

実 験 報 告 書

題 目 光吸収

実 験 実 施 日 (西暦) 2023 年 6 月 26 日

提 出 日 (西暦) 2023 年 7 月 2 日

(再 提 出 日 (西暦) 年 月 日)

報告書作成者

学籍番号 8223036 氏名 栗山淳

共同実験者

学籍番号 8223030 氏名 萱谷 碧

学籍番号 8223032 氏名 北村 天人

学籍番号 8223034 氏名 金 知賢

学籍番号 8223038 氏名 神山 友輝

学籍番号 8223040 氏名 小杉 温子

東京理科大学先進工学部マテリアル創成工学科

実験指導者記入欄	
提 出 日 /	署名
再提出指定日 /	
再 提 出 日 /	署名

チェックリスト

- ☑ 「結論」が的確にまとめられているか。
- ☑ 「結論」の長さは適切か。日本語に誤りがないか(論旨，文法，単語)。
- ☑ 「結論」と「実験結果」の整合性がとれているか。
- ☑ 「結論」を導くために必要十分かつ適切な「実験結果」の表現が過不足なくされているか。
- ☑ 「実験結果」はわかりやすく，見やすく，正確に表現されているか。
- ☑ グラフの軸，表の項目，グラフや表のタイトルに漏れはないか，適切か。
- ☑ 有効数字は適切か。単位が漏れていないか。
- ☑ (写真を用いる場合) 写真の明るさやコントラストは適切か。
- ☑ 「実験結果」を得るために必要な「方法」が過不足なく表現されているか。
- ☑ 「目的」が明記されているか。「目的」と「結論」の整合性がとれているか。日本語が適切か。
- ☑ 「なぜこの目的で実験をしたか」が「背景」に的確に表現されているか。日本語が適切か。
- ☑ 必要に応じて適切に参考文献の引用情報が記述されているか。

参考文献：議論の裏付けを与えるものであるから，実験題目に関係がある文献を偏りがないようにできる限り引用する。文献の表記方法を参考として下記に記述しておく。

 - 1) 著者名，書籍名，発行所，ページ，発行年
 - 2) 著者名，雑誌名，巻，号，ページ，発行年
- ☑ 全体としてわかりやすいか。
- ☑ 「背景」が1ページを超えていないか。
- ☑ 「実験方法」が1ページを超えていないか。
- ☑ 「結論」が100字程度で記されているか。

1. 背景

物質の光吸収の実験は、私たちの生活において重要な役割を果たしている。光は私たちが日常的に目にするものであり、その振る舞いや特性を理解することは、さまざまな分野での応用や問題解決につながる。光吸収とは、物質が光を吸収する現象のことであり、光が物質と相互作用する際に起こる重要な過程である。私たちの日常生活で光吸収の例を見つけることは容易である。例えば、太陽の光が大気中の微粒子によって散乱され、青空が生まれたり、美しい夕焼けが見られる。また、色鮮やかな花や果物は、光を吸収して特定の波長の光を反射し、私たちの目に鮮やかな色彩をもたらす。¹このような光吸収の現象を理解するためには、物質の光吸収特性を研究する必要がある。光吸収実験は、物質が特定の波長の光をどれくらい吸収するのかを調べる手法であり、それによって物質の性質や挙動を解明することが可能である。光吸収スペクトルと呼ばれるグラフは、吸収の強さや波長に対する特徴的なピークの位置を示し、物質の組成や構造、電子状態などに関する情報を提供する。²物質の光吸収特性を研究することは、さまざまな分野での応用に直結している。医療分野では、光吸収スペクトルを用いた非侵襲的な診断や治療手法が開発されている。例えば、近赤外線分光法は、生体組織の酸素供給量や血液の循環状態を評価するために使用されている。この技術は、脳の活動や組織の酸素代謝などの評価に応用され、脳卒中や脳損傷の診断や治療に役立っている。²環境評価においても光吸収実験は重要な役割を果たしている。大気汚染物質や水質汚染物質は、特定の波長の光を吸収する性質がある。²そのため光吸収スペクトルを測定することで、大気中や水中の汚染物質の濃度や種類を特定し、環境の汚染状況を評価することができる。この情報は、環境保護や持続可能な開発において重要な役割を果たし、適切な対策や管理策の立案に役立つ。さらに、物質の光吸収特性は化学反応や触媒の解析にも応用されている。化学反応の中間体や触媒は、特定の波長の光を吸収することがある。光吸収実験によって得られる情報を解析することで、反応の進行状況や触媒の存在を推定することができる。この知識は、反応機構の解明や効率的な触媒の設計に貢献し、化学工業やエネルギー分野において重要な役割を果たしている。²以上のように、物質の光吸収の実験は私たちの生活や社会において不可欠なものである。光吸収特性の研究と実験は、医療診断や環境評価、化学反応の解析などさまざまな応用につながる。²物質の光吸収に関する知識と技術の発展は、私たちの生活の質を向上させ、持続可能な社会の実現に貢献することが期待されている。今回の実験では光吸収スペクトルから検量線を作成し、モル吸光係数和算出することや様々な溶液の光吸収スペクトルや蛍光スペクトルを観察してみることで物質の光の吸収や蛍光と光吸収の関係を調査することが目的である。

2. 原理

2.1 光の吸収と透過について

光の吸収と透過は、光が物質と相互作用する際の 2 つの主要な現象である。光の吸収は、物質が光エネルギーを吸収することを指す。具体的に、電子系で考えると光の持つエネルギーが電子に移動し、電子がより高いエネルギーを持つ軌道に移る。この

時、電子は光エネルギーを吸収したと考えられる。一方、光の透過は物質が光エネルギーを透過させることを指す。この時、透過される光は物質内部の粒子や原子と相互作用しないか、相互作用してもエネルギーが吸収されずに通過する。光の吸収と透過は物質の組成や物理的特性によって異なる。また透過率とは入射光のうちどれくらいの割合の光が透過したかを百分率で表したものである。この値は、強度 I_0 の光が入射し、透過後の強度が I になったとすると以下の式で表される。¹

$$\text{透過率}(\%T) = \frac{I}{I_0} \times 100 \quad (1)$$

また、ある物体を光が通った際に強度がどの程度弱まるかを示す吸光度 A は次の式で表される。¹

$$A = -\log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

2.2 ランバートベールの法則

ランバートベールの法則は試料中の光を伝搬するときの吸収による光強度の減少量を表現する法則である。溶液中を伝搬する光強度は、溶液中の分子の吸収により、伝搬距離と溶液の濃度に比例した割合で減少する。ランバートベールの法則は式(1)のように表される。

$$A = \varepsilon cd \quad (3)$$

A 吸光度 ε モル吸光定数(L/mol・cm) c モル濃度(mol/L) d 光路長(cm)

2.3 光吸収と発光・蛍光・りん光について

光の吸収は、物質が光エネルギーを吸収することを指す。一方、発光は物質が光を放出する現象である。物質が外部からエネルギーを受け取り、それによってエネルギーの準位が高い軌道に移った原子や電子が元の軌道に戻ろうとするとときに光を放出する。放出される光は物質の性質によって波長が変わる。蛍光は物質が短い波長の光を吸収し、それに対応する長い波長の光を放出する現象である。³りん光は物質が光を吸収した後、光を放出するまでの時間が蛍光よりも長い現象である。りん光物質は、吸収した光エネルギーをより長い時間保存し、ゆっくり放出する。そのため、りん光は暗い環境でもしばらくの間、光を放つことができる。

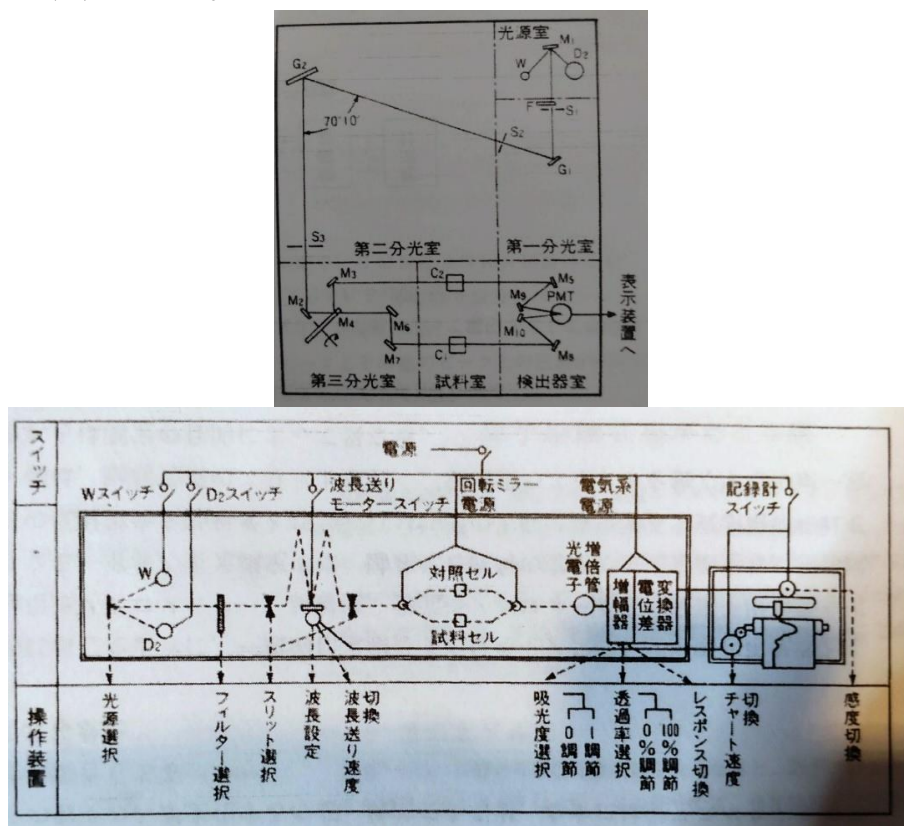
2.4 最小二乗法

最小二乗法とは、統計学や数値解析の手法の1つであり、観測データと理想モデルとの間の誤差を最小化することを目的としている。最小二乗法では、与えられたデータセットに対して、データ点と理想モデルの予測値の間の誤差を計算する。誤差は、実際のデータと予測値の差を表し、正の値と負の値が混在している。最小二乗法の目的はこれらの誤差の2乗和を最小化するパラメータの値を見つけることである。

2.5 使用する機器の説明

(1)UV-VIS 分光光度計

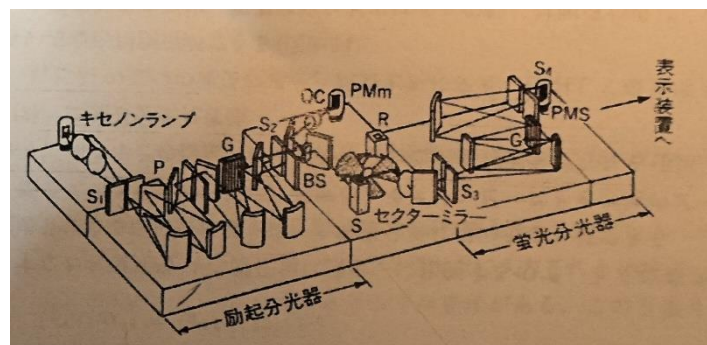
UV-VIS 分光光度計は、物質が特定の波長の光をどれくらい吸収するかを定量的に測定するために使用される。UV-VIS 分光光度計の基本的な構成要素は光源、モノクロメーター、試料室、検出器、データ処理装置である。光源は可視光及び紫外線領域の光を生成する装置、モノクロメーターは入射した光を波長ごとに分解するための装置、試料室は測定する試料を保持する装置、検出器は光の吸収によって生じる信号を電気信号に変換し、光の強度を検出する装置、データ処理装置は測定結果を表示し、グラフ化する装置である。²



グラフ 2.5.1 UV-VIS 分光光度計の概略図

(2)分光蛍光光度計

分光蛍光光度計は、物質が吸収した光エネルギーを一時的に保存し、再放出する蛍光現象を測定するために使用される。²分光蛍光光度計の基本的な構成要素は UV-VIS 分光光度計とほぼ同じである。



グラフ 2.5.2 分光蛍光光度計の概略図

3. 方法

濃度が調整済みのローダミン B 溶液から $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ の水溶液を 100mL 調整し、その溶液を 1ml、2ml ~ 10ml ずつ取って $0.1 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$, $0.2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ ~ $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ の濃度の水溶液 100mL にそれぞれ調製した。次に調製したローダミン B 水溶液の光吸収スペクトルを測定し、指定された波長での吸光度を濃度に対しプロットして検量線を作成し、モル吸光係数と濃度未知のローダミン B 水溶液の濃度を求めた。続いて、ローダミン B、フルオレセイン、ナフトールグリーン、フタロシアニンナトリウム、ブロモフェノールブルー、フェノールレッドの各溶液について白色光上での各溶液の色から吸収スペクトルを推測し、その後、UV-VIS 分光光度計で吸収スペクトルを測定して推測との違いを考察した。また、ローダミン B とフルオレセインの蛍光スペクトルを分光蛍光光度計で測定し、光吸収スペクトルと比較した。

4. 結果・考察

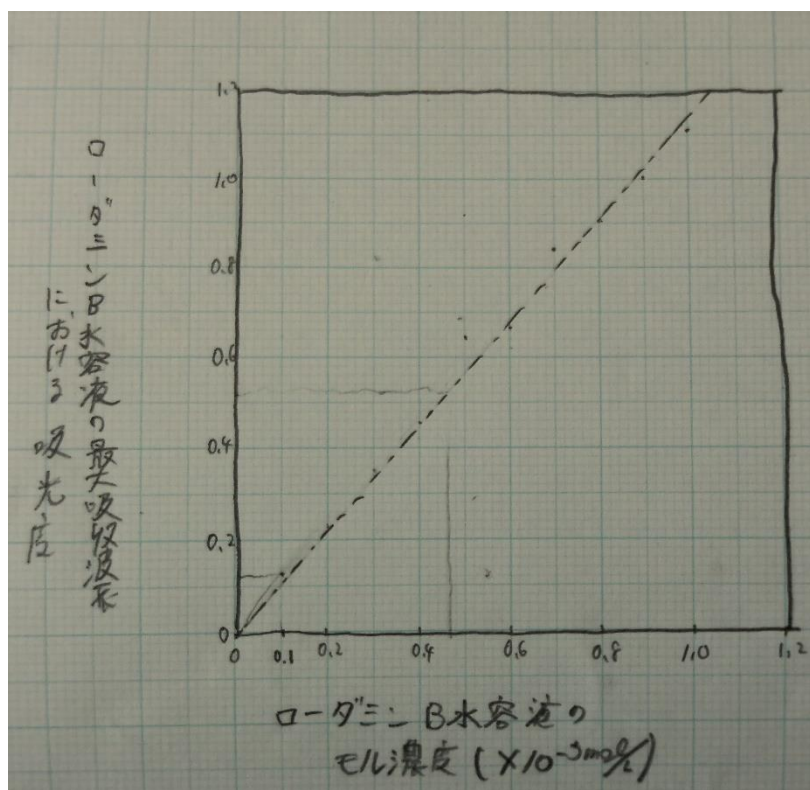
4.1 ローダミン B の光吸収測定

ローダミン B 水溶液の濃度に対する吸光度を以下の表で示し、手書きとエクセルで作った検量線を以下のグラフに示した。

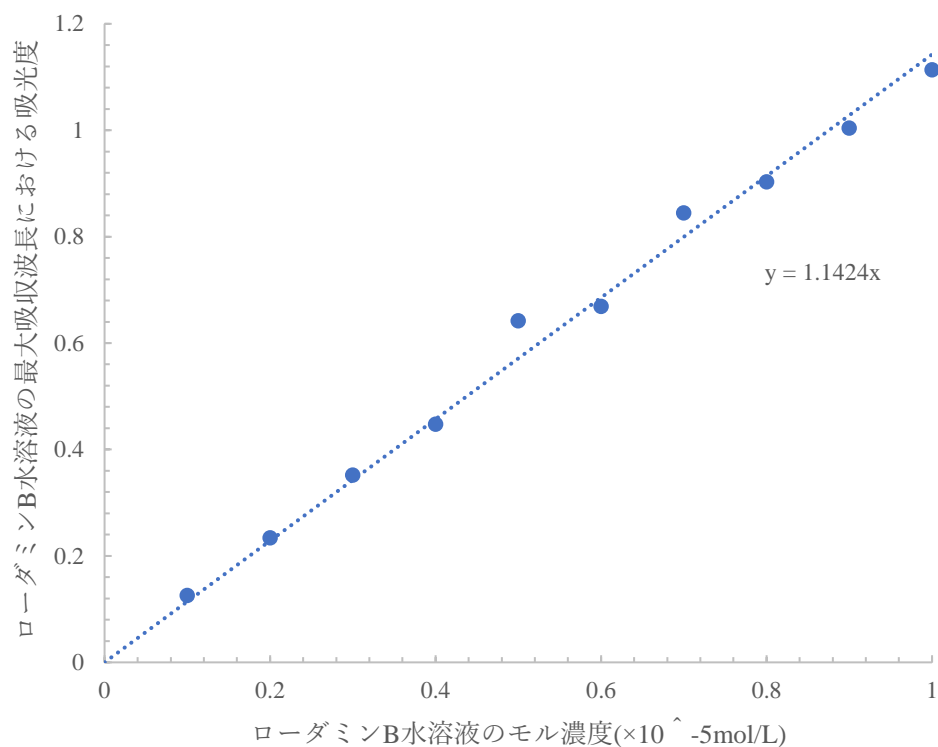
表 4.1.1 ローダミン B 水溶液の濃度に対する吸光度

ローダミンB水溶液のモル濃度($\times 10^{-5}$ mol/L)	ローダミンB水溶液の最大吸収波長における吸光度
0.1	0.126
0.2	0.234
0.3	0.352
0.4	0.448
0.5	0.642
0.6	0.669
0.7	0.845
0.8	0.903
0.9	1.004
1.0	1.114

グラフ 4.1.1 ローダミン B 水溶液の検量線を手書きしたもの



グラフ 4.1.2 ローダミン B 水溶液の検量線



ここで式(3)の関係(今回の実験で使用したセルの幅は 1 cm なので $d = 1$)よりモル吸光

係数 ε は $\varepsilon = \frac{A}{c}$ となり次の 3 種類の方法で求められる。

① グラフ 4.1.1 から 2 点の傾きから求める。

② 表 4.1.1 から 9 個の $\frac{\Delta A}{\Delta c}$ を求め、その平均から求める。

③ Excel を用いて最小二乗法から求める。

①の方法でモル吸光係数 ε を求めると次のようになる。

$$\varepsilon = \frac{1.114 - 0.126}{1.0 \times 10^{-5} - 0.1 \times 10^{-5}} \quad (4)$$

$$\varepsilon = 1.097777777777 \dots \times 10^5$$

$$\varepsilon \doteq 1.098 \times 10^5 (\text{L/cm} \cdot \text{mol})$$

②の方法でモル吸光係数 ε を求めると次のようになる。

$$\varepsilon = \frac{\left(\frac{0.126}{0.1} + \frac{0.234}{0.2} + \frac{0.352}{0.3} + \frac{0.448}{0.4} + \frac{0.642}{0.5} + \frac{0.669}{0.6} + \frac{0.845}{0.7} + \frac{0.903}{0.8} + \frac{1.004}{0.9} + \frac{1.114}{1.0}\right) \times 10^5}{10} \quad (5)$$

$$\varepsilon = 1.1687781 \dots \times 10^5$$

$$\varepsilon \doteq 1.169 \times 10^5 (L/cm \cdot mol)$$

③の方法でモル吸光係数 ε を求めるとグラフ 4.1.2 から $\varepsilon = \frac{A}{c}$ より

$$\varepsilon = 1.1424 \times 10^5 (L/cm \cdot mol)$$

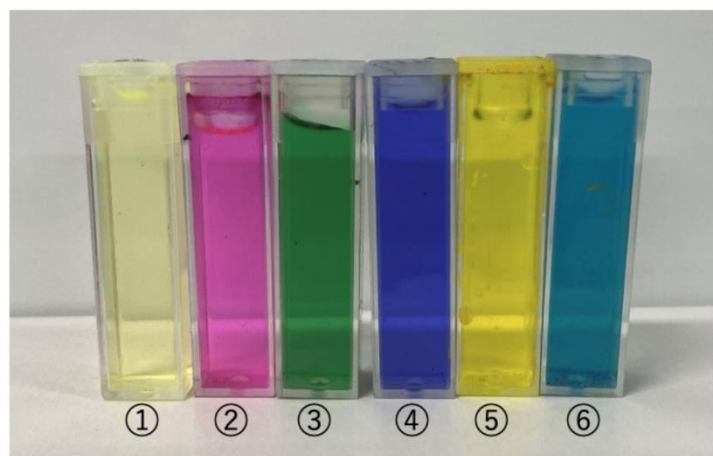
となることが分かる。

ここで①②③の方法の長所と短所を述べたいと思う。

まず①の方法であるが、この方法は直感的な理解が可能であり、求めることが容易であるという長所があるが、わずか2点からとってきた傾きから求めるというサンプル数の少なさから信頼性が低いという短所がある。次に②の方法であるが、この方法は①の方法に比べてサンプル数が多く、信頼性も高く、求めることも①よりは複雑になるがそれでも簡単である。短所はこれとってないと思う。最後に③の方法であるが、この方法は誤差がより少ない直線が得られており、また濃度0の時に吸光度が0になるというデータも含まれているので他の2つの方法に比べて格段に信頼性が高い、そのうえ手計算では計算が複雑すぎて容易に求めることができないが Excel で行くとコンピュータが繁雑な計算をすべて自動でやってくれて値だけを求めるならば一番楽である。以上のことから考えて最も正確な値を求められる方法は③である。よって③の方法を用いて求められるモル吸光係数 ε を用いて未知試料の濃度を求めると次のようになる。

4.2 いろいろな有機色素の吸収スペクトル測定

いろいろな有機酸色素の観察結果を次の表にした。



- ①フルオレセイン
- ②ローダミンB
- ③ナフトールグリーン
- ④ブロモフェノールブルー
- ⑤フェノールレッド
- ⑥フタロシアニンナトリウム

A6 物質の光吸収と発光

図 4.2.1 白色光下での各試料の写真

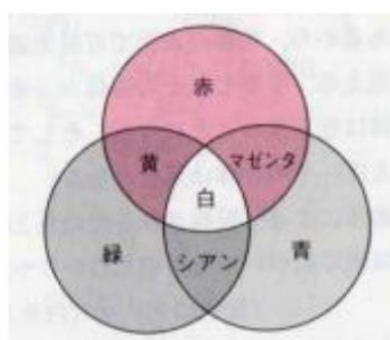


図 4.2.2 光の三原色

表 4.2.1 色素試料の白色光下における色と吸収されると予想した色

色素名	白色効果の色	吸光色
ローダミンB	マゼンダ	緑
フルオレセイン	シアン	赤
ナフトールグリーン	黄	青
ブロモフェノールブルー	青	緑、赤
フェノールレッド	緑	青、赤
フタロシアニンナトリウム	黄緑	青、赤

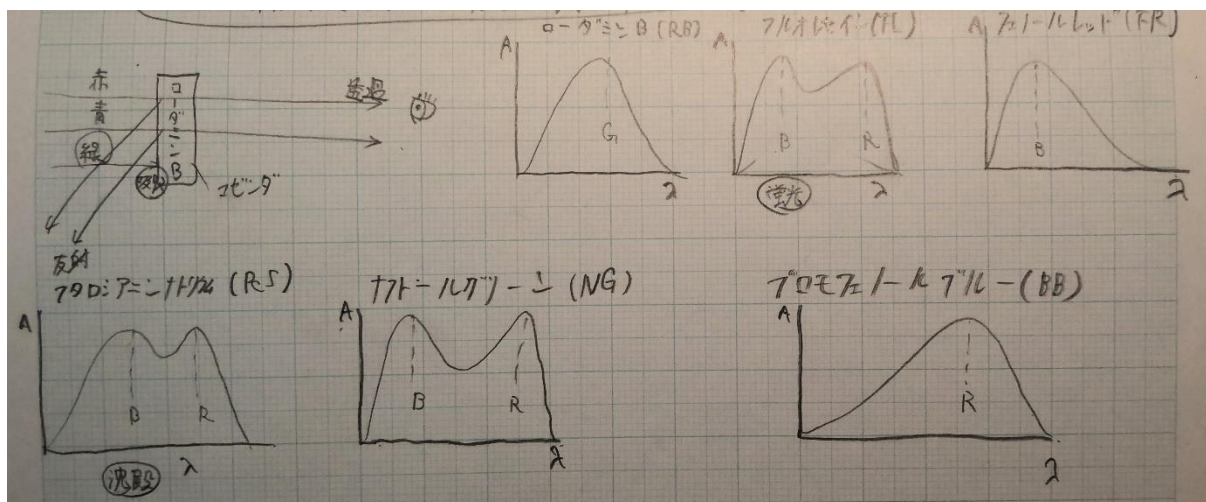
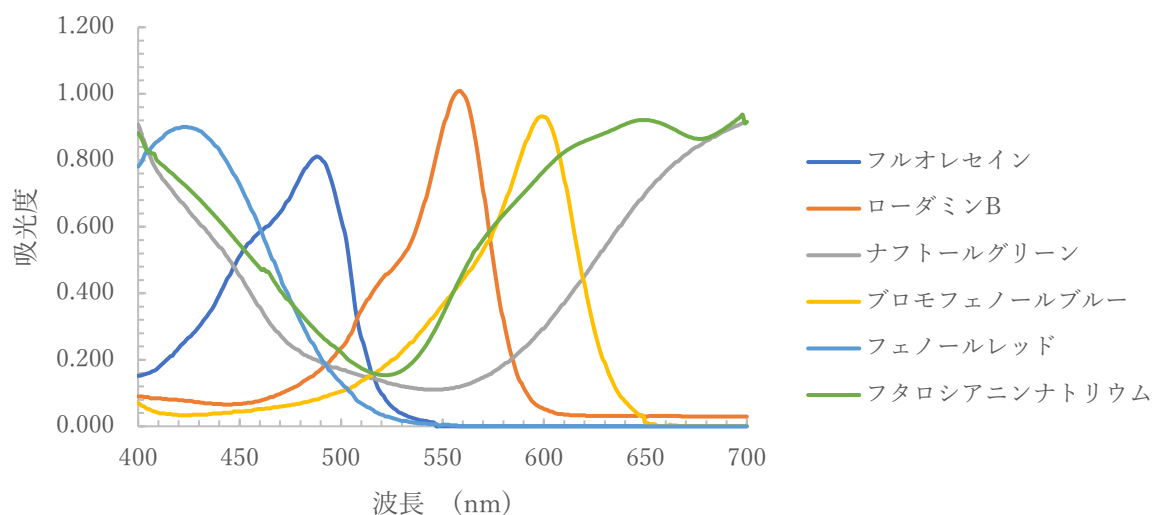


図 4.2.3 各試料の予想した吸収スペクトル

また、実際に得られた吸収スペクトルは以下のグラフ 4.2.1 のようになった。

グラフ 4.2.1 各試料の光吸収スペクトル

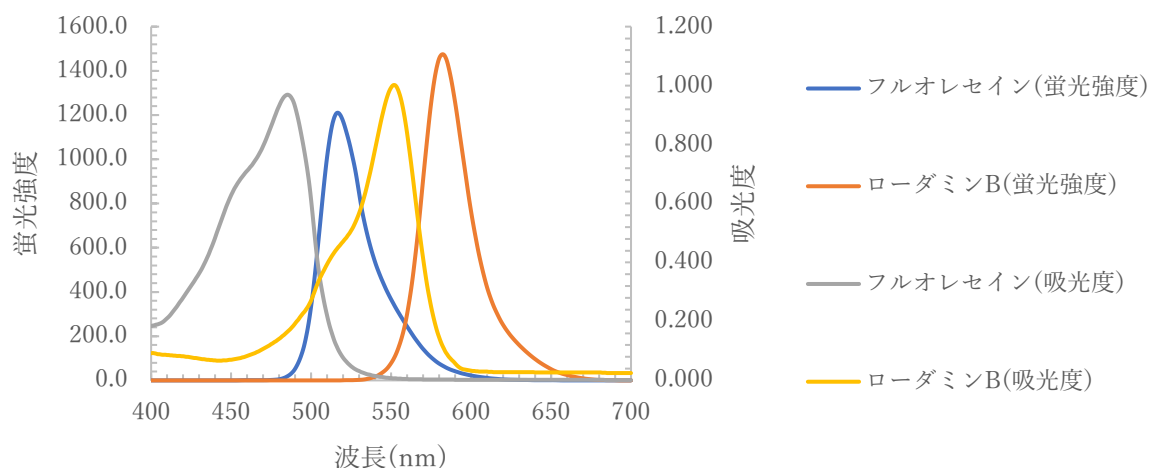


これらの予測と実際の測定結果がどうなっているかを考察する。ローダミン B とフェノールレッドとナフトールレッドとブロモフェノールブルーについては予想と実際の測定結果ではそれほど大きな違いは見られなかった。フルオレセインについてはフルオレセインが蛍光を発する性質を持つ。光吸収スペクトルの測定においては、通常はフルオレセイン溶液に特定の波長の光を照射して吸収スペクトルを測定するが、白色光下では吸収された光エネルギーが放出されることで、溶液が蛍光を発し、観察される色が光吸収スペクトルとは異なる結果をもたらしたと考えられる。また、フタロシアニンナトリウムについてはフタロシアニンナトリウムは水溶液中に沈殿物が生じており、その沈殿物が光の散乱を引き起こし、散乱された光が観察者に届くことで溶液の色が変化し、吸収スペクトルの形状に影響を与えていると考えられる。

4.3 ローダミン B、フルオレセインの蛍光

下のグラフ 4.3.1 から分かるようにローダミン B は赤色のフルオレセインは緑色の蛍光スペクトルを発している。4.2 でも言及したが、フルオレセインの吸収スペクトルが予測と異なった理由はこのためだと考えられる。また、グラフ 4.3.1 からフルオレセインとローダミン B は波長の短い光を吸収して長い波長の蛍光を発している、つまり短波長から長波長へシフトしていることが分かる。

グラフ 4.3.1 ローダミン B とフルオレセインの蛍光強度と吸収スペクトル



5. 結論

検量線などを用いて複数の手法からモル吸光定数を求めることでそれぞれの方法の長所や短所を深く知れることができた。また、複数の溶液の光吸収スペクトルと蛍光スペクトルを観察することで光吸収の原理や光吸収スペクトルと蛍光スペクトルとの関係を知ることができた。

6. 参考文献

- 1) 日本色彩学会、色彩科学講座 1 カラーサイエンス、朝倉書店、35～40、2004 年
- 2) 泉美治、小川雅彌、加藤俊二、塩川二郎、芝哲夫、機器分析のてびき、化学同人、2、25、53、79、101、115、135、2005 年
- 3) 長倉三郎、岩波講座現代化学 12 光と分子下、岩波書店、255～290、1980 年