

デジタル一眼カメラを使った簡単な観測体験の実習

～高校授業での分光観測および多色測光の実習の可能性～

原 正

埼玉県立豊岡高等学校

概要：ミラーレス一眼デジタルカメラと透過型レプリカ回折格子を組合わせて簡単に恒星の分光データを得ることができる。明るい恒星ならば色の違いを数値化できる。これを高校の授業で使ってみた。この仕組みだと高校生にとってデータ撮ることは容易であり、自らのデータを最後まで解析することで、観測活動だけでなく、学習活動そのものにも興味関心を高めることができた。

キーワード： 地学教育、高校、デジタルカメラ、分光、多色測光、観測実習

1. はじめに

PaofitsWG では、研究目的に得られた画像を学校の一斉授業で使える教材として公開している。これらの教材を使った授業で生徒に対してアンケートを実施すると、「自分でも観測をやりたい」と希望する生徒が3～4割になっていた。これらの教材では解析について学べるが、観測は済んでいるので実習の中に観測はない。著者の勤務する高校では、長年地学を選択している生徒全員を対象に天体観察会を実施しているので、このとき「観測」を組み込んで実習を組み立てて授業実践したところ、学習内容にたいする興味関心が高まった。

2. 観測とは

一般に使われる天体観測という言葉の意味は、珍しい天文現象や月、惑星などを肉眼あるいは望遠鏡などの装置を使って眺めることを指す場合が多い。流れ星を眺めることも流星観測といわれる。天文学の世界では、このような行為は「観望」という。また、学校では「観察」という行為があり、なにか自然現象を見て、スケッチなりコメントを書くなり、なんらかの記録を撮ることをいう。惑星のスケッチなどはこの「観察」に当たるだろうが、以前から観測と呼び習わされている。天文学の世界では「観測」とは、なにがしかの測定を行ってそこから数値データを得て、解析を行い、結果を導くことだと思う。古くは、ガリレオが月の欠け際に現れる地形の影を使って、月の山の高さを求めたりしている。したがって、観測には数値を扱うことがついてまわる。今回の授業実践では「観測」をきちんと理解してもらうことを目標に授業の立案をした。

3. 機材と方法

今回はデジタルカメラで恒星を撮影し（観測）、得たデータを解析して、そこから星の色についての情報を見いだす仕組みを考えた。普通の授業の生徒を対象とするため、データ取得が容易で複雑な画像処理を必要としないことも重視した。そのため、結果に高い精度は要求しないことにした。画像データの取得は機械が苦手な生徒にも抵抗感のないミラーレス一眼とし、レンズ後面に透過型回折格子を張り、簡単にスペクトルデータが得られるようにした。一眼レフでも同様のことは可能だが、生徒が日常扱っているレベルの機器とは言えず、撮影に余分な説明が必要になるし、もし、いちから始めるとすれば高価である。

データの解析には、解析ソフトマカリを使用した。画像を FITS 形式に変換することは授業時間的に難しく、また敷居を高くしてしまうので、カメラで撮影して記録される JPEG 形式のまま使うことにした。マカリは JPEG 形式の画像を測光できないので、グラフ機能を使って r g b の強さの比を読み取る実習とした。

(1) カメラの選定

レンズの前面に回折格子、あるいはプリズムを置いた実践は多い。しかし、分光装置をレンズ前面に置くと対象天体を斜めの方向にとらえねばならず、初心者には天体の導入が難しい。レンズの後ろ面に置く方法は一眼レフのように可動部があるカメラだと、回折格子とミラーが機械的に干渉する可能性があるが、ミラーレスだとその心配がない。また、受光素子が広くないと、スペクトルが収まらないため、ミラーレスでは最も広い

APS-C 規格のものとした。こうして、カメラを対象にまっすぐ向けるだけで簡単にスペクトルが得られるようになる。ただし、この方法では、焦点に光が向かう途中に回折格子を置くため、回折格子に平行光線は入らない。そのため、波長の長い赤側で格子（スペクトルの出るのとは垂直）方向への分散が大きくなってしまふ欠点がある。これは解析の際に注意すれば、あまり大きな問題にはならなかった。

分散したスペクトルの光は弱いので、カメラはある高感度の設定ができることが望ましい。今回使用した Sony 製の NEX-5N ボディーは高感度側は ISO25600 で、当時は他社と比較しても最高値であった。また、使用するレンズの後面に遮光板があり回折格子を張り込むスペースがあるのも重宝した。レンズは明るいものがあるので、同社の 50mmf1.8 を使用した。



(2) 回折格子

回折格子は 3B Scientific Corporation の 140 本/mm のものを使用した。ネット販売されていて手に入りやすい。製品は 35mm スライドフィルム用のマウントに装着されているが、簡単にフィルム状の回折格子を取り出せる。レンズに合わせてカットし、接着テープで遮光板に貼り付けた。分散が異なる 530 本/mm と 140 本/mm を購入したが、使ってみると 530 本/mm のものは分散が大きく、スペクトルが画角に収まるものの、1 等星でも十分な明るさが得られなかった。授業では 140 本の方を使った。



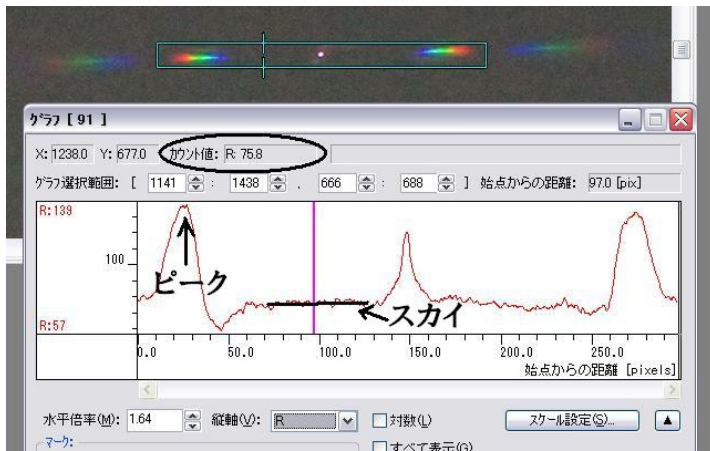
(3) 観測の授業

放課後 1 時間程度、望遠鏡による観察を行った後、データを撮った。三脚にカメラをのせ、色の明瞭に異なる恒星を 1 人あたり 2 枚撮影させた。天体の導入は各自三脚を操作してとらえさせた。ライブビューを見ながらカメラレンズを目的の恒星に向けるだけで簡単に導入できる。また、ライブビューで数人一度に撮像手順を説明でき、時間短縮に役立った。スペクトルも恒星像の横に現れるので、目標をとらえやすい。また、生徒同士でライブビューを見ながら教え合うようすも見られた。撮像後、観測ログをノートに書かせた。観測自体は毎回 8 名程度の参加者で 10 分もあれば終わった。余計なことだが、学校は光害のある場所で空の状況を見ながら露出を設定していたが、ひよんなことから露出をオートにするとちょうど 1~2 等星のスペクトルがうまく撮れることがわかった。偶然の結果だがこれも収穫であった。



(4) 解析

解析は PC 1 台を二人で共有して行った。データは全員分を USB メモリにコピーして、ログを見ながら自分のデータだけ使わせた。目的の星以外にも星も写っているので何を撮影したものか後でも容易に判断できる。



星の色をデータ化するために、JPEG 画像をマカリで開いてグラフを作成する。グラフの表示プレーンを変更して青と緑のみを個別に表示する。空の明るさ (スカイ) とピークの値を読んでワークシートに記入する (図 2)。2 時間の授業時間を要したが、PC を一人一台にすれば 1 時間に収まると思われる。

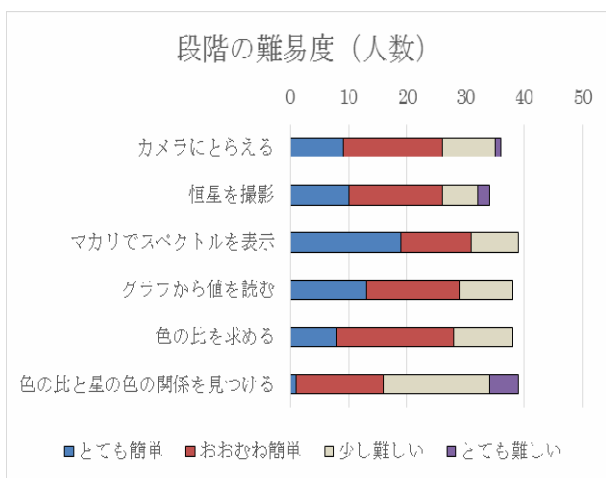
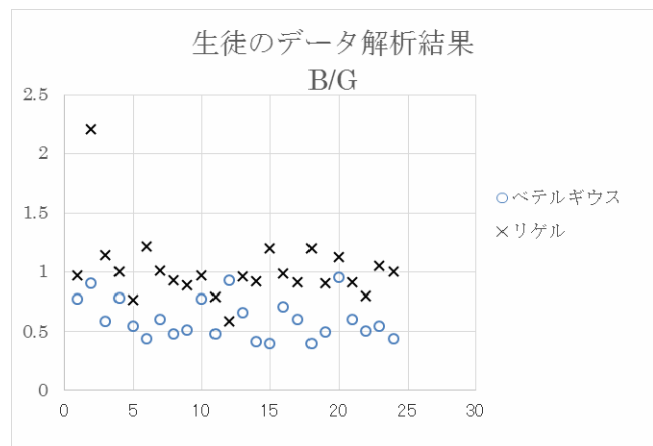
グラフを表示して、縦軸を B (青)、G (緑) それぞれ選択して表示し、ピークの値からスカイの値 (左図参照) を引いたものを色 B および色 G の観測値とした。3 回測定した色 B と色 G の観測値の平均を求めた。色 B、色 G

はあえて等級化せず、そのままの数値を用いて使って値 B/G を計算させた。値 B/G は色指数 $B-V$ を模したものである。

3. 結果

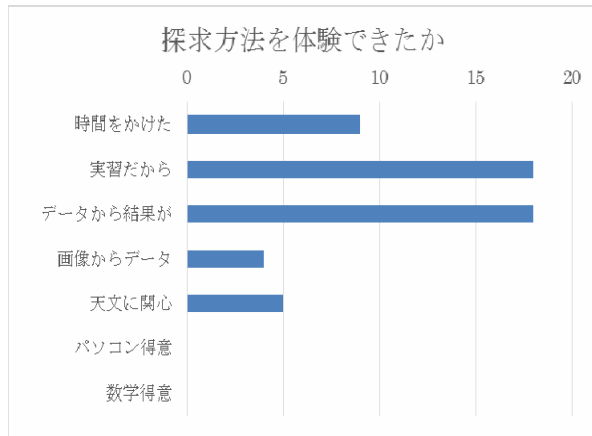
生徒が求めた B/G の値のうち、ベテルギウスとリゲルをセットで撮影したデータを右に示す。

ベテルギウスは 0.5 付近に、リゲルは 1.0 付近に値が集中した。生徒の値は全体では、ばらつきはあるが、個人の求めた値に直目すると、一人の生徒をのぞいて、赤いベテルギウスは下に、青いリゲルは上に分布している。逆転の生徒は観測には参加しておらず、恒星の同定を誤ったものと考えられる。今回の方法でリゲルとベテルギウス程度ならば数値的に区別できることがわかった。



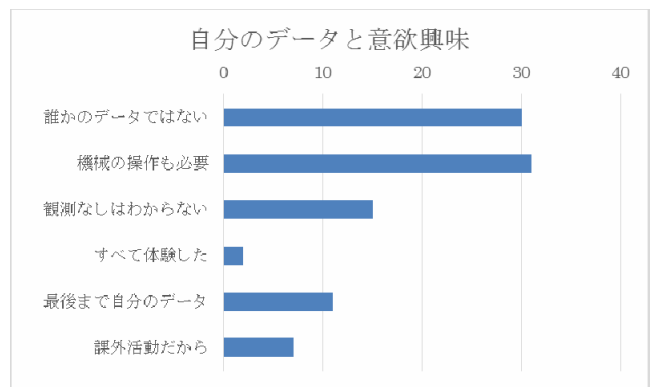
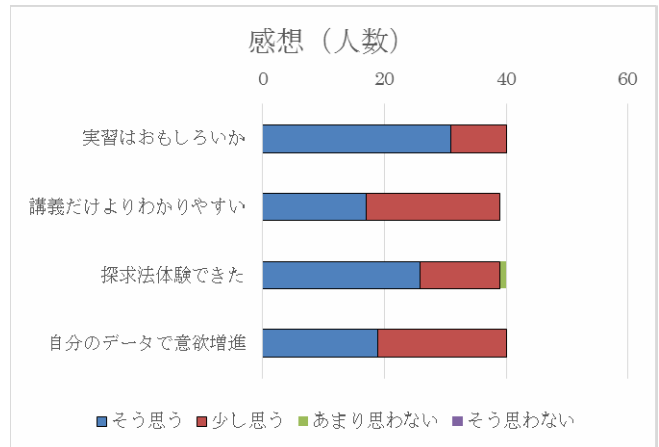
このように、観測では説明を加えなくても生徒は「シャッターを押すだけ」に近い状態でデータがとれ、解析にも複雑な処理を施さずこのような結果を得た。実践後のアンケートで、観測から解析までの生徒が感じた各段階の難易度を聞いてみた。40名の回答からは、カメラにとらえることや恒星を撮影することに難しさを感じる割合が少し多くなるが、簡単であると答えた生徒の方がね 2/3 近くに達している。結果を考察して色の比と星の色の関係をきちんと理解するのは難易度が高かったようだ。マカリを使う解析部分は難易度は高くないと感じる生徒が多い。

実習後の感想では探究法を体験できたとする生徒がほとんどで、自分のデータなので意欲が増したと全員が答えている。また、探求法を体験できたと答えた生徒39人にその理由を（3つまで）聞いてみたところ、データから結果が得られたからと答えた生徒がのべ18人となっている。



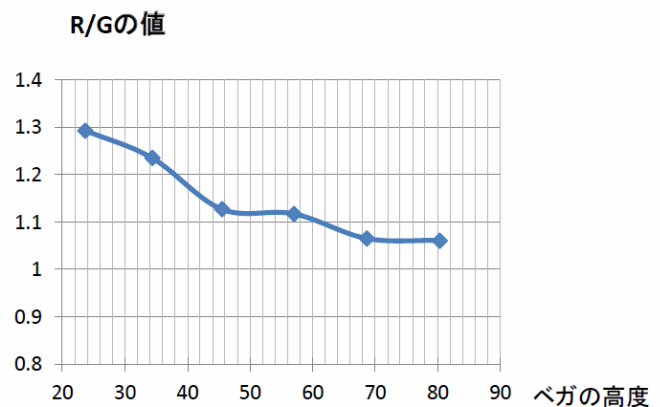
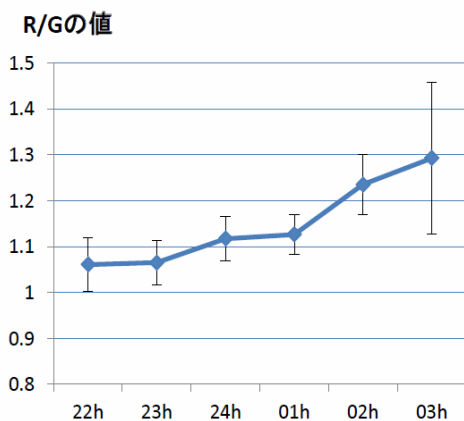
自分のデータで意欲が増進したと答えたものは回答者全員であり、自分がデータ取得から関わることで実習に対する興味関心を高める効果が顕著になっている。その理由をたずねてみると、誰かのデータではないからが30人、自分のデータだから最後まで取り組めたと答えたものも11人に達している。自分でデータを得、解析できたことの結果がこのような感想となっているのだろう。

今回の試みは手軽であり、高校での授業実践に容易に取り入れることができる。また、取り入れることで観測と解析を通じて科学的な探求を体験させることに有効であることがわかった。また、自らの関わりによって、意欲が増したことも確認できた。「観測」の体験をテーマとして始めたことだが、意欲の増進なども確認できたことは大きな収穫であった。



4. 部活動レベルで

上記方法を科学系の部活動(天文部)での生徒の探求活動に取り入れてみた。夏にベガを一晩観測して高度による色の変化を同じ解析手法で追ってみた。この日天気は湿度が高く下層大気はもやが存在する状況であったが天頂付近は比較的良好に見えた。ベガはほぼ天頂から西に傾き高度20°まで観測できた。



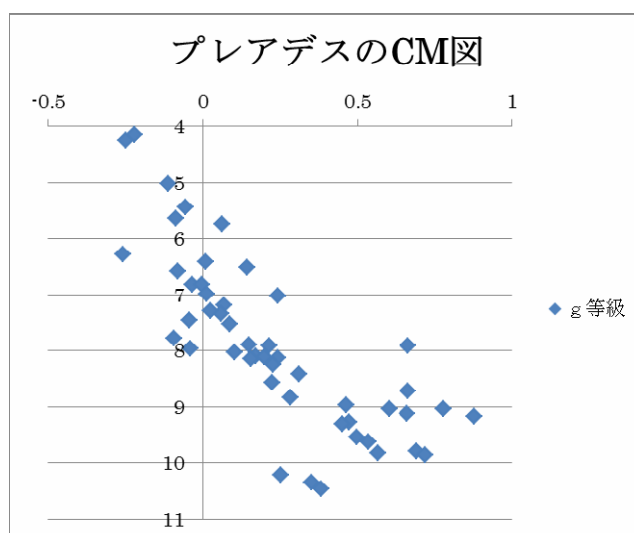
前ページ左の図はRプレーンとGプレーンを用いて描いたR/Gの値の時間変化で、バーは標準偏差を表す。右の図はR/Gのベガの高度との関係をグラフ化した。時間とともに高度が低下し、赤くなっている様子をとりえることができた。この観測とデータ処理は入部して半年程度の本校1年次生が取り組んだが、観測活動未経験の生徒でもこのような結果を得ることができた。気象データとつきあわせるなどすると、大気の研究に発展させることも可能であろう。

5. 観測経験を授業に取り入れる発展的な試みについて

これまで、RAW画像からFITSにするには、カメラメーカの専用ソフトでTIFF形式にし、これを天文ソフトでRGB分解した上でFITS化するという大変な労力と時間を要し、また、処理手順が複雑なため人為的なエラーも混ざり込み、神経を使うため、部活動でもなかなか取り組めず、授業に取り入れることは困難であった。しかも、苦勞した割には制度が悪かった。また、RAW画像をFITSにするソフトにIRISがあるが、ベイヤー配列ではきだされるため、RGB分解にはファイルの知識に精通した上で、処理にもう一手間かかる。

星空公団という日本の夜空の明るさを測定している研究者集団がある(<http://www.kodan.jp/>)。以前はフィルム撮影された画像から星空の明るさを判定する標準的方法を提案して全国から協力を得てデータ化していた。近年デジタルカメラの急速な発達により、フィルムカメラによる方法に変わるものとして、デジタルカメラのRAW画像を使うことを検討されている。その目的のためデジタルカメラのRAW画像から天文学でのデータの標準であるFITS画像に変換するソフトRAW2FITSを開発し、公開している。このソフトを使うことで、RAW画像を効率的にFITSに変換でき、しかも測光を目的にしているの、今回のような目的には十分に耐えられる。

そこで、授業に取り入れるまでの前段階として、天文部での探求活動のテーマの一つとして、星団のHR図作成(正確には色等級図)を試みた。サンプルとした星団は主系列がしっかり青から表れることが期待できるプレアデスとした。撮影は口径8cmの望遠鏡にデジタルカメラを取り付けて直焦点で撮影した。APS-Cサイズでプレアデスがほぼ画角いっぱい撮影できた。解析の結果、右の図のようになった。作成法は次の通りである。RGB分解した画像のGとBについて測光をし、明るい恒星を基準に見かけの等級に変換した。縦軸にG画像から求めた等級を、横軸にB画像から得た等級からG画像から得た等級を引いた値を求めた。これは色指数 $B-V$ に相当し、色を表すと考えている。その上で両者の散布図を作成した。もちろん、ジョンソン測光システムに則った色指数ではないので、正確な意味でのCM図とは言い難いが、ごらんのように6等級差にわたって、主系列が斜めのラインとして表現できている。



このように、これまで教科書の図あるいは数表でしか表現されなかったHR図を、生徒自身がデジタルカメラで撮影した画像を用いて自ら作成できる可能性が見えてきた。今後は地学の授業に取り入れることを試行したい。現時点では、来年度の地学選択者に画像の撮影をさせてデータを残すことを放課後の課外授業として行っている。

6. 謝辞

本研究には埼玉県立豊岡高校の実践当時の2年生がよく協力してくれた。ここに感謝する。また、同校天文部1年次生には、今回の発表のためにいくつかの研究成果やデータを供与してもらった。ここに感謝する。

本研究は日本学術振興会の平成24年度科学研究費補助金(奨励研究)「ミラーレス一眼デジタルカメラによる天体の分光・測光システムと教材化の研究」(課題番号24909042)の助成を受けて行った。ここに感謝する。