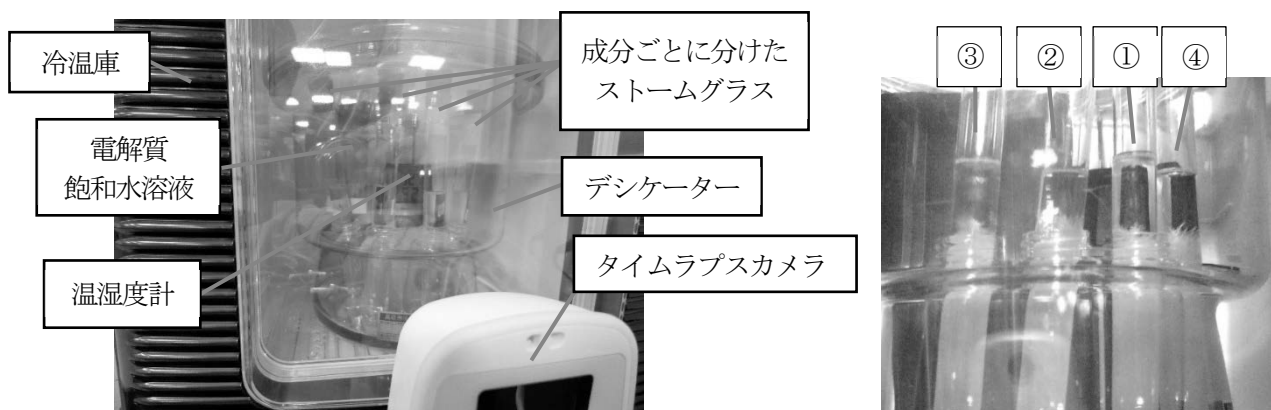


図5 実験 3.3 の実験装置

3. 結果・考察

3.1 湿度を一定にした時のストームグラス内の結晶の様子

<結果>

図6に示すように、天候は密閉容器外で変化していた（晴れ→雨→曇り）が、ストームグラス内の結晶の様子は変化しなかった。

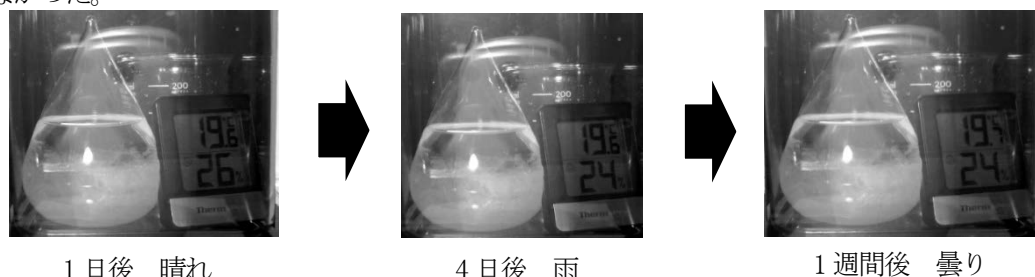


図6 実験 2.1 における天気とストームグラス内の結晶の様子

<考察>

この結果から、ストームグラスは温度と湿度を固定した密閉容器内に入れると密閉容器外の環境の影響を受けないと考えた。このことから、温度と湿度を固定した密閉容器を用いると外の天気によらずに正しいデータを得ることができると考えた。

3.2 湿度と結晶成長の関係について

<結果>

図7に結晶の高さと湿度の関係を示した。湿度ごとの結晶の高さはばらつきが小さく、各データ±5%程度の誤差に収まっていた。よって、平均値での処理が可能であると考え、3回の実験値の平均値を用いて折れ線グラフを作成し、検討した。相関係数より、20℃ではあまり湿度との関係性が見られなかったが、15℃では湿度が高いほど結晶の高さが高くなる傾向があった。図8, 9に成長時間と湿度の関係を示した。湿度ごとの成長の時間はばらつきが大きかったため散布図でまとめ、検討した。相関係数より15℃と20℃の両方で、高湿度ほど成長の時間が短くなる傾向があった。また、表3に示すように結晶の形状は同温度では湿度によらずほとんどが同じ形状となった。さらに、高湿度では図10のような粒状結晶がみられた。なお本実験では、樹枝状に伸びたものをシダ状結晶、粉状で降り積もったものを雪状結晶、成長の過程で液中にできる細かい結晶を粒状結晶とそれぞれ定義した。

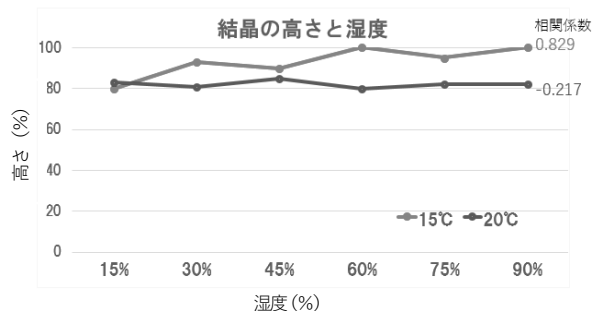


図7 実験 2.2 における結晶の高さと湿度の関係

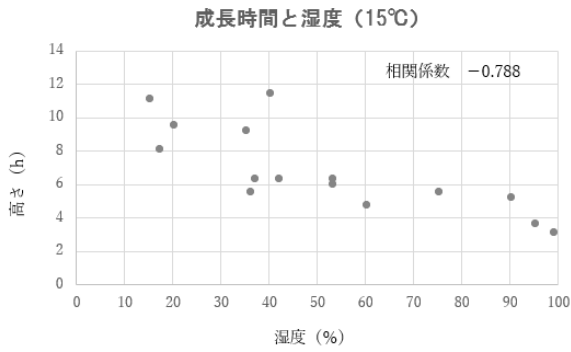


図8 実験 2.2 における成長速度と時間 (15°C)

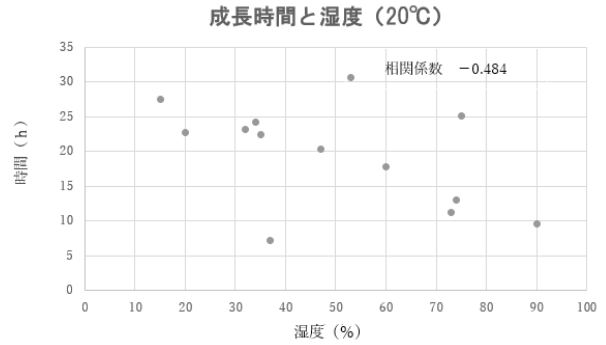


図9 実験 2.2 における成長速度と時間 (20°C)

湿度 \ 温度	15%	30%	45%	60%	75%	90%
15°C	雪状	雪状	シダ状	雪状*	雪状*	雪状*
20°C	シダ状	シダ状	シダ状	シダ状	シダ状	シダ状*

*は粒状結晶が見られたもの

表3 各温度, 湿度における結晶の形状

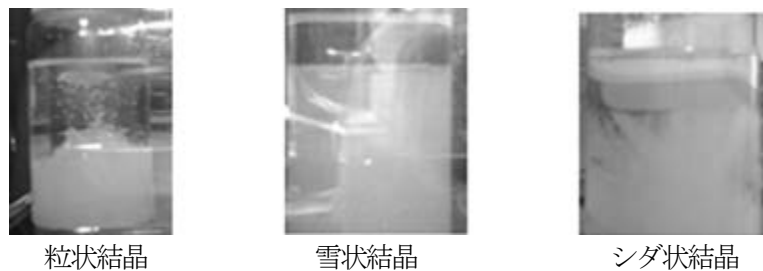


図10 実験 2.2 におけるストームグラス内の結晶の様子

<考察>

粒状結晶ができたときに結晶成長が速くなるのは管底と粒状結晶の2つの起点から異なる高さで結晶成長すると考えた。また、結晶の形状は温度によって決定すると考えた。その原因は20°Cでは結晶の先端から樹枝状に成長するが、15°Cでは20°Cのときより急激に冷やされて、できた小さな結晶が積もることであると考えた。

図10に示す粒状結晶の形状が図11に示す塩化アンモニウムの再結晶と似ていることから粒状結晶は塩化アンモニウムであると考えた。湿度と成長時間の関係については空気の湿度と比熱が関係していると考えた。空気は湿度によって比熱が変化する(湿度0%で1005 [j/kg・K], 100%で1030 [j/kg・K])。図11は熱平衡のシミュレーション図である。断熱空間では一方の比熱が大きくなると、もう片方の温度変化は急激になる。はそこで、高湿度で空気の比熱が大きくなることによってストームグラスが更に冷えやすくなり、急激に冷やされることによって高湿度ほど成長時間が短くなると考えた。

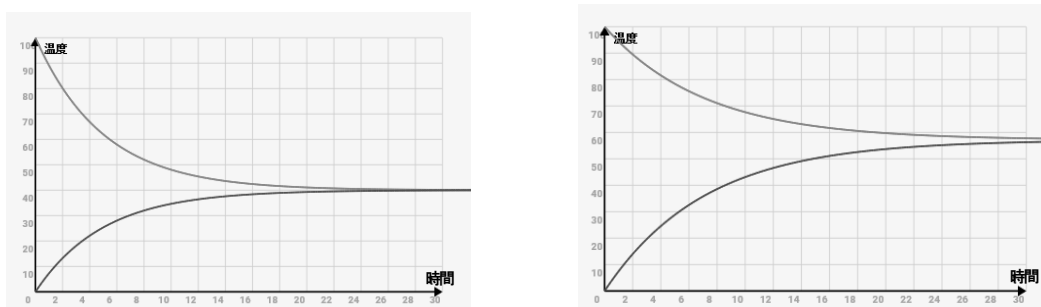


図11 熱平衡のグラフ

3.3 成分ごとに分けたストームグラスと湿度の関係について

<結果>

①②③の成長の時間、結晶の高さは、湿度を変化させてもそれぞれ±1h、±3%程度のばらつきしかなかった。ゆえにこの測定結果は全てシダ状結晶であった。粒状結晶については①③でも見られた。しかし、②ではみられなかった。

ストームグラス	①	②	③	④
結晶の高さ (%)	97.6	82.4	76.4	実験 2.2 と同じ結果
成長の時間 (h)	1.6	18.5	5.3	
結晶の形状	シダ状	シダ状	シダ状	シダ状

表 4 各成分の結晶の成長速度

<考察>

5 成分のストームグラスでは湿度との相関がみられたが、それ以外では湿度による違いがみられなかった。このことから、塩化アンモニウムと硝酸カリウムの両方が含まれる時のみ湿度の影響を受けるようになっていると考えた。また、粒状結晶の詳しい組成は調べられなかったが、最も成分が少なく結晶として析出する可能性が樟脳のみである①で粒状結晶が見られたことから、ストームグラス内に生じた粒状結晶の成分は樟脳だと考えた。

4. 結論・今後の展望

ストームグラスが外部から冷やされる時、高湿度だと空気の比熱が大きくなり、ストームグラスの溶液が急激に冷やされ、樟脳の粒状結晶が結晶成長の過程でできると考えた。これは「細かい結晶が浮く」という雨の時の反応と一致する。雨の時も湿度が高くなり、気温が下がることからこの反応が雨の時の反応とされていると考えた。また、5 成分の時のみ湿度との相関がみられることから、ストームグラスは硝酸カリウムと塩化アンモニウムの両方を加えることで組成が変化し、温度の細かい変化の影響を受けると考えた。これらのことから、湿度はストームグラスに関係してあると結論付けた。

今後は、サーモグラフィなどの表面の温度を測定できる器具を使って、湿度ごとのストームグラスの液中の温度変化を調べることでより湿度との関係がわかるようになるだろう。また、樟脳、純水、エタノールの混合溶液に塩化カリウムのみ、または硝酸アンモニウムのみを加えてイオンの組み合わせを変えて実験を行うことでどのイオンが作用して湿度との関係を持たせているかが分かるだろう。

本研究では冷温庫で温度固定をした。しかし製品は性能上設定温度から±5℃ほどの誤差や、ベルチェ方式のため室温から 10～15℃前後しか温度を下げられないなどの条件があるものだった。それが原因で細かい温度固定ができなかったため、より性能の高い温度固定の道具を用いることでバラつきの少ない、より正しいデータが得られるだろう。

5. 参考文献

1. 温度や湿度を一定にする (便利な実験器具・道具: その面白い使い方) 著: 橋谷卓成
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kakyoshi/39/5/39_KJ00003509247/_article/-char/ja/
2. 湿度計—試験方法 日本工業規格 JIS
<https://kikakurui.com/b7/B7920-2000-01.html>
3. ストームグラス中の結晶挙動の研究 著: 長島和茂
<https://nrid.nii.ac.jp/ja/nrid/1000070339571/>