

簡易顕微分光装置の開発と学校教育への応用

秋重幸邦*・湯浅聖子**

Yukikuni AKISHIGE* and Seiko YUASA**

Development of a Simple Microspectrophotometer and Application for School Education

ABSTRACT

We made a simple microspectrophotometer using an old microscope, an optical fiber, a spectrophotometer with CCD and a personal computer. Furthermore, we successfully made a fluorescence spectrophotometer using a solid-state laser and a sharp cut filter for detecting emission from small Ruby chips, around 0.1 mm. We propose some experimental techniques concerning the optical spectroscopy for school education.

【キーワード：顕微分光装置、透過スペクトル、反射スペクトル、発光スペクトル、ルビー】

【Keywords: Microspectrophotometer, Transmission Spectrum, Reflection Spectrum, Emission Spectrum, Ruby】

1. はじめに

光を波長成分に分解し、そのスペクトルを記録するために使用する道具として分光器がある[1]。市販の分光器は、透過率や反射率を正確に求めるには便利であるが、専用機として開発されているため、反射率測定にはそのためのアダプターが必要であったり、発光スペクトルを測定するためには、別途装置を購入する必要があると、小回りが利かない。中学校や高校での光の実験に、簡単に使える分光器があれば、生徒たちに興味深い授業を展開することが出来ると思われる。我々は、古くなって捨てられていた偏光顕微鏡をベースにして、顕微鏡として微小部を観察することができるだけでなく、その光を光ファイバーを用いて、CCDのついた手のひらサイズの小型の分光器に導き、光強度をパーソナルコンピュータに出力することで光のスペクトルが測定できる顕微分光システムを構築した。さらに、励起光として固体レーザーを取り付けることで、0.1 mm程度のルビーの薄片からの発光スペクトルを精度よく測定することを可能にした。我々は、この簡易顕微分光システムのことを、2004年ごろから研究室のホームページで紹介していたところ、いくつかの研究機関から装置についての問い合わせがあった。また、中学や高校への出張授業の際にも、この小型システムを持参し、パソコンの画面をプロジェクターを通してスクリーン上に投影して、太陽、蛍光灯、ダイオードなどの身近な光のスペクトルを測定しながら生徒に提示し、生徒の興味・関心を惹いてきた。

平成20年の学習指導要領の改訂で、理科の授業は、現行より小学校でプラス55時間（116%）、中学校でプラス95時間（133%）となり、観察・実験の時間が大幅に増えることになった[2]。内容的には、観察・実験の結果を整理し考察する学習活動、科学的な概念を使用して考え説明する学習活動の充実が謳われ、さらに、日常生活や社会との関連を重視するよう謳われている。これらのことを実践するためにも、身近な現象を取り扱う実験教材の開発は重要であり、今回紹介する簡易顕微分光装置もそうした理科教材の一つとして、大いに教育用として役に立つと思われる。教育用の簡易分光器として、これまで、レプリカフィルムを用いたもの[3]、CDを用いたものなどが報告されている[4]。また、偏光板を用いた着色現象の教材等も考案されている[5]。しかし、分光実験用として高校や大学で本格的に使える装置製作に関する報告は、あまり見当たらない。

本論文では、独自に開発した簡易顕微分光装置について紹介し、学校現場において光の実験に使用することを目的に本装置を活用した、いくつかの実験例を紹介する。

2. 簡易顕微分光装置

顕微分光装置の構成を図1に、部品名等を表1に示す。システムの中心となる顕微鏡は、オリンパスのPOM型偏光顕微鏡に落射装置と写真撮影装置を取り付けたものである。顕微鏡の下部は取り払い、簡易XYステージを置いている。落射装置のランプは、透過スペクトル測定の際には顕微鏡の下部に置き（図1）、反射率測定の際には、正規の上部位置に取り付けて使用した。また、ルビーの発光スペクトルを測定するときには、落射装置のランプを取り外し、そこに固体レーザーを取り付け励起光源とした（図1）。顕微鏡上部の写真撮影装置は改造し、光ファイバーを通して光を分

* 島根大学教育学部自然環境教育講座

** 島根大学事務補佐員

光器に導出できるように、カメラ部分を取り外し、光ファイバー用コネクタを取り付けた。また、レーザー光を直接目で見ないように、光路を切り替へCCDカメラでモニター画面に画像を出力できるようにしている。分光器は、図1写真でレーザー電源の下にある黒いボックス、Ocean Optics社製のHR2000で、グレーティング等の規格は表1に示してある。分光器にはCCD検出器が取り付けられており、分光された光の強度を、付属の制御用ソフトを使うことで、パソコン上で読み取ることができる。

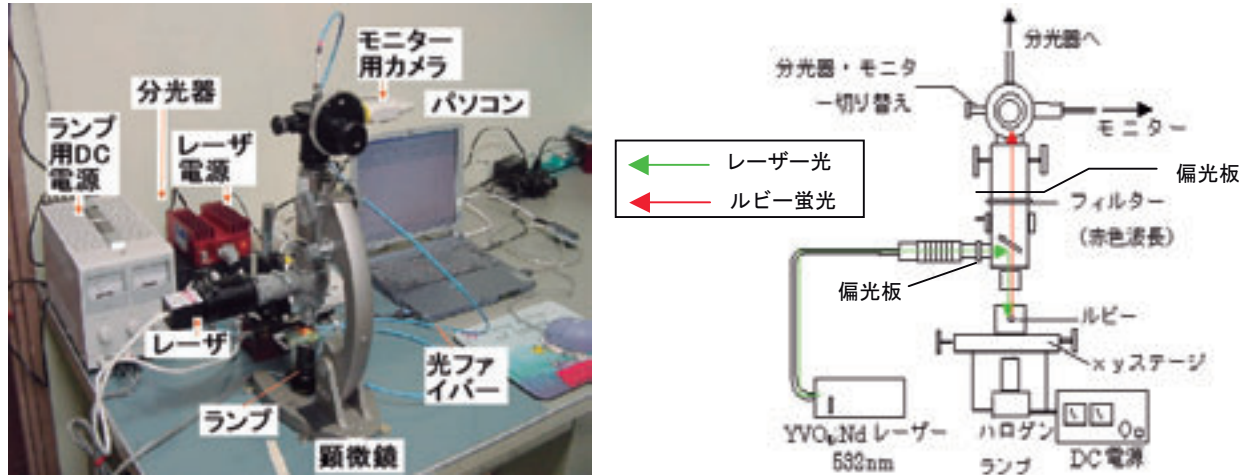


図1. 簡易顕微分光装置：(左) 装置写真、(右) システムのブロック図。

表1. 簡易顕微分光装置に用いた部品一覧

番号	部品名	会社 等	規格
①	分光器	Ocean Optics Inc. HR2000	反射型回折格子 600 line/mm; グレーティング#3 350-780 nm; スリット幅 25 μ m; 波長分解能 0.89 nm; CCD 検出器 350-850 nm
②	光源	固体レーザー BWT-5E	波長 532 nm YVO ₄ :Nd 10 mW
③	光源	ハロゲンランプ	10 W
④	光ファイバー	Ocean Optics Inc.	400 nm ϕ ; 2 m
⑤	偏光顕微鏡	オリンパス	POM 型 落射装置、写真撮影装置 (改造) 付
⑥	パソコン	東芝	Windows 98

3. 身近な色を分光する

3.1 マジックの色の透過スペクトルと反射スペクトル

簡単に分光曲線を得る実験の一つとして、図2に示した分光測定用プレートを用いて、マジックの色の反射率、透過率のスペクトルを測定した。スライドガラスにステンレステープを貼り、その上にマジックで色を塗ったものと（反射率測定用）、スライドガラスに直接マジックで色を塗ったもの（透過率測定用）を準備し、顕微鏡のXYステージに載せ、図1の顕微分光装置を用いて分光した。今回取り上げたマジックはZEBRA油性マーカー・ハイマッキーの赤茶黄緑青紫の色である。照射する光はハロゲンランプを使用し、反射率を測定する場合はスライドガラスの上から、透過率を測定する場合はスライドガラスの下から光を照射する。顕微鏡から光ファイバーを通して分光器に導かれた光は分光され、CCDで検出された光強度のデータが、パソコンのソフトで処理され、反射率や透過率スペクトルとして表示される。図3に、マジックの赤、黄、青の反射率スペクトルを、図4に、茶、緑、紫の透過光スペクトルを示す。下に凸になった波長の光が吸収され、吸収されずに目に届く部分が混ざり合い、特定の色となっていることが分る。

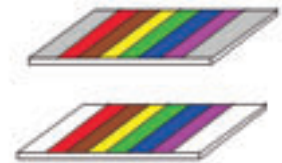


図2. マジックの色の分光測定用プレート。(上) 反射率測定用で、スライドガラスの上にステンレステープを張り、その上に色を塗る。(下) 透過率測定用で、スライドガラスの上に直接色を塗る。

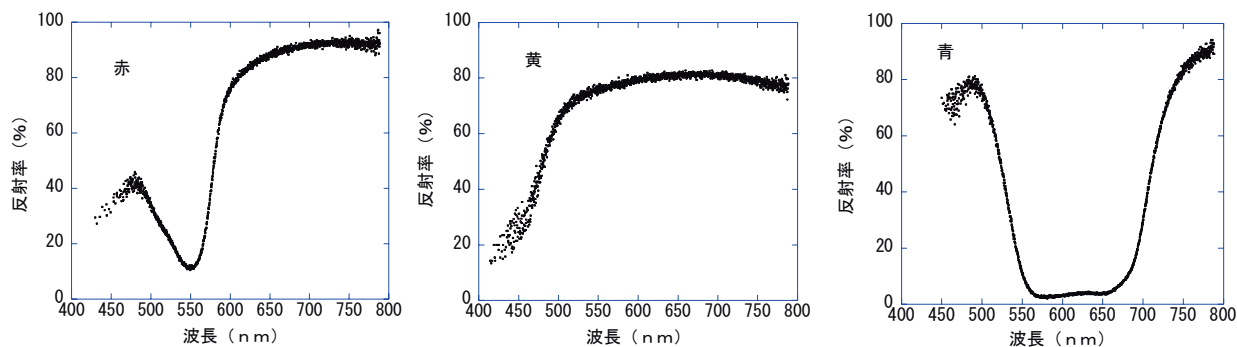


図3. 赤、黄、青の反射率スペクトル。

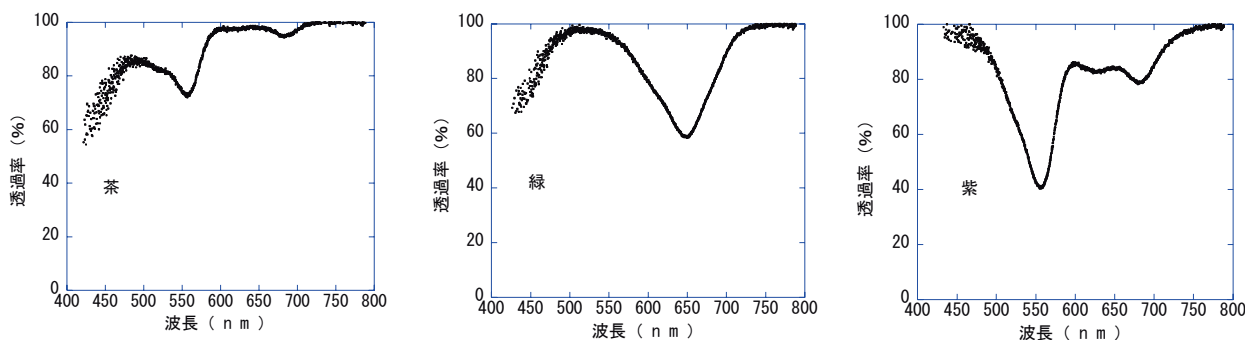


図4. 茶、緑、紫の透過率スペクトル。

3.2 気体分子の線スペクトル

気体をガラス管に封入し電子を打ち出すと、その気体特有の色の光を放出する(水素ガス：青紫がかった白っぽい光、ナトリウム：黄色の光、ネオン：赤い光など)。このようにある特定の波長を持った光の波長分布を「線スペクトル」という。気体分子の線スペクトルは、高校の教科書でも、見開きのカラーページで紹介されている[6]。しかし、プリズムで分光した写真であり、それぞれの光の強度は分からない。我々の分光システムを用いて、気体分子のスペクトルを測定した。顕微分光装置から光ファイバーをはずし、光を発しているランプのガラス管に、ファイバーの先端を直接あてる。その際、余計な光が入らないよう、部屋を真っ暗にしておかなければならない。図5から図8に、ヘリウム、ネオン、窒素、ナトリウムのスペクトル管の発光の様子を写した写真とそのスペクトルを示す。このように、測定したい光へ直接光ファイバーの先端をあてるだけでスペクトルを簡単に測定することができる。この場合、顕微鏡は必要ないので、測定システムは非常に小さくなり、持ち運びが容易である。我々は、出張講義の際などに、このシステムを持参し、太陽光、蛍光灯の光、ダイオードの光などのスペクトルをその場で測定し、スクリーンに大きく映し出し生徒たちに提示している。

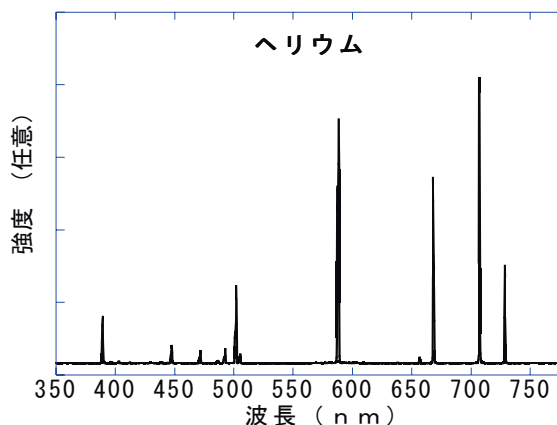


図5. ヘリウムの発光とスペクトル。



図6. ネオンの発光とスペクトル。

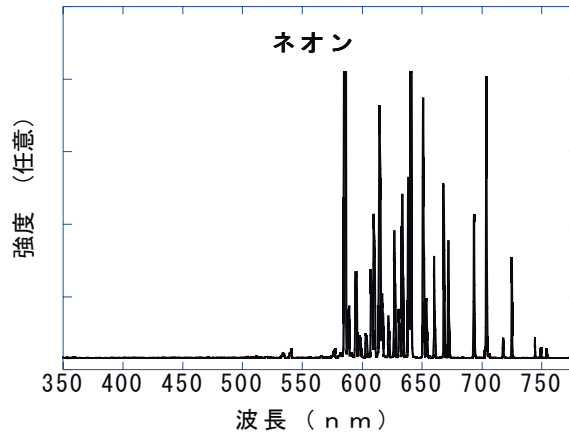


図7. 窒素の発光とスペクトル。

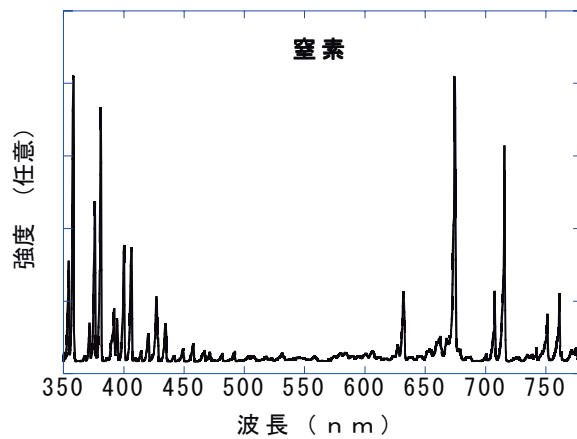
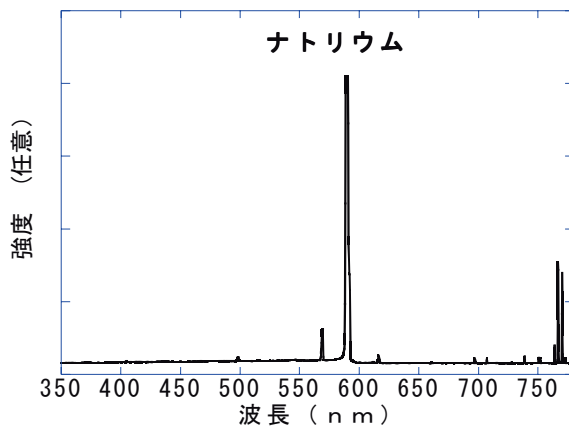


図8. ナトリウムの発光とスペクトル。



3.3 ルビーの発光スペクトル

物質が光を反射したり透過することによって色が見えるほか、物質にある光をあてることで、物質によってさまざまな波長の光を発する現象が見られることがある。このような発光現象の一つが蛍光である。蛍光を発する物質のうち、宝石としてもよく知られているルビーがある。ルビーの構造はコランダム型構造と言われる A_2B_3 型イオン結晶をつくる代表的な構造である。コランダムは酸化アルミニウム Al_2O_3 の α 型のことをいい $\alpha-Al_2O_3$ と記す。ルビーは、 $\alpha-Al_2O_3$ 結晶の Al^{3+} イオン0.01~3 モル%を Cr^{3+} イオンが置換している。純粋な $\alpha-Al_2O_3$ は無色透明であるが、ルビーが赤い色をしているのは、置換した Cr^{3+} イオンが350~450 nm (紫~藍)、500~600 nm (緑~黄) 付近の波長を吸収するためである。さらに、ルビーの Cr^{3+} イオンは、吸収するそれらの波長の光を照射すると、ルビーは695 nm付近に R_1, R_2 と呼ばれる蛍光を発する。マイクロメートルサイズの結晶でも、吸収帯付近の波長のレーザー光で照射することで、強度の強い蛍光スペクトルを得ることができる。

今回、0.1 mmくらいに細かく砕いたレーザー用人工ルビーを用い、このルビーの蛍光を測定した。励起光源として、表1に示した YVO_4 ; Ndレーザーの532 nmの光を対物レンズで集光し照射した。このレーザー光と区別して、ルビーの

R_1 、 R_2 蛍光を取り出すために、670 nm以上の波長の光を通すシャープカットフィルターを対物レンズと接眼レンズの間に入れている（図1）。ルビー蛍光の強度の調節は、偏光板の調整によって行う。本装置には、励起用のレーザー光が通る箇所とルビーの蛍光が通る箇所にそれぞれ偏光板が入っている。それぞれ0～90度動かすことができ、その角度の調整で、光強度を調整している。

レーザー発振機から発振されたレーザー光は、顕微鏡の透過照明装置を通して、ステージ上のルビーに照射される。ルビーの蛍光は、分光器で分光され、そのスペクトルがパソコンに映し出されるが、蛍光を発しているルビーの様子は、光路を切り替えることで、モニター画面で見ることが出来る。図9は、この装置によって得られた蛍光している0.1 mmぐらいのルビーの発光状態とそのスペクトルである。

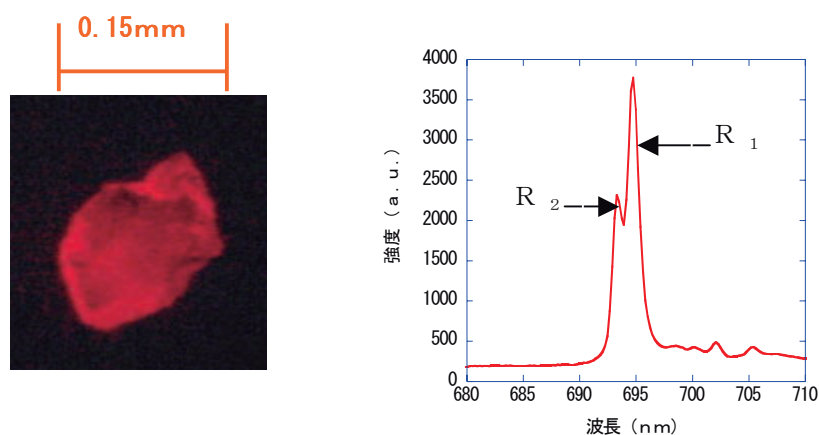


図9. 発光している微細なルビーとその発光スペクトル。

4. まとめ

今回紹介した簡易顕微分光装置は、古くなった顕微鏡を改良し、新たに小型CCD分光器、光ファイバー、固体レーザーなどの最新機器を組み込んだ、本格的な顕微分光装置としても使える装置である。身の回りにある色や光、微小な物質の色や発光の変化も見ることが出来る。また、顕微鏡をはずして、光ファイバーの先端から直接分光器に光を導くことで、非常にコンパクトで持ち運びが簡単な分光システムを構築できる。プロジェクターを利用すれば、教室での演示実験などに使用可能な装置である。今後も引き続き、この装置を用いた教育実践を行って行く予定である。普段目にしない世界を生徒たちに体験させることで、理科離れ・科学離れの克服に少しでも役に立てれば幸いである。

参考文献

- [1] 込内順平、黒田和男、大木裕史、河田聡、小嶋忠、武田光夫、南節雄、谷田貝豊彦 他編：「最新光学技術ハンドブック」、朝倉書店、2002年。
- [2] 平成20年度小学校・中学校新学習指導要領：文部科学省のホームページ、http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/index.htm。
- [3] 宮崎菜穂子、目修三：「回折格子を用いた簡易分光器の活用：幼稚園から大学生・社会人まで」、応用物理教育、27 (1)、49-51、2003。
- [4] 若林文高、濱田浄人、曾根興三：「ティッシュ箱などの空き箱を利用したCD分光器」、化学と教育、52 (2)、114-115、2004。
- [5] 千葉芳明、本多亮：「偏光による着色現象の簡易教材化」、応用物理教育、29 (2)、17-20、2005。
- [6] 中山正敏、大井みさほ 他著：「物理IB PHYSICS」、三省堂、1995。

