

# 蛍光物質の構造と発光波長に関する研究

福岡県立鞍手高等学校理数科

永井 奎伍, 松本 凌, 小栗 琴音, 世良 芽唯, 山岡 里奈  
指導教員 藤本 直樹

蛍光物質を加えたシュウ酸ビス(2,4-ジニトロフェニル)と過酸化水素による化学発光について、蛍光物質の構造と発光色との関係調べる実験を行った。その結果、アントラセンに類似した構造を持つ蛍光物質の分子の長さや光の波長との間に、波動の式で表される関係が成り立つことを発見した。また、この式を用いて、結合した基による波長への影響について考察した。

## 1. 研究の経緯

ルミノール反応について研究していく過程で、化学発光の際に蛍光物質が発する色の違いに興味を持った。よく使われる蛍光物質の構造を調べたところ、蛍光物質の構造には類似点があり、構造の違いによって発する色が変化することが分かった。そこで、蛍光物質の構造と発光色の関係について研究を行った。

## 2. 化学発光の原理

化学発光とは、反応などによって励起状態になった分子が基底状態に戻る際に、その差のエネルギーを光として放出する現象で、“直接発光”と“間接発光”がある。

直接発光では、反応で生成した励起分子から直接可視光として放出される。例として、ルミノール反応では、ルミノール分子が過酸化水素で酸化されることにより励起状態となり、分解して基底状態になる際に光を放出する。

間接発光では、励起分子が基底状態に戻ろうとする時、エネルギーを共存する他の蛍光物質に移行することによって蛍光物質が励起状態となり、基底状態になる際に光を放出する。コンサート会場などで使用されるサイリウムはこの例である。

## 3. 本研究の内容

### 《実験》

蛍光物質の種類によって発光色がどう違うかを調べた。発光物質として最初はシュウ酸ジフェニル(DPO)を使用した。発光しなかったため、シュウ酸ビス(2,4-ジニトロフェニル)(DNPO)を使用した。

### (1) 溶液の調製

A液: シュウ酸ビス(2,4-ジニトロフェニル) 0.1g  
フタル酸ジメチル 20ml  
B液: 30%過酸化水素水 2ml  
フタル酸ジメチル 30ml  
t-ブチルアルコール 8ml  
サリチル酸ナトリウム 少々

### (2) 実験方法

A液に少量の蛍光物質を加え、同量のB液を加える。

### (3) 実験結果

実験結果は表1、図1の通りである。

表1 蛍光物質と発光色

	蛍光物質	発光色		蛍光物質	発光色
①	アントラセン	青	⑤	エオシンY	黄緑
②	ナフタセン	緑	⑥	ローダミンB	赤
③	ペリレン	青	⑦	ローダミン6G	黄
④	フルオレセイン	無	⑧	無し	無

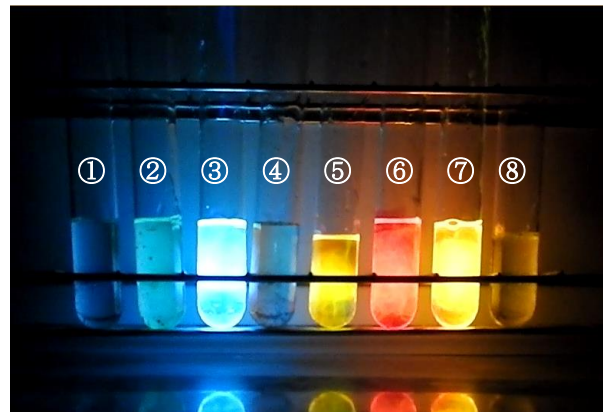


図1 蛍光物質の発光色

表2 可視光線の色と波長

色	紫	青	青緑	緑	黄緑	黄	赤	赤紫	
波長nm	400	435	480	500	560	580	610	750	800

## 4. 考察

### (1) アントラセンの仲間について

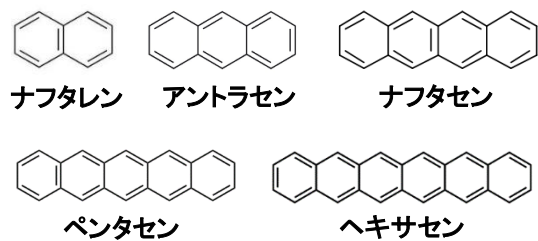


図2 アントラセンの仲間の構造式

これらは、ベンゼン環が横一列につながった構造の蛍光物質である。これらの発光色は、今回の実験からアントラセンが青、ナフタセンが緑、また、文献[1]から、ペンタセンが赤であった。

これらの分子の長さや発光波長を示したものが表3、図3である。図3のグラフから分子の長さや発光波長に比例関係がみられる。このことから、アントラセンの仲間については、ベンゼン環の数が上がるほど光の波長が長くなると考えられる。

表3 分子の長さや発光波長

蛍光物質	分子の長さ [nm]	発光色	発光波長 [nm]
アントラセン	722	青	448
ナフタセン	963	緑	520
ペンタセン	1204	赤	625

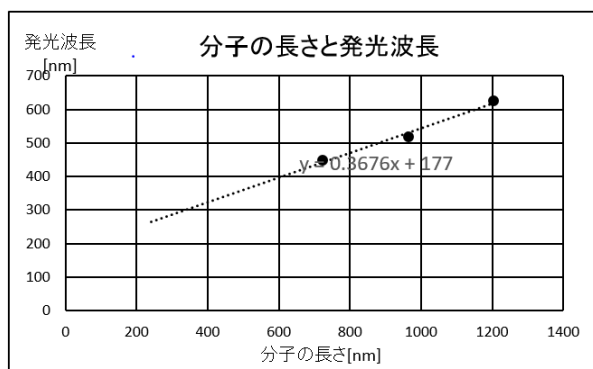


図3 分子の長さや発光波長

弦楽器の音は、弦の振動が空気を媒質にして波として伝わったものである。光は波と粒子の性質を併せ持っており、空間を媒質にして波として伝わっている。これらの蛍光物質では、分子内を電子が自由に移動する共鳴という現象が起きているため、電子が弦の役割をしていると考え、分子の長さを弦の長さとして、化学発光を物理の波動の公式で表せるのではないかと考えた。

物理の波動の公式から、

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \dots \textcircled{1} \quad f = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{S}{\rho}} \quad \dots \textcircled{2} \quad \text{より}$$

$$\lambda = \frac{2lc}{n} \sqrt{\frac{\rho}{S}} \quad \dots \textcircled{*}$$

※  $\lambda$ : 波長[m]     $f$ : 振動数[Hz]     $c$ : 光の速さ[m/s]

$l$ : 弦の長さ[m]     $S$ : 弦の張力[N]     $\rho$ : 弦の線密度[kg/m]

となり、分子の長さや発光波長の二つが比例関係になることが説明できる。これにより図3の近似式から予想されるナフタレン (分子の長さ 481nm) の発光波長は 354nm (紫外線) であり、ナフタレンが化学発光しない事実と一致する。また、ヘキサセン (分子の長さ 1445nm) の発光波長は 708nm (赤) になると考えられる。

## (2) フルオレセインの仲間について

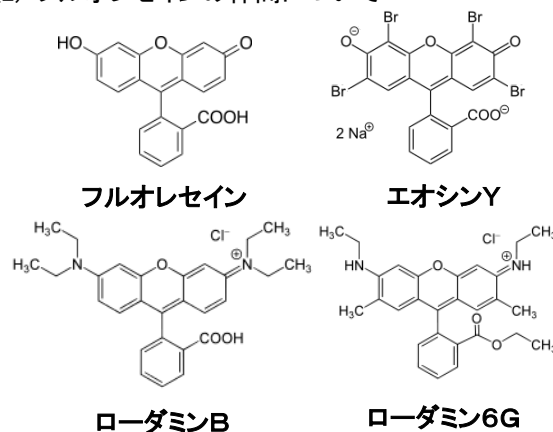


図4 フルオレセインの仲間の構造式

これらは、アントラセンの炭素の1つが酸素に置き換わったキサントレンを中心とする構造を持つ。これらは、電子が移動できる範囲が同じであり、弦の長さが同じと考えられる。

これらの構造の違いはキサントレンに結合している枝の部分 (基) である。基には、結合した幹の部分から電子を吸い取る電子吸引性基と、電子を送り込む電子供与性基がある。そのため、発光色は変化する理由は、キサントレンに結合している基の違いにより、キサントレン内の電子密度、つまり、弦の線密度  $\rho$  が変化するためと考えられる。

## 5. 問題点と今後の展望

現在の問題点として、今回研究で使った蛍光物質が7種類と少ないので、より多くの蛍光物質や複雑な分子構造を持つ蛍光物質を使用して実験を行い、分子の長さや発光波長との関係式が成り立つか検証したい。また、電子吸引性基や電子供与性基が結合したキサントレンの電子密度を測定し、電子密度や発光波長との関係式が成り立つかを検証したい。

将来、この結果に基づいて分子構造を設計し、発光色を自由に設定できるようになれば、繊維やプラスチックの染色など、さまざまな分野への応用が考えられる。

## 謝辞

今回の課題研究にあたり、私たちの研究をご指導してくださいました先生方に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 「可視・紫外発光有機 EL 素子の開発」太田信廣 (北海道大学電子科学研究所)
- [2] 「無銘闇人の電脳仮想空間」 化学反応による発光実験 (アーカイブ) <https://sites.google.com/site/mumeiyamibito/ha kko>