

技術研修：iPod
touchを活用した学生実験の画像化による指導方法の
検討と光応用技術

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-06-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 芦澤, 雅人, 増田, 健二 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00025276

技術研修：iPod touch を活用した学生実験の 画像化による指導方法の検討と光応用技術

○芦澤雅人、増田健二
静岡大学 技術部 プロジェクト安全支援部門

1. はじめに

本学工学部2年生を対象とした物理実験において、学生が受講する8テーマの中で3テーマが光学実験であり、全体を占める割合が高く、いずれも暗室実験であり、学生が目視によって測定するため、目への負担も大きい。そこで今回は「iPod touch」を用いて、望遠鏡や顕微鏡内を撮影し、画像データをImageJというフリーソフトによる解析方法を提案する。また、光応用技術として学生実験でも使用できるような簡易型蛍光顕微鏡を構築し、ヒノキ花粉の蛍光画像を撮影したので合わせて紹介する。

2. 工学部物理実験の紹介と本研修について

2.1 物理実験紹介

本学で行っている物理実験は、工学部2年生を対象にして、週3日（月：M科、水：E科・C科、金：D科・S科）500名以上の学生が受講している。図1に物理実験予定表（月：M科）を示す。教員・技術職員・TAが担当する種目が決められている。各クラス（曜日）をA、Bの2班に分けて、A班は前期の前半で物理実験、後半で化学実験を行っている。B班はその逆となる。物理・化学実験として、物理実験7種目、化学実験7種目、計14種目を受講する。

図2に全種目終了後のアンケート結果を示す。今回対象となった「分光器スペクトル¹⁾」と「レーザー光回折と干渉³⁾」の実験であり、内容についてはどちらも75%程度の学生が面白い、理解度については95%以上の学生が理解できたと回答している。

2.2 研修について

実施日時：2018年9月28日(木)10:00~16:00

実施場所：工学部8号館2階第4物理実験室

目的：iPod touchと望遠鏡や顕微鏡を組み合わせ、光学実験を画像化することによる高精度な測定方法を担当する技術職員に提案し、今後の指導方法やテキストの改訂に活用する。

研修項目：

- ① iPod touchと分光器を用いたスペクトル測定
- ② iPod touchを用いたレーザー光の干渉回折実験
- ③ 簡易型蛍光顕微鏡による花粉の蛍光の測定

担当	藤間	島田	栗馬場	田村	太田	栗間	岡部	藤間	芦澤	栗瀬戸	田村	本山	芦澤	岡部
実験種目	落下運動 (A)	波と振動 (A)	分光器 (A)	磁束密度 (A)	レーザー光 (A)	S電子の比電荷 (A)	回伝導 (A)	落下運動 (B)	波と振動 (B)	分光器 (B)	磁束密度 (B)	レーザー光 (B)	S種の計測 (B)	回伝導 (B)
実施日	1	3	4	2	4	4	1	2	3	4	2	4	3	1
①	1	2	3	4	5	6	7	7						
②		1	2	3	4	5	6	7						
③			1	2	3	4	5	6	7					
④				1	2	3	4	5	6	7				
⑤					1	2	3	4	5	6	7			
⑥	7							1	2	3	4	5	6	7
⑦	6	7						2	1	2	3	4	5	6
⑧	5	6	7					1	2	3	4	5	6	7

最大受講生数：12名×8班=96名
①と⑧班、②と⑦班、③と⑥班、④と⑤班が同じ種目を行います。

物理実験日程表(H29年度月曜日)

A組

4/10 ガイダンス	5/1 実験 3	5/22 実験 6
4/17 実験 1	5/8 実験 4	5/29 実験 7
4/24 実験 2	5/15 実験 5	7/20(木) 欠席者補充実験

B組

4/10 ガイダンス	6/19 実験 3	7/10 実験 6
6/5 実験 1	6/26 実験 4	7/24 実験 7
6/12 実験 2	7/3 実験 5	7/20(木) 欠席者補充実験

図1 物理実験予定表

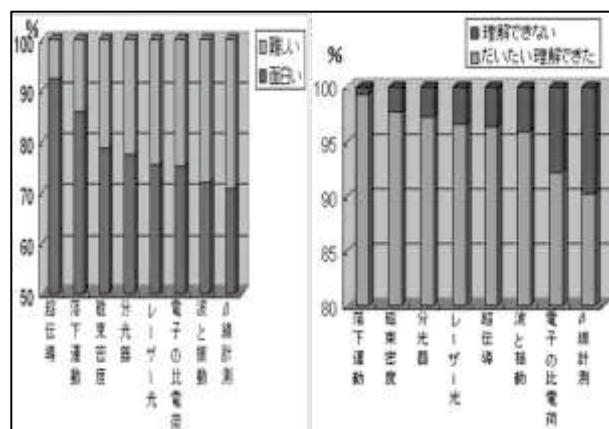


図2 アンケート結果

3. 測定と解析方法

3.1 iPod touch と分光器を用いたスペクトル測定

iPod touch を用いた測定と解析方法は、鈴木らの文献⁹⁾を参考にした。図3にプリズム分光器の概略図を示す。学生実験で使用している装置を用いスマートフォン取付アダプターを用いて iPod touch を望遠鏡や顕微鏡の接眼部分に取り付けて測定を行った。図4のスマートフォン取付アダプターを用いて、望遠鏡や顕微鏡の接眼部に iPod touch を取り付けて干渉縞やスペクトル、蛍光画像の撮影を行った。このアダプターは図4に示す適合条件を満たしていれば取り付けが可能であり、スマートフォン等のIT端末は多くの学生が所持しているため、手軽にできる。装置改良の観点からも有効と考えられる。

解析には ImageJ というフリーソフトを用いた。ImageJ は、アメリカ国立衛生研究所(NIH)で開発された、科学研究での画像処理の際に広く用いられるオープンソースな画像処理ソフトで、画像内のピクセルの数値を元に計算処理を行うことができる。

分光器によるスペクトルの測定では、既知(He,Hg)のスペクトル線の波長を撮影したスペクトルの画像に ImageJ の機能¹⁰⁾であるプロファイルプロット処理を行い、ピクセル数と波長の関係から校正曲線(図5)を作成した。Sma4Win というグラフ作成ソフトで最小二乗法により3次の曲線で近似した。基準線とスペクトルのピクセル数を測定し、近似式に代入することで、未知のスペクトルの波長を求めることができる。校正曲線作成にはヘリウムと水銀のスペクトルを使用した。図6に、ヘリウムのスペクトル画像と解析時に用いたグラフを示す。

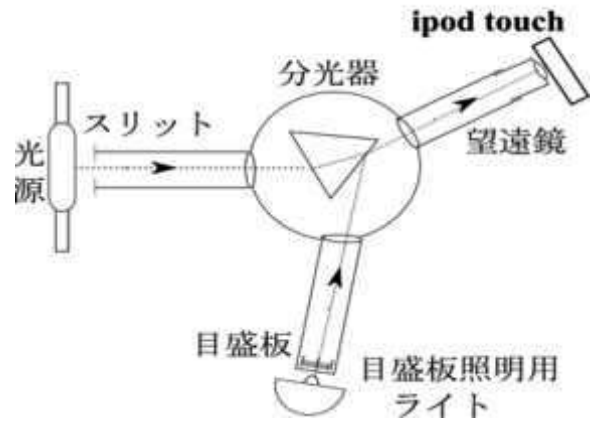


図3 プリズム分光器の概略図



対応サイズ	幅：58~110mm 高さ：108~200mm 厚さ：15mm以下
レンズ位置	左端：10~40mm 右端：23~70mm 下端：81~158mm 上端：6~45mm
取付接眼部	Φ19~53mm 高さ：20mm以上の円筒状
耐荷重	300g以下

図4 スマートフォン取付アダプター

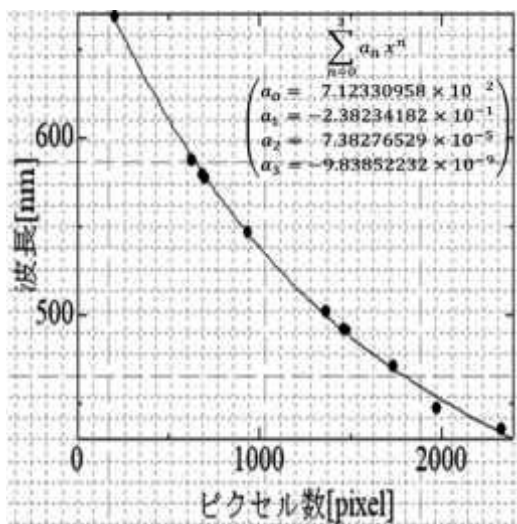


図5 校正曲線

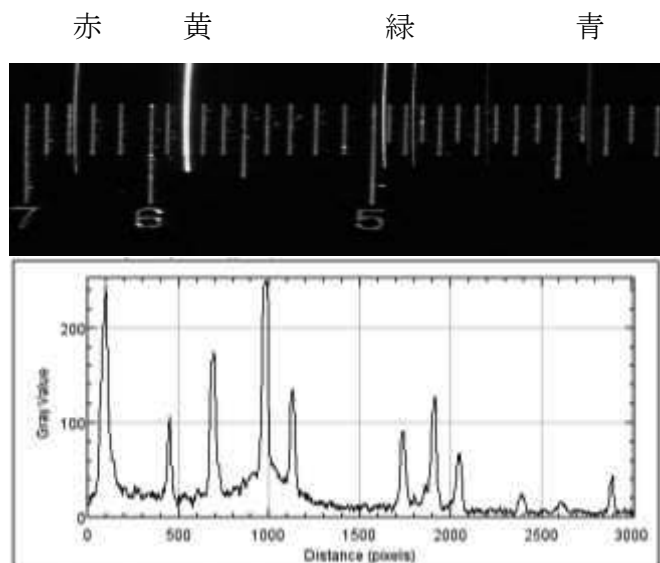


図6 ヘリウムのスペクトルと強度分布

3.2 iPod touch を用いたレーザー光の干渉回折実験

図 7 に研修の風景、図 8 に研修用レーザー光の干渉・回折実験装置の概略図を示す。物理実験で使用しているレーザー光の装置を用い、スクリーン上に干渉・回折縞を投影させる。投影縞は、望遠鏡(×4)の接眼部分に取り付けた iPod-touch を用いて撮影する。

解析方法としては、まず解析したい箇所に直線を引く。ImageJ のプロファイルプロットという機能を使って、横軸に直線の始点からのピクセル数、縦軸にピクセル輝度のグラフを表示し、ピーク位置のピクセル数から解析を行った。

図 9 のように、実距離と画像ピクセル数の関係から解像度(換算値)を算出する。この場合は、100mm で 2461pixel であるので、単位 pixel 当たりの長さは、0.04063mm/pixel となる。干渉縞や回折縞上に直線を引き、測定した明線や暗線の間隔のピクセル数と求めた解像度から、He-Ne レーザー光の波長やスリット幅等を求める。複スリット・多数スリット(対物マイクロメーター)・単スリット・円孔での4つの測定項目があるが、いずれも同様の方法で解析を行った。

4. 測定結果

4.1 レーザー光の干渉と回折

4.1.1 複スリットによる干渉

まず解像度を求める。100mm=2461pixel なので解像度は 0.04063mm/pixel であるので、1pixel 当たり約 0.04mm の精度で読み取ることができる。波長を求める際は(1)式を用いた。

$$\lambda = \frac{d\bar{x}}{L} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{0.103 \times 10^{-3} \times 7.808 \times 10^{-3}}{1258 \times 10^{-3}} = 639.3[\text{nm}]$$

図 10 のように、5 次分の暗線間隔のピクセル数を読み取る。表 1 に測定結果を示す。暗線間隔の平均ピクセル数は 960.5pixel となり、換算値をかけて実距離にすると、平均の暗線間隔 $\bar{x}=7.808\text{mm}$ となった。さらに、スリット幅は $d=0.103\text{mm}$ 、スリットとスクリーン間の距離は $L=1258\text{mm}$ であるので、これらを代入して波長を求めると $\lambda=639.3\text{nm}$ となり、定数値 632.8nm と比べ、相対誤差が 1%程度の妥当な値となった。



図 7 研修の風景

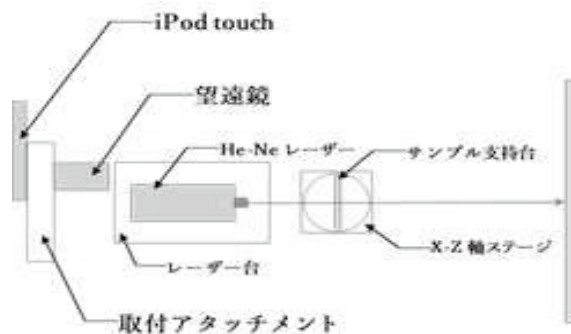


図 8 研修用レーザー光装置の概略図

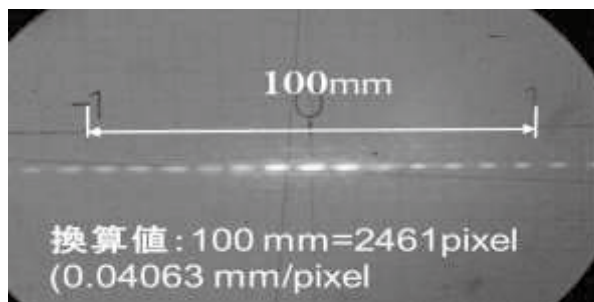


図 9 複スリットによる干渉縞(換算値の算出)

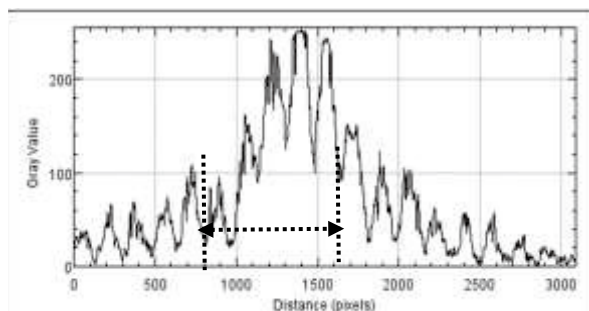


図 10 複スリットによる干渉強度分布

表 1 暗線の間隔の測定値

次数	次数	5 次分暗線間隔 5x [pixel]	暗線間隔 x [mm]
-5	1	996.0	7.850
-4	2	954.0	7.752
-3	3	955.0	7.776
-2	4	978.0	7.948
-1	5	949.5	7.716

4.1.2 多数スリットによる干渉

多数スリット（対物マイクロメーター）の場合は、3次の明線までを測定するが、望遠鏡を用いると画面内に明線が収まりきらなかったため、iPod-touchで直接干渉縞を撮影した。そのため解像度は、望遠鏡を使った場合に比べて1/4程度になっている(解像度は0.1806mm/pixel)。

次の(2)式を用いて、1次から3次まで各次数での波長を求める。

$$\lambda_m = \frac{d}{m} \sin \theta_m \approx \frac{d}{m} \frac{X_m}{L} \quad (2)$$

$$X_{0m} = \frac{1}{2} (X_m - X_{-m}) \quad (3)$$

(3)式の $X_m - X_{-m}$ は各次数の明線間の距離、 d はスリット幅 $d=0.103\text{mm}$ 、 $L=1258\text{mm}$ 、 m は次数である。各次数について、 X_{0m} と波長はそれぞれ表2のようになる。1次と2次の測定値は、定数值(632.8nm)と比べ相対誤差が、1次で0.8%、2次で1.1%、3次では2.1%と次数が高くなるごとに大きくなっている。これは、実距離 X_{0m} が大きくなっていることが要因であり、レンズの歪みによって外枠が膨らんでいるような糸巻型の歪曲収差が影響していると考えられる。

4.1.3 単スリットによる回折

レーザー光の回折に使用している単スリットの幅(75 μm)を求める。解像度の測定は0.0452mm/pixelだった。 X_{0m}/m は1次から6次までの暗線の間隔を測定し、横軸 m 、縦軸 X_{0m} をプロットしたグラフの傾きを最小二乗法によって求めた(図15)。

スリット幅 d は、(4)式によって算出する。

$$d = \frac{m\lambda L}{X_{0m}} \quad (4)$$

$$d = \frac{632.8 \times 10^{-9} \times 1258 \times 10^{-3}}{10.72} = 7.426 \times 10^{-8} [\text{m}]$$

よって「スリット幅 d の測定値は $d=74.28\mu\text{m}$ となり($X_{0m}/m=10.72$ 、 $\lambda=632.8\text{nm}$ 、 $L=1258\text{mm}$)、メーカーの表示値である75 μm と比べてもほぼ一致する値が得られた。

表3 X_{0m} の測定結果

次数	$X_m - X_{-m}$ [pixel]	X_{0m} [pixel]	X_{0m} [mm]
1	469.5	234.8	10.65
2	939.0	469.5	21.25
3	1413.0	706.5	32.00
4	1853.5	926.5	41.95
5	2339.0	1169.5	52.95
6	2869.0	1434.5	64.95

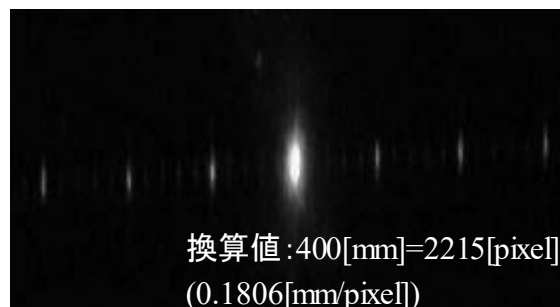


図11 多数スリットによる回折

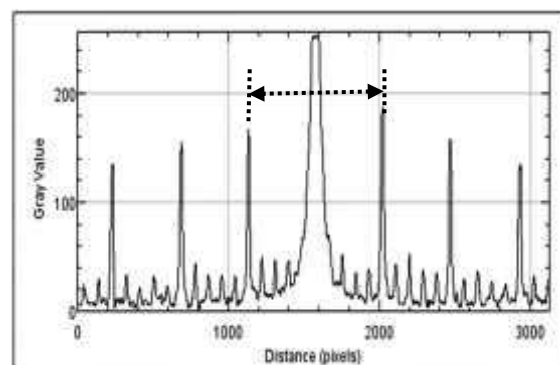


図12 多数スリットによる回折強度分布

表2 次数毎の X_{0m} と波長

次数	X_{0m} のピクセル数 [pixel]	X_{0m} の実距離 [mm]	波長 [nm]
1	444	80.19	637.9
2	891.8	161.1	639.9
3	1350.3	243.9	646.0

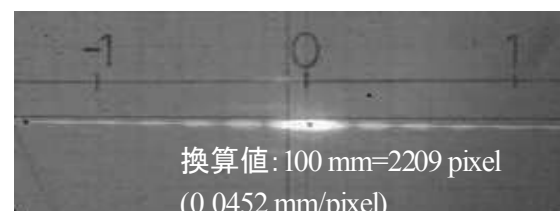


図13 単スリットによる回折縞

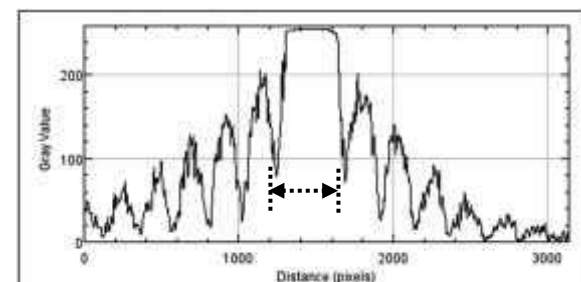


図14 単スリットによる回折強度分布

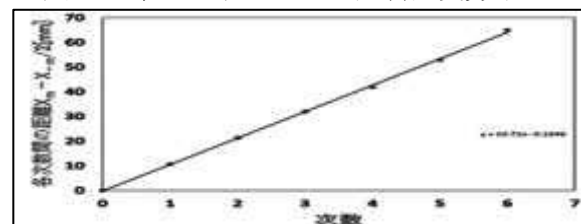


図15 X_{0m} と m の関係

4.1.4 円孔による回折

最後に $\phi 0.1\text{mm}$ の円孔による回折縞から使用している円孔の直径を求めた。解像度は 0.0323mm/pixel だった。円孔の直径 d は、(5)式によって算出する。

$$\frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta = \frac{\pi d}{\lambda} \frac{r}{\sqrt{L^2 + r^2}} \approx \frac{\pi dr}{\lambda L} \approx 1.22 \pi$$

$$d = \frac{1.22 \cdot \lambda L}{r} \quad (5)$$

($\lambda = 632.8[\text{nm}]$, $L = 1258[\text{mm}]$)

r は回折縞の暗輪の半径である。垂直方向と水平方向の暗輪の直径を測定し、円孔の直径をそれぞれ求めた。水平方向の暗輪の直径 $2r$ は $598.5\text{pixel} = 19.33\text{mm}$ であるので、円孔の直径は 0.1005mm 。同様にして垂直方向では円孔の直径は 0.1005mm となった。

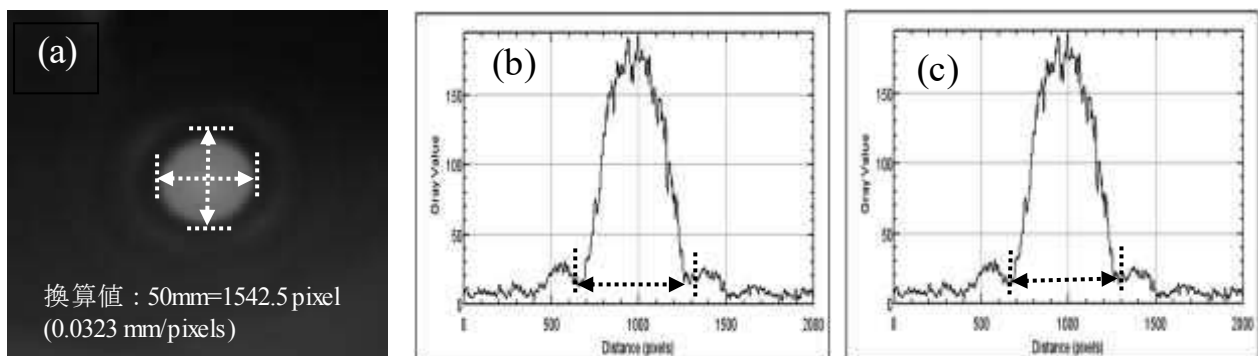
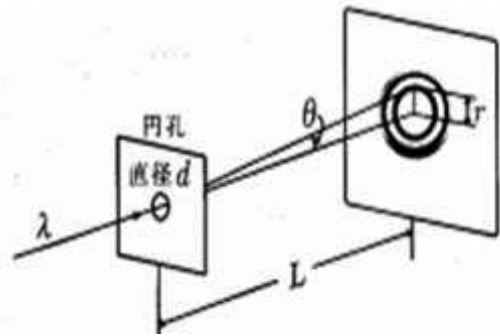


図 16 (a) 円孔による回折縞、(b) 水平方向の強度分布、(c) 垂直方向の強度分布

水平方向

暗輪の直径 $2r$ [pixel]	暗輪の直径 $2r$ [mm]	円孔の直径 d [mm]
598.5	19.33	0.1005

垂直方向

暗輪の直径 $2r$ [pixel]	暗輪の直径 $2r$ [mm]	円孔の直径 d [mm]
598.0	19.32	0.1005

4.2 花粉の蛍光測定

試料としてヒノキの花粉を用いた。図 17 に学生実験用の簡易型蛍光顕微鏡の写真を示す。グリーンレーザーポインターを試料に照射して、反射光画像とダイクロイックミラー (緑) で緑の光を反射し、微弱な蛍光画像を顕微鏡($\times 40$)取得する。図 18 に、iPod touch で撮影したヒノキの蛍光写真を示す。画像からヒノキの花粉の特徴である角ばった形と黄色の蛍光が視認できる。

図 19 に CCD 分光器による蛍光スペクトルの測定装置の概略図を示す。測定したヒノキの蛍光スペクトルであるが、黄色の波長領域にピークがみられるので、iPod touch による画像撮影でも、ヒノキ花粉の黄色蛍光が取得できた (図 20)。蛍光画像では一部緑色がかっている部分があるが、この原因としては図 21 のように、波長 532.8nm のグリーンレーザーの反射光が $530\sim 540\text{nm}$ の狭帯域において透過しており、この



図 17 学生実験用簡易型蛍光顕微鏡

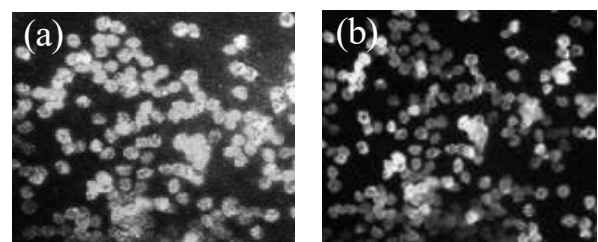


図 18 ヒノキ花粉 (a) 反射光 (b) 蛍光

部分の緑色の透過光が今回撮影した蛍光画像に現れたと考えられる。

5. まとめと今後の展望

レーザー光の干渉・回折では、どの測定項目も 1pixel 当たり 0.04mm または 0.18mm 程の精度での測定が行えた。学生実験では 0.5mm 精度の測定であるため、今回提案した方法では十分に高精度な測定が行える環境であった。また学生実験では室内が暗い状態でスクリーンに張り付けた紙に縞の位置を記録するため、測定のしやすさの観点から考えても優位な方法である。しかし、解析を行う際、画像によっては強度分布のグラフでも縞の明暗の境界が判別しづらく、どの部分をピークとすればよいか迷うことがある等の改善点も挙げられる。

物理実験の技術職員担当者の研修として、「レーザー光の回折と干渉」の物理実験のすべての測定を iPod touch 活用した方法で高精度に測定できた。取得した画像データおよびグラフもとにテキストを改訂し、実際の指導に活用していく。

花粉の蛍光測定では、読み取り顕微鏡 (×40 : Φ 3.5mm) とグリーンレーザーポインターで構成される学生実験でも使用できるような簡易型の蛍光顕微鏡を構築し、ヒノキ花粉の蛍光画像を取得した。高価な装置やカメラ等を用いらずに安価な IT 端末を用いた今回の方法は、各種蛍光画像のほか、これからの学生実験等の教材開発の有効な手法として活用したい。

6. 謝辞

本研修に参加してくださった本山英明氏、太田諭之氏、清水ひかる氏、黒川正明氏、および研修の企画・準備・当日の研修の進行等を分担してくださった増田健二氏には厚く御礼申し上げる。

参考文献

- [1] 静岡大学工学部共通講座物理学教室編：物理学実験「物理・化学実験」テキスト 学術図書出版 (2017) pp.32-38
- [2] 増田健二：技術報告「静岡大学技術部」, 14, 13-16 (2008).
- [3] 静岡大学工学部共通講座物理学教室編：物理学実験「物理・化学実験」テキスト 学術図書出版 (2017) pp.39-51
- [4] 増田健二：技術報告「静岡大学技術部」, 20, 49-54 (2014).
- [5] 鈴木三男, 栗山 (増田) 健二：物理教育, 65(4), 204-207 (2017).
- [6] ImageJ 公式サイト日本語訳-ImageJ 日本語情報, <<http://seesaawiki.jp/w/imagej/d/ImageJ>>

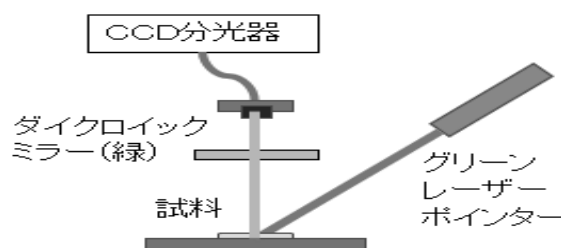


図 19 CCD 分光器による蛍光スペクトル測定装置

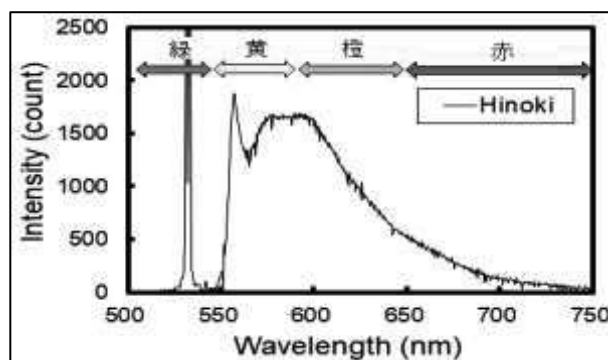


図 20 ヒノキ花粉の蛍光スペクトル

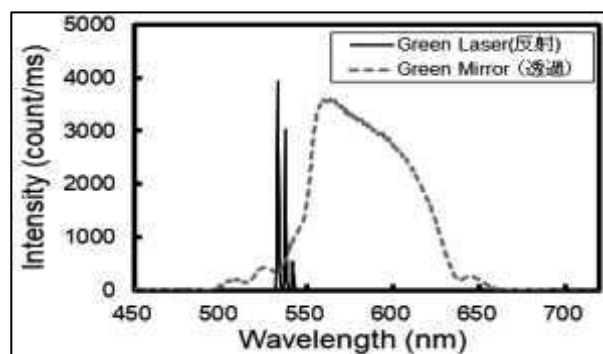


図 21 ダイクロイックミラー (緑) の反射光と透過光スペクトル