

連載

こんな授業やっています【2】

舞台上生徒は大きくなる

松本 直記（慶應義塾高等学校）

1. はじめに

慶應高校には、3年生の文系対象に週2単位、2コマの選択授業がある。理系は、物理や化学、数学と履修すべき科目が多く選択はないのだが、文系にはより教員の専門性が活かせるように内容の自由度が極めて高い選択科目を設置している。地学教室も選択地学を設置し、選択地学Ⅰ（地球物理）、Ⅱ（気象）、Ⅲ（天文）、実験理科の4講座を用意している。ここでは、筆者が担当している選択地学Ⅲ（天文）（以下、選択天文）について紹介したい。

3年選択は、あまりに履修希望者が少ない（10人未満）と開講できない規則となっており、98年、99年には開講できたが、その後の3年間は定員に足りず、開講できなかった。

98年、99年の選択天文では、座学と観測のバランスを取りつつ、展開した。HOUカリキュラムや、自作の教材をつなぎ合わせて、文系対象ながら画像処理を中心とした授業を行った。JAHOUや天文教育で知り合った方たちの協力を得て、公開授業に参加したり、インターネットを介して遠隔授業の講師として参加いただいたりと、なるべく教室がいろんな人に、いろんなところに繋がっていることを意識できるように留意した。

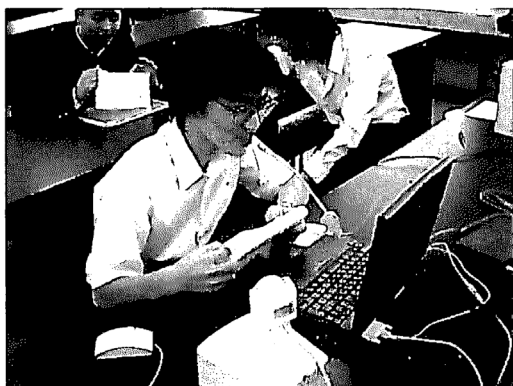


図1 ぐんま天文台との遠隔授業（1998）

2. 選択天文復活

2003年には、幸いなことに12人の生徒が希望してくれた。実に3年ぶりの開講である。この年には本校がスーパーサイエンスハイスクールに指定され、その研究目的の対象科目となった。しかし、履修生徒は文系学部に進学を決めた文系の生徒である。彼らに何とか頑張ってもらって、スーパーサイエンスに恥じない活動ができるよう工夫をしなくてはならない。

授業では、具体的には観測をし、それから得られたデータを処理し、実際の研究に近い体験をできるように留意した。研究体験の質を引き上げるため論文化、発表も重視した。扱う内容は、以前はある程度教師によって与えられたテーマについて内容を深めるものであったが、生徒が自分の興味を持った内容についての研究を進める形に整えた。しかしながら、3年生とはいえスーパーサイエンスハイスクールに指定されたことも知らない文系の生徒達が対象である。いってみれば科学が特に好きというわけではない普通の高校生が履修者である。そんな彼らがどこまで頑張ってくれるか、興味を持ってくれるか、科学を好きになってくれるか、戦々恐々としながらの日々であった。

3. 自分の思いをカタチにする

2003年度の初回の授業でアンケートを採ったところ、望遠鏡で天体観測をしたことのある生徒は履修者12人中2人。彼らも、履修動機に「望遠鏡を持っているが使い方がよくわからないので正しい使用法を知りたい」と書くような程度であった。いきなり気分が暗くな

ったが、自由記述欄に「星をぼんやり見るのは好き」という意見が多かったのがわずかな救いであった。

そんな彼らに、いきなり天文学の研究を行おうと呼びかけても動けるはずがなく、前期は基本的な望遠鏡操作の習得も含めて観測体験をすること、観測データの解析体験を教員から提供する形で行った。

生徒に目標とするスキルを培うためには限られた時間でさまざまな体験を行う必要があった。まずは、昼間に観測可能な太陽の観測を題材とし、遮蔽板を用いた太陽の視直径の測定、望遠鏡による投影法・直視法による太陽黒点のスケッチを行った。

その中で、5月7日に水星太陽面通過が起こったのは幸運であった。それまでに培ったスキルを活用して観測画像から科学的な数値を導くことができた。これは、後期の生徒研究のよい練習となった。

研究をするだけでは、誰も評価をしてくれない。論文化するなり発表をする必要がある。その論文化の初歩として、国立天文台企画の「君が天文学者になる4日間」の応募作文を利用させていただいた。このプログラムに参加可能、不可能を問わず、応募作文の作成を課した。電子メールで提出させ、内容に対するコメントをして返送する。この活動のおかげで、生徒が「自分の考えを表現する」ことに慣れていないことを痛感した。わずか800字ほどの作文だが、当初は文章として不十分なものが多かった。趣旨が明確でない、ですますの統一ができていない、主語がない、などとにかく文字を埋めただけの文章が見受けられた。そんなやりとりを昼夜を問わず繰り返した。ある生徒とは一晩に3往復のやりとりをした。そうこうするうちに、文章としての質はだんだん良くなっていった。

2人の生徒は参加を希望し、実際に応募させた。そのうちの1人が幸運にも選考を通過し実

際にこのプログラムに参加することができた。彼は全国の優秀な高校生とともに、国立天文台の素晴らしい環境で研究を行うことができた。

4. 太陽と水星がくれたもの

前述のように、2003年5月7日に水星が太陽面を通過する現象が起こった。この現象を利用して、地球の離れた2地点から同時観測を行い、太陽面上の水星の位置のズレから水星までの距離を求め、その値を用いて太陽までの距離（1天文単位）を求める試みを行った。この測定をするには、地球規模の遠隔地に共同観測者がいなくてはならない。そのためJAHOU主催の共同観測会「Coming Mercury 2003」に参加をし、日本各地の中高校生や世界の研究者たちとの共同観測を計画した。また、筆者の面識のある海外研究者に対して生徒に英文でメールを書かせ、協力を要請した。



図2 水星太陽面通過の観測の様子

当日は、曇っていたが現象の始まる直前に雲の切れ間から太陽が顔を見せ、水星太陽面通過の様子を撮影することができた。但し、1時間ほどで再び曇ってしまった。「Coming

Mercury 2003」に参加した海外の協力者の一人からウィーンで撮影された画像の提供を受けた。ヨーロッパでは早朝の現象であったため、日本と同時刻に観測されたものがあるか心配だったが、慶應高校で撮影した最後の画像と、ウィーンの最初の画像の1組のみ同時刻のものを得られた。ともあれ、この2枚の画像を利用して解析をすることができた。その結果、 1.38×10^8 (km)という値を得ることができた。実際の値は 1.50×10^8 (km)であるので、かなり確からしい値が得られた。

この観測と解析の様子を、日本天文学会秋季大会で行われたジュニアセッションで発表することとした。この発表のため生徒たちは夏休み中に数回、学校に集まり、ポスター製作を行った。生徒たちは自主的に構成を話し合い、分担を決めて製作に取りかかった。体裁もそんなに凝ったものではないので比較的短時間でポスターを完成させた。日程の関係上、学会会場へは行くことができず、ポスターを郵送して実行委員会の方に貼っていただいた。ポスターは9月25～27日の間、天文学会の会場に掲示された。このことも、発表体験のよい練習となった。さらに、研究者の方からコメントをいただいた。厳しく的確ながらも、慈味にあふれたコメントは生徒達を喜ばせた。

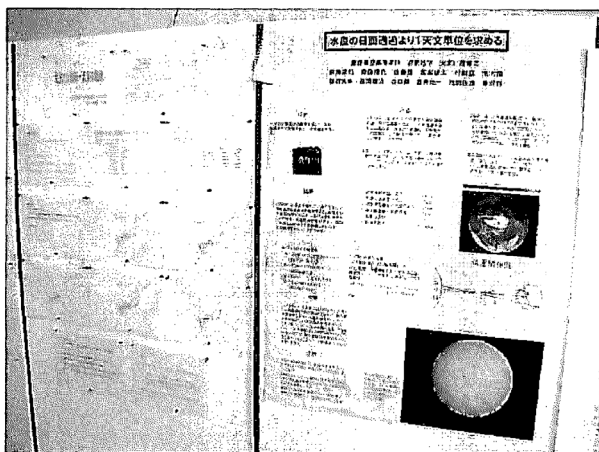


図3 愛媛大学で行われた天文学会ジュニアセッションに掲示されたポスター (右)

5. 火星が生徒を連れてきた？

このように前期では、観測スキルを培いながら研究体験、発表資料作成体験を行った。本校は2期制なので、前期は7月中に終わり、夏期休業を挟んで後期が始まる。後期では、前期に培ったスキルを活かして、自主的な研究を進める展開とした。ここで、長い夏期休業を活用しない手はなく、後期の研究材料についてテーマ決めと下調べを課した。

この期間、火星の大接近が社会現象になるほど人々の話題に上った。夏期休業中に何回かの観測会を開催したところ、このことも幸いし、かなりの生徒が集まった。このとき撮影した画像のいくつかは後期の研究に利用された。実は観測会で観測するだけでなく、夏休み中に生徒が集まることで、様々な情報注入を行うことができた。ジュニアセッションのポスター作りも、この機を利用して行われた。高校生の夏休みは実はかなり忙しい。定期券を持たない者さえいる。それを厭わずに学校にやってきて、様々な活動を行うモチベーションを与えてくれたのは火星の魅力もさることながら、ジュニアセッションという舞台ではなかったかと思う。

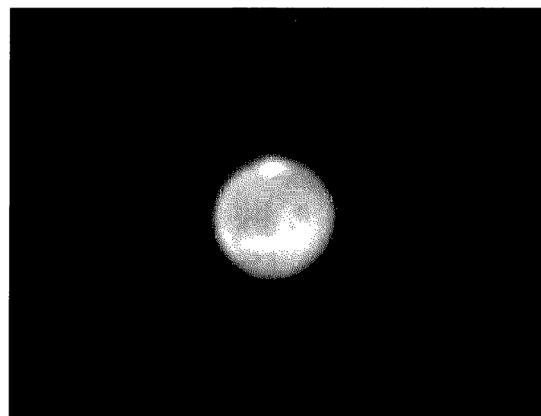


図4 観測会で撮影した火星

6. 群馬研修旅行と日吉祭

後期が始まり、まもなく研修旅行を行った。ぐんま天文台、群馬県立自然史博物館にお世

話になり、様々な体験をさせていただいた。見学をしたり、講演していただく内容がより深く理解できるように、研修に関することがらについて班別にレポートを作成し、研修の冊子としてまとめた。調べた内容は以下の通りである。

「ストーンヘンジの科学」、「ジャンタルマンタルについて」、「冷却CCDカメラの特徴と使い方」、「系外惑星探査」、「彗星の分光観測について」、「地球の誕生」

ぐんま天文台の浜根寿彦氏にはさまざまな骨折りをいただき、更にはご自身の専門である彗星の分光サーベイ観測についての講演をしていただいた。

残念ながら曇天のため、観望・観測ともできなかったが、天文学研究の最先端を肌で感じることができた。

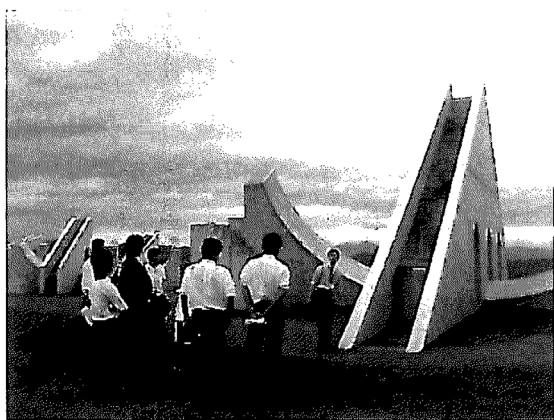


図5 研修旅行の様子（ぐんま天文台）

ぐんま天文台への研修旅行や慶應高校の学園祭である日吉祭などの機会をレポート作成、ポスター制作など情報収集、プレゼンテーションの場として活用した。後期からは、2人ずつのいくつかの班に分かれて、研究計画を自ら立てて観測や解析を進める。その研究の中間発表の場として、日吉祭を利用してポスター展示を行った。水星太陽面通過のポスターは既に授業で行ったことをまとめたため、比

較的容易に作れたが、今回は自分で下調べから展開構成を考えねばならず、実際の製作に取りかかるまでは苦勞した。生徒たちはグラフィカルな構成力については優れており、一旦構成が決まってしまうと、いろいろと工夫をしながら手際よくポスターの製作に当たった。中には発表の内容がよく伝わるように発泡スチロールでモデルを作って展示している班もあった。ポスターを作ることで聴衆を意識することができ、さらに自分たちが行っていることを整理する効果があった。

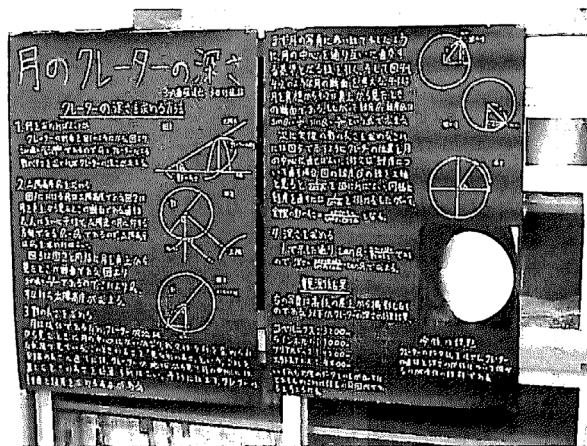


図6 日吉祭ポスター発表の様子



図7 ポスターを作成する生徒

7. 研究テーマの決定

さまざまな活動を生徒達は熱心に行ってくれた。しかし、もっとも難航したのは、生徒の研究活動のテーマ決めであった。夏休み前

からテーマを考えておくように指示をしたものの、やはりそれだけでは難しいようだった。教員のもくろみとしては、研修旅行の事前レポートや事後レポート、そして日吉祭ポスター発表を通して興味や知識を深め、観測の動機付けを行いたかったのだが、実際に観測可能、実行可能なテーマに結びつけることは生徒自身の手だけでは1チームを除きできなかった。そこで授業時間を使ってテーマ決定の話し合いを設定した。しかし、これはうまくいかなかった。天文学会ジュニアセッションの要項集を見ながら討論したが、情報量や時間不足、さらに生徒の興味と実際にやれることのギャップがその原因だろう。加えて生徒の興味を上手く誘導できなかったことも挙げられる。但し、何回かした夏期観測会に参加したものは、自分で実行可能なテーマを考え出すことができた。これは観測の実際、そして観測から結果を導く過程が想像できるか否かの違いではないだろうか。

結局、夏休み中に何回か行った観測会で撮影された画像の利用も含めてテーマを決定していった。結果、自分自身でテーマを決定し、自主観測で研究を進めることができたものは、以下の3テーマである。

- ・クレーターの深さと大きさの関係
- ・天王星の軌道半径を求める（観測失敗）
- ・火星の公転周期（一部観測会画像利用）

他のテーマについてまとめると、以下のようになる。

アイデア提供・観測会画像利用

- ・火星の自転周期

自主決定・文献調査

- ・ストーンサークルについて

アイデア提供・自主観測

- ・太陽の自転周期

8. 発表を意識した論文作り

生徒達はテーマが決定すると、観測、解析

をしながらその論文化を進めた。ジュニアセッションを意識させることで、生徒が説得力に欠けると判断した場合、追加観測を行うなど、発表が論文内容を向上させる動機付けになっていることが観察された。

論文化、口頭発表は特に授業を行う上で強調したかった部分である。特に強調したのは内容よりは、①聴衆を見ること ②はっきり喋ること ③時間を守ること、の3点である。

年が明けた頃から、パワーポイントを使ったプレゼンテーションとその資料の作成の指導を始めた。最終授業では各班の研究の発表会を行った。発表の多くは、短い発表時間にまとめることができず、自分の予想と実際の発表のギャップがかなり大きいものであることを体験できた。それぞれの発表について、他の生徒はコメントシートに感想やプレゼンテーションの技術についての評価や改善点を書き込み、後でそのコメントシートを発表者に渡るようにし、ジュニアセッションでの発表の改善材料とした。

論文作成は、授業終了後も引き続き行った。これもメールに添付ファイルで提出され、可能な限りコメントをした。しかしこの時期、生徒は学部推薦のかかった期末試験を控えており、論文作成に没頭できない状況であったため、生徒からの反応は活発ではなかった。

9. いざジュニアセッションへ

ジュニアセッションには、火星の公転半径と公転周期／月のクレーターの深さの求め方、及びその深さと直径の関係／水星の日面通過より1天文単位を求める、の3件4名の生徒が参加を希望した。3つ目のテーマは全員で行った研究の代表発表だが、残りの2件は「テーマ自主決定・自主観測」のグループである。彼らは夏期休業中の観測会に熱心に参加したメンバーでもある。彼らの動機がもともと高かったとも言えるし、観測会での情報注入が功

を奏したとも考えられる。また研究を自主的に進めていく上で全国区で発表する意欲が湧いたともとれる。

生徒たちは春休み中に登校し、作成した論文をジュニアセッションの要項用書き直した。プレゼンテーション資料も最終授業用のものからかなり手をかけて作り直した。プレゼンテーション技術について調べるなど、良い発表を行うための努力を自発的に行った。そして、実際に発表の練習を何度か行い、ジュニアセッションに臨んだ。授業内での発表で失敗をしている彼らは、ジュニアセッションの発表前夜、深夜までお互いに模擬発表をしあい、時間通りに言いたいことを発表する訓練を行った。

ジュニアセッションに参加した生徒の感想には、「ジュニアセッションでは全国から集まった高校生や専門家の前で発表するので、やりがいと責任の両方を感じて研究することができた」とあった。

つまり、「発表を意識すること」、「発表の場が与えられること」で、研究の質を高めようとする動機付けがみられ、より良い発表にすべく努力する様子が観察された。

このように、発表の場という舞台を与えることによって、確実に自主性・創造性は向上する様子がみられた。

その反面、自主的な研究でないと発表の動機付けにならない上に研究そのものも最低限

であることもわかった。

即ち、いかに、自主的な研究をするに至らせるかが問題といえよう。2003年は半分程度の生徒に成功したが、いかにこの割合を高めるかが、今年度以降の課題である。

10. おわりに

最終授業のアンケート調査の際に、授業全般の感想を書いてもらった。以下にそのいくつかを挙げる。

- ・とにかくいろいろな体験ができてよかった。天文学にふれることによって物事を考えるスケールが広がった。
- ・得るものがたくさんあった。興味の幅が深く広がった。ありがとう天文。
- ・色々な事を体験できて良かった！！（ぐんま天文台、インターネット天文台などなど）。コンピュータを使った授業はつらかったが観測など楽しいものだった。
- ・難しいことだらけで大変だったけど楽しかったです。
- ・面白かったです。かなり高度な内容をうまく吸収できたと思う。
- ・普通できない事ができないことができて良かったです！

生徒の感想に頻出する「さまざまな体験」に対する評価がこの科目の取り組みを良く物語っている。高校3年生ながら文系の、言ってみれば科学から一歩足を引いた生徒を対象と



図8 ジュニアセッションで発表する生徒 於 名古屋大学 (2004/3/22)

しても、体験的学習や発表体験、プロの研究者との交流などによって、興味関心を維持しながら科学を嫌いにさせずに、科学研究の面白さを感じてもらえたと言えるのではないだろうか。

後日談ではあるが、ジュニアセッションに参加した生徒の一人から、今年度になってメールが届いた。大学に進学した彼はなんと天文研究会に入ったとのこと。一番最初の授業で、アンケートに「天文経験一切ナシ」と書いた彼の変化ぶりに、「さまざまな体験」の力を少なからず感じた。

この授業を進める中で佐藤毅彦氏（熊本大学助教授）、浜根俊彦氏（ぐんま天文台）、高桑祐司氏（群馬県立自然史博物館）、Matilde Fernandez氏（Instituto de Astrofisica de Andalucia, Spain）ほかたくさんの方々のお世話になりました。ここにお礼申し上げます。なお、この活動の一部には文部科学省スーパーサイエンスハイスクールの研究費が利用されています。

参考資料（年間指導計画）

前期	さまざまな体験的学習を通して科学研究の基礎を身につける。 <ul style="list-style-type: none"> Hands on Universe カリキュラムの利用 大きさの測定・CCDの原理・輝度の測定・クレーターの実直径の測定など 観測体験 太陽黒点の観察、スケッチ、撮影・水星の日面通過の観察、火星の観察・インターネット天文台を使った遠隔観測 観測画像からの解析体験 木星と衛星の画像から木星の質量を求める・水星の日面通過を利用して1天文単位を求める・水星の公転周期を求める 取り扱う内容の知識補充のための講義 太陽について・太陽系シミュレータを用いた太陽系の姿・宇宙探査の歴史・ケプラーの法則・回転天体より中心天体の質量を求める 発表体験 国立天文台企画「君が天文学者になる 4日間」の応募作文の作成 日本天文学会ジュニアセッションへのポスター発表での参加（有志）
-----------	--

後期	自らが考え観測・解析するプロジェクトベースの学習 <ul style="list-style-type: none"> 校外学習への予備調査（事前レポート作成） レポートを冊子化し研修旅行のしおりとする 校外学習（10月22~23日 ぐんま天文台・群馬県立自然史博物館） 本格的な観測体験・研究の最前線の現場を体験・多種の本物から宇宙と人間との関係を理解する 事後レポート作成→研究テーマへの発展 学園祭（日吉祭）でポスター発表（ポスター作成・相互評価） 観測計画→観測→解析→論文化→発表資料作成→発表 最終授業にてクラス内発表会 日本天文学会ジュニアセッションに参加（有志）
-----------	--

参考文献

- [1] 松本直記・浜根寿彦・中道晶香, 1998, リアルサイエンティストを教室に—インターネットが可能にした遠隔授業—, 慶應義塾高等学校紀要29号
- [2] 慶應高校地学教室, 2004, 平成15年度スーパーサイエンスハイスクール研究開発実施報告書
- [3] 松本直記, 2004, 生徒による天体観測画像を用いた探求活動, 日本理科教育学会第54回全国大会要項集
- [4] 松本直記, 2004, 選択科目における生徒の探究活動, 第18回天文教育研究会 2004年天文教育普及研究会年会集録



松本 直記(慶應義塾高等学校)

matsu@hc.keio.ac.jp