

ビスマス結晶の色の制御

2606 大前絢人 2509 岡田紘征 2602 磯村唯斗

本研究は、酸化被膜の厚さにより様々な色を見せるビスマス結晶の色を制御する方法を探ることを目的とした。まず、結晶が生成される過程での温度の下げ方を変化させ、酸化被膜の厚さによる色の違いを検証した。しかし、冷却速度の差と、色の違いの明確な関係を確認することはできなかった。次にクエン酸水溶液中でビスマス結晶に電圧を加えて酸化を行い、色と酸化被膜の質量の変化を調べた。しかし、色や質量の変化はごくわずかで、それらに関係を見出すことはできなかった。今後は、結晶を取り出した後の冷却による酸化被膜のでき方に着目し、それによってどのような厚さの酸化被膜ができるのか、調べる予定である。

キーワード：ビスマス、酸化被膜、薄膜干渉、骸晶

1-1. 目的

結晶が生成される時の冷却条件を変えることによって、ビスマス結晶の色を制御する。

1-2. 仮説

ビスマス結晶の色と冷却速度には関係がある。

根拠：結晶の色は酸化被膜の厚さ（薄膜干渉）

で決まることから、冷却する速さを変化させれば、酸化する量が増減し色も変化するのではないかと考えた。

1-3. 使用した器具・装置

- ・ステンレスカップ ・ステンレススプーン
- ・ステンレストレー ・ビスマスチップ
- ・ホットプレート ・三脚 ・色測定アプリ
- ・保護メガネ ・軍手 ・針金
- ・固定台 ・温度計 ・サーモグラフィー

1-4. 研究・実験の手順

- ①ビスマスチップをステンレスカップに入れ、350℃程度に加熱して液体にする。
- ②完全に液体になったら、液表面の酸化被膜を取り除く。これ以降、表面温度、液内温度、液表面の色を測定する。
- ③液面に浸かるようにして針金をつるし、加熱をやめる。このとき、
(1)ホットプレート上でゆっくりと冷やす場合
(2)三脚上で素早く冷やす場合 で分けて行う。

- ④放置して冷却し、ふちが少しずつ固まってきたら結晶を取り出す。

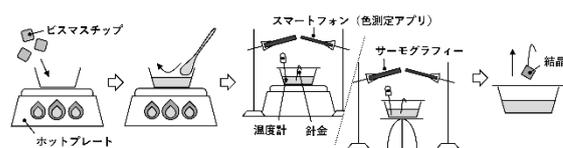


図1 実験器具と手順（実験1）

1-5. 結果

液体になったビスマスは次のように色が移り変わった。



図2 液体ビスマスの色の変化

(1)針金にできた結晶は金色系、カップ底にできた結晶は青色系の色となった。(2)主に金色や紫色系の結晶が生成された。この二つの実験でできた結晶の色に大きな違いは見られず、また大きさや形についても、法則性は完全に見られなかった。



図3 生成された結晶

各条件下での温度の推移は次のようである。

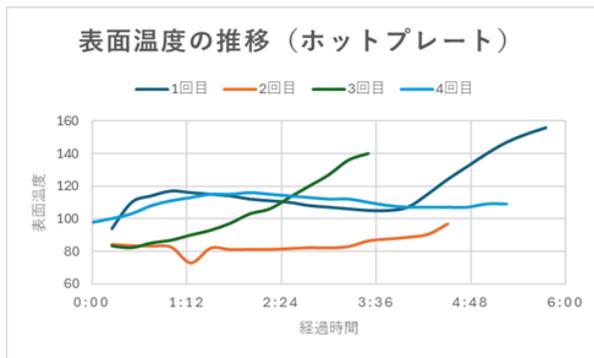


図4 表面温度の推移 (ホットプレート)

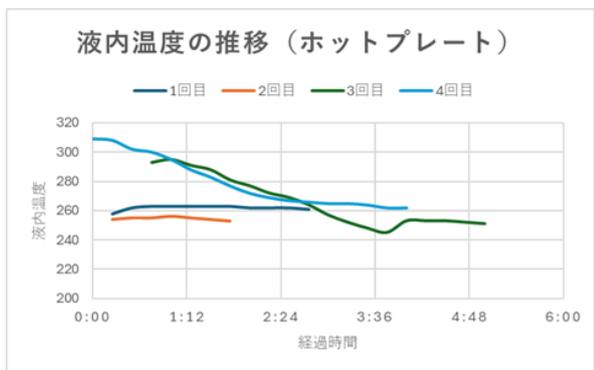


図5 液内温度の推移 (ホットプレート)

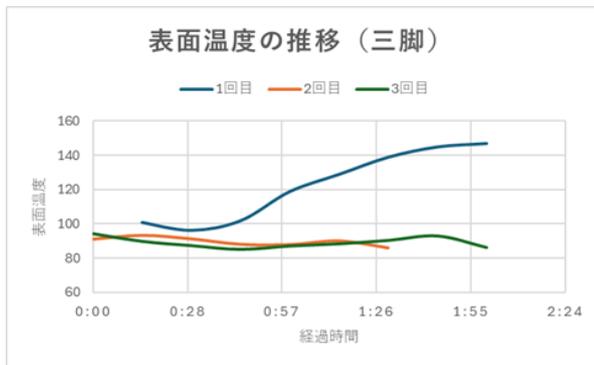


図6 表面温度の推移 (三脚)

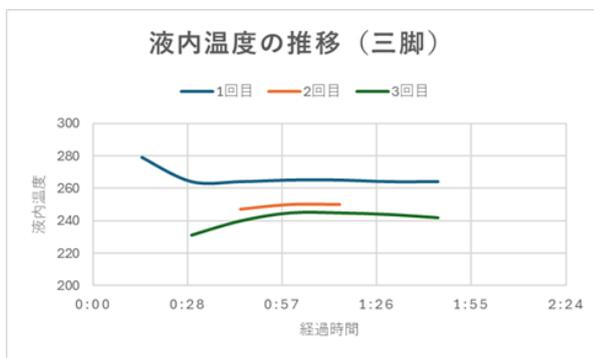


図7 液内温度の推移 (三脚)

温度の推移は回ごとに異なっていて、グラフの傾きが冷却速度を表す。操作の都合上、すべて実験開始からのデータとは限らない。

1-6. 考察

時間が経過するほど酸化が進んでいくと考えられるため、図2を踏まえると、結晶の色が金色系の時は酸化量が少なく、緑色系の時は酸化量が多いと予想できる。

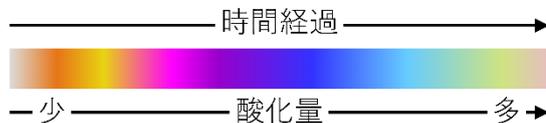


図8 ビスマスの色と酸化量の関係 (考察)

よって、取り出した結晶が主に金色系や紫色系だったことから、酸化は小程度であるといえる。また、グラフが示すように条件が異なっているにも関わらず、大きな差異は生まれなかったため、結晶の酸化はそれを液内から液外へ取り出した後に進んでおり、結晶に酸化被膜は多く生成されなかったと考えることができる。温度が上昇したのは、測定に使用したサーモグラフィが安定しないことがあるためだと考えている。

1-7. 結論

液体のビスマスを冷やす速度を変えても、色の变化に直接影響することはない。

1-8. 展望

後日、何度か実験を繰り返していると、青色系の結晶が取り出せるようになった。そこで、これをもとに、液内外の温度差に着目して実験をする予定である。

2-1. 目的

クエン酸水溶液内でビスマスの結晶に電圧を加えることによって結晶の色を制御する。また、酸化被膜の質量と色を見出す。

2-2. 仮説

結晶の酸化被膜の厚さは電圧や溶液濃度の変化で変わる。また、色は酸化被膜の厚さごとに決まっている。

根拠：参考文献より、電圧を加えることでも酸化被膜を生成することができると思われる。この方法を用いることで、より均一に酸化し、色を一つに揃えることが

できると考えられる。よって、電圧・溶液濃度を変化させれば、酸化する量が変化し、色も変化するのではないか。今回は既成の結晶を反応させるため質量変化量が求められる。厚さは計測が難しいため、代わりに質量変化量から酸化被膜の厚さを推測する。このとき、色ごとに決まった厚さと予想した。

2-3. 使用した器具・装置

- ・ビーカー ・ガラス棒 ・電子天秤
- ・電源装置 ・導線 ・炭素棒
- ・ピンセット ・葉さじ ・葉包紙
- ・すり鉢 ・すり棒 ・ビスマス結晶
- ・クエン酸 ・純水 ・塩酸 ・NaOH 水溶液
- ・pH 試験紙 ・駒込ピペット

2-4-1. 研究・実験の手順

- ①実験 1 で生成された結晶を 1mol/L の塩酸に浸し、酸化被膜を取り除く。
- ②結晶の質量を測定する。
- ③クエン酸水溶液を用意し、陽極にビスマス、陰極に炭素棒を直列でつないで電圧をかける。このとき、
 - (1)水溶液濃度(5%・10%)、電圧 5V
 - (2)水溶液濃度 5%、電圧(5V・10V) にする。
- ④反応後の質量とその質量変化を測定する。

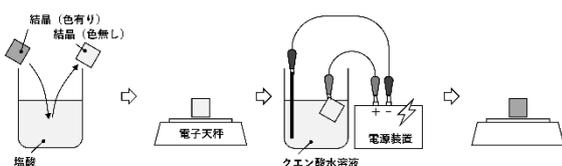


図 9 実験器具と手順 (実験 2)

2-5-1. 結果

クエン酸水溶液内のビスマス結晶は次のように色が移り変わった。

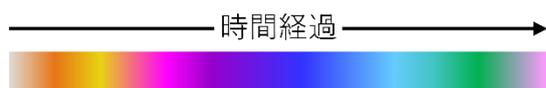


図 10 ビスマス結晶の色の変化

図 2 と比較すると、図 11 に示す結晶のように、新たに濃い緑色が現れていることがわかるが、決定的な違いを見つけることはできなかった。そして、色は結晶の下部から順に色が

ついていき、一つに決まることもなかった。また、実験を繰り返すと色がつかなくなり、黒ずんでしまった。



図 11 電圧を加えた結晶

質量測定の結果は次のようになった。

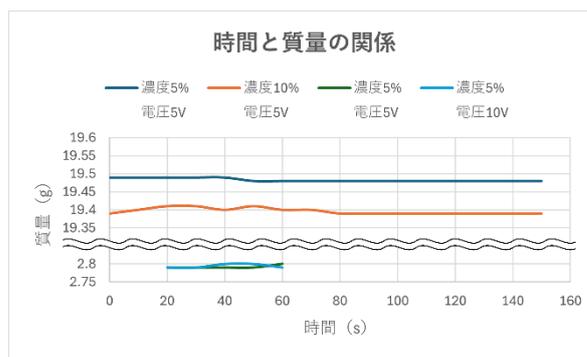


図 12 反応時間と結晶の質量の関係

2-4-2. 研究・実験の手順

以上の結果を踏まえ、次のことを検証した。

- ⑤色がつかなくなった結晶は、再加熱で溶かすことができるか。
- ⑥結晶に電圧を加えるとき、結晶を複数の導線と並列でつなぐと、色は揃うか。

2-5-2. 結果

一度色がつかなくなった結晶は、再び溶けることはなかった。直列でつなぐと一点からの酸化になるが、並列でつなぐと多方面から酸化されると考え実験を行ったが、二つに違いは見られなかった。

2-6. 考察

図 12 の結果から、電圧や溶液濃度を変化させても結晶の質量はほとんど変化していないことがわかる。これは、酸化被膜の質量がもともと小さすぎるために、質量変化が観察できるほど表れないことが原因だと考えられる。よって、図 10 から、色の変化と質量の変化には一定の関係があるとは言いきることもできない。直列と並列については、どちらのつなぎ方にしても電圧が結晶全体に加わるため変化が見られなかったと思われる。つまり、つなぎ方と酸化の

進み方には関係がないと考えられる。また、色
 がつかなくなってしまう理由としては、クエン
 酸や塩酸に結晶を浸したことで、ビスマス自
 体に変化したことが原因だと考えている。その
 結果どのような物質になったのかは不明だが、
 結晶が再加熱で溶けなかったことから、ビス
 マスが変化しているのは確かである。

2-7. 結論

実験2は操作初回において、濃い緑色を発現
 させるという点で一定の効果はあるが、繰り返
 すと腐食していくため、これは不適切である。

2-8. 展望

この実験でも結晶の色をうまく制御できな
 かったため、別の方法を考えていく。

3-1. 目的

既成の結晶に新たに手を加えることで、結晶
 の色を制御する。

3-2. 仮説

(1)結晶を氷で冷やすと、酸化量は少なくなる。
 根拠：実験1より、結晶は取り出した後に酸化
 するのならば、液内外の温度差の違いで
 酸化する量が変化するのではないか。

(2)結晶を炭素粉末と共に加熱すると、酸化の
 程度を少なくできる。

根拠：酸化銅と炭素粉末で銅が還元されるよう
 に、ビスマスも同様にすると還元され、
 色を制御できるのではないか。

(3)結晶をエタノールと反応させると、色の変
 化がみられる。

根拠：薄膜干渉で美しく輝く蝶の羽をエタノール
 に浸すと、表面構造が変化することから、
 ビスマスにも同様の変化が起きるの
 ではないか。

3-3. 使用した器具・装置

- (1) ・実験1の器具 ・氷角 ・トンカチ
 ・発泡スチロール ・マイナスドライバー
- (2) ・試験管 ・炭素粉末 ・ビスマス結晶
 ・ガスバーナー ・薬包紙
 ・試験管挟み

- (3) ・エタノール ・純水
 ・ビーカー ・ビスマス結晶

3-4. 研究・実験の手順

- (1)①実験1の手順で、結晶を生成させる。
 ②取り出した直後に、結晶を氷に直接当て、
 色の変化を観察する。
- (2)ビスマス結晶と炭素粉末を試験管に入れ、
 ガスバーナーで加熱し、反応の様子を観察
 する。
- (3)質量パーセント濃度70%のエタノールを用
 意し、結晶をそれに浸して、色の変化を観
 察する。

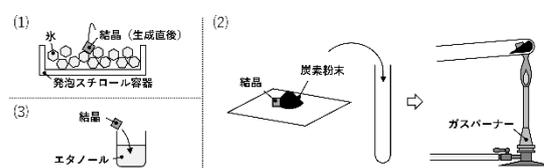


図13 実験の器具と手順 (実験3)

3-5. 結果

(1)結晶を氷に直接当てた時、色は金色と銀色
 の中間色となった。ただし、形はきれいな骸晶
 とならないことがあった。(2)結晶を加熱すると
 ビスマスは融解してしまい、その後冷えると固
 まった。(3)エタノールに浸しても、変化は見ら
 れなかった。



図14 氷に当てて金色になった結晶

3-6. 考察

(1)の結果から、結晶を氷に当てることでそれ
 が急激に冷やされ、かつ空気と触れることがな
 かったために、酸化する量が減ったといえる。
 (2)固体試料の加熱は高温になるため、ビスマス
 の融点(271℃)を超えてしまい、還元ができな
 かった。ここで生成された物質は、ビスマスと
 炭素の混合物であると考えている。(3)結晶の表
 面の色が変わらなかったのは、結晶の構造が蝶

の羽とは本質的に別の構造をしているからだと考えられる。

3-7. 結論

取り出した直後に結晶を氷に当てる方法に関しては、金色・銀色に揃えるという点で効果がある。

3-8. 展望

結晶の色を金色・銀色で揃えることができたため、青色、緑色で揃える方法を探っていく。

4. その他

顕微鏡で結晶表面の様子を観察した。図 15 はその様子である。これをみても、様々な色が見られ、揃っていないことがわかる。

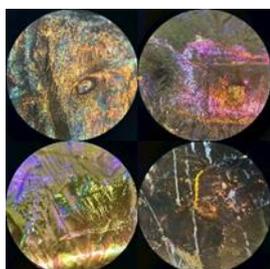


図 15 結晶構造の様子

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、様々な補助・助言をしていただきました化学科の先生方に深く感謝申し上げます。

6. 参考文献・引用文献

<https://m.youtube.com/watch?v=2bXNGRFaLJ8E>
(最終閲覧 2025. 5. 28)

https://www.Rakuten.ne.jp/gold/pycno/special/about_citricacid.html
(最終閲覧 2025. 7. 2)

<https://m.youtube.com/watch?v=jLgx8qd2iE>
(最終閲覧 2025. 5. 28)

鉱物レシピ 結晶づくりと遊びかた. さとうかよこ. グラフィック社. 2015 年
(最終閲覧 2025. 4. 4)

新課程 フォトサイエンス 物理図録. 数研出版. 2024 年
(最終閲覧 2025. 9. 17)