

## 投稿

## 成蹊中学高等学校天文台の 20 年

## ～学校天文台の可能性の探求～

宮下 敦（成蹊中学高等学校）

## 1. はじめに

昭和の時代、1957年のいわゆるスプートニク・ショックを契機の一つとして日本でも理科教育が重視されるようになり、学校天文台の設置も盛んになった。この頃、協同学習や生徒主体の理科教育について、日本独自の方向性が摸索され、仮説実験授業・極地方式・学習課題と到達目標を重視する授業(玉田式)などが編み出された。今日の「学びの共同体」や「アクティブ・ラーニング」について、日本独自の教育研究が発展した時代であった。

ムーン・ウォッチ計画に参加し人工衛星の観測を行っていた成蹊中学高等学校にも、1962年に理科棟(理科室専用棟)屋上に五藤光学(株)製の15cm屈折望遠鏡と5mドームが設置された。この後、1970年前後に全国的に多くの学校天文台が設置された[1]。しかし、日本の高度成長が終わるとともに、学校天文台の設備の更新は難しくなっている。

一方で、研究用の天体望遠鏡の機材は大型化と宇宙望遠鏡の時代となり、地上望遠鏡でプロ用のものは、直径がメートルクラスのものでも中小口径と呼ばれるようになった。このため直径1m未満の望遠鏡で新しい発見を生む観測は難しくなりつつある。

しかし、未知の現象の解明に挑戦することは、科学の上では大きなモチベーションの一つである。現在、日本における理科教育は、子どもが主体的に取り組む探究活動を重視している。天体望遠鏡は理科教育における重要なツールの一つであり、今後もこれを有効に活用する方法を模索することが必要であろう。本稿では、学校の課外活動の天体望遠鏡活用例として、過去20年間にわたる小口径望遠

鏡を用いた成蹊高等学校天文気象部での試行錯誤の様子を示し、これからの方向性を探るための一助としたい。

## 2. 機材の選定

## 2.1 導入のきっかけ

筆者が成蹊高等学校天文気象部顧問になったのは、1993年春であった。この時点で、天文台の機材は30年以上経過して老朽化しており、赤道儀もギアのバックラッシュが大きく恒星時追尾が十分にできない状態だった。部活では定期テストの合間に学校で宿泊観測会を行っていたが、当時はフィルムカメラであったこともあって、東京都下で望遠鏡を使っている天体写真は、満足なものが撮れなかった。普段の活動でスキルアップができないので、年2回、天の川が見える環境で行っていた合宿でも、望遠鏡やカメラの操作ができるようになったところで期間終了になってしまうことが多かった。

転機は、1994年に部員たちが山梨県甲斐大泉の八ヶ岳南麓天文台で夏合宿をしたいと言いつつ出したことだった。八ヶ岳南麓天文台は、彗星探索者の串田嘉男氏と超新星探索者の串田麗樹氏が管理運営していた私立天文台群で、当時は一般の学校合宿も受け入れて頂いていた。串田嘉男氏の彗星探索システムは、超新星探索者としても有名な青木昌勝氏が開発したAPECSシステムがコントロールするもので、高い導入・追尾精度を持っていた。串田氏は、探索をしない時間帯に、この機材を高校生に惜しげもなく貸し出して下った。この機材を用いると、それまではほとんど成功しなかった長時間追尾での淡い星雲星団の写真

が、初心者でも簡単に撮影できた。よく調整された天体望遠鏡の威力を思い知らされた出来事だった。

もう1つの驚きが、串田麗樹氏の超新星探索システムだった。これは、ミード社シュミットカセグレン鏡と当時普及し始めた SBIG社の冷却 CCD カメラを、屋内観測室のパーソナルコンピュータからコントロールするもので、宿泊者の夕食の準備や片付けをしながら操作し、一夜の間に多数の銀河をチェックしておられた、この仕組みを使えば、稼動する時間の短い学校天文台でも効率よく望遠鏡を動かすことができ、もしかすると東京でも新天体の探索が可能になるのではないかという期待を持った。

## 2.2 新機材導入

1998年しし座流星群は33年ぶりの大出現の予報が出されており、成蹊高等学校天文気象部部員（藤田亜紗子さん）の提案がきっかけとなって、高校生全国同時観測会（現在の Astro-HS の前身）が組織された。筆者は、提案者の顧問としての責任をとって観測会事

務局運営に従事した。この観測会は成功裏に終わり[2]、その結果の報告を高校生が日本天文学会一般セッションで行ったことで、現在の日本天文学会ジュニアセッションが生まれるなどのスピノフの効果もあった。現在、いろいろな学協会でジュニアセッションが行われているが、日本天文学会は、その嚆矢として誇るべきと思われる。成蹊学園でも成蹊高等学校天文気象部の活躍は話題となり、それまで継続的に申請してきた天体望遠鏡の更新予算申請が認められた。

当初は架台のみを交換し、鏡筒は従来のものを使用して、冷却 CCD カメラを導入する予定であった。ところが、費用見積もりの際に確認してもらうと、五藤光学(株)の15cm 屈折望遠鏡は鏡筒バンドの前後で分離してしまう構造で、別の架台に載せることは不可能であることが分かった。このため、鏡筒も交換することになり、冷却 CCD カメラの導入は3年後の2001年度になってしまった。

2001年に、屈折望遠鏡と冷却 CCD カメラ ST-9E で始まった観測は、20cm 反射望遠鏡 + 冷却 CCD カメラ ST-7XEMi を同架した後、

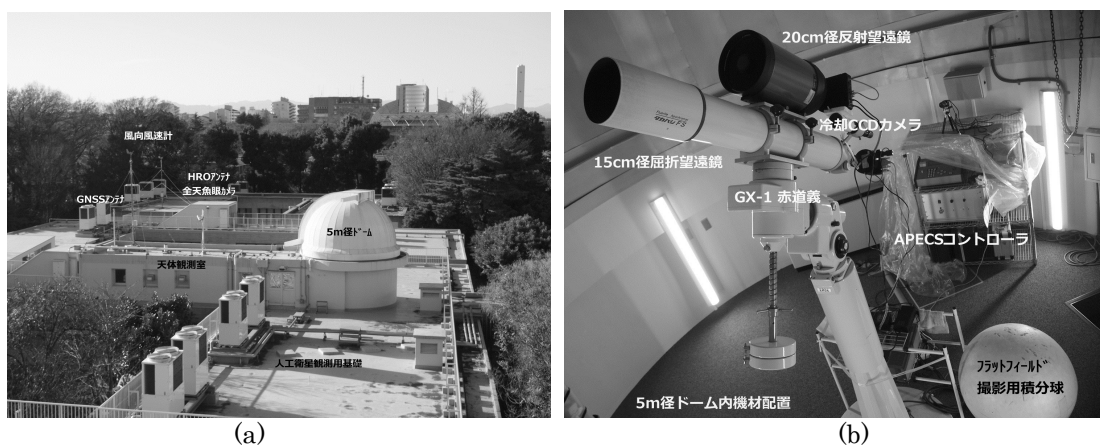


図1 2018年時点での成蹊中学高等学校天文台の機材配置

(a) 屋外の施設配置 理科授業専用の理科棟屋上に設置されている。ドームの東側(下側)に人工衛星観測用の架台跡が残る。(b) ドーム内の機材配置 望遠鏡コントロール用のパーソナルコンピュータは別室にあり遠隔操作ができる。

10年以上変更していない。現在の成蹊天文台の機材構成は2台の冷却 CCD カメラで同時に撮影できるため、2色同時連続測光が可能な点が特色である(図1 a,b)。エルデ光器 GX-1 赤道儀は、定期点検をしなくても20年間大きな故障はなく、導入も同じ精度を保っている。また、ST-9E もトラブルは全くなく、この間同じ光学系で継続的に測光することができている。東京都武蔵野市の空では、15cm 屈折望遠鏡+ST-9E の組み合わせで測光すると、新月の晴天で条件がよい深夜でも限界等級は15等前後になっている。これより暗い天体は背景に埋もれ、口径を太くしても撮像ができないため、東京都下で測光するという前提では、望遠鏡の口径は15cm~20cm で十分と考えられる。

観測の方法は、クラブ活動のある日の夕方、晴れていればカメラを冷却して、暗くなったらすぐ撮像を開始する。連続測光をする場合、宿泊観測会では部員の手で、そうではないときは教員が帰宅するまでのタイミングで停止する。そこで、観測時間のウインドウは、東京の夕方から数時間になる。アメリカ大陸での観測ウインドウが終了後、日本のプロやハイアマチュアが観測を開始するのは条件の良い深夜が中心となるため、成蹊の観測時間帯は両者のニッチにあたる。東京都下では基本的に観測条件は悪く、深夜になっても大きくは改善しないので、学校天文台の望遠鏡を動かしやすい時間帯で運用して、観測頻度を上げる作戦をとった。2000年代は、天文気象部の合宿を県立ぐんま天文台にお願いしていたので、より暗い天体の本格的な観測は、合宿時にぐんま天文台の、より高精度の機材で試してみればよいという考えもあった。

このような運用で、中学生対象の観望会やクラブ活動時の利用以外にも、測光夜になった場合には、機材の状態チェックを兼ねた変光星等を対象に年間20夜~30夜の観測を実

施している。学校天文台としては、比較的よい稼働率といえるだろう。

### 3. 学校天文台での観測事例

機材がそろると、吉祥寺の光害のひどい空でも、簡単に星雲星団の画像を取得することができた。目標天体の位置や等級を調べてコントローラに入力し、ドームを開いて望遠鏡の蓋をあげ、パーソナルコンピュータ上のソフトウェアでシャッターを切れば、スマートフォンのように「向けて押せば撮れる」という状態になった。この仕組みで、しばらくは、メシエ天体をたくさん撮像して楽しんでた。しかし、観測室から遠隔撮像していると、星を見ている実感が乏しいこともあって、一通り撮像してしまうと面白くなってきた。そこで自動導入天体望遠鏡と冷却 CCD カメラを使って、観測的な活動をしてみることにした。

#### 3.1 変光星の測光観測

観測的な活動といっても、顧問も素人なので、何を観測するべきかという情報があまりなかった。そこで、アストロアーツ社のホームページ記事で日本変光星研究会が変光星観測の呼びかけを見たのをきっかけに、VSNET (Variable Star Net) と VSOLJ のメーリングリストに加入させて頂いた。関連して、日本変光星研究会の方たちには、加入後、測光観測のノウハウについてとても詳しく教えて頂いた。これがなければ、その後の活動はできなかつたと思っている。

2001年の冬、VSNETのアラートで、いっかくじゅう座 V838 (V838Mon) という天体の増光という情報があった。試みに撮像した画像データとステライメージで測光した値を、VSNET の主催者であった京都大学の加藤太一助教に送ったところ、学術データとして使えると思うので継続的に撮影してみるように

というお勧めを頂いた。冬の日暮れが早い冬の間は、下校時刻の前後で、ある程度の日数をおいて撮像を行った。V838Monは、一度、減光した後、再増光するという複雑な光度変化を示し、さらに恒星の周辺にライトエコーが観測された[3]。このライトエコーは、ハッブル宇宙望遠鏡によって非常に美しい画像が撮影され、世界的に有名になった。この天体現象は、複数の恒星の合体(Merger)であると考えられている[4]。その後、この天体は、15年以上の期間にわたって同じ機材で継続的に測光しているが、一度、減光してライトエコーが見えなくなった後、現在も変光を続けている(図2)。

V838Monの観測は、宇宙はいつ見ても同じというわけではないことを教えてくれた。そして、日々明るさが変わったり、数時間単

位で明るさが変わったりという天体の測光はダイナミックで、学校天文台の機材でも天文学ができるというよい先例となった。このあと、しばらくはVSNETで流れるアラートで撮れるものは撮るといった状態が続いた。

その後も、変光星の観測は継続しており、2009年には学校での宿泊観測会中に、渡辺昌仁君がデジタルカメラで撮影した画像に、増光直後のKT Eriが写っていて、これを永井和男氏に測光して頂いた報告がIAUCに掲載された[5]。また、加藤まり子・慶應大教授から提供されたy-bandフィルターを用いた新星の測光観測も実施している[6][7]。

この他、機材の状態や測光精度のチェックのため、部活動がないときに、教員が突発天体の連続測光を行っている。得られた観測データはVSOLJのメーリングリストに報告し、

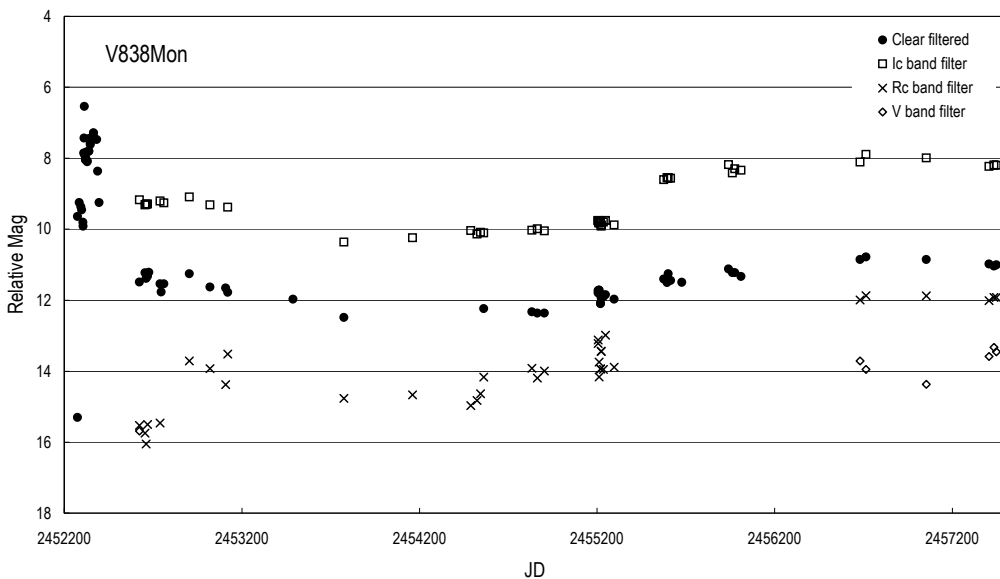


図2 成蹊天文台で測定したV838Monの15年間の光度変化

急増光のあと徐々に減光し、2008年頃から増光に転じている。近年はVバンドでも撮像できるようになった。V838Monは非常に赤い天体なので、比較星の選定が難しく、他の比較星を使った測光結果とは直接比較できない。

SU-UMa型の激変星の観測データや404 Cygなどのブラックホール連星系の観測データは、京都大学チームの手によってレポートして頂いている[8]。

### 3.2 超新星の測光観測

2002年1月29日に、広瀬洋治氏によってM74に明るい超新星SN2002apが発見された。元々、串田氏のシステムを見てデジタル化を考えたので、東京都下で超新星探索をする、ということも目標の一つであったため、SN2002apの発見後の増光ステージから光度変化を追うことにした。ぐんま天文台で分光がなされると、この超新星はHyper Novaであることが分かって話題になった[9]。増光から15等近くまで測光を続け、その結果は天文学会ジュニアセッションで発表することができた[3]。

このように突発天体の測光観測が軌道にのってきたのだが、2003年頃になると、All Sky Automated Survey (ASAS)をはじめとして、全天の変光星を自動的に測光して増光天体を検出するロボット望遠鏡システムが稼働を開始した。そこで、これまでやっている一日一回程度の観測頻度での測光は、ロボット望遠鏡に代替されてしまうのではないかと危惧した。後に、これは杞憂だったことが分かるのだが、せっかく導入した天体望遠鏡システムを活かしてできる活動を模索し始めた。

### 3.3 月面分光地質学

ある日、天文学とは全く違う目的で、インターネットで画像処理ソフトについて検索していたとき、秋田大学の佐伯和人・准教授（現・大阪大学教授）のホームページにたどりついた。佐伯氏は、小口径地上望遠鏡で複数のバンドパスフィルターを組み合わせて、月面の物質の化学組成をマッピングする方法を提案し[10]、併せて、測定の際に必用なフラ

ットフィールド撮影用積分球の製作法の情報まで公開されていた。早速、連絡をとってみると、撮像するならレクチャーをしてくださるといふ。部員たちも挑戦してみようということになり、まず、発泡スチロール球と塗料を購入してホームページを見ながら積分球を自作した。それまでは、フラットフィールドは明け方や夕方の薄明時のスカイフラットを撮影していたが、この積分球の導入により、常時、良好なフラットフィールド補正用画像が撮像できるようになった。この機材は、後に系外惑星のトランジット法観測の際に大活躍することになる。

月面分光画像解析は、ハワイ大のLucey教授がクレメンタイン衛星画像の解析中に発見した方法で、複数のバンドパスフィルターで撮影した画像のピクセル強度比がアポロ計画で回収された月面試料のFe、Tiの含有量と相関を示すことを利用して、月面全面の元素マッピングを行うものである[11]。佐伯氏の提唱している方法は、当時打ち上げが予定されていた日本のかぐや月探査衛星の画像処理のためのトレーニングを行う実習としての意味もあった。使用するフィルターは量販品を使うことができ、冷却CCDカメラに取りつける52mm径フィルターフォルダーは光映社が製作販売していたので、これを購入して、すぐに撮像テストができた。ここでも赤道儀の高い追尾精度が、画像の重ね合わせを正確に行うことに役立った。ただ、実際に撮像して画像処理をしてみると、クレメンタイン衛星の解析結果と一致する画像がなかなか得られず、作業は難航した。原因がフラットフィールドの撮像条件の影響であることをつきとめるまでに半年ほどかかった。この間、月画像を繰り返し撮影し、合成する条件を粘り強く探ったのは、渡邊真澄さんや柿田彩乃さんの代の部員たちだった。画像合成がうまくいかないのが顧問があきらめかけても、も

う一回試してみましよう、とってくれた高校生たちの努力で成功への道が開けた。試行錯誤の結果、完成した画像は、当時の地上望遠鏡で撮影されたものとしては最高精度のもの[12]で、地質学雑誌口絵を飾った[13]。

月面の元素マッピングに成功後、惑星科学にも天文台の活動範囲が広がり、かぐや衛星の画像を用いたクレーター年代学[14]や、小惑星イトカワの地形再現実験[15]などにも取り組んだ。クレーター年代学は、当時、中学校1年生だった新井修平君が興味を持ち、まず佐伯氏から提供されたアポロ画像を使ってクレーターカウントの練習から始めた。その結果は日本天文学会ジュニアセッションで発表し、中学校1年生として立派なプレゼンテーションだった[16]。ただ、実際にカウントしてみると、どうしても先行研究よりも数が多くなってしまった。これを、JAXAの諸田智克氏（現・名古屋大学助教）に相談すると、二次クレーターをカウントしているのが原因でしよう、とのことだった。当時は二次クレーターの判別はコンピュータで自動的に行うことができず、職人技が必要とされていた。JAXAに伺って諸田氏に手ほどきをして頂くと、新井君は二次クレーターの判別ができるようになり、プロがカウントした値に近いデータがとれるようになった。かぐや衛星画像が公開されると、使いにくいインターフェイスを克服して画像を入手し、成因が分かっているライナーのクレーターカウントを試してみた。この結果は、日本地球惑星科学会ジュニアセッションで公表し、奨励賞を頂いた[14]。かぐや衛星の画像を用いて高校生がクレーターカウントを行ったのも、世界的に見ても例は少ないと考えられ、かつ、当時ライナー周辺の詳細なクレーター年代学は公表されていない新しいデータだったにもかかわらず、その評価が低かったのは残念だった。中学生や高校生がトレーニングをすれば、あ

る程度の精度でクレーターカウントができることが実証できたので、SETIのようにチュートリアルと組み合わせて、全てのかぐや衛星画像をクレーターカウントしてしまうという案もあった。成蹊の取り組みは、そのパイロット・プロジェクトの意味があったのだが、実現に至らなかった。

### 3.4 系外惑星のトランジット法観測

系外惑星は、1995年にドップラーシフトを用いた方法で検出された後、1999年にトランジット法によるHD295438bの検出に成功した[17]。これらの観測は直径がメートルクラスの口径のものであったが、2003年にTrans-Atlantic Exoplanet Survey (TrES)プロジェクトによるTrES-1の発見が速報された[18]。使用された望遠鏡を見ると、十数cm径の小型望遠鏡であった。2003年の冬合宿で天文雑誌の記事を見ながら、こんな小さな望遠鏡でもできるのなら、もしかしたら学校の望遠鏡でもできるかも知れないという話になった。試しにやってみようとHD68988の撮像をしたのが2004年2月だった[19]。この天体は、冬合宿終了後の2004年1月～2月にトランジットの可能性が予報されていた数少ない天体の1つだったが、残念ながら後にトランジットは起こらないことが分かった。現在のように連続測光した大量の画像を処理できるソフトウェアは普及していなかったので、部員たちは高校生に著作権フリーで提供されていた測光ソフトJIPを用いて、数台のパーソナルコンピュータごとに数十枚の画像を測定するという人海戦術で数百枚の画像の測光を行った。そうして得た測光値は、S/N比を上げるために複数の測光値を平均して測光精度を上げる工夫を考えた。また、前述のASASは故意にデフォーカスして撮像しており、これはCCDの素子のアンダーサンプリングを防ぐためということだったので、学

校の望遠鏡で変光星の測光する際には、元々フォーカスを甘くしていた。これらのことは、国内で先行的に系外惑星のトランジット法による観測について情報発信していた大島 修氏のまとめ[20]にも入っていて、その情報で自分たちの方法が間違っていないかという確認は行っていたが、プライオリティを軽視していたわけではない。日本天文学会ジュニアセッションで発表した際に、この件に関して悪意のあるコメントをつけた人がいるので、本稿で誤解であることを明記しておきたい。

HD68988 の観測でノウハウが蓄積できたので、同じ方法で 2004 年秋に、初めてトランジットが確認された HD295438b の撮像を行ったところ、あっけなくトランジットが捕らえられてしまった[21]。当時、日本の国内で高校生が系外惑星のトランジットを捕らえた報告は他になく、おそらく世界的に見ても珍しかったはずである。その後、いくつかの系外惑星のトランジット観測に成功して、観測方法が確立したため、すばる望遠鏡で発見されたドップラー法で発見された系外惑星のトランジット観測に挑戦することになった。井田 茂・東京工業大教授から、ドップラー法で発見された系外惑星についてトランジットの可能性のある時間帯を教えて頂き、可能な限り連続測光観測を行ったが、気象条件のよいアメリカ西海岸のチームが先にトランジットの検出に成功し、日本チームは分が悪かった。

しかし、すばる望遠鏡の観測データに触れたことがきっかけで、部員たちの中で、すばる望遠鏡へのあこがれが大きくなっていった。その頃、国立天文台と小柴科学教育財団が主催する「すばるマカリィスクール」が、高校生にすばる望遠鏡での観測計画を募集していた。顧問に話すと無理と言われるかもしれない、と思ったのか、部員の小山裕依子さんたちは内緒で計画を進め、出来上がった応募書

類を持って締め切り直前に相談にきた。参加チーム選抜のためのプレゼンテーションも、既に自分たちで作り上げてあって、これで本番に臨んだ。その結果、銀河の観測提案を行った長野工業高等専門学校天文部と一緒に、すばる望遠鏡での系外惑星 TrES-1 の精密測光観測を体験させて頂くことができ、顧問も引率という名目でハワイに連れて行ってもらえることになった[22]。実際に現地につくまでは顧問もその重大さに気づいていなかったが、ハレポハクの施設に到着すると、高校生が宿泊するのは初めてとのことだった。高山病の危険がある中で、ハワイ観測所として最大限の危険対策を考えて迎えて下さったことも、この時に分かった。実際の観測は、プロの天文学者と同じプロセスで行われ、観測前の望遠鏡の条件設定などもオペレーターの方たちと相談しながら進められた。望遠鏡の大小はあるが、観測天体の位置やカメラの露出条件などの設定手順は、学校で普段行っているものとはほぼ同じで、全く違和感がなかった。地上望遠鏡としては世界最高の分解能を持つすばる望遠鏡をデフォーカスして撮像するというと、天文台の皆さんに目を丸くされるというエピソードもあったが、V 等級が 11.79 等の TrES-1 は、すばる望遠鏡には明るすぎるので、その点でもデフォーカスして時間分解能を上げる必要があったのだった。

また、このイベントでは、当時は珍しかったインターネットの高速回線を用いて、東京の会場と結んだテレビ会議により、その体験を直接伝えるというイベントも行われて、成功裏に終わった。

このことは、学校天文台の小口径望遠鏡でトレーニングすれば、高校生がメートルクラスの望遠鏡での観測を行うことができ、その体験をリアルタイムで世界の同世代の仲間に伝えることができることを示している。残念ながら、すばる・マカリィスクールの実施は

この1回だけであり、その後、高校生がすばる望遠鏡で夜間観測することはかなえられていない。長野工業高等専門学校と成蹊高等学校の体験を踏まえて、是非、高校生に機会を与えて欲しい[1]。

その後、系外惑星のトランジット法観測は、同じ天体を複数回観測する Transit Time Variation (TTV) の検出などにも挑戦した[23]が、小口径望遠鏡で可能な候補の恒星はほぼ全天で観測されつくされ、ケプラー宇宙望遠鏡による大量の観測データが出されるようになったため、学校天文台で系外惑星に関する新しいデータを出せる時代は過ぎてしまったと考えられる。しかし、精密な連続測光技術のトレーニングにはよい観測対象であり、現在は、この方法を活用して、ケプラー衛星で発見された異常な変光を示す天体 KIC8462852 を継続的に観測している[24]。

### 3.6 天体现象のライブ中継

天文台施設更新時は、インターネットが普及し始めた時期であったため、学内 LAN を敷設する際に、天文台にも LAN を引いてもらった。LAN を引いた当初は、動画を中継するには高い技術を要したが、2010年代になると、誰でも簡単にインターネット中継ができるツールやサイトができて、天文台から簡単に動画を配信できる環境が整った。2014年の皆既月食中継や2015年のはやぶさ2スイングバイ中継などに挑戦した。大きな天体现象の際は、東京都下で来校しやすいということもあって、可能であれば報道機関にも取材して頂いた。学校天文台は教育を目的とした施設ではあるが、教育資産を活かして、一般の天文ファンにも容易に提供できるようになった。

## 4. 考察

学校天文台は、学校現場において宇宙を身

近なものにするツールであると考えている。都市部で光害がひどく、肉眼では惑星や明るい恒星しか見えない地域であっても、自動導入赤道儀と冷却 CCD カメラを用いることで、簡単に星雲や星団をとらえることができる。学校に天文台があることによって、子どもたちの生活の一部である学校で、いつでも天体観測ができる環境を作ることができる。

また、学校天文台を使った天文部員が、「目では何もないようにみえるところから、自分たちの手でカメラを操作することで、天体の画像が現れるのが面白い」という感想を話してくれたのが印象的である。冷却 CCD カメラは、肉眼ではよく見えない天体を可視化してくれる道具でもある。チャンスを活かせば、学校天文台で雑誌 Nature に掲載されるような最先端の真正な科学データを得ることが可能である。そして、惑星や星座の動きは時計のように規則的であっても、宇宙は常に変化していて、いつも同じ姿ではないことを、教員も含めて実感することができる。

クラブ活動の顧問として、どんなテーマで活動するかを考えるとき、常に頭にあったのは、高校生の観測であっても、新しい発見や新しいデータを示すものを模索しようという点だった。自然科学の研究で、一番の感動するのは、未知の現象を捉えたときや、誰もできなかった新しい方法で自然現象を説明できたときであろう。科学史上の重要な発見を、高校生が自分の手で追体験することの意義を否定するわけではないが、結果が分かっているものは、学校の授業で行う教科書に載っている観察実験と同じと感じる。新天体や突発天体の観測は、それだけで未知への挑戦という意味を持っているので、他の自然科学の分野と比べて、天文学は優れた素材を提供できる分野といえるだろう。

また、学会は新しいデータ・手法を発表するところである。成蹊高等学校天文気象部で



は、プロ・セッションに出る場合でも、ジュニアセッションに出る場合でも、基本は何か新しい発見・データ・提案を含むことを基本条件としてきた。また、高校生なりの稚拙な方法であっても、自分たちの天文台を使って、自分たちの手でデータを出してきた。また、高校生たちが発表をすると、その場で研究者同士の議論が始まって、プロの科学者たちの真剣さを垣間見せてもらう機会もあった。こうした機会は、教育学的には「正統的周辺参加」[25]に当てはまり、高い教育効果が期待できる。

公開天文台などを利用して、プロの使う高度な機材を使って天体観測を体験することと平行して、学校天文台を再生して日常的な場に本物の科学に触れる場を作ることも重要であろうと考える。

## 5. おわりに

成蹊高等学校天文台の活動は、本稿にお名前を挙げた方以外にも、多くの研究者や教育関係者の方たちにご援助頂いた。継続的に活動成果が出せたのは、これらの方々のお蔭である。

本稿で示した成蹊中学高等学校天文台における実践は、小さな望遠鏡でも、工夫すれば新しい発見を含む継続的な探求活動ができることを、ささやかな例として示せたのではないかと考えている。筆者は課外活動の顧問として観測に携わったが、高校生たちの積極的な活動のおかげで、大きな苦勞をすることなく楽しく 20 年間で過ごすことができたことを記しておきたい。

## 文 献

- [1] 宮下 敦, (2008), 学校望遠鏡から大口径望遠鏡へ, 天文教育, 20, 2 - 7.  
 [2] 浜根寿彦, 鈴木文二, 宮下 敦, 大島 修,

- 尾久土正己, 小野智子, 水野孝雄, 渡部義弥, (1999), 高校生のしし座流星群, 日本惑星科学会誌, 18, 17 - 22.  
 [3] 陶山史織, 宗像真由美, 杉井かおり, 宮本桃子, (2003), 超新星・新星の測光—特に V838MON について, 2003 年日本天文学会ジュニアセッション講演要旨集, 22 - 23.  
 [4] Tylanda R., Soker S. and Szczerba R., (2005), On the progenitor of V838 Monocerotis, *Astronomy Astrophysics*, 441, 1099 - 1109.  
 [5] IAUC 9098  
 [6] 板東志栞, 清岡寛人, 高橋秀樹, 内海彩貴, (2011), 古典新星 KT Eri の y バンド測光, 2011 年日本天文学会ジュニアセッション講演予稿集.  
 [7] 細谷 瑛子, 上野 未遊, 早坂 麻紀, 岡本佳之, 小川 滯, 高木 麻緒, 高橋 有里紗, (2014), いるか座新星の光度変化, 2014 年日本天文学会ジュニアセッション講演予稿集.  
 [8] Kimura M., Isogai K., Kato T., Ueda Y., Nakahira S., Shidatsu M., Hori T. E., Nogami D., Littlefield C., Ishioka R., Chen Y. T., King S. K., Wen C. Y., Wang S. Y., Lehner M. J., Schwamb M. E., Wang J. H., Zhang Z. W., Alcock C., Axelrod T., Bianco F. B., Byun Y. I., Chen W. P., Cook K. H., Kim D. W., Lee T., Marshall S. L., Pavlenko E. P., Antonyuk O. I., Antonyuk K. A., Pit N. V., Sosnovskij A. A., Babina J. V., Baklanov A. V., Pozanenko A. S., Mazaeva E. D., Schmalz S. E., Reva I. V., Belan S. P., Inasaridze R. Tungalag T. N., Volnova A. A., Molotov I., Miguel E., Kasai K., Stein W. L., Dubovsky P. A., Kiyota, Miller S. I., Richmond M., Goff W., Andreev M. V., Takahashi H., Kojiguchi N., Sugiura Y., Takeda N., Yamada E., Matsumoto K., James N., Pickard R. D., Tordai T., Maeda Y., Ruiz J., Miyashita A., Cook L. M., Imada A. and Uemura M., (2016), Repetitive patterns in rapid optical variations in

- the nearby black-hole binary V404 Cygni, *Nature*, 529, 54 - 61.
- [9] IAUC 7811
- [10] 佐伯和人, 平田 成, 大嶽久志, 竹内圭一, (2000), 望遠鏡月面分光観測システム構築, 日本惑星科学会誌, 9, 77 - 85.
- [11] Lucey P. G., Blewett D. T. and Hawke, B. R., (1998), Mapping the FeO and TiO<sub>2</sub> content of the lunar surface with multispectral imagery, *JGR*, 103, 3679 - 3699.
- [12] 佐伯和人, (2005), アマチュア観測機材による月面分光地質学, 日本航空宇宙学会誌, 53, 7 - 11.
- [13] 成蹊高等学校天文気象部, 宮下 敦, 佐伯和人, (2004), 高校生による月面分光地質学, 地質雑, 110, IX - X.
- [14] 新井修平, 甲斐義之, (2011), かぐや画像を用いたクレーターカウント, 日本地球惑星科学連合, 高校生セッション予稿集, O020-P04.
- [15] 飯嶋カンナ, 加藤美彩, 宮下 敦, (2007), 小惑星の地形再現実験. 日本地球惑星科学連合 2007 年大会講演要旨集, P226-P004.
- [16] 柴田悠貴, 板垣信人, 新井修平, (2009), 月面クレーター・カウティング, 2009 年日本天文学会ジュニアセッション講演予稿集.
- [17] Henry G. W., Marcy G. W., Butler W. R. and Vogt S. S., (2000), A Transiting "51 Peg like" Planet, *Astrophys. Jour.*, 529, 41 - 44.
- [18] Alonso R., Brown R. T., Torres G., Latham D. W., Sozzetti A., Mandushev G., Belmonte J. A., Charbonneau D., Deeg H J., Dunham E. W., O'Donovan F. T., Stefanik R. P., (2004), TrES-1: The Transiting Planet of a Bright K0V Star, *Astrophys. Jour.*, 613, 153 - 156.
- [19] 増森治子, 森本迪恵, (2004), 系外惑星探査に挑戦, 2004 年天文学会ジュニアセッション予稿集.
- [20] 大 島 修 ,  
<http://otobs.org/hiki/?transitObs>. (2018 年 2 月に最終閲覧)
- [21] 高嶋 寛, 小山裕依子, 小野さなえ, 川田 賢, 早水友洋, (2005), トランジット法による系外惑星探査, 2005 年天文学会ジュニアセッション予稿集.
- [22] 宮下 敦, (2005) すばる望遠鏡への旅, 星ナビ 11 月号.
- [23] 伊藤天心, 佐々木啓, 竹内啓太, 南波美朋, 原 弘樹, 樋口一樹, 安田友裕, 渡辺昌仁, (2010), HAT-P-13 のトランジット観測, 2009 年日本天文学会ジュニアセッション講演予稿集.
- [24] 川野美渚, 尾上茉莉, 都筑 奏, 大内雄登, 山口航輝, 村山智博, 牧田 豪, 小川真司, 稲留直紀, 小松崎 健, 豊田麗未, 守屋直希, 沼部 恵, 後藤啓太, 吉武晃生. 芳賀匠海, 片山夏生. 鈴木裕太, 羽鳥ひさ乃, (2017), KIC 8462852 の測光観測結果と変光の原因をさぐる実験, 2017 年天文学会ジュニアセッション予稿集.
- [25] レイヴ, ウェンガー著, 佐伯 胖訳, (1993), 状況に埋め込まれた学習—正統的周辺参加. 産業図書, 203 頁.



宮下 敦