

## 第19回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : GH0165  
応募部門 : 高校生部門  
応募区分 : 団体応募  
題名 : BR反応の不思議  
サブタイトル : 一光が振動に与える影響一  
学校名 : 静岡県 静岡市立高等学校  
学年 : 2年生  
代表者名 : 大下 竜

※ 個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

# BR反応の不思議 ～光が振動に与える影響～

静岡市立高等学校 科学探究科 2年  
大下 竜 長尾 怜

## 1 概要

Briggs-Rauscher 反応 (BR 反応) はヨウ化物イオン ( $I^-$ ) とヨウ素 ( $I_2$ ) が繰り返し生成する振動反応の一種であり、溶液に添加されるデンプンによって、ヨウ素デンプン反応による無色、黄色、濃い青紫色の溶液が繰り返し現れる特徴がある。色の変化と同調して溶液中の電圧も変化する現象は「振動」と呼ばれ、BR 反応では、特に電圧の振動に注目して研究されることが多い。本研究では BR 反応の振動に与える光の影響を調査し、溶液に当たる光の照度と紫外線の強度を測定しながら実験した結果、照度や紫外線強度が高いほど振動回数も振動継続時間も短くなり、特に、水溶液に紫外線を照射すると黄色と青紫色の振動が発現しないことを明らかにした。

## 2 研究背景

科学探究科では、歴代の先輩方が BR 反応に関する研究に取り組んできた。BR 反応におけるデンプンの働きに注目した先輩方は、振動の継続にはデンプンが不可欠であることを明らかにし<sup>1),2)</sup>、デンプンの代わりにポリビニルアルコール (PVA) を指示薬として添加しても振動が継続する現象を発見したことを受けて、BR 反応におけるデンプンの本当の役割は単なる指示薬などではなく、螺旋骨格保有物質として振動の継続に重要な役割を担っていることを明らかにした<sup>3)</sup>。

2023 年に研究に取り組んだ先輩方は、溶液が入った試験管全体を氷で覆い、氷冷しながら反応させると開始 3 分後に反応が一時的に停滞し、3 分間の停滞の後に振動が復活する現象を発見した。当初、この現象の解明に取り組んだ私達だが先輩方の実験結果を再現できず、それが、実験する時間帯が異なっていたことに起因すると気づいた時に、光の照度や紫外線が振動に与える影響について調査したいと考えたことから、BR 反応の振動と光の関係を調査し始めた。

## 3 目的

光が BR 反応の振動に与える影響を調査する。

## 4 「基本の BR 反応」の測定方法

Fig.1 に示す装置を組み、Table 1 に示す試薬を A、C、D の順に試験管に加え、350rpm のマグネティックスターラーで攪拌しながら B を加えた。電圧の振動は Ag/AgCl 参照電極で追跡し、溶液の温度は温度センサーでモニターした。なお、参照電極と温度センサーはデータロガー (SPARK, 島津理化) につなぎ、A~D の全ての試薬を試験管に投入し終了タイミングで記録を開始した。また、A、B、C は液温が 10°C になるまで事前に氷冷し、指示薬として用いる D は昭和化学株式会社製



Fig.1 測定装置

の試薬を用いた。この方法で反応させると振動は 19 回、900 秒継続し、これを「基本の BR 反応 (Fig.2)」と呼んで、5 以降の実験の対照実験とした。

Table 1 使用した試薬<sup>4)</sup>

	試薬	濃度	体積
A	KIO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.20 mol/L 0.054 mol/L	22mL
B	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.4 mol/L	20mL
C	マロン酸 MnSO <sub>4</sub>	0.15 mol/L 0.035 mol/L	20mL
D	デンプン	1 %	2mL

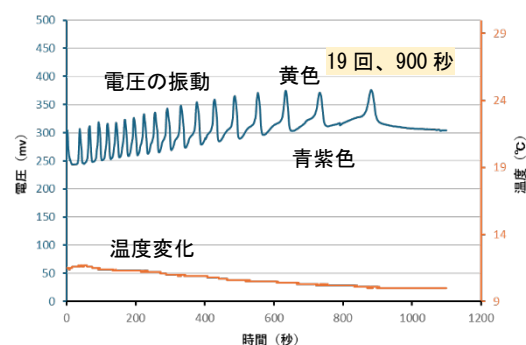


Fig.2 基本の BR 反応 (屋内で測定)

## 5 実験

### 5-1 実験 1

#### (1) 目的

光が BR 反応に与える影響を調査する。

#### (2) 方法

4に示す方法で、BR 反応を「屋内」と「屋外」で測定した。「屋外」とは太陽光の下で実験することを意味し、「屋内」と「屋外」の違いは照度センサーと紫外線センサーで測定した。なお、紫外線については、紫外線が全く当たらない状態を 0 とした場合の紫外線相対強度を測定した。

#### (3) 結果

屋内の実験では、Fig.1 に示す試験管に当たる光の照度は 6800 lux、紫外線相対強度は 5 であり、屋外での実験で試験管に当たる光の照度は 90000lux、紫外線相対強度は 85 であった。

また、屋内では 19 回、900 秒の振動が現れた (Fig.2) のに対し、屋外では 6 回、100 秒しか振動が継続しなかった (Fig.3)。また、屋内では水溶液の色は黄色と青紫色の振動を繰り返したが、屋外では青紫色の濃淡を繰り返すのみで、水溶液が黄色くなる現象は見られなかった。

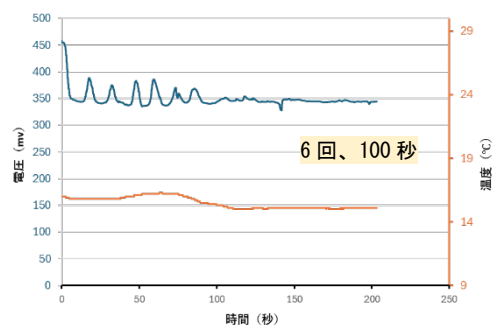


Fig.3 屋外での BR 反応の結果

#### (4) 考察

屋外での振動 (Fig.3) が屋内での振動 (Fig.2) よりも振動回数、振動時間ともに短くなり、水溶液の色の振動にも違いが現れたのは、照度の高さや紫外線照射量の多さが原因だろう。基本の BR 反応 (Fig.2) では  $I^-$ 、 $I_2$ 、 $I_3^-$  という酸化還元反応の過程を繰り返すため溶液の色が透明、黄色、青紫色の周期を繰り返すが、屋外で実験すると溶液の色は青紫色の濃淡を繰り返すだけで黄色が現れず、これは、溶液に光が照射されると  $I_2 \rightarrow I^-$  の還元過程が抑制されるか、あるいは  $I^- \rightarrow I_2$  の酸化過程が促進されたと考えられ、この現象に起因して振動回数、振動時間が短縮されたと推察できる。

### 5-2 実験 2

#### (1) 目的

紫外線が振動に影響すると仮説を立て、**実験 1** が紫外線照射による結果か調査する。

## (2) 方法

4に示す方法で、試験管にUVカットフィルム（エーワンUVカット透明カバーフィルム35041）を巻き付け、太陽光の下で**実験1**と同様に「屋外」で測定した。

## (3) 結果

まず、UVカットフィルムの効果を確認した。

**実験1** (3)で示したとおり、屋外での実験で試験管に当たる光の照度は90000lux、紫外線相対強度は85だったが、UVカットフィルムを貼ると、光の照度は変わらないが紫外線相対強度は0になり、UVカットフィルムには紫外線をカットする効果があることを確認した。

現れた振動は9回、150秒（Fig.4）であり、色の振動については、屋外での測定にも関わらず、「基本のBR反応」と同様の、透明、黄色、青紫色の振動を繰り返した。

## (4) 考察

屋外での測定にも関わらず、UVカットフィルムを試験管に貼ると（Fig.4）、貼らない場合（Fig.3）と比べて振動回数と振動時間は増加し、UVカットフィルムを試験管に貼った場合に限り、「基本のBR反応」（Fig.2）と同様の、透明、黄色、青紫色を繰り返す振動が現れた。この結果から、「基本のBR反応」を再現するには水溶液に紫外線が当たらない条件下で実験しなければならないことがわかる。

UVカットフィルムを試験管に貼ると、貼らない場合と比べて振動回数、振動時間ともに増加したが、「基本のBR反応（Fig.2）」の振動回数、振動時間には到達しなかった。これは、試験管の氷冷が十分でなかったことにより水溶液内の温度が上昇してしまった（Fig.4）ことが原因だと考えている。

なお、私達が「基本のBR反応（Fig.2）」を測定したのは屋内であり、具体的には化学室の窓際（窓は閉まっている）である。この場所の紫外線相対強度は5であったことから、窓を閉めると太陽光からの紫外線がほとんど遮断され、これが、いわゆるBR反応の再現に一役買っていたことに初めて気がついた。

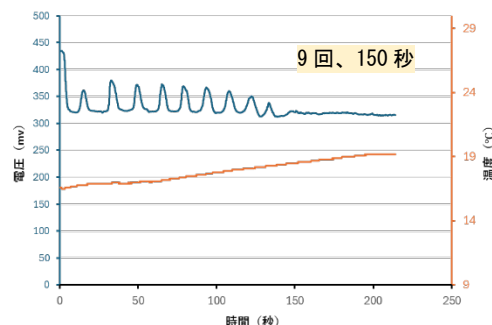


Fig.4 屋外で、試験管にUVカットフィルムを貼った場合の結果

## 5-3 実験3

### (1) 目的

紫外線が振動に影響すると仮説を立て、**実験1**が紫外線照射による結果か調査する。

### (2) 方法

4に示す方法で、室内において試験管に人工太陽照明灯（セリック株式会社）を照射して振動を測定し、照度と紫外線も**実験1**と同様に測定した。

### (3) 結果

人工太陽照明灯を照射された試験管の照度は100000lux、紫外線相対強度は35であり、**実験1**の「屋外」で実験した時よりも照度は明るく、紫外線相対強度は低かった。

振動開始後250秒まで人工太陽照明灯を照射し、その後、人工太陽照明灯を消すとFig.5のような結果になった。250秒まで振動は停滞し、水溶液の色は青色のまま変化しなかったが、250秒以降は振動が再開し、「基本のBR反応」と同様の色の振動を示した。なお、反応開始から反応終了まで人工太陽照明灯を照射し続けた場合、溶液の色

は最後まで青色を保ち続け、振動は停滞したまま反応が進み、「基本の BR 反応」と同様に、最終的にはヨウ素が大量に発生して反応が終了した (Fig.6)。

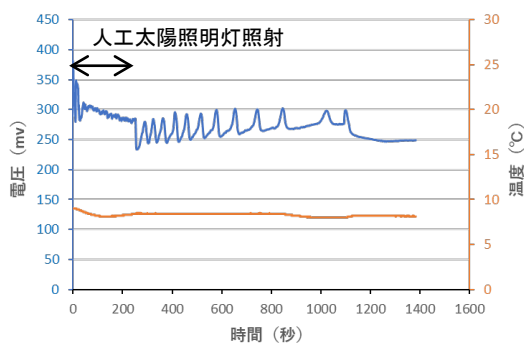


Fig. 5 250 秒間だけ人工太陽照明灯を照射した場合の結果

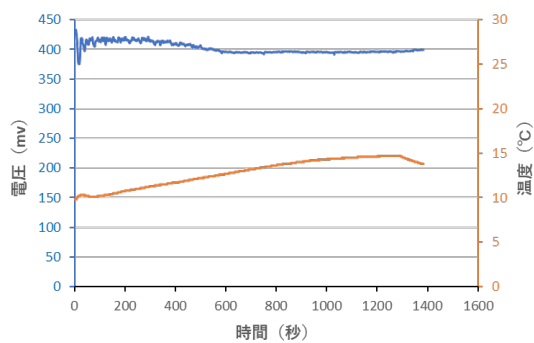


Fig. 6 反応終了時までずっと人工太陽照明灯を照射した場合の結果

#### (4) 考察

人工太陽照明灯を照射した期間のみ振動が停滞したことから、紫外線が試薬の何らかの物質に作用して  $I_2$  の生成を促進させたか、または  $I$  の生成を阻害したと考えられる。

Fig.5 は、人工太陽照明灯を照射し続けると振動は停滞するが、照射を止めると振動が再開することを示している。この結果からは、振動の停滞中であっても反応自体は止まっていなかったことが予想され、これは、Fig.5 における反応終了は 1100 秒であるが、この値から人工太陽照明灯の照射秒数である 250 秒を引くと 850 秒になり、「基本の BR 反応」における振動継続時間 900 秒 (Fig.2) に近づくことが裏付けになっている。

## 6 結論

水溶液に照射される紫外線の強度が同じ場合は、照度が高いほど振動回数と振動時間が短くなり、照度が同程度の場合は、照射される紫外線の強度が高いほど振動回数と振動時間が短くなる傾向が見られ、特に、紫外線が照射されると振動が停滞する現象が現れることがわかった (Table 2)。太陽から放出される紫外線のうち地表に到達する紫外線はほとんどが A 波と言われることから<sup>5)</sup>、約 315nm~400nm の波長の電磁波が BR 反応の酸化還元反応の過程に影響を与えていると言える。通常の BR 反応を再現したい場合は、水溶液に紫外線を照射しないことを条件のひとつに加えたい。

Table 2 まとめ

実験装置	測定場所	照度 (lux)	紫外線 相対強度	振動回数 (回)	振動時間 (秒)	色の振動
基本の BR 反応	屋内	6,800	5	19	900	黄色と青紫色
基本の BR 反応	屋外	90,000	85	6	100	青色の濃淡
UV カットフィルム	屋外	90,000	0	9	150	黄色と青紫色
人口太陽照明灯	屋内	100,000	35	--	--	青色のみ

## 7 展望

まず、光も紫外線も全く当たらない環境下での BR 反応の測定を試みたい。もし、この環境下で BR 反応が「基本の BR 反応 (Fig.2)」と同様の結果が得られたら、紫外線だけでなく、照度が振動に与える影響についても言及できそうだ。

また、太陽光とは異なる波長の電磁波が振動に与える影響についても調査したい。キセノンランプを利用してエネルギーの高い電磁波を照射するなどして、波長の違いが振動に与える影響を調べることが出来れば、複雑と言われる BR 反応の反応過程を明らかにすることができるかもしれない。

## 8 参考文献

- 1) 袴田彩仁他, 静岡県理科研究論文集, 令和元年度 <https://gakusyu.shizuoka-c.ed.jp/science/sonota/ronnbunshu/top.htm> (最終閲覧日 2024 年 9 月 15 日)
- 2) 加藤善大他, 静岡県理科研究論文集, 令和 3 年度 <https://gakusyu.shizuoka-c.ed.jp/science/sonota/ronnbunshu/top.htm> (最終閲覧日 2024 年 9 月 15 日)
- 3) 青嶋妃菜他, 静岡県理科研究論文集, 令和 4 年度 <https://gakusyu.shizuoka-c.ed.jp/science/sonota/ronnbunshu/top.htm> (最終閲覧日 2024 年 9 月 15 日)
- 4) 山本明, 物理屋さん <http://yamamoto-akira.org/butsuriya/BRshindou/index.html> (最終閲覧日 2024 年 9 月 15 日)
- 5) 佐々木政子, 東海大学総合科学技術研究所, 絵とデータで読む太陽紫外線 [https://www.env.go.jp/earth/report/h19-02/3-1\\_chapter3.pdf](https://www.env.go.jp/earth/report/h19-02/3-1_chapter3.pdf) (最終閲覧日 2024 年 9 月 15 日)