

RGB カラーセンサーを用いた旋光分散現象の検証実験 II

永吉 将人^{※1}

宇藤 茂憲

福岡教育大学教育学部

(Received November 22, 2012 ; accepted for publication March 4, 2013)

Verification Experiments II of Optical Rotatory Dispersion using RGB Color Sensor

Masato NAGAYOSHI

Shigenori UTOH

Department of Physics, Fukuoka University of Education

キーワード : 旋光度, 比旋光度, 旋光分散, ショ糖溶液, RGB カラーセンサー, 偏光板, 光強度の数値計算, VBA,

概要

2枚の偏光板の間に旋光性物質をはさんで一方の偏光板から白色光を照射し、他方の偏光板を回転させながら通過した光の色を変化させる現象（以下、“着色偏光”）を定量的に検証するため、RGB カラーセンサーとADコンバーターを組み合わせた操作簡便かつ廉価な旋光分散実験システムを学生実験用に再構築した。本報告では、ショ糖溶液とナトリウムランプ光源を用いて本システムの精度を検討した後、ハロゲン白色光源を使用して光の3原色であるRed・Green・Blueの各比旋光度をもとめて、旋光分散で生じる“着色偏光”の特徴を解析した。更に、汎用表計算ソフトでRed・Green・Blue各色の光強度（以下、強度）を数値計算でもとめて“着色偏光”の予測をおこなった後、CCDカメラによる観察結果と比較することで現象の理解を深めた。

1. はじめに

直線偏光した振動面がショ糖溶液中を進行しながら旋回する現象、例えば、単色光を偏光板（ポーライザー）で直線偏光してショ糖溶液を通過させた後、偏光板（アナライザー）で振動面の旋回角度（以下、旋光度）を測定する実験はLaurantの検糖計として広く知られている。¹⁾ ショ糖溶液に入射させる光を単色光ではなく白色光にした場合、アナライザーを通過した光の色がアナライザーの回転角度によって変化する“着色偏光”を観察することができる。これは直線偏光光の波長で旋光度が異なることによって生じる現象である。²⁾ 前回の報告³⁾では、RGBカラーセンサーと3台のデジタルマルチメーターを使用してGP-IB制御でパソコンへデータ転送するシステムを製作して、アナライザーの回転角度に対するRed・Green・Blue各色の強度および比旋光度を実験で得ることができた。また、直線偏光光を右円偏光光と左円偏光光のベクトル和として考え、両者の位相のズレを汎用表計算ソフトで計算して実験条件に対するRed・Green・Blue各色の旋光度をもとめるなど、実験データの解析および数値計算で旋光分散の基本原則を検証した。本報告では、パソコンへのデータ転送部にADコンバーターを用いてより廉価に実験システムを構成し、かつ学生実験で使い易いように操作簡便な教育用実験機器としての改良をおこなった。更に、実験条件を変えてRed・Green・Blue各色の強度を計算して光の色変化を予測した後、同じ条件による実験で実証することによって旋光分散現象の原理をより理解し易くすることに努めた。精密な計測機器をつくるという観点ではなく、旋光分散現象の基礎実験データを提示して“着色偏光”への興味・関心を喚起させ、数値計算でステップアップして理解を深めていく旋光分散実験の構築を目指した。

2. 実験方法

JISで規定⁴⁾されている市販の旋光計は、単色光源、或いは光学フィルターなどで単色化した光を用い、偏光子の角度回転制御に $1/100 \sim 1/1000^\circ$ （以下、 $^\circ$ の単位はdegree）の精度が必要であるため、高精度で

※1 現在、福岡市立元岡中学校教諭

高価である。そこで、旋光分散で生じる“着色偏光”を定量的にかつ効率的に実験するため、RGB カラーセンサー⁵⁾を用いて光 3 原色の各波長領域別に強度を測定し、また、パソコンへデータ転送できる廉価な USB-AD コンバーターを用いて多量なデータを効率的に処理する計測システムを学生実験用に再構築した。システムを写真 1 と図 1 に示す。単色光を光源とする場合はナトリウムランプ (Simazu 製ナトリウムランプ) からの *D* 線を用い、また、白色光を光源とする場合はハロゲンランプ (Techno Light 製, KTX-100 : 出力 100W) からの光を光ファイバーでシステムへと導いた。サンプルホルダー内壁での反射防止と色収差排除のため、カメラレンズ (Nikon 製, NIKKOR f=50 mm, 1:1.2) 裏側のフィルム焦点距離の位置 (約 42 mm) にファイバーの先端を設置して、平行光束 (同一直径光束) がサンプルホルダー内を通過するようにした (図 1)。カメラレンズを経由した光を、ポーラライザー (シグマ光機製 $\phi 30 \times 6$ mm t, $\lambda = 400 \sim 700$ nm 用) で直線偏光して旋光性溶液中を通過させた後、アナライザー (シグマ光機製 $\phi 50 \times 6$ mm t, $\lambda = 400 \sim 700$ nm 用) と偏光解消板 ($\lambda/4$ 雲母波長板: シグマ光機製 $\phi 30 \times 2.5$ mm t, $\lambda = 400 \sim 700$ nm 用) および集光凸レンズ ($\phi 20$ mm, 焦点距離 20 mm) を経て、RGB カラーセンサー (浜松ホトニクス製 S7505-01) に集光させた。RGB カラーセンサーは 3 種のフォト・ダイオードから構成され、光 3 原色の各領域 (Red : 感度帯域 $\lambda_{Red\ range} = 590 \sim 720$ nm と最高感度波長 $\lambda_{Red\ max} = 620$ nm, Green : $\lambda_{Green\ range} = 480 \sim 600$ nm と $\lambda_{Green\ max} = 540$ nm, Blue : $\lambda_{Blue\ range} = 400 \sim 540$ nm と $\lambda_{Blue\ max} = 460$ nm) の光の強度を同時に検出できるものである。センサーで発生する Red・Green・Blue 各色のフォト電流をカラーセンサー評価基板 (浜松ホトニクス製 C9331) で直流電圧に変換して、光の強度を出力した。この光の強度としては、RGB カラーセンサーに光を照射しないときに発生する暗電流による雑音を Red・Green・Blue 各色の測定値 (V) から差し引いてデータとした。Red・Green・Blue 各色の電圧値をパソコンに取り込むには、USB 接続の 12 ビット AD コンバーター (LabJack 製 U3HV-LJ : 同一レベルの 4 チャンネル信号を取り込み可能) を用いた。この AD コンバーターの入力信号幅は 0.4V~2.4V で分解能は約 600 μ V である。実験では、サンプルホルダーを空にしてポーラライザーとアナライザーの直交状態を確認した後、ショ糖溶液の各濃度での測定前に“色バランス補正”をおこなった。これはアナライザー通過直後の白色光を視覚で確認して、RGB カラーセンサーの Red・Green・Blue 各色の強度がほぼ同じ値になるように RGB カラーセンサーへの光の照射を幾何学的に調整する補正である。RGB カラーセンサー測定用のサンプルホルダーは、外径 32 mm, 内径 25 mm, 長さ 200 mm の塩化ビニール製パイプで製作し、サンプルを外部の光から遮断した。

表計算ソフト [Microsoft(株) Excel] 付属の Visual Basic for Application (VBA) でパソコンへのデータ

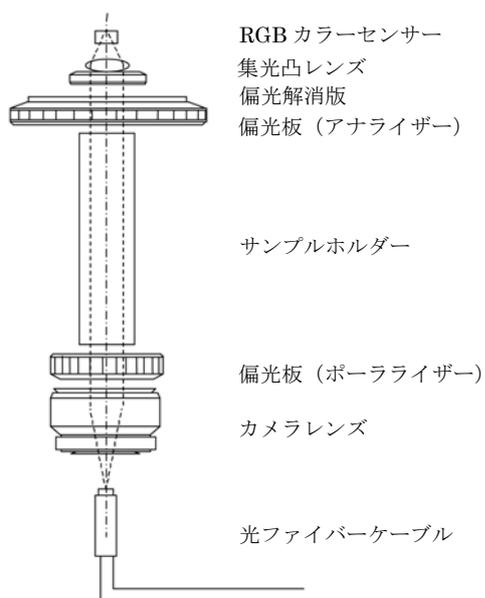


図 1 光照射部、カメラレンズとポーラライザー部、サンプルホルダー部、アナライザーと集光凸レンズ部および RGB カラーセンサーを示す。一点破線は光軸を、また点線は照射光の広がり範囲と集光状態を示している。

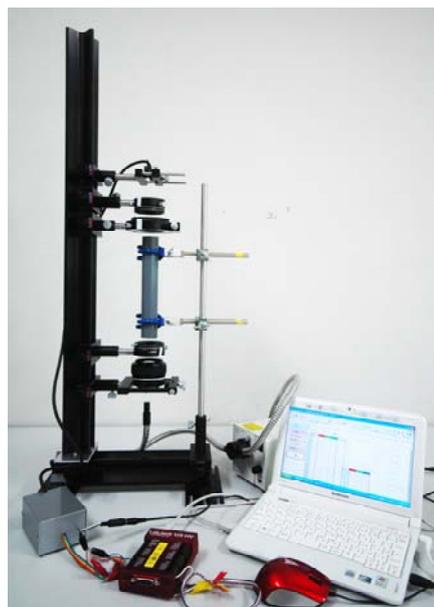


写真 1 製作したシステム

取り込みプログラムを自作した。但し、アナライザーの回転は 10.0° 間隔の手動でおこない、 $0^\circ \sim 420^\circ$ の角度領域を操作した。測定パラメータとしては、①アナライザーの回転角度間隔、②アナライザーを①の間隔で測定する回数、③手動でアナライザーを回転させる角度の設定時間、④同一角度で平均するデータ数、⑤初期角度等を指定して、グラフで表示しながら測定した。④では、それぞれのアナライザー角度で 10 回測定した平均値を Red・Green・Blue 各色の強度のデータとした。データ解析や数値計算にも同じ表計算ソフトを用いた。

光の色変化の映像記録には CCD カメラ (Logicool 社製 Qcam Pro9000) を用いた。吸収型 ND フィルター [Edmund 社製, 光学濃度 1.0 (透過率 $10 \pm 1\%$)] で輝度を低めて、アナライザー通過直後の光の色を撮影した。シヨ糖溶液は和光純薬工業製 Sucrose (特級) を精製水に溶解してつくった。CCD カメラ記録用サンプルホルダーとして、シヨ糖溶液の試料の長さ (以下, パス長) が 10 cm 程度の実験では 25 cm のメスシリンダーを使用し, また 50 cm 程度のパス長の実験では透明塩化ビニル製パイプ (内径 18 mm, 外径 21 mm) を使用した。いずれの場合もガラス管に黒色模造紙を巻きつけて外部の光を遮断した。

3. 理論とデータ解析

ポーラライザーで直線偏光した単色光が, 溶質濃度 $m/100$ (g/cm^3) でパス長 l (dm) の旋光性溶液中を通過後, アナライザーの位置で旋光度 θ° を示したとすると, θ は比旋光度 $[\alpha]_\lambda^T$ ($\text{degree} \cdot \text{cm}^2/\text{g}$) を用いて,

$$\theta = [\alpha]_\lambda^T \cdot l \cdot \frac{m}{100} \quad (1)$$

と示せる。^{1,2)} 比旋光度は溶質濃度 1.0 (g/cm^3) で長さ 1.0 (dm) の液柱に対する旋光度を示し, 光の波長 λ (nm) と温度 T ($^\circ\text{C}$) に依存している。ここで, m は溶質の質量 (g) であり, 溶液 100 cm^3 に対する溶質 m (g) の比を溶質濃度と定義している。

ナトリウム D 線の単色光を光源として, シヨ糖溶液濃度が 10 wt.%, 20 wt.%, 30 wt.%, 40 wt.%, 50 wt.% の 5 種類のサンプル (約 20°C) を 1.0 dm のパス長で測定してもとめた比旋光度を公表値と比較して, 製作した実験システムの精度を評価した。図 2 に示す“強度 vs. アナライザー角度”において点線丸印内に示す I_{Sum} の極値の角度がシヨ糖溶液の溶質濃度の変化でずれるが, この角度変化を測定して旋光度を求めた。ここで, アナライザーの回転角度間隔が 10.0° 刻みと粗いため, I_{Sum} 曲線を 2 次関数とみなして, 最小自乗法を用いたデータ処理で極値の角度をもとめた。実験結果を図 3 に示す。比旋光度は (1) 式で定義されているので, 図 3 (溶質濃度 vs. 旋光度) の 1 次関数の最小自乗法よりもとめた傾きを比旋光度として, $[\alpha]_{\text{exp}}^{20}_{1589.3} = 62.6_2$

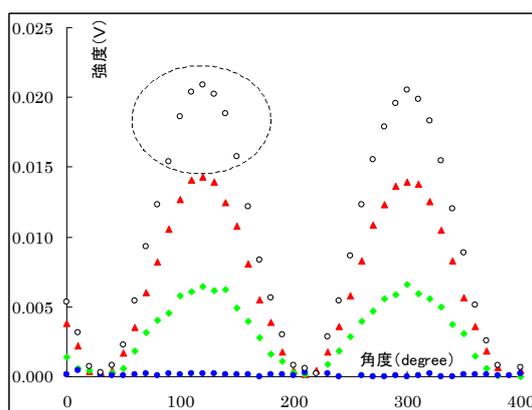


図 2 ナトリウム D 線を光源として, 40 wt.% シヨ糖溶液 (溶液温度は約 20°C) を測定した暗電流雑音処理後のデータ。横軸はアナライザーの回転角度 (degree), 縦軸は強度 (V) である。▲ : I_{Red} , ◆ : I_{Green} , ● : I_{Blue} , ○ : $I_{Sum} = I_{Red} + I_{Green} + I_{Blue}$ 。 I_{Sum} の極値部分を囲む点線丸印は本文参照。

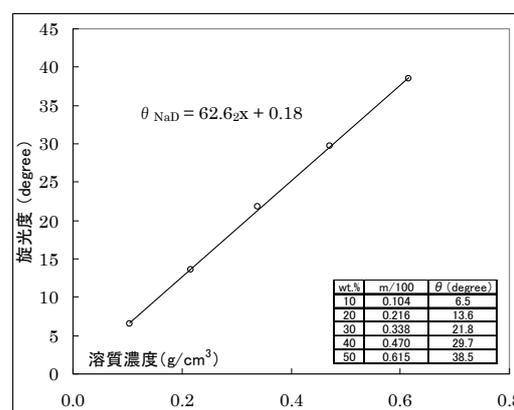


図 3 横軸を溶質濃度 x (g/cm^3) として, 10 wt.%, 20 wt.%, 30 wt.%, 40 wt.% と 50 wt.% シヨ糖溶液の旋光度 (degree) をプロットし, 最小自乗法でもとまる 1 次関数の傾きでナトリウム D 線の比旋光度をもとめた。

の値を得た。これを既に公表⁶⁾されている値 $[\alpha]_{589.3}^{20} = 66.4_5$ と比較すると、約 5.7%の差を確認した。この主な原因は、(i) アナライザー回転角度が 10.0° 刻みと粗いうえに手動による測定であること、(ii) ナトリウム D 線単色光の波長が、RGB センサー (S7505-01) の“受光感度 vs. 波長”の特性曲線⁵⁾における Red および Green の最高感度波長からずれた低い感度帯域に位置していることなど、製作したシステムの精度上の問題と考えられる。しかし、シヨ糖溶液の“着色偏光”の現象を検証するうえで問題となる程ではないので、精度の改善はおこなわなかった。

次に、白色ハロゲン光源を使用して、ナトリウム D 線の単色光源のときと同じ実験条件で、光の 3 原色である Red・Green・Blue 各色の強度 I_{Red} , I_{Green} , I_{Blue} と強度比 I_{Red}/I_{Sum} , I_{Green}/I_{Sum} , I_{Blue}/I_{Sum} の測定結果を 図 4 (a), (b), (c), (d) に、また実験よりもとめた旋光度と比旋光度を表 1 と図 5 に示す。実験で得た値

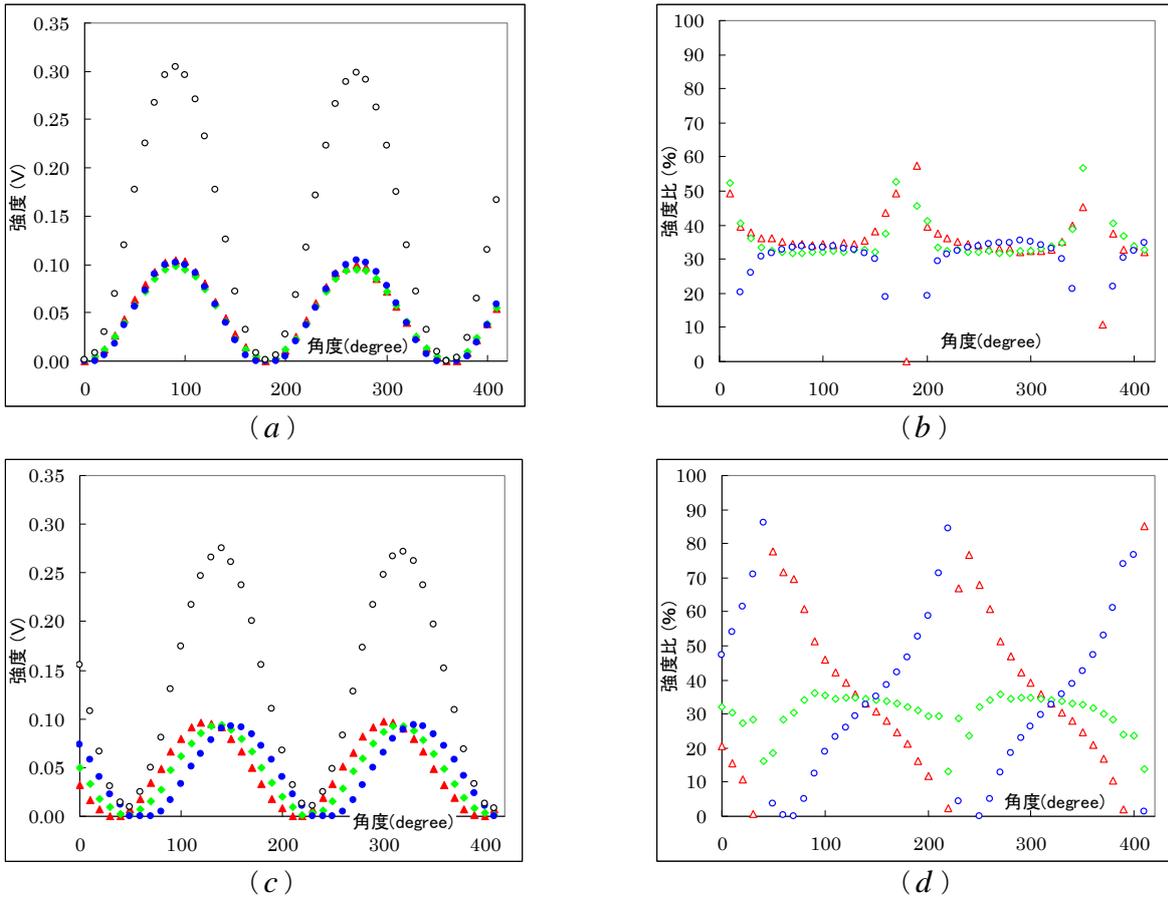


図 4 ハロゲン白色光を光源として測定した強度と強度比のアナライザー角度による変化。(a) と (b) はサンプルホルダーが空の状態での測定。(c) と (d) は 50 wt.%シヨ糖溶液での測定。図 (a) と (c) に、 \blacktriangle : I_{Red} , \blacklozenge : I_{Green} , \bullet : I_{Blue} , \circ : $I_{Sum} = I_{Red} + I_{Green} + I_{Blue}$ の各データを示す。図 (b) と (d) に、 \triangle : I_{Red}/I_{Sum} , \lozenge : I_{Green}/I_{Sum} , \circ : I_{Blue}/I_{Sum} の各データを示す。

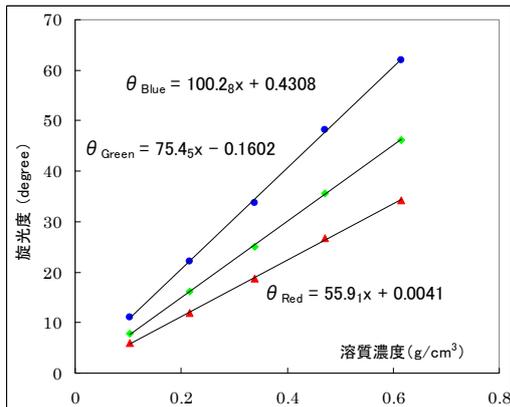


図 5 横軸を溶質濃度 x (g/cm^3) として、10 wt.%, 20 wt.%, 30 wt.%, 40 wt.%, 50 wt.%のシヨ糖溶液の Red・Green・Blue 各色の旋光度をプロットし、最小自乗法でもとまる 1 次関数の傾きで Red・Green・Blue 各色の比旋光度をもとめた。 \blacktriangle : Red, \blacklozenge : Green, \bullet : Blue

を評価するため、比旋光度の光の波長依存性を示す式として低分子物質の実験値とよく一致する Drude の単項分散式⁶⁾

$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{K}{\lambda^2 - \lambda_0^2} \quad (2)$$

より、Red・Green・Blue 各色の比旋光度の値 $[\alpha]_{620}^{20} = 59.6$ 、 $[\alpha]_{540}^{20} = 80.1$ 、 $[\alpha]_{480}^{20} = 103.5$ を得た。但し、参考文献⁶⁾より、 λ を nm/1000 で代入する場合、 $K = 21.648$ および $\lambda_0^2 = 0.0213$ である。Drude の単項分散式に、 $\lambda_{Red} = 620\text{nm}$ 、 $\lambda_{Green} = 540\text{nm}$ と $\lambda_{Blue} = 480\text{nm}$ を代入してもとめ、実験で得た値と比較すると、Red では 6.0%、Green では 5.7%、Blue では 3.1%の差を生じた (表 1)。この原因として前記した (i) に加えて、白色光源の場合、(iii) ポーライザーを通過する白色光全ての波長の光が直線偏光され、また Red・Green・Blue 各色のセンサーはある幅の波長領域の光を検出する連続的な幅をもった測定のため (例えば、Red では $\lambda_{Red} = 620\text{nm}$ に最大の感度特性があるが、感度波長範囲は 590~720 nm である)、測定強度が RGB カラーセンサー感度の波長幅に依存することが考えられる。

シヨ糖溶液濃度 50 wt.% で溶液温度約 20°C、パス長 1.0 dm (以下、実験条件 I) において CCD カメラで撮影したアナライザー通過後の光の色変化を写真 2 に示す。色バランス補正をおこなったアナライザー角度 140° で白色を示しているが、アナライザー回転角度を 140° から 320° へと変化させると「白→水色→青→紫→赤→橙→黄→白」と光の色が変化している。220° 近傍で青色系カラーから赤色系カラーに急激に変化しているが、緑色系カラーは出現していない。実験条件 I で測定した “Red・Green・Blue 各色の強度 vs. アナライザー角度”，および “Red・Green・Blue 各色の強度比 vs. アナライザー角度” を図 4 (c), (d) に示す。ここで、例えば、強度比の 1 番高い比率を示すカラーが赤であれば、赤色系カラーとみなした。図 4 (d) に示すように、アナライザー角度の 150° ~220° 領域では、強度の強い順に Blue→Green→Red となっているが、アナライザー角度が増加するにつれて Blue の強度比は 32.2% から 84.4% の増加傾向を、Red の強度比は 32.2% から 2.7% の減少傾向を、そして Green の強度比は 34.3% から 13.2% の値を示している。Red・Green・Blue 各色の比旋光度の値が異なるため、Red・Green・Blue 各色の強度がゼロとなるアナライザー角度は $\theta_{Red} \approx 215^\circ$ 、 $\theta_{Green} \approx 225^\circ$ 、 $\theta_{Blue} \approx 240^\circ$ と異なっており、白色光源を用いたときはアナライザーによって完全に遮光されることはない。220° ~240° の角度領域では、Blue の強度比は約 84.4% → 0% 近傍に減少し、

表 1 ハロゲン白色光を光源として、10 wt.% から 50 wt.% のシヨ糖溶液 (溶液温度は約 20°C) を用いて得た Red・Green・Blue 光に対する旋光度と比旋光度

Red			
wt.% 濃度	シヨ糖密度 ρ (g/cm ³)	m/100	旋光度 θ (degree)
10.0	1.038	0.1038	5.9
20.0	1.081	0.2162	11.9
30.0	1.127	0.3381	18.8
40.0	1.176	0.4704	26.7
50.0	1.230	0.6150	34.2
比旋光度 α_{Red}			56.0
Drude 単項式 ($\lambda = 620$ nm)			59.6
実験値と理論値の差			6.0%
Green			
wt.% 濃度	シヨ糖密度 ρ (g/cm ³)	m/100	旋光度 θ (degree)
10.0	1.038	0.1038	7.8
20.0	1.081	0.2162	16.2
30.0	1.127	0.3381	25.0
40.0	1.176	0.4704	35.6
50.0	1.230	0.6150	46.2
比旋光度 α_{Green}			75.5
Drude 単項式 ($\lambda = 540$ nm)			80.1
実験値と理論値の差			5.7%
Blue			
wt.% 濃度	シヨ糖密度 ρ (g/cm ³)	m/100	旋光度 θ (degree)
10.0	1.038	0.1038	11.0
20.0	1.081	0.2162	22.1
30.0	1.127	0.3381	33.7
40.0	1.176	0.4704	48.1
50.0	1.230	0.6150	62.0
比旋光度 α_{Blue}			100.3
Drude 単項式 ($\lambda = 480$ nm)			103.5
実験値と理論値の差			3.1%

Red の強度比は約 2.7%→66.9%と増加する。いずれも急激な変化である。Green の強度比は $\theta_{Green} = 225^\circ$ 近傍で極小値を示す。アナライザー角度 $230^\circ \sim 310^\circ$ 領域では、強度の強い順に Red→Green→Blue となっている。アナライザー角度が増加するにつれて Blue の強度比は増加傾向を、Red の強度比は減少傾向を、そして Green の強度比はほぼ一定の値を示している。これらのデータ解析より、アナライザー角度の 220° 近傍において CCD カメラで確認した青色系カラーから赤色系カラーへの急激な光の色変化は、光の波長によって比旋光度が異なる旋光分散のために生じた現象であることが検証できた。但し、写真 2 や図 4 (c), (d) による変化は実験条件 I で限定された現象である。そこで、実験条件を変えてショ糖溶液の“着色偏光”による光の色変化がどのようになるのかを、数値計算で予測して実験をおこなった。

4. 数値計算による“着色偏光”の予測と CCD カメラによる検証

旋光分散による Red・Green・Blue 各色の強度と強度比の数値計算を次のようにおこなった。サンプルホルダーにショ糖溶液を入れないときのポーラライザーとアナライザーの直交状態を図 6 の 2 重線①と②で示す。ある濃度のショ糖溶液をサンプルホルダーに入れたとき、ポーラライザーで直線偏光された振動面 (図 6 の実線矢印) がショ糖溶液を通過してアナライザーの位置で旋光度 θ° を示した (図 6 の点線矢印) とする。この状態でアナライザーを回転させて各角度における光の強度を計算する場合、アナライザーを初期状態から Θ° 回転させた位置での強度 I は、

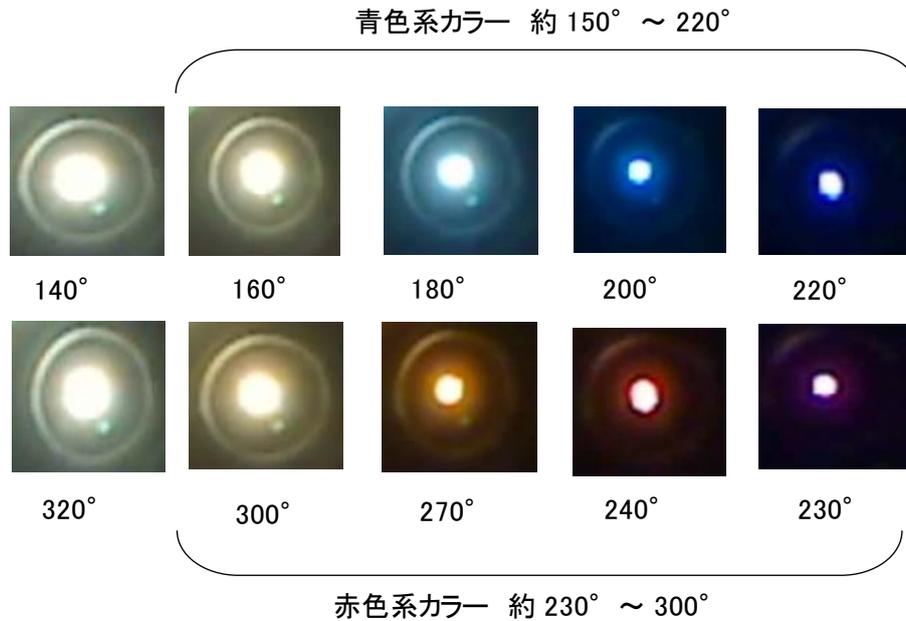


写真 2 CCD カメラで撮影した実験条件 I でのアナライザー通過直後の光の色変化。数値はアナライザーの角度を示す。

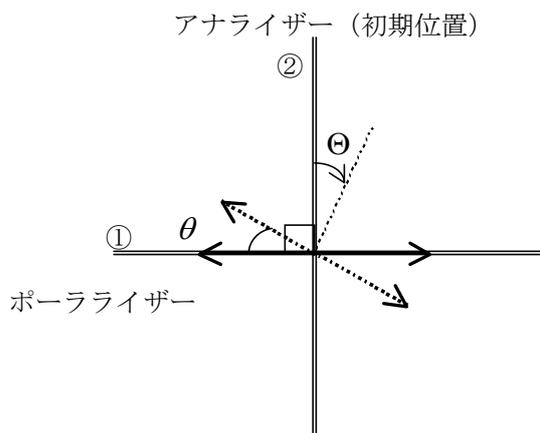


図 6 ポーラライザー (2 重線①) とアナライザー (2 重線②), サンプル照射前の直線偏光の位置 (実線矢印) とショ糖溶液を通過してアナライザー直前の直線偏光の位置 (点線矢印) の関係を示した。点線はアナライザーを角度 Θ 回転させた位置を示す。旋光度を θ とする。

$$I = \cos^2[(\pi/2 - \theta) + \Theta] = \sin^2(-\theta + \Theta) \quad (3)$$

で示すことができる。 $\theta = \Theta$ であれば、 $I = 0$ である。ここで、相対強度を考えているので(3)式の振幅を1とした。

実験条件 I (白色ハロゲン光源, ショ糖濃度 50 wt.%, パス長 1.0 dm, 計算する角度間隔 1°) において、実験で得た $[\alpha_{\text{exp}}]_{620}^{20}$, $[\alpha_{\text{exp}}]_{540}^{20}$, $[\alpha_{\text{exp}}]_{480}^{20}$ の値を用いてアナライザーの位置での旋光度 θ_{Red} , θ_{Green} , θ_{Blue} を(1)式よりもとめて、アナライザー回転角度に対する Red・Green・Blue 各色の強度および強度比を計算した。汎用表計算ソフトのワークシート画面を図7に示す。実験で得た Red・Green・Blue 各色の比旋光度をセル (I,14) ~ (I,16) に記載し、実験条件であるショ糖溶液のパス長と濃度 (wt.%) をセル (H, 21) と (I,21) にそれぞれ代入すると、アナライザーを通過する直前の旋光度の計算結果が Red・Green・Blue 各色別に I 列 (degree 表示) と J 列 (radian 表示) の3行から5行に示される。但し、I 列6行から11行は定数項である。A列 (degree 表示) とB列 (radian 表示) に記載しているアナライザーの回転角度に対する Red・Green・Blue 各色の強度 I_{Red} , I_{Green} , I_{Blue} と強度総和 I_{Sum} をC列からF列に、また、Red・Green・Blue 各色の強度比 $I_{\text{Red}}/I_{\text{Sum}}$, $I_{\text{Green}}/I_{\text{Sum}}$, $I_{\text{Blue}}/I_{\text{Sum}}$ をL列からN列に計算結果を記載して、グラフ表示した。ここで、Red・Green・Blue 各色の強度と強度総和は $I_{\text{Red}} = A_1 \sin^2(\Theta - \theta_{\text{Red}})$, $I_{\text{Green}} = A_2 \sin^2(\Theta - \theta_{\text{Green}})$, $I_{\text{Blue}} = A_3 \sin^2(\Theta - \theta_{\text{Blue}})$ および $I_{\text{Sum}} = I_{\text{Red}} + I_{\text{Green}} + I_{\text{Blue}}$ で計算できる。 A_1 , A_2 , A_3 は定数である。実験データの図4(c)と(d)にほぼ対応する計算結果を図8(a)と(b)に示すことができた。

この数値計算の条件を変えることで、旋光分散によって生じる“着色偏光”を予測することが可能である。ここで、パス長を一定にして、ショ糖濃度を 10 wt.% から 50 wt.% に変化させて Red・Green・Blue 各色の比旋光度を求める実験において“着色偏光”の特徴に顕著な差が生じないことを確認³⁾できているので、溶液濃度は 50 wt.% に固定してパス長を変えることで実験条件 I とは異なる光の色変化をもとめた。赤色系カラー、青色系カラー、緑色系カラーの光がほぼ等しいアナライザー角度幅で出現するように計算してみた。白色ハロゲン光源を用いて、ショ糖濃度 50 wt.% (溶液温度約 20°C)、パス長 5.0 dm, 角度間隔 1° (実験条

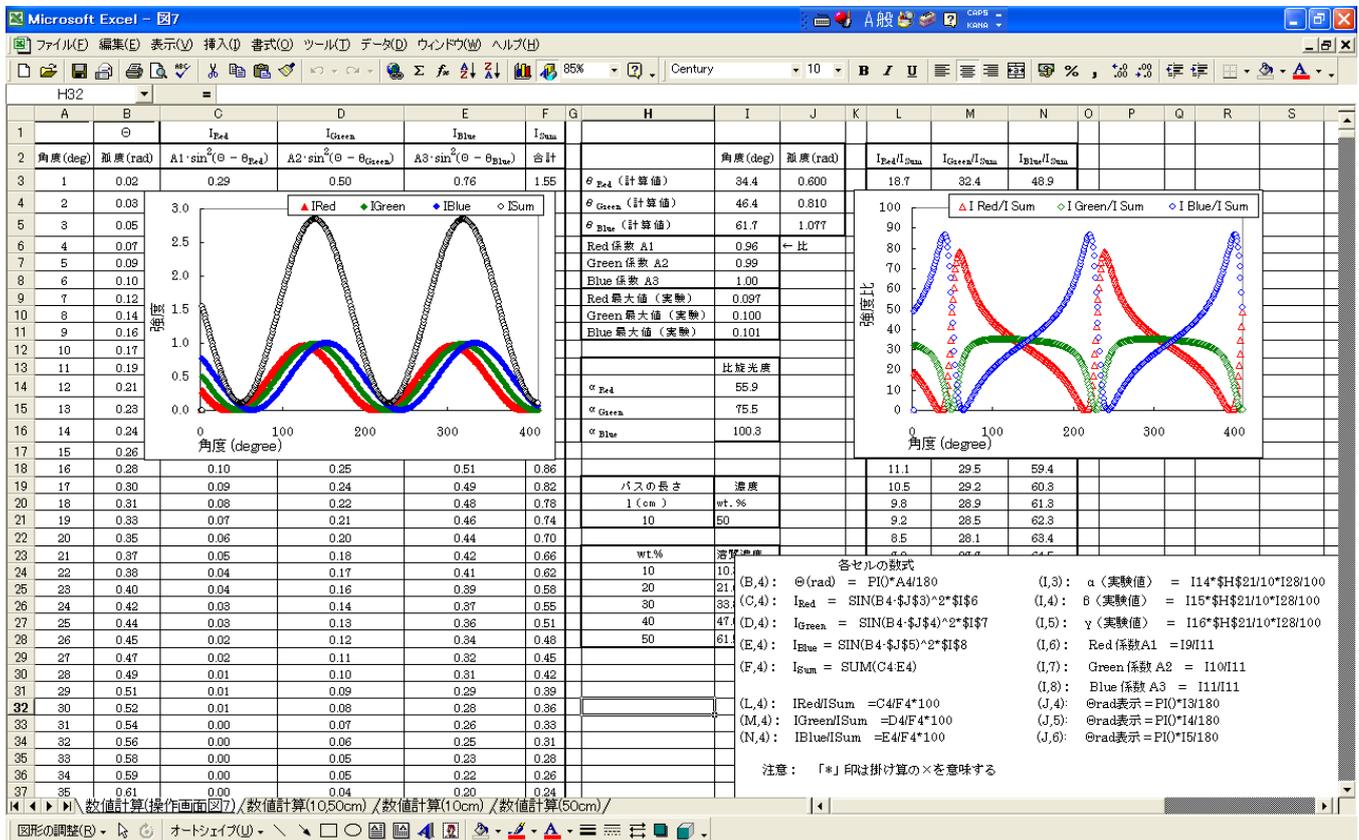


図7 数値計算する汎用表計算ソフトのワークシート画面

件Ⅱ)で計算した結果を図8(c), (d)に示す。この計算結果をもとにして、実験条件Ⅱでおこなった CCD カメラによる光の色変化を写真3に示す。写真3および強度比グラフの図8(d)に示すように、アナライザ一回転角度が約25°から80°を赤色系カラー、約85°から140°を緑色系カラー、そして約145°から180°および0°から20°を青色系カラーであることが確認できた。実験条件Ⅱの数値計算で示したシヨ糖溶液の“着色偏光”をCCDカメラで検証することができた。

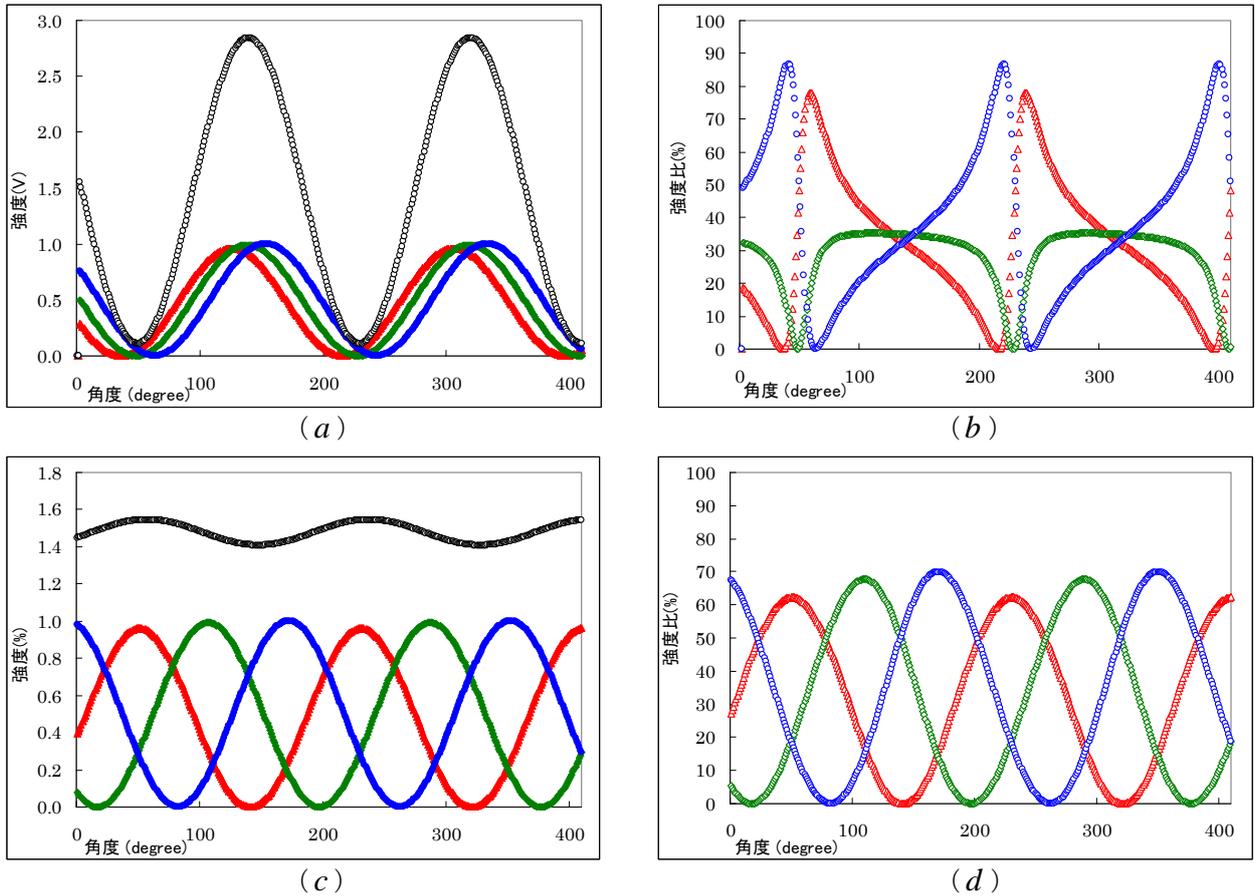


図8 実験条件Ⅰおよび実験条件Ⅱでのアナライザの回転角度に対するRed・Green・Blue各色の強度 I_{Red} , I_{Green} , I_{Blue} および強度比 I_{Red}/I_{Sum} , I_{Green}/I_{Sum} , I_{Blue}/I_{Sum} の計算結果を示す。(a) 実験条件Ⅰでの強度。▲: I_{Red} , ◆: I_{Green} , ●: I_{Blue} , ○: $I_{Sum} = I_{Red} + I_{Green} + I_{Blue}$, (b) 実験条件Ⅰでの強度比。△: I_{Red}/I_{Sum} , ◇: I_{Green}/I_{Sum} , ○: I_{Blue}/I_{Sum} , (c) 実験条件Ⅱでの強度。▲: I_{Red} , ◆: I_{Green} , ●: I_{Blue} , ○: $I_{Sum} = I_{Red} + I_{Green} + I_{Blue}$, (d) 実験条件Ⅱでの強度比。△: I_{Red}/I_{Sum} , ◇: I_{Green}/I_{Sum} , ○: I_{Blue}/I_{Sum}

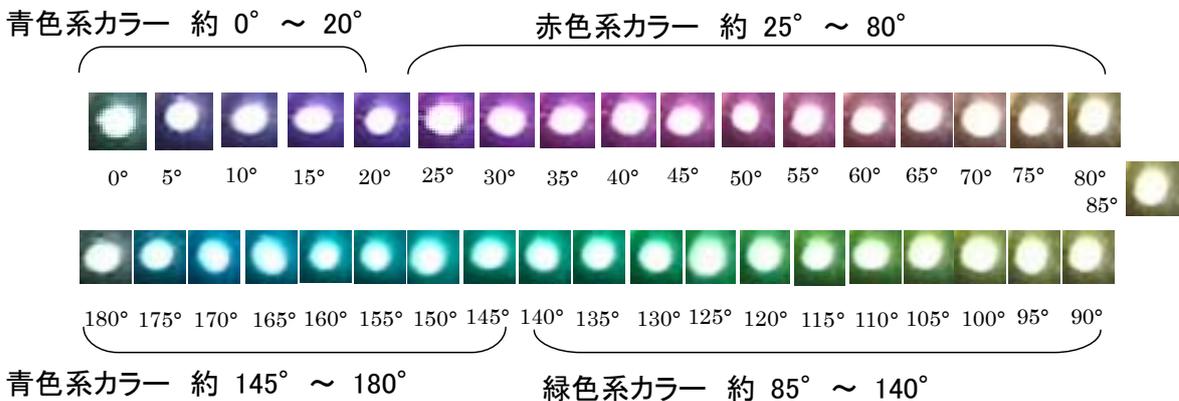


写真3 CCDカメラで撮影した実験条件Ⅱでのアナライザ通過直後の光の色変化。数値はアナライザの角度を示す。

5. まとめ

ハロゲンランプを光源とした旋光分散の学生実験を実施するため、光の3原色の強度を効率よく定量的に測定できるRGBカラーセンサーとカラーセンサー評価基盤およびADコンバーターを用いた実験システムを廉価に製作した。アナライザーを手動で回転させるシステムのため、 10.0° の粗い間隔での操作となったが、旋光分散の特徴である“着色偏光”の変化を実験と数値計算で検証できた。定量的データ解析で旋光度と比旋光度をもとめて旋光分散の特徴を示した後、数値計算を実行することで“着色偏光”の予想に従った変化をCCDカメラで確認して現象の理解を深めることができた。アナライザーの回転を手動でおこなったため、測定に時間(実験条件Iで約3時間半程度)が掛かり、また、 10.0° 刻みでの実験であったことやRGBカラーセンサーの特性より実験精度は高いものではなかったが、旋光分散の実験をおこなう上で問題は生じなかった。大学での基礎物理学実験、或いは公開講座や研修で旋光分散実験を実施する予定である。

参考文献

- 1) 例えば、吉田 卯三郎, 武居 文助, 橘 芳實, 武居 文男 共著: 物理学実験 三省堂
- 2) 一般書として,
Max Born & Emil Wolf (草川 徹 訳): 光学の原理 I 東海大学出版会
大津元一, 田所利康 共著: 先端光技術シリーズ1 光学入門 -光の性質を知ろう- 朝倉書店
など
- 3) 永吉 将人, 宇藤 茂憲: 研究論文集-教育系・文系の九州地区国立大学間連携論文集-第6巻第1号 (2012) p1 - p10
- 4) 例えば, JISハンドブック 2008 (49) 化学分析編
- 5) ネット上で公開: http://jp.hamamatsu.com/products/sensor-ssd/pd146/4038/S9702/index_ja.html
トランジスター技術 2003年12月号 p181 伊藤 勉, 鈴木弘一「RGBカラーセンサの基礎と応用」
- 6) 例えば, 日本化学会 編: 「新実験化学講座4 基礎技術3」 丸善株式会社
T.M.Lowry, “Optical Rotatory Power”, Longmans Green and Co. (1935)
D.F.DeTar, Anal.Chem, 41, (1969) 1406