

成蹊高校によるトランジット法系外惑星観測

宮 下 敦

〈成蹊高等学校 〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-10-13〉

e-mail: miya@th.seikei.ac.jp

成蹊高校天文気象部では、2004年から学校天文台の機材を利用して、トランジット法による系外惑星の観測を行ってきた。約9年間の間に、20天体を観測し、うち6天体の観測に成功した。現在では10-11等級程度の候補天体の観測で、ほぼコンスタントにトランジットによる減光を検出することができるようになってきている。これらの観測は、高校生にとっては未知の現象の観測に挑戦して天文学に貢献でき、かつ、学校での学習内容を実践的にテストできる貴重な体験となった。成蹊高校における実践は、学校天文台の機材の充実と大型天体望遠鏡での体験を組み合わせることにより、天文学と学校教育の両者に貢献する活動が可能であることを示している。

1. なぜ高校生に系外惑星探査か

筆者個人のことで恐縮だが、筆者は、高校教員を本業としつつ、細々と科学的な調査をしてデータを出したり、それを発表したりしている。もちろん、科学は、その成果を社会に還元して、人々の役に立つために研究が行われるのだが、私の経験では、それだけでは科学の仕事はつらすぎる。科学者として、誰も見たことがない現象やアイデアに接し、好奇心を刺激されることも、科学をすすめるための大きなモチベーションである。筆者個人の体験から、高校生たちも、今まで誰も見たことがないものを見たり、体験ができれば、それは、彼らが将来創造的な活動をするうえでこの上ない力になるに違いない。いくら最新の珍しい装置を使わせてもらったとしても、誰かが見つけてしまったことを追体験されるのは楽しいことではないだろう。

そこで、高校の部活顧問としては、常時、高校生として体験可能で、かつ、何か新しいものが見えるテーマを探し、それを高校生と相談してやってみる、ということにしている。成蹊高校天文気

象部として、高校生として初めてやったこと、というのは、高校生観測会の代表としての「しし座流星群」の時間変化の解析、月面分光學、小惑星イトカワの地形模型実験、かぐや画像を用いたクレーターカウント、および東工大付属高提唱による19等より暗い小惑星探査など諸々ある。これらのテーマを選ぶうえでは、大学で用いる高価な機材や高度な解析が必要でないことが条件だが、筆者が天文学や宇宙物理学については素人で、高校の理科教科書で授業をできるレベルの素養しかないので、原理を理解できて自分でやってもできそう、ということは、高校生にも実行可能であった。携帯端末などの普及によって高校生にとってデジタルカメラは身近なものになっているから、CCDは特殊なセンサーではなくなっている。トランジット法による系外惑星の検出は、高校の地学教科書に載っている光比と等級の関係が理解できれば、検出そのものは高校生にも可能な技術である。

本稿では、高校生による系外惑星の観測の体験を述べ、今後の天文学普及についての願いについて書いてみたい。

2. 冷却 CCD カメラの導入

東京都下にある学校の天文部は、普通の生活の中で星を見ることが出来るチャンスが少ない。学校では、条件のよいときでも、主な星座の形が分かったり、望遠鏡を使っても惑星の観望がようやくできたりする程度である。また、夜、学校に残ること自体、安全管理上難しいことが多いが、本校の場合、これまでの実績を認めてもらって、夜の活動が許可されているのは有難いことである。

しかし、せっかく夜間に活動ができて、光害で雲が白く見えてしまうような明るい夜空の中でできることは限られている。本校の機材は、口径15 cm 屈折望遠鏡とドイツ式赤道儀で、条件がよくても望遠鏡を用いた目視では10等程度しか見えず、星雲星団は形がわからない。フィルムカメラによる撮影では、短時間の露出で空が青く写ってしまう。普通の学校での活動の中で、夜に星を見る方法を探していたところ、岡野邦彦氏が都下で冷却CCDカメラを用いて撮像したすばらしい画像を掲載した本が発売された¹⁾。冷却CCDカメラが光害に強いのは一目瞭然であった。そこで、2000年に冷却CCDカメラを購入したが、他の予算を圧迫して購入してもらったために、翌年の筆者の科の物品購入予算は0になった。岡野氏や日本変光星研究会の方々に指導していただきながら、望遠鏡への取り付け、画像の撮像、フラットフィールド画像の取得、測光などを試していった。肉眼では望遠鏡を通して全く見えない天体が、冷却CCDカメラを通じて浮かび上がるのは素人にはとても不思議な体験である。また、数分程度の短時間露出でも15等くらいまでの天体が写るので、学校に宿泊しなくても、日暮れの早い冬季であれば夕方居残りをして撮影ができるようになった。最初は、面白がってメシエ天体などを撮りまくっていたのだが、ちょうどその頃、特異変光星V838Monの増光があった。高校生が夕方

に撮像できたこともあって、ある程度の期間にわたって光度を追跡し、不思議な光度変化やライトエコーを記録できた。日本変光星研究会にも報告したところ、高校生が撮ったものでも役に立つらしいことがわかり、2002年の天文学会ジュニアセッションで公表した²⁾。国内では、高校生が自前の冷却CCDカメラを使って変光星の測光結果を出した先駆的な例の一つになった。

3. 系外惑星検出に挑戦

ようやく変光星の測光が面白くなってきたときに、変光星や突発天体を常時モニターするASAS-3 (All Sky Automated Survey) が動き始めることがわかった。1日に1回撮像するのは、ASAS-3がみんなやってしまうらしい。これは後にそうでもないことがわかるのだが、当時は、数日に1回測定する変光星観測では科学的な貢献はあきらめなくてはと思った。ちょうどその頃に、WASP (Wide Angle Search for Planets)やTrES (Trans-Atlantic Exoplanet Survey)によるトランジット法を用いた系外惑星サーベイの様子が報じられるようになった。WASPやTrESも、ASASと同様に、短焦点の広視野望遠鏡を用い、追尾精度の良いしっかりした架台を用いていることがわかった。私たちだけでなく、小口径望遠鏡と冷却CCDカメラを使って測光をしていた人たちは、おそらく誰でも検出の可能性を感じたに違いない。当時、高校2年生だった増森治子さんと森本迪恵さんにWASPの写真を見せて、「うちの望遠鏡よりも細いのも、他の恒星の周りの惑星が見つけられるらしいぜ」と振ってみた。「ほんとに、こんなことできるんですかね?」、「ま、できるかできないか、やってみよう」という軽い会話で、実行が決まった。トランジット法による系外惑星の検出では、ミリ等級の精度で光度を求めなくてはいけないが、すでに激変星の測光で0.1～0.01等の精度で測光ができていたので、工夫すれば達成できそうな目標に思われた。東京では光害

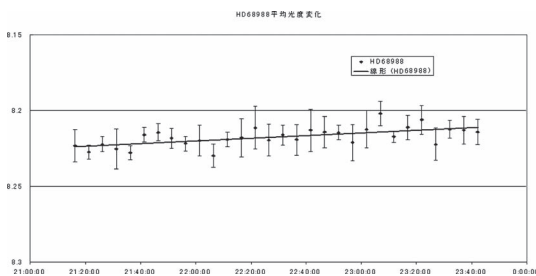


図1 製作中のフラットフィールド用積分球とHD68988の連続測光結果. この積分球は製作費1万円程度で、修理を繰り返しながら10年以上使用している.

がひどくて、星の並びから目的の天体を導入することは不可能なので、本校の架台はアライメントしなくても高い導入・追尾制度をもつエルデ光器赤道儀(GX-1)と、自動導入システムAPECSを用いていたことも、測光精度を上げる要因だった。また、フラットフィールド画像の取得は、増森さんと森本さんが挑戦していた月面分光光学で、秋田大(現・大阪大)の佐伯和人博士が開発していた発砲スチロール製積分球³⁾を自作してあり、昼間でもよいフラットフィールド画像が得られるようになっていた。そこで2004年のジュニアセッションにエントリーすることを目標に、2003年冬から2004年春までの間に観測してみることにした。実は、東京の12月から2月は、湿度が低く安定した晴天が持続するので、光害さえなければ連続測光観測には好適な環境である。できれ

ばHD203498bのようにすでにトランジットが観測されている天体の追試を行いたかったが、当時は、冬から春にかけて観測できる候補天体なかった。そこで、Transitsearch.org (<http://www.transitsearch.org/>)に掲載されている候補天体から、HD68988をターゲットにして観測してみた⁴⁾。結果が図1で、比較星の色指数が合わないことによる光度変化が見えてしまっているが、0.01等程度の減光があれば、検出可能な精度が出せそうである。月面分光光学も、この年に一応の到達点まで完成したので、2004年春からは、トランジット法による系外惑星の検出を、クラブ活動のメインテーマにすることにした。

4. 高校生、すばる望遠鏡に行く

2004年度の高校2年生の主要メンバーは、小山裕依子さん、小野さなえさん、川田賢君、早水友洋君らであった。宿題であったHD209458bの検出は、2004年夏にあっさり成功してしまい、その成果を2005年春の天文学会ジュニアセッションで発表した⁵⁾。この会場で、国立天文台から高校生がすばる望遠鏡で体験観測をする計画がある、というアナウンスがあった。締め切りまで時間がなく、主要な部員の多くが受験生となり、なおかつ観測所は富士山より標高が高いとあって、顧問は応募する気はあまりなかった。しかし、ある日、この4人のメンバーが、エントリーシートをもって現れ、ハワイに行きたいので顧問として承認をして欲しいと依頼された。何と、彼らはプレゼンテーション用のパワーポイントファイルまで作成済みであった。それだけハワイ観測所すばる望遠鏡の魅力は大きかったらしい。観測提案のコンテストで普段から自分たちで観測をしている実績を認めていただき、ハワイ行きが実現した。国立天文台ハワイ観測所としても、高校生を夜間にマウナケア山頂に上げるのは、勇気のいる判断だったと思われる。丁寧な準備と指導をしていただき、当日の晴天にも恵まれ

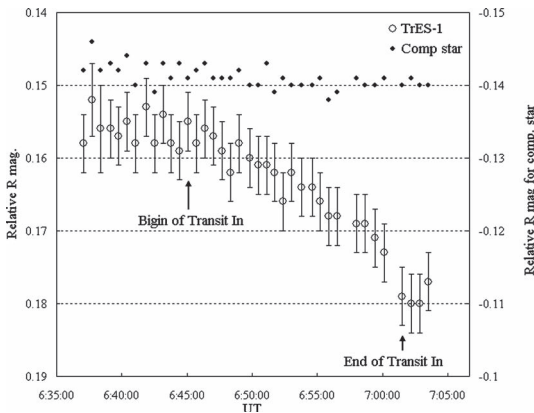
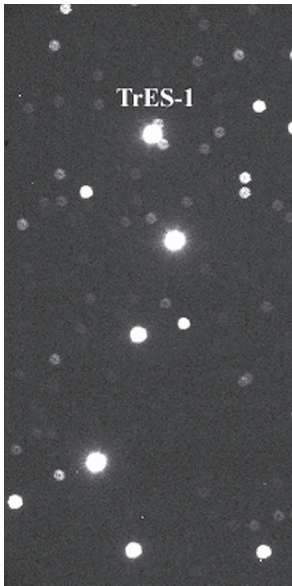


図2 すばる望遠鏡FOCASによるTrES-1のRバンド画像と測光結果。測光時の総カウントを大きくするためにデフォーカスしている。減光開始からほぼ終了までを捕えているが、この精度の範囲ではリングや衛星による減光は見られない。三つの比較星をも用いたアンサンブル測光を行っている。

て、日本の高校生としてハレポハク最初の宿泊者となり、参加2校の観測は無事に完了した。また、日本との高速回線を用いた観測の様子を伝える中継実験も成功した。

実際に現地に入るまでは、すばる望遠鏡は最新の大型観測装置であるので、観測といってもどん

な準備をするのか想像がつかなかった。しかし、意外にも、すばる望遠鏡での観測は、普段、学校天文台で行っている手順どおりで、観測条件の決定、テスト撮像画像による視野確認、撮像、および撮像画像ファイルをいただいてのフラット補正と測光と進んだ。部員たちも全く違和感なく、いつもの活動どおりに動くことができ、大型望遠鏡でも観測の基本は同じであることを実感した。このことは、普段のクラブ活動で冷却CCDカメラによる撮像を行っていたら、高校生でも大型望遠鏡での観測を行うことができることを実証したことになる。測光用ではないFOCASを用い、高分解能を追求しているすばる望遠鏡でデフォーカスして撮像をするのは、おかしな観測方法だったかもしれないが、観測の結果、TrES-1の減光が精密にとらえられた(図2)。系外惑星にリングや大きな衛星があれば、検出できるのではないかと期待したが、美しい曲線が得られたので、少なくともこの観測時にはそのような現象は見られなかった。このデータは、天文学会の一般セッションで公表⁶⁾され、その成果により2006年小柴昌俊科学教育賞奨励賞を受賞した。

5. 系外惑星観測その後

日本トランジット観測ネットワーク(N2Kネットワーク)には、2004年頃から加えていただき、すばる望遠鏡やケック望遠鏡によりドップラー法で検出されたトランジット候補天体の確認観測を行った。この間に海外でも多くの観測者が参加し、検出競争が激化していた。N2Kネットワークでも、観測を予定していた候補天体が荒天で観測できず、その間に海外でトランジットが観測された例(HD149026)もあり、アリゾナなど晴天率の良いところの観測チームには太刀打ちができなくなりつつあった。2007年頃までには、10等より明るい候補天体はほぼ探し尽くされた感があり、サーベイは、より暗い天体を対象としたものや、COROTやKeplerといった衛星観測に

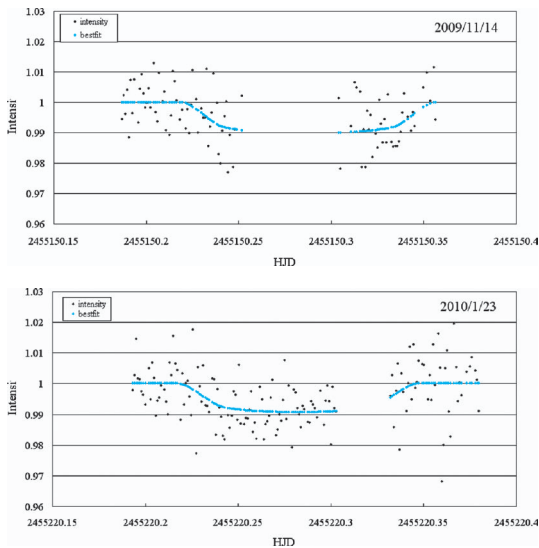


図3 2009-2010年に観測したHAT-P-13の光度曲線。グラフの途切れている部分は薄雲で測光できない部分。2009年11月はNHKの取材があったが、この観測時に、部員の渡辺君がデジタルカメラで撮像したオリオン座の画像に、最大光度に達した古典新星KT Eriが写っていたというエピソードがあった。

移り、小口径望遠鏡でできることは少なくなってきた。このため、2009年からは伊藤天心君や佐々木 啓君、渡辺昌仁君らを中心としたメンバーで、HAT-P-13についてTTV (Transit Time Variation)の検出に挑戦した⁷⁾。この観測の場合、測光までは高校生たちが行い、カーブフィッティングによる解析は顧問が分担した(図3)。この成果により、2010年高校生科学技術チャレンジにおいて最終審査に進むことができた。

2004年から2010年までの観測実績は、N2Kネットワーク協定天体を含む20天体に対して連続測光観測を行い、うち6天体で系外惑星のトランジットによる減光の検出に成功した。残念ながら狙っていた高校生としては初となる新たな検出には至らなかった。20天体の中には、複数回観測したものも多く、特に冬季は定期テストの合間の宿泊活動時には、ほぼ毎回系外惑星関連の観測をしていたことになる。現状では、視野中に良

い比較星があれば、10-11等の天体で確実にトランジットによる減光が検出できるようになっている。観測を始めたころには技術的に検出できなかったものも、現在は観測可能になっている。

また、本校の機材では、ドームを望遠鏡に合わせて動かすために観測時に誰か立ち合っていないといけないという制約があり、TTVの観測は、観測回数を稼ぐことができなかった。これを克服するために、2011年にはドームの改装を行って赤道儀とドーム駆動を連動できるようにし、晴天が保障されている夜であれば、無人で観測ができるように整備を進めている。

6. 活動を振り返って

成蹊高校の観測機材は、施設も古く、望遠鏡の口径も飛びぬけて大きいわけではない。私立校はお金持ちだからそのような活動ができるのでしょうか、と言われたこともあったが、課題は金銭的なことも含めて情報収集と工夫である。トランジット法による系外惑星の観測は、こうした小規模な施設でも、未知の現象の観測に挑戦して天文学に貢献でき、かつ、学校での学習内容を実践的にテストできる貴重な体験となった。

高校生が日常生活をしている普通のクラブ活動の中で科学ができることは、とても大切である。高校のクラブの場合、3年でメンバーは入れ替わってしまうが、先輩から後輩へと技術を引き継ぐことによって、息の長い活動を行うことができる。日本天文学会ジュニアセッションの盛況からわかるように、全国の数百校の高校で天文に関するクラブ活動が行われている。また、高校のクラブ活動のネットワークが、大きな力を発揮することは、1998-1999年のしし座流星群全国高校生同時観測会の成果で実証されている⁸⁾。学校天文台の充実により、数多くの高校生が自然科学を楽しみ、科学的データを生む機会ができることが期待できる。

また、お世辞でもよいので、高校生が苦勞して

出したデータが科学的に使えるだろうと、専門家から言っていただけのことはいへん励みになった。さらに、普段のクラブ活動の中から生まれたものを、すばる望遠鏡のような最先端機材で試すことができたことは、高校生にとってかけがえない経験になった。

以上のことは、学校天文台の機材の充実と大型天体望遠鏡での体験観測を組み合わせることにより、天文学と学校教育の双方向に貢献する活動が可能であることを示している。私たちが体験させていただいたことを、より多くの若い人たちにも機会を与えていただけないかと願っている。そのためには、学校での「その場」活動を直接支援する試みや、それを国内の中口径望遠鏡で磨き、最終的には海外の大型望遠鏡などでの体験観測につなげる仕組みができれば、と夢見ているこのごろである。

謝 辞

本稿で紹介した活動をするにあたって、たいへん多くの方たちにお世話になった。本稿の内容は、文中で名前を挙げた高校生以外にも、寒さを我慢して真冬の屋外で終夜観測をしたたくさんの部員たちによって得られた成果の一部を紹介したものである。

慶應高校の松本直記氏をはじめとするDISCプロジェクトのメンバーには、日ごろから観測の教育的意味や方法などについて議論していただいた。清田誠一郎氏や永井和男氏をはじめとする日本変光星研究会の方々には、測光などの基本についてご教示いただいた。また、井田 茂氏や成田憲保氏らN2Kプロジェクトの方たちからは、系外惑星の観測方法についてご指導いただき、また、本稿執筆の機会をいただいた。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 岡野邦彦, 1998, デジタル・アイ—冷却CCDでとらえた深宇宙, 地人書館, p. 90.
- 2) 陶山史織, 宗像真弓, 杉井かおり, 宮本桃子, 2003, 天文学会ジュニアセッション予稿集, pp. 22-23
- 3) 佐伯和仁, 坪井 直, 林 宏明, 2001, 日本惑星科学会誌 10(3), 126-135
- 4) 増森治子, 森本迪恵, 2004, 天文学会ジュニアセッション予稿集, pp. 38-39
- 5) 高嶋 寛, ほか, 天文学会ジュニアセッション予稿集, pp. 52-53
- 6) 早水友洋, ほか, 2006, 天文学会講演予稿集, p. 127
- 7) 伊藤天心, 佐々木 啓, ほか, 2009, 天文学会ジュニアセッション予稿集, pp. 50-51
- 8) 小野智子, ほか, 1999, 天文月報, 92, 272-276

(注: 図表類は、高校生が作成したものをそのまま使用しています。)

Extra-Solar Planets Search Using Transit Method with the Seikei High School Observatory

Atsushi MIYASHITA

Seikei High School, 3-10-13 Kichijoji-kitamachi, Musashino-shi, Tokyo 180-8633, Japan

Abstract: The astronomy club of Seikei High School (called SAMC) has carried out to search transiting exoplanets using our school observatory. The SAMC was able to succeed to observe transit of 6 objects in 20 candidacies. At present, we can detect transit of candidate stars brighter than 10-11 mag. According to our experience, this school activity will indicate some ability to contribute interactively to both astronomy and education.