

日本惑星科学会誌「遊星人」 2003年9月25日号

君が作る宇宙ミッション 2003

Space Mission High School 2003

阿部 新助

Shinsuke Abe

宇宙科学研究所・惑星研究系

Planetary Science Division, The Institute of Space and Astronautical Science.

日本学術振興会海外特別研究員(チェコ共和国科学アカデミー天文学研究所 2003年9月~)

JSPS Postdoctoral Fellowships for Research Abroad (Astronomical Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic, from Sep. 2003)

はしもと じょーじ

George L. Hashimoto

東京大学気候システム研究センター

Center for Climate System Research, University of Tokyo

1. 宇宙科学研究所で初めて行う体験学習

2002 年晩夏，宇宙科学研究所・藤原研究室の私の部屋に，同じポスドクのはしもと氏がやや興奮気味に尋ねて来た．夏休みに国立天文台で開催された“君が天文学者になる 4 日間”（通称；君天）[1,2,3]に参加して大変感化され，宇宙研でも体験学習をやりたいという相談であった．宇宙研に研究機関研究員として赴任する以前，私は国立天文台の博士課程の学生として，君天の発足からスタッフとして参加しており，同様のプログラムを宇宙研でもできないかと考えていたので，はしもと氏からの提案に意気投合した．

近年，体験学習が多くの研究施設や大学等で行われるようになってきた．特に天文学の分野では，一般を対象とした施設公開，観望会，公開講座などとならんで，パブリック・アウトリーチ(Public Outreach)の一環として，特定の年齢層を対象にした参加型・体験型の学習プログラムが多数実施されている[4]．また，航空宇宙関係の分野においても，文部科学省が主催，財団法人・日本科学技術振興財団によって運営される「サイエンス・キャンプ」が，宇宙開発事業団と航空宇宙技術研究所において数年前から行われている[5]．これらのプログラムでは，高校生などが大学や研究機関に数日間滞在し，仲間同士で寝食を共にしながら学習するといった，研究機関滞在型の体験学習が実施されている．しかし，そうした体験学習の内容を見てみると，講義を聞く，施設を見学する，答えの用意された実験に取り組む，などといった受動的なスタイルであるものが多い．体験学習を主催する側としては，参加者全員が予想通りの結果に落ち着き，かつそれなりの満足が得られる受動的体験学習を開催するのが無難であろう．しかし，このようなスタイルは，参加者の能力を抑制しており，自らが“考え・作る”という本来の体験学習が持つ醍醐味とも言える部分が欠落してしまい，参加者が決まった枠の外に出ることができないという問題がある．

一方，国立天文台で 1999 年から毎年開催されている君天では，参加者自らが研究課題を設定するという，他の体験学習に見られないユニークな手法をとり入れている．どんな結果が出てくるか指導している側にも分からない，そんなわくわくする気持ちにさせてくれる能動的体験学習を宇宙研でもやってみたい．それが“君が作る宇宙ミッション”（通称；きみっしょん）の発点であった．

2. “きみっしょん”の立ち上げ

9月下旬、我々はまず宇宙科学研究所・広報委員の小山孝一郎教授と相談をしながら、体験学習の目的、テーマ、参加対象、参加人数、募集方法、対応スタッフ、開催時期とスケジュール、必要経費などの具体的な内容を詰めていき、10月25日の広報委員会に体験学習実施の提案をおこなった。ここで、広報委員会・委員長の川泰宣教授は、宇宙科学研究所で体験学習を行う趣旨と意義に大いに賛同してくださり、全面的なバックアップを約束してくれた。そして宇宙研主催の体験学習の提案書を10月末までにまとめ、11月の主幹会議で承認されて実施が正式に決定した。

広報委員会のメンバーの中に、日頃から宇宙研主催の体験学習を実現したいと熱望していた的川先生・小山先生のいたことが、今回のボトム・アップ提案の実現を強力に後押しすることになった。また、期せずして宇宙科学研究所、宇宙開発事業団、航空宇宙技術研究所の宇宙3機関統合を1年後に控え、宇宙研が体験学習を自由な枠組みでスタートさせる最後のチャンスでもあったことも、今回の提案が短期間で受け入れられ、実行できた要因の一つであったかもしれない。

ともあれ、第1回・体験学習は開催時期を年度内の春休み(3月28日(金)~31日(月)の3泊4日)に定めて、いよいよ本格的な取り組みへと進んだ。対象は高校生(相当年齢を含む)とし、参加者数は宇宙研内の宿泊施設の容量や参加者に対応するスタッフの人数などを考慮して20名に絞ることとした。参加希望者には“私が作る宇宙ミッション”をテーマに自分が作ってみたい宇宙ミッションについて1200字程度の作文を書いてもらい、応募多数の場合には審査によって参加者を選ぶことが決定された。そして12月19日に宇宙研から全国の報道機関へアナウンスが行われ、参加者の募集が始まった。

3. スタッフの苦悩

12月24日には宇宙研所内の学生・ポスドク・常勤スタッフを対象にスタッフ募集のための説明会を開催した。所内の多くの方々の協力を仰ぐ体制は整いつつあったが、現場で高校生の指導にあたるスタッフはなかなか集まらず、君天のスタッフ経験者を通して所外にもスタッフの募集を呼び掛けた。助手クラスのスタッフの方々には要所で多大な協力を頂いたが、業務として複数のミッションに関わる宇宙研の常勤スタッフが体験学習に深く関与することは現実的には難しく(本来は主催研究機関の常勤スタッフが中心となるべきであるが)、プロ研究者のたまごである大学院生やポスドク研究員が現場で高校生の対応を行うことになった。そして最終的には理学・工学の双方の分野から20数名のスタッフが集結した(全体の約3分の1の人材は宇宙研外からの熱心な助っ人であった)。

現場で高校生に張り付くスタッフ“人”の目処がつくと、次は体験学習の中身である“サ

イエンス”と“物”についての議論が始まった。“サイエンス”とは高校生に取り組みせる研究内容のこと，“物”は研究活動において利用する実験・観測施設である。高校生に科学的な刺激を与え、科学の楽しさを伝えるには、どのような設備を提供し、どのような取り組みをさせるのがよいか。毎週木曜の夕方に開かれたスタッフ・ミーティングだけでなく、メーリング・リスト上でも開催直前まで侃々諤々の議論が繰り広げられた。

国立天文台で行っている君天(天文学)の場合、サイエンスへのアプローチは比較的明解に示される。天文台にある望遠鏡と撮像・分光装置を使って観測することが、前提となっているからだ(悪天の場合は、予め用意されている天体データベースなどを利用する)。参加者は与えられた条件(口径 50cm 望遠鏡、東京の空、観測時間など)の下で、各班で決めたサイエンス目標を達成できるような観測計画(プロポーザル)を作成する。そして実際にデータを取得・解析して結果を吟味する。宇宙というダイナミック・レンジの広いサイエンスの宝庫に、望遠鏡という単一の装置を通してアプローチできるのが天文学の利点である。

一方、宇宙研が行う“きみっしょん”ではどのような取り組みが可能か。科学衛星・探査機の打ち上げ技術と宇宙科学に関わる研究開発の拠点である宇宙科学研究所の特色は、理学と工学の融合であろう。ロケット、科学衛星・探査機、気球などの飛翔体ミッションは、機器開発や軌道設計と科学的観測の協力で成り立っている。しかし、宇宙科学・宇宙工学は余りにも多岐に渡るため、なかなか君天のようなシンプルで明解なアプローチを示すことが難しい。特に今回は、宇宙科学研究所の特色を前面に出して開催して欲しいという宇宙研上層部からの要請もあり、“物”に関しての議論で難航した。ルールガンやローバなどの宇宙研の設備を用いた実験、探査機搭載機器やそれらの要素技術を利用した基礎実験などの案も出されたが、何れも当日までの準備期間が短くスタッフの負担が大きいことなどを理由にして、採用には至らなかった。

こうして、きみっしょん開催直前まで暗中模索を呈した指導方針であるが、最終的には「目的の設定から手段まで参加者が調査・議論して、自らのミッションを創り上げる“ミッション設計”」という方向で決着させることとなった。しかしながら、研究過程そのものを重視して研究者が普段行うような科学のアプローチを体験させるという明確な基本方針とは裏腹に、この指導方針からは実際に取り組む内容が具体的に見えてこない。そのため、基本方針が定まった後にも、目で見てわかる明解な結果が出せるようなテーマを準備すべきであるとの意見が一部のスタッフによって根強く主張された。体験学習に携わり高校生の実力を体験していた数名のスタッフに迷いはなかったが、それ以外のスタッフは体験学習当日を期待と不安の中で迎えることとなったのである。

一方、“物”に関しては、“サイエンス”が上述のように決着したことを受けて、パソコンを用意するに留まることとなった。参加する高校生がどのような取り組みをするかは分からないが 2人に1台の割合でパソコンと解析・計算用の基本ソフトウェアを準備した。また、学年・学区間の履修差を埋める目的で、株式会社・啓林館から無償提供して頂いた地学 IB の教科書を参加者全員に事前配布し、予習・復習を行うように促した。

4. 高校生を侮る無かれ

1月末締め切りで集まった応募者の中から選抜された全国13都府県の高校生20名(男16, 女4, 高1;10人 高2;7人 高3;3人)が, 宇宙科学研究所・相模原キャンパスに集まり, 3月28日から4日間に及ぶ体験学習の幕が開けた. 表1に4日間の日程を示す. 今回は参加者に宇宙工学と探査(太陽系直接探査と地球周りからの探査)の基礎を共有してもらうため, 以下の3つの講義(各1.5時間)を3日間に渡って実施した.

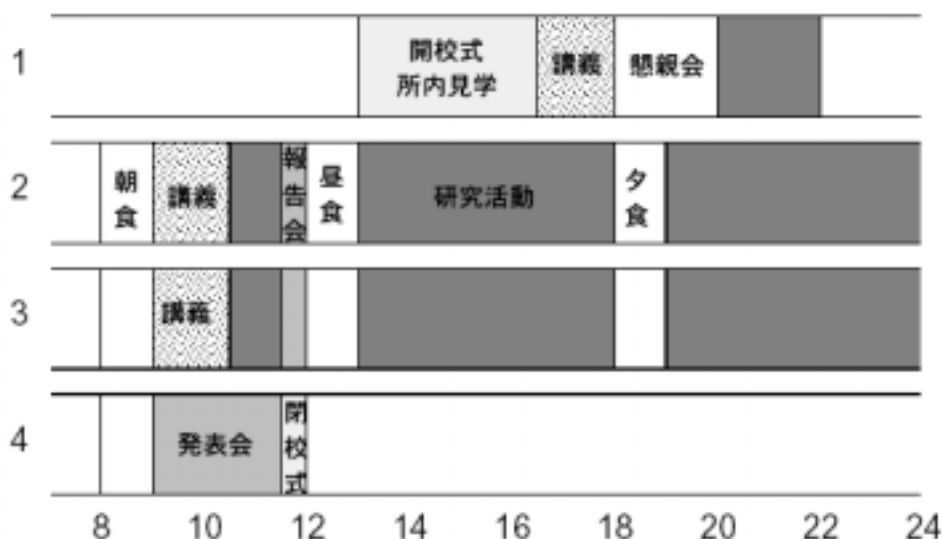
講義(i)「ロケットとの通信と衛星診断システム」 講師: 橋本 正之 先生

講義(ii)「太陽系科学探査特論」 講師: 矢野 創 先生

講義(iii)「飛翔体天文学特論」 講師: 井上 一 先生

初日は, 宇宙研施設の見学と講義(i)を行った後, 参加者同士の交流を促すように懇親会を設けた.

表1 君が作る宇宙ミッションのタイム・テーブル



懇親会后, 高校生は4人からなる5つの班に分かれて, さっそく作業を開始. 最初にやるべきことは, キャプテン(班長), 班名, そして研究テーマの決定である. 参加者の班分けは, 参加者の興味をアンケート調査した結果に基づいて, あらかじめスタッフがおこなっている. 彼・彼女らが設定した班名とテーマは次のようなものとなった.

- (A) クリオネ計画班(エウロパ生命探査)
- (B) 黄身っしょん班(彗星内部と放出ダストの探査)
- (C) マーズエクスプローラー班(有人火星探査)
- (D) キョロちゃんs班(火星テラフォーミング)
- (E) ルナシャトル班(有人探査船を使った月探査)

何れの班も最前線の科学目標を掲げており、これから始まるミッション設計に大きな期待が持たれた。学部生 6 名、大学院生 9 名(修士課程 7 名, 博士課程 2 名), ポスドク 6 名, 助手 1 名の総勢 22 名のスタッフが各班に配属されたが, 基本的にスタッフの側から直接解答を示すような指導は行わず, 問題は高校生自身に解決させるようにした。

高校生はお互いに議論し合って, 各班の対象天体における未解明サイエンスの論文調査を図書館やインターネットを使って進めていった。英語論文を読み漁る高校生, 探査機的设计図を描く高校生, 探査手法や搭載機器などの独自のアイデアをまとめていく高校生, 準ホーマン軌道を議論する高校生, 運動エネルギーを計算する高校生, CG を作る高校生... 目標に向かって貪欲に探求する姿勢は, スタッフの疲労とは対照的に時間を忘れて益々加速していった。ミッションの実現可能性を評価するための物理・工学的な計算を行い, 自らが設定したゴールへ向けてミッションを創り上げていくたくましい様子は, スタッフが始まる前に感じていた不安を一気に吹き飛ばしてくれた。2 日目の睡眠時間は 3 時間, 3 日目は徹夜での作業となり, 不夜城と化した会場は 4 日目午前中の研究発表会へ向けて, 知力と体力の勝負の場となっていた。この寝ずの作業はスタッフが強制したものではなく, 高校生らの自主性に全て任せた結果である。

最終日になり, 各班が創り上げたミッションの集大成を発表する時間となった。ほとんどの高校生は, 初めて行うプレゼンテーションであったと思われるが, OHP やパワーポイントを駆使して工夫を凝らした発表をおこなった 4 人の班員がミッション達成のための各要素を分担し, 協調し合いながらゴールを目指すという姿勢は, 本物のミッションでの取り組み方に通ずる。研究発表会に参加された宇宙研の先生方からも, 研究者としての率直な質問や意見が飛び交うほど, 高校生らの発表内容は

レベルの高いものであり, 発表会だけを見学した先生方は大変驚愕していた。きみっしょん参加当初は考える前に何でも質問してきた高校生が, 短い期間で自ら考え答えを探すようになり, いつの間にかスタッフから独り立ちしていく様子が手に取るように感じられた。



図1 高校生とスタッフ(上から A,B,C,D,E 班)

高校生は大きな能力を秘めており、指導方法次第で大きく成長する！ 最終日の研究発表会で輝く姿を見て、スタッフ一同も大きな充実感を感じることができた。

このように非常にハードなスケジュールの4日間であったが、食事や休憩などに気を配ることにより、参加者は全員、怪我や体調不良もなく無事に体験学習を終えることができた。発表だけでなく作業に取り組む様子などを見るに、ミッション設計という宇宙研の特色を活かした課題を通して高校生はサイエンスに対する取り組み方を感じ取ってもらえたのではないと思う。宇宙研に滞在しての体験学習は4日間で終了したが、これで研究が完結した訳ではない。大学生未満の発表の場である日本天文学会の「ジュニア・セッション」[4]などでの研究発表を目標に、体験学習終了後も更に研究を継続するよう参加者を促すべく、高校生が調べた全ての文献資料や発表資料をまとめたCDROMの配布なども行った。



図2 白熱した議論を展開する高校生

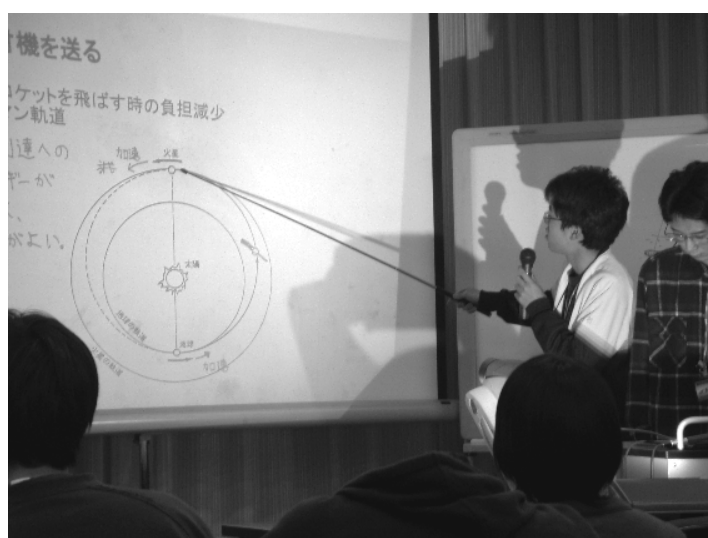


図3 研究発表会の様子

5. アンケート調査結果

5.1 プログラムの評価

参加者が体験学習をどのように評価しているかについて調べるため、プログラム終了後に参加者全員にアンケート用紙を配付して無記名で回答してもらった。まず、プログラムの全体に対する総合評価、関心度、難易度の3項目から見ていくことにする(図4)。これらは全て5段階評定法で評価してもらった。総合評価は数が大きいほど満足度が高いことを示し、関心度と難易度はそれぞれ数が大きいほど関心が高い・難しいことを示す。結果を見て驚いたことは、プログラムの総合評価が非常に高かったことである。無記名での回答なので評価を大きく歪めるような圧力がかかっていたとは考え難いのだが、素直に受け入れることが躊躇されるほどの高評価である。プログラムを企画・運営したものとして、プログラムの内容についてはある程度の自信を持ってはいたが、ここまでの高い評価がもらえるとは全く予想外であった。

プログラムを構成する各要素についてその関心度と難易度を見てみると、見学・講義といった受動的な内容のもので難易度が低くなっているのに対し、参加者が能動的に取り組まなければならない実習的な内容のものでは難易度が高くなっていることが分かる。すべて自分で考える、自分で決める、自分で行動する、といった本プログラムの実習は、普通の学校生活で経験する機会の少ない種類のものであり、参加者に難しく感じられたのかもしれない。しかし、実習は難易度だけでなく関心度も高く、参加者がその難しさのなかに面白さも見い出していたことが推察される。

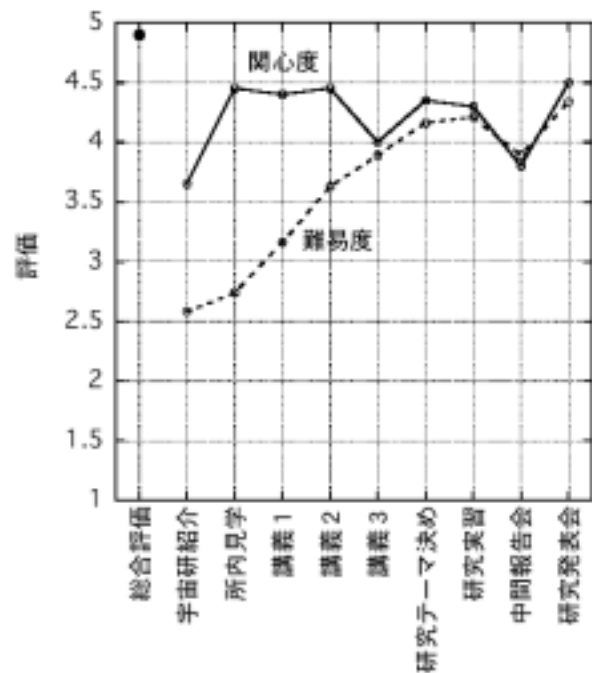


図4 参加高校生に対するアンケートの結果。プログラムの全体に対する総合評価、関心度、難易度を5段階で評価してもらった。総合評価は数が大きいほど満足度が高いことを示し、関心度と難易度はそれぞれ数が大きいほど関心が高い・難しいことを示す。

またプログラムの構成に関しては、講義と実習の割合についての質問をおこなった(図5)。今回のプログラムでは実習を重視して、講義は3コマ(4.5時間)に留め、25時間以上を実習に割り当てるようにした。しかしながらアンケートの結果では、もっと実習を増やして欲しいとの声が過半数を越えた。自由記述調査でも、実習時間の不足を指摘する回答が複数見られ、もっと研究したいと希望する参加者が多かったと推察される。参加者がもっと研究したいという気持ちになっていることは、別の質問に対する回答からも伺うことができる。「今回のプログラムで取り組んだ内容に引き続き取り組んでいきたいですか?」という質問に対しては、20名中15名が「是非やりたい」と回答した。実際に、天文学会のジュニア・セッションでの発表を目指し研究活動を継続している班もある。本プログラムに参加することで、研究を始める切掛けを掴むことのできた参加者がいたことは、このプログラムの大きな成果の一つと考えている。

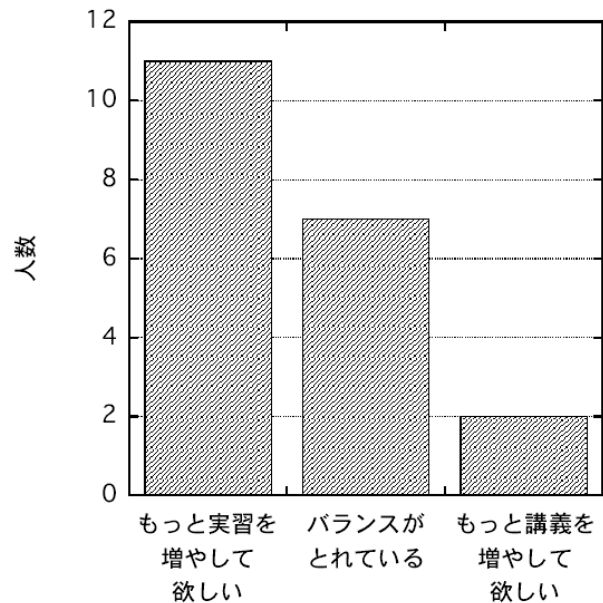


図5 参加高校生に対するプログラムの構成に関するアンケート結果。

最後に、宇宙開発事業団でおこなわれているサイエンス・キャンプと比べた場合の評価についても、ここに記しておきたい。そもそもサイエンス・キャンプと本プログラムを比較することは考えていなかったで、そのような質問はおこなっていなかったのであるが、偶然にも2名の参加者が両方のプログラムに参加しており、その比較を回答してくれたので全文をここに引用する。わずか2名の回答であるが、いずれも本プログラムをサイエンス・キャンプより高く評価するものとなっている。「自分はサイエンス・キャンプにも参加したんですが、きみっしょんの方がだんぜんハードスケジュール&やりがいがありました」、「かなり開放的で、サイエンス・キャンプよりも現場の人とのかかわり合いが多く、とてもあたたかみがあった」。

5.2 宇宙科学に対するイメージの変化

プログラムに参加することによって、宇宙科学や科学者に対するイメージがどう変化したかについて、自由記述式で回答してもらった。

(1) 宇宙科学のイメージは？

ここでは学問に対するイメージの変化を質問したつもりであったが、過半数を越える回答が学問より研究者について触れる内容のものとなっていた。4日間張り付いて面倒をみたスタッフとの交流を通して科学者の人間的な部分に触れることができ、そのことが大きな印象を残したためと思われる。回答は全般的に好意的で、「研究者同士との関係がおもしろそうだった」、「あっとホームな雰囲気、良い人たちばかりだった」、「裏のスタッフの姿を見て大変だと思った」、「研究者はおカタイイメージがあったがみんなおもしろい人達だった」、「すごく OPEN な面白い人がいっぱいいる」などとなっている。

学問に対するイメージについては、「より具体的にわかった」、「前は意味さっぱりなことをやってるように思えたけど、近くなった」、「サイエンスとテクノロジーを両立して考えるところが印象的だった」、「数式がすごい」、「とても広い分野の学問が必要だと感じる」など、より分かった気になったという類の回答が大多数を占めた。一方、「細かい所まで知った。宇宙科学は一体何か分かったような分からないような」という正直な回答もあった。

また、体験学習を主催した宇宙科学研究所については、「宇宙研は町工場のような」、「宇宙科学の何でも屋の研究所だと思った」、「意外に小さい研究所やった」、「デカイ組織」などの回答があった。よいイメージなのか悪いイメージなのか、にわかには判断しづらいものがあるが、いずれにせよ宇宙研をそれなりに正しく認識した回答であるように思う。

(2) 宇宙科学者になりたいという気持ちは変化したか？

回答してくれた 16 名のうち 12 名は、宇宙科学者になりたいという気持ちが以前よりも強くなったと回答した。2 名については、「少しなりたいと思ったけど、徹夜は疲れる」、「夜が弱い自分をなんとか変えないとやりがいのあることはできない気がした」と、ハードな研究生活の一面について触れており、ここからもプログラムが過密なスケジュールとなっていたことが推察される。また残りの 2 名については、「宇宙科学より宇宙工学の方が向いていると思った」、「科学と工学の関係がわかった」と、それぞれ進路について有意義な情報を得ることができたことを述べている。

6. 体験学習は体験させる側の育成でもある

短期間ではあったが、参加した高校生が目を見張る成長を遂げたことは事実である。そして、携った指導者も大きく変わった。この体験学習を通して、携わった学生スタッフの多くが、研究に対する取り組みや、自分の研究内容の視野を広げるような刺激を高校生から受けていた。そして、スタッフ自身も研究の楽しさを再確認し、高校生が創り上げていくミッションに熱中することができたのである。また、主導権を高校生に持たせつつ、3泊4日(実質2日)の短期間で如何に最終日の研究発表会へ収束させるかという難しさを体験することで、体験させる側のスタッフも大きく育成されたのは事実である。

今回参加した高校生は、学年や学校によって地学や数学の履修率が大きく異なり、支援するスタッフも、彼・彼女らの指導に手を焼いた部分もあった。また、工業高校や高等専門学校からの参加者は、エンジンやローバなどの工学に関する体験学習を欲していたが、今回は残念ながら実物を使った対応を行うことができなかった。これらは今後の課題であろう(原稿執筆時の7月には2003年8月の第2回開催に向けた準備が進められている[6])。

また、スタッフ側の問題としては専門知識の不足を指摘しなければならない。勉強不足、専門科目の未履修、専門分野と異なるなどの理由で、軌道工学(ケプラー運動他)やロケット工学(ツイオルコフスキーの公式や比推力他)など宇宙工学の基礎や大学教養程度の物理を知らない(あるいは、忘れている)スタッフが多数見受けられた。参加者にサイエンスの素晴らしさを伝えるための指導者の育成も重要な課題である。そして、サイエンスの醍醐味を伝える教育者もまた、知の最前線にいないといけないということも忘れてはならない。また、第1回に参加した高校生からは、大学に進学し今度は指導者として第2回きみっしょんに参加する学生も現れた。このことは、プログラムが参加者にとって魅力的なものであったことを物語る何よりの証拠である。きみっしょん卒業生が自身の経験を生かして、更に魅力的なプログラム作りを行うような指導者へ成長し、世代交代がうまく進んでいくことを願いたい。

第1回は“君が作る宇宙ミッション”という枠組みの中で、サイエンスの目標を考え、それを評価・達成する手段を見つけ出すという内容で実施された。結果的に大きな成功を遂げたが、一方で、今回のような取り組ませ方が最良か否かについては、まだ議論の余地がある。“自ら考え・作る”高校生主体の体験学習は、研究・開発機関であるとともに教育機関でもある宇宙科学研究所の独自性のあるプログラムとしてさらに発展し、今後も継続されていくことを願う。

謝辞

準備段階から多大なるご協力を頂いた小山孝一郎先生をはじめ、ご多忙な日程を割いて講義を行ってくださいました、橋本正之先生、矢野創先生、井上一先生、事務的な作業をバックアップしてくださいました藤原研・秘書の矢島輝美さん、小山研・秘書の石川美穂さん、会場のパソコン設営で協力して頂いた PLAIN センターの三浦昭先生、様々な支援・協力をしてくださいました対外協力・連携推進室、企画管理課、および庶務課・企画・広報係の皆様方に心よりお礼申し上げます。また、開催期間中に臨時スタッフとして参加された助っ人の皆様にも感謝いたします。本体験学習は、財団法人・宇宙科学振興会、宇宙科学研究所・生活協同組合、株式会社啓林館からの支援・協力を受けて実施されました。

参考文献

- [1] 縣, 2000, 科学, 70, 769.
- [2] 志岐, 2000, 天文月報 93, 1, 24.
- [3] 縣, 2002, 地学教育 55, 2, 37.
- [4] 小野, 西浦, 室井, 吉川, 福土, 2003, 天文月報 96, 6.
- [5] サイエンス・キャンプ Home Page, <http://ppd.jsf.or.jp/camp/>
- [6] 君が作る宇宙ミッション Home Page, <http://www.pub.isas.ac.jp/home/mission/>