

## 寒天中で渦を巻く沈殿生成反応の研究

駒場東邦高等学校 化学部

志村聡磨・久保田耀木・棚沢創太・大島泰樹・水野蓮人

指導教員：横山幸久・田中弘美

### 研究概要

リーゼガング現象とは、反応すると沈殿をつくる 2 種類の試薬のうち一方を寒天の中に溶かして固め、もう一方を溶液にして寒天と接触させると、寒天中に周期的な模様が生じるという現象である。

今回私たちは、その中でも「渦を巻く沈殿反応」という研究を行った。この実験は、シャーレに塩化アルミニウムを溶かした寒天を注いで固め、その上から水酸化ナトリウム水溶液を接触させると、らせん状の模様が生じる現象である。一般的な反応条件では、10 分ほどでシャーレ全体が渦巻きで埋め尽くされ、20 分ほどたつと渦巻きどうしが融合し始め、40 分には成長が停止した。

また、水酸化ナトリウム水溶液濃度と模様の変化の関係を調べた。塩基濃度を 1.0, 2.0, 3.0 mol/L の 3 種類とし、黒画用紙の上に置いたシャーレの様子をタイムラプス撮影し、画像解析ソフト GIMP を用い、渦を形成する線が占める割合を調査した。

この結果から、以下のことが判明した。(1)水酸化ナトリウム濃度が大きいほど、水酸化アルミニウムの沈殿を多く生じ、渦巻き模様の占める割合は大きい、(2)水酸化ナトリウム濃度が小さいほど、塩基を早く消費し、模様の変化の占める割合が極大になる時間は早い、(3)模様の変化の占める割合が極大になる時間付近では、模様の変化の大きさは異なるが、増加速度は概ね一定である、(4)水酸化アルミニウムが $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ として再溶解するため、模様は消失し、最終的には、寒天に渦巻き状の窪みが残って、寒天は白変する。

今後は寒天濃度を変化させたり、障害物を置くなどして調査を継続したい。

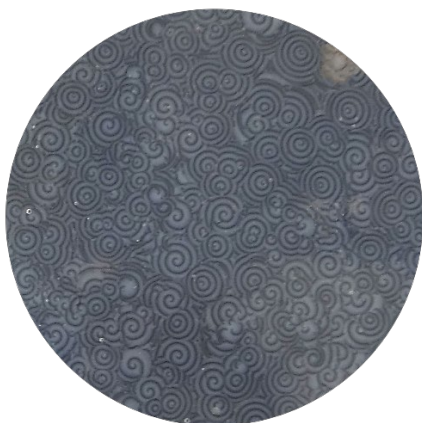


写真 渦を巻くリーゼガング現象

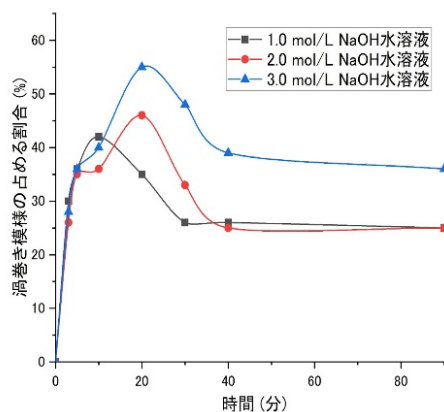


図 渦巻き模様の占める割合の変化

## 1. はじめに

リーゼガング現象は、発見から 100 年以上が経過しているものの、層のでき方が非線形で複雑なため、現在も研究が続けられている。今まで私達が研究してきたものは以下の 3 つのタイプに分けられる。

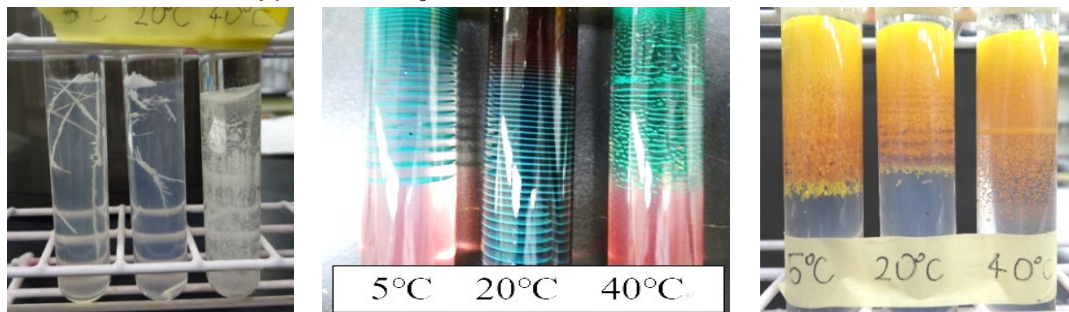


写真 1 種々のリーゼガング現象 (左から塩化鉛(II), 塩化コバルト(II), ヨウ化鉛(II)系)

今回私達は、リーゼガング現象のうちでも、「渦を巻く沈殿反応」という研究を行った。この実験は、シャーレに塩化アルミニウムを溶かした寒天を注いで固め、その上から水酸化ナトリウム水溶液を接触させると、らせん状の模様が生じる現象である。

## 2. 実験計画

### 2-1. 水酸化アルミニウム系リーゼガングリングの作成

リーゼガングリングは次のような手順で作成した。

- ① 90 °C の熱水 100 mL に寒天 (Aldrich) 1.0 g 熱しながら溶かし、そこに塩化アルミニウム水和物 6.5 g を加えて 10 分かくはんし、シャーレに注いだ。
- ② ゲルの上に、静かに水酸化ナトリウム水溶液を注ぎ、ビデオカメラで 30 分撮影した。水溶液ナトリウム水溶液は、1.0, 2.0, 3.0 mol/L の 3 種類で比較した。

### 2-2. 模様の観察

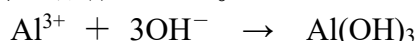
水酸化ナトリウム水溶液の 1.0, 2.0, 3.0 mol/L の 3 種類それぞれで、タイムラプス撮影機能で、一定時間ごとにシャーレの様子を撮影した。撮影に際しては、黒画用紙を敷いて、渦が観察しやすいようにした。

続いて、画像解析ソフト GIMP で層の渦巻きの黒い部分が占める面積をピクセル表示させ、シャーレに占める割合を計算した。なお、グラフの縦軸は渦巻きの占める割合 (数字が大きいほど渦巻きが多い)、横軸は時間を表している。

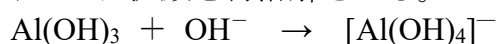
## 3. 実験結果と考察

### 3-1. 渦巻きの形状の変化の背景

寒天に水酸化ナトリウム水溶液を加えるとらせん模様が生じる。このとき、水酸化アルミニウムの沈殿がゲル中に形成される。



続いて、過剰な水酸化物イオンは沈殿を再溶解させる。



また、水酸化物イオンは寒天下部に拡散するとともに、アルミニウムイオンも寒天表面に移動する。したがって、水時間とともにらせん模様に変化し、最終的に模様が消失し、寒天には、渦巻きの跡がくぼんだ形で固定されると考えられている。

### 3-2. 実験結果の一例

水溶液ナトリウム水溶液濃度 2.0 mol/L のとき、写真2のような結果が得られた。

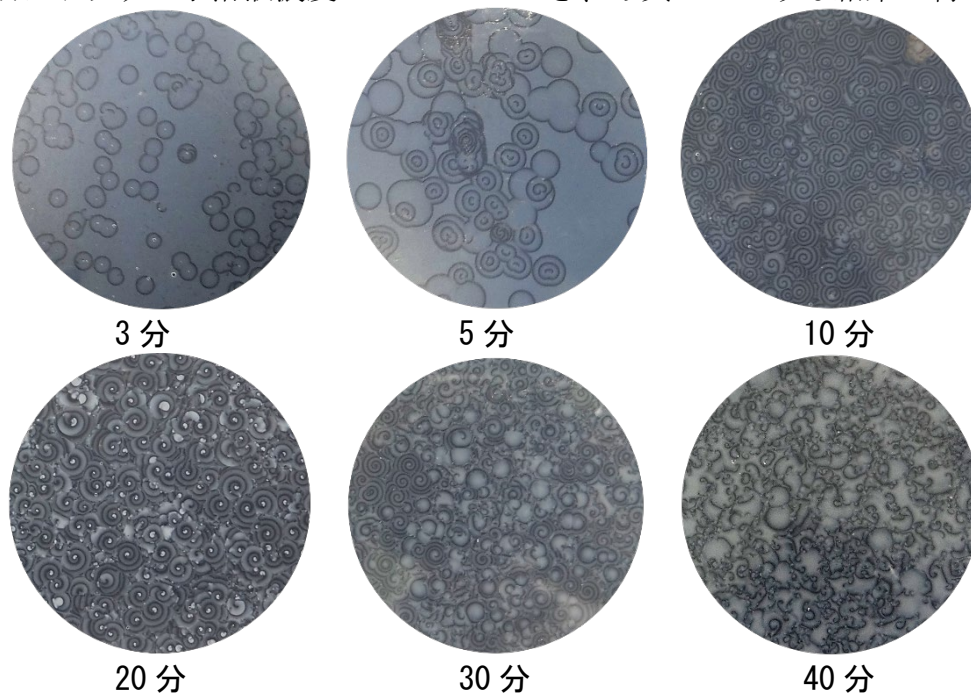


写真2 渦の成長の様子（ビデオ撮影から）

このとき、丸い核の発生（3分）、渦巻き成長（5分）、渦で埋め尽くされる（10分）、核の部分から渦の消失（20分）、渦巻きが消え始める（25分）、模様固定（40分）のような変化をたどる。なお、反応後に溶液を抜いて1週間放置すると、渦のあったところが窪んで白くなった寒天が得られる。

また、タイムラプス撮影により、渦巻きのでき方についても調査した。図1のような変化が複数回繰り返され、徐々に大きくなっていくと考えられる。

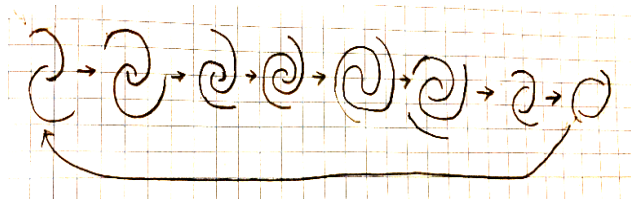


図1 渦の成長の様子（ビデオ撮影から）

### 3-3. 水酸化ナトリウム水溶液の濃度が異なる場合の比較

さらに、水酸化ナトリウム水溶液濃度と模様の様子を調べた。渦巻き大きさは濃度が低いほど小さいことがわかった。この反応は水酸化ナトリウムが寒天の中で水平かつ下向きに広がるもので、濃度が小さいときに渦巻き大きさが小さいのは、アルミニウムイオンの周辺に水酸化物イオンが十分存在しなかったからと考えた。

表1 水酸化ナトリウム水溶液の濃度と模様

NaOH 水溶液濃度	1.0 mol/L	2.0 mol/L	3.0 mol/L
渦巻きの数	多い	中程度	少ない
渦巻き大きさ	小さい	中程度	大きい

### 3-4. 渦巻き模様の占める割合の時間変化

また、水酸化ナトリウム水溶液濃度と模様との関係を調べた。塩基濃度を 1.0, 2.0, 3.0 mol/L の 3 種類とし、黒画用紙の上に置いたシャーレの様子をタイムラプス撮影し、画像解析ソフト GIMP を用い、渦を形成する線が占める割合を調査した。

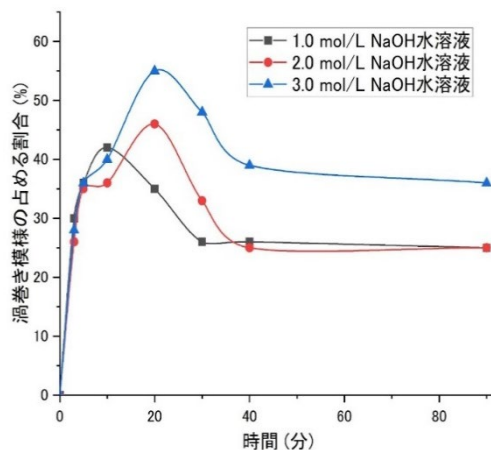


図2 NaOH 水溶液の濃度による渦巻きの割合の経時変化

この結果から、以下のことが判明した。

- (1) 水酸化ナトリウム濃度が大きいほど、水酸化アルミニウムの沈殿を多く生じ、渦巻き模様の占める割合は大きい。これは、濃度が大きいほど沈殿を生じやすく、また、寒天内部からアルミニウムイオンが移動しやすいからだと考えられる。
- (2) 水酸化ナトリウム濃度が小さいほど、塩基を早く消費し、模様の占める割合が極大になる時間は早い。
- (3) 模様の占める割合が極大になる時間付近では、模様の大きさは異なるが、増加速度は概ね一定である。このことは、グラフのピークの位置と、その直前の数分間の傾きが、どれもほぼ等しいということから判断した。
- (4) 水酸化アルミニウムが $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ として再溶解するため、模様は消失し、最終的には、寒天に渦巻き状の窪みが残って、寒天は白変する。

### 4. まとめと今後の予定

渦を巻くリーゼガング現象に関心を持ち、調査を行った。渦巻き模様は水酸化ナトリウム水溶液を注いだ3分後には確認でき、10~15分かけて増加し、シャーレを埋め作る。やがて渦巻きがなくなっていき、徐々に表面が白くなってゆく。

渦巻き模様は連続的に変化するため、その割合の変化を、画像解析ソフトで分析する方法を考案した。その結果、よい再現性がみられ、経時変化の説明を行った。

新型コロナウイルス対応で、寒天を作成し、1条件で5回撮影するのに2週間を要した。今後は、寒天濃度を変化させたり、障害物を置くなどして調査を継続したい。

#### 参考文献

- 1) 大和田岬希・志村聡磨・久保田耀木, リーゼガング現象で生じた縞模様を取り出す, 駒場東邦化学部, 高校化学グランドコンテスト予稿集(2019)
- 2) 片岡弘, 渦を巻く沈殿反応, 化学と教育, 2017年6月号 p.282-283