

旋光度を用いたシヨ糖水溶液の濃度測定

静岡県立清水東高等学校
3年 三津山友彩 他2名

1 動機

本校先輩の先行研究で、1枚目の偏光板を通した白色光を旋光性のある溶液に通過させ、2枚目の偏光板に通すと、特定の色の光しか出てこないことが発見された(図2)。また、2枚目の偏光板を回転させると、通過できる光の色が変化していくことも分かった。私たちはこの現象に興味を持ち、本研究を始めた。

2 目的

一般の光源は、様々な色の光が混ざっている“白色光”であるとともに、様々な振動方向の光が混ざっている“自然光”でもある。この白色光を偏光板に通すと、振動方向がそろった偏光になる。偏光を旋光性のあるシヨ糖水溶液に通過させると、振動の方向が変化する。この現象を“旋光”といい、変化した角度を“旋光角”という。旋光角は光の色ごとに異なり、また、溶液の濃度が大きいほど大きくなる。そのため、偏光板の角度を固定して、水溶液の濃度を変化させると、2枚目の偏光板を通過できる光の色が徐々に変化する。そこで、この現象を用いて2枚目の偏光板を通過できる光の色からシヨ糖水溶液の濃度を測定することを目的として本研究に取り組んだ。

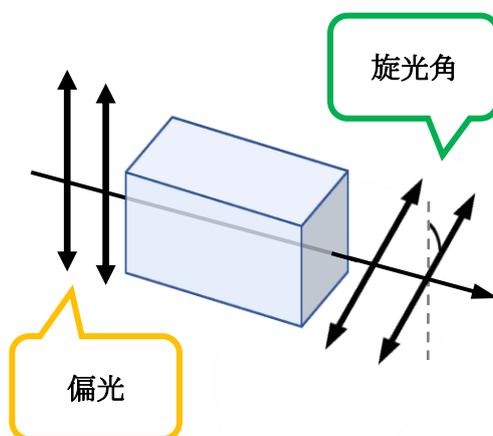


図1 旋光とは

3 実験装置

実験装置を写真1のように配置する。光源として、白色光LEDの小型懐中電灯(本研究では、LEDズームライトZOOM1)を使用した。水溶液を入れる水槽は、プラスチックには旋光性があるため、アクリル製のものを用いた。水溶液内を通過する光の距離は29.5cm(以下「容器の内のり」と呼ぶ)である。

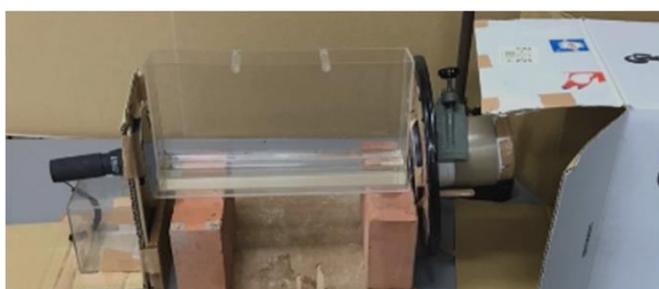


写真1 実験装置

旋光性のある水溶液として、シヨ糖水溶液を使用した。2枚の偏光板の間にこの水溶液を入れた容器を設置し、光源からの光を水平方向に入射させる。2枚目の偏光板の後方には、白い紙をスクリーンとして貼り、透過してきた光の色(波長)を観察できるように工夫した。

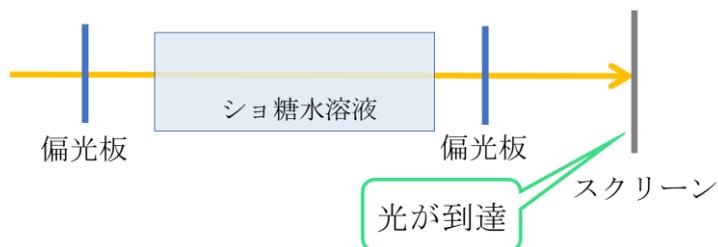


図2 実験の様子

4 実験内容

(1) 【実験1】旋光による透過光の色の変化を確認する

ア 予備実験として、2枚の偏光板の相対的な角度を変化させることで、透過できる光の色が実際に変化するかを確認した。実験方法は次のとおりである。

(ア) 1.0mol/Lと2.0mol/Lのショ糖水溶液を作製した。

(イ) 2枚の偏光板を直交ニコルに固定した。なお、直交ニコルとは、2枚の偏光板の間に何も挿入しない場合において、光が通過できないように偏光板を重ねた状態のことである(写真2)。

(ウ) 2枚目の偏光板をゆっくりと回転させ、透過光の色を調べた。

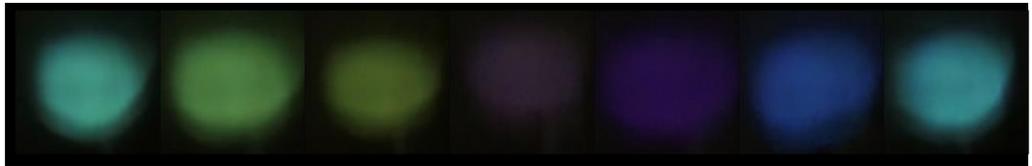


写真2 直交ニコルの状態

イ 結果

偏光板を回転させると透過光の色が変化することが確認できた。また、水溶液の濃度が違うと、2枚の偏光板の角度が同じでも透過光の色が違った。

1.0mol/L



2.0mol/L



写真3 1.0・2.0mol/Lの透過光の色

ウ 考察

旋光角は光の色、つまり光の波長ごとに異なることが確認できた。また、水溶液の濃度によっても異なることも確認できた。したがって、透過光の色からショ糖水溶液の濃度を測定することが可能であると考えた。

(2) 【実験2】直交ニコルの状態で、透過光の色の変化を調べる

ア 直交ニコルに固定した偏光板の間に、濃度の異なるショ糖水溶液を入れ、濃度ごとに透過光の色の変化を調べる。実験方法は次のとおりである。

(ア) 0.10mol/Lから2.0mol/Lまで0.10mol/L刻みに、計20種類のショ糖水溶液を作製した。

(イ) 2枚の偏光板を直交ニコルに固定した。

(ウ) 濃度ごとに、スクリーンに映る透過光の色を調べた。

※ショ糖水溶液は、同じ濃度のものを3つずつ作製し、1つの水溶液で3回ずつ透過光の色を調べた。

イ 結果

透過光の色は次の写真のように変化した。透過光の色の変化を濃度順に並べたところ、波長順の色の変化と同じであった。

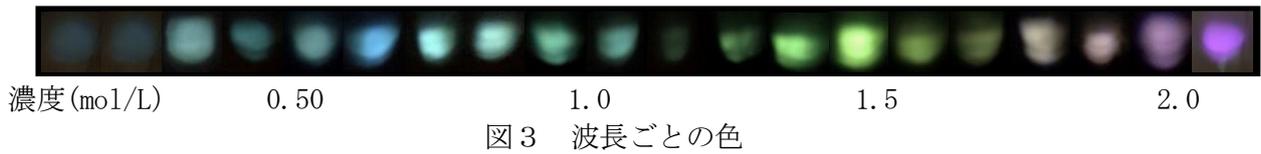


図3 波長ごとの色



写真4 透過光の色

ウ 考察

まず、透過光の色が変化する理由について考察した。下の図は、短波長である青色と長波長へある赤色の偏光が、それぞれショ糖水溶液中で旋光してから2枚目の偏光板に向かう様子を示している。

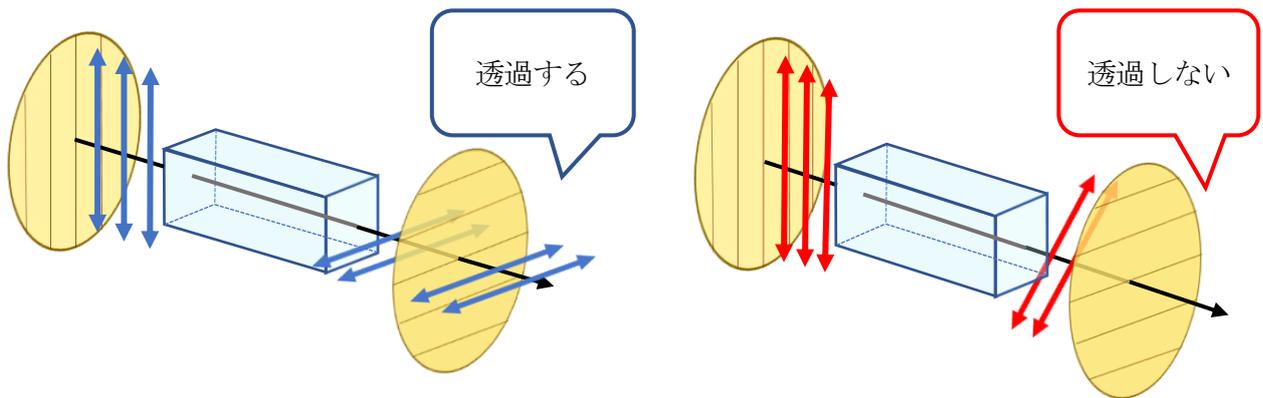


図4 旋光の様子(左:青色光、右:赤色光)

旋光角は、波長が短いほど大きくなることがわかっている。この図の場合、波長の短い青色の光はショ糖水溶液を通過する際、2枚目の偏光板を通過できる角度まで旋光する(図4、左)。一方、波長の長い赤色の光は、2枚目の偏光板を通過できる角度まで旋光しない(図4、右)。そのため、この図の場合では青色が透過光の色としてスクリーンに映ると考えた。

また、旋光度は、水溶液の濃度が大きいほど大きくなることも知られている。よって、偏光板を直交ニコルに固定してショ糖水溶液の濃度を大きくしていった場合、波長の短い色から順に透過すると考えた。このことから、偏光板を固定して透過光の色を確認することで、ショ糖水溶液の濃度を測定することが可能であるとわかった。

しかし、色の違いがはっきりしないところもあったため、偏光板を直交ニコルだけでなく、他の角度にも固定して実験する必要があると考え実験3を行った。

(3) 【実験3】 平行ニコルの状態で、透過光の色の変化を調べる

ア 平行ニコルに固定した偏光板の間に、濃度の異なるショ糖水溶液を入れ、濃度ごとに透過光の色の変化を調べる。実験方法は次のとおりである。

(ア) 0.10mol/Lから2.0mol/Lまで0.10mol/L刻みに、計20種類のショ糖水溶液を作製した。

(イ) 2枚の偏光板を平行ニコルに固定した。平行ニコルとは、2枚の偏光板を同じ向きに重ねて、光が通過できるようにした状態のことである。

(ウ) 濃度ごとに、スクリーンに映る透過光の色を調べた。

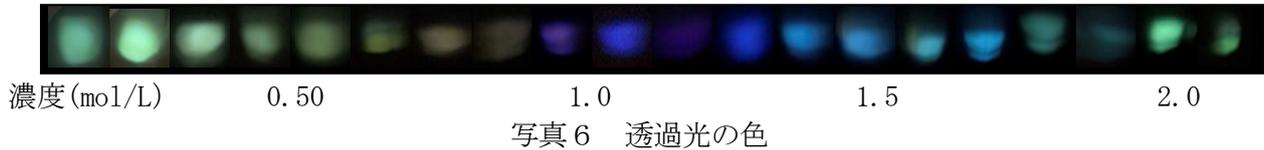


写真5 平行ニコルの状態

※シヨ糖水溶液は同じ濃度のものを3つずつ作製し、1つの水溶液で3回ずつ透過光の色を調べた。

イ 結果

透過光の色は下の写真のように変化した。実験2と同様に、透過光の色の変化を濃度順に並べると、並びは波長順の色の変化と同じであった。



ウ 考察

透過光の色、つまり透過光の波長とシヨ糖水溶液の濃度には明確な関係があることがわかった。やはり、2枚の偏光板の相対的な角度を固定して透過光の色を調べることで、シヨ糖水溶液の濃度を求めることは可能である。

また、旋光角は光が通過する溶液の長さの影響を受けることも知られている。そのため、容器の長さの違いがどの程度結果に影響するのかを調べることにした。

(4) 【実験4】光が通過する溶液の長さが短い場合での、透過光の色の変化を調べる

ア 容器の内径を4.5cmに変更し、【実験2】、【実験3】と同じように実験を行い、透過光の色の変化を調べる。実験方法は次のとおりである。

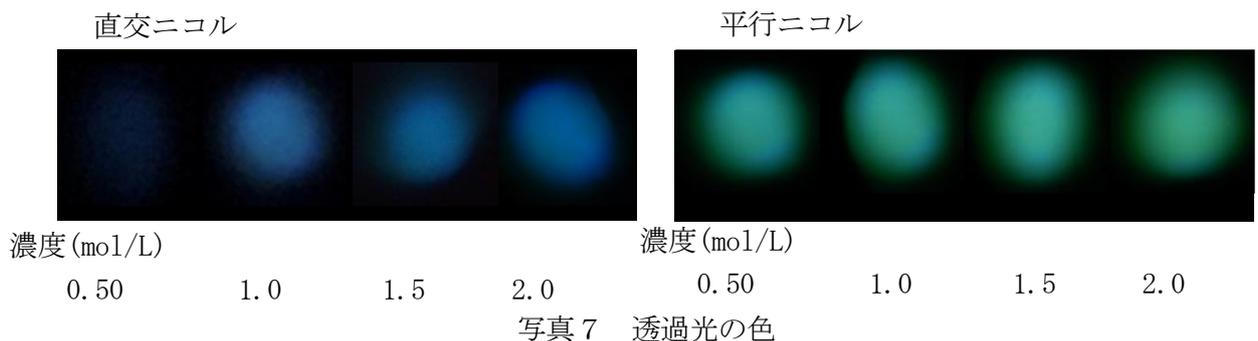
(ア) 0.50mol/L、1.0mol/L、1.5mol/L、2.0mol/Lの4種類のシヨ糖水溶液を作製した。

(イ) 2枚の偏光板を直交ニコルに固定し、濃度ごとに透過光の色を調べた。

(ウ) 2枚の偏光板を平行ニコルに固定し、濃度ごとに透過光の色を調べた。

イ 結果

透過光の色は下の写真のように変化した。直交ニコル、平行ニコルのどちらの場合とも濃度ごとの色の違いが小さかった。



ウ 考察

光が通過する溶液の長さが短いと旋光角が小さくなり、色ごとの旋光角の大きさの違いも小さくなる。そのため、濃度の違いによる透過光の色の変化が目視では確認しにくくなると思った。このように、旋光角は光が通過する溶液の長さに比例するため、透過光の色からシヨ糖水溶液の濃度を求めるときに使う容器は、ある程度の長さが必要であることがわかった。そこで私達は、容器の長さについてさらに実験することにした。

(5) 【実験5】光が通過する溶液の長さを短くし、透過光の色の変化を調べる

ア 容器の内径を 14.6cm に変更し実験を行った。実験方法は次のとおりである。

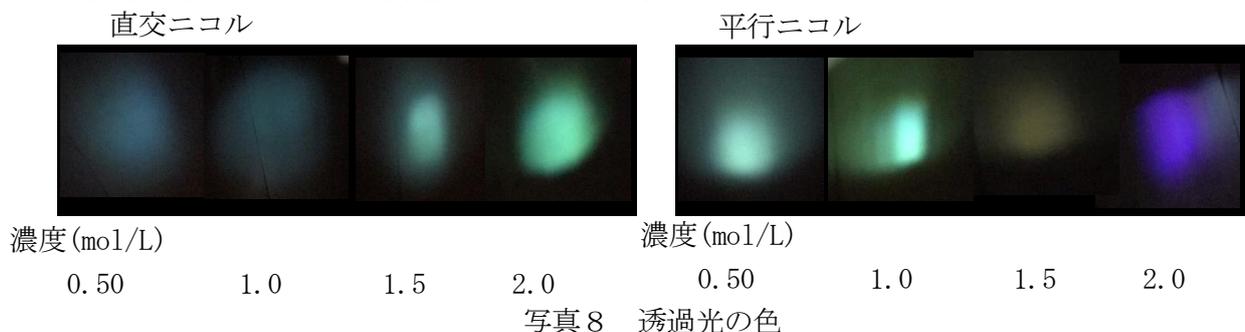
(ア) 0.50mol/L、1.0mol/L、1.5mol/L、2.0mol/L の 4 種類のショ糖水溶液を作製した。

(イ) 2 枚の偏光板を直交ニコルに固定し、濃度ごとに透過光の色を調べた。

(ウ) 2 枚の偏光板を平行ニコルに固定し、濃度ごとに透過光の色を調べた。

イ 結果

透過光の色は下の写真のように変化した。直交ニコル、平行ニコルのどちらの場合とも容器の内径が 29.5cm の【実験 2】、【実験 3】の場合に比べ、色の変化が小さかった。しかし、【実験 4】と比べると、変化は明確であった。



ウ 考察

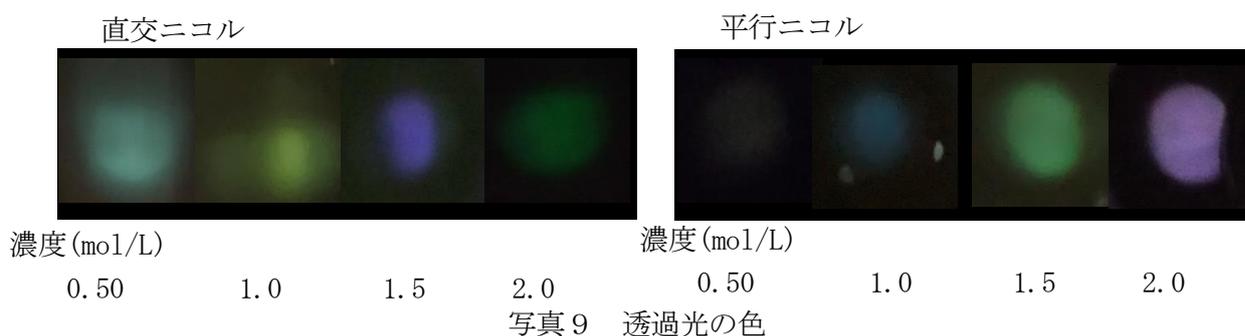
容器の長さ、つまり光が通過するショ糖水溶液の長さが長いほど、旋光角が大きくなるということが確認できた。また、今回は 4 種類の濃度のみ実験をしたが、【実験 2】、【実験 3】の写真と比較すると、透過光の色の変化がはっきりしないところが多いと考えられる。したがって、正確に濃度測定をするためには容器の内径は 14.6cm より長いほうがよいと考えた。

(6) 【実験 6】光が通過する溶液の長さを短くし、透過光の色の変化を調べる

ア 容器の内径を 44.1cm に変更し実験を行った。実験方法は(5)アと同じである。

イ 結果

透過光の色は下の写真のように変化した。直交ニコル、平行ニコルのどちらの場合も(5)に比べて透過光の色の違いが明らかであった。しかし、同じような色が周期的に繰り返し出てきていた。



ウ 考察

同じ色が周期的に繰り返し出てきていたことについて考えた。容器の長さが長いため、旋光角が大きくなる。例えば、青色の場合 0.50mol/L のときにまず、旋光角が 2 枚目の偏光板を通過できる角度に達した。そして、濃度を大きくするとさらに旋光し、1.5mol/L のときに再び 2 枚目の偏光板を通過できる角度に達した。このように、容器の長さが長いと、濃度の変化が小さくても旋光角の変化が大きくなりすぎてしまい、複数回同じ色が出てきてしまう。そのため、1 つの色に対応する濃度が複数個存在するということになり、濃度測定が難しくなる。よって、本研究では溶液の長さは 29.5 cm が最適であると考えた。

さらに正確に濃度測定をしたいと考え、透過光の色の識別方法に着目した。ここまで目視で色を確認してきたが、目視では個人差による誤差も生じる。そこで、透過光の色を数値化することにした。

(7) 【実験7】RGB値を用いて、透過光の色を数値化する

- ア 容器の内を29.5cmに戻して実験を繰り返し行い、得られた透過光の画像データからRGB値を調べた。実験方法は次のとおりである。なお、偏光板は直交ニコルに固定した。
- (ア) データを増やすため、0.50mol/L、1.0mol/L、1.5mol/L、2.0mol/Lの4種類のショ糖水溶液を作製し、この4種類の水溶液で【実験2】と同様に実験を行った。
 - (イ) 濃度ごとに、透過光のデジタル画像を5枚程撮影した。
 - (ウ) 1枚の写真につき、5か所のRGB値を調べた(写真10)。
 - (エ) それぞれのRGB値の値を、合計が100になるように規格化した。
- ※有効数字は4桁とした(表1)。
- (オ) 5か所の値の平均を求め、その透過光の画像のRGB値とした。
 - (カ) 濃度ごとに(ウ)~(オ)を全画像で行い、さらに全画像の値の平均を求めてその濃度のRGB値とした。
 - (キ) 求めたRGB値をグラフ化した。

例 1.0mol/Lの場合

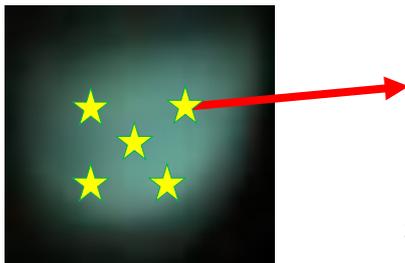


表1 RGB値を規格化

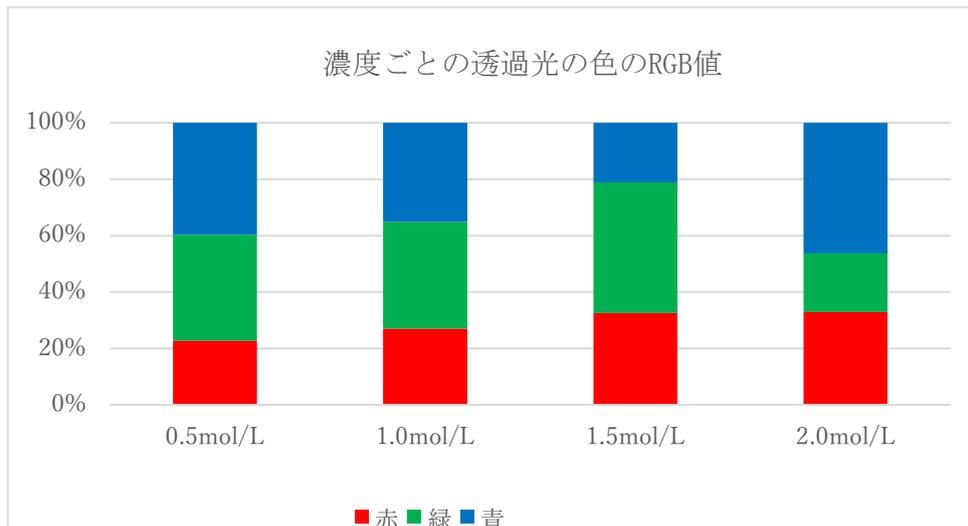
	RED	GREEN	BLUE
規格化前	29.00	49.00	37.00
規格化後	25.22	42.61	32.17

写真10のように、写真1枚につき5か所の値を求めた。

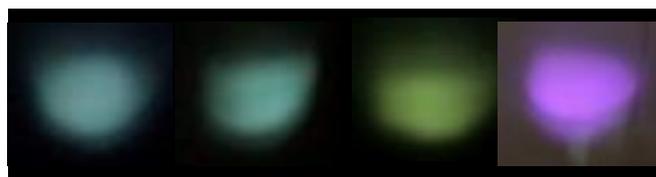
写真10 方法(ウ)

イ 結果

結果は次のようになった。グラフ1の横軸はショ糖水溶液の濃度、縦軸はRGB値のRED・GREEN・BLUEの割合である。4種類のショ糖水溶液の濃度によって、透過光の色のRGB値のRED・GREEN・BLUEの割合が明らかに異なっていた。



グラフ1 濃度ごとの透過光の色のRGB値



濃度 (mol/L)

0.50

1.0

1.5

2.0

写真 11 透過光の色

ウ 考察

濃度によって透過光の色の RGB 値が異なることが確認できた。そのため、透過光の色の RGB 値を求めることで、ショ糖水溶液の濃度測定が可能であると考えた。

その際の手順を、以下に示す。

(ア) 【実験 2】の装置を用いて、濃度が未知の水溶液を透過した光を撮影する。

(イ) 撮影した写真から、RGB 値を求める。

(ウ) 本研究【実験 2】で求めた RGB 値の結果(グラフ 1)と照らし合わせる。

このように RGB 値を利用した測定方法では、パソコンで画像データを処理するため、目視での透過光の色の判断が必要なく、誤差が小さくなる。しかし、この実験で使用した水溶液の濃度は 4 種類であるため、他の濃度のデータも必要である。また、白色光 LED の種類や製品によって、RGB 値の割合に差があるはずである。そのため、本研究の結果を用いて濃度測定をする場合は同じ製品の白色光 LED を光源として使用することも必要である。

5 研究のまとめ

白色光を偏光にしてショ糖水溶液に通すと、2 枚目の偏光板を通過する角度まで旋光した色の光が、透過光としてスクリーンに映る。そしてその色は、ショ糖水溶液の濃度によって変化する。この現象を利用して、透過光の色を【実験 2】、【実験 3】の結果の写真と対応させることで、ショ糖水溶液の濃度測定が可能になる。さらに、【実験 7】のように RGB 値を求めることでより正確に濃度を求めることができる。そして、容器の内り、つまり、光を通過させるショ糖水溶液の長さは【実験 4】、【実験 5】【実験 6】より、29.5 cm 程度が最適であると考えられる。

6 今後の展望

本研究では、4 種類の水溶液の濃度における透過光の色の RGB 値を求めたが、実験を繰り返し行い、ショ糖水溶液の濃度をさらに細かく変化させて RGB 値を求め、より正確な濃度測定を可能にしたい。また、本研究では 29.5 cm 程度が最適としたが、どんな長さでもショ糖水溶液の濃度測定ができるようにしたい。また、他の種類や製品の白色光 LED でも実験を行うことで、濃度測定をより様々な条件下でできるようにしたい。そして、実用化に向けて、透過光の色の写真からショ糖水溶液の濃度を自動で算出するソフト等を開発し、より簡単に誰でもショ糖水溶液の濃度測定ができるようにしたい。

7 参考文献

- (1) 旋光性を持つ 2 物質の混合割合と旋光度の関係 令和 2 年度清水東高校理数科課題研究論文
- (2) イラストレイテッド 光の実験 大津元一 [監修] 田所利康・石川謙 [著]

