

学校の天体観測を変える天体望遠鏡用 CMOS カメラ

Online Astronomical Observation

原 正*

要 旨

天体写真撮影のツール、CMOSカメラは感度、画素とも従来の類似のものに比べ飛躍的に向上している。これを用いることで、学校で従来行われていた教育的な天体観測を大きく変える可能性がある。本学および前任校（高校）の実践例とともに報告する。

キーワード：理科教育 オンライン 天体観測 CMOSカメラ 電子観望

1. はじめに

天体写真撮影のツール、CMOSカメラは感度、画素とも従来の類似のものに比べここ2～3年で飛躍的に向上している。これを用いることで、学校での天体観測を大きく変える可能性があり、実践例とともに報告する。

一つはオンライン観測で、望遠鏡の捉えた像をCMOSカメラで撮影し、パソコンでリアルタイムに複数の観察者（学生生徒）が共有することで実現できる。このとき、ネット会議システムZoomにより双方向につながり、参加者は望遠鏡から離れた場所でも天体を観察し、教員、ガイド者とは双方向で説明を受けたり質問したりできる。参加者側の機材によってはカメラを遠隔操作して、画像、動画の記録を残すこともできる。特に小中高校の教育活動では場合によっては深夜の現象でも家庭での観察ができ、これまで安全確保の観点から実施が難しかった天体観測も容易に行うことができる。

もう一つは、望遠鏡の捉えた天体をPC画面あるいはテレビ画面で見る電子観望である。天体観望というと基本的に一人一人が望遠鏡の接眼レンズをのぞいて行うため、各自が何を見ているかについて周りは知りようがなかった。教員による注目点の説明は声に頼るか、事前に絵を見せるか程度に限られる。電子観望ではカメラの捉えた画像を1台のパソコン等で同時に複数人で見ながら説明をすることができるので、注目点へ共通に意識を集中させやすい。また、学生生徒からの質問に対しても、そ

の場の参加者と疑問点を共有でき、即座に教員に問うことも容易になる。これらのことにより、観望が効果的かつ効率的に行える。また、感度が高いので肉眼では捉えにくい天体も観察することができる。

一方、デメリットとして、オンライン観測では大きさ感覚の共有化が難しく、電子観望では画面を見ているだけではリアル感が失われる等があることがわかってきた。本稿では、本学の教職のための科目である地学実験での学生とのやりとりや昨年度まで勤務していた高校での授業、部活動での実践を踏まえて報告する。

2. 方法

私が試みた方法では、機器の接続はオンライン観測の場合も電子観望も同じである。ごく一般的な望遠鏡に接眼鏡を取り付ける代わりにCMOSカメラをセットして、USBケーブルでパソコンと接続する（図1）。

カメラは接眼鏡と同じ径の部品が受光素子の前にあるので、この部分をあたかも接眼鏡のように取り付けるだけである（図2）。

後はCMOSカメラ操作のためのアプリを起動すればよい。天体導入が終わるとディスプレイ上で像を見ることができるようになるので、明るさ、ピントを調整すれば、観測あるいは観望が可能になる。この画像をミーティングアプリで共有すれば、オンライン観望・観測が可能になる。ミーティングアプリにはZoomを使用した。

* 原正

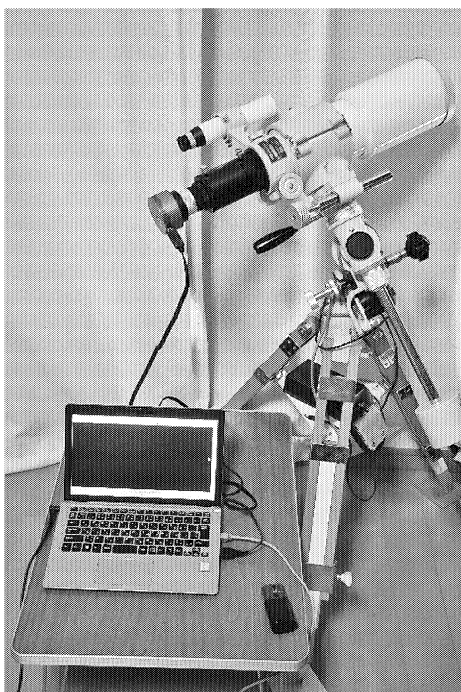


図1 オンライン観測のセッティング

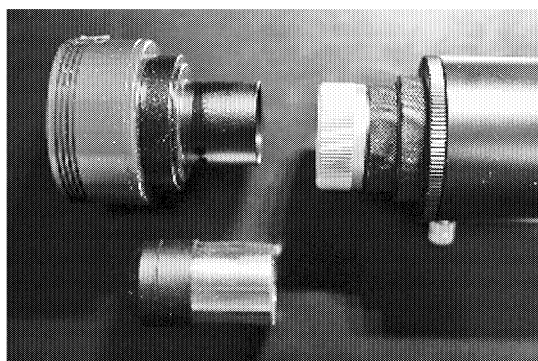


図2 鏡筒との接続

また、電子観望専用の望遠鏡もある。eVscopeという名称で、一昨年から話題になっている。これを用いた科学館での観望会については、渡部義弥の実践報告がある¹⁾。

2.1 オンライン観測・観察

CMOSカメラとZoomの共有・制御の受け渡し機能により、顧問宅の望遠鏡に取り付けたカメラを操作して、文字通り観測を行った。

使ったのは以下である。

望遠鏡 タカハシ Sky90

赤道儀 タカハシps-2 赤道儀

カメラ ZWO社製 ASI294MC²⁾

カメラ操作アプリ SharpCap³⁾

(付属品では基本機能のみ)

ミーティングアプリ Zoom Meeting⁴⁾

観測では、後でデータ解析が可能な形で記録を残す必要がある。今回の観測では明るさ測定は行わず、天体位置の計測のみだったのでJPG形式で記録したが、もし、測光（光量の測定）を行う場合はFITS形式で記録する必要がある。カメラ操作アプリSharpCapはどちらの形式でも保存ができ、動画形式で残すことも可能である。

【観測・観察の手順】

観察や観望でも共通なので、観測の場合を中心に手順を示しておく。

- ①参加者にZoomの招待状をメールする。参加者のみが入ることができる掲示板で告知してもよい。PWを使用することをおすすめする。
- ②天体を導入し電動の赤道儀で自動追尾する。今回は手動で導入を行った。
- ③明るさ調整、ピント調整を行う。ピント調整は望遠鏡側で手動にて行う。明るさはSharpCapを操作して、露光時間を変更することで行った。
- ④時間までに学生・生徒は待機室に入る。時間になったらZOOMでMeetingを開始する。
- ⑤SharpCapを共有して、画像を見る（図3）。
- ⑥観測の場合は参加者の誰かに制御を渡して、静止画、動画を撮ってもらう。このとき、制御を受け取った参加者は露出や画素をコントロールして、望みの絵を撮影する。
- ⑦目的の観測・観察がすんだら、連絡事項を伝え、退出してもらう。

これが大まかなオンライン観測の流れである。

撮影した画像を確認するのはJPG形式ならば、ウィンドウズの画像表示ソフトで閲覧画面を共有できる。デー

* 原正

学校の天体観測を変える天体望遠鏡用 CMOS カメラ

タをとる場合はFITS形式で保存するが、確認は解析ソフトマカリを共有して行うことができる。また、マカリでのその場での測光やプロフィール（光度グラフ）を使うこともできた。

こちらの説明や学生・生徒からの質問はZOOMを使っているのも、何の問題もなく同時双方向で可能である。

2.2 電子観望

電子観望は文字通り観望が目的であり、観測等は行わない。もちろん、途中で観測に切り替えることはできる。オンラインで観望のみをする場合は、2.1オンライン観測に記述した方法で実施すればよい。

電子観望のもう一つの使い方は、図1のように設定してあるパソコン画面に表示された天体画像を見ながら行う観望会、観察会である（図3）。一つの画面を数名で囲んで、同じ現象をリアルタイムに観察できる。

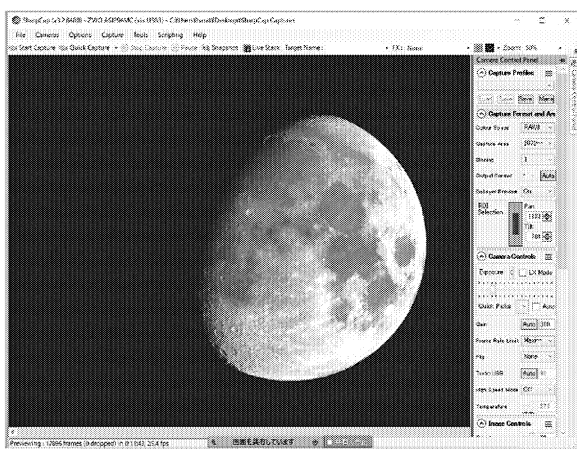


図3 SharCapの画像をZoomで共有した様子

渡部義弥はeVscopeを使っているので今回報告の方法とは異なるが、「ビューファインダーやプロジェクター、テレビなどで観察します。やり方によっては大勢で見られるのがメリットです。」と報告している。また、「人を集められないコロナウィルス対策にも有効なやり方です。」とある¹⁾。

3. 実践状況

3.1 高校部活動でのオンライン観測

ZOOMの共有機能を使うと、CMOSカメラの制御ソフトを介して天体画像を共有できることがわかった。しかも、参加者側から制御しての撮像も可能である。画像はほぼリアルタイムなので、これは遠隔地の望遠鏡を操作して行うオンライン観測ともいえる。2020年度の実際の活動は以下の通りである。

- 7/14 接続テスト：制御受け渡しによる撮像テスト実施。成功。
 - 8/4 木星、土星の観測：部員の制御により、衛星の撮影成功。JPEGで記録。
 - 8/5 木星、土星の観測：ガリレオ衛星の同定（明るさのみ）。マカリを共有して画像の確認。これも部員が共有画面でその場で撮像データを開いて行うことができた。
 - 8/24 夏休みの活動終了：この間、20日分のガリレオ衛星の運動のデータを得た。解析を行い、木星の質量を得ることができた。
 - 1/5 ・ふたご座 ν の星食：関東では月の暗部からの出現で観測条件は良かった。参加者は高校2年生、1年生各1名ずつであった。現象が早朝5:33ごろで、参加しにくい時間ではあった。SharpCapの制御を部員に渡して動画を撮影。同時にモニター画面では出現の瞬間を捉えることができた。
- 冬期休業中は再び部活動禁止となってしまったため、オンライン観測は特に活動維持に有効だったと思われる。

3.2 高校地学基礎の授業での観察活動

前任の高校では、従来より地学の授業として、全員参加型の夜間の天体観察会を実施していた。一般的な高校から進学校指向への学校ミッションの変更により、進学講習等で天体観測に時間を振り向けられなくなったことや、保護者への説明対応、下校時の安全確保が難しくなった等の諸事情により、しばらく実施していなかった。なんとか復活させられないかと思っていたところに、このシ

* 原正
学校の天体観測を変える天体望遠鏡用 CMOS カメラ

システムが登場した。

取り組んだ20年度は先行事例として、部活動でのオンライン観測、大学の授業としてのオンライン観察は機能したことが確かめられていた。授業では観測の代わりにスケッチを取り入れた形で観察として試験的に実施してみた。履修者を全員参加（80名弱）させるのはさすがに厳しいので、冬期休業中の課題として参加希望者を募り実施した。その結果5名の参加者を得た。冬期休業中の複数の日程のうち、生徒が参加できる日をすりあわせておいて、天気よかつた2020年12月27日、翌年1月7日に実施した。招待の連絡にはGoogleClassRoomに登録されたメールアドレスを使用し、個人メールは使用していない。時間は22時から45分間とし、生徒は自宅で主にスマホを使って参加した。通常の学校での開催だと考えられない時間帯の授業となった。

観察目標は、日周運動、オリオン座のベテルギウスとリゲルの色の違い、ガス星雲（M42）とトラペジウムである。

2学期に恒星の一生を学んでいるので、復習をかねて観察を進めることができた。3学期のはじめにレポートを回収し完結した。

3.3 本学教職コース地学実験での取り組み

20年度の春学期の14回目の特別授業と秋学期の15回目の特別授業、および21年度の春学期の15回目とオンライン天体観察を3回実践した。方法は高校の地学基礎の授業で実践したものに似た内容である。参加者の数／履修者の数は以下の通りであった。実施順に11/12、8/8、21/22であった。時間的に学生側のアルバイト等が重なる場合も多く、各講座とも学生の利便をはかって数日に渡って実施した。学生はいずれか1回参加すればよい。同じ曜日開講の2つの講座は学生に了解を取った上で合同で実施した。最大8名参加のこともあった。また、基本22時開始としたが、学生の都合で23時開始の時もあった。

Zoomのミーティング制限時間45分に入る内容とした。

概要を以下に示す。

- ①学生が集まるまでにシステムを起動し何か天体が見える状態にしておく。赤道儀は追尾状態にしておく。
- ②学生が集まったら音声、共有画面が見えているか、どのような天体が見えているか、たずねながら確認する。
- ③その日の空の概要、観察目標天体を概説する。
- ④見えている天体を使って、日周運動を確認する。赤道儀の追尾の電源をOFFにすればよい。動く方向は西なので、スケッチに東西方向を記録させる。また、赤緯方向の微動を使って南北方向を記録させる。
- ⑤天体の観測を行う。

春学期：月があれば、クレータや欠け際の観察

木星、土星およびそれらの衛星の観察

秋学期：月があれば、クレータ、欠け際の観察

ベテルギウス、リゲルの色の比較

ガス星雲、トラペジウムの観察

それぞれスケッチもさせた。時間がかかった組の中には木星の衛星の本体からの出現が見えたラッキーもあった。

⑦報告提出用紙のスケッチ欄が埋まったことを確認。

⑧質疑応答、なければ退出してもらおう。

なお、ライブスタック機能で星雲の観望をしたかったが、附属ソフトが無料版で制限付きなので断念した。

4. 結果

4.1 オンライン観測（高校部活動）

高校での部活動での成果を報告する。8/5から24日の間にオンライン観測で得たデータ（図4）を使用し、2学期の部活動可能な時間帯を使って対面での解析を行い、以下の結果を導くことができた。方法は「あなたにもできるデジタル天文学」のp48-p51の記述を参考にさせた⁵⁾。数学に堪能な生徒がいて、公転周期と質量の関係式を導く事ができていたので、解析に役立った（もちろん教員は知っているが過度な口は出さない方針である）。レポート形式で行われた埼玉県の科学展に出展し優良賞を得た。このレポートは豊岡高校のWEBサイトにPDFで掲載

* 原正

学校の天体観測を変える天体望遠鏡用 CMOS カメラ

してある6)。

以下の図4、5と表は部員が科学展に発表した「木星の質量～ZOOMによるオンライン観測～」に掲載したものによる。

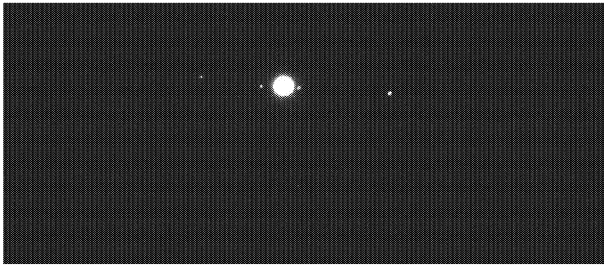


図4 8月12日の木星と木星の衛星達

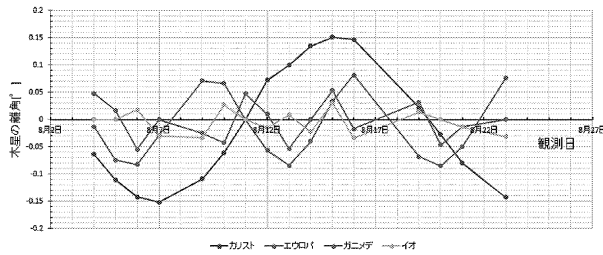


図5 木星を原点においた衛星運動のグラフ

表 衛星の周期、軌道半径とそれから求めた木星質量

衛星	P(s)	r(m)	M(kg)
カリスト	1382400	1.6893×10^9	1.4916×10^{27}
エウロパ	316828.8	5.328×10^8	0.8911×10^{27}
ガニメデ	604800	8.843×10^8	1.1108×10^{27}
	平均		1.1645×10^{27}

表のように、エウロパ、ガニメデが軽くなる傾向にあるのは、衛星の公転周期にくらべて観測間隔が短く、木星から最大限離れた地点の距離を捉え切れず、軌道半径が小さくなるのが原因である。生徒に気づいてもらいたかったが、その場では考察できていなかった。より精度を高めるため、見た目の周期ではなく、三角関数とコンボリューション的な比較をしながら周期を求める方法もあるが、今回の部活動の時間が大きく制限された中では

追求する時間がなかった。

4.2 高校地学基礎の授業

天体観察会のオンライン版である。詳細は大学で実施したものと同じである。特に次のことをあげておく。

図6右、図7はオリオン座のガス星雲M42の観察結果(スケッチ)である。図6の生徒は見たままをよく表現しているが、図7の生徒はオリオン座の概略を描いて、その上にガス星雲らしきもやもやを描いている。星座とガス星雲が同等に描かれ、スケール感が失われている。もし、従来型の観望会であれば、星空を見ながらの観察になるので、このような誤解は生じにくいと思われる。

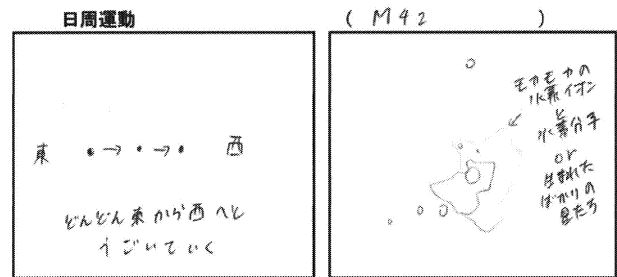


図6 高校生によるスケッチ

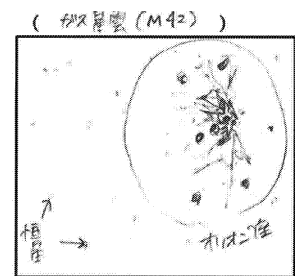


図7 星座と天体が同じ大きさに描かれているもの

対応策として、ビデオオンにして、描いているものを時々チェックする、窓から実際の星空を見てくるように指示するなどが考えられる。

4.3 本学教職コース地学実験での取り組み

今回は以下の流れで実施した。まず、天体望遠鏡の操作方法、天体観測会を実施する上での注意など、オンデ

マンド動画で学習する。その上でオンライン観測への参加を指示した。学生の参加率は当初想定したよりもよく、ほとんどの履修生が(42名中40名)が参加した。参加者は図8のような観察記録を残した上で、レポートを提出することになる。

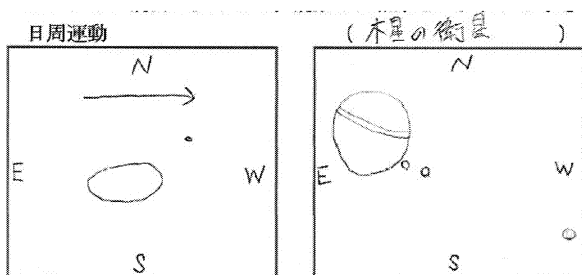


図8 学生のスケッチ

日周運動の記録はどの学生も問題なくできた。赤道儀の電動追尾を止めるのは画面上の東西南北を確定する上で有効だった。天体の拡大画像でも、多くの学生は忠実に描いていた。確認には天文年鑑の各年度版を使ってその時刻の衛星の並びの位置を参照した⁷⁾⁸⁾。

以下に、学生の感想をあげておく。オンライン天体観望のメリットが多く書かれている。() の数は重複回答の数である。

—オンラインについて肯定的感想・意見—

- ・授業 (Zoom) で話していたようにみんなで同時に星を観測できることは画期的だと思った。
- ・オンラインでもリアルタイムの天体の見え方を共有できることに魅力を感じた。
- ・Zoomを使った天体観測は手軽にできるのでイベントとしても行いやすいと思いました。

—天体観察体験について肯定的感想・意見—

- ・何度も延期になり、双方の苦勞が感じられる実験でした。ですので、しっかり観察できて達成感があります。
- ・今までここまで本格的な天体観測をしたことがなかったので、経験することができてうれしかった。
- ・地球から土星の形や木星の模様を実際に見ることができて感動した。(3)

- ・機会があれば他の天体も見たい。
- ・想像よりもはっきりと天体が見えて驚いた。
- ・望遠鏡を持っていなくても自宅から天体観測ができて素晴らしいと思った。
- ・次は自分の目でも見たい。
- ・天体望遠鏡で観察したことがほとんどなかったが、今日見ることができてよかった。(3)
- ・固定して見られることがよかった。(筆者注。追尾のこと)
- ・久しぶりに土星の環をきれいにみることでよかった。(2)
- ・天体観測は小学校の時に簡単にやった程度だったため思ったより面白かった。
- ・木星のガリレオ衛星まで見えて驚いた。(2)
- ・土星は楕円にしか見えないと最初思っていたら、環も観測できたのでよかった。
- ・思っていたよりきれいに星を観測することができてよかった。(3)

—教育利用の観点からの感想・意見—

- ・天体、惑星の観測実験はやはり生徒の興味を引きつけるものだと改めて感じた。
- ・観測するだけでなく、こういった仕組みになっているのか、見方について考えることが大事なのだと、実際に授業する際は気をつけたい。
- ・明るさなど見え方の調整ができて、それによって見え方が大きく変わることがわかった。自分でやるときは注意したい。
- ・自分でも子供たちに見せてあげられるようになればいいと思いました。
- ・天体観測は夜にしかできないということを考えると、オンラインでみんなで行えるのは先生にも生徒にも負担が少なくよいと思いました。
- ・オンライン観測は自分で天体を見つけるものではないので、感動は薄れるものの、確実に天体観測ができるので、これが広まれば興味を持つ人が増えるのではないかと思う。

* 原正

学校の天体観測を変える天体望遠鏡用 CMOS カメラ

ー改善意見・感想ー

- ・思ったより見づらかった。
- ・もっと天気の良い日に天体観測したいと思った。

5. 評価、今後の課題

それぞれの方法の長所と短所をオンライン観測の運営者の観点でまとめておく。

ーメリットー

- ・画面共有や遠隔操作はとても有効な機能で、後日リアルタイムの天体観測を行った時、経験している生徒とオンライン不参加者のカメラ操作等のさいの習熟度の差が際だった。
- ・スマホ、タブレットでも操作可能で、通信インフラがしっかりしていれば問題ない。
- ・学校でやるよりも生徒、指導者とも負担が軽い。合宿が禁止されており、夏休みの唯一の観測活動となった。
- ・日頃天体観察や観望の経験のないものも参加しやすくなる。そのことでリアルな観測会よりも多くの人の興味関心を高めることができる可能性がある。(学生アンケート)

ーデメリットー

- ・画像からは眼視ほどの詳細な情報、リアルな感覚は伝わらない。実際、天体の大きさの感覚が失われる、あるいは共有できないことがあった。
- ・学校の機材ではない、自分で操作していない。リアルな観測活動のとき、オンライン観測のみの生徒は望遠鏡の操作ができなかった。
- ・機材の能力不足、ネット環境によっては目的を絞る必要がある。

また、今回の活動では参加しない部員（高校天文部）や学生（本学地学実験）が一定数いる。理由を聞くのはばかられるので、聞いてはいないが、ネット環境が整わないことや、関係者を限定しているとはいえネットの共有画面上に名前や自分の声や姿、背景の部屋を見られることを忌避したい、または個人情報の漏出にあたる

考えることもあろうかと推察する。これは正しい考え方なので、参加を強要することはできないだろう。システムのセキュリティ上の堅牢性や機密に対する信頼性の向上が重要だと考察した。また、今回は特に深刻な事態はなかったが、運営側のネット環境資源を充実させておくこと、ネットトラブルに即座に対応できる担当者のスキルが必要なこともあげておく。

今回の取り組みからは、ネット利用により感染症拡大防止への対応としてだけでなく、普段使いの技術としての有効性も見えたと思う。たとえば、高校での夜の観測活動はどんなに遅くとも20時には下校させる必要から、まだ薄明中の夏期には不可能である。また、翌朝までの観測の場合、保護者、管理職の同意を毎回とりつけなければならず、一度設定した日付は容易に他の日程に変更はできない。天候に左右されるだけに、厳しいものがある。また、参加者の急な体調の変化など、緊急性の高い事態も想定しておかねばならず、担当者の負担は大きかった。今回、深夜、早朝に観測を実施してみたが、参加者は自宅であり、体調が悪ければすぐ休むこともできる環境である。であるので、学校の場合は保護者の同意もとりやすい。

また、オンライン観測の可能性が見えたことで、時間や場所に限定されず、ネット環境さえ整えばデータを得ることもできることもわかった、これはデータをとることを主軸にすえている学校の部活動などの場合にはかなり大きなメリットである。

授業で天体観察を取り入れたが、高校、大学とも参加者には好評であった。特に、高校等では生徒を夜間遅くまで学校にとどめることはセキュリティ面でも問題が多い。その点、自宅で観測可能なこの方法は、この問題をクリアできるのが大きなメリットである。

今回は顧問の機材がボトルネックになって、これ以上のことはできなかった。パソコン制御が可能な赤道儀なら、導入から撮影まで、観測の重要な活動を生徒に任せ

* 原正

られると思う。また、CMOSカメラのライブスタッキングを使うと、淡い天体画像がしだいに浮かび上がるという観望体験もできるのだが、この機能は有料なので今回は見送らざるを得なかった。

今後期待できる事柄として、完全自動化をあげておく。今回使用した赤道儀は赤経方向（自転による日周運動追尾）のみモータードライブするものであった。近年、赤緯軸の動きも含め、内蔵コンピュータによる自動制御が可能なものが多くできている。このような赤道儀は当然ながらPCに接続し、制御ソフトを介してコントロールができる。星図ソフトの情報を見ながら操作することで、観望したい天体の自動導入が可能になる。自動導入のメリットは肉眼で見えていない天体でも容易に捉えることができる点である。今回の試みでわかったことは、この制御ソフトも共有画面に取り込むことで、参加者は自ら見たい、あるいは見てみたい天体を画面上で設定し、望遠鏡をその方向に移動させることが可能になるということである。導入できれば、今回紹介したような観測、観望に移ればよい。このときガイド役の教員は、望遠鏡が変な動きをしないかどうかチェックすることが主な役目になるだろう。

これが実現すれば、教育目的の観望会観察会が劇的に変化するはずである。これまで望遠鏡操作に長けた教員あるいはガイド役が天体選びをして参加者はそれを受動的に見ただけだったものを、観察者が主体的に天体を選び導入操作をして、画像やビデオなどデータ取得まで行うといった形に変化させることができる。つまり、観測会のアクティブラーニング化である。機会があれば実現したいものである。

参考までに、岡山県にある井原市美星天文台では公募で口径103cmの望遠鏡を使った観測をオンラインで遠隔地から行うことが可能になったことをあげておこう⁹⁾。このような活動が広がったとき、学校でのオンライン観測活動になれば、抵抗なくプロポーザルできるようになるだろう。公開公募観測を実施している施設は多くはないので、合宿等での施設の利用が近隣の都府県の

みに限定されていた高校の部活動や大学での教員養成課程の実験実習の幅が一気に拡大しそうな気がしている。この面の天文教育の広がり大いに期待したい。

参考文献・資料

- 1) 渡部義弥, 2021, 銀河の渦巻きが都会で見える! 電子観望による新しい天体観望会, 天文月報, 114, 9, 583
- 2) ZWO社, <https://astronomy-imaging-camera.com>
- 3) SharpCap, <https://www.sharpcap.co.uk/>
- 4) Zoom, <https://explore.zoom.us/ja/products/meetings/>
- 5) 鈴木文二, 洞口俊博, 2015, あなたにもできるデジタル天文学, 恒星社厚生閣 (東京), p48-p51
- 6) 遠藤 勇輝他, 2020.10, 木星の質量-ZOOMによるオンライン観測-, 埼玉県科学教育振興展覧会 (優良賞), <https://toyooka-h.spec.ed.jp/部活動/文化部/天文部/最近の活動>
- 7) 天文年鑑編集委員会編, 2020, 天文年鑑2020, 誠文堂新光社, p155-p156
- 8) 天文年鑑編集委員会編, 2021, 天文年鑑2021, 誠文堂新光社, p151-p153
- 9) 美星天文台公募観測, https://www.bao.city.ibara.okayama.jp/?page_id=143

* 原正

学校の天体観測を変える天体望遠鏡用 CMOS カメラ