

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号： 82617
 研究種目： 基盤研究 (C)
 研究期間： 2010 ~ 2013
 課題番号： 22500874
 研究課題名 (和文) 高分解能 DVD 分光器の改良と分光学教材の開発
 研究課題名 (英文) The Improvement of high-resolution DVD spectroscopy and the development of teaching materials on spectroscopy

研究代表者
 若林 文高 (WAKABAYASHI FUMITAKA)
 国立科学博物館・理工学研究部・グループ長
 研究者番号： 30158589

研究成果の概要 (和文)：

研究代表者が開発した DVD 分光器をさらに改良し、より高精度で高分解能なものにした。スペクトル撮影は、これまでのデジタルカメラから、より安価な WEB カメラを用いる方法にし、十分な精度のスペクトルを連続的に観察でき、また観察スペクトル画像を直接液晶プロジェクターで投影できるなど教材・演示機材として利点を持つことを示した。また、iPad などのタブレット端末もスペクトル観察の演示に有効であることを示した。

研究成果の概要 (英文)：

The DVD spectroscopy that had been developed by the author several years ago (F. Wakabayashi, *J. Chem. Educ.*, 1998) was improved for its utilization to the science education. Its resolution became much better than before and acquiring spectra became much easier than before. The author showed that spectra of reasonably good quality can be observed using a very cheap WEB camera. This method is very convenient for the educational purpose because the image of observed spectrum can be projected on the screen in real time and can be simultaneously recorded in PC. The recorded spectrum image can be immediately analyzed numerically using ImageJ and spreadsheet software. Thus spectrum chart can be easily obtained using very cheap and common equipment. The examples of obtained spectra are shown in this report.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 科学教育・教育工学、科学教育

キーワード： 分光学、簡易分光器、科学教育、化学教育、教材開発

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

(1) スペクトルの観察は、身近な現象である色や光について興味を引き起こし、「光とは何か」「色はなぜつくのか」など色や光について学ぶのに重要である。色や光については、高校では主に物理で取り扱われるが、スペクトルの観察は、原子や分子について学習・研究する上で重要で、物理分野だけでなく、化学、地学、生物分野でも重要である。スペクトルと各分野の関係に関しては、物理・化学との関係が重要なことは説明の必要がないほどであるし、地学分野では太陽スペクトルにおけるフラウンホーファー線の観察が、生物分野では光合成との関係で葉緑素（クロロフィル）による光の吸収が重要であることが挙げられる。

(2) 従来こうしたスペクトルの観察は、教科書や参考図書で掲載された図や写真のみで扱うか、簡易的な分光器で観察していた。簡易分光器としては、プリズムを利用した直視分光器やレプリカグレーティングを利用した分光器が主体である。直視分光器は、十分な分解能をもち、良質のスペクトルを観察できるが、1台2～3万円するため小中高で十分な台数を揃えるのは難しく、また、スリットやピントの調整が必要で初学者には取扱が難しい。一方、レプリカグレーティングを利用した分光器は安価で自作できるが、教材用に通常使われるグレーティングは600本/mmのものが多く、分解能がやや不十分で、型押しで作られるグレーティングフィルムの不均一性のためにスペクトルが暗くなったり、ぼやけたりすることがある。また、素材を専門業者から購入する必要があった。

(3) 研究代表者は、一般家庭でも用意できる身近な材料のみを使った簡易分光器として、約20年前からコンパクトディスク（CD）を利用した“CD分光器”を提唱し利用してきた（若林文高、現代化学1990年4月号な

ど）。CD分光器は、その後さまざまなものが提唱され、現在広く利用されている。CD分光器は、身近な材料だけでスペクトルを手軽に観察できるという利点があるが、CDは線密度が625本/mmであり、回折格子としての性能はレプリカグレーティングと同程度で、観察されるスペクトルはぼやけたものが多く、スリットを注意深く細くしてもシャープなスペクトルを得ることは難しかった。すなわち、CD分光器では、「スペクトルが見える」ということに止まっていた。

(4) 研究代表者らは、2003年に、当時急速に普及し始めたDVD（デジタル・バーサタイル・ディスク）を利用した“DVD分光器”を考案した（特許41263475号；F. Wakabayashi et al., *J. Chem. Educ.*, 2006）。DVDの線密度は1351本/mmであり、普及型のUV-可視分光光度計で使われている回折格子よりも高密度である。そのため、DVD分光器により、蛍光灯のスペクトルで観察される577 nm、579 nmの水銀による黄色の輝線を2本に容易に分離して観察できる。さらに工夫することにより、ナトリウム塩の炎色反応などで観察されるNa D線（589.0 nm、589.6 nm）を分離することができ、研究に使われる普及型分光光度計よりも分解能が高いことを示している。

(5) 研究代表者は、さらにDVD分光器で鮮明なスペクトル写真を撮影し、撮影画像を数値データ化してスペクトルチャートを得る方法を報告した（F. Wakabayashi, *J. Chem. Educ.*, 2008）。

(6) このように身近な素材を利用したCD分光器やDVD分光器は、これまで“Toy spectroscope”（“おもちゃの分光器”）と言われることが多かったが、研究代表者は

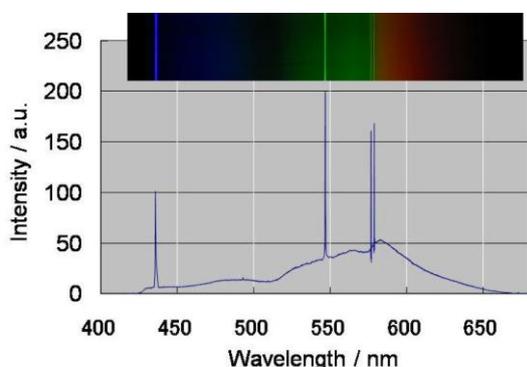


図1 本研究で改良したDVD分光器で観察した白色蛍光灯のスペクトル

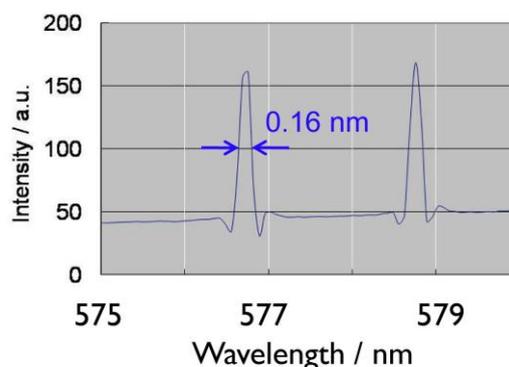


図2 図1の部分拡大図:水銀による577.0 nm、579.1 nmの輝線が明瞭に分離されている。波長軸がわずかにずれている。

DVD 分光器が本格的な「測定器」として利用できる可能性を示してきており、その本格的、かつ、さらに簡単に利用できる方法の開発が望まれていた。

2. 研究の目的

(1) スペクトルの観察は、色や光について学ぶ上で重要であるだけでなく、科学研究における分光学の重要性に結びつけられる興味深い題材である。本研究では、研究代表者がこれまで開発してきた教育用高分解能簡易分光器の“DVD 分光器”をさらに改良し、発光スペクトル・吸収スペクトルの観察をより容易にかつ定量的に行えるようにするとともに、スペクトルデータを蓄積することにより、特に高校段階での理科各分野における分光学に関連した学習に利することを目的とする。また、取扱い方の工夫により、小中でも利用できる教材とすることを目的とする。

(2) これまでのところ、DVD 分光器は厚紙で製作し、ごく普通のコンパクトデジタルカメラを分光器の観察窓に差し込んでスペクトル写真を撮影し、撮影したスペクトル写真をフリーソフトで数値データ化し、通常の表計算ソフトを使ってデータ解析をするという一連の作業を手作業で行っている。このような操作は、分光器や分光光度計、分光学の原理を学習するという教育的な意味があるが、時間や手間がかかるため、DVD 分光器を本格的に利用するためには、操作の単純化や時間の短縮化など工夫する必要がある。

(3) そこで、本研究では、この DVD 分光器の改良をさらに進め、さらに高分解能なものとし、スペクトル観察・写真撮影がさらに高精度にできるようにする。また、これまで手作業で行ってきたデータの取り込み・データ解析できるだけ自動化し、迅速にデータ解析が行えるようにすることを目



図3 DVD 分光器と WEB カメラを利用したスペクトル観察システム：潜望鏡型 DVD 分光器に WEB カメラを接続して (右)、観察している蛍光灯のスペクトルを画面上に表示している

的とする。図 1、2 に本研究で高分解能化した DVD 分光器で観察した白色蛍光灯のスペクトルを示す。半値幅は、これまで 0.38 nm 程度だったのが半以下の 0.16 nm とかなり高分解能になった。

(4) このように改良した DVD 分光器を利用して、各種のスペクトル画像を蓄積してスペクトルチャートを作成し、教材用スペクトルデータ集として利用できるようにする。高校の教科書に掲載されているスペクトルの図には、実際の写真ではなく、絵で描いてあるものが多かったり、その絵も正確なものでなかったりする。例えば NaD 線の分離幅が誇張されているものさえある。そうした点を是正できるように正確なスペクトル画像やスペクトルチャートなどのデータ、しかも、生徒が自分たちで実際に観察・測定できるものを提供することを目的とする。このようなデータを自分たちで実際に得られるという体験は、科学を身近なものとして実感するのに有益であると考えられる。

(5) 併せて、DVD 分光器を利用して、色や光について、あるいはそれにまつわる理科分野のさまざまな重要事項を学習する教材を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 申請者がこれまで開発・発表してきた DVD 分光器の改良をさらに進め、回折条件を再検討して分解能を高め、さらにデジカメラや市販の安価なカメラを用いて、その固定法を工夫するなどをして、より安定して鮮明なスペクトル画像の観察および写真撮影ができるようにする。

(2) また、データの取り込み、画像解析などをほぼ自動的に行えるようにし、DVD 分光器の「測定器」としての完成度を高める。

改良した DVD 分光器を利用して、各種の発光スペクトル、吸収スペクトルを観察し、スペクトル画像とスペクトルデータの蓄積を進め、教育目的で利用できるようにする。併せて DVD 分光器を利用した分光学教材を開発し、発表・公開する。

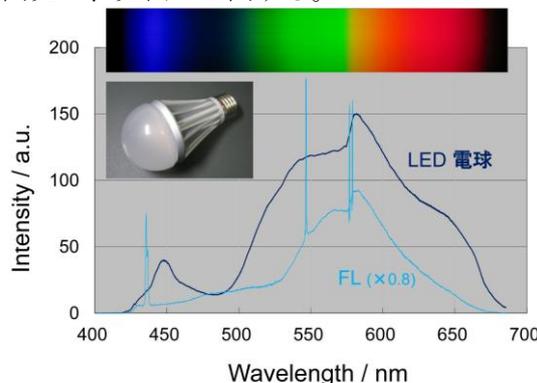


図4 DVD 分光器で観察した LED 電球のスペクトル：白色蛍光灯（薄水色線）との比較

4. 研究成果

(1) DVD 分光器は身の回りのものだけでできる教育用簡易分光器である。簡単なものであるが Na D 線 (0.6 nm) を 2 本に分離して観測できる分解能を持つ。スペクトル写真の撮影には、これまでコンパクトデジカメを使用してきたが、2011 年度は、より安価で急速に普及してきている WEB カメラの利用を検討した。その結果、千円程度の低価格のものでも比較的高画質のスペクトル画像が得られ、観察しているスペクトル画像を PC に取り込みながらリアルタイムで液晶プロジェクターで投影できる。そのシステムの例を図 3 に示す。観測しながら PC に取り込んだスペクトル画像は、そのまま表計算ソフトなどで解析でき、WEB カメラの利用したスペクトル観察は演示用・教育用に適していることがわかった。また、数千円程度の WEB カメラを使うとさらに高度な設定ができ、高精度のスペクトル画像を記録できることがわかった。

(2) 得られたスペクトル画像の解析に関しては、これまで一連の作業を手作業で行ってきたが、表計算ソフトの解析機能を利用して、より自動化できるように検討した。その結果、波長基準となるピーク位置のピクセル番号を入力すれば、自動的に直線近似および 3 次関数曲線近似で波長校正をしてスペクトルチャートを作図できるようにした。以上のことにより、ノート PC と WEB カメラがあれば、極めて簡易に可視スペクトルのスペクトルチャートが得られるようになった。

(3) 最近普及しつつある LED 電球、LED 懐中電灯などのスペクトルを測定し、これまでの照明光との比較をした。図 4 に LED 電球のスペクトルを示した。また、本システムを用いることにより、生徒実験などで合成したフルオレセインの蛍光を感度良く測定できることを示した。図 5 に合成したフルオレセインの蛍光スペクトルを DVD 分光器で観察した例を示す。このように合成実験と組み合わせることで一連の生徒実験を組むことができる。

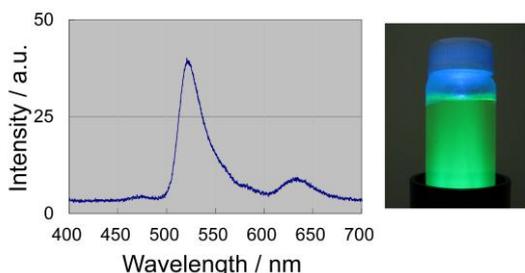


図 5 改良した DVD 分光器で観察したフルオレセインの蛍光スペクトル：右はその蛍光

(4) 2011 年度は、WEB カメラを利用した DVD 分光器のスペクトル画像撮影法についてさらに検討した。その結果、安価な WEB カメラを用いても高品質のスペクトル画像が得られることが実証され、かつ WEB カメラの特性を活かして動画モードでスペクトルを連続的に撮影することにより、効率よく迅速に高品質のスペクトル画像を蓄積できることを示した。特に最近の WEB カメラは安価なものでも撮影条件を細かく設定でき、オートフォーカスモードを備えるなど、スペクトル画像撮影に適していることがわかった。また、WEB カメラを使用することにより、演示実験などで効果的にスペクトル画像をスクリーンに投影することができることを示し、“教育機器”としての能力を示した。

発光スペクトルのデータ蓄積に関しては、水素、ヘリウム、クリプトン、キセノンなどの基本的な気体放電管のスペクトルを本システムで測定し、通常を表計算ソフトを使ってスペクトルチャートとした。その一例をヘリウムについて図 6 に示す。ごく簡単なシステムであるにもかかわらず、発光強度の弱い輝線も再現性良く測定されることがわかり、DVD 分光器の“測定器”としての能力を示すことができた。また、有機 EL 素子を使った携帯電話の画面の発光スペクトルを測定し、発光体や蛍光体の違いによるスペクトルの相違など興味深い結果を得ている。

吸収スペクトルについては、これまでのバック光源として白色蛍光灯を利用した方法に替えて、白色 LED スライドビューアーを用いた方法を検討した。LED による光がほぼ連続スペクトルであることから、水銀の輝線がある蛍光灯を用いた方法より優れ

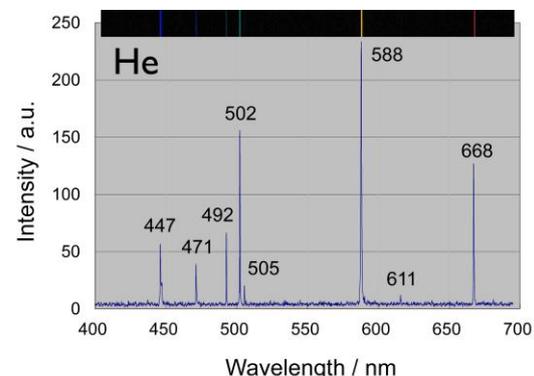


図 6 改良した DVD 分光器で観察したヘリウム放電管のスペクトル：細かい構造を観測

ていることがわかった。ただし、この方法はカメラの固定、スライドビューアーの利用箇所を一定にするなど留意すべき事項がある。

(5) 2012年度は、これまでの研究の総仕上げとして、実験方法の再検討と得られた結果の整理、およびさらに簡便で効果的な演示方法の検討を中心に行った。

これまでに行ったWEBカメラを利用したスペクトル撮影をさらに精度の高いものとした。また、iPadなどのタブレット端末のカメラ機能とモニター画面を利用して、DVD分光器とiPadだけでスペクトルを観察しながら同時に演示もできる方法を開発した。この方法を実際に博物館の展示場で入館者に各種光源のスペクトルをその場で見せながら展示解説をしたり、数十名規模の比較的小さい一般会場での公開講座でスペクトルを見てもらいながら講演をしたりして、その効果を確認した。この方法は、DVD分光器をiPadのカメラ部分に両面テープで取り付けるだけで実施でき、非常に簡便でかつ比較的大型の表示画面でスペクトルが見られるという演示効果の高いものである。

観測スペクトルの解析では、改良した潜望鏡型DVD分光器と高解像度のコンパクトデジタルカメラで撮影した太陽光スペクトルを詳細に分析して観測されるフラウンホーファー線の詳細な同定を行い、水素やナトリウムの暗線が非常に明瞭に観察できること(図7)、また、鉄やマグネシウムなどによる非常に細かい暗線も波長精度良く観測されていることがわかり(図8)、DVD分光器が教材や“簡易測定器”としての利用価値が高いことを再確認した。

観測されたスペクトル画像および得られたスペクトルチャートについては整理を進めており、教材としての公開を目指している。また、分光光学実験の教育プログラムを検討し、博物館での実験教室、大学などの講座で実施していく。

5. 主な発表論文等

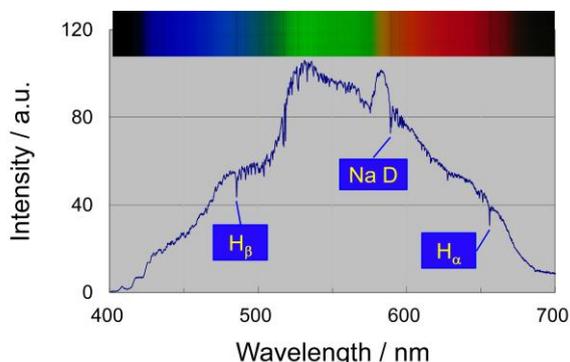


図7 改良したDVD分光器で撮影した太陽光スペクトル：全体図（Na D線は2本に分離）

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

○Wakabayashi, F., 2011. Effective way to demonstrate visible spectra using a cheap WEB camera and a DVD spectroscopy in classroom. *4th NICE Symposium of Network for Inter-Asian Chemistry Educators (NICE2011)*, July 26-28, 2011, Seoul, Korea, Abstract Book P001.

○Wakabayashi, F., 2010. High-resolution Observation of Visible Spectra Using Modified Periscope-type DVD Spectroscopy. *The 21th International Conference on Chemical Education*, Taipei, Taiwan, 9-13 Aug., 2010, Abstract No. 145.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

若林 文高 (WAKABAYASHI FUMITAKA)
独立行政法人国立科学博物館
理工学研究部 グループ長
研究者番号：30158589

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

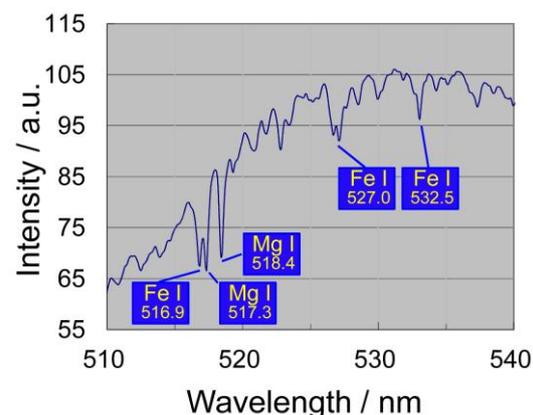


図8 改良したDVD分光器で撮影した太陽光スペクトル：図6の部分拡大図（Fe、Mg関連）