

# 屈折率勾配を持つ溶液における旋光度の研究

静岡県立清水東高等学校

自然科学部物理班 2年 稲葉晃一 他7名

## 1 要旨

本研究では、水槽の底からショ糖を拡散させて屈折率勾配を持たせた水溶液に対して、旋光度が水深とともにどのように変化するかを調べた。本溶液の場合、水深が深くなるほど濃度や屈折率が大きくなる。そこで「水深が深くなるほど、旋光角も屈折率の増加に伴い連続的に大きくなる。」という仮説を立て、He-Neレーザー光を光源として水深ごとに旋光角を測定した。微小な旋光角を精度よく測定するため、「光てこ」の方法を利用。偏光板に取り付けた鏡が反射するレーザー光の角度変化に注目して計測した。その結果、仮説の正しさはほぼ確認できたが、測定精度については課題が残った。

## 2 今年度の研究の目的

私たち自然科学部物理班は、平成16年度より「屈折率勾配を持つ溶液」の光学的性質について研究を重ねてきた。真水を入れた水槽の底に、ショ糖の飽和溶液を静かに注入して放置すると、時間の経過とともに溶質であるショ糖は水面に向かって拡散し、やがて濃度に応じて屈折率が連続的に変化した溶液ができる。このような溶液を「屈折率勾配を持つ溶液」と呼ぶ。昨年度までは、この溶液を通して水槽の背後に置いた物体を観察するときに出現する、蜃気楼に相当する3個の像について、理論と実験の双方から研究を続けてきた[参考文献:1~3]。本年度は、このショ糖溶液の屈折率と旋光性との関係に注目した。直線偏光させた光が光学活性物質を通過するとき、偏光面は回転する。この現象は旋光性と呼ばれており、身近な物質ではショ糖の水溶液がこの性質を持つことが知られている。

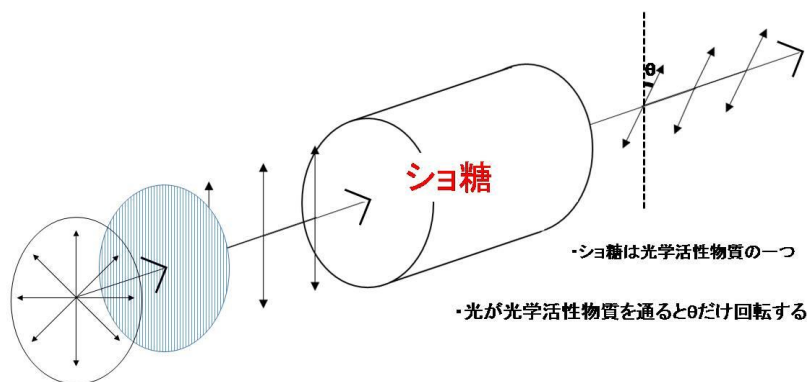


図1 旋光度  $\theta$

ショ糖の拡散による「屈折率勾配を持つ溶液」の場合には、水深が深くなるほど濃度や屈折率が大きくなる。そこで、次のような仮説を立てて研究を進めることにした。

**仮説：水底からショ糖を拡散させて作成した「屈折率勾配を持つ溶液」の場合には、水深が深くなるほど実測旋光度も大きくなっていく。**

この仮説を検証するため、次の点について研究を行うことにした。

- (1) ショ糖を使った「屈折率勾配を持つ溶液」を作成し、各水深における旋光角の大きさについて測定を行う。
  - (2) 旋光角の測定方法について、できるだけ精度を高めるように工夫をおこなう。
- 以上の目的のため実験を行ったので、その詳細について報告する。

### 3 実験方法

#### (1) 旋光角の測定方法

図2のように、屈折率勾配を持つ溶液の入った水槽の前方に置いた偏光板Aを通して、He-Neレーザー光を水槽へ水平に照射する。水槽の後方に置いた偏光板Bを回転させ、透過光の強度を調べる。最初、溶液のない液面上の部分で測定をおこない、透過光の強度が最も小さな値になるように偏光板Bを調節しておく。このときの偏光板Bの位置を、角度の基準点とする。次に、レーザー光を溶液の各水深部へ水平に照射させ、透過光の強度が最も小さな値になるように偏光板Bを回転させて、その角度を計測する。この角度が偏光面の回転角であり、これを（実測）旋光度とする。この操作を、各水深に対して行い、水深と旋光度との関係を記録する。

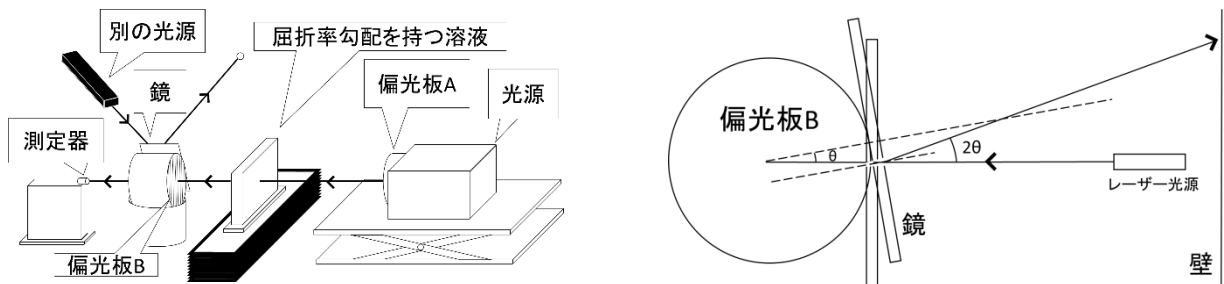


図2 実験装置の配置と「光てこ」の原理

旋光度はとても小さいことが予想されたため、偏光板Bの回転角の測定では図2（右）のような工夫を行った。偏光板Bの側面に鏡を固定しておき、この鏡に別の光源からの光を入射させ、その反射光を実験室の壁面に当てる。鏡に向かう光線と反射光線とのなす角度は、偏光板Bの回転角(旋光度)の2倍になる。回転角は、反射光が壁面を移動した距離を測定して計算で求めればよい。この測定方法は「光てこ」と呼ばれる [参考文献：4]。また、鏡から壁面までの距離が長いほど、より高精度で測定することもできる。

算出した回転角は、レーザー光が溶液中を進む距離に比例するので、レーザー光が通過する単位長さあたりの回転角に換算した。本論文では、この単位長さあたりの回転角を旋光度と呼ぶことにする。なお、反射光が壁面を移動する距離から旋光度を算出するまでの計算には、自作したVBAプログラムを使用した。

#### (2) 屈折率の測定方法

図3は屈折率分布の測定に平成16年度より物理班が使用してきた方法の原理である。溶液の入っている水槽の角をプリズムに見立て、側面からレーザー光線を入射する方法で、私たちはこれを「水プリズム法」と名付けている。各

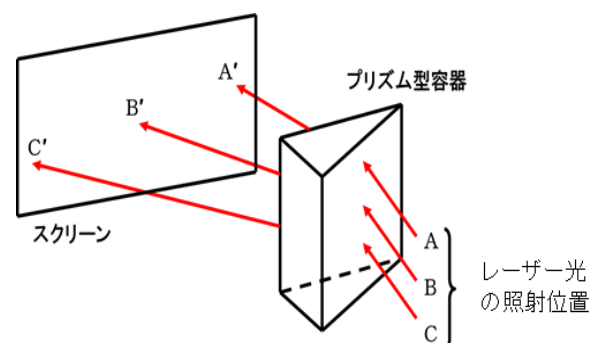


図3 水プリズム法の原理

水深における屈折率の違いに応じて、レーザー光の偏角が変化するため、この偏角を各水深で測定することにより、内部の屈折率を計算で求めることができる。水槽の側面が厚さの一定な平板であれば、側面の材質の屈折率が、偏角に影響を与えることはない。偏角から屈折率を求める計算には表計算ソフトを利用した。光源には波長 632.8 nm の He-Ne レーザー光を使用した。

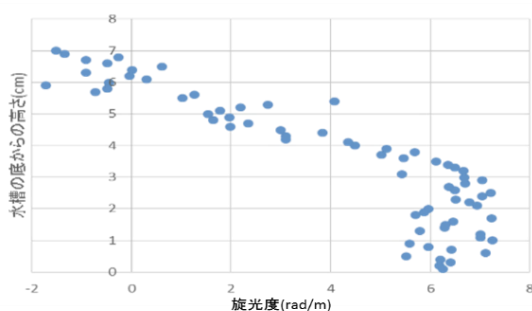
#### 4 研究の結果

##### (1) 水深と旋光度、及び屈折率の変化

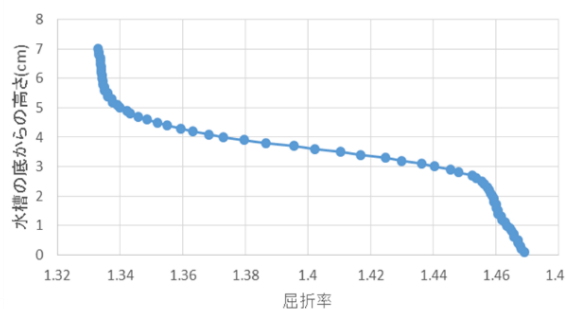
拡散を初めてから、24 時間毎に計測をおこない、96 時間後まで追跡した。この測定は、合計 10 回試みた。

以下のグラフは結果の一例である。縦軸は水底からの高さである。左側のグラフ 1 とグラフ 3 は水深と旋光度の関係を表す。右側のグラフ 2 と 4 は水深と屈折率の関係を表している。

##### ア. 拡散から 24 時間後

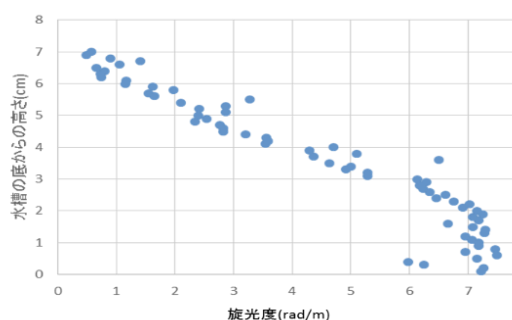


グラフ 1 水深と旋光度

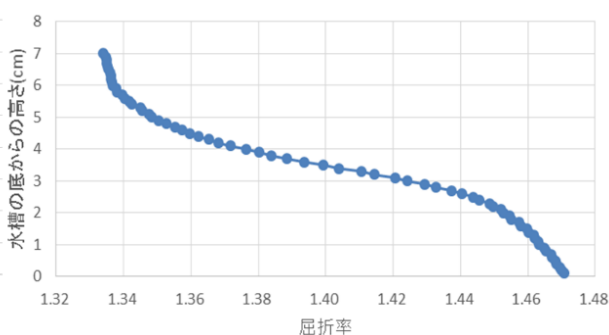


グラフ 2 水深と屈折率

##### イ. 拡散から 72 時間後



グラフ 3 水深と旋光度

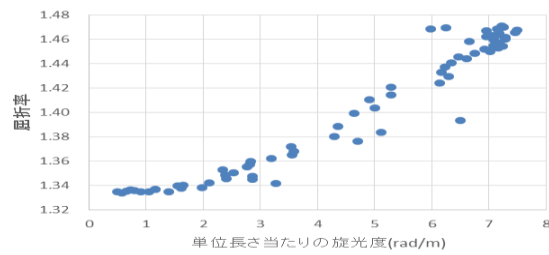


グラフ 4 水深と屈折率

左側の水深と旋光度の関係を表すグラフは、いずれも残念なことに測定の精度が悪く、測定値が大きくばらついている。しかし、全体の様子をみると、水深と旋光度の関係は、水深と屈折率を表すグラフとよく似た傾向を持つことが確認できる。

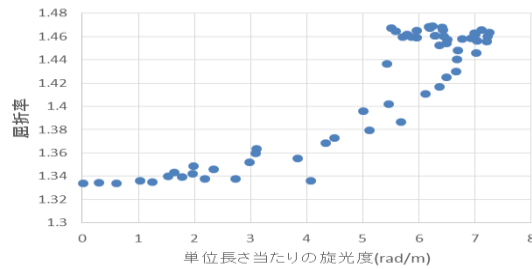
(2) 屈折率と旋光度の関係について

結果の一例を次に示す。縦軸は溶液内の屈折率、横軸は単位長さに換算した旋光度 (rad/m) である。  
ア. 拡散から 24 時間後



グラフ 5 屈折率と旋光度

イ. 拡散から 72 時間後



グラフ 6 屈折率と旋光度

測定値のばらつきは大きいですが、旋光度は水深の屈折率とともに単調に増加していく傾向が読みとれる。

5 考察

屈折率勾配を持つ溶液に対して旋光角の測定を試みる場合には、幾つかの難点があることが分かった。

難点(1)：各水深に対して旋光角を測定したいのであるが、極めて小さな値であるため、測定の際に誤差が大きく伴う。

難点(2)：各水深にレーザー光を水平に照射させるとき、溶液が屈折率勾配を持つことから、光線は厳密には直進せず、水底に向かって僅かながら弧を描いて進んでしまう(写真1)。このため、特定の水深部に対する厳密な旋光角を測定することができない。

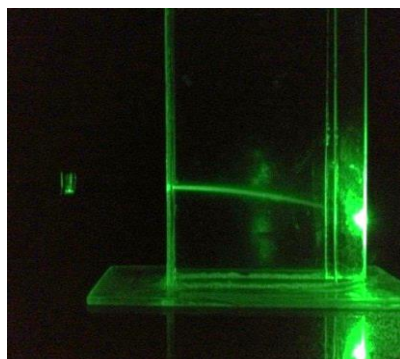


写真1 光が屈曲する様子

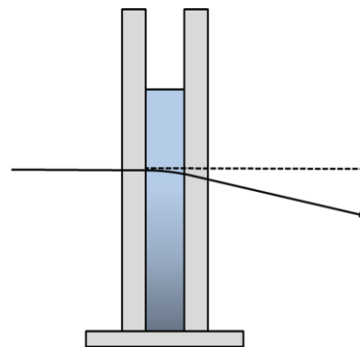


図4 光の屈曲の模式図

最初の難点(1)に対しては、「光てこ」の方法で角度の微小変化を求めるように工夫する他に、レーザー光が水槽を通過する距離を長くすればよい。しかし、逆に難点(2)に対しては、弧を描いて進む経路を直線と見なせる程度にするためには、レーザー光が水槽を通過する距離をできるだけ短くしたほうがよいと考えられる。距離を短くするほど旋光角は小さくなるので、測定は困難になる。

この相反する問題点のため、光線を通過させる水槽の厚さについて悩んだが、今年度はとりあえず溶液部分の厚さが 20 mm の水槽で実験を試みた。

旋光角は水深 1 mm ごとに測定をしたが、難点(2)の影響を考慮すると、光線の屈曲から考えて細かすぎると判断した。そこで、測定結果を見直し、水深 3 mm ごとに旋光角の測定値を平均することにした。グラフに使用した値は、すべてこの平均値を使用している。

測定値がばらついた他の原因として、レーザー光を照射させる水深の位置を変化させるため、水槽を上げ下げしたときの機械的な位置ズレも考えられる。最初は水槽を載せたジャッキを上げ下げしながら計測したが、後にこの方法を見直し、1.0 mm 厚の厚紙を一枚ずつ積み重ねながら水槽の高さを変化させる方法に切り替えた。その結果、測定値のばらつきに多少の改善が見られた。

## 6 結論

水底からショ糖を拡散させて作成した「屈折率勾配を持つ溶液」の場合には、水深が深くなるほど旋光度も大きくなっていくことが確認でき、私たちの仮説は正しいことが分かった。また、旋光度はその水深部における屈折率とほぼ一次関数の関係にある傾向も確認できた。測定精度を高めるために「光てこ」を用いた計測方法が功を奏したと考えられる。

しかし、測定値のばらつきがまだ大きいことや、屈折率勾配に伴い光線が溶液中を正確には直進できないことを考えると、屈折率と旋光度について詳細な解析をするまでには至らなかった。計測方法の工夫が、今後の課題である。

## 7 参考文献

- (1) 屈折率勾配を持つ溶液に等価なレンズと光線経路の明るさ  
清水東高自然科学部 平成 27 年度理科研究論文
- (2) 屈折率勾配を持つ溶液の結像作用の研究  
清水東高自然科学部 平成 26 年度理科研究論文
- (3) 屈折率勾配を持つ溶液が示す凸レンズの作用  
清水東高自然科学部 平成 25 年度理科研究論文
- (4) 光てこによる測定原理  
小学館 日本大百科全書