

旋光性を持つ 2 物質の混合割合と旋光度の関係

静岡県立清水東高等学校

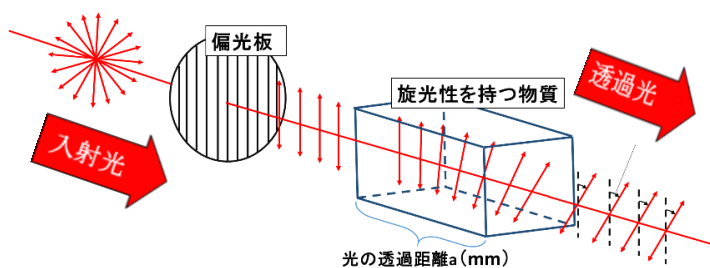
2 年 平沢温真 栗原未至 小川立能 平井秋桜

1 研究の動機

教科書で旋光性についての記述を見つけ、興味を持った。そこで、文献を参照していた際に、本校自然科学部物理班が研究を行っていたと知った。その研究をさらに深めたいと思い、2019 年 9 月から 12 月末まで予備実験を進め、2020 年 1 月から 3 月まで本研究に取り組んだ。

2 旋光度とは

光はいろいろな方向に振動する横波の集合である。光が偏光板を通ると振動面が特定方向に偏る。この光を偏光という。直線偏光させた光が旋光性を持つ物質を透過するとき、偏光面は回転する。この現象を旋光という。偏光面の回転角 θ を旋光角とよび、光が物質を進む距離に比例する。旋光角 θ を、光線が溶液中を進んだ距離で割り、溶液 1 mm あたりの旋光角で表したものを旋光度と呼ぶ。



$$\text{旋光度 } d(\text{rad/mm}) = \text{旋光角 } \theta / \text{光の透過距離 } a(\text{mm})$$

図 1 旋光度とは

3 研究目的

私たちは旋光性を持つ二種類の物質を用いた混合溶液を作成した際、計測される旋光度はどうなるのかという疑問を抱いた。そこで以下のような仮説を立てた。

仮説：旋光性物質 A、B について、物質 A の水溶液の旋光度を α 、物質 B の水溶液の旋光度を β としたとき、体積比 $a : b$ の混合比である A と B の混合水溶液の旋光度は $(a\alpha + b\beta) \div (a+b)$ となる。ただし、上記の溶液はすべて同じ濃度とする。

この仮説は、旋光度が濃度と相関があることを理由としている。

4 研究方法 I

実験装置を図 2、写真 1 のように組み立てた。以下、実験過程を示す。

- (1) 偏光板 A、B の間に何も置かない状態で光を照射する。(光源はフィラメントによる電球を使用している)
- (2) 二枚の偏光板を透過した光を光センサに照射し、その光センサに達する光の強度が最も小さくなるように、偏光板 B を回転させる。
- (3) (2) の状態のまま、偏光板に取り付けた鏡とレーザー光が壁に当たった点までの距離を計測する。(この距離を L とする)
- (4) 旋光度を測定したい溶液を、自作したアクリル管水槽に入れ、偏光板 A と B の間に配置する。
- (5) 再び偏光板 B を回転させ、光センサに達する光の強度が最も小さくなるように回転させる。(この時の偏光板の回転角 θ が旋光角である)
- (6) 壁に当たったレーザー光の点の動いた距離を計測する。(この距離を h とする)

旋光角はとても小さいので、参考文献より「光てこの原理」を用いた。「光てこの原理」の説明を以下に示す。(図3)

偏光板Bの側面に鏡を取り付け、その鏡にレーザー光を当て、反射光を実験室の壁面に当てる。反射光が壁面に当たった点の移動距離を測定することで、旋光度の値を算出することができる。鏡から壁面までの距離Lを長くすることで、より高精度で測定することができる。

偏光板を回転させた角度 θ を算出する式を以下の式(1)に示す。

$$2\theta = \arctan(h/L) \quad \cdots \cdots (1)$$

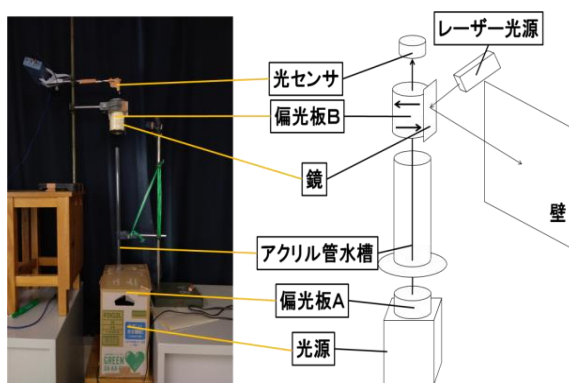
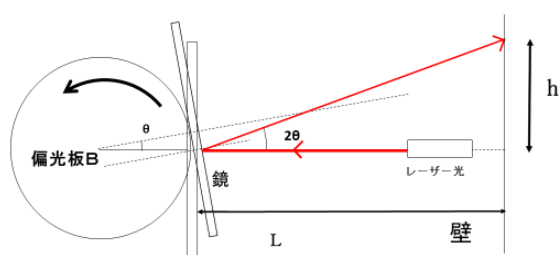


図2・写真1 実験の様子



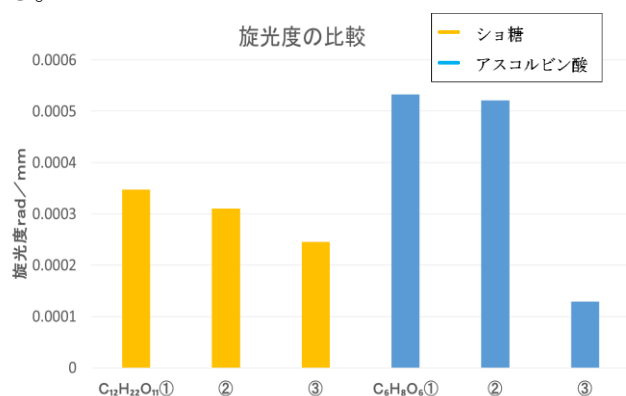
参考文献より 一部改変

図3 光てこの原理 (参考文献より一部改変)

5 結果 I

予備実験として正確性を確認するため、最初は、混合溶液は用いずにショ糖($C_{12}H_{22}O_{11}$)水溶液や、アスコルビン酸($C_6H_8O_6$)水溶液を使用して、各溶液の旋光度を測定してみた。

グラフ1は、ショ糖溶液とアスコルビン酸溶液に対して、旋光度の測定をした3回分の結果である。左側3つの棒グラフはショ糖、右側3つの棒グラフはアスコルビン酸である。縦軸は旋光度を表している。



グラフ1 旋光性の比較1



写真2 実験の様子

6 考察 I

旋光度の値がバラバラであり、誤差が大きすぎるということが読み取れる。また、ショ糖の旋光度の値はアスコルビン酸の旋光度の値より大きいということが知られているが、実測された値では、アスコルビン酸はショ糖より旋光度が大きいという結果になっており、実際とは逆の値になってしまっていた。

この原因として、偏光板A、Bと溶液を透過してきた光の強度が最も小さくなるように偏光板Bを回す際に、誤差が大きくなってしまったことが考えられる。特に、次の2点が大きく影響したと思われる。

1つ目は、光を容器の底から溶液中を透過して、水面に向かって入射させていたために、光が溶液の水面の揺れによる影響を受け、透過光の進路が不安定になってしまったことである。

2つ目として、光源に白色光を使用することがあげられる。旋光度は光の色（波長）により値が変わるため、溶液を透過してきた光のうちで、さらに、二枚目の偏光板Bを透過できる色の光が必ず存在してしまう。この実験1では、単色光を光源として使用するべきであった。白色光は無数の色（波長）の光によって構成されているため、偏光板Bの回転角をどのように調節しても、すべての色の光の強度を小さくするのは原理的に不可能であった。

7 研究方法Ⅱ

上記の結果を踏まえて、2020年1月からは、実験方法を改良して研究を進めた。

研究Ⅰからの変更点

- (1) 光源を白熱電球から He-Ne レーザー光にした
- (2) アクリル管水槽の配置を鉛直方向から水平方向に変更した

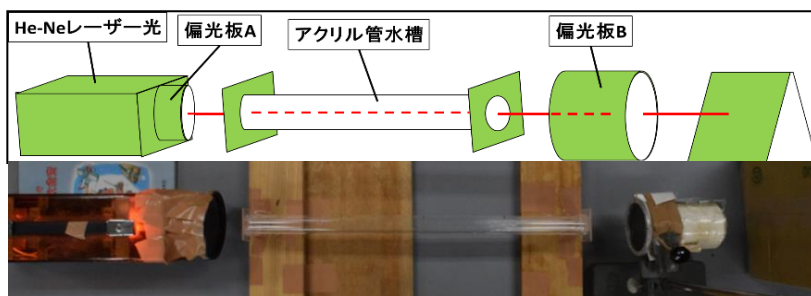


図4・写真3 装置概要2

(1)については、フィラメントによる電球の光は、白色光であるため、単色光を照射するレーザー光に変更したということである。(2)については、レーザーの光を容器の底から水面に透過させないことで、水面の揺れの影響による光の進路の不安定さを解消するための変更である。

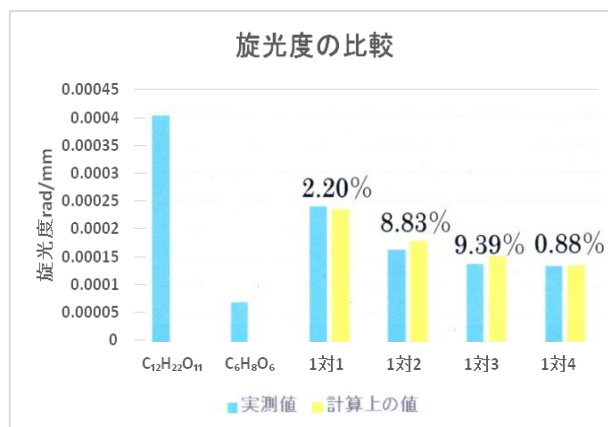
なお、 θ を測定する方法は変更していない。

今回は、ショ糖($C_{12}H_{22}O_{11}$)のみの溶液、アスコルビン酸($C_6H_8O_6$)のみの溶液、ショ糖とアスコルビン酸のモル濃度比が1:1、1:2、1:3、1:4の混合溶液でそれぞれ計測を行うことにした。混合する前のショ糖溶液の旋光度を α 、アスコルビン酸溶液の旋光度を β として、仮説で示した式に代入して算出した値を混合溶液の計算上の値(旋光度)とし、これと実測値を比較することで仮説の正しさを検証した。

8 結果Ⅱ

グラフ2は、それぞれの旋光度をグラフにしたものである。縦軸は旋光度を表している。尚、数値にばらつきがあったため複数回計測を行い、平均値を示している。それぞれ40回測定を行っている。

1:1~1:4の濃度比におけるグラフの上の数字は、計算上の値に対する、「実測値と計算上の値との差」を百分率で表したも



グラフ2 旋光度の比較2

のである。これが0に近いほど実測値と計算上の値が近い、つまり仮説が正しいと言える。

9 考察Ⅱ

ショ糖とアスコルビン酸のモル濃度比は1:1~1:4と4種類に分けて測定したが、その結果全てにおいて、実測値は計算上の値に近い値となっている。ただし、1:2と1:3に関しては、実測値と計算上の値で、8.83%、9.39%とずれがやや大きかった。原因ははっきりとは分からないが、全てのデータにおいて、実測値と計算上の値の差が大きかったり、実測値と計算上の値のどちらかが1:1~1:4の全てにおいて、一律に大きかったりということは言えないため、1:1から1:4までの範囲では、仮説は正しいと考えられる。ここで、実測値と計算上の値のずれの大きい1:2と1:3のデータについて考察してみた。

	1対1	1対2	1対3	1対4
標準偏差	1.6×10^{-5}	3.1×10^{-5}	1.4×10^{-5}	1.5×10^{-5}

表1 標準偏差の比較

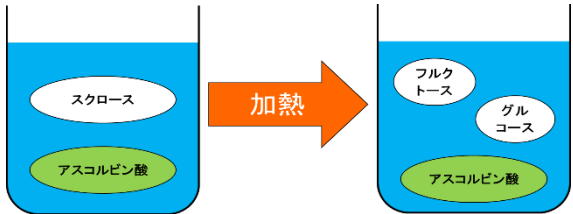
表1より、標準偏差を調べた際、1:2の濃度比ではばらつき具合が大きかった。これが1:2のデータの差の原因であると考えられる。1:3については、他のデータとばらつき具合が大差なかったため、単に実測値がずれていると考えられる。1:3のみ差が出てしまった原因ははっきりとわからない。ここでショ糖とアスコルビン酸を混合した時の反応について、文献より、アスコルビン酸にスクロース（ショ糖）を添加した溶液を加温保管した際、スクロースがフルクトースとグルコースに変化したという記述があった。レーザー光を溶液に照射した際に、水温が上昇してしまい、その結果スクロースが化学変化を起こしたという可能性があるが、大きな水温の変化とはならないため、影響は小さいと考えられる。

また、啓林館出版の化学の教科書には、スクロース水溶液に希酸を加えることで、フルクトースとグルコースに加水分解されるという記述があった。その希酸に本研究で使用したアスコルビン酸が含まれるならば、スクロースの化学変化が旋光度計測に影響を及ぼしたと考えられるが、混合してからすぐに計測を行ったため、これも影響は小さいと考えられる。どちらも検証の必要がある。また、1:2、1:3がずれているのではなく、1:1、1:4がずれており、仮説の予想式が間違っているという可能性もあるが、今回の結果では1:1、1:4のデータが大きくばらつくこともなく、考えにくい。

以上より、

- (1)全てのデータにおいて実測値と計算上の値が近くなった
- (2)差が大きいデータにおいて、実測値と計算上のどちらかが一律に大きいわけではないということが分かるので、本研究の仮説は正しいと考えられる。

図5 考察 文献より



10 全体の考察

以上より、

旋光性物質A,Bについて、物質Aの水溶液の旋光度を α 、物質Bの水溶液の旋光度を β としたとき、体積比a:bの混合比であるAとBの混合水溶液の旋光度は $(a\alpha + b\beta) \div (a+b)$ となる。という仮説は正しいと考えられる。

今後の展望は次のとおりである。

(1) 偏光板を回す操作をより正確に行う。

旋光度の計測において、微小な変化を計測するため、偏光板を回す操作や、距離の計測にはかなりの正確さが要求された。今回の実験でも細心の注意を払ったが、測定方法を変えて、データのばらつきを抑え、より正確さを求める必要があると言える。改善案として、偏光板の直径を大きくすることが挙げられる。大きくすることで、偏光板(円形)の円周が長くなるため、回す距離が長くなり、細かい角度の調整が可能になると考えられる。既存の偏光板をボール紙等で囲うことで、実現ができると考えられる。

(2) 透過できる光の色の種類が変化する現象について追及する。

白色光を光源として使用する場合には、偏光板Bの回転角の角度を調節することで、特定の色(波長)の光は弱めることができて、別の色の光は通過してしまうという実験事実を発見できたことは、別の意味で大きな成果だったと言える。そこで、その光の色が変わる現象について2つの実験を行った。

ア 文献を参照した際に、旋光度の異なる二層の溶液に白色光を照射した場合、第2の偏光板(偏光板B)の透過光の色は各層ごとに異なるという記述を発見した。そこで、旋光度に勾配のある、つまり一方の旋光度が高く、もう一方にかけて旋光度がゆるやかに低くなっていくような水溶液を用いれば、透過光の色はグラデーションのように連続的に変化していくのではないかと考え、試してみたところ、ほぼ予想通りの結果になりそうであった。正確な実験方法を確立させて、研究を深められるようにしたいと思う。

イ 実験1と同じ環境で、白色光を光源として、溶液の代わりに塩化ビニル製の板やセロハンテープを設置し、実験してみると、実験1と同様に光の色が変化した。この時、偏光板Bの回転角を変化させると、青系統や赤系統などに光の色が連続的に変化する現象がみられた。これは無色透明のアクリル板では見られなかった。文献を参照すると、旋光性を持つ物質の場合には、その物質の厚みの差や、偏光板の回転角の位置により、白色光の中の一部の色(波長)の光のみ透過できるようになるため、光の色が変化する現象が起こるという。これは非常に興味深く感じた。

(3) 時間経過、温度変化、化学変化の有無などが旋光度に与える影響を調べる。

フルクトースとグルコースの混合溶液の旋光度と、フルクトースとグルコースとアスコルビン酸の混合溶液の旋光度を計測し、本研究の実験データと比較することで、化学変化の有無や常温における時間経過ともにスクロースがグルコースとフルクトースに変化した割合など、仮説の正しさをより証明するための材料が得られると考えられる。

1.1 参考文献

(1) 濃度勾配を持つ溶液における屈折率と旋光度の相関についての研究

清水東高校自然科学部物理班 平成30年度理科学研究論文

(2) イラストレイテッド 光の科学 大津元一[監修] 田所利康・石川謙[著] 朝倉書店

(3) イラストレイテッド 光の実験 大津元一[監修] 田所利康[著] 朝倉書店

(4) ビタミンC水溶液の加温保管中に起こる分解と褐変に及ぼす各種糖質の影響

東和化成工業(株)食品開発センター 小関, 他 2001年

(5) 化学 改訂版 啓林館