

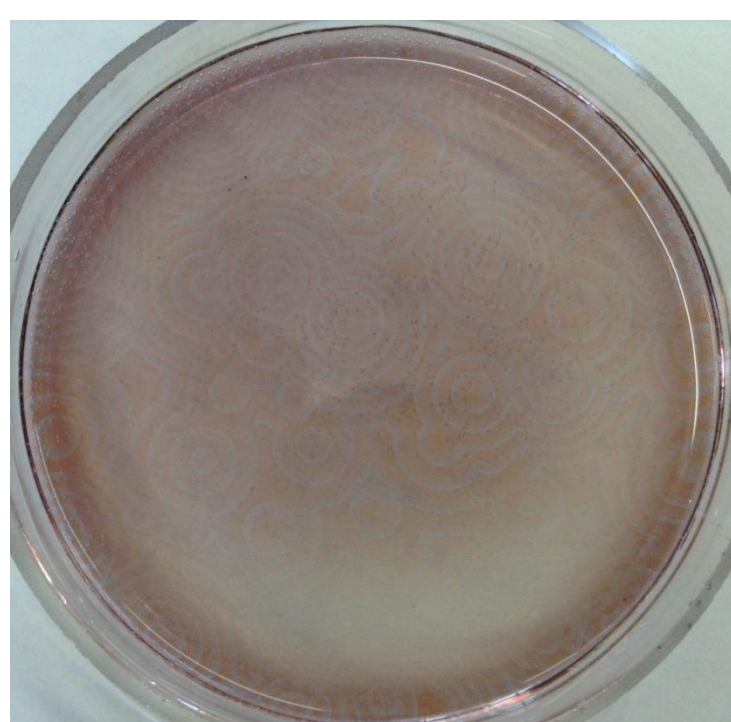
BZ反応における同心円の発生について

長野県伊那北高等学校 理数科2年
化学班 小原めぐみ 古村翔也 坂谷内果穂
塩澤耕平 中原菜緒 真壁涼
指導教諭 西山高志先生 田中律子先生

1, 研究の動機

何の研究を進めるのか調べていく中で、「**BZ反応**」というのがあると知った。

再現実験をしたところ、同じ溶液を使っているにも関わらず、ビーカーでは色の変化が起こり、シャーレでは同心円が見られた。なぜ同心円という特有のものが発生するのかということに興味を持ったので、これをテーマとして研究をすることにした。



2, BZ反応の概要

BZ反応とは・・・

硫酸酸性水溶液中において金属塩と臭化物イオンを触媒としてマロン酸などのカルボン酸を臭素酸塩によりプロモ化する化学反応。反応系と生成系を周期的に行き来するため、**青→紫→青**という色の変化が見られる。

今回の研究では金属塩にフェロインを用いた。フェロインを用いた場合の反応機構は、RZメカニズムで説明される。フェロインは、臭素酸イオンを酸化剤、臭化物イオンを還元剤として、酸化還元反応を繰り返す。この場合、 Fe^{2+} と Fe^{3+} が消費される方向で反応が進み、 Fe^{2+} と Br_2 が再生産される。また、フェロインは酸化還元指示薬としてもはたらいている。酸化される(Fe^{3+})と青色、還元される(Fe^{2+})と赤色を呈する。そのため、この反応では溶液の色が周期的に変化する。

今回研究に用いた、基本となる溶液・実験手順は以下の通り。

使用する溶液

①臭素酸ナトリウム	NaBrO ₃	0.15mol/L
②臭化カリウム	KBr	0.30mol/L
③マロン酸	C ₃ H ₄ O ₄	0.10mol/L
④希硫酸	H ₂ SO ₄	0.03mol/L
⑤フェロイン溶液 (フェナントロリン＋硫酸鉄(Ⅱ))	C ₁₂ H ₈ N ₂ + FeSO ₄	5.0mmol/L

実験手順(シャーレを用いた実験)

- ①～④の溶液それぞれ2ml, 1ml, 2ml, 1mlをシャーレに入れ、臭素による黄色が消えるまでシャーレを揺する。
- 色が消えたら、⑤のフェロイン溶液を1ml加え、シャーレを揺すり、全体が青色になったらそのまま静置する。

3, 実験

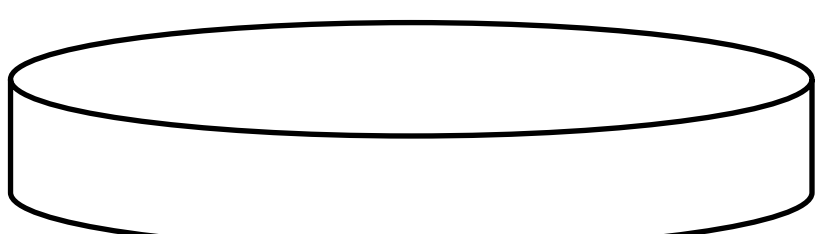
実験1 溶液の混ぜ方を変える実験

目的:混ぜ方を変えることが同心円の発生に影響するのかを調べる。

方法:基本となる実験で用いたシャーレをいくつか用意する。
直線・右回り・左回りの3通りの混ぜ方をし、違いがあるか観察する。

予想:すべて、溶液全体が混ざる混ぜ方なので、同心円の発生に違いは見られない。

結果:どの混ぜ方でも全体に同心円が現れ、混ぜ方による違いは特に見られなかった。
しかし、最初に行った再現実験の時と比べると同心円の発生の速さや模様が異なっていた。



再現実験は夏、今回は秋に行ったので、**温度の違い**によるものではないだろうか？

実験2 温度変化による違いを調べる実験

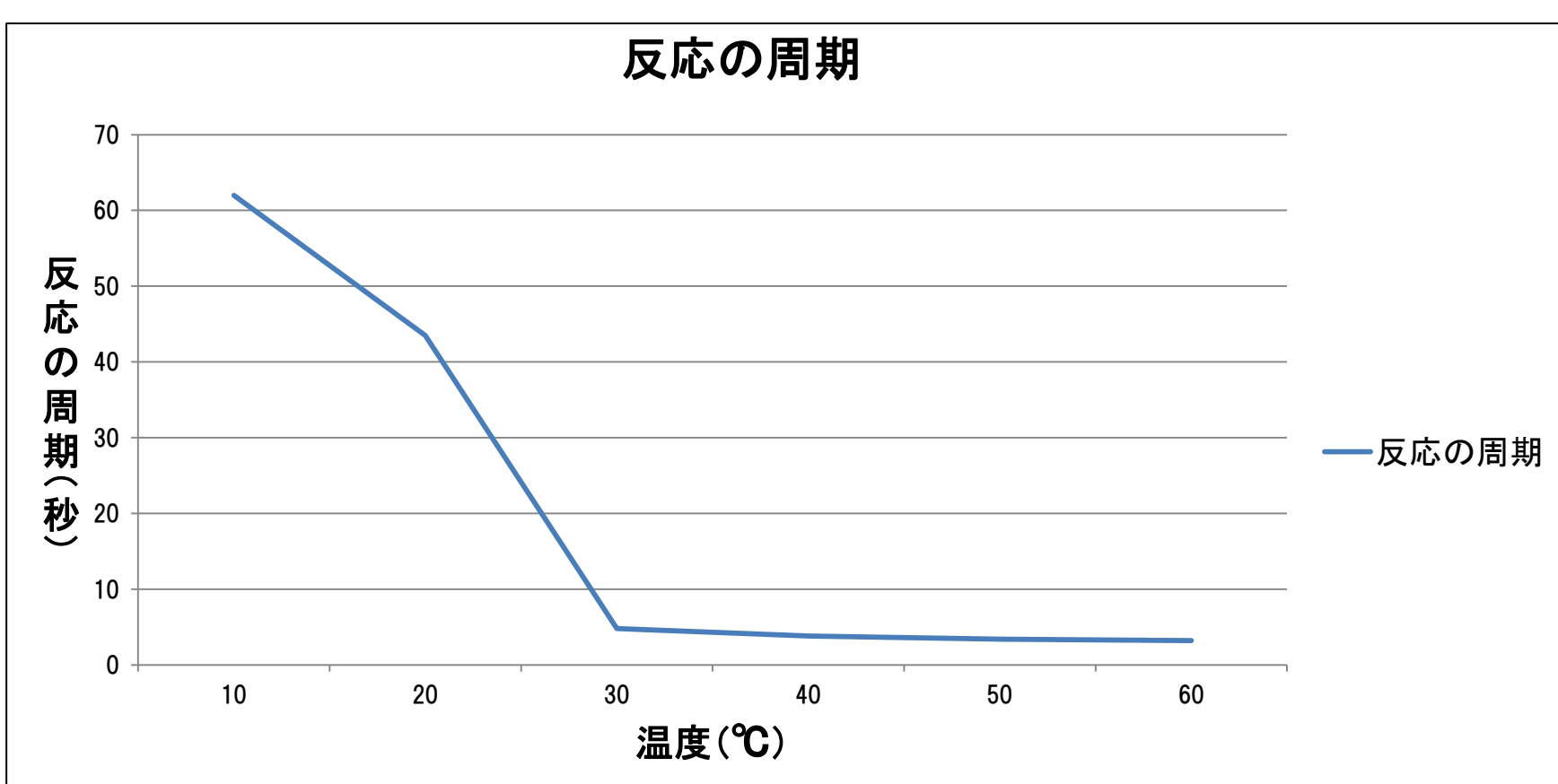
目的:温度変化に伴う反応の速さと反応の様子について観察し、その関係性を調べる。

方法:溶液の濃度を一定にし、恒温器を用いて温度を10℃～60℃まで10℃ずつ変化させ、それぞれの温度での反応の様子を確認する。

予想:温度が上がるほど熱運動が激しくなるため、反応速度は速くなり、同心円は崩れる。

結果:○各温度における反応周期

温度(℃)	10	20	30	40	50	60
反応の周期(秒)	62.0	43.5	4.8	3.8	3.4	3.2



※同心円の輪が1つ増えるのにかかる時間、または全体が青になってから再び青になるまでの時間を反応の周期とする。

○各温度における反応の様子

- ・恒温器内では同心円は確認できなかった。
- ・恒温器から出した後、温度が高かったシャーレほど、細かい同心円が見られた。

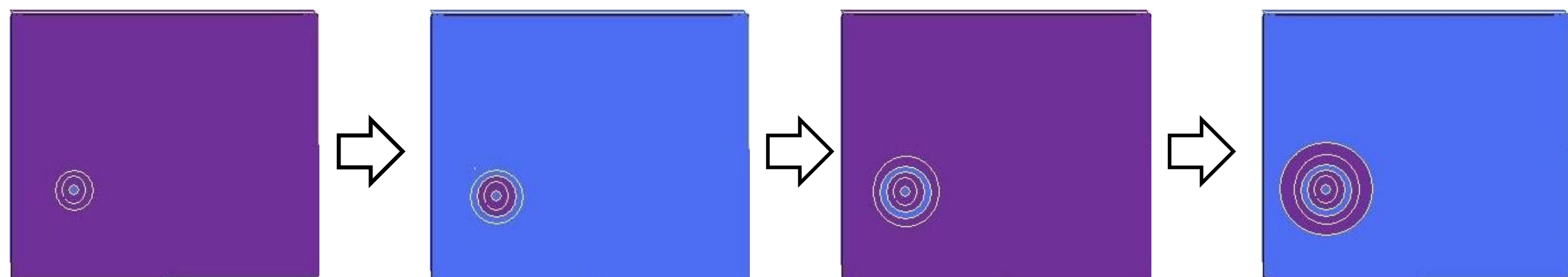
考察:・温度が上がるほど反応速度は速く、同心円は細かくなったのは、分子の熱運動が激しくなったためであると考えられる。

・恒温器の中で同心円が見られなかったのは、恒温器のファンからの風により、溶液がかき混ぜられてしまったためであると考えられる。

・反応速度が10℃～30℃までは急激に変わり、30℃～60℃まではあまり変化しなかったのは、実験の不正確さと試行回数の少なさ、また、BZ反応には、反応を起こすのに必要な作用の大きさ・強度の最大値が存在しているのではないかと考えた。

ここまでの研究結果からわかったこと

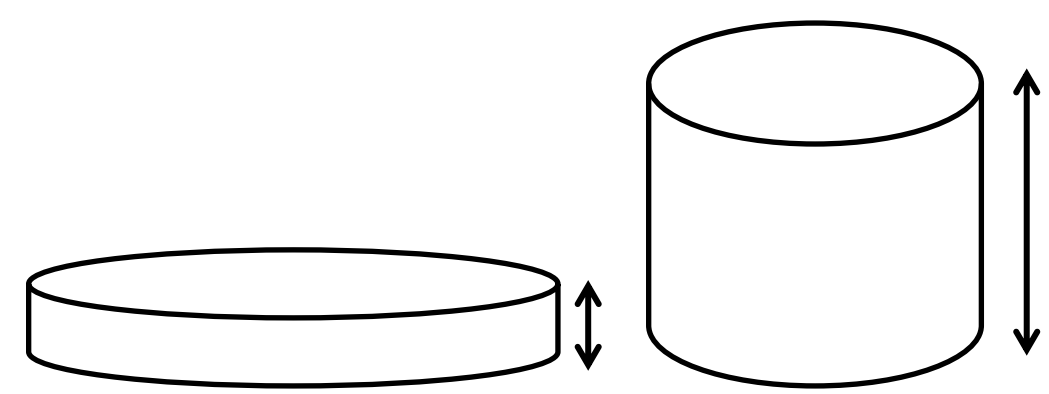
- ・シャーレに風があたり、溶液がかき混ぜられている状態では、ビーカーの反応と似た反応が起きた。
- ・下図のように、**同心円が発生し拡大していくのは、同心円がない場所で色が変化すると連動していた**。



今後は以上の二つのことを踏まえて、シャーレでの反応とビーカーでの反応の関係性を探っていく。

実験3 溶液の厚みを変えて調べる実験

目的:再現実験の時、ビーカーでは同心円が見られなかった。
シャーレとビーカーとの大きな違いは溶液の厚さであると考えた。
そこで、同心円が観察できる厚さとできない厚さの境を調べる。



方法:シャーレに再現実験に用いた溶液の半量を入れて静置し、同心円が見られることを確認する。
確認できたらそれをビーカーに移して静置し、同心円が発生するかどうかを調べる。
同じ操作を繰り返し、同心円が確認できる厚さの境を見極める。

予想:厚くなるにつれ溶液の色が濃くなるので、同心円が見えにくくなる。

結果・考察:

厚さ(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
同心円の有無	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	△	△

◎・・・全体ではっきり見られる
○・・・全体では見られないが端の方に数個見られる
△・・・端の方に小さな同心円がわずかに見られる。

溶液の厚みが増すと円の形が崩れはじめ、見づらくなった。

さらに厚くなると、ビーカーの端の溶液が薄い部分でしか見られなくなった。

➡ 中心付近では内部の溶液の色が濃すぎて表面の同心円が見られないと考えられる。

実験4① 溶液の量を変えると反応速度は異なるかどうかを調べる実験

目的:ビーカーでの反応と、シャーレで同心円が発生する反応の速度を比べるために、まずは溶液の量による反応速度の違いを調べる。

方法:3つのシャーレに、再現実験で用いた量(A)、その2倍の量(2A)、その3倍の量(3A)の溶液を入れ、それぞれの反応の周期を計る。

予想:溶液の濃度は変わらないので反応速度も変わらない。

結果:下の表から、量を変えても反応速度は変わらないということがわかった。

	A	2A	3A
シャーレ1	30秒	36秒	31秒
シャーレ2	30秒	31秒	27秒
シャーレ3	34秒	28秒	29秒
平均	約31秒	約32秒	29秒

※同心円の輪が1つ増えるのにかかる時間を反応の周期とする

実験4② 同心円の反応速度とビーカーでの色が変わる反応速度の関係性を調べる実験

目的:同心円の反応はビーカーでの色の変化とどのような関係があるのかを調べる。

方法:シャーレで再現実験と同様の実験を行い、反応の周期(実験4①参照)を計る。
同時に、ビーカーを用いた実験を行い、色が変化した後にもた変化するまでの時間も計る。
この二つの時間を比べて、反応の関係性を調べる。

予想:同心円の反応も色が変化する反応も、同じ溶液での反応であるから、その周期は等しくなる。

結果・考察:

	同心円	ビーカーの色
1回目	15秒	16秒
2回目	16秒	17秒
3回目	16秒	17秒

上の表のように、同心円の反応と色が変化する反応の周期はほぼ等しくなった。

見た目では全く違う反応だが、**双方の反応は同じものであり、連動している**ということがわかった。

4, 全体の考察

・同心円ができた溶液の表面だけをガラス棒でつつくと、同心円が崩れたことから、**同心円は表面だけにみられる反応**であるとわかった。

・溶液の厚さが増すと同心円は端の方でしか見られなくなるが(実験3)、**色が変化する現象と同心円が発生する現象は同じ反応**だとわかった(実験4②)。

同心円は表面だけに薄くみられる現象だから、溶液の厚さで溶液の色が濃くなってしまうと、可視化できなくなるからであると考えられる。

したがって、今回の実験では、**温度の違いのみが同心円の反応に影響**を及ぼしていたということになる。

5, まとめ

・**表面に薄く見られる振動反応**であり、少しでも混ぜるとすぐに消える。

・**ビーカーとシャーレでの反応は実質的に同じ**であり、攪拌せずに静置したビーカーではシャーレと同様に同心円が発生する。しかし、溶液が厚くなると内部の色が濃くなってしまい、端でしか見ることができなくなる。

・同じ濃度の溶液では、同心円の反応速度や模様は**温度変化によって変わる**のであり、溶液の量や厚さでは変化しない。

・今回はビーカーとシャーレ以外にも、メートルグラスを用いて観察を行った。右の写真のように赤と青のらせんに似た模様が見られ、予想にはないことが起きた。これについては時間が足りず、原因の究明には至らなかった。



参考文献

- ・数理解析であばく化学振動反応の本質
http://www.math.kanagawa-u.ac.jp/~yamazaki/ikeda_suematsu_abstract.pdf
- ・東京理科大学 I 部化学研究部 過去の研究(木曜班「振動反応」)
http://www.ed.tus.ac.jp/~kaken/studies/06/06_thu.pdf