

RGB カラーセンサーを用いた旋光分散現象の検証実験

永吉 将人^{*1}

福岡教育大学教育学部

宇藤 茂憲

福岡教育大学教育学部

Verification Experiments of Optical Rotatory Dispersion using RGB Color Sensor

Masato NAGAYOSI

Shigenori UTOH

Department of Physics, Fukuoka University of Education

キーワード：旋光度，比旋光度，直線偏光，左円偏光，右円偏光，旋光分散，シヨ糖溶液，RGB カラーセンサー，USB GP-IB，Excel VBA，最小自乗法，

概要

シヨ糖溶液に直線偏光した光を入射させると、その振動面が回転する旋光現象が出現する。単色光を光源としてこの旋回角度（旋光度）を測る代表的な実験に Laurent の検糖計があり、大学での物理学実験の定番¹⁾となっている。シヨ糖溶液に入射する直線偏光光の波長によって旋光度が変化する波長依存の特性は、白色光を光源として“偏光子（ポーラライザー）”→“シヨ糖溶液”→“偏光子（アナライザー）”を経た光を観察した場合、光の色がアナライザーの回転角度によって変化する旋光分散の現象において出現する。この旋光分散現象を大学の基礎物理学実験へ適用することを目的として、RGB（R：Red，G：Green，B：Blue）カラーセンサーを用いた測定システムを作製し、定量的な解析で検証を試みたので報告する。

1. はじめに

旋光や旋光分散の原理²⁾を用いた測定装置は基礎研究および実用面で利用され、例えば、偏光面を回転させる性質、所謂、“光学活性”で有機および無機物質の立体構造や電子状態の解明に用いる基本装置（旋光計）³⁾として、或いは糖度計・濃度計として、主に化学や生物学領域で用いられている。本報告では、基礎物理学をこれから学ぶ学生に対して、物理学の基礎を平易に解説することを目指して、実験データに基づいてステップアップして旋光分散現象を理解できるように、

① 汎用タイプの表計算ソフト [Microsoft (株) Excel と附属する Visual Basic for Applications (VBA)]

で測定機器を制御してデータを収集できる装置の製作、

② 同ソフトを用いてデータ解析や理論の数値計算の実施、

など、実験およびデータ処理の方法を提示した。

効率よく旋光分散の実験をおこなう必要から、光の色を定量的に評価するために使用されている RGB カラーセンサーを光検出器に用いた。RGB カラーセンサーは、光3原色（赤：Red，緑：Green，青：Blue）の各波長領域に感度を高めたフォトダイオード複数個を1つのパッケージに収納したものである。⁴⁾ 波長が 380 nm ~ 780 nm の可視光領域の光を Red・Green・Blue それぞれの信号（光電流）に分けて検出すること

*1 現在、福岡市立元岡中学校教諭

ができる。製作した測定システムで Red・Green・Blue の各色の旋光度を測定した後、Red・Green・Blue の各比旋光度 [(1)式参照] を求めた。

同じ振動数と同じ振幅で進行している右旋回円偏光（右円偏光）と左旋回円偏光（左円偏光）のベクトル和で直線偏光を理解することができる。これら右円偏光と左円偏光の物質内での屈折率の異方性によって光の速さが異なることで旋光現象は生じる。更に、可視光の波長によって比旋光度が異なることで旋光分散現象が出現する。そこで、本実験で得た光3原色の比旋光度を用いて右円偏光と左円偏光の位相差を計算し、右旋回と左旋回ベクトルの和を表計算ソフトで数値計算して Red・Green・Blue の各旋光度を求めて実験値と比較した。旋光分散の基本原理を検証するプロセス、つまり実験をおこない、データ解析と数値計算を実施することで、旋光分散の基礎を理解できるように努めた。

2. 測定システムと実験方法

測定システムを図1に示す。①光源部、②偏光素子とサンプル部、③光検出部、④パソコン制御・解析部、から構成されている。サンプルホルダー以外の素子は同一光学レール上に設置した。以下、各部を概説する。①ハロゲンランプ（約 100 W 出力、Techno Light KTX-100）からの白色光を、光ファイバケーブル経由でカメラレンズ（Nikon 社製 Nikkor $f=50$ mm, 1 : 1.2）へ導いた。色収差を排除するためにカメラレンズを用いたが、カメラレンズのフィルム側から光を当てることで平行な光束がサンプル内を通過するようにレンズを調整した。②の偏光素子とサンプル部は、光源部から光検出部に向かって、“偏光板”（ポーラライザー：Sigma Koki 社製 $\phi 30 \times 6$ mm t , $\lambda = 400 \sim 700$ nm 用）→ “サンプルホルダー” → “偏光板”（アナライザー：Sigma Koki 社製 $\phi 50 \times 6$ mm t , $\lambda = 400 \sim 700$ nm 用）→ “広域偏光解消板”（Sigma Koki 社製 $\phi 30 \times 2.5$ mm t , $\lambda = 400 \sim 700$ nm 用 $\lambda/4$ 雲母波長板）→ “集光凸レンズ”（ $\phi 20$ mm, 焦点距離 20 mm）からなる。光ファイバから照射されてカメラレンズを通過した白色光は、ポーラライザーで直線偏光した後、ポリマー製ウイ

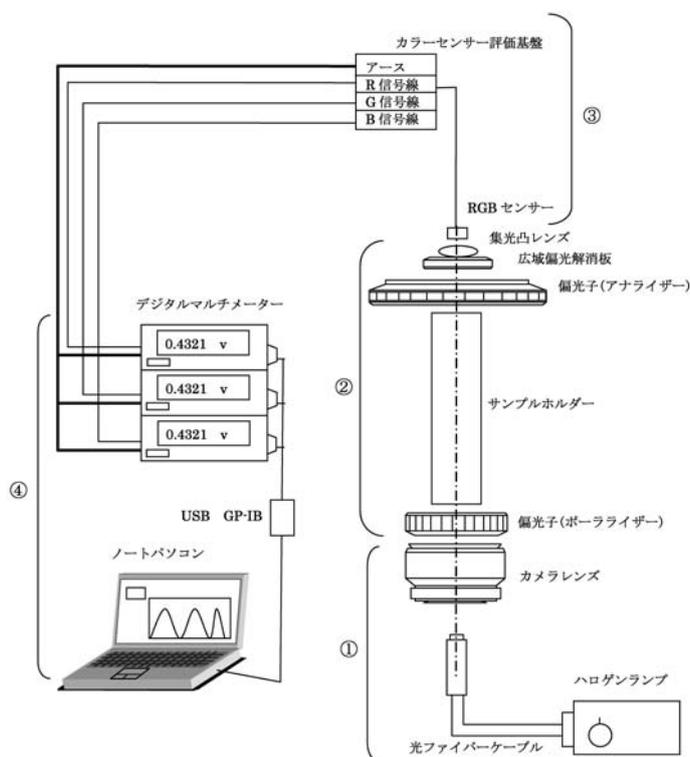


図1 旋光分散測定システム

- ①光源部、②偏光素子とサンプル部、③光検出部、
④パソコン制御・解析部、

ンドーを経てサンプルホルダー内をほぼ平行な光束で通過する。サンプルを外部の光から遮光するため、サンプルホルダーは塩化ビニル製の筒（外形 $\phi 32$ mm, 内径 $\phi 25$ mm, 長さ 200 mm）を使用した。サンプルを通過した光はアナライザー用偏光板から広域偏光解消板を経て、上記した凸レンズで光検出センサー部に集光させた。ここで、偏光解消板は直線偏光に因る光検出センサーの感度依存性を排除するために用いた。③光の検出には、RGB カラーセンサー [浜松ホトニクス(株) 型式 S7505-01] を使用した。センサーからの各色の光電流を、同軸ケーブルで接続したカラーセンサー評価基板 [浜松ホトニクス(株) 型式 C9331] で I-V 変換して、直流電圧で Red・Green・Blue の信号を出力した。S7505-01 RGB カラーセンサーは、Red, Green と Blue の各色にそれぞれ感度を高めた（シリコン受光素子のフォト・ダイオードチップ上に Red・Green・Blue のカラーフィルターを装着）3チャンネル Red・Green・Blue フォトダイオード⁴⁾ を1パッケージに収めたもので、製造会社のマニュアル⁵⁾ によると、Red・Green・Blue それぞれの最大感度波長は $\lambda_{Red} = 620$ nm（感度波長範囲：590 ~ 720 nm）、 $\lambda_{Green} = 540$ nm（同：480 ~ 600 nm）、 $\lambda_{Blue} = 460$ nm（同：400 ~ 540 nm）と設定されている。④カラーセンサー評価基盤からの信号（直流電圧）を、3台のデジタルマルチメーター（旧タケダ理研社製 SC-7401 と SC-7402, ADVANTEST 社製 TR6851）を用いて、

USB GP-IB [National Instruments 社製 GPIB-USB-HS] 経由でパソコンへ取り込んだ。パソコンへのデータ取り込みプログラムは、表計算ソフト [Microsoft (株) Excel] の VBA を用いて自作した。(イ) アナライザーの回転角度間隔 (degree), (ロ) アナライザーを(イ)の間隔で測定する回数, (ハ) 角度設定時間 (今回の測定では、手動でアナライザーを 10° 間隔で回転させ、これに要する時間を設定した), (ニ) 同一角度で平均するデータ数 (アナライザーの各角度で Red・Green・Blue のそれぞれの値を 10 回測定して平均値を記録するようにプログラムした), (ホ) 初期角度 (degree) の各指定をおこなって測定した。アナライザーは 0° ~ 410° の角度領域で測定しながらグラフ表示した。尚、データ解析にも同じ表計算ソフトを用いた。

シヨ糖溶液で実験をおこなう前に、次の補正をおこなった。(i) サンプルホルダーを空にした状態でポーラライザーとアナライザーの角度位置関係 (直交偏光状態) を確認した。(ii) アナライザー通過直後の白色光を視覚で確認した後、この白色光で RGB カラーセンサーの各色 (Red, Green と Blue) の光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具合を幾何学的に調整 (光軸調整) する色バランス補正をおこなった。各シヨ糖濃度の測定をおこなう前に、この色バランス補正を実施した。

光の色変化の記録に CCD カメラ (Logicool 社製 Qcam Pro 9000) を用いた。撮影時における光の輝度を弱めるため、吸収型 ND フィルター [Edmund 社製光学濃度 0.6 (透過率 25 ± 2.5 %) と 1.0 (透過率 10 ± 1 %)] を 2 枚使用した。Rosco 社製カラーフィルターブックの標準色 (例えば、赤色は #4690 CalColor 90 Red など) を用いて、旋光分散で生じた光の色の同定をおこなった。実験で使用した 10 wt.%, 20 wt.%, 30 wt.%, 40 wt.% と 50 wt.% のシヨ糖溶液は、和光純薬工業社製 Sucrose 特級を蒸留水に溶かしてつくった。シヨ糖溶液の溶質濃度 [溶液 100 cm³ 中の溶質の質量 (g)] は wt.% 密度と比重を用いて算出した。実験で用いたシヨ糖溶液温度は約 20 °C であった。

3. 実験データと解析

3-1. 白色 (ハロゲン) 光源を用いた旋光分散実験

ハロゲンランプを白色光源として直線偏光させた光を 40 wt.% シヨ糖溶液 (パス長: 10.2 cm) に入射させて、アナライザー通過後の光の色変化を CCD カメラで撮影した写真を図 2 に示す。^{脚注1} 図 2 (a) には Red・Green・Blue 各色の光強度変化を示している。アナライザー偏光板の回転角度 (以下、A 角度) を横軸に、また Red, Green と Blue の各値を赤三角、緑菱形と青丸で、Red・Green・Blue 各強度の和を黒丸で表示している。Red・Green・Blue 各色の強度は A 角度の増加に伴って、約 90° 間隔で極大値と極小値を繰返しているが、これらの極値の現れる角度は Red, Green と Blue の波長の違いでずれが生じている。Red・Green・Blue の各強度の極小値 (ゼロ) を示す A 角度がずれているため、アナライザー通過後の光が、完全に遮光されることはない。

A 角度に対する各色の強度比を図 2 (b) に示す。但し、Red 強度比 = Red 強度 / (Red・Green・Blue 各強度の和) とする。この強度比を示す図 2 (b) および図 2 (c) (d) の番号とカラー写真の番号を対応させている。

溶液なし	極大①	極小①	極大②	極小②	極大③
—	63.6	75.3	165.2	257.8	348.3

シヨ糖 wt.%	極大①	極小①	極大②	極小②	極大③
10%	67.5	84.1	174.0	264.1	355.1
20%	15.4	90.5	180.9	270.3	360.3
30%	0.8	96.5	186.4	276.7	366.9
40%	14.7	104.8	195.1	284.7	375.4
50%	22.4	112.2	201.6	291.6	381.2

シヨ糖 wt.%	極大①	極小①	極大②	極小②	極大③
10%	32.3	85.6	175.7	265.8	356.6
20%	0.2	94.0	184.0	274.1	364.0
30%	12.1	102.9	193.0	283.7	373.2
40%	25.0	114.3	203.4	294.0	383.6
50%	35.0	124.1	215.0	304.2	397.4

シヨ糖 wt.%	極大①	極小①	極大②	極小②	極大③
10%	55.4	88.8	178.7	269.0	359.1
20%	3.11	100.0	190.3	280.9	369.9
30%	22.0	111.5	202.3	291.7	381.9
40%	36.8	126.7	217.1	306.8	398.3
50%	50.9	140.2	231.0	320.1	428.3

旋光度の算出に用いたデータ
※単位はすべて degree

表 1 図 3 (a-1) から (a-6) に示すシヨ糖の各 wt.% 濃度の実験データから求めた極大値と極小値の値。求め方は本文参照。表中の極小①、極大②と極小②を用いて旋光度を算出した。(a) Red, (b) Green, (c) Blue の実験値。

脚注 1 CCD カメラによる撮影では、ポーラライザーを通過した光以外の外部光を遮光するため黒模造紙で覆ったガラス管製サンプルホルダーを使用した。

番号1 (A角度 = 40°) と8 (A角度 = 220°) は Red・Green・Blue の各強度比がほぼ同じ値を示す白色である。番号2 から7 の角度領域において, Red・Green・Blue の各強度比の変化に伴って, 水色→青→紫→赤→橙→黄に光の色が変化するのを観察した。

この 40° ~ 220° 領域での Red・Green・Blue 強度比変化は, (ア) A 角度を 40° から 110° 近傍まで増加させると, 図2 (b) に示すように光強度の大きさは Blue → Green → Red の順となる。この領域では A 角度が大きくなると, Blue の強度比は徐々に増加するが, Red の強度比は減少を示す。Green はほぼ一定比率を示しているが, 110° で極小値を示す。(イ) 強度ゼロを示す A 角度は, 例えば, $\theta_{Red} \cong 100^\circ$, $\theta_{Green} \cong 110^\circ$, $\theta_{Blue} \cong 130^\circ$ となり, この角度領域で Blue と Red の強度比が急激に変化 (例, 110° → 120° 領域で Blue 強度比は約 64% → 11%, Red 強度比は約 12% → 62%) している。(ウ) 120° から 200° 領域では Red → Green → Blue と光強度の大小関係が逆転する。A 角度の増加とともに, Red の強度比は徐々に減少するが, 一方 Blue の強度比は増加する。Green はほぼ一定比率を示す。

本測定システムで求めた Rosco 社製カラーフィルターの Red・Green・Blue 強度比と実験データを比較して, 旋光分散で生じる光の色の同定をおこなった。図2 (c) と (d) に対応関係を示す。CCDカメラで色調を正確に表現するのは難しいが, 色の目安として示した [図2 (c) に印刷したカラーも目安として掲載]。40 wt.% ショ糖溶液中で光の通過する長さ (パス長) を約 10.2 cm とした条件下では, 約 50° ~ 110° の A 角度領域で青色系を観測し, 100° ~ 120° の角度領域で青色系から赤色系へ急変した後, 約 120° ~ 200° の A 角度領域で赤色系を観察したが, 何れの角度領域でも緑色系の色は出現しなかった。ここで, 強度比で赤色が1番強い場合を赤色系の色としている。例えば, 図2 (b) ではアナライザー角度が約 0° ~ 20°, 約 120° ~ 200° および約 300° ~ 370° 領域が赤色系となる。白色光を光源として A 角度の変化で色が変わる旋光分散の特徴的な現象を, A 角度の変化に対する Red・Green・Blue 各色の強度比を測定し, 標準カラーと照合することで説明することができた。

ショ糖濃度を 10 wt.% から 50 wt.% に至るまでの 10 wt.% 間隔で変化させ, 次の①から④の手順で測定して各濃度での旋光度のデータを得た。

① サンプルホルダーにショ糖溶液を入れない状態で, ポーラライザーとアナライザーの角度位置関係を確認。

② ショ糖溶液をサンプルホルダーに入れて (パス長約 10.2 cm), A 角度を 0° から 410° までの 10° 間隔で測定し, Red, Green と Blue それぞれの光強度を測定。

③ 強度の極大値および極小値の角度を, 最小自乗法 (近似的に2次関数を適用) で解析。表1に各値を示す。2つの極小値とその間にある極大値のデータを旋光度算出に用いた。

④ 各濃度における極大値および極小値の角度を①のデータと比較して旋光度を決定。

ここで, Red・Green・Blue 各測定値 (V) から暗電流 (暗

R				
wt.% 濃度	ショ糖密度 ρ (g/cm ³) ⁸⁾	m (g) ^{※1}	m/100	旋光度 θ (degree)
10	1.038	10.38	0.1038	8.0
20	1.081	21.62	0.2162	14.5
30	1.127	33.81	0.3381	20.4
40	1.176	47.04	0.4704	28.7
50	1.230	61.50	0.6150	35.7
比旋光度 ^{※2} α_R				54.6

G				
wt.% 濃度	ショ糖密度 ρ (g/cm ³) ⁸⁾	m (g) ^{※1}	m/100	旋光度 θ (degree)
10	1.038	10.38	0.1038	9.6
20	1.081	21.62	0.2162	17.9
30	1.127	33.81	0.3381	27.1
40	1.176	47.04	0.4704	37.8
50	1.230	61.50	0.6150	48.3
比旋光度 ^{※2} α_G				76.2

B				
wt.% 濃度	ショ糖密度 ρ (g/cm ³) ⁸⁾	m (g) ^{※1}	m/100	旋光度 θ (degree)
10	1.038	10.38	0.1038	12.7
20	1.081	21.62	0.2162	24.3
30	1.127	33.81	0.3381	35.7
40	1.176	47.04	0.4704	50.7
50	1.230	61.50	0.6150	64.3
比旋光度 ^{※2} α_B				101.5

※1 ショ糖溶液体積100cm³中に含有するショ糖の質量 (g)

※2 図4参照

表2 各パラメータの値⁸⁾と表1から求めた旋光度と比旋光度

(a) Red, (b) Green, (c) Blue の実験値。R = Red, G = Green, B = Blue,

$\alpha_R = \alpha_{Red}$, $\alpha_G = \alpha_{Green}$, $\alpha_B = \alpha_{Blue}$ である。

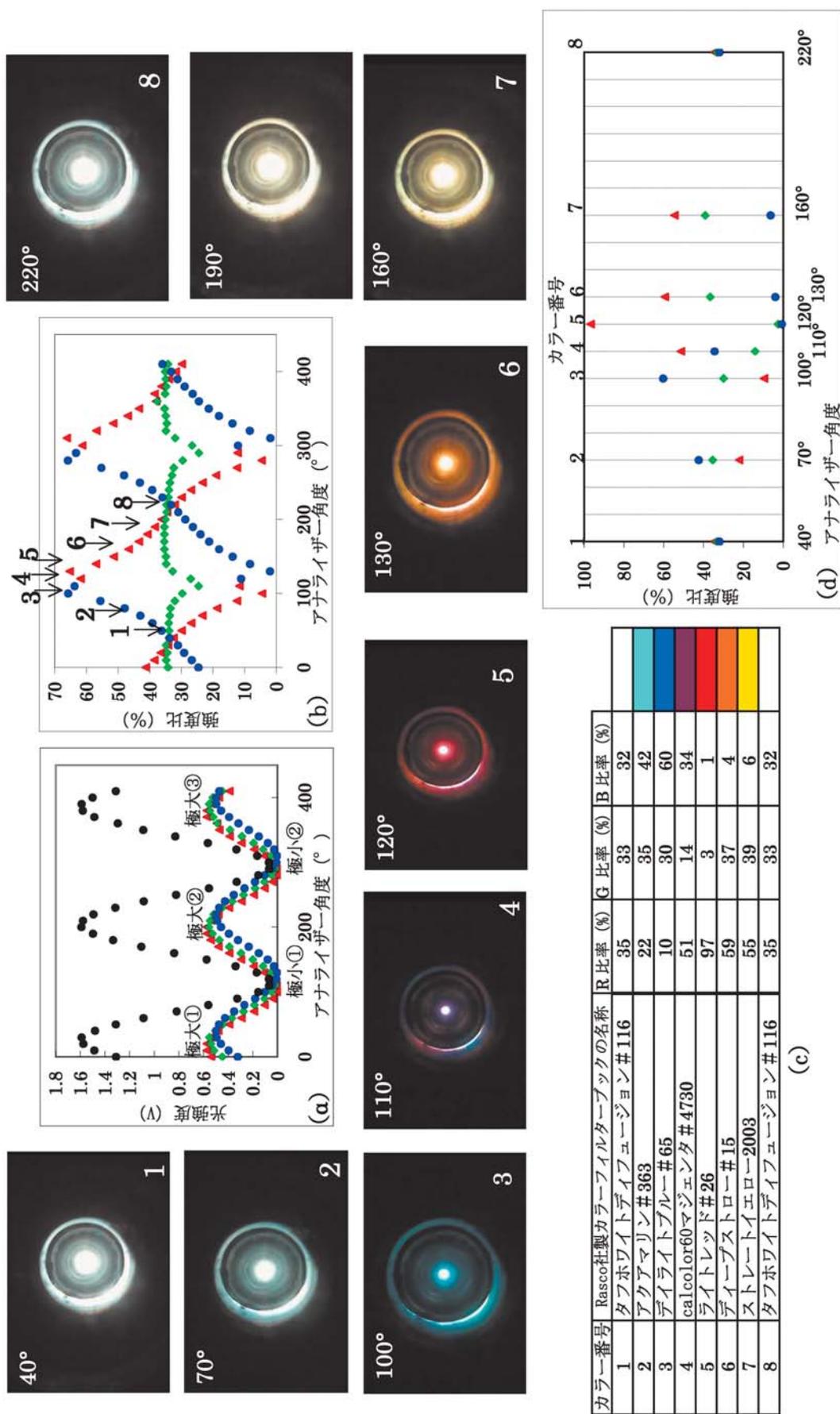


図2 写真は、“白色光源” → “ポローラライザー” → “シヨ糖 40 wt.%溶液 (パス長 10.2 cm)” → “アナライザー” を経て観測できた光の色の変化をCCDカメラで撮影。写真中の角度はアナライザー回転角度を示し、数字は図(b)、表(c)、図(d)の番号と対応している。

(a) Red・Green・Blue の各強度 vs. アナライザー回転角度

但し、赤三角：Red 強度、緑菱形：Green 強度、青丸：Blue 強度、黒丸：Red・Green・Blue の強度の和である

(b) Red・Green・Blue の各強度比 vs. アナライザー回転角度

(c) Rasco 社製標準カラーフィルムター各色の Red・Green・Blue 強度比。R = Red, G = Green, B = Blue を示す。

(d) 表(c)をグラフ化

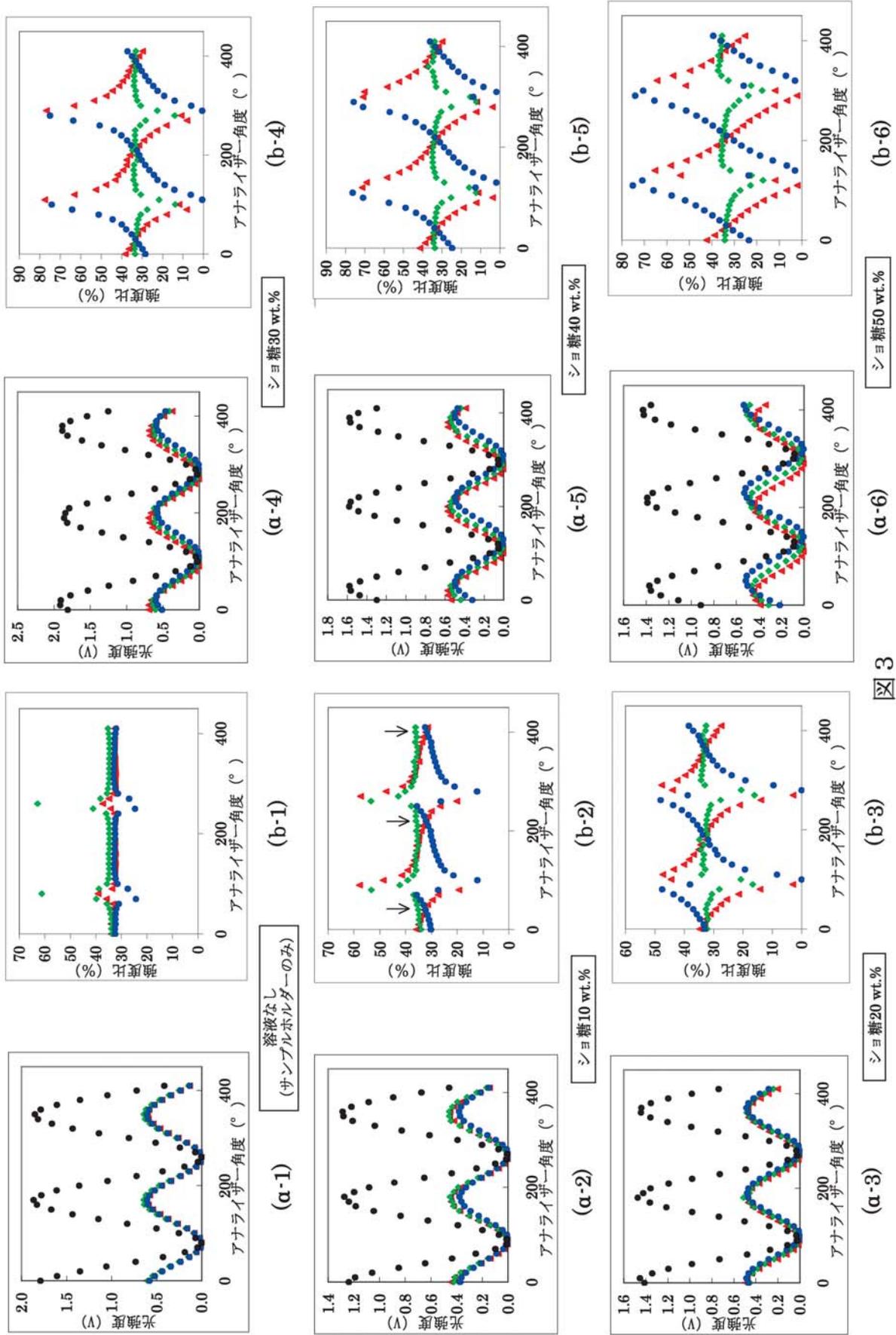


図3 シヨ糖溶液10 wt.%から50 wt.%濃度における Red・Green・Blue の各強度と各強度比の変化 (実験条件は本文参照)

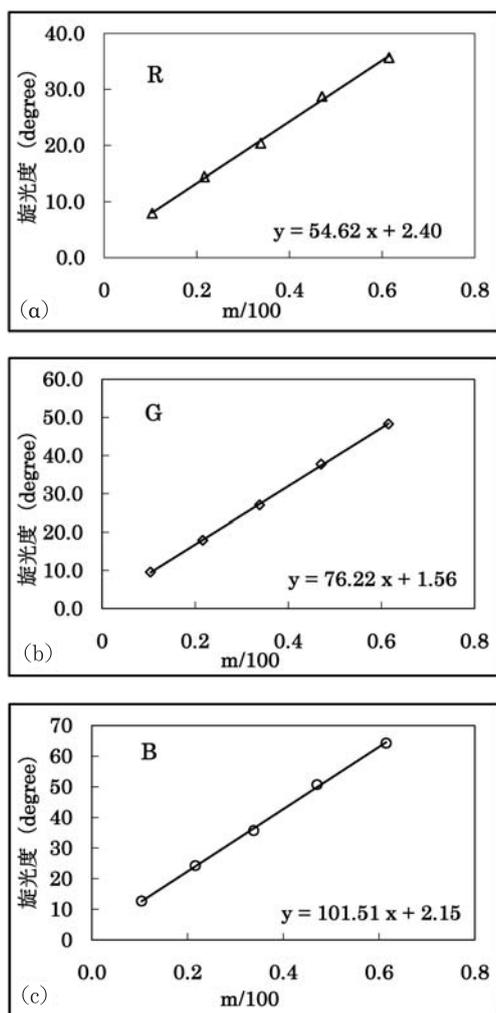


図4 旋光度 vs. $m/100$ のグラフと1次関数の最小自乗法でもとめた数式
(a) Red, (b) Green, (c) Blue における数式の傾きの値で比旋光度を算出した

糖の質量を m (g), 溶質濃度を $m/100$ (g/cm^3 , 分母は溶液体積) とする。比旋光度 α は, 溶質濃度 $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ で長さ 1 dm の液柱に対する旋光度で示せる。本実験では, パスの長さを一定値 (1.02 dm) として測定しているので, (1)式より, θ を縦軸に, $m/100$ を横軸としたグラフにおける1次関数の傾きの値を比旋光度 α として解析した。1次関数の最小自乗法で処理した結果を図4 (a)(b)(c)に示す。シヨ糖溶液比旋光度 (約 20°C) の α_{Red} , α_{Green} , α_{Blue} の各値を表3に示す。赤色比旋光度: $\alpha_{Red} = 54.6$, 緑色比旋光度: $\alpha_{Green} = 76.2$, 青色比旋光度: $\alpha_{Blue} = 101.5$ の各値を得た。何れの波長の比旋光度も, 過去の公表値^{(6), (7)}よりもそれぞれ -8.4% , -4.8% , -10.8% 程度の低い値となった。^{脚注2}

3-2. 旋光分散の数値計算

図5に示すように, 直線偏光は右円偏光と左円偏光のベクトル和として考えることができる。ポーライザー通過直後の初期位置を $x-y$ 平面における x 軸の正方向にとる。例えば, この直線偏光が水中を進む場合, 右旋回角 θ_0 と左旋回角 θ_0 でそれぞれの円偏光が進行したものとすると, \vec{OB} ベクトルと \vec{OA} ベクトル

	R (Red)	G (Green)	B (Blue)
旋光度 θ_{exp} (degree : 実験値)	28.7	37.8	50.7
比旋光度 (degree·cm ² /g : 実験値)	54.6	76.2	101.5
数値計算での傾きの値 ^{※3}	0.492	0.742	1.138
数値計算での旋光度 θ_{calc} (degree) ^{※3}	26.2	36.6	48.7

※3 図 6 (b), (c), (d) 参照

表3 シヨ糖濃度 = 40 wt.%, 同溶液パス長 = 10.2 cm, $\alpha_{Red} = 54.6$, $\alpha_{Green} = 76.2$, $\alpha_{Blue} = 101.5$ (各比旋光度は表2参照), 旋回角度間隔 = 1° の条件で数値計算した旋光度 θ_{calc} と旋光度の実験値 θ_{exp} を示す。数値計算での値は絶対値で表示している。

室で, RGB カラーセンサーに光を照射しないときの各 Red・Green・Blue の測定値) による値を差し引いている。

A 角度に対応した Red・Green・Blue 光強度 (V) と Red・Green・Blue 強度比 (%) を図3に示す。実験方法の補正(ii)に記載した視覚に因る Red・Green・Blue 色バランス補正をおこなうときの手動による光軸調整の微妙な差により, 各濃度における Red・Green・Blue 最大値にバラツキが生じている。しかし, このバラツキは各 Red・Green・Blue 強度 vs. A 角度曲線の極大(小) 値を示す角度には関係しないので測定に問題は生じない。10 wt.% シヨ糖溶液ではアナライザーを通過して生じる光の色が淡いため, 色の変化がわかりにくく視覚による色バランス補正が充分でなかったことがわかる [図3 (b-2) の矢印]。このため, 他の wt.% 濃度のデータと比較して, 10 wt.% 濃度の Green 強度比が異なる傾向を示している。

シヨ糖 wt.% 濃度, 或いはシヨ糖溶液の体積 100 cm^3 に含有するシヨ糖の質量 (g) に対応する旋光度を表2 (a)(b)(c)に示す。ここで, 旋光度の定義^{(1), (3)} は,

$$\theta = \alpha \cdot \frac{l}{10} \cdot \frac{m}{100} \quad (1)$$

で示せる。旋光度を θ (degree), 比旋光度を α ($\text{deg} \cdot \text{cm}^2/\text{g}$), パスの長さ l (cm) を decimeter (dm) で表した数を $l/10$, シヨ

脚注2 単色光を光源として測定した波長依存の比旋光度実験の値, および Drude 単項分散式⁽³⁾ $[\alpha] = \frac{21.648}{\lambda^2 - 0.0213}$ に波長を代入して得た値 $\alpha_{Red} = 59.6$, $\alpha_{Green} = 80.1$, $\alpha_{Blue} = 113.8$ と比較した。

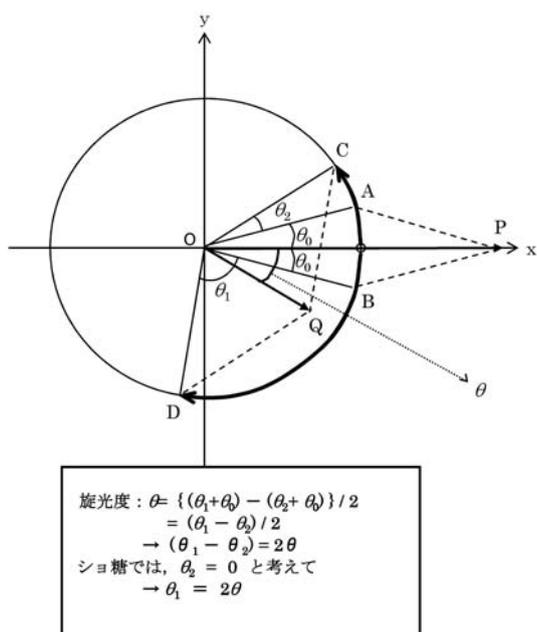


図5 左円偏光と右円偏光の位相のずれと旋光度との幾何学的関係図

円偏光と右円偏光の半径をとともに1（左・右旋光の違いで吸収に差は生じない）とした。ここで、ショ糖溶液は右旋光性であることが知られているので $\theta_2 = 0$ とする。ショ糖溶液を抜け出るときの右円偏光と左円偏光の位相のずれを右円偏光に加えると、右円偏光と左円偏光の位相のずれは(2)式より、 $\theta_1 = 2 \cdot \alpha_{Blue} ml/100$ で示せる。但し、 m : ショ糖溶液 100 cm^3 に含有するショ糖のグラム数、 l : パス長 (dm)。結果を図6 (d)に示す。同じように、本実験で測定したRed比旋光度 α_{Red} とGreen比旋光度 α_{Green} を用いて数値計算した結果を図6 (b)と(c)に示す。図6 (b)(c)(d)において、最小自乗法による1次関数の傾きを求めることで、旋光度（直線偏光とx軸との傾き角）を算出できる。結果を表3に示す。

4. まとめ

旋光分散現象を定量的に検証するため、RGBカラーセンサーを用いた測定システムを構築した。視覚に因る色バランス補正をおこなって、白色光源を用いた旋光分散実験を実施した。このシステムを用いて、[1] 白色光源によるアナライザー通過後の光の色変化を解析した。[2] 光の3原色であるRed・Green・Blueの旋光度および比旋光度を実験データ解析から求めた。[3] 実験で求めたRed・Green・Blueの各比旋光度を用いて、ある条件下におけるRed・Green・Blueの旋光度を数値計算で算出した。しかし、本測定システムで測定したRed・Green・Blueの各比旋光度を過去のデータと比較すると、5~10%程度の差が生じた。比較に用いたデータは、入射光が400 nmから670 nm波長範囲にある単色光を光源として比旋光度の波長依存実験をおこなったものであり、またDrudeの式より算出したものである。例えば、Red比旋光度の値($\alpha_{Red} = 59.6$)は $\lambda_{Red} = 620 \text{ nm}$ の単色光を光源として測定しているのに対して、今回の実験は白色光を光源としているため、ポーライザーを通過する光は全ての可視光の光が直線偏光されている。また、RGBカラーセンサーも単一波長のみを検出しているのではなく、各色共にある波長域（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）の光を検出しているため、これに因る誤差も加算されると考えられる。つまり、入射光およびセンサーで測定する光が何れも単色光でおこなう実験よりも光の波長がある幅を持っている測定であったことが誤差の主な原因と考えている。

これらの理由に加えて、今回の実験は、表計算ソフトで機器制御やデータ収集をパソコンでおこなったものの、手動でアナライザーを回転させたため、回転角度の測定間隔が 10° とおおまかな測定となってしまった。これも誤差発生の原因と考えている。アナライザー回転角度を 10° 刻みで $0^\circ \sim 410^\circ$ の1回の測定に要する時間は約20分で光軸調整と全ての測定には約3時間の時間を必要とした。アナライザー回転角度間隔

の和として直線偏光を \overrightarrow{OP} ベクトルで示すことができる。しかし、旋光性物質中では右円偏光と左円偏光での光の屈折率が異なるので、旋光性物質中におけるそれぞれの光速に差が生じ、右円偏光と左円偏光に位相差が生まれる。この結果、ポーライザー入射時の直線偏光と比べて振動面が回転して観測されることとなる。ここで、x軸正方向と直線偏光のなす角度を θ とする。ポーライザーを通過して右円偏光の回転角がアナライザーの位置で $\theta_0 + \theta_1$ (\overrightarrow{OD} ベクトル)となったとき、左円偏光の回転角が同じ位置で $\theta_0 + \theta_2$ (\overrightarrow{OC} ベクトル)であったとする(図5)。両者のベクトル和を \overrightarrow{OQ} とすると、実験で測定できる旋光度は

$$\theta = (\theta_1 - \theta_2) / 2 \quad (2)$$

で示せる。

以下、例として、今回の実験で求めたBlueの比旋光度 α_{Blue} の値を用いて、アナライザーの位置で観測される旋光度を表計算ソフトで数値計算した結果を図6に示す。図5において $\theta_0 = 0^\circ$ として、ポーライザー通過直後の直線偏光を図6 (a)の状態とする。計算条件をショ糖濃度 = 40 wt.%, ショ糖溶液のパス長 = 10.2 cm, Blue比旋光度 $\alpha_{Blue} = 101.5$ (本測定システムでの測定した値), 旋回角度間隔 = 1° , 左

を細かく設定（実験精度をあげるため、 1° 以下の角度間隔測定は必要）するため、また迅速な測定を実現するため、例えば、ステッピングモーターを組み込んだシステムの全自動化を図って迅速な測定をおこなう改善は、予算を確保できれば可能である。しかし、本報告の目的が、精度のよい測定システムを組み上げて比旋光度の値を正確に測定することにあるのではなく、(1)RGBカラーセンサーを用いた測定システムを製作すること、(2)旋光と旋光分散の現象をデータ解析や数値計算を実施しながら平易に説明することにあつたので、精度をあげるための実験には取組まなかった。尚、シヨ糖溶液温度は約 20°C で、サンプルの不純物などの評価はおこなっていない。

5. 参考文献

- 1) 例えば、橘芳實，武居文雄 著：「物理学実験」6訂 p190-193 三省堂
- 2) 例えば，
大津元一，田所利康 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
Max Born & Emil Wolf 著（草川徹 訳）：「光学の原理 I」第7版 東海大学出版社
- 3) 例えば，
日本化学会 編：「新実験化学講座4 基礎技術3」p419-465 丸善株式会社
- 4) 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」
- 5) ネット上で公開：http://jp.hamamatsu.com/products/sensor-ssd/pd146/4038/S9702/index_ja.html
- 6) T. M. Lowry, "Optical Rotatory Power", Longmans Green and Co. (1935)
- 7) D. F. DeTar, Anal. Chem, 41, (1969) 1406
- 8) Isocotables 8thed. : a handbook of data for biological and physical scientists, Lincoln, Ned. Isco, 1982

附記：本論文は紀要論文（福岡教育大学紀要第61号第3分冊 p27-36, 2012年2月）を査読により一部修正し、新たに掲載されるものである。