

地学実験における簡易分光器を用いた光スペクトルの観察の検討

馬場賢治*

Observation of optical spectrum using a simple spectroscope in Experiments in Geoscience

Kenji BABA*

(Accepted 8 December 2021)

1. はじめに

太陽光には、いろいろな波長帯の波が含まれているので、プリズムなどに通すと、光は赤から紫までの色に分離する。プリズムには、波長により異なる角度に光線を屈折させる性質があるからである。これら波長ごとに分かれた光の色の模様をスペクトルとよぶ。この実験は、材料が安価であり、比較的簡単に分光器が工作できるので、様々な公開講座や体験講座において体験学習に活用されている（例えば、JAXA 2012）。尚、学習指導要領との関連としては、小学3年理科（物質・エネルギー）「光と音の性質」（文部科学省 2018a）、中学校1年理科（身近な物理現象）「光と音」および同3年理科（地球と宇宙）「太陽の様子」「惑星と恒星」（文部科学省 2018b）が挙げられる。本学においては、2011年に筆者が赴任以来、地学実験において紙コップを利用した簡易分光器を作成し、実験を行っている。本学の特徴として、高校時代に物理や地学を履修していないため、深い内容までは問うことが難しいので、導入とした位置づけで展開している。よって、本実験の目的は、身近な材料を用いて簡易分光器を作成し、太陽光や身近な蛍光灯などの光のスペクトルを観測させ、それぞれの特徴を理解させることである。

2. 授業への導入

2.1 光

光について、次のような歴史的な経緯の説明を行う。17世紀にはニュートンが光は「粒子」であると唱え、グリマルディやホイヘンスは「波動」、17~18世紀にフルネルやヤングも「波動」であるとした。

19世になるとマクスウェルは「電磁波（電気と磁気の波動）」とし、アインシュタインは20世紀に「波動（電磁波）でもあり粒子（光子）でもある」ことを提唱した。これが現在に至っている。歴史的な説明の後に、そこで扱った波の「波長」や「周期」などの説明を行い、次に「磁界」と「電界」の関係を示し、電磁波について解説を行っている。

太陽からの放射については、Fig. 1を用いて波長ごとに可視光線、紫外線、および赤外線があることを示し、中でも可視光領域でエネルギーが強いことを提示する。その後、虹などの例を出し、身近な話題であることを教授する。

2.2 分光の原理

Fig. 2. のようにスリットの間隔が d の回折格子に波長 λ の光が入射角 α で入射し、屈折角 β で進行すると、隣のスリットで屈折（反射）した光との光路差

$$d|\sin \alpha - \sin \beta|$$

を生じる（Fig. 2）。これらの光路差が波長 λ の整数倍であれば光の強度が増加し、整数倍より半波長ずれると打ち消しあって強度が減少する。これらの効果を利用して、光を波長で分離することができる。スリット間隔 d が狭くなるほど、光が広がる角度が大きくなるために分解能が向上する。回折格子は多数のスリットが等間隔で配列した構造を持っているので、本実験で使用する。今回用いる回折格子は、1000本/mmである。

2.3 紙コップ簡易分光器作成

科学を身近に感じてもらうために、身の回りにあ

* 酪農学園大学農食環境学群環境共生学類気象・気候学研究室 069-8501 江別市文京台緑町 582 番地
Laboratory of Meteorology and Climatology, Department of Environmental Sciences, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan
日本気象学会・理科教育学会

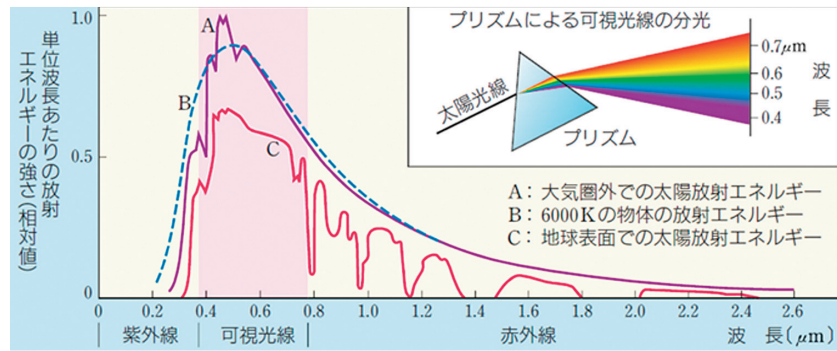


Fig. 1. Standard solar spectrum. (Matsuda · Yamazaki, 2002)

図1. 太陽光スペクトル (松田・山崎)

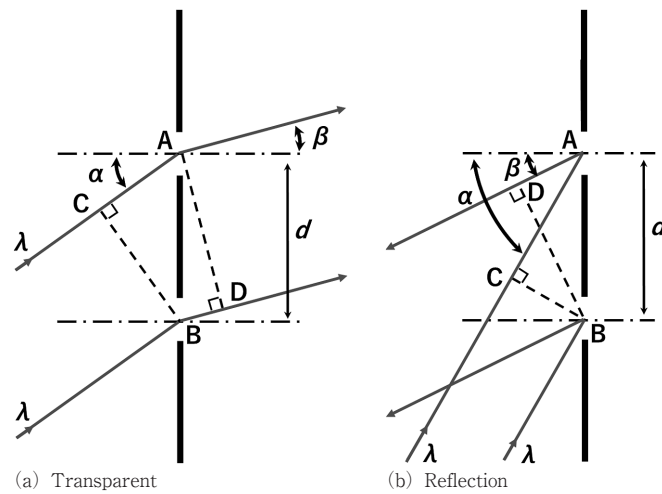


Fig. 2. Illustration of diffraction. The wavelength of incident light: λ , the distances between the slits: d , The angle of incidence: α , the angle of refraction: β .

図2. 回折の模式図。入射波長: λ , スリット間隔: d , 入射角: α , 屈折角: β

る入手可能な材料を基に簡易分光器を作成した。本
地学実験で作成した簡易分光器に必要な材料は、紙
コップ、画用紙、回折格子である。回折格子は、グ
レーティングとも言い、1枚4000~5000円で購入
でき、1枚から100~150個程度に分割して使用す
る。工作の際は、カッター、ハサミ、セロテープ、
糊、定規が必要となる。刃物を使用するため、事前
に注意喚起を十分に行った。

簡易分光器作成は以下の①~⑥の手順である。

- ① 紙コップの底面部、中心よりやや外側に約1
cm × 1 cm の四角形の覗き窓をあける (Fig.
3a)。
- ② 回折格子は向きがあるため、覗き窓に Fig.
3a のように回折格子の端を仮留めする。
- ③ 紙コップの口を黒い画用紙にあて、鉛筆など
で円を描く。円の外側はのりしろにし、セロ
テープ等で留めやすいように切り込みを入れ

る。

- ④ 黒画用紙の中心より外側に Fig. 3b のように
10 mm × 1 mm のスリットをあける。この際
カッターできれいに切る (開ける)。
- ⑤ スリットと底面の覗き窓が反対 (線対称) の
位置になるように黒画用紙を紙コップにセロ
テープ等で固定する (Fig. 3c)。
- ⑥ コップ底面の覗き窓から覗いてみて、Fig. 4
のように分光の様子が横にならない場合は、
回折格子を90度ずらす。

3. スペクトルの観察とレポート課題について

スペクトルの観察は太陽光を最初に行わせている
(Fig. 4a)。この際、太陽光を直接見ないように指導
し、日中の外を見れば良いことを伝える。このスペ
クトルの特徴を観察する際は、メモと色鉛筆を併用
して行うことを推奨している。スマートフォンでの

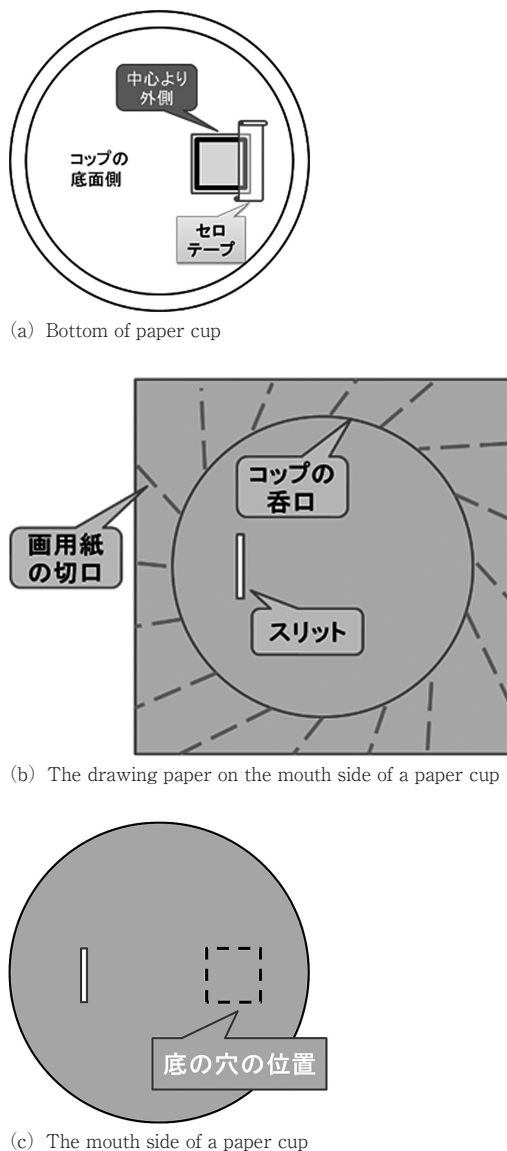


Fig. 3. Construction procedure for a simple spectroscope.

図3. 簡易分光器の工作手順

写真を撮影しても良いが、焦点を合わせるには対象部分をタップする必要があるため、一人では難しいことから他者の協力が必要となる。大半はプリントがずれた状態の写真であり、その写真だけでは特徴をうまく捉えられず、的外れなレポートになることもある。自身の目で見たことを中心に観察し、写真は補助的に使用させることが重要である。

また、スペクトル構造を対比させる実験として、蛍光灯 (Fig. 4b)、ハロゲン、白熱灯、LED、および水銀灯を準備し、それぞれのスペクトルの特徴を理解させている。何れも直接光源を見ないこと、および目を酷使しないように休憩を挟みながら観察することの2点を指示している。

課題については、観察を基に、それぞれのスペクトルの特徴 (濃淡や連続性など) を描画させ、説明を加えて、太陽光との違いを纏めさせている。また、スペクトルから分かることを各自調べさせ、実験レポートを作成するようにしている。

4. アンケート結果

2021年度受講学生 (前期・後期) において、実験に対してアンケート (Fig. 5) を行い、学生の意識調査と今後の課題について検討した。アンケートは受講者の8割程度の79名から回答があった。尚、受講生の教員免許取得予定に関しては、Table 1にまとめた。理科 (中学校・高等学校) の取得予定が28%と最も多く、予定なしの学生が57%であり、半数は興味本位で受講している。

工作実験に関する満足度 (Q2) は、「たいへん良い」「良い」が89%を占め、 $\chi^2(2) = 94.95$ ($p < 0.01$) で有意差があった。この理由としては、「自身で作成する」「身近な材料」などの意見が多く、好評であった。一方、「悪い」と回答した学生は、「工作が苦手」という意見であった。

実験の感想 (Q4) については、「たいへん面白い」「面白い」が87%であり、 $\chi^2(2) = 90.34$ ($p < 0.01$) で有意差が認められた。理由として「実際にスペクトルを見られた」「光源の違いによりはっきりと差異があった」などが挙げられていた。「面白くない」という学生は、「あまり大きな変化がみられなかった」という意見であった。

イメージの変化に関する質問 (Q6) では、54%の学生が「良くなった」と回答し、元々良かったので変更がない学生もいた。「身近な話題」「難しい器具を使わず、自身で工作した分光器で観測できた」「難しいことを行うと思っていた」などであった。

将来工作実験をしたいかに関する質問 (Q8) では、「教員になったらやりたい」「印象に残るので行う」など教職課程学生からの意見が多く集まった。一方、教職課程ではない学生からも肯定的な意見が多数あった。

5. まとめと今後の課題について

本学で行われているコップを用いた簡易分光器を作成した実験について紹介を行った。アンケート結果からは、概ね好評であり、現象の理解に繋がった可能性がある。一方、コップで作成することは、身近な材料で実験できることは良いが、個人差が大きいこともあり、正確性がやや劣り、あまり発展的な内容に言及できないこともある。若林 (2017) は、

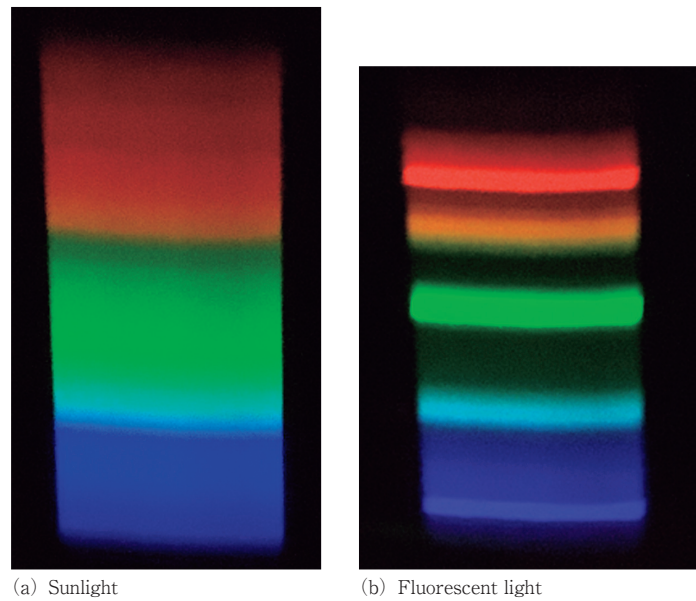


Fig. 4. Spectral photograph from a simple spectroscope.
 図4. 簡易分光器によるスペクトル写真

Table 1. Types of teacher licenses in participants of Experiments in Geoscience.

表1. 地学実験における取得予定教員免許

取得予定免許	人数	割合
理科 (中学校・高等学校)	19	28%
理科 (高等学校)	4	6%
農業 (高等学校)	3	4%
理科 (中学校・高等学校) 農業 (高等学校)	2	3%
理科 (高等学校) 農業 (高等学校)	2	3%
予定なし	39	57%
合計	69	100%

インターネット上において無料配布している画像ソフト ImageJ (アメリカ国立衛生研究所; NIH) を用いれば、画像ファイルから RGB データや輝度情報を数値化出来、表計算ソフトで波長校正を行うとスペクトルチャートを作成できると報告している。学生が主体的に実施可能なように道筋や方法を考える必要はあるが、今後考えていきたい。また、波長と色の関係を言及することは、画一化した簡易分光器 (JAXA 2012; 櫻田 2021) であれば可能であるため、学生が製作し易く、且つ簡単に観察ができるように改良を行う予定である。同時にそれに合う観察シー

トを作成し、理解を深める取り組みを行う。

謝 辞

本実験を行うにあたり、本学博士課程の畑中朋子さんには準備から後片付けまで肌理の細かい仕事をして頂きました。名古屋大学名誉教授の上田博氏と同西村浩一氏にはご助言などを頂きました。また、2名の校閲者には丁寧にコメントを頂きました。ここに拝謝いたします。エナゴの英文校正を使用いたしました。

文 献

- 松田時彦, 山崎貞治編 (2002), 高等学校地学 I, 啓林館, 248 pp.
 文部科学省 (2018b), 中学校学習指導要領 (平成 29 年告示), 東山書房, 329 pp.
 文部科学省 (2018a), 小学校学習指導要領 (平成 29 年告示), 東洋館出版社, 344 pp.
 櫻田安志 (2021), 高等学校における簡易な光学実験の実践, 弘前大学教育学部研究紀要クロスロード, 25, 47-53.
 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 宇宙教育センター (2012), 光のスペクトル観測器を作ろう—簡易分光器—, 科学工作, 16, 1-13.

第1回 太陽光スペクトルアンケート (20日までに回答してください)

アンケート方式: 匿名

教職課程 (教員免許取得希望) ですか?

❶

はい, 理科 (中学校・高等学校)

はい, 理科 (高等学校)

はい, 農業 (高等学校)

いいえ.

工作実験についてどのように感じますか.

❷

(2)のように回答した理由について記載してください

太陽光スペクトル実験の感想を教えてください. ❸

(4)のように回答した理由を記載してください.

この実験を通して科学 (地学・気象学) に関してイメージが変わりましたか? ❹

(6)のように回答した理由を記載してください.

将来, このような工作実験をしてみたいと思いますか? 自由に記載してください.

その他, 実験の内容について感想や要望がありましたら, 自由に記載してください.

学年❺

所属❻

❶ マークが付いている 必須項目に入力をお願いします。

Fig. 5. Questionnaire on simple spectroscope experiments.

図 5. 実験アンケート

Abstract

The theme of an experiment in geoscience conducted at Rakuno Gakuen University is solar spectrum observation. A simple spectroscope was manufactured by combining a diffraction grating with familiar materials, such as paper cups and drawing paper, and the spectrum was observed using the spectroscope. Additionally, we compared the spectrum of sunlight with that of other artificial light sources, including fluorescent lamps, halogens, LEDs, mercury lamps, and incandescent lamps. In this experiment, we understood the difference between those spectra even with a simple spectroscope. Results of the questionnaire handed to students show many popular opinions, such as “feel familiar with science” and “easy to understand,” of experimenting to make a simple spectroscope. Particularly, students in the teaching course wanted to incorporate craft-work experiments into their classes in the future.