

## 惑星科学の新展開は「すばる」から

鈴木文二<sup>○</sup> (埼玉県立三郷工業技術高校), 大西浩次 (長野工業高等専門学校)

**要約:** 探査機による火星についての新しい発見は、非常に刺激的である。まさに地球惑星科学が新時代に突入したことを感じさせる。もはや高校地学において、天体力学的な太陽系像、すなわちケプラーの法則に終始していた時代は終わったと言える。本稿は、「すばる望遠鏡」がとらえた火星画像をもとに、比較惑星学としての新しい教材の可能性を提示するものである。

### 1. はじめに

教育・普及に関する惑星科学・天文学のコミュニティの取り組みは多彩である。たとえば、昨年度の地球惑星科学関連学会合同大会では、「多角的アプローチが進む天文教育・普及」というサブタイトルをつけた10数本の講演が行われた。また、天文月報では2004年当初に、二ヶ月続きで教育論文特集を組んでいる。このようなアクティビティは、急に立ち上がったわけではなく、自然発生的なものでもない。

天文学会では、1980年代に組織として教育委員会を設け、1994年度秋季年会より発表分野に「天文教育」を設置している。また、2000年度からは、中高生を対象にした「ジュニアセッション」を年会会期中に開催し、2004年度春季年会においては、34の発表が250名を超える参加者で行われている。加えて、最新の天体画像を共有するネットワーク(PAONET)も、インターネットのインフラが整っていない10年前から、独自システムで実現されている。さらに、公開型天文台・プラネタリウムと大学の連携、研究機関における高校生の体験活動など、多くの先駆的な実践が1990年代から実施されているのである。

このような中で、「高校生天体観測ネットワーク(Astro-HS)」は、1998年から活動している全国



図1 2003年度 Astro-HS ポスター

ネットワークである。きっかけは、「しし座流星群を、多くの生徒たちに体験させたい。平日の夜の観測なので、何とか公欠をとって暗い条件の空で見せたい」ということからである。高校教師、生涯学習施設職員、アマチュア天文愛好家、研究者、そして日本天文学会、日本惑星科学会をはじめ国内の多くの学会、研究会の支援を得て発足した[1]。その活動は世界23ヶ国参加による国際観測会に発展し、2000年度からは、しし座流星群以外の観測テーマも含めるようになった[2]。2003年9月末時点で、延べ参加グループ数は1,000を超え、参加した高校生の数は11,000名を超えている。2003年度の観測テーマは、「水星の日面通過」、「火星大接近」、「ペルセウス座流星群」であった。「すばる」による火星観測は、その活動の一環として、

多くの支援を受けて実現したものである[3]。観測データの解析については、すでに日本天文学会のジュニアセッションなどにおいて、高校生の手によって一部が発表されている。

## 2. 「すばる」への道

世界最大級の望遠鏡が火星をとらえ、そして教育利用のデータを提供したことは画期的な出来事であり、世界的に見ても前例がない。しかし、それが実現するまでには紆余屈折があった。せっかくの機会であるので、その経緯について最初に述べておく。

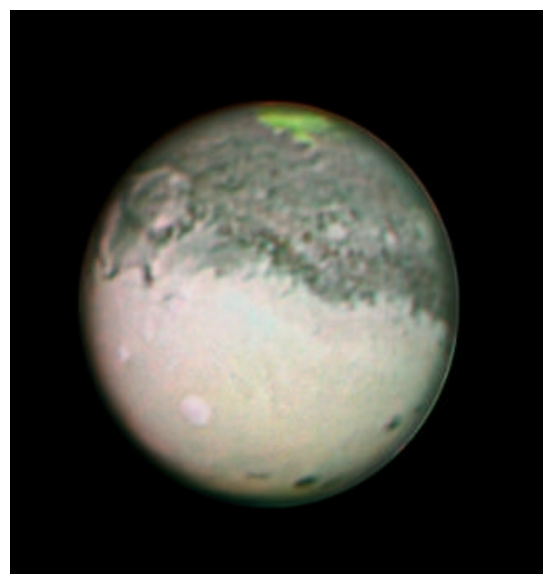
『すばる』を使って、教育・普及に活用できるデータをとれないだろうか」という声・要望は、最近になって様々な形で具体的に聞かれるようになってきた。そして、実際に正規にプロポーザルを出した例もある。その中で大きな動きとしては、独自の天文教育カリキュラム実践を持つ JAHOU(日本ハンズオンユニバース協会)と PAOFITS(PAONET内の FITS 画像利用支援)グループである。前者は「すばる」望遠鏡の教育利用に関して具体的な要望書を作成し、後者は「すばる」なくては実現し得ない教材を提案、開発し続けている。

Astro-HS のスタンスは、年度毎に提起される観測会に関連する、「すばる」のイベント的運用である。筆者は2002年12月に開催された「すばる専門委員会」に参加し、観測装置の状況、ユーザーズミーティングの報告、共同利用の状況、さらには将来計画について、多岐にわたる論議を聞いた。研究者が非常に苦労して観測装置を立ち上げている様子や、熾烈なプロポーザル採択競争の様子がよくわかった[4]。『すばる』は世界一の研究を目指すのだ」という雰囲気の中で教育利用の提案をすることは、なかなか勇気と戦略が必要なことであると感じた。今回の「火星」は、広報用として NHK が独占的に行っている画像配信だけでなく、物理量を取り出せる画像の提供を望むというものであった。

その後、翌2003年3月中旬には、JAHOU, PAOFITS, Astro-HS の連名で要望書を提出、4月上旬には、PAOFITS 有志教員がハワイ観測所訪問をするなど、「『すばる』を教育・普及に」という動きが、急速に高まっていった。しかし現実として、分刻みの観測スケジュールが組まれている中で、教育・普及のための観測をどこに組み入れていくかは、難しい問題であった。一方で、2003年の天文界の話題を独占する「火星大接近」は、ハワイ観測所の広報テーマとして悪くない対象だった。Astro-HS からは、「高校生ネットワークからの協力をお願い」が観測所へ伝えられ、度重なるやりとりが続いた。そして、火星大接近の日程が迫るにつれ、現実的な問題として協議されるようになった。「すばる」のデータは、観測者の優先権を確保するため、観測後18ヶ月以降でないと公開されない。観測者ではない高校生グループに、データを提供するためには、特例として公式的に了解されなくてはならない。そのために、

- ・不特定多数へのデータ提供でないこと
- ・教育利用として限定されること

前者については、Astro-HS に登録したグループに限定して公開すること、後者については、高校生グループとその指導者が行う研究に限るという条件をつけた。三鷹の広報普及室を中心に調整が進



められ、火星が最接近する8月27日前後にデータが取得される見込となり、国立天文台内の了承もとられた。全体計画が明らかになったのは、8月初旬のことである。最接近前後の観測に使用された機器は、IRCS (Infrared Camera and Spectrograph) で、撮像のみの観測となった。

その観測の一週間ほど前に、NHKのハイビジョンカメラによる可視域撮像がテレビで公開された。この動画から静止画を作成し、高校生グループに公開するという了解を得て、最初にこのデータが届けられた。続いて、「すばる」に装着する機器の動作テストの際に撮られた画像が、ハワイ観測所の好意によって提供されることになった。

COMICS (Cooled Mid-Infrared Camera and Spectrograph), CIAO (Coronagraphic Imager with Adaptive Optics)

によるものである。観測データは、「生データ」のままでは較正すべき手続きが複雑すぎるため、ハワイ観測所のスタッフによって、あるいはAstro-HSのスタッフによって、必要な画像処理を終えてから、Webサイトで公開された。そのため、すべての画像が揃ったのは、9月半ば過ぎであった。「高校生が自らの望遠鏡でとらえた火星」と「『すばる』がとらえた火星」を、時間的にリンクさせられるようなイベントを企画していたが、それは不可能であった。

その後、2004年1月「すばるユーザーズミーティング」において、この画像の教育的効果が確認され、教材化への道が開け、現在に至っている。長い時間をかけて培われてきた天文学のコミュニティの成果であると言える。

### 3. FITS形式画像と解析ソフトウェア

#### 「マカリィ - Makali'i -」

現在の地学の教科書に載っている天文分野の実習は、どのようなものだろうか。たとえば、HR図であれば、星のスペクトル型と明るさの数値データ表があり、この数の羅列をもとに計算をしたり

図やグラフを作るような課題が中心となっている。課題研究であれば、実際の観察が例として挙げられることもあるが、通常の授業時間で行われるような実習で、観測データを実際に解析してみるような内容は今のところ稀である。近年になって、学校のコンピュータ教室やネットワークの整備はかなり進んできた。学校でのコンピュータを使った実習環境自体は、整備されてきていると言える。「すばる」の画像を取り扱うことが、どこでも可能になってきていると言える。

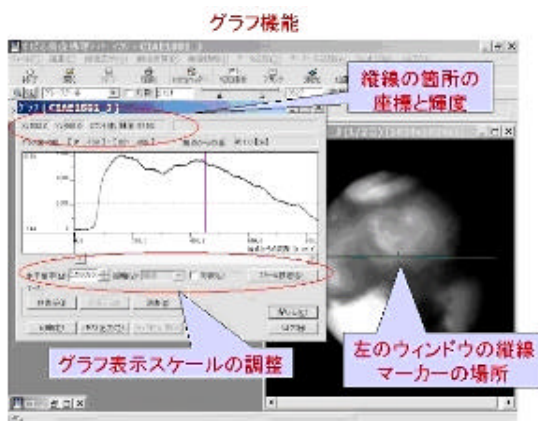
国立天文台などから報道機関に発表される天体画像は、さまざまな処理が施され、さらに圧縮処理されたJPEG形式などの画像ファイルで、いわゆる「綺麗な画像」である。教科書の口絵の写真も同様である。一方、生の研究観測画像は、天体の等級（明るさ）や色、画像上の天体の位置など、さまざまな物理量を求めることが可能である。これらの研究観測で得られたデータを、お互いに正しく交換したり蓄積したりするための標準フォーマットとして作られた規約がFITS (The Flexible Image Transport System) である。本来は天体画像データの流通と蓄積（アーカイブ）における必要から策定されたものであるが、現在はいわゆる画像データだけでなく、天体カタログのようなデータベースなどの用途でもこのフォーマットが使われるようになってきている。ファイル先頭に観測情報が記されたヘッダがあり、国際的に細かく定められた規約に則り記録されている。ヘッダに続いてデータ部分があり、ビット数、数値形式、次元は多様性を持っている[5]。

さて、解析ソフトウェアはどうだろうか。FITSデータを用いた実習教材の開発と利用の敷居をもっとも高くしているのは、教育目的に適切なFITS解析ソフトが無いことである。これについては、国立天文台とPAOFITSグループで、すばる画像解析を意識した「マカリィ」(Makali'i: ハワイ語で“小さな目”という意味で、星団“すばる”のことも指す)が製作された。「マカリィ」は、教育目的であれば自由に使うことができるものとし

て製作された。また海外での利用も考慮して、英語版が整備されている。「マカリィ」は、無償でダウンロードが可能である。なお現在のところ、MS-Windows OS 上で動作するのみで、Mac 版は開発されていない。主な機能は、

- ・画像相互の演算
- ・星の明るさの測光
- ・天体位置測定、重心検出
- ・スペクトル測定
- ・等光度線作成

などである。すでに、PAOFITS グループでは、明るさを測定し星団の HR 図を作成する教材セット、ドップラー効果を測定しハッブル関係図を作成する教材セットも開発している[6]。今回の火星画像も、「マカリィ」を使用する事が前提である。



#### 4. 火星の物理を知る画像教材

今回の観測は、ほとんどが近赤外域と中間赤外域の波長で行われた。近赤外域に寄与するのは、太陽光の反射光であり、物質の選択吸収に依存するデータが得られる。中間赤外域では火星からの熱放射とともにケイ酸塩などの選択吸収に関連するデータとなる。特徴的な画像として COMICS で得られた K-band(有効波長 2.16  $\mu\text{m}$ )と Q-band(有効波長 24.5  $\mu\text{m}$ )の画像を示す。K-band では眼視観測でもよく解る極冠が白く輝いて写っている。また、衝より二ヶ月前であるため、火星の一部が欠けて写っている(日没後に相当する地域)。一方で、Q-band では温度の低い極冠は黒く写っている。そ

して、K-bandで欠けていた部分は、まだ余熱があるため明るく写っており「丸い」火星である。さて、提供された画像からは、様々な火星の物理量が得られるが、その一例を紹介する。

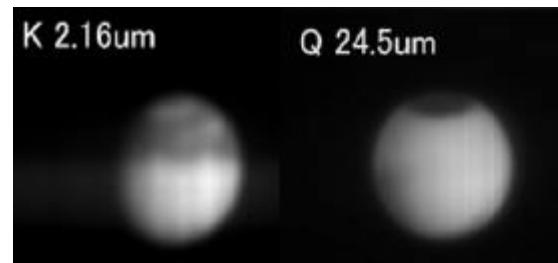


図4 K-band(有効波長 2.16  $\mu\text{m}$ )と Q-band(有効波長 24.5  $\mu\text{m}$ )でとらえた火星画像

#### (1) IRCS から得られる水の氷雲の分布

火星の極冠は二酸化炭素(ドライアイス)から成っているとされるが、その下層には水の氷も存在すると考えられている。ガンマ線を使った探査機の観測から、その分布情報はある程度わかっている。今回の接近では火星の南極冠が良く見えていたが、南半球が夏を迎えるにつれて極冠が縮小していく様子が、高校生の観測からもとらえられている。表面を覆っている二酸化炭素の昇華によって下層にある水も昇華し、大気圧の低い火星環境では氷雲を生じる。水と二酸化炭素の氷雲の区別は可視域では難しいが、近赤外域ではそれぞ

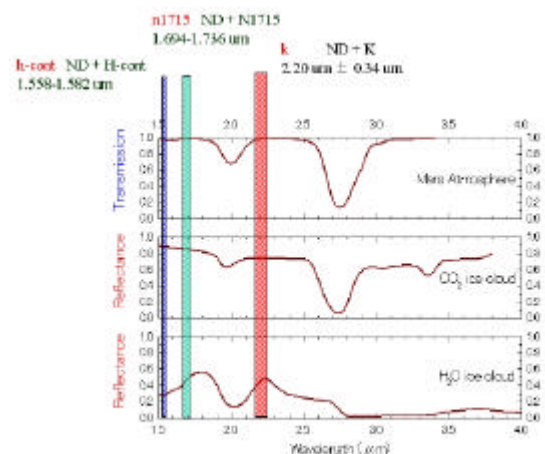


図5 IRCS に装着したフィルタと火星大気の透過率(上)、二酸化炭素の氷の反射率(中)、および水の氷の反射率(下)

れの反射率の高低により分離できるため、適切な狭帯域フィルタを用いればよい。図5は使用したフィルタの規格と Bell et al. [7]によって調査されている氷雲の性質を表したものである。IRCSでの撮像は、これを考慮して三種類の波長が使われた。

このうち、h-cont と n1715 のフィルタの波長域では、水の氷の反射率が2倍程度異なり、大気の透過率、二酸化炭素の氷の反射率は大きく違わない。そのため、ふたつのフィルタで捉えられた画像を比較することによって、水の氷雲の分布を推定することが可能である。実際には、両画像の除算で可視化することができる。

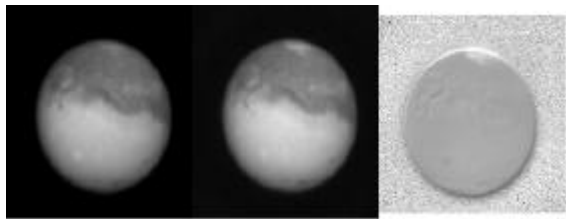


図6 h-cont(左)、n1715(中)、および水の氷雲分布画像(右)

## (2) COMICS から得られる火星の温度分布

中間赤外域の観測は、火星にとって太陽光の反射よりも、熱放射が卓越する波長域となる。火星と地球の環境比較をする上で、この観測から得られる温度情報は、興味深いテーマとなる。実際の観測は、6月15日に実施され、N-band 8.7  $\mu\text{m}$  から Q-band 24.5  $\mu\text{m}$  の間の10波長であった。図7はそのうちの20.8, および24.5  $\mu\text{m}$  の画像である。



図7 COMICS でとらえた 20.8  $\mu\text{m}$ (左), 24.5  $\mu\text{m}$ (右)の火星画像

プランクの式から 20.8, 24.5  $\mu\text{m}$  におけるフラックス比を計算しておけば、得られた画像から

温度を推定できる。図8は南極冠を含んだ経度方向のプロファイルに沿って求めた温度分布の一例である。得られた温度分布は、探査機Vikingの測定とよく一致している。もちろん、画像演算で火星全面の温度分布も求められる。それによると可視光で得られている模様と、かなり異なる「温度模様」が得られている。

## 5.まとめ

日本の探査機「のぞみ」は、残念ながら火星へ投入できずに終わったが、アメリカの探査機は順調に最新のデータを送りつづけている。その結果と、IRCS, COMICS などから得られた画像、そして地球のリモートセンシング結果などを比較することによって、比較惑星学の新しい教材が期待できる。火星観測が、その表面模様を追っていた時代から、今回の観測は飛躍的な第一歩であると言える。

21世紀型の科学および理科教育において、学校教育、生涯学習を問わず、研究者の関わりが極めて重要になってきている。今回紹介した事例の他にも、教育関係者と研究者が共同で生徒や市民を支援する共同体作りが、地域、全国、そして国際的にそれぞれの規模で進んでいる。すべての惑星科学全般でも、多様な共同体が形成されることを願ってやまない。

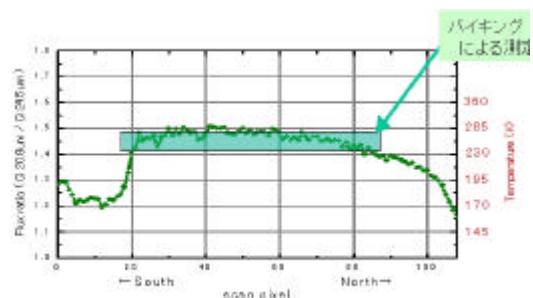


図8 経度方向に沿った火星の表面温度分布

謝辞：今回の火星観測においては、唐牛所長を始め、すばる観測所スタッフの皆さんには、大変お世話になった。また、すばる観測所と Astro-HS をつなぐ架け橋として、国立天文台

広報普及室のスタッフの皆さんからは、多大な協力を頂いた。この場を借りて深く感謝の意を表したい。さらに、観測のバックグラウンドに関して、東亜天文学会の安達誠氏、西はりま天文台の時政典孝氏、会津大学の出村裕英氏、京都大学の中串孝志氏、福岡大学の竹内覚氏には有益な議論をして頂いた。合わせて感謝したい。

#### 参考文献

- [1] 鈴木文二，1999，星降る夜に集う高校生たち，科学 Vol.69，No.6
- [2] 鈴木文二，小川 宏，2002，高校生観測会の4年間，天文教育 vol.14，No.4
- [3] 鈴木文二，2004，高校生天体観測ネットワークの活動 ホンモノの天体現象の体験活動，天文月報 vol.97，No.3
- [4] 鈴木文二，2003，「すばる専門委員会」に出席して，天文教育 vol.15，No.3

- [5] Greisen E.W., Calabretta M.R., 2002, Astronomy and Astrophysics vol.395, 1061
- [6] 古荘玲子 他，2004，リアルデータを教室に 公開天文台ネットワーク PAOFITS WG の活動，天文月報 vol.97，No.3
- [7] Bell, J. F, et al., 1996, Detection and monitoring of H2O and CO2 ice clouds on Mars, JGR, 101,9,227-9,237

#### 関連 URL

高校生天体観測ネットワーク <http://www.astro-hs.net/>  
PAOFITS ワーキンググループ <http://paofits.dc.nao.ac.jp/>  
国立天文台ハワイ観測所 <http://subarutelescope.org/>

---

鈴木文二：suzukibn@da2.so-net.ne.jp

大西浩次：ohnishi@ge.nagano-nct.ac.jp