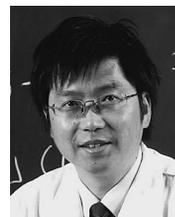


高校生によるトランジット観測 (慶應高校編)



松本直記

〈慶應義塾高等学校 〒223-8524 横浜市港北区日吉 4-1-2〉

e-mail: matsu@hs.keio.ac.jp

学校教育における探求活動の重要性は言うまでもないが、実際のデータを用いた本物体験はことに天文分野においては行いにくい。観測装置が必要なうえ、夜間の現象を扱うことが多いため、生徒の居残りの問題がある。さらには観測データのまとめには多大な時間とスキルを要し、かなり強い動機づけが必要である。筆者は日本トランジット観測ネットワークに参加し、生徒ともにトランジット観測を行った。観測環境の構築と観測の失敗の中からスキルを向上させ、それとともに生徒が興味喚起した様子を報告する。

1. 生徒には本物を見せよう

自然教育の醍醐味の一つは、本物を見せることにあるだろう。本物にしかない説得力や美しさがそこにはある。しかし、天文教育において本物は普通の授業ではなかなか提示することができない。放課後の観望は、天文への興味を喚起し、良い入り口を提供するがその先を提供することはなかなか難しい。

筆者の勤務する高校は、川崎にほど近い横浜市北端に位置し、学校の周囲には緑地帯が残るものの住宅街の中にあり、天体観測する環境としては良いものではない。本校地学教室先輩方の尽力により、望遠鏡を収めるドームと30 cmの反射望遠鏡が導入されていた。しかし街中のため主たる観察対象は月や惑星など明るい天体で、暗い天体を対象とした科学観測は不可能であった。また重い鏡筒の割に赤道儀は不安定でモータードライブは動くものの長時間の追尾は不可能であった。

1996年に理化学研究所の戎崎俊一氏と、国立天文台の縣秀彦氏が主宰するJAHOUに出会い、FITS画像を解析して広がる生徒活動の可能

性を知った¹⁾。翌年より選択科目の教材としてHOUカリキュラムを実施し、CCD画像から結果を得る教育活動が天文学分野の学習に新風を吹き込むであろう可能性を強く感じた。何度も言い古されてきたことだが、高等学校の天文分野の生徒活動は、作図や計算が中心で「天文好きを天文嫌いにする」と言われていたのである²⁾。

1998年に日経新聞に掲載された記事に驚愕した³⁾。岡野邦彦氏による都会で撮影されたM51の写真が紙面を飾っていたのである。冷却CCDカメラを使えば、今までできないと思っていたことができる、自分たちで撮影した画像で解析ができる、と感じた。奇しくも宮下氏（本特集別項参照）と同じ方に触発されたのである。

しかしながら、冷却CCDカメラは簡単に購入できる金額ではない。予算要求は出すもの的高額すぎて通過することはなかった。また、本校の望遠鏡に設置すると考えたとき、CCDの性能を引き出すことはできない。そのためにはしっかりした赤道儀と、見えないものも導入できるコンピューター制御が不可欠と考えた。また、筒内気流の安定に時間のかかる反射鏡よりは、口径は小



図1 本校の天体ドーム。(伊藤伸之輔君(2011年卒業)撮影)



図2 望遠鏡とCCDカメラ。(伊藤伸之輔君(2011年卒業)撮影)

さくとも見え口がシャープでメンテナンスの容易な屈折望遠鏡が望ましいだろうと考えた。同僚らと方針を決め、情報収集して購入を検討する機種を絞っていった。この際には宮下氏にいろいろな助言をいただいた。

2003年にスーパーサイエンスハイスクールの

指定を受け、SSH活動が軌道に乗った翌2004年に望遠鏡のリプレイスと冷却CCDの購入ができる運びとなった。望遠鏡はタカハシのFS-152(F8)、赤道儀はコンピューター制御可能で積載能力の高いNJPを選択した。CCDカメラは受光効率がよく街中でも暗天体が受かることを考慮してSBIG社のST-9XEを購入した。望遠鏡とCCDは成蹊高校と同じ構成である。なお、SSH予算では施設に関する物品は購入できない。恒常固定すると施設とみなされるという理由で赤道儀と望遠鏡を固定するピラー脚の購入は却下された。仕方ないので、ピラー脚は別の研究費から捻出した。

極軸やソフトウェアのセッティングを行った後、選択科目履修者の生徒たちと夏休み中に観測会を行った。薄曇りのなか、目視では2等星がぎりぎり見える程度だったものの、新しい機器での観測では、はっきりとM57とその中心の白色矮星まで浮かび上がらせていた。その威力に生徒とともに驚きを共有した。この後、望遠鏡の稼働率は飛躍的に高くなった。

2. 観測ネットワークへの参加

本物探求活動を天文で

2004年のちょうど新しい望遠鏡が動き出したころ、宮下氏に紹介いただき日本トランジット観測ネットワークに加えていただいた。さらに時を同じくして、雑誌「星ナビ」に岡山の島修氏のトランジット観測手法が特集され⁴⁾、島氏がわずか10 cmの屈折望遠鏡でトランジットを検出されていることに驚くとともに、生徒活動が先端の科学に寄与できるのではないかと期待が膨らんだ。

筆者が指導して望遠鏡を使っているのは、主に地学研究会と選択科目の履修者である。選択科目では、天文学の知識習得と実習、そしてHOUソフトやマカリを用いたFITS画像解析による探求活動を行い、後期には4人程度のグループを作っ

て共同研究を行っている。テーマは観測可能なものであれば自由としている。2004年までは、コンパクトデジタルカメラ、デジタルビデオ、ToUcamなどを望遠鏡につないで撮影し、主に幾何学的手法を用いて、1天文単位の測定、惑星の軌道の推定、惑星の自転周期の決定、衛星の公転を用いた惑星の質量決定などを行っていた。新しい望遠鏡が動き出してからはCCDの威力で観測の幅が広がった。この年、アルゴルの測光変光観測を行って恒星の諸量を求めたり、フィルターを用いた色指数の観測を星団に対して行い星団年齢を求める試みを行ったチームがあった。

トランジットをやってみよう

地学研究会を2005年に前任者から引き継いだとき、部員ゼロの状態だった。即廃部かと思われたが、選択科目の生徒に呼びかけたところ、大谷勇紀君と伊藤桂君の2名が入部してくれて危機を免れた。彼らは兼部をしながら熱心に頑張ってくれ、何度かの校内合宿を行い望遠鏡の操作をマスターした。天文学会ジュニアセッションの話を向けると、是非参加したいと言ってくれそれに向けた観測を始めた。ちょうど、日本トランジット観測ネットワークでHD189733のキャンペーン観測が行われており、これに参加することとした。HD189733は実視等級が明るく、減光率も大きいので現象が受かることを期待した。2回ほど



図3 ジュニアセッションポスター発表の様子。

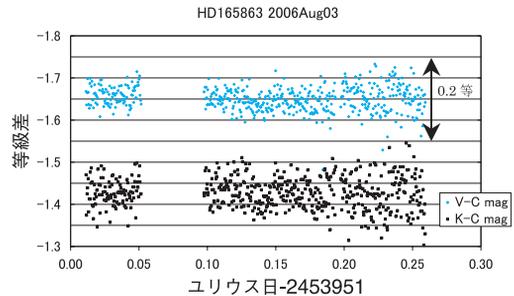


図4 地学研究会によるHD165863の観測結果。

悪天のため観測機会を逃し、3度目に観測することができた。しかし、食の開始（第1接触）の予報時間近辺で曇ってしまいはっきりとした現象は観測できなかった。これが本校で初めてのトランジット観測である。その後、追観測を企図するもののやはり天候に阻まれ観測できなかった。不十分な結果ではあるものの解析方法などをまとめ、ジュニアセッションにポスター発表で参加した。現地では多くの方にアドバイスをいただき、部員たちの大きな励みとなった。

翌2006年は地学研究会に1年の新入部員、篠崎駿君と青祐太郎君が入部し、先輩の部員と協力して、トランジット観測に取り組んだ。日本トランジット観測ネットワークからは、N2Kプロジェクトの巨大望遠鏡によるドップラー観測で系外惑星の存在がわかっている天体の情報をいただき、トランジット観測に取り組んだ。天文学者の巨大望遠鏡による観測と自分たちの活動がつながっていることに加え、もしこのキャンペーン観測で成功すれば世界初の検出となる。この状況とその成果に対する期待は生徒を大いに鼓舞した。天候不良のときは夏休みの合宿で採取してきたアンモナイトの剖出をしながら晴れ待ちをし、何度目かに生徒たちが観測を企画した日時に晴天に恵まれ、一晩の観測に成功した。しかし、観測結果を解析したところ観測誤差が8.8等の恒星に対して0.1等程度の誤差があった。仮に現象が起こっていてもこれだけ誤差が大きいとトランジットは検出できないだろう。観測技術の向上の重要

性を認識した。

選択科目での挑戦

一方、選択科目履修者にもトランジットに挑戦する生徒が出てきた。2007年には藤田大地君がTrES-3を狙った。取り組みを始めて3年目、藤田君と「とりあえず現象を検出しよう」と相談して対象を決めた。TrES-3はV等級8.2等と明るく、トランジットによって約3%も減光するので、観測しやすい対象である。11月3日に観測を行い、第2接触後に雲が出てきてしまって観測不能となってしまったものの、解析の結果トランジットインの減光を検出することができた。これが本校初のトランジット検出成功である。藤田君は国立天文台で行われた「君が天文学者になる4日間」にも参加し、国立天文台と本校での研究活動の結果をジュニアセッションで発表をした。

翌週には日本トランジット観測ネットワークで、HD17156のキャンペーン観測が企画された。岡山の188 cmではロシター効果の観測が行われ、それと共同での観測である。残念ながら生徒は定期試験のため不参加であったが、晴天に恵まれトランジットインからアウトに至る期間の観測に成功した。どうやら現象は受かっているようだった。日本トランジット観測ネットワークのメーリングリストにクイックルックの報告をした後、すぐに大島 修氏から「ミリ等級の世界へようこそ」と返事をいただき、生徒どもどもたいへん喜んだ。そして解析方法の改良のため、自動測光処

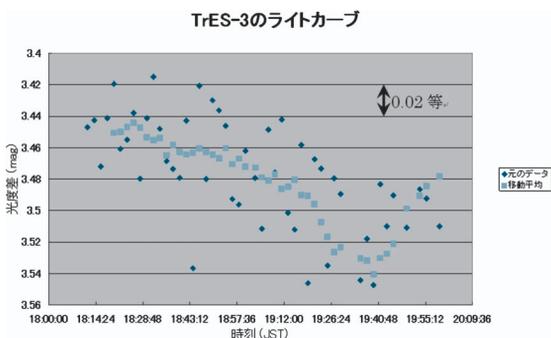


図5 選択履修者 藤田大地君による TrEs-3の観測結果。

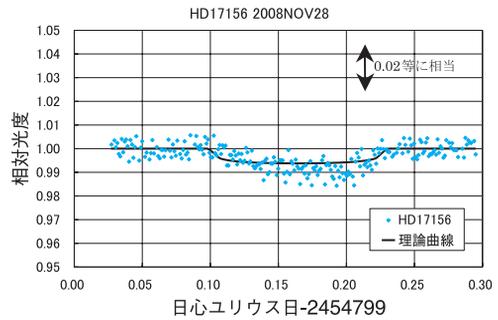


図6 選択履修者伊藤純平君によるHD17156の観測結果。

理ソフトウェアのAIP4WINを使って複数の恒星に対する等級差を求めるアンサンブル測光を試みた。ソフトウェアの使い方や比較星の選定方法などメーリングリストで懇切丁寧な指導を受けながら何度も処理をやり直した。HD17156の減光率は0.7%、TrES-3より格段に難しい対象であるものの、シーイングのよさとソフトウェア、そして日本トランジット観測ネットワークに助けられて初めてそれらしいライトカーブを描くことに成功した。

観測技術の向上

翌2008年は、選択履修者の伊藤純平君が系外惑星観測を志した。頑張って複数の観測、解析をこなした。CCDカメラが故障するというトラブルにも見舞われたが、借り受けたST-402Eでも観測を行った。ただし、受光面積の小さいST-402Eでは減光率の大きいTrES-3でもトランジットを検出することはできなかった。その後、故障したST-9XEが戻ってきて、HD17156のキャンペーン観測に参加した。HD17156は公転周期が21.2日と長く、トランジットが観測できる機会が少ないため小望遠鏡の観測とはいえ観測ができれば惑星パラメーターの精度向上に寄与でき、またTTV探索にも役立つかもしれないとのことで生徒のモチベーションも非常に高かった。幸運にも一晩中の晴天に恵まれ、粗く処理したところトランジットは受かっているようだった。しかし、測定誤差が大きいのが気になり、翌日スカイフラットを大

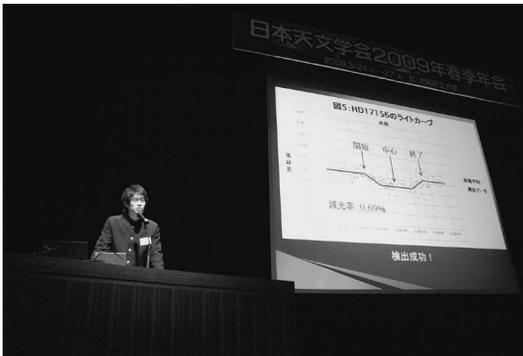


図7 ジュニアセッションでの発表の様子。

量に撮影してフラット画像の質の向上を試みた。それまではフラット板に白色光を当ててフラット画像を取得していた。すると、測定誤差は目に見えて小さくなり、ほぼ0.01等級の範囲に収まった。筆者はAIP4WINのアンサンブル測光で、伊藤君はマカリを用いた測光で四つの比較星に対するアンサンブルを手動で行った。結果、両者ともほぼ同じ結果を得ることができた。トランジットインからアウトまでのきれいなライトカーブが得られたので、そこからHD17156と惑星に関する物理量を導き出した。伊藤君が最終的にまとめた論文は校内の優秀論文賞を獲得した。さらにジュニアセッションでも発表を行った。

3. おわりに

生徒との観測を重ねることで、指導する側の技術も蓄積され、検出率も高まった。2010年には藤川大次郎君と伊藤伸之輔君の2チームが観測を行い、共にWASP-33のトランジット観測に成功した。本校の活動でトランジットの観測を行ったのは6年間で6チーム15人、そのうちの3チームがジュニアセッションに参加し観測結果を発表した。望遠鏡やCCDカメラの操作法を習得し、地道な一次処理や測光解析を行いようやく結果を出したと思ったら、その上に発表資料を作成し発

表練習を行い遠くの地まで赴き発表をするのである。

決して平易ではない活動を生徒が能動的に行っていることから、トランジット観測の取り組みが非常に強く彼らを喚起したことが伺える。その中には日本トランジット観測ネットワークの存在も大きいだろう。アマチュアの観測機器で最新科学に寄与することができるかもしれない状況は生徒のみならず指導者の心も高ぶらせる。また、メーリングリストを通して懇切丁寧なアドバイスをいただけるのも魅力である。天文への興味を開いた生徒に、トランジット観測によって天文学研究の実際を体験してもらい、より興味を深化することに成功したのではないかと感じている。

参考文献

- 1) 戒崎俊一, 1996, 「宇宙をこの手に—Hands-On Universe計画」, 科学66, 9, 591, 岩波書店
- 2) 大阪府教育センター, 1996, 理科は好き?—理科の学習に関する実態調査と展開事例—
- 3) 日本経済新聞, 1998, 10/31朝刊
- 4) 大島 修, 2004, 月刊星ナビ, 9月号

Observation of the Extra-Solar Planet Using Transit Method by the Students of Keio Senior High School

Naoki MATSUMOTO

Keio Senior High School, 4-1-2, Hiyoshi,
Koh-hoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 223-8524, Japan

Abstract: The author and students participated in the Japanese transit observation network. We repeated observations with making trial and error. The precision of the observations was improved by careful instructions from the members of the network. This scientific experience strongly raised the interest of the students.