

安価な望遠鏡とデジタルカメラを使用した教材用天体写真の撮影

Astrophotography as a Teaching Aid in Science Education
by Using Inexpensive Telescopes and Digital Cameras

原 稔
HARA Minoru

最近のデジタルカメラの進歩は目覚ましく、低価格の機種でも高度な機能をもつものも多く、初等教育の授業において児童たちが自在に使いこなしている姿も珍しくはない。本研究では、これらのカメラと安価な望遠鏡を組み合わせた天体写真の撮影をもくろみ、基本的な検討を行った。望遠鏡には、子ども向け科学イベントにおける望遠鏡製作教室でよく使用されている安価な色消しレンズ望遠鏡キットを使用し、小学校理科第6学年の単元「月と太陽」において月と太陽の表面が観察できる写真を撮影することを主な目的とした。さらに、単レンズと老眼鏡レンズを対物レンズとして使用することを試み、安価な赤色アクリル板をフィルターとして使用すると好結果が得られることを明らかにした。

キーワード： 教材用天体写真、安価望遠鏡、自作木製架台、赤色フィルター

1. はじめに

小学校理科における天体に関する単元は、授業時間中に観察ができるのは太陽と月に限られるため、取り扱いが難しい分野と言われている。その太陽と月については、月の形が日々変化する原因として太陽との位置関係に注目する学習が古くから行われてきた。平成20年の学習指導要領の改訂では、月と太陽の位置関係に加えて、月と太陽の表面を比較する内容が追加された¹⁾。そのため、各社の教科書には大小のクレーターが明瞭に見られる月の写真や、大きな黒点が見られる太陽の写真が掲載されるようになった。また、観察に必要な器具としては、天体望遠鏡、双眼鏡、太陽観察板などが挙げられている。

一方、最近のデジタルカメラの進歩は目覚ましく、安価で取り扱いが容易な機種から高価で撮影対象が特化されているものなど様々な機種が市販されている。これに伴い、学校教育の現場では理科に限らず多くの教科で、子ども達の追求学習における記録手段としてデジタルカメラが使用され、クラスでの話し合いの場でその写真をスクリーンに投影して説明するようなことは日常的に見られるようになってきた。とくに最近のカメラが高感度化している

ことから、天体単元においては比較的短い露出時間でも肉眼では確認しにくいような暗い星を点像として写すことができ、星座の観察に役立てることができる。また、近年のカメラはほとんどがズームレンズ付きであるため、望遠側にすると月の形と周囲の星座を同時に記録することも容易になった。さらに、デジタルカメラを使用した天体写真の撮影に関しては、初心者向けの解説書が数多く出版されている^{2), 3), 4)}。

本研究では、太陽の黒点や月のクレーターが分かる写真を撮影するために、デジタルカメラと安価な望遠鏡を組み合わせて検討を行った。望遠鏡には、子ども向けの科学イベントにおける望遠鏡手作り教室でよく利用されている色消しレンズのキット、単レンズ式望遠鏡および百元ショップの老眼鏡を利用した望遠鏡、これらの単レンズ式望遠鏡に赤色フィルターを付けたもの等を使用して検討した。

2. 撮影準備

2.1 撮影用機材

2.1.1 カメラ

カメラは、次の2種を使用した。

(1) コンパクト・デジタルカメラ

Canon製PowerShot S120型を使用し、レンズは焦点距離5.2mm~26.0mm (35mmフィルム換算で24mm~120mm)、開放絞りF1.8~8.0のズーム式である。有効画素数は1,210万画素、シャッター速度は250~1/2,500秒、ISO感度は80~12,800である。

(2) ミラーレスデジタル一眼レフカメラ

Panasonic製DMC-GF5型を使用し、交換レンズH-PS14042は焦点距離14mm~42mm (35mmフィルムカメラ換算28mm~84mm) のズーム式であり、開放絞りはF3.5~F5.6である。撮像素子は4/3型MOSセンサーで有効画素数は1,210万画素である。シャッター速度は60~1/4,000秒、ISO感度は160~12,800である。

2.1.2 望遠鏡

望遠鏡には次の4種を用いた。図1に、このうちの(1)から(3)の安価な望遠鏡を示す。

(1) オルビス社製スピカ望遠鏡

望遠鏡組み立てキットは、口径40mm、焦点距離420mmの色消し対物レンズ、焦点距離12mmの接眼レンズ、紙管鏡筒、等倍ファインダー、カメラ三脚取り付け具から成っており、定価は2,500円であった。その他に、接眼レンズとして同社製K20LmmおよびH25mmも使用した。

(2) 単レンズ対物レンズ望遠鏡

オルビス社製シングルレンズを使用した。レンズの口径は40mm、焦点距離は460mmであり、定価は300円であった。鏡筒は、ラップ材の芯や画用紙を組み合わせて作製した。

(3) 老眼鏡レンズ望遠鏡

百円ショップの度数2の老眼鏡を使用した。老眼鏡の度数は、メートルで表した焦点距離の逆数で表されるため、度数2の凸レンズの焦点距離は50cmである。購入したガラス製およびプラスチック製レンズの老眼鏡のうち、比較的良い像が得られたプラスチック製老眼鏡を使用した。

(4) フローライト色消しレンズを用いた高級望遠鏡

高級な望遠鏡の例として、フローライトレンズを後玉に配置した色消しレンズを対物レンズにしたタカハシ製作所製FC-76DC型を使用した。対物レンズは口径76mm、焦点距離は570mmである。この望遠鏡を用いて月の写真を撮影し、他の望遠鏡で撮影した写真の画質を比較するための参考とした。この望遠鏡の価格は、上記スピカキットの50倍以上である。

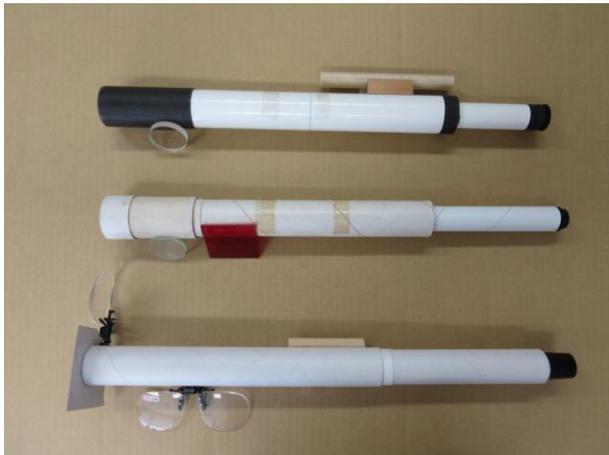


図1. 使用した3本の安価な望遠鏡

上から、スピカ望遠鏡、単レンズ望遠鏡、老眼鏡望遠鏡を示す。立てかけてあるのは、それぞれの対物レンズである。色消しレンズは単レンズより厚いことが分かる。中央の赤い板は、2・1・4で説明するフィルター用のアクリル板である。

2・1・3 望遠鏡の架台

望遠鏡を固定して使用するために、カメラ用三脚にミザール製K型経緯台とビクセン製プレートホルダーSXを取り付けて使用した。また、望遠鏡とカメラをプレートホルダーに固定するために、図2のような木製架台を製作した。通常の金属製鏡筒の望遠鏡にカメラを固定する場合には、その鏡筒にカメラ用固定具を介してカメラを取り付けることができるが、紙管製鏡筒の望遠鏡ではカメラの重さを支えきれない。そこで、図2の木製架台では、望遠鏡とカメラを別々に支え、望遠鏡



図2. 自作木製架台に取り付けたスピカ望遠鏡とミラーレス一眼レフカメラ

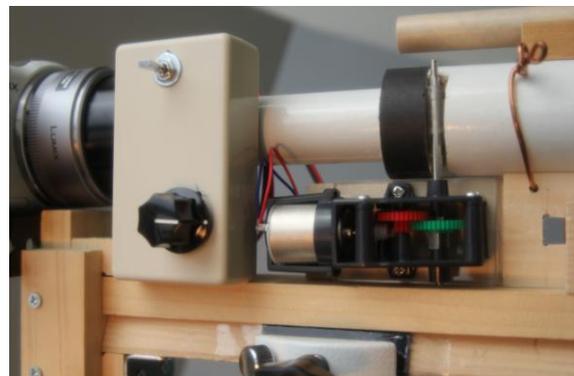


図3. 電動式ピント調節器

低速で回るギアボックスの回転軸が鏡筒の溝の中で接眼鏡筒に接している。

は前後に動かし、カメラは望遠鏡の接眼鏡に接するように上下・左右に動かすことにより、望遠鏡の光軸とカメラの光軸を一致させるようにした。また、望遠鏡のピント合わせの際に接眼鏡筒に触れるとカメラファインダー内の像が揺れてピント合わせがしにくくなるので、図3のような電動式ピント調節器を作製して取り付けた。タミヤ製ウォームギアボックスHE型と付属のモーターを利用して、シリコンゴム管を被せたギアボックス回転軸が接眼鏡筒に接するように鏡筒に溝を作り、コントローラーボックスのバネ付きスイッチを前後に切り替えることで軸の回転方向を反転させて接眼鏡筒を前後させ、接眼鏡筒には手を触れずにピント合わせが行えるようにした。

2・1・4 その他

単レンズを対物レンズとして使用した望遠鏡では色収差が避けられないため、光の波長により実像のできる位置がずれ、ピント合わせが困難である。そこで、赤色光だけを望遠鏡に取りこんでピント合わせを容易にするためのフィルターとして、厚さ2mmの三菱レイヨン製アクリル樹脂、アクリライト（赤色透明）を適当な大きさに切り、対物レンズの前方に装着して使用した。

赤色アクリル板の分光透過曲線の測定には、島津製作所製分光光度計UV-1200型を使用した。

太陽像をコリメート法で撮影するために、望遠鏡の対物レンズの前方に太陽光の99.999%を反射する太陽眼視用減光フィルムを使用した。減光フィルムには、ガラス製減光フィルターより格段に安価なバーダープラネタリウム社製アストロソーラーシートをオルビス社から購入し、必要な大きさに切断して図4のように望遠鏡に装着して使用した。

太陽を安全に多人数で同時に観察する方法として、太陽投影板を使用する方法が一般に採用されていて、木製投影板の作製も容易である⁵⁾。この際、プラスチック製枠を使用した安価な接眼鏡を使用すると、太陽熱によってプラスチック製枠が融けて破損する恐れがある。これを防ぐには、接眼鏡にホームセンターで入手できる図5のような金属製ワッシャー（M6×22型、M10×25型）をセロテープなどで取り付けるとよい⁶⁾。

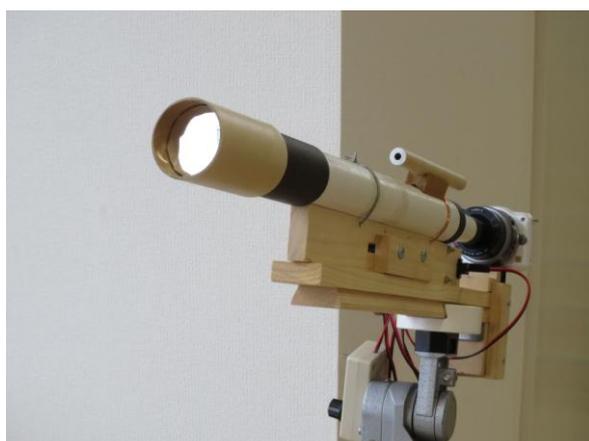


図4. 対物レンズ前面に減光フィルムを装着したスピカ望遠鏡



図5. 接眼鏡を保護するワッシャー

2・2 撮影方法

太陽と月は、他の天体に比べて非常に明るいので、撮影における露出時間はかなり短くて済む。そのため、モータードライブ付き赤道儀で追尾撮影をする必要はなく、固定撮影で十分である。本研究では、望遠鏡を撮影する天体の方向に向けやすくするために、微動付き経緯台を使用した。

望遠鏡を利用した天体写真の撮影方法としては、直焦点法とコリメート法が一般的である。直焦点法では、望遠鏡の接眼レンズとカメラレンズを取り外し、対物レンズをカメラ用望遠レンズとして使用するため、カメラはレンズ交換が可能な一眼レフカメラに限られる。これに対し、コリメート法では、人が望遠鏡を覗くように、人の目の代わりにカメラを置いて撮影する方法であり、レンズ交換ができないカメラでも利用できる。そこで、小学生が撮影することも想定して、本研究ではすべてコリメート法で撮影した。

天体写真の撮影では、ピントの合わせ方は特に重要である。本研究では、先ず、明るい星に望遠鏡を向け、カメラの液晶ファインダー内の星像が拡大画面で最も小さく見えるように望遠鏡とカメラのピント調節を行い、その位置を固定した後、望遠鏡を月の方向に向けて撮影操作に移った。カメラはすべてマニュアルモードを使用し、ズームレンズの焦点距離は望遠側の端に設定した。また、シャッターを押す際のブレを防ぐために、常にセルフタイマーを使用して撮影した。

3. 結果および考察

本研究で使用した望遠鏡の対物レンズの光学特性を模式的に図6に示す。白色光は可視光の全ての成分を含むが、図6では赤色光と青色光だけを代表として記載してある。材質の異なるガラスで作製した凸レンズと凹レンズを組み合わせた色消しレンズの場合には、レンズを通過した赤色光・青色光とも焦点は一致する。一方、単レンズの場合には、屈折率の高い青色光の方が手前で焦点を結び、屈折率が低い赤色光は後方で焦点を結ぶ。このため、単レンズで望遠鏡を構成すると、接眼鏡筒を抜き差ししてもピントが合わず、像がクリアに見える点を見つけれない。ちなみに、本研究に使用した単レンズの場合には、カメラ用のRGB三色フィルターの赤または青フィルターを対物レンズの前に装着して遠方の景色を見ると、ピントが合う位置が3~4mm程度ずれていた。そこで、単レンズの前に赤色透明板を置くと、見える像は赤色光による情報のみになるが、月や太陽の撮影では問題はなく、ピント合わせが容易になるというメリットが生ずる。本研究でこの赤色フィルターとして使用した赤色アクリライトの分光透過率曲線を図7に示す。図7 からこ

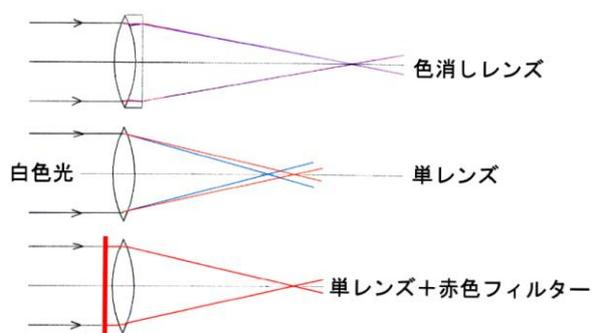


図6. 色消しレンズと単レンズの光学特性

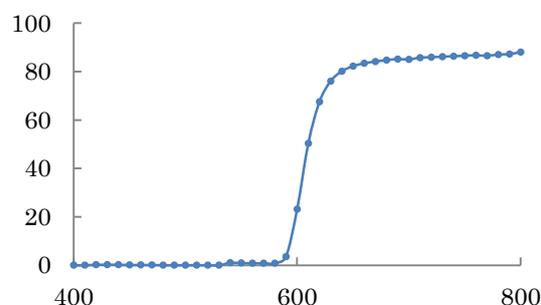


図7. 赤色アクリル板の分光透過率曲線

アクリル板：赤色アクリライト、厚さ2mm

のアクリル板は、波長が600nmより短い光はほとんど通さず、640nm以上の光は約80%を通す良好なフィルターとなることが分かる。多くのデジタルカメラでは赤色光の長波長側はカットされているので、カメラの撮像素子に800nmの光が80%も到達するわけではない。

3・1 色消しレンズ望遠鏡による撮影

はじめに高級な望遠鏡で月を撮影して、画像を比較するための資料とした。図8は、口径76mm、焦点距離570mmでフローライト（蛍石）を利用した研磨精度も良好な色消し対物レンズ望遠鏡で撮影した月齢19の月である。口径は本研究で利用した他の望遠鏡の2倍近くあるため、解像度も優れており、細部にわたり精細な画像である。とくに欠け際は陰影がくっきりとついているため、画像を高拡大すると小さなクレーターも確認できる。図9は、口径40mm、焦点距離420mmの安価な色消しレンズ望遠鏡で撮影した月である。比較しやすくするため、各画像は一部を拡大してほぼ同じ大きさにしてある。図8に比べると、全体的にピントが甘く見えるが、図9だけを単独で見ると、ある程度小さいクレーターも確認できるし、いわゆる海の部分もしっかり写っている。小学校の理科教科書ではこの程度の画像がしばしば掲載されていて、授業の資料として十分に利用できると思われる。簡単な器具を使って身近な場所で撮影した月の写真が、教科書の写真とほぼ同じであることが確認できただけでも、子どもたちの興味・関心は増すに違いない。



図8. 高級望遠鏡を用いて撮影した月齢19の月
望遠鏡：タカハシ製FC-76DC、25mm接眼鏡
カメラ：Panasonic製DMC-GF5、f42mm、
F5.6、1/100秒、ISO200



図9. 安価な望遠鏡を用いて撮影した月齢20の月
望遠鏡：スピカ望遠鏡、25mm接眼鏡
カメラ：Panasonic製DMC-GF5、f42mm、
F5.6、1/25秒、ISO200

3・2 単レンズ望遠鏡による撮影

口径40mm、焦点距離460mmの単レンズを対物レンズとした望遠鏡で撮影した月を図10に示す。色収差が激しく、月周辺部に青や黄色の本来はないものが写っている。また、全体的に焦点が合わず、ぼんやりとした感じに写っている。しかし、海の部分もしっかりと確認できるし、欠け際の大きめのクレーターが確認できる。これに対して、単レンズの前に赤色アクリライトを装着して撮影した月が図11である。図10に比べ、真っ赤な月はやや異様であるが、月の輪郭や海の部分がクリアであり、欠け際や海の中のクレーターもしっかり確認できる。300円の対物レンズに安価なアクリライト板を赤色フィルターとして使用した効果は絶大といえる。赤色の月が問題であれば、簡単な画像処理ソフトで白黒のモノクロに変えることは容易である。



図10. 単レンズ望遠鏡を使用して撮影した
月齢20の月
望遠鏡：単レンズ対物鏡、25mm接眼鏡
カメラ：Panasonic製DMC-GF5、f42mm、F5.6、
1/25秒、ISO200



図11. 単レンズ望遠鏡と赤色アクリル板を使用
して撮影した月齢20の月
望遠鏡：単レンズ対物鏡+赤色アクリライト板、
25mm接眼鏡、
カメラ：Panasonic製DMC-GF5、f42mm、F5.6、
1/10秒、ISO200

3.3 老眼鏡レンズを使用した望遠鏡

最も安価な望遠鏡として、百元ショップの老眼鏡と虫めがねを利用した低倍率のケプラー式望遠鏡を作ることができる。低倍率であれば色収差もそれほど気にならず、望遠鏡の仕組みを学びながら、月のクレーターなどを見ることができる。本研究では、百元ショップの度数2の老眼鏡レンズを対物レンズとし、安価な25mm接眼鏡を使用した20倍程度の望遠鏡で、赤色アクリライトをフィルターにして撮影した月の写真を図12に示す。海と陸の区別、欠け際の大きめのクレーターは見られるが、図11に比べると全体的にかなり不鮮明な写りになっている。月の表面の海や陸の様子、クレーターなどを観察するのは難しいが、月の形を拡大して観察したり、観察データとして記録・保管したりすることは十分に可能であることが分かった。



図12. 老眼鏡レンズ望遠鏡と赤色アクリル板を使用して撮影した月齢20の月

望遠鏡：老眼鏡レンズ対物鏡+赤色アクリライト板、
対物鏡焦点距離：約500mm、25mm接眼鏡
カメラ：Panasonic製DMC-GF5、f42mm、F5.6、
1/10秒、ISO200

3・4 太陽写真の撮影

スピカ望遠鏡の対物レンズの前方に図4のように減光フィルムを装着し、太陽のコリメート撮影を行った。この減光フィルムを望遠鏡に装着すると、眼視でも太陽を安全に観察できると紹介されているが、小学校の授業では撮影に限った方が無難である。なぜならば、どの望遠鏡でも太陽を見ることができると子どもたちが誤って理解すると危険だからである。図4の方法で得られた太陽画像の例を図13に示す。図13の撮影時は太陽活動が活発ではない時期であったとみえ、太陽黒点を確認することは出来ない。しかし、図14のように画像を拡大してみると、左端部分と右端部分に小さな黒点を確認することができた。太陽投影板を使用する方法に比べて強拡大が可能であるので、小さな黒点の確認や大き目の黒点の細部の観察に適しているといえる。



図13. 減光フィルムを用いて写した太陽

撮影日時：2016年2月25日 11:10

望遠鏡：スピカ望遠鏡、25mm接眼鏡

減光フィルム：アストロソーラーシート

カメラ：Canon製PowerShot S120、f26mm、F8、

1/125秒、ISO100



図14. 図13の太陽の左端と右端を拡大した画像

4. おわりに

身近にある安価な望遠鏡でも、工夫次第で理科授業に利用できる天体写真を容易に撮影できることが明らかになった。

(1) 安価な色消し対物レンズを用いた紙管鏡筒をもつ望遠鏡に、デジタルカメラを取り付けるための簡単な木製架台を製作して利用すると、月のクレーターや太陽の黒点などが写った天体写真を容易に撮影することができた。

(2) 模型製作用のギアボックスと付属モーターを利用して、望遠鏡の電動ピント調整器を製作して木製架台に取り付けたところ、接眼レンズ鏡筒に触れずにピント合わせが可能になった。とくに高倍率での天体写真撮影の際は、望遠鏡に手を触れるだけでカメラファインダーの中の天体が揺れてピント合わせが難しくなるが、その点が解消された。

(3) 赤色アクリル板をフィルターとして利用すると赤色モノクロ望遠鏡になり、安価な単レンズを対物レンズとした望遠鏡でも色収差の影響を軽減でき、ピント合わせが容易になるとともに、天体写真の解像度を向上させることができた。

簡単な仕組みの手作り器具を取り付けるだけで、このように観察環境を改善することができた。授業に必要な器具を自作することの長所として、必要に応じて修理や改良が自由にできること、理科教育で重視されている「ものづくり」の観点からも子どもたちに実例として好ましい影響を与えられることなどを挙げるができる。

(平成27年度日本理科教育学会北陸支部大会(平成27年10月31日、金沢大学)において本研究の一部を発表した。)

参考文献

- 1) 文部科学省, 小学校学習指導要領, 東京書籍, p.190(2008)
- 2) 中西昭雄, デジタルカメラによる天体写真の写し方, 誠文堂新光社(2010)
- 3) 榎本 司, デジタルカメラによる月の撮影テクニック, 誠文堂新光社(2013)
- 4) 谷川正夫, 驚きの星空撮影法ーデジタル一眼と三脚だけでここまで写るー, 地人書館(2014)
- 5) 原 稔, 富山国際大学子ども育成学部紀要, 第6巻, p.123(2015)
(<http://www.tuins.ac.jp/library/pdf/2015kodomu-PDF/2015-08hara.pdf>)
- 6) オルビス社よりの私信