

地学実験における太陽観察実習とその評価

小出 美香*

Practice of solar observation and its evaluation in the earth-science experiment lesson

by

Mika KOIDE*

要 旨

大学の地学実験の授業で太陽表面を観察する実験・実習を行い、新たに工夫した方法を試み、学生へのアンケートにより有効性の調査を行なった。太陽観測は失明の危険があり、配慮すべき事項が多く、高度な安全対策が必要である。中高の理科教員免許取得を希望する大学生達が天体観察とその記録、考察を実習を通して経験することで、将来教員として、地学実験での指導を行う基礎技術を身につけた。本実験実習で行なった太陽観察では、従来の天体望遠鏡を用いる方法に加えてソーラー Scope を使用する方法を試みた。国立天文台太陽観測所やひので衛星のデータを利用する方法も提案した。これらの試みは深い考察につながり、たいへん有効であることが示された。また、安全面の対策と教育効果を高めることができた。本授業での経験は将来彼らが教育現場に立った時に役立つと思われる。

Key Words: 太陽、太陽観察、太陽画像、地学（天文）教育

1. はじめに

2015年度全国学力・学習状況調査分析では、小・中学校ともに、「観察・実験の結果等を整理・分析した上で、解釈・考察し説明すること」等に課題が見られる一方、「自然の中で遊んだことや自然観察をしたことがある」「観察や実験を行うことは好き」と回答した児童・生徒ほど理科の平均正答率が高く、観察・実験を通じた理科の学習指導の改善・充実が求められている。他方、天文分野に関する実習経験の乏

しい教員は天体観察を通じた指導を敬遠する傾向があるため、中学高校の理科教員を目指す大学生に対して天体観察実習を必修項目として取り入れることは重要である。なかでも太陽は昼間でも観察できるため、天体観察実習の教材として有効である¹⁾。

そこで、崇城大学では中高理科教員免許取得希望者の必修授業「地学実験」において、太陽観察実習を2016年度から実施している。その目的は、身近な恒星である太陽の基本的な性質や構造について、実習を通して体験的に理解を深めることである。

この講義を受けるのは3年生で、彼らは前年

*崇城大学非常勤講師

度に「地学」の授業で太陽についての基本的な知識を座学で学んでいる。中学高校理科の太陽に関する内容には、「太陽の表面を観察してみよう」(中学)²⁾、「望遠鏡による太陽表面の観察」(高校)³⁾といった実習が含まれる。また、高校地学の教科書にはインターネットを使って太陽活動と宇宙天気を調べる実習も紹介されている⁴⁾。太陽観測は失明の危険があり、高度な安全対策が必要である。従って、中高の理科教員志望の学生達が実際に自分の手で機材を操作して安全な方法で太陽観察を行う方法、また観察した結果を記録し、公開されているオンラインのデータなどを参照して結果の解釈と考察を行う方法を身につける機会を提供することが必要である。

本稿では、崇城大学2017年度前期の「地学実習」で行った太陽観察実習の内容を紹介する。また実習前後に履修者にアンケート調査を実施し、天体観察の経験や太陽に関する基本知識の有無を調べ、実習後それがどう変化したかということから本学習の評価を行なったので、学生の感想と合わせてその結果を報告する。

この実習が従来の方法と比べて新しいと思われるのは、以下の2点である。

1. 天体望遠鏡に太陽投影板を取り付けて太陽表面を観察する方法はよく紹介されたり行われたりしているが、本授業ではそれに加えて、教育現場で手軽かつ安全に使えるソーラースコープを使用した。太陽投影板を取り付けた天体望遠鏡とソーラースコープ各1台を学生達が自らの手で操作し、2種類のやり方で太陽観察を行う方法を習得できるようにした。また、日食観察の際などに広く使われる日食メガネでも太陽を見る実習を行い、学生が将来教員になった時に日食メガネでの安全な太陽観察を指導できるようにした。
2. 高校地学の教科書では、インターネットを使って太陽活動と宇宙天気を調べる方法として、アメリカのSOHO衛星および日本のSWC宇宙天気情報センターのサイトが紹介されている⁴⁾。一方、日本では2017年現在地上で国立天文台太陽観測所の黒点望遠鏡と太陽フレア望遠鏡、宇宙でJAXA/国立天文台

のひので衛星が太陽を観測しており、毎日の太陽画像をオンラインで配信している^{5) 6)}。これらの日本が誇る太陽望遠鏡とその活動についても学生達に知ってもらいたいと思い、本授業ではそのデータを活用した。

2. 実習前後のアンケート調査

実習前に、天体観察の経験と太陽についての基本知識の有無について履修学生の現状を知るためにアンケート調査を行なった。また、実習後、それがどう変化したかを調べるために再度アンケートをとった。アンケート回答者は熊本県崇城大学3年生15名で、アンケートの内容は以下の通りである。

実習前：

1. 天体観察の経験について

- ①天体望遠鏡を自分で操作して、天体観察をしたことがある。
- ②天体望遠鏡をのぞいたことがある。
- ③双眼鏡で天体観察をしたことがある。
- ④上記に当てはまるものはない。

2. 太陽について

- a. 太陽の直径は地球の直径の約①10万倍②1万倍③1000倍④100倍⑤10倍⑥同じ
- b. 地球から見ると太陽は①東②西③南④北から①東②西③南④北に向かって動く。
- c. 太陽黒点の大きさは①水たまり②琵琶湖③日本④地球⑤木星くらい。
- d. 肉眼で見る太陽の方位は下図のようである。太陽は①東Eから西Wに自転している。②西Wから東Eに自転している。③①②のどちらでもない方向に自転している。④自転していない。



実習後：上の2. で、実習後に考えが変わった箇所があれば、赤色で訂正する。また太陽観察実習の感想を書く。

アンケートの結果は4. で述べる。

3. 太陽観察実習の内容

(1)準備

授業は晴れた日中の、黒点が見える日（2017年5月19日）に行なった。時間は気流が安定している午前中（10時～10時半頃）であった。授業の前にあらかじめ天気予報と日本の国立天文台太陽観測所の黒点望遠鏡の画像⁵⁾ およびアメリカの SOHO 衛星の SUNSPOTS の画像⁷⁾ で、当日の天気と、黒点が見える可能性を調べておいた。

観察結果の記録としては、天体望遠鏡にとりつけた太陽投影板を見て太陽表面の様子をスケッチすることにし、まず学生に記録の仕方を説明した。

太陽投影板には直径10-15 cm の太陽像を映すが、学生には観察した太陽表面の様子を記録するための直径10.9 cm の円をあらかじめノートに描かせた。太陽を直径10.9 cm の円にしたのは、太陽と地球の赤道半径比が696000 km / 6378 km⁸⁾ ~ 109であるため、直径10.9 cm の太陽に対しては地球の大きさが約1 mm になり、後で黒点をスケッチした時にその実際の大きさを感じやすいからである。記録用紙には観察の日時と、時間が経つにつれて太陽の像がずれ動いていく方向を記録し、その方向を西として記入すること、それによって太陽の他の方位が決まるので、その方位を記す（図1）ことを伝えた。

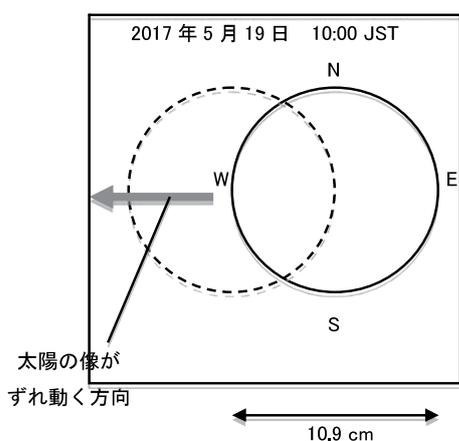


図-1 記録の例²⁾

ここで、見かけの太陽の方位は観測法によっ

て変わることを説明した。天体望遠鏡の太陽投影板に映った太陽を、太陽を背にして見ると図1のような方位になるが、その他の場合は図2のように見える。

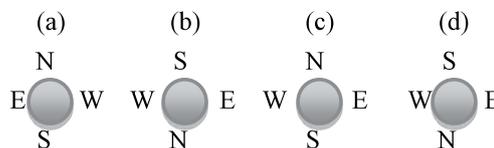


図-2 見かけの太陽の方位の観測法による変化。
(a) 肉眼で見る太陽、(b) 望遠鏡で覗いた太陽、(c) 投影板に投影した時太陽を背にして見た太陽、(d) ソーラースコープで投影して見た太陽。

まず地球儀と太陽の模型を使って地球上の方位の決め方を説明し、太陽が東から昇って西に沈むこと、太陽は東から西に自転すること、肉眼で見る太陽の方位が図2(a)のようになることを理解させた。次に天体望遠鏡と太陽投影板、ソーラースコープの光学的な構造図を見せながら、天体望遠鏡やソーラースコープで観察すると太陽の方位は図2(b)-(d)のように見えること、太陽は東から西へ動くので、今回記録する太陽の方位は図1のように決まることを説明した。

また、今回の実習では天体望遠鏡を使用するが、天体望遠鏡の種類（経緯台/赤道儀、屈折式/反射式、ガリレオ式/ケプラー式）と有効な倍率の目安（口径の mm の数値）、太陽を観察するには倍率50倍ほどが良いことを話した。

観察記録には太陽光球表面の様子（黒点、もし見えれば半暗部、白斑、フレア、粒状斑など）をスケッチするが、これらの物理的な意味と代表的なパラメーター値を復習した。

(2)機器の操作と観察、記録

今回使用した機材は、天体望遠鏡：ビクセン社製口径8 cm 屈折経緯台式に太陽投影板を取り付けたもの（写真1左）1台と、仏国ライテック社製ジズコ社販売のソーラースコープ・パーソナルモデル（写真1右）1台、およびアーテック社製の遮光板（2012年の金環食観察用に販売されたもの、以下「日食メガネ」と呼ぶ）2個である。天体望遠鏡の接眼レンズは倍

率45.5倍のものと151.7倍のものの2種類を用意し、まずは倍率45.5倍の方を取り付けて観測を始めることにした。



写真-1 今回使用した天体望遠鏡と太陽投影板（左）、ソーラースコープ（右）



図-3 ソーラースコープの外観図（左）と太陽を投影したところ（右）^{9) 10)}

屋外に出ると暑い日だったのでまずは教室で天体望遠鏡とソーラースコープを見せながら各部分の名称と動かし方を説明した。ソーラースコープは全員が初めて見たようで、天体望遠鏡に比べて安いこと（今回使用した天体望遠鏡は約9万円、太陽投影板は約2万円、ソーラースコープは約2万円）、安全に観察できることに興味を持った様子であった。

ソーラースコープ（写真1右、図3）は太陽観察専用の望遠鏡であり、以下の点で教育現場での使用に適している⁹⁾⁻¹²⁾。(1)直接太陽を覗かないで投影された投影像を見る（図3右）ので安全である。これは天体望遠鏡と太陽投影板を用いた投影法でもそうであるが、天体望遠鏡を用いた投影法だと、ほんの少し目を離した際に

生徒がアイピースを覗き込む危険がある。このソーラースコープのスタイルではダンボールの箱に首を突っ込まない限りは覗きようがないので、危険性が低くなる。光が一番集中するのも反射鏡の直前の位置なので、いきなり目を焼く危険性も少ない。とはいえもちろん、常時、監視／指導のできる人員を配置しないとイケないことには変わりがない。なお、投影される太陽像の大きさは、今回用いたパーソナルモデル（～2人用）では約8cmである。(2)天体望遠鏡に比べて価格が安い。(3)箱がダンボール製のため軽く、持ち運びや設置が容易である。(4)望遠鏡の視野に太陽を導入する、という通常なら一番危険な工程も安全に行える。(5)1台で複数の人が同時に太陽を観察できる。(6)組み立てキット式なので、組み立てながらソーラースコープの仕組みがわかり、使用される凸レンズなども手にとって眺めることができる。

私に教育現場でのソーラースコープの有用性を教えてくれたのは現熊本県民天文台副台長で元中学理科教師の中島尚氏である。

次に機材を屋外に運び出し、安全上の注意点を伝えた。太陽観察には危険が伴い、万が一実習中に事故に至った場合には指導者の責任であると伝え、太陽観察の際の注意点—失明の危険性があるので太陽を絶対に直視しないこと、特に生徒が望遠鏡で太陽を覗きこんだら一発で終わりであること、そのため天体望遠鏡を使う場合、ファインダーにはふたをするかファインダー自体を外すこと、指導者はその場を離れないこと、やむを得ずその場を離れるときには対物レンズにふたをし望遠鏡の向きを太陽からそらすこと等—を話したが、学生は容赦なく照りつける太陽の直射日光のもと、これから扱う機材を前にして真剣な顔で聞いており、将来の指導者としての自覚が十分うながされたように感じた。

続いてまず私が太陽を望遠鏡の太陽投影板およびソーラースコープの投影板に導入する方法を演示した。次に望遠鏡を動かして太陽を視野から外し、ピントも外して、3-4人のグループになった学生達に交代でその作業をさせた。

当日は雲一つない晴天に恵まれ、太陽活動の

低下からしばらく無黒点状態が続いていた太陽表面にも2日ほど前より東から小さい黒点が2つ現れてきていて、それが天体望遠鏡の太陽投影板でもソーラースコープでも見え、まさに絶好の観測日和であった。

学生達は自分達の操作により太陽像がうまく投影でき、黒点を見つけると歓声をあげていた。太陽投影板上で太陽が見ている間にどんどん移動する様子にも驚いていた(写真2-4)。

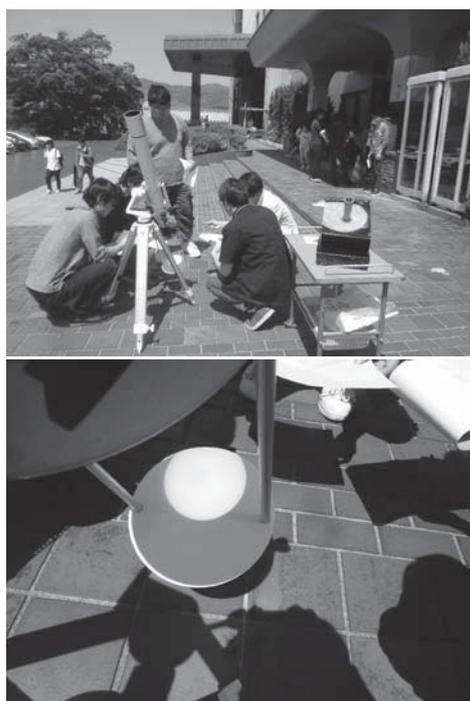


写真-2 (上) 実習中の学生達の様子。(下) 太陽投影版に映った太陽表面(倍率45.5倍)と、それをスケッチする学生たちの影。



写真-3 望遠鏡の倍率45.5倍で投影板に投影した太陽の全面像。右側へいくほど時間が経過している。太陽は時間とともに西(写真では左上方向)に移動している。写真では確認できないが肉眼で東に小さな黒点が2つ見えた。



写真-4 ソーラースコープに映った太陽の全面像。同じく東に黒点が2つ見えた。

その後望遠鏡の接眼レンズを交換し、倍率を151.7倍に上げて黒点を詳しく観察した(写真5)。今回の黒点は小さく、倍率を上げて半暗部などの黒点のより微細な構造は見えなかった。



写真-5 望遠鏡の倍率を151.7倍に上げて黒点付近を観測した。太陽の東側リムが曲線(点線)で写っている。黒点は写真では見えないが肉眼で観察できた。写真で見える黒い大きなシミは黒点ではなく投影板の汚れ。

また、学生たちに日食メガネを使った太陽観察の安全な方法を教え、実際に太陽を見させた(図4)。



図-4 日食メガネの使い方¹³⁾

(3) 観察結果の考察

天体望遠鏡及びソーラースコープを片付け、教室へ戻ってから、太陽画像や太陽の影響を受ける地球磁気圏の状態を配信している国内外の幾つかのウェブサイトを紹介した。高校地学の教科書ではアメリカの太陽観測衛星 SOHO と日本の SWC (NICT) 宇宙天気情報センターのホームページが紹介されている⁴⁾。今回は日本の国立天文台太陽観測所、SOHO、日本のひので衛星のホームページ⁵⁾⁻⁷⁾ から観測日時にもっとも近い時刻の太陽画像を見せた (図 5、6)。

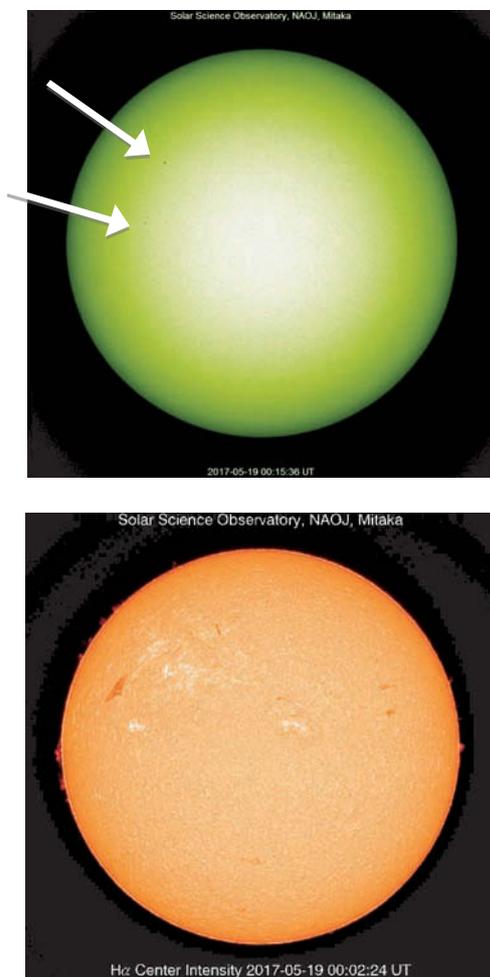


図-5 国立天文台太陽観測所の2017年5月19日のデータ⁵⁾。(上) 黒点望遠鏡による白色光画像。東 (図の左) の北半球の上下に黒点が2つある (矢印)。(下) 太陽フレア望遠鏡による $H\alpha$ 画像。

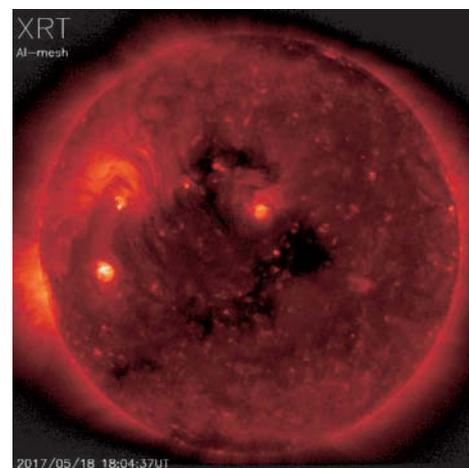
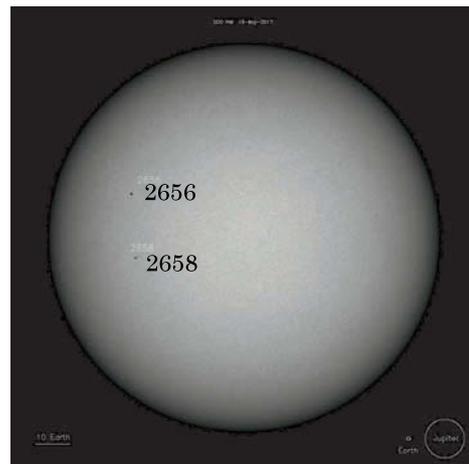


図-6 (上) SOHO衛星の白色光画像 (SUNSPOTS)。2017年5月19日のデータ⁷⁾。上下2つの黒点の番号が2656 (上側)、2658 (下側) とつけられている。(下) JAXA/国立天文台のひので衛星XRTによるX線太陽画像。2017年5月19日のデータ⁶⁾。

各サイトの画像をスクリーンに投影し、白色光太陽画像 (図 5 上、図 6 上) から学生たちに今見た2つの黒点を確認させた。この画像は上が北、左が東という目を見た通りの太陽の方位 (図 2 (a)) になっており、この画像との比較から自分たちが観察した太陽像の方位と黒点の位置関係の確認もすることができる。

同じ日に撮影された $H\alpha$ 画像では、黒点のあるあたりが $H\alpha$ では白くもやもやと輝いていることがわかる (図 5 下)。 $H\alpha$ 線は水素原子が放出する波長656 nm の赤い光であるが、この白いところをプラージュという。またひので衛

星による X 線画像 (図 6 下) では、黒点の周囲に X 線で磁気ループが見える。このような磁気ループの足元が黒点であり、黒点を中心とした活発な領域を活動領域と言うこと、活動領域で磁気ループが関連して起きる爆発的なエネルギー解放がフレアであることを画像を見せながら話した。

1 週間後の授業で、再びオンラインデータの白色光太陽画像 (図 7) を見せた。太陽は中緯度では約 30 日で一周する自転をしているため、一週間後に黒点は約 84 度西に回転している ($7/30 \times 360 = 84$ 度)。一週間前に見た黒点がもう太陽を $1/4$ 回転ほどしているのを見て、学生たちは太陽の自転とその速度を実感した様子であった。

4. アンケートの結果と授業評価

実習前後に学生に対して行ったアンケートにより、授業の評価を行った。

実習前のアンケートでは、「天体望遠鏡を自分で操作して、天体観察をしたことがある」0 人、「天体望遠鏡をのぞいたことがある」5 人 (33%)、「双眼鏡で天体観察をしたことがある」2 人 (13%)、「上記に当てはまるものはない」8 人 (53%) であった。受講生全員が今までに天体望遠鏡を操作した経験がなく、双眼鏡でも空を見たことがない人が半数以上であった。この結果から、彼らが理科教師になる前に、自分で観測機器を扱って天体観察を行う経験がぜひとも必要だと感じた。

太陽についての基本的な知識の理解度として、

- a. 太陽直径は地球直径の約 100 倍である：
実習前 8 名 (53%) → 実習後 15 名 (100%)
- b. 地球から見ると太陽は東から西に向かって動く：実習前から全員が理解していた。
- c. 太陽黒点の大きさは地球くらい：
実習前 7 名 (47%) → 実習後 10 名 (67%)
- d. 太陽は東から西に自転している：
実習前 7 名 (47%) → 実習後 11 名 (73%)
という変化があった。

a. については、観察の記録のために直径 10.9 cm の円を描き、これを太陽とすると地球

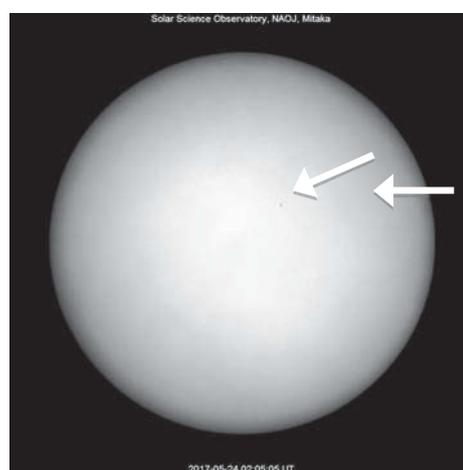
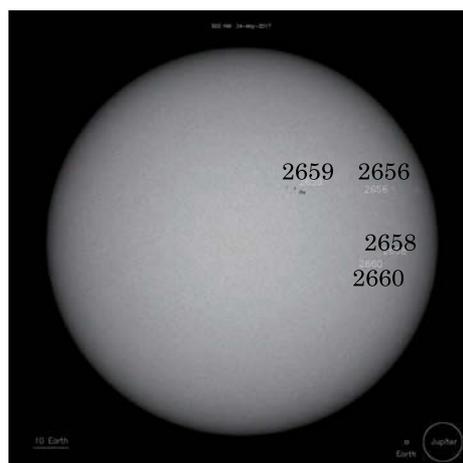


図-7 (上) SOHO衛星の白色光画像 (SUNSPOTS)。2017年5月24日のデータ⁷⁾。5月19日に東側に見えた黒点2656、2658は西側へ移動し、新しく黒点2659 (中央右上) と2660 (2658の近く) が現れた。(下) 国立天文台太陽観測所の黒点望遠鏡による白色光画像。2017年5月24日のデータ⁵⁾。矢印の位置に黒点2659、2656がある。黒点2658は見えない。

は 1 mm であることを学生自身に考えてもらったという作業が学生の印象に残ったと判断できる。

c. については、今回観察した黒点がちょうど地球の大きさ程度のものであったにもかかわらず、黒点の実際の大きさを実習後にも理解できていない者が 3 割ほどいた。見かけは小さい黒点がい実は地球ほどに大きいものだとすることを理解させることの難しさと、本授業での私の説明が不十分だったことを感じた。

d. の太陽の自転の方向に関しては、実は今回の実習だけでは判断できないことなので、模型

や画像による説明だけを行なって1週間後の授業で再び理解してもらおうと思ったのだが、やはり今回の実習後に全員が理解することはできていなかった。

まとめると、受講者達が自ら天体観測装置の操作をする経験をしたことは大変有効であり、また自分の手を動かして記録したり理解したことは身についたようである。一方、実習後、学んだ内容を物理的にもう一步進んで理解しきれていない学生もおり、実習後に再度振り返りの学習をする必要を感じた。

最後に学生の記した太陽観測実習の感想を原文のまま紹介する。

「黒点は思ったより小さかった。望遠鏡をピンと合わせる経験が出来て良かった。」「黒点が見れて良かった。もし、教師として指導するときは注意すべきところに気をつけようと思う。」「いつも太陽光や光で物を見ているので、強い光を放つ星を観測するのは大変そうだなと思いました。いろんな色の写真が、いろいろな波長で撮っているのだと初めて知りました。」

「思ったより太陽の動きが速かった。天体望遠鏡じゃない方（筆者注：ソーラースコープ）の調整が難しかった。」「黒点の移動を実際に見て、思っていたより速かったです。」「黒点が、とても小さく、また動きが思っていた以上に早くて、おどろいた。太陽の影がすぐに動くので、もし自分が地学の授業をするなら、大変だなと感じた。」「天体望遠鏡をのぞいたことはありましたが、扱ったことはなかったので貴重な体験となりました。ソーラースコープは初めてみたので、家に帰ってから他の観測器についても調べてみたいと思います。」「今日は、野外で実験でした。中学校以来の地学なので、覚えていないことがたくさんありました。光をあわせたり、器具をセットしたりすることがむずかしかったです。」「黒点の観察をするのは初めてだったので楽しかったです。思っていたより太陽の動きが早くて驚いた。」「中学生に実習する際は、その日の体調を尋ね、場合によっては水分補給をとらせた上で観察を行わせるべきだと思った。黒点が見られて運は良かったと思う。」「黒点が意外と小さかった。太陽が動くのが速く、追尾す

る機能ほしいと思った。」「太陽はとても大きいと思っていたが想像より少し小さく感じた。太陽がとても速く動いていることに驚いた。」

感受性の豊かな学生達がこの実習によって太陽を体感したことが伝わり、嬉しく思った。

謝辞

総合教育センターの町田光男教授には本稿の執筆を勧めていただき、また貴重なご意見を多数いただいた。感謝の意を表します。

参考文献・サイト

- 1) 大朝由美子、矢治健太郎 日本天文学会2017年春季年会予稿集 Y09b
- 2) 文部科学省検定済教科書 中学校理科用 未来へひろがるサイエンス 2分野下 啓林館 平成23年度用
- 3) 文部科学省検定済教科書 高等学校理科用 地学基礎 数研出版 平成25年度用
- 4) 文部科学省検定済教科書 高等学校理科用 地学 数研出版 平成26年度用
- 5) <http://solarwww.mtk.nao.ac.jp/jp/solarobs.html>
- 6) <http://hinode.nao.ac.jp/gallery/latest/>
- 7) <https://sohowwww.nascom.nasa.gov>
- 8) 平成24年 理科年表 国立天文台編 丸善出版
- 9) <http://www.astroarts.co.jp/shop/showcase/solarscope/index-j.shtml>
- 10) <https://www.astroarts.co.jp/special/2007summer/kits/solarscope/index-j.shtml>
- 11) http://www.zizco.jp/13shop_ssscope/ssscope.html
- 12) <http://stelo.sblo.jp/article/129692860.html>
- 13) <http://shin-nihon.cocolog-nifty.com/info/2012/05/post-11b7.html>