

---

---

# 日本惑星科学会誌 遊・星・人

## 第23巻 第4号

### 目次

---

---

巻頭言 杉田 精司	319
<hr/>	
特集「広報・アウトリーチ」	
広報・アウトリーチは、惑星探査を救う鍵となる ～「広報・アウトリーチ」特集に際して～	320
寺藺 淳也	
産学官連携による惑星科学アウトリーチの試み	323
宮本 英昭, 洪 恒夫, 関岡 裕之, James M. Dohm, 新原 隆史, 洪 鵬, その他5名	
惑星科学アウトリーチのフィールドとしてのジオパークの可能性	330
中串 孝志	
インターネットにおける月・惑星探査アウトリーチ ～月探査情報ステーションの16年～	337
寺藺 淳也, 阪本 成一, 吉川 真, 若林 尚樹, 渡部 潤一, 月探査情報ステーション編集メンバー	
月周回衛星「かぐや」の広報・普及啓発活動	347
祖父江 真一, 奥村 隼人, 滝澤 悦貞, 佐々木 進, 加藤 學, 阪本 成一, その他2名	
地方都市に"太陽系科学"旋風を巻き起こすまで	352
三島 和久	
<hr/>	
天文観測的手法における小惑星4ベスタの研究	361
長谷川 直	
「2013年度最優秀研究者賞受賞記念論文」	
ダストから微惑星へ：衝突密度進化と急速合体成長	371
奥住 聡	
<hr/>	
エポックメイキングな隕石たち その5 ～Almahata Sitta隕石～落ちてきた不均質小惑星"2008 TC <sub>3</sub> "～	382
宮原 正明	
研究会開催報告「衛星系研究会：衛星系から探る外惑星領域の小天体軌道進化」	386
谷川 享行, 奥住 聡, 木村 淳, 倉本 圭, 大概 圭史	
2014年度 惑星科学フロンティアセミナー参加報告	389
黒川 宏之	
「赤外線観測と惑星科学」研究会開催報告	391
白井 文彦, 大坪 貴文	
月科学研究会報告	396
大竹 真紀子, 倉本 圭, 村上 英記, 藤本 正樹, 橋本 樹明, 山本 哲生	
2014年度秋季講演会報告	398
中村 智樹	
新刊書評	400
牧野 淳一郎	
JSPS Information	401

---

---

---

# Contents

---

<b>Preface</b>	S. Sugita	<b>319</b>
<hr/>		
<b>Special issue : Public relations and outreach</b>		
<b>Public relations and outreach is a key to save lunar and planetary exploration —Preface to the Special Issue of “Public Relations and Outreach” —</b>		
	J. Terazono	<b>320</b>
<b>Planetary-science outreach in collaboration with non-academic partners</b>		<b>323</b>
H. Miyamoto, T. Kou, H. Sekioka, J. M. Dohm, T. Niihara, P. K. Hong, and 5 authors		
<b>Potential of geoparks as fields for outreach of planetary science</b>		<b>330</b>
	T. Nakakushi	
<b>Lunar and Planetary Outreach in The Internet —16 Years’ Challenge of The Moon Station—</b>		<b>337</b>
	J. Terazono, S. Sakamoto, M. Yoshikawa, J. Watanabe, and 1 team	
<b>Education, promotion and outreach of lunar explorer SELENE (KAGUYA)</b>		<b>347</b>
	S. Sobue, H. Okumura, Y. Takizawa, S. Sasaki, M. Kato, and 2 authors	
<b>The story of solar system exploration boom creation in a small city</b>		<b>352</b>
	K. Mishima	
<hr/>		
<b>Research of the asteroid 4 Vesta through telescopic methods in Japan</b>		<b>361</b>
	S. Hasegawa	
<b>From dust to planetesimals: collisional density evolution and rapid coagulation</b>		<b>371</b>
	S. Okuzumi	
<hr/>		
<b>Epoc-making meteorites (5)</b>		
<b>—Almahata Sitta meteorite - Fallen heterogeneous asteroid 2008 TC<sub>3</sub>—</b>		
	M. Miyahara	<b>382</b>
<b>Report of Workshop on Satellite Systems</b>		<b>386</b>
	T. Tanigawa, S. Okuzumi, J. Kimura, K. Kuramoto, and K. Ohtsuki	
<b>Report of Frontier Seminar on Planetary Sciences 2014</b>		<b>389</b>
	H. Kurokawa	
<b>Workshop on "Planetary science with infrared observations"</b>		<b>391</b>
	F. Usui and T. Ootsubo	
<b>Report on the lunar science seminar</b>		<b>396</b>
	M. Ohtake, K. Kuramoto, H. Murakami, M. Fujimoto, and 2 authors	
<b>Report of 2014 Fall Meeting</b>		<b>398</b>
	T. Nakamura	
<b>Book review</b>		<b>400</b>
	J. Makino	
<b>JSPS Information</b>		<b>401</b>

## 巻頭言

### はやぶさ2の打上げを目前にして

本稿は、はやぶさ2の打上げ1ヶ月ほど前に書いているが、本号出版時は打上げ後だろう。HIIAロケットは優れた成功実績を持つので心配不要と信じているが、米国での相次ぐ打上げ失敗の報に触れると、宇宙開発の難しさを改めて感じる。しかし、それ以上に難しく感じているのは、日本の固体惑星探査の将来計画である。中堅の研究者と顔を合わせる度に、この相談をしては頭を痛めている。日本の宇宙予算は減少する一方で、めぼしい探査計画は欧米が先に実施してしまう。中印は、月面着陸、月自由帰還軌道利用、火星周回軌道投入と躍進が目覚ましい。日本は苦しくなるばかりである。このような悪い材料を数えたら、枚挙に暇がない。

しかし、日本の惑星探査を取巻く状況は、本当に悪いことばかりなのだろうかと疑問に思うことも事実である。私が惑星科学を志した四半世紀前には、プロジェクト化された惑星探査計画は日本にはまだ1つもなかった。探査経験者も皆無だった。それが今は、かぐや、はやぶさが実現し、経験を積んだ中堅研究者が大勢いる。探査をサイエンス面から支える理論研究者や物質科学研究者の層も厚い。科学テーマも、この10年だけでも新しい重要課題が多数出て活況である。例えば、火星表層は古い時代ほど水に富んでいたとの従来仮説は見直されつつある。大惑星の移動を考慮することで惑星形成論も随分と描像が変化した。惑星形成論見直しには小天体探査の活躍が不可欠である。水衛星にも内部海からの噴気発見が続いている。いずれも非常に魅力ある探査のテーマである。さらに、一般の国民も日本が惑星探査で世界をリードして欲しいと強く期待しているように感じる。これらは大変に強いプラスの材料である。

最大の問題は、我々のコミュニティーに自力で科学計測器を作る力が足りないことだと思う。これは、固体惑星探査用測器には搭載実証の機会が極めて限られることに根本原因がある。この問題を解決できれば、科学計測器の開発力を大幅向上できる可能性がある。これには理工連携が1つの解だと思う。日本の宇宙工学分野では、超小型衛星や小型柔構造展開式大気突入機など、先進的な技術の開発が進んでいる。これらは、従来より大幅に低い予算で製作可能であり、実施頻度を高められる。これに新規開発の科学計測器を載せられれば、実証機会は格段に増える。今後は、この方向に向かって走ってみる必要があるのではないかと思う。

とは言え、一朝一夕で実現する話ではない。強い信念を持って一緒に長距離を走ってくれる若手が必要だ。そのような持久力のある若手を発掘するには、探査による発見の味を知ってもらうことが最も効果的だと思う。私は、この味をDeep Impact探査で覚えた。この経験がなければ、はやぶさ2に全力投球はできなかったと思う。今の若手には、はやぶさ2の小惑星ランデブー期間中に、この味を味わってもらいたいものである。小惑星到着まで3年半。気を引き締めつつ将来を楽しみにしつつ取り組みたい。

杉田 精司(東京大学 理学系研究科)

## 特集「広報・アウトリーチ」

広報・アウトリーチは、惑星探査を救う鍵となる  
～「広報・アウトリーチ」特集に際して～寺園 淳也<sup>1</sup>

アウトリーチという、やや聞き慣れない日本語が、日本の科学の分野でよく聞かれるようになってきたのは、私の記憶では1990年代後半くらいではないかと思う。

アウトリーチ(outreach)という言葉は、もともと reach out という意味の方が自然で、これは、ただ待っているだけではなく、こちらから出て行くという形の意味である(手を伸ばす、という意味合いが近い)。特に、例えば地域における重要な事柄の合意形成(公共事業など)や、福祉分野などで実際に地域に出て支援活動を行うことなどがアウトリーチの本来の使われ方である。

広報とアウトリーチの違いはなかなか難しいが、例えば中須賀・川島[1]の考え方によれば、時間軸によって整理できるものである。広報は、ある特定の事柄についてすぐに伝え反応を得る(報道などにも関連する)、比較的タイムスパンの短い活動であるが、アウトリーチはもう少し長い、数日～数ヶ月の単位での活動となる(講演などもアウトリーチではあるが、その準備期間や周知などの期間を考えると数ヶ月単位の活動とみてよいだろう)。その分、よりじっくりと地域、あるいは市民に溶け込むことが活動として前提となる。さらにこのスパンが長くなってくると教育ということになり、こちらは数ヶ月、数年という単位をかけていくことになる。広報、アウトリーチ、教育は、このような形で密接につながっているのである。

科学分野におけるアウトリーチがとりわけ注目されてきた1990年代には、いくつかの契機となる事柄が存在している。

まず、巨大科学が一般的になってきたことが挙げられる。超大型の粒子加速器、大規模な遺伝子解読計画、そして我々の分野であれば月・惑星探査。いずれも数百億～数千億の費用を必要とする巨大プロジェクトである。このような巨大科学には巨大な税金が投じられ、往々にしてその使われ方は従来の科学に比べて見えにくい。必然的に市民がその用途についての説明を要求することも出てくる。あるいは市民の代表としての議員からの説明を要求されることもある。そのためには実際に計画に関わる科学者が市民の前に立ち、説明を行うことが求められるようになってきた。専門的な事項が多い科学技術の分野においては、専門的な説明を行えるのはやはり科学者に限られるのである。

もう1つはインターネットの普及である。インターネットにより情報の双方向の流通が担保され、ありとあらゆる種類の情報へ瞬時かつ簡単に誰もがアクセスできるようになった。市民に対してこれまで与えられて一方であった情報が、市民側からの発信も可能となったばかりか、市民が政策や社会の意志決定に対してより強力・直接的な影響力を持つようになった。ブログやソーシャルメディアという形で、これらの発信力・影響力はますます強化されている。さらに巨大科学に携わる科学者自身も情報発信の担い手となることができるようになり、新たな広報・アウトリーチの手段となっている一方、その発信方法や内容は日々競争や批評の対象となり、科学者は本来の研究という業務以外にも情報発信という大きな仕事を背負い込むようになってきている。

いまや広報・アウトリーチは分野間での競争の感を呈しており、各分野が、より魅力的なコンテンツ、より魅力的なキーワード、より魅力的な素材を求めて、

1. 会津大学  
terazono@u-aizu.ac.jp

いろいろな媒体を通した対外情報発信を実施している。それは、情報の浸透、すなわち市民による活動の理解が施策予算の獲得に直結していることを誰もが理解したからであり、巨大科学においては、予算の確保こそがそのミッションの死命を制することが明らかだからである。

惑星科学や惑星探査は、そういった点では広報・アウトリーチ活動では他分野に比べて一歩リードしているところがある。それは、宇宙という、一般の人がなじみやすい素材を対象にしていること、実施する諸機関が広報・アウトリーチ活動に古くから熱心に取り組んできていたこと、また、中にいる科学者や関係者もそのような活動に習熟し、また熱心に取り組んできていることが理由として挙げられるだろう。

ただ、惑星科学の広報・アウトリーチが総じて受け入れられやすい情報ばかりかというところでもない。難解な用語や複雑な科学理論は適切にかつ正確にわかりやすい表現に変換して伝えていく必要がある。探査においては、例えば探査が失敗した場合の危機広報という観点も考慮に入れなければならない。最新の情報を公表する場合も、関連する諸機関の意向に十分に配慮する一方で、世の中からのなるべく多くの情報の公開を求める要望も取り入れなければならない。

何よりもやはり他分野の追い上げが大きく、常に競争にさらされている環境下で、惑星科学や惑星探査の広報・アウトリーチ活動を「これでもう十分、やらなくてよい」というふうにはいえることはできない。広報・アウトリーチ活動は常に行い、常に成長する必要がある領域なのである。

今回の広報・アウトリーチ特集では、実際に惑星科学や惑星探査のアウトリーチに携わってきた方々による貴重な論文が多数寄稿された。これらの成果や意見は1つ1つが大変貴重であると同時に、また人々が惑星科学や惑星探査のどのような点に関心を持ち、あるいはどのような工夫をすれば人々の興味を引きつけられるか、という、アウトリーチの根源的な部分に大きな示唆を与えるものである。いますぐにでも活用できるノウハウとしての側面も大きいだろう。

ただ私は、これらの経験は次の段階に活かすべきだと考えている。

これまでの広報・アウトリーチは、良くも悪くも、そういった面に適する資質を持った人材の半ばボラン

ティア的な活動で進められてきた。その影響もあり、このような活動はサイドジョブ、ボランティア的な仕事であると認識している人は現在でも少なくないように見受けられる。

広報・アウトリーチはミッションや対象、タイムスパンなどによって手法も様々である一方、例えば話し方や展示パネルのフォントデザイン、表示の仕方といった、非常に細かい点が影響を与えるという点で、なかなか一般化しにくい側面があることは否定できない。しかしだからといって、いつまでもできる人に頼っていたのでは、広報・アウトリーチの裾野を広げていくことはいつになってもかなわないといえるだろう。

有効であった広報・アウトリーチ手法の中からそのポイントになった点を抽出する、ウェブのログやアンケートなどから抽出された人々の関心を見極めていく中で、今後重点的にアプローチすべきポイントやターゲットを認識する。このような科学的方法論が今後の広報・アウトリーチには必要とされている。

私自身、いずれ広報・アウトリーチ自身は科学、あるいは技術的な方法論が確立されていくべきだと考えている。そしてそのような理論を確立できる分野として、この惑星科学や惑星探査の分野は非常に有望だと思っている。長年の経験と豊富な実績は実証グラウンドとしてふさわしいものであり、一方では「はやぶさ」帰還後のブームに代表されるように、人々の関心が非常に高い分野だからである。

修士や博士を出た若い研究者たちがこういった理論を身につけ、自らの研究や興味を人々により広く伝えられるようになれば、それはやがては惑星科学、惑星探査を救う重要な鍵になってくるのではないだろうか。「惑星科学科アウトリーチ学講座」があってもおかしいことはないのである。

繰り返しになるが、いまや広報・アウトリーチは競争である。例えば民間資金による惑星探査が始まったとして、今度は投資家や株主への説明責任という形により効果的な広報・アウトリーチが求められることになる。小規模の研究であっても、博士号を取りたての若手科学者であっても、広報・アウトリーチの観点と無縁ではいられないのである。

本特集を通して、読者の皆様方がいま一度広報・アウトリーチの重要性を認識した上で、そのような活動へより一層の支援、参加をしていただくことを、今回

特集に携わった身として強く願うものである.

## 参考文献

- [1] 中須賀真一, 川島レイ, 2002, 第46回宇宙科学技術  
連合講演会.

## 特集「広報・アウトリーチ」

## 産学官連携による惑星科学アウトリーチの試み

宮本 英昭<sup>1</sup>, 洪 恒夫<sup>1</sup>, 関岡 裕之<sup>1</sup>, James M. Dohm<sup>1</sup>,  
新原 隆史<sup>1</sup>, 洪 鵬<sup>1</sup>, 逸見 良道<sup>1</sup>, 清田 馨<sup>1</sup>, 小熊 みどり<sup>1</sup>,  
菊地 紘<sup>1</sup>, 平田 直之<sup>1</sup>

2014年10月3日受領, 2014年11月6日受理.

(要旨) 猛烈な勢いで進む太陽系探査の成果を一般に紹介することは、若い世代の知的好奇心を鼓舞するのに有効であるし、探査の意義に関する一般の理解を深める一助にもなりえる。そこで私たちは大学博物館の一員として、太陽系科学／探査に関するアウトリーチ活動を試みた。若い世代に対象を特化したスクール・モバイルミュージアムと、より多くの人材にアプローチできるアミューズメント施設における展示活動を通じて、産学官の連携によって互いにメリットがあるアウトリーチの形が存在しうることを示した。

## 1. 太陽系博物学とアウトリーチ

現代は惑星科学の革命期にある。人類は既に60個以上の天体に120機以上の探査機を送り込み、膨大な探査データの獲得に成功した。特に近年の探査の進展は目覚ましく、新たな探査機が次々と打ちあがるさまは、かつての大航海時代を彷彿とさせるほどだ。当時、船舶の改良や新航路を発見することで諸外国から様々な交易品を得たように、より高度な観測装置を積んだ探査機を駆使した人類は、太陽系に関する知見を次々と獲得している。

天然に存在するものを収集・分類する試みは太古から行われてきたが、このように自然に関する知識を獲得し体系化する作業を「博物学」と呼ぶ。15世紀以降、新大陸に飛び出し自然の多様性を認識できたことは、博物学の発展においてきわめて重要な要素であった。これと同様に、探査によって明らかになった太陽系内天体の百般の姿は、博物学の新たな幕開けを予感させる。探査データの丹念な解析により天体ごとの特徴をつぶさに記載することができるのだから、これらを分類し比較することは、地球を含めた太陽系天体の姿を知るための重大なステップとなるだろう。太陽系探査やその成果に関する研究は、「太陽系博物学」とも呼

ぶべきあたらしい学問体系の構築につながると私たちは考えている[1]。

太陽系科学に関連したさまざまな分野の研究者は、大雑把にはこの「太陽系博物学」を推進していると見なすこともできる。そのために探査技術の開発や取得したデータの解析、周辺分野も含めた基礎研究を積み上げるのはもちろんだが、より広い視野を持って太陽系探査を戦略的に進めていくことこそ重要である。だがコストの高い太陽系探査を推進するには、科学的・技術的な意義のみならず、広く一般市民から支持されるものでなければならない。

NASAやESAではこうした理由もあって、広報教育(Education and Public Outreach: EPO)に膨大な労力を割いており、専門の職員のみならず広く研究者や技術者に機会を与え戦略的にこれを進めている[e.g., 2]。JAXAもまた専門部署を設置し、さまざまな活動を行っている。こうした宇宙機関による広報活動は、有人探査や宇宙工学に焦点をあてたものが多いが、これらが一般市民に、ときに熱狂を持って受け入れられているという事実と、高額なコストを特に工学的な側面が必要とすることを考えると、戦略としても正しいのだろう。一方で太陽系博物学を進める上で重要となることは、有人であれ無人であれ、より科学的に本質的な問いに答えるような探査の機会をより多く持つことであり、そのためには多くの人々に本物のサイエン

1. 東京大学・総合研究博物館  
hm@um.u-tokyo.ac.jp

スを提示し、宇宙探査の意義を問うことが重要である。アウトリーチに対して科学者が持つひとつのインセンティブが、ここにある。

## 2. 大学博物館の位置づけ

宇宙探査や宇宙科学に関する情報は、日本ではテレビ・新聞を中心としたマスメディアが重要な伝達手段となっている。宇宙機関等により配信されるプレスリリースに沿った報道を行うだけでなく、ある程度深い内容まで議論するものもある。後者では、やる気に満ちたメディアの担当者を中心として、研究者が携わりながら質の高い番組や特集記事を作り上げているケースが見られる。また、研究者や広義のサイエンスコミュニケーターらによるオンラインのコンテンツや一般向け書籍・雑誌でもタイムリーに情報がまとめられることがあり、極めて充実したものもある。さらに宇宙機関や科学館等における展示活動や、サイエンスカフェ等におけるトークイベントなどを通じて、研究者自身により直接社会へ向けて情報発信を行うことも実施されており、どの活動も社会一般の科学リテラシー向上に広く貢献していると考えられる。

こうした状況は国際的に見てもかなり先進的であると私たちは考えるが、高度な情報を迅速に提供するという意味では、2つのさらなる課題が挙げられる。まずマスメディアを中心とする情報発信は、たとえ研究者が関与したとしても、あくまでメディア目線で一般市民受けする内容に編集される、という点である。これはわかりやすく情報を咀嚼するという意味で決して否定されるべきことでは無いが、担当者の知識や理解力に情報の質が依存してしまうことは、潜在的な問題点といえる。もうひとつは、科学全体の進歩を概観し、かつ次々ともたらされる新発見を、その位置づけと共に発信することが、高度な専門性を持たない限り極めて困難であるという点である。アメリカやイギリスでは、博士号を持つ専門性の高い人材もしくは研究者自身がこの部分を担当しているのだが[e.g., 3]、日本ではこうした観点から活動を行っている人材はそれほど多くはない(少数でも、きちんとした活動を精力的に行っている人材はあるのだが[e.g., 4]、迅速に広く社会に発信するという点においては限られた人材を効果的に活用できていないのかもしれない[5])。また個人

や大学のレベルで効果的な公開活動を行うことは困難である。というのも、やはり多くの人々に直接アプローチすることは難しいし、次々と惑星科学の常識が塗り替えられるような状況は、書籍などの媒体を利用して情報を発信するには不向きだからだ(twitterやブログ等、オンラインでの情報発信において、これらの問題をうまく克服している例もある[e.g., 6])。

こうした状況におけるひとつの試みとして、東京大学総合研究博物館では研究者自身が企画した展示公開という形で先端科学を一般に発信する事業を行っている。私たちはその一環として、2008年から毎年のように惑星科学に関連した展覧会を企画してきた[e.g., 1, 7, 8, 9]。大学においてこのような活動を行うと、予算は限られてしまうのだが、展示そのものには制約が極めて少ないため、研究者の理想とする形を好きなように展開することができる。そこで私たちは、高度な先端科学の成果を科学的文化的に俯瞰することを重視し、プロの科学者であっても見応えがあるような、メッセージ性の高い展覧会を目指している。空間や展示デザインも凝り、JCDデザインアワード2008ベスト100[10]や、SDA賞2010サインデザイン[11]への入選などを果たした。

ただし対象を広く一般市民へと広げるという部分は、このような展覧会であっても大学における活動では困難を伴う。私たちが企画した展覧会は、ほぼ全てについて新聞やテレビなどで特集を組んでいただいたが、それであっても大手メディアや広告代理店などとの協力で開催されている大規模な展覧会と比べれば、メディアへの露出度は圧倒的に少ない。それならばメディアの協力を得れば効率的かということ、研究者の一存で自由に構成できるという大学のアウトリーチ活動における最大のメリットを損ねてしまう可能性がある(宇宙機関が組織として行う場合には、こうした協力体制はむしろ適切な方策であるように思える)。

## 3. スクール・モバイルミュージアム

そこで私たちは逆に、少数であってもよいから若い世代に、より直接、より強烈な形でアプローチすることを考えた。その一つの解が、「スクール・モバイルミュージアム」プロジェクトである。これは大学博物館で行ったような本格的な展覧会を、小学校の教室サ



図1：スクール・モバイルミュージアムの様子(左：火星展，右：鉄展)。ごく普通の小学校の空き教室が展覧会の会場へと変った。

イズにブレイクダウンして、小学生でも楽しめるように内容を組み直すというものである。少子化傾向のために全国の学校が空き教室を持って余していること、学校の教室は規格化されているということを鑑み、いったん学校教室に最適化した展示を作成すれば、安価に全国に展開することができる考えたのだ。

私たちの限られた研究費(運営費)を利用して手作りで作り上げた展覧会を、まずは文京区立湯島小学校に展開した。予算こそ限られていたが、日本有数の展示空間デザイン専門家である洪恒夫によってハイセンスにデザインされた空間に、惑星科学の専門家である宮本が最先端科学のコンテンツをもたらし、ディスプレイデザイン賞などの常連である関岡によるデザインを施す。この科学的にもデザイン的にも極めて高度な空間は、そのコンセプトと共に2012年度のキッズデザイン賞[12]を受賞した(図1)。このプロジェクトは

マスメディア等で大々的に報道されながらも、展覧会の内容は全て研究者の手に委ねられており、訪れる人に対しては、企画者の意図した内容を確実に提示することができた。

展覧会の来訪者となる児童にとっては、思いがけないイベントだ。ある日突然、見慣れた学校の教室が展覧会会場へと変貌しているのだから。ここに、もう一つの隠された意図がある。それは各家庭の事情によらず全児童にアプローチできることだ。日本には極めて質の高い教育資源が存在しているのだが、残念ながらいわば意識の高い保護者の元でないと、それらに触れる機会が少なくなってしまう。そのため隠れた秀才を発掘するには、いわば「普通の子」に直接アプローチすることが重要であるはずだ。この意味で、スクール・モバイルミュージアム・プロジェクトは、ある程度の成功を収めつつあるように思う。全校児童に対するア

ンケートによると、展示期間の3か月間だけでも、100回近くも足を運んだ児童も居たのだ。児童や保護者、教員らからも熱烈と言えるような大歓迎のコメントが得られ、回答者の90%以上が極めて好意的に受け止めたと回答した。

この草の根のような活動は、他の展覧会と比べると予算規模は、はるかに小さいのだが、それでも私たちの限られた研究費だけに頼っているのは長続きしない。趣旨を理解し、ある意味文化活動として支援してくれる団体が必要である。幸運なことに、これまでに新日鐵住金(株)や(株)シマブンコーポレーション、札幌市、文京区、宮崎県美郷町などから資金的な支援をうけることができたので、産学官連携の形で北海道から九州まで14回の展覧会の開催を数えた。

#### 4. アミューズメント会社との協働

スクール・モバイルミュージアムは、その社会的意義や効果を理解する実験的なフェーズは既に終えており、現在は運用面での工夫が必要という状況にある。私たちは2011年頃から、この思想を失うこと無く、いかに効率を高めて多くの児童・生徒達にアプローチすべきか、という検討を行ってきた。ちょうどその頃、(株)東京ドームが所有するピルのワンフロアをリニューアルすることを検討していると聞いた。また同社のスタッフが、スクール・モバイルミュージアムへ視察に訪れ、そのコンセプトや内容を大変良く理解してくれた。こうした背景から、私たちは(株)東京ドームと協働して東京ドームシティ内に宇宙をテーマに据えた博物館を新設する可能性を模索することとなった。

東京ドームシティは、文字通り東京の中心に位置し常に多くの人々に溢れかえっており、私たちが目指す活動を行うのに最適ともいえる場である。多くの人々に情報を伝達できるという点以外にも、普段であればサイエンスに興味を持たないような、ごく普通の児童・生徒らにもアプローチできる面が、特に魅力的であった。商業的にアミューズメント性を要求されるのではないかと思われるかもしれないが、上記のようにコンセプトの段階から同社の検討グループと密接に議論を重ね信頼を積み上げており、この部分の心配は無かった。私たちとしてはスクール・モバイルミュージアムの延長線上、(株)東京ドーム側としてはミュージアム

としての学術性の担保という側面から、このプロジェクトにおいて両者の親和性が高いという確信があった。

(株)東京ドームは、東京ドームシティ内にある「黄色いビル」と呼ばれる施設内に2,600 m<sup>2</sup>の施設面積を確保し、総事業費14億円を用意して(株)丹青社などと共に宇宙ミュージアム・TeNQと呼ばれる施設の準備を進めることとなった。私たちは2012年頃から(株)東京ドームと(株)丹青社と共にコンテンツの検討をはじめ、2013年末頃には学術性を確保しつつも、「見ごたえ」のある展示内容について、案を固めることができた。一方で(株)東京ドームと(株)丹青社は、この施設にとって中心的な役割を果たすシアターの設計や、アミューズメント性の高いエリアについても着々と準備を進めていった(こうした部分には、私たちは全く関与していない)。

東京大学では、この事業の進め方について産学連携の立場から検討を進めた。その結果、私たちはあくまで「太陽系博物学」に関する研究を行うための専門組織となる「太陽系博物学寄附研究部門」を、(株)東京ドームの後援を得る形で東京大学総合研究博物館に新たに設置することにした(上記の通り私たちは、太陽系博物学には基礎研究とアウトリーチ活動が含まれるという認識を持っている)。東京大学内の寄附研究部門設立に関する正規の手続きを経て、2014年4月にこの部門は正式に立ち上がった。この段階で直接関連する教員・研究員は、外国人研究者を含めて総勢5名となった。惑星探査を行ってきた者、データ解析を行ってきた者、物質科学の研究を行ってきた者、大気科学を研究してきた者など、さまざまなバックグラウンドを持つ者が公募により選ばれて集まった。

#### 5. 宇宙ミュージアム・TeNQ

このような形で計画は順調に進み、予定通り2014年7月に宇宙ミュージアム・TeNQが誕生した。大学博物館で行う予算規模の限られた展覧会と異なり、展示・空間演出においてはプロ中のプロである(株)丹青社と、アミューズメントのプロである(株)東京ドームと協働できたことは、ハードウェアに関する部分を完全に任せられるという意味で大変に効率の良い形であった。私たちは、物品の準備に煩わされること無く、純粋にコンテンツの制作に集中することができたから

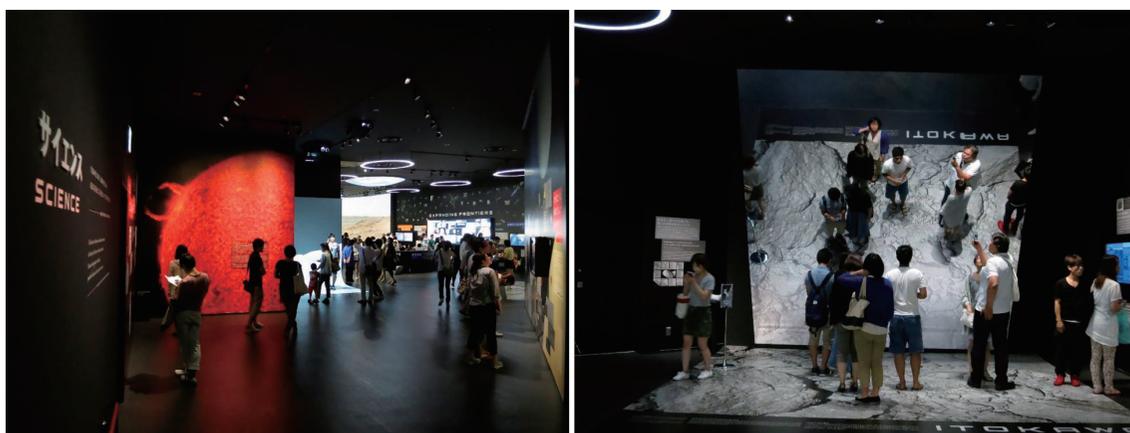


図2：産学連携で生まれた宇宙ミュージアム・TeNQの会場。連日、大勢の来館者で賑わっている。



図3：(左)よく見ると10万文字の情報が溢れる硬派な展示となっている。(右)フルハイビジョンパネル8枚を使ったサイネージシステムを利用して、最新の情報が示されている。

だ。

展示会の会場に示すさまざまなキャプション(説明文)は、サインでも書物でも無い独特の形態のものであるが、制作の手順はレビュー論文の執筆と少し似ている。2014年4月から3か月ほどの時間をかけて、東京大学総合研究博物館・太陽系天文学寄附研究部門の研究者らは、研究者の立場から「太陽系天文学」のレビューとも言うべき文章を執筆し、これらに図表や探査データなどを組み合わせてコンテンツを作り上げていった。関連した分野の識者に徹底的なレビューを依頼し、膨大な量の探査データも収集した。こうしてできあがった展示は、いわば「太陽系天文学」展とも呼ぶべきものになったが、これを宇宙ミュージアム・TeNQの「サイエンスコーナー」と呼ばれているスペースに、修正を要求されることもなく(大学博物館に

おける展示と同様の感覚で)展開することとなった(図2)。

アミューズメント性の高い宇宙ミュージアム・TeNQの中にありながら、この「太陽系天文学」展には、莫大な量の実際の探査データが示され、さらにその分野のトップランナーである研究者らによる厳密かつ包括的な解説が、日本語と英語で記されている(図3)。そこには2013年の「宇宙資源展」で私たちが開発した手法が用いられたので、特段の興味もなく通りがかった人々も内容を容易に把握できるし、一方で興味を持って立ち止まった来館者は、かなり深い内容まで把握できるように丹念に作りこまれている。高解像度デジタル表示システム(4K以上のディスプレイなど)を多用し、ビジュアル情報を次々と切り替えているので来館者には気づかれにくいだが、実は文字数でいうと約

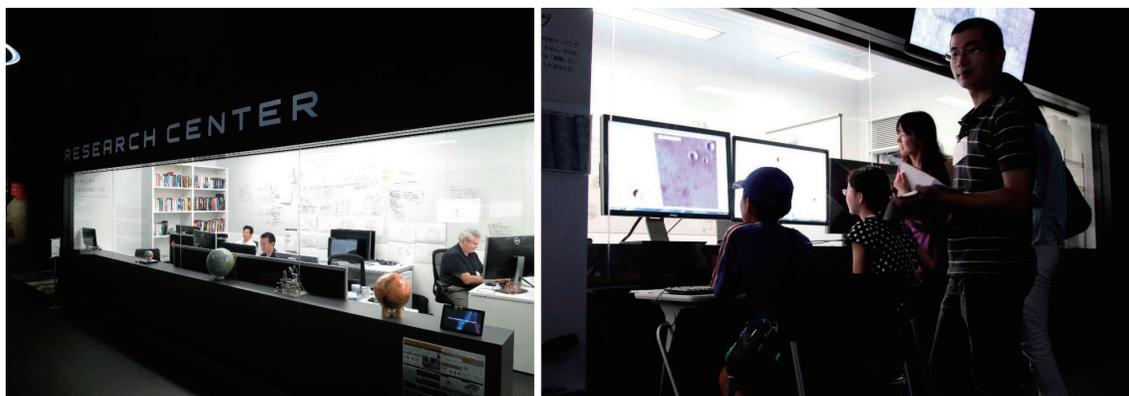


図4：(左)研究室の分室を館内に置いてあるため、来場者が研究者を観察することができる。(右)来場者による地形マッピングの実験の様子。

10万文字にも達する、極めて硬派な展示である(図3)。

こうした展示に加えて、私たちは展示会場に研究室の分室を設け、常にその場に私たち自身が留まって普段通りの研究を行うという、恐らく世界でもあまり例のない挑戦的な実験展示を行うことにした(図4)。研究を行う現場そのものを展示してしまうことで、惑星科学分野の最先端の成果を提示できる、いわば太陽系探査情報ステーションという機能を持つという期待と、来館者にありのままの研究者の姿を見せることで「なんだ、研究というと敷居が高いと思っていたけれども、こんなものか」と感じてもらうことこそ若い世代を勇気づけるきっかけになるのではないかと、という私たちの淡い期待がある。

## 6. 今後の挑戦

宇宙ミュージアム内にある研究室分室というこの奇異な空間で、私たちは上記の目的の達成だけを目指しているわけではない。研究者として、より大切に考えているのは、世界をあっと思わせる素晴らしい研究成果を生み出したいということだ。

その一つの案として、来館者に惑星地質学の研究の一部を負担してもらい、数十万人という予想年間来館者の労力を利用できないか、と考えた。そこで試しに2014年8月7日午前10時～午後4時までの間、惑星地形のマッピングを来館者に体験してもらった(図4)。用意したのは単にコンピュータ2台だけ。そこに表示された円形の地形に合わせて、参加者に丸を配置してもらおうという単純なものだ。簡単なインストラクショ

ンを受ければ子供でも作業が行えるが、実際にはその作業はGIS(地理空間情報システム)ソフトウェアを用いたクレーターカウンティングであり、しかもその対象は、米国地質調査所(USGS)やアリゾナ大学の協力を得て準備した火星の超高解像度画像であった。実験では、総勢50人以上が実際にマウスを握ってマッピングを行った。一人当たり数10分程度で、作業内容を火星の写真と共にプリントアウトしお土産として手渡した。

参加してくれた人達(子供が多かった)は予想以上に真剣に作業に集中してマッピングに取り組んでくれた。ゲーム感覚で長時間にわたって熱中する子供や、こちらの想定以上に上手に作業する小学生なども居た。目を輝かせてディスプレイを見ている姿は、私たちにとっても大変印象的であった。ただしマッピングしてもらった成果自体は、各自の能力のばらつきなどもあって、このまますぐに使える形ではなかった。しかし今後はたとえば初心者用・上級者用などとマシンを分けるなどの工夫を施すことで、実際に研究に使えるような精度の高いデータの蓄積ができるのではないかと期待している。

## 7. おわりに

宇宙ミュージアム・TeNQは2014年7月のオープン直後から、チケットの売り切れが続くなど大変な混雑を見せた。開館後2週間もたわずに年間パスが売り切れ、50日足らずで入場者10万人を突破するなど、大学内でのイベントでは考えられないような盛況ぶり

なった。

ほとんどの来館者は、アミューズメント性の高いシアターや体験型アトラクションを楽しみに集まっているのだが、彼らは意図せずとも、私たちのこの極めて専門性の高い「太陽系博物学」展を閲覧することになり、私たちの目的達成のためにはこれ以上ないほどの環境だ。私たちは「展示物」として姿を見られているが、逆に失礼ながら来館者の行動を私たちも観察している。ひとつの発見は、膨大な量の展示マテリアルに、それが一般のミュージアム等で良く言われるような文字数の制限を遥かに超えたものであるにも関わらず、かなりの割合の方々が丹念に目を通して下さっていることだ。今後は情報のアップデートだけでなく、来館者の行動パターンに基づいた、よりわかりやすく、より質の高い科学を適切に伝えられる展示へと改良していきたい。

事業者である(株)東京ドームにとって、幅広い客層を見込めるミュージアムの学術的な支柱という意味で、私たちと協働するメリットがあるのではないかと私たちは期待している。私たち研究者にとっては、効率的なアウトリーチが行えるという意味での充実感ももちろんだが、このような事業に参加することで寄附研究部門を生み出し、共同研究者の雇用につながったという直接的なメリットも極めて大きい。またスクール・モバイルミュージアムなどでも協力してくれた文京区にとっても、それが呼び水となって結果的には文教施設を区内に増やすことができたと言える。産学官が連携することで、それぞれにとってメリットが生まれるアウトリーチ活動というものがありうることを、上記の試みは示していると考えている。

## 謝 辞

本稿の内容に関連し、(株)東京ドーム、宇宙ミュージアム・TeNQ、(株)丹青社、スクール・モバイルミュージアム関係者、新日鉄住金(株)、(株)シマブンコーポレーション、文京区、湯島小学校、東京大学総合研究博物館で行われた惑星関係の展覧会関係者の皆様にさまざまな形でご協力いただきました。匿名の査読者の方には、この論文だけでなく今後の活動においても大変有益なコメントをいただきました。ゲストエディターの寺藺淳也さんには、本稿執筆の機会をいただ

きました。ここに記して御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 宮本英昭 他(編), 2007, 異星の踏査-「アポロ」から「はやぶさ」まで, 東京大学総合研究博物館, 260pp.
- [2] Mcfadden, L. A. et al., 2011, Space Science Reviews 163, 545.
- [3] Leshner, A. I., 2007, Science 315, 161.
- [4] 矢野創 他, 2001, 小天体探査フォーラム, ISASニュース 241.
- [5] 寺藺淳也, 2010, 第54回宇宙科学技術連合後援会.
- [6] 寺藺淳也 他, 2014, 遊星人 23, 337.
- [7] 宮本英昭, 橘吾吾(編), 2009, 鉄-137億年の宇宙誌, 173pp.
- [8] 宮本英昭 他(編), 2010火星-ウソカラデータマコト, 175pp.
- [9] 宮本英昭・清田馨(編), 2013, 宇宙資源-Pie in the sky-, 東京大学総合研究博物館, 170pp.
- [10] <http://www.jcd.or.jp/index.html>
- [11] <http://www.sign.or.jp/old/award/2010/>
- [12] [http://www.kidsdesignaward.jp/search/detail\\_120213c4](http://www.kidsdesignaward.jp/search/detail_120213c4)

## 特集「広報・アウトリーチ」

# 惑星科学アウトリーチのフィールドとしての ジオパークの可能性

中串 孝志<sup>1</sup>

(要旨) 地球科学的コンテンツを観光に活用する仕組みとしてジオパークがある。ジオパークで惑星科学的コンテンツを展開することを考える場合、学びと関係なく純粋にレジャー感覚で訪れる観光客の存在も考慮すべきである。ジオパークで見られる地球科学的コンテンツを地球以外の惑星の科学として提示できるアイデアとして、インパクト・クレーターや、地球史を惑星表層環境(の進化)の一例と位置づけて語る、などが挙げられる。「惑星科学観光」におけるガイドの解説は必然的に長くなってしまいうため、レジャー感覚の観光客を直接の対象にはしづらい。学びたくてジオパークを訪れるファン層をリピーター化し、惑星科学の魅力を発信する「ハブ」になってもらうことを目標にすべきであろう。

## 1. はじめに

本稿では惑星科学のアウトリーチ活動のフィールドとして「ジオパーク」が機能する可能性について考えたい。同時に、「ジオパーク」と言う単語のあまり載らない『遊・星・人』に敢えて載せることで、日本地球惑星科学連合大会で毎回ジオパーク公開審査セッション(後述)があるにも関わらずその中身を知らない会員が多いと思われる現状を少しでも緩和できれば、とも考えている。

本稿では「惑星科学」の「惑星」という語を「地球でない、それなりの大きさの太陽系内天体」のような意味で使うことにする。地球惑星科学に身を置く人々(即ち、我々)が使う厳密な定義はあえて考えない。それがおそらく一般大衆が「惑星」の語からイメージするものだろうからだ。そして、その「惑星」に関する科学的側面を一般市民に紹介する機会あるいはフィールドとして「ジオパーク」と呼ばれるものが機能する可能性を探っていく。

## 2. ジオパークとはどんなものか

日本ジオパークネットワークの公式Webサイト<sup>\*1</sup>内にある「ジオパークとは何ですか?」の欄には、次のように記されている。

ジオ(地球)に親しみ、ジオを学ぶ旅、ジオツーリズムを楽しむ場所がジオパークです。山や川をよく見て、その成り立ちとしくみに気付き、生態系や人間生活との関わりを考える場所です。足元の地面の下にある岩石から宇宙まで、数十億年の過去から未来まで、山と川と海と大気とそこに住む生物について考える、つまり地球を丸ごと考える場所、それがジオパークです。

このジオパークなる地域とそこで展開される活動は、世界レベルにあると認定された「世界ジオパーク」と、各国内でのみ名乗ることができる認定(我が国の場合は「日本ジオパーク」)の2つのレベルがある。2014年9月の第6回ジオパーク国際ユネスコ会議で行われた審査を経た本稿執筆時(2014年10月)においては、32ヶ国111地域が世界ジオパークとして認定を受けてい

\*1. <http://www.geopark.jp> なお、本文中で例示する日本国内のジオパークの公式Webサイトにはこの日本ジオパークネットワークのWebサイト内の「各地のジオパーク」ページから辿って行くことができる。

る。同じく本稿執筆時において日本ジオパークの認定を受けているのは36地域あり、この中で世界ジオパーク認定も受けているのは洞爺湖有珠山・糸魚川・山陰海岸・室戸・隠岐・阿蘇の6地域である。さらに、ジオパークを目指す地域(日本ジオパークネットワークの「準会員」)が17地域ある。

ジオパーク事業はユネスコが「支援」している。ユネスコが出しているガイドライン[1]によれば、ジオパークは地球活動の痕跡(geoheritage)の保護・保存だけでなく利用を謳っており、特に、教育だけでなく「ジオツーリズム」を通じた経済的な地域振興を重視していることは注目に値する。学校教育・生涯教育の場としてだけでなく、観光客つまり一般市民向けのレジャーの場であらねばならないことを意味しているからである。従って、ジオパークにおける惑星科学のアウトリーチの可能性を考えようとする本稿では、「ジオパークでは、お客様として、全く学お気の無い、レジャーのためだけに来た観光客をも呼び込もうとしている」ことを考察の前提とする(カヌーやラフティングなどのレジャー性の高い体験的コンテンツの評判が高いことは頭の隅に置いておくべきであろう)。この見地から言えば、惑星科学のアウトリーチの一種としてジオパークがどう機能するかを検討することは、即ち、「惑星科学観光」の可能性やそのあり方について考察することを意味する。

ジオパークが提示するコンテンツは、以下のようなものが代表的である。

**地質学的・地理学の名所**：いわゆる絶景・景勝地、露頭、奇岩・奇石、洞穴、河川・滝・湖沼、海岸・浜など。

**地質学的な産物**：岩石・鉱物、化石など。具体例としては、糸魚川ジオパークの翡翠、白滝ジオパークの黒曜石などが挙げられるが、ジオパークの諸活動はその資源を保全するサステナブルな活動であることを重視すべきとされているため、それらの復元不可能な産物を採取・販売することは通常はできない。

**温泉**：これは説明不要だろう。

**火山**：これも説明不要だろう。

**動植物や生態系**：伊豆大島ジオパーク・三原山の麓に広がる溶岩流の冷えた岩塊の上に植物が年々少しずつ増えていくさまは、植物の力強さとともに、「この景色は来年には見ることができない」ことを実感させる。

南紀熊野ジオパークには2012年環境省レッドリストで絶滅危惧Ⅱ類に指定され「山里の貴婦人」と呼ばれる花のキョウロウホトトギスが見られる場所がある。山陰海岸ジオパーク・豊岡市にはコウノトリの郷公園がある。生態系を重視したジオパークに類似の地域・活動としてユネスコ・エコパークがあるが、エコパークとジオパークの重複認定が問題になりつつあるようである。

**ミュージアム**：恐竜渓谷ふくい勝山ジオパークにとって福井県立恐竜博物館は主力コンテンツであるだけでなく、その巨大な銀色のドームがランドマークにもなっている。中国・自貢ジオパーク<sup>\*2</sup>はほぼ恐竜博物館と塩の博物館の2つだけで成り立っているとの見方もある。ミュージアムの学芸員がジオパークの中心的人物であることも少なくない。

**自然災害の痕跡**：三陸ジオパークの津波被災地や島原半島ジオパークの火砕流跡、伊豆大島ジオパークや南紀熊野ジオパークの土砂災害地など記憶に残る現代の被災の跡を巡る観光は、ダークツーリズムと呼ばれる観光のあり方の一種でもあり、またその地に住む人々にとっては自らがどのような土地に住んでいるのかを理解することを通じた防災(減災)教育普及活動の側面がある。室戸ジオパークの沿岸部などで見られるが、岩石に付着したヤッコカンザシの不連続な分布から急激な海水準変動、巨大地震の繰り返しを読み取ることができるように、現代の被災だけでなく古来よりの天災の痕跡も提示可能である。

**地質学的・地理学的な条件を反映した生活文化**：山陰海岸ジオパーク・城崎温泉周辺には当地で産する玄武岩の柱状節理を利用した町並みが見られる。伊豆大島ジオパークには古い噴火口の湾に作られ昔から漁船の「避難所」になってきた波浮港(はぶみなと)がある。

**地質学的・地理学的な条件を反映した郷土食・名産品**：山陰海岸ジオパークの香美町などで有名なカニが挙げられる。日本海沿岸部の海中地形と水温構造がカニの好漁場を作り出している。箱根ジオパーク・大湧谷の「黒たまご」は当地の温泉で茹でるため硫黄分により黒くなったゆで卵である。

**信仰**：自然の造形物の中には信仰の対象、「ご神体」とされてきたものも少なくない。南紀熊野ジオパークには熊野那智大社の那智の滝や神倉神社の巨岩・ゴト

\*2. <http://www.ziggeopark.com>



図1：正面に見えているのが「御池山クレーター」の一部。直線に見えるが、実際に尾根を歩くとかなり円く曲がっていることがわかるとのことである。



図2：南アルプスジオパーク・しらびそ高原の施設「ハイランドしらびそ」内にある「お池山隕石クレーター展」。展示場中央の天井から小惑星イトカワの模型が吊り下げられている。

ピキ岩だけでなく、むき出しの「ご神体」を社殿も建てずにそのまま祀った古式ゆかしい「無社殿神社」やその痕跡が多く存在する（無社殿神社の多くは明治期に行われた神社合祀策により廃社となっている）。

### 3. 「惑星科学コンテンツ」のアイデアの例

前述した代表的なジオパークコンテンツは、「地球」を語るためには格好の素材ではあるが、そこから（地球でない）「惑星」に広げるのは、なかなか難しいと予想される。我々は忘れがちだが、一般的な市民である普通のお客様（その多くは「理科離れ」している）にとって、「惑星」は「宇宙」のジャンルにあり、その研究は「天文学」だからである。惑星科学のアカデミアに多少なりとも縁のある読者諸兄姉と異なり、一般のお客様にとっては、目の前の岩壁から「宇宙」まではかなりのギャップがある。本稿ではお客様の視点から出発せねばならない。

ジオパークはたいていの場合、地質学者がプレーンになっている。そのためか、ジオパークでは「地質学的視点で見て面白い」コンテンツが多く扱われる傾向にある。そのような地質学の成果を伴ったものと「惑星」の科学との接点として最もダイレクトなものは、インパクト・クレーターであろう。しかし、日本においては、クレーターはその痕跡の希少性に由来する社会的な影響の大きさから、取り扱いが難しい[2]。南アルプスジオパークの場合、長野県飯田市にインパクト・クレーターと考えられる構造があるとの研究があ

る[3]。この「御池山クレーター」（図1）については、共同研究の形でさらなる調査や検討の成果が（アカデミアによるピア・レビュー・システムを経て）蓄積され始めている。学術的な理解が今後深まっていくことが期待される。学術的な裏付けが甘いまま社会的な動きにつながることは危険なので、御池山クレーターの地域活性化への貢献度の高まりと学術的な理解の深まり（および学術的な信頼度の高まり）がうまくリンクした形で進んでいくことが望ましい。また、衝突する小天体の説明と関連して、話題としては耳目を集めた「はやぶさ」あるいは「はやぶさ2」と絡めていくのも比較的容易だろう。実際に御池山クレーター関連の展示には小惑星イトカワの模型とともにある例がある（図2）。インパクト・クレーターのような直接的な「地球外のもの」以外の事物を用いて「惑星」を語るにはどのような提示方法が考えられるだろうか。ジオパークで現に提示されているコンテンツをほぼそのまま転用できる方法の一つは、地球史を「惑星表層環境（の進化）の一例」として話すことであろう。筆者が勤務する和歌山大学のある紀伊半島では、その南部エリアの9つの市町村で構成される「南紀熊野ジオパーク」が2014年8月末に日本ジオパークとして認定された。南紀熊野ジオパークで筆者らが提案しているのは、水との関わりを中心にストーリーを組み立てることである[4]。水が気・液・固の三相を行き来できる表層環境は太陽との位置関係に由来し、さらにその水が非常に特殊な物質であり、その特殊性が我々の地球、そして我々自身を生み出した…などという説明は我々にとっては当然

かもしれないが、一般のお客様にとっては水から宇宙を語るなどとは想像もできないことである。またこの説明は、うまくやれば、天文学に抱かれがちなイメージである、自分とは関係ない遠いところの、どうやって想像すればよいかもわからないような話を、お客様自身つまり「あなた」に関連づけることもできる。いわゆる地質学的なコンテンツ、「固い」ものを主軸に据えるジオパークがほとんどの中、主たるコンテンツとしてこの「水」の「今の姿(あるいは普遍的な姿)」を前面に打ち出しているのが白山手取川ジオパークである。このジオパークでは、「山－川－海そして雪のちを育む水の旅」をテーマに、白山を源とし日本海に注ぐ手取川流域を軸とする全体を3つのエリア(水が生まれる「山と雪のエリア」、水が育つ「川と峡谷のエリア」、水が活かされる「海と扇状地のエリア」)に分けてコンテンツを組み立てている。

また、惑星の表層環境ではなく、内部構造について着目するのであれば、例えば、アポイ岳ジオパークが前面に押し出しているかんらん岩などは、当地でかんらん岩が露出していることがなぜ珍しく貴重なのか、うまくプレゼンテーションすることができれば、地球型惑星の内部構造の一般論まで話を膨らませることは可能かもしれない。また、アポイ岳ジオパークは北海道にあるが、内部構造の話に続けて北海道でもオーロラがまれに見られることがあることと結びつけば、ダイナモ理論や磁気圏との関係に踏み込むこともできるかもしれない。なお、アポイ岳ジオパークでも「はやぶさ」と関連づけた展示がある。

他にも、ジオパークで見られる(解説される)コンテンツの中で地球外の何かの影響が裏に存在することを語る方法が考えられる。例えば、立山黒部ジオパークには、国内で初めて認定された氷河が現存するが、そこから地球史の中での氷河期について話すのであれば、氷期—間氷期サイクルに関連してミランコビッチ・サイクルを話すこともあろう。

例は少ないだろうが、風景が直接的に「惑星」の風景に似ている場合がある。伊豆大島ジオパーク・三原山の斜面の荒野は火星とよく似ていると感じたのだが、読者はどう思われるだろうか(図3)。また同じく三原山の別の斜面には、1cm前後のスコリアで覆われた広大な「裏砂漠」がある。ここでは火山学者とロボット研究者が集い、その火山地形を活かしてのローバーの

不整地走行や、無人観測飛行体とローバーの自律制御の実証実験が行われる「伊豆大島無人観測ロボットシンポジウム」が毎年開催されている[5]。火山観測ロボットの実証試験大会としては参加台数で世界最大規模であるこの催しは、当然、月・惑星探査ローバー開発者の実証試験にもなっている[6]。また高校生の参加にも門戸が開かれている。広報の努力が成果を挙げてきているとは言え、なお多くの来訪者は伊豆大島でそのようなことが行われているとは知らないだろうことを考えれば、「ここで日本の宇宙探査の技術が育っている」「未来の宇宙開発に携わる若者たちがここで育っている」などと語ることは、伊豆大島ジオパークを訪れたお客様に、来島前には予想もしなかった驚きと未来への壮大な夢を抱かせることになるだろう。

「地域おこし」が必要な地域がジオパーク事業に取り組むことが少なくない。そのようなジオパークでは暗い夜空が手に入りやすい。そこで、星空観察会・観月会などの天体観望関連をジオパークに取り入れることで、惑星科学コンテンツに結びつけることも可能だろう。専門家にとっては「惑星じゃない」と思われるかもしれないし、かつジオパーク関係者にとっては「ジオじゃない」と思われるかもしれないが、一般のお客様の「惑星」が「宇宙」であることを考えれば、「惑星科学観光」として十分に成立しよう。また、地域の各種のミュージアムも重要な役割を果たすべきであるという立場に立てば、公開天文台というリソースを活用しない手はない。

以上、「惑星」をジオパークのコンテンツとしてどのように提示できるか、そのアイデアをいくつか考



図3：伊豆大島ジオパーク・三原山の西側斜面の風景。火星ランダーの撮った写真によく似ている(西谷香奈氏提供)。

てみた。そのアイデアが少ないのは、ひとえに筆者の想像力(創造力)の貧困さに由来するものである。もっと多くの、もっと一般に受け入れられやすいアイデアが読者諸兄姉に浮かぶきっかけになれば幸いである。

#### 4. 予想される困難：ガイドの役割

肝腎なのは、ジオパークは経済活動が成立しなくては何も始まらないのであるから、地球惑星科学であれ純系地質学であれ、扱うコンテンツの種類を問わず、お客様が旅行に来て楽しんでもらうのが、事実上、第一義であって、お客様に勉強させるのが目的ではないということである。しかし、ジオパークはそのコンテンツを教育と結びつけたがる人々が動かしているのが実情である。それを前面に出してお客様が大勢来るわけがない、という根本的な事実には目もくれず、コンテンツ提供者側の論理だけで動いている。ビジネスの世界で注目されるようになってから20年以上も経ち、既に常識とも言える「顧客視点」が全く無いことは、日本地球惑星科学連合大会で毎回開催されている「ジオパーク」セッション(各地のジオパーク候補地等が認定を受けるべくプレゼンテーションを行う公開審査セッションである)を覗いてみればすぐにわかる。筆者は何度かこのセッションを見てきたが、お客様のニーズに目を向けた発表は1件たりとも見たことが無い。ジオパークが提示するコンテンツの多くは、目の前に実在するものを通じて、いまそこに無いものを読み解かねばならず、従ってガイドの役割が決定的に重要なのだが、ジオパークの多くが「教える」視点から抜け出せていないためか、ガイドも「語りたがり」「教えたがり」であることも少なくないようである。前節で挙げたアイデアも、必要(ニーズ)があった時に地球惑星科学的なストーリーを語るができるようにしておくべき、というだけであって、教育者視点で「これを語るべき」と言っているのではない。筆者がいつも言うことだが、お客様にとっては、むしろ解説をしないのが最良のガイドかもしれないのである。

では、観光としてジオパークを訪れるお客様から見た場合、様々な内容やそれに応じたレベル設定があり得る一般的な「ガイドによる解説」の中で、「惑星」の科学まで踏み込んだコンテンツ提示(解説)は、どのように位置づけられるだろうか。例えば、実際に見ている

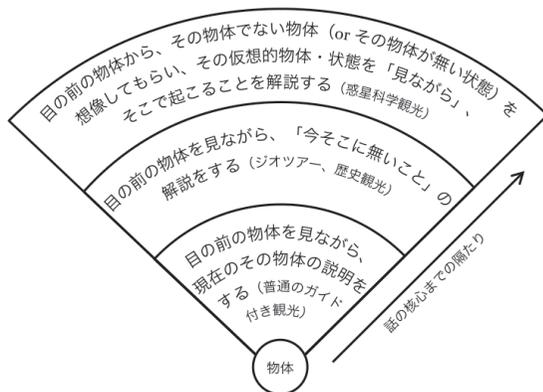


図4：観光コンテンツの提示場面で行われることが、それぞれの観光の現場に於いて実際に見ている「物体」と解説の核心との隔たりによってどのように変わるかを示したモデル図。隔たりが大きいほどそのギャップを埋めるための説明が多く必要となり、受け手の負担も大きくなる。

るものと受け取ってもらいたい「話の核心」とのギャップの大きさ、隔たりを指標にして、図4のような3段階を考えることができる。

おそらく最もギャップが小さい(そして受け手の負担も最も軽い)「すぐ見えてすぐわかる話」であれば、30秒程度の小話に切り分けて話すことは、比較的容易であろう。筆者がネイチャーツアー、ジオツアーなどと呼ばれるものに参加し、参加者を観察していると、ガイドの解説が30秒を超えるとよそ見する人が出始め、1分を超えると全く聞いていない人と聞き漏らすまいとかぶりつきの人の2層にわかれる。新規顧客開拓を目指すならば耳を閉ざしてしまう層にアプローチすべきである。この層でも耐えられる時間内に話を収めるためのモデルとしては、いわゆる「エレベータートーク」(エレベーターで偶然居合わせた人に、ドアが開くまでの間に簡潔に用件を伝える)が参考になるだろう。

現在、ジオパークでよく見られるのが図4の中程に位置づけた説明の様式である。道ばたの石灯籠や井戸を見ながら、いまはそこに無いもの=かつてそこに暮らした人々や合戦などを思い浮かべてもらう歴史観光と同じく、地質学に代表されるような地球科学的コンテンツの説明も、例えば露頭を見ながらいまはそこに無いもの=地球の過去の出来事とダイナミズムを語るわけだが、両者で決定的に異なるのが、「ひと」の存在である。歴史観光では観客は説明を聞きながら仮想的に感情移入や疑似体験する対象としての「ひと」が

存在するのに対し、地球史を語る時に「ひと」はおろかヒトすらいない(うっかりすると忘れそうになるが、そもそも足元を見てもプレートが動いているようには見えないのが普通なのである!)。歴史観光が語る人間ドラマは感情に訴える。地球科学的コンテンツを用いる観光(ジオツアー)の場合、感情に訴えず、雰囲気にも頼らずにアカデミックな内容だけでお客様を楽しませなければならないが、わざわざ解説を聞くために来た集団が相手の講演会などとは全く異なり、容易ではない(なお、筆者の個人的経験に基づけば、少しでもつまらないと感じさせてしまうとすぐにお客様が去ってしまうストリートライブに近いのではないかと思われる)。内容の長大さから考えて、飽きさせないよう話を細切れにするのも、この程度が限界であろう(それでもかなり難しいが)。

## 5. 結論

本稿の主眼である「惑星科学観光コンテンツ」はどのように提示され、どのように受容されるだろうか。内容そのものは、前述したジオツアーで提示される「地球」に関するストーリーのさらにその先に続く発展的内容となる。従って「惑星」コンテンツの提示は、その場にいるお客様が既に「地球」コンテンツをクリアできて初めて成立すると言えるが、これは必要条件の一つである。目の前の物体から想起されるのは(多くの場合は過去の)地球の姿である。「惑星」の話をするためには、目の前の物体から地球と異なる条件下の環境を想像してもらわなければならない。見えているその物体でない物体がそこにあることを想像してもらう(例: 水ではなく硫酸の雲が浮かび、窒素・酸素ではなく二酸化炭素の大気がある金星)、あるいはその物体が無い状態を想像してもらう(例: 海が無い、大気が無い、地面が無い)ことが正しくできていることを前提として、その仮想的物体や状態を心眼で「見ながら」、そこで起こる現象についての解説が展開されることになる。そのような準備が完了した状態に至るための道のりを考えれば、明らかに、一般的なお客様が飽きないうちに短く語ることは全く不可能である。また、一部のジオツアーで可能なように、体験型コンテンツ(川原の小石で遊ぶ、ラフティング、試食会など)に「擬態」するのも難しい。こうして見てくると、残

念ながら、ジオパークを訪れるレジャー観光気分のお客様を直接の対象として「惑星科学観光」を実施するのは難しいと言わざるを得ない。

長い解説が必要なのであれば、学校教育や生涯教育などの「強制的に最後まで話を続けても構わない人々」が相手のフィールドならば可能かもしれない。しかしこの場合、当然ながら、そこに集った人々の全員が「最後まで話を聞いていることができる人々」とは限らないので、うまくやらないと離れていってしまう生徒・受講生が出てしまう。そういうお客様にとってはガイドの長話は「苦行」以外の何ものでもない。その苦行の体験をすぐに忘れてくれれば良いが、下手をすればその経験がトラウマとなり将来的に「惑星科学嫌い」の側に回るかもしれない。

従って、ジオパークを訪れるお客様のうち、ライトなレジャー感覚でないお客様…先のジオツアーの例で言えば「聞き漏らすまい」とかぶりつきでくるようなコアなファン層をターゲットにした、上級者向け(マニア向け)のツアーでなければ「惑星科学観光」は成立しないであろうと言える。そのようなお客様は、語りたくて仕方ないガイドから見れば、存分に語ることができるお得意様と言えよう。惑星科学アウトリーチのフィールドとしてジオパークが活用できる可能性としては、この層のお客様にリピーターになってもらい、「惑星科学観光」の楽しさや、あわよくば惑星科学の魅力をその周囲の人々に口コミ的にじわじわと広げるような「ハブ」的人材になってもらえることを目標として「おもてなし」するのが、現実的かもしれない。今は「惑星科学観光」の直接の対象にはできない層のお客様もそのような口コミを通じた間接的な対象と考え、「ハブ」になって欲しいお客様が自ら語りやすいような形で惑星科学的コンテンツを提示する努力をしていくべきだろう。

以上、惑星科学のアウトリーチのフィールドとしてジオパークが機能する可能性を考察してみた。読者諸兄弟の参考になれば幸いである。

## 謝辞

南アルプスジオパークの「御池山クレーター」およびその研究の状況については、発見者である飯田市美術博物館専門研究員の坂本正夫氏にご教示頂きました。

伊豆大島ジオパークでガイド活動をされている西谷香奈氏から図3の写真を提供して頂きました。大阪大学の佐伯和人准教授には伊豆大島無人観測ロボットシンポジウムについての情報を提供して頂きました。会津大学の寺藺淳也准教授にはアポイ岳ジオパークについての情報を提供して頂きました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] UNESCO, 2014, Guidelines and Criteria for National Geoparks seeking UNESCO's assistance to join the Global Geoparks Network (GGN), [http://www.globalgeopark.org/UploadFiles/2012\\_9\\_6/Geoparks\\_Guidelines\\_Jan2014.pdf](http://www.globalgeopark.org/UploadFiles/2012_9_6/Geoparks_Guidelines_Jan2014.pdf).
- [2] 渡部潤一, 2002, 遊星人 11, 3, 174.
- [3] Sakamoto, M. et al., 2010, Meteoritics & Planetary Science 45, Nr 1, 32.
- [4] 中串孝志(編著)ほか, 2014, 『南紀熊野で地球に出会う 自然信仰から防災ジオツアーまで』, 和歌山大学観光学部.
- [5] 佐伯和人, 2012, 遊星人 21, 2, 94.
- [6] 國井康晴, 2012, 遊星人 21, 2, 138.

## 特集「広報・アウトリーチ」

# インターネットにおける月・惑星探査アウトリーチ ～月探査情報ステーションの16年～

寺菌 淳也<sup>1</sup>，阪本 成一<sup>2</sup>，吉川 真<sup>3</sup>，若林 尚樹<sup>4</sup>，渡部 潤一<sup>5</sup>，  
月探査情報ステーション編集メンバー

2014年9月30日受領，2014年10月30日受理。

(要旨) 月・惑星探査は国民の税金を使用する大きなプロジェクトであり，情報を国民に適切な形で還元していく必要がある。そのような観点から，SELENE計画(後の「かぐや」)の紹介として始まったウェブサイト「月探査情報ステーション」は，その誕生から間もなく16年を迎える。その間，いわゆる「アポロ疑惑」への対応や惑星探査分野への進出，JAXAからの独立などを経て，現在では日本でも有数の月・惑星探査，そして宇宙関連のコンテンツとして成長した。本稿ではその過程を振り返ると共に現状についても紹介し，この16年間の経験から筆者たちが得た月・惑星探査アウトリーチについての知見を述べ，残された課題と将来の方向性について提言する。

## 1. インターネットにおける月・惑星探査アウトリーチの背景

月・惑星探査は，税金を使用して行われる国家的なプロジェクトである。このような支出に対する説明責任(アカウントビリティ)については，特に2000年頃を境として，あらゆる政府・自治体のプロジェクトに対して要求されるようになってきた。特に月・惑星探査は，数百億円という膨大な支出を伴う巨大科学プロジェクトであり，その内容については細部まで説明が求められることが多い。従って，国民に対しては，その意義や成果についていねいに説明を行い，理解を得るように努めることが必要となる。

一方，こういった月・惑星探査のこれまでの説明は，

専門家向けの用語を多用した難解な文書や，図説がほとんどない素っ気ないものが多かった。探査計画そのものの紹介だけで，探査計画の名前を知っている人か，専門家しか注目しないような内容になっているものも多かった。そのため，パンフレットやウェブサイトなどの形で広報を行ったとしても，専門家や非常に熱心なファンなど，ごく一部の層にしか情報が届かないという状況であった。

このような状況を打破するためには，単にまるのままの情報を出すのではなく，一般の人たちがより興味を持ちやすい素材を利用することで，より自然に親しめる形にすることが望ましい。

月探査に関しては，多くの人にとって最もなじみやすく，また話題にもしやすい天体である月を対象としているという大きな特徴がある。そこで，探査とは関係が直接はないが，一般の人たちに興味を持ってもらえるような事柄を素材に，探査情報に導くような形をとれば，より多くの人たちが月・惑星探査に興味を持ち，あるいは情報を得ようとするようになることが期待される。月探査情報ステーションは，そのような構想のもとに計画された。

1. 会津大学
2. JAXA宇宙科学研究所・自然科学研究機構国立天文台
3. JAXA宇宙科学研究所
4. 東京工科大学
5. 自然科学研究機構国立天文台
6. 石橋之宏(JAXA宇宙科学研究所)，柿山浩一郎(札幌市立大学)，川勝康弘(JAXA宇宙科学研究所)，園山実(三菱総合研究所)，田中智(JAXA宇宙科学研究所)，田中潤一(コスモニックツアーズ)，館野直樹(日本宇宙フォーラム)，中村良介(産業総合技術研究所)，原田泰(はこだて未来大学)，疋田澄夫(富士重工業)，平田成(会津大学)，横山隆明(立命館大学) 以上2014年9月末現在

## 2. 月探査情報ステーションの概要

月探査情報ステーション[1-6]は、月・惑星探査に関するアウトリーチを目指し、1998年11月に誕生したサイトである。

以下の3つの観点を重視してコンテンツの検討がなされた。

1. 日本人の月に対する特別な感情の重視. 日本人は「中秋の名月」をはじめとして、月に対しての多くの呼称や行事など、月への特別な感情を抱いている。その点を大切にすると同時に、サイト誘導、導入の一助とすべく、単に探査(科学)だけのコンテンツではなく、月を見て楽しめるようなコンテンツを多く揃えることを重視した。
2. インタラクティブ性. 単に一方的に探査に関する情報を提供するのではなく、ユーザーが働きかけることで楽しめるような内容を加えることを重視した。例えば、ユーザーが選択肢を選んで正否を競うクイズなどによって、楽しみながら月探査を理解できるようにしている。
3. 大学や研究機関との幅広い協力. 単に科学的・技術的な内容で協力関係を組むのではなく、ウェブサイト制作や新しいインターネット表現の舞台としてサイトを利用してもらうため、大学のデザイン系の学科との連携を行っている。

この3つのコンセプトは、設立以来、月探査情報ステーションとして受け継いでいる精神となっている。また、月探査情報ステーションのコンテンツ制作にあたっては、以下の観点を重視することとしている。

1. 正確な情報を提供すること. 科学者が執筆し、一般の人たちに伝えるというサイトコンセプトを設け、これに照らし、科学的な内容はもちろんのこと、言葉遣いなども含めて正しい内容になるように心がける。
2. 迅速な情報を提供すること. 特に月・惑星探査は時々刻々状況が変化する。それに対応するためにも、情報は迅速に提供することを心がける。
3. わかりやすい情報を提供すること. 一般人の人に情報を提供するという観点で、難しい言葉、紛らわしい表現を避け、平易でかつ誤解を生まない表現を使用することを心がける。

以上のような考え方に基づいて、16年間にわたってサイト運営を続けてきた結果、現在では月・惑星探査分野では日本有数の情報サイトとして多くの人に受け入れられている。ページ数をみても、日本語のページ部分だけでHTMLファイル数が2878ページあり、さらにブログなどを合わせると総ページ数は3600ページ以上に上る。これだけのボリュームを持つ月・惑星探査に関するサイトは日本にはほかに存在しない。

現在の月探査情報ステーションは、特定の機関の特定のミッションの広報ではなく、研究者、そして探査のエキスパートとしての立場から月・惑星探査の最新の情報を伝え、それをもって日本と世界の月・惑星探査の振興を図っていくという目的で運用されている。日本での関心が必ずしも高くない海外の月・惑星探査に関しても細かい情報を掲載しているのはそのためである。

例として、第3章で後述するインドの月探査がある。当初この「マンガルヤーン」への関心は日本ではほとんどなかった。しかし、その当時からしっかりと情報掲載・更新を続けていることで、関心が高まった際にもしっかりと受け止める体制を作ることができている。目立つもの、有名なものだけを取り上げるのではなく、すべての動きを上記3つの方針に基づきしっかり解説していることが、月探査情報ステーションのこの分野での圧倒的な信頼を勝ち得ている基盤であるといえるであろう。

その信頼度を示す例として、検索エンジンにおいて「月探査」で検索した場合、Google, Yahoo! JAPAN, bingの3大検索サイトいずれにおいても上位に表示されることが挙げられる。GoogleおよびYahoo! JAPANではWikipedia, JAXAサイト、日本科学未来館サイトの次の5番目に、bingではWikipedia, JAXA/JSPECの次の4位となっている。月探査情報ステーションよりも上位のサイトのほとんどは検索で人気があるWikipedia,あるいは探査当事者であるということを考えると、「月探査」という普遍的なキーワードで上位に来ることはサイトの信頼性が高いことを表していると考えられる。

また、Googleにおけるウェブにおけるページ重要度を示す指標である「ページランク」においては、月探査情報ステーションのトップページは5となっている。これはウェブサイトとしてはかなり高い数値であ



図1：開設当時のトップページ(再現)。黒と月の黄色を基調としたページで、8つのコーナーが存在したことがわかる。

り、JAXA宇宙科学研究所ではページランクは6、JAXAサイトはページランクは7となっている。

ページランクはウェブにおけるリンクの多さなどをもとに決定されていることから、高い数値であることは多くリンクされている、すなわち信頼されているサイトであるということが結論づけられる。

## 2.1 成立から独り立ちへ

月探査情報ステーションは、元々はSELENE(「かぐや」)計画のプロモーションを目的としていた。

1998年当時はSELENE計画の立ち上がりの時期であり、探査について何らかの形での宣伝活動を行っていくことが必要であった。パンフレットなどとともに、当時次第に一般化しつつあったウェブサイトによる広報を行うこととなって、設立されたのがこのページである。

なお、コンテンツの制作にあたっては、1996年に作られた宇宙開発事業団ホームページのコーナー「月・惑星へ」が一部ベースとして使用されている。

設立時にはSELENE計画に関わる3機関(宇宙開発事業団、宇宙科学研究所、国立天文台)が参加していたが、それに加え、筑波大学が参加していたという点

が注目される。当時宇宙開発事業団筑波宇宙センターと筑波大学が、近隣の研究機関として共同での研究を行っており、その中で、月探査のデザインを中心とした学生を交えた共同プロジェクトを行っていた。月探査情報ステーションはそのプロジェクトのプラットフォームとしても機能することとなった。これは現在もサイト内に残る「仮想月開発プロジェクト」[7]というページに記録されている。

サイト設立当時は、『インターネットシンポジウム「ふたたび月へ」』という名称となっており、その名称からもうかがえる通り、時限コンテンツとしてスタートした。1998年、1999年はともに時限コンテンツ(11月～翌3月)として運用されたが、その途中の期間もサイトは閉じることなく、そのまま閲覧できる状態で運用を続けていた。

2年間の運用を通してコンテンツ蓄積が進み、定常的に運用できるレベルに高まったことから、2000年11月よりサイト名称を現在の「月探査情報ステーション」に変更して定常化、これと同時に同月より3回目の「インターネットシンポジウム」の運用を実施した(なお、この時限シンポジウムはこれが最後となる)。

2001年度以降月探査情報ステーションは定常運用

となるが、コンテンツへの予算措置等がないままの運営が続けられていく。

## 2.2 アポロ月着陸疑惑

2002年、テレビ番組をきっかけにして、「アポロ計画で宇宙飛行士が月には降り立っていない」という疑惑(以後、「アポロ疑惑」と称する)が急速に社会に広まっていった。

月探査の情報を発信している本サイトや編集長(寺菌)個人にも問い合わせが相次いだ。このような状況を受け、また、アポロを否定することはその成果を基盤としている現代の月探査(当時進行中だった「かぐや」も含む)を否定することになるという観点から、急遽本サイト内でのアポロ疑惑解説・反駁サイトの構築を実施することとした。

急を要することから、コンテンツは一から構築するのではなく、すでにアメリカで評価が高かった反駁サイトであるBad Astronomy[8]の翻訳とし、そこに月探査情報ステーションスタッフが可能な限り情報を追加する形態とした。

こうして完成した「月の雑学第3話 人類は月に行っていない!」は、テレビ番組放送からわずか1ヶ月程度で公開を行うことができた。特に宣伝等を行わなかったにもかかわらず、公開直後から多くのアクセスを集めることとなり、アポロ疑惑に対する反論サイトとしての地位を固めていくことになる。ただ、一方では、当時の月探査情報ステーションがnasdaドメインであったこともあり、NASDAが関与しているのではないかと疑う人がいたことも確かである(実際には編集長である寺菌が主導し、スタッフと共に作り上げている)。そのため、NASDA広報室への問い合わせが入るなど、その後の運営にもつながるNASDA/JAXAとの関係の問題の端緒ともなった。

2002年11月7日には、Yahoo!ニュースにおいて「NASAがアポロ疑惑への反論本を準備か?」という記事が掲載され、その関連リンクとして月探査情報ステーションのページが掲載されたことから大量のアクセスを集め、この日だけで135万1453ヒットという、当時として最高のアクセスを記録した。

## 2.3 惑星への飛躍

2003年の天文界の話題は火星の大接近であった。

この年の接近は5万年ぶりの近さとも報道され、この数字が一人歩きして、最接近日には、科学館や公開天文台などが開催した観望会に、この日でなければ見えないと思いをした人々が押し寄せ、真夜中まで行列ができるほどの騒ぎとなった。

また、この接近の時期は火星探査の好機でもあり、実際、NASAのマーズ・エクスプロレーション・ローバー(スピリットとオポチュニティの2台の火星ローバー)の打ち上げが2003年6月に実施された。

前述の通り、もともと、月探査情報ステーションはNASDAホームページの「月・惑星へ」というコンテンツをベースとしており、そこには火星探査についての記事も含まれていた。1998年当時の月探査情報ステーションへのコンテンツ移設の際には、月探査をメインとしていたことからこの内容を含むことができなかった。そこで、これを再利用した上で大幅に拡充し、社会的に関心が強い火星と火星探査についてのコーナーを作ることを計画した。

こうして、2003年の7月1日、月探査情報ステーションとして、惑星探査についてはじめてのコーナー「火星・赤い星へ」[9]の公開が開始された。

折からの火星への強い関心、そして進行中の火星探査への強い関心などもあり、コーナーは順調なアクセスを集めることとなった。2004年1月4日、スピリットの着陸当日には、このコーナーで着陸の様様をほぼ即時実況したことも手伝い、104万5957ヒットものアクセスを集めるに至った。

## 2.4 JAXAからの独立、そして新しい展開

月探査情報ステーションはその後も、サーバーはJAXA内に置かれていたものの、コンテンツ更新の予算がない状態での運営を続けていたが、少人数でのボランティアスタッフでの運営は非常に厳しいものがあり、次第に運営の限界が露呈していった。それは更新の遅延という形で表面化し、2006年9月~12月には3ヶ月にわたって更新が停止するという状況にまで陥った。

2007年2月にはサーバーを宇宙科学研究所に移し、より自由度のある運営をめざしたが、そもそもボランティアベースでの運営には大きな限界があった。

nasdaドメインからjaxaドメインに引き継いで運営を続けたが、実際にはJAXAの広報活動からも切り

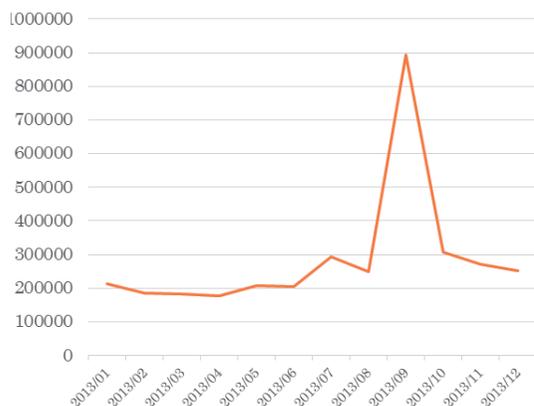


図2：2013年の月ごとのアクセス状況。単位はページビュー (PV)。

離された内容となっており、ドメイン名と運営実態がかけ離れているという点が次第に問題となってきた。例えば、月探査情報ステーションのサイト内容に関する問い合わせがJAXA広報部に来てても直接広報部では答えられないという問題が発生した。

このようなサイト運営の実態とドメイン名などのねじれ、JAXAドメイン下にあることからのさまざまな制約(広告導入やスポンサー制などが導入できない)と

いう点を改めることとし、2011年5月にドメイン名を現在のもの(moonstation.jp)に変更した。さらに、2011年11月からはスポンサー制を導入、2013年2月からは広告導入を開始し、これらにより少額ではあるがサイト運営のための資金を得られる状況となっている。

さらに、近年インターネットの世界で進むソーシャル化への対応も開始した。2013年2月にはFacebookページを開設、2014年1月には独自Twitterアカウントの運用を開始、4月にはYouTubeへのチャンネル設置を実施した。

開設から間もなく16年となるが、インターネットの世界の進化に対応する形で、月探査情報ステーションは着実な進化を続けている。

## 3. サイトアクセスの状況

### 3.1 サイトのアクセス

月探査情報ステーションのアクセスは、季節により大きく変動する点が特徴的である。



図3：マンガルヤーン到着を伝えるYahoo!ニュースの記事(2014年9月24日掲載)。スクリーンショットは9月27日に取得[11]。記事下に月探査情報ステーションへのリンクがある。この記事は9月24日にYahoo!のトップから直接リンクされていた。

図2は、2013年の月ごとのアクセス状況である。9月に極端なピークが発生しているが、これは中秋の名月に関連したアクセス増大によるものである。

また、全体的な傾向として、7~10月にかけてのアクセスが非常に多いことがわかる。このアクセス増加は、上記に加え、夏休み時期であること(宿題や自由研究の回答やテーマ探し)、栗名月などお月見関連のイベントが続くことなどが大きく影響していると考えられる。

月別の平均的なアクセス状況としては、1日あたりのページビュー(PV)として、閑散期にあたる1~5月が6000PV台、7~8・10~12月は8000~9000PV台となっている。1ヶ月のPVは、1~5月が6万~7万PV、7~8・10~12月は7万~8万PVである。しかし9月だけは突出した値となり、2013年実績では月間89万PVという、人気ブログサイト並みのアクセスを記録している。

曜日別のアクセス状況としては、平日にアクセスが多く、休日は平日にくらべてアクセスが減少するという傾向がある。おおむね、休日は平日の半分から7割程度のアクセスにとどまっている。この理由としては、職場や学校などからパソコン(PC)でアクセスしている人が多いためと推測される。また興味深いことに、ここ2~3年、満月の日になるとアクセスがふだんの2~3倍にまで増大することが多くなってきている。これは、月探査情報ステーションの人気コンテンツである「今日の月」[10]において、画像や満月の日に起きた過去のできごとなどを閲覧した人が増大していることが影響しているのではないかと推測される。

時間帯別のアクセスでは、平均して11時台と14時台にアクセス増大が認められる。この理由としては、授業や放課後における学校からのアクセスが影響しているのではないかと考えられる。しかし、現在はログにおいてアクセス元を取得していないため、この原因を突き止められていない。

また、突出したアクセスは、日本最大級のポータルサイトYahoo! JAPAN(以下「Yahoo!」)に掲載されるニュース記事にも影響される。Yahoo!は「Yahoo!ニュース」において、重要と思われる記事をピックアップしてそのトップページやカテゴリーごとのトップページで紹介する。その際には記事に関連した(参考になる)サイトへのリンクが付記される。

特に月・惑星探査に関する記事(火星探査機の到着や月探査の成果など)が記事になった場合には、月探査情報ステーションの関連ページが該当リンクとして紹介されることが多く、その場合、突発的にアクセスが跳ね上がることもある。

最近の例では、2014年9月24日に火星周回軌道への投入に成功したインドのMars Orbiter Mission探査機がある。この探査機は愛称が「マンガルヤーン」であるが、このキーワードで検索すると月探査情報ステーションは2番目となる。

この9月24日は、Yahoo!トップからのリンクも相まって、12674PVのアクセスを集めた。その中でマンガルヤーンのページへのアクセスは把握できている限りで1953PVとなり、全体の15.4%を占めている。特にマンガルヤーンのトップページだけで1700PVとなっている。

ただこの2~3年はこのような極端なアクセス上昇は少なくなり、Yahoo!ニュースのトップに記事が掲載された場合でも、アクセス量はふだんの3倍程度に収まっている。近年の突出したアクセスの減少の理由は不明であるが、推測される要因として、スマートフォンからアクセスする人が増えたことで、Yahoo!をウェブブラウザのトップページとして(記事を見るとアクセスする)人が減ったことが考えられる。

Yahoo!はトップページのPV数が月間58.3億[12]にも達し、1日あたりに直せば約2億PVという膨大なアクセスを集める。ここからの直接リンクはサイトへのユーザー流入に絶大な効果があるからだ。

### 3.2 中秋の名月におけるアクセス集中

2013年の中秋の名月(9月18日)には、234万9670ヒット/28万7823PVものアクセスがあった。また、今年(2014年)の中秋の名月(9月8日)には、204万2938ヒット/16万9879PVのアクセスを記録した。

この原因は、Googleからの大量のアクセスにある。中秋の名月の日になるとGoogleのトップページの画像(Doodle)が「中秋の名月」バージョンに変わり、それをクリックすると「中秋の名月」の検索結果になる。月探査情報ステーションのQ&Aページ[13]がこの検索結果の2つめにランクインしているため、Googleをトップページに設定しているユーザーが大量にアクセスすることになる。もちろん、「中秋の名月」という

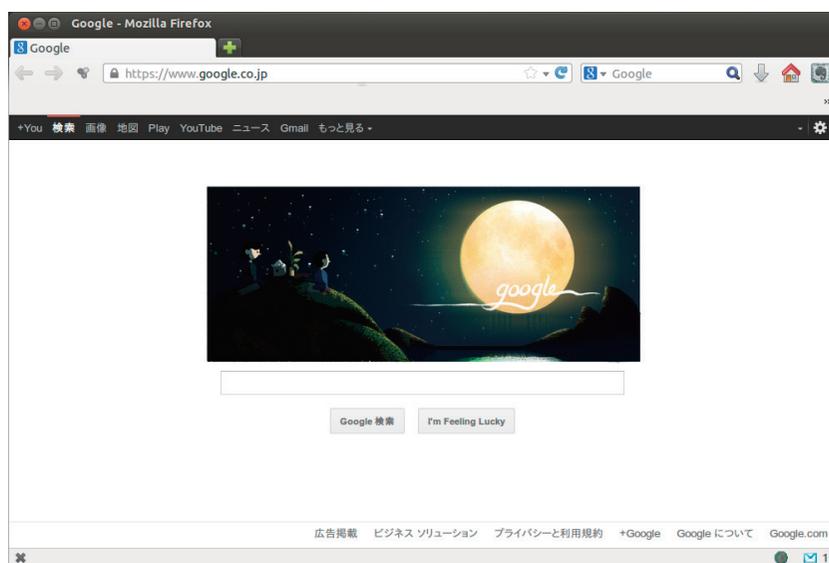


図4：2013年の中秋の名月の日のGoogleトップ画像(Doodle)。この画像をクリックすることによって、「中秋の名月」という言葉の検索結果にジャンプする。

検索キーワードで検索してきたユーザーも、月探査情報ステーションへ大量に流れ込んでくる。

図5には、2013年9月の日別アクセス状況(PV単位)を示す。2013年の中秋の名月は9月19日であったが、この日には突出したアクセスがあった。9月19日のアクセス数は287832PVに達し、通常(5000～6000PV)の50～60倍という、極端なアクセスが発生する。

また、関連キーワードによる検索などが増えることによって、その前後の日のアクセスもふだんにくらべて上昇している。

中秋の名月に向けたアクセス増は9月に入ると顕在化し、ふだんの2倍程度のアクセスがある日が続くが、その直前2～3日になるとそのアクセス数が数倍レベルにまで増大、そして当日を迎えると数十倍にも達するという構図になっている。

なお、このような極端なアクセスが発生する現象について、2013年は認識ができておらずにサーバーの対処が遅れ、アクセスの遅延やサーバーダウンを引き起こしたが、2014年は事前にサーバーのリソース増強を行うことにより、サーバーダウンを回避することに成功した。

しかし、今年は昨年より若干のアクセス減少という結果に終わった。この理由としては、東京周辺(人口が多く、アクセス元として期待される地域)が雨であ

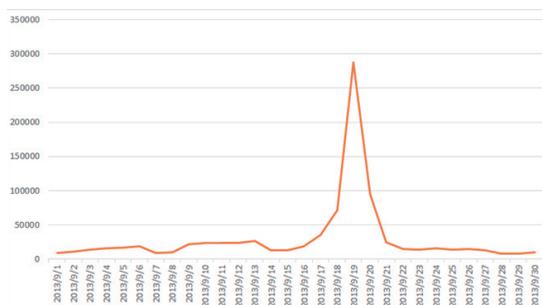


図5：2013年9月のアクセス推移(単位：PV)。中秋の名月は9月19日で、この日にスパイク状の突出したアクセスが起きていることがわかる。また、9月に入ってからのアクセス傾向をみると、中秋の名月に向けてしばらくはゆっくりとした増大傾向にあるが(落ち込みは休日のアクセス減)、急激なアクセス増は中秋の名月の2～3日前から始まることがわかる。

ったこと、9月8日という異例の早さでの中秋の名月であったために話題が盛り上がる時間がなかったことなどが影響していると考えられる。

### 3.3 人気コンテンツからみえる需要

月探査情報ステーションのアクセス状況から、人気があるページは以下のような場所であることがわかってきている。

#### ○今日の月

満月の日及びその前後には、最もアクセスを集めるページとなるが、ふだんでも比較的アクセスを集めて

いる。また、公開されている月の写真だけにアクセスしているページもあり、自分のウェブサイトでその写真を利用していることが推測される。

#### ○Q&A

中秋の名月の際にアクセスを集めるQ&Aであるが、このQ&A以外にも、Q&A全体へのアクセス量は多い。

現時点で月探査情報ステーションのQ&Aページには、月に関連した160問のQ&Aが用意されており、月の見え方から科学的な視点、さらには歴史的な問題なども含め多数のジャンルにわたるQ&Aが網羅されている。また、近年のQ&A改良により、Q&A相互間のリンクが豊富となり、Q&A間を渡り歩くことによって多数のページを閲覧できるようになった。結果としてこれがPVの増大につながっているようである。

#### ○火星探査関連

火星探査のニュースが新聞やテレビなどに出るたびに、それを解説した月探査情報ステーションのページへのアクセスが増大する。特にそのキーワードでの検索で月探査情報ステーションのページが上位に来る場合には顕著となる。

#### ○アポロ疑惑ページ

LROなどでアポロ着陸点の写真が公開されたこともあって、最近ではアポロ疑惑がメディアで取り上げられる機会は減少しているように思われるが、このコーナーは現在でも人気である。インターネットの世界ではまだまだアポロが月に行っていないと主張するページなどが多いようで、最近はそのSNSへ移行し、外から見えにくくなっていると推測される。

アポロ疑惑ページは全体で30ページほどもあるかなりボリュームのあるページで、じっくりと閲覧していく人が多い傾向が見受けられる。その中でも、旗がはためく「疑惑」や、バン・アレン帯と関連した内容のアクセスが多く、アポロ疑惑の中でもどの疑問に関心を持つ人が多いかを推測する一助となっている。

#### ○ブログ

2007年2月から開始したブログは、よりいっそうの速報性を確保することを狙ったものである。ブログページはHTML規格が新しいこともあって検索エンジンで上位にランクされやすい傾向がある。また、適宜更新されていることでアクティブなウェブサイトとしてみられるようである。そのため、定期的にアクセスがあるほか、話題になる記事(「はやぶさ」に関連した

映像などの公開)などがあると1記事で数百PVレベルでのアクセスに至ることがある。また、すでに記事エントリが公開分だけで600を越えているため、全体的なボリュームが多いこともアクセスが多い要因と推測される。

以上、アクセスが多いページの傾向をみると、

- 月の見え方や暦に関するもの
- 探査機に関する情報(特に話題となっている探査機のもの)
- 最新の情報を提供しているものに需要があることがわかる。

月探査情報ステーションとしても、このようなアクセス傾向は把握しており、話題になりそうな内容については早めに準備するなど(それにより検索エンジンに早めにインデックス化されるようにする)、アクセス増大に向けた努力を行っている。とりわけ最近では広告を導入するページを増やしていることもあり、PV増大はサイト運営に欠かせない収入をもたらすという側面があることもあり、今後はアクセス動向をより詳細に分析し、ユーザーのターゲティングを実施することで強化すべきコンテンツを事前に把握するようにしていきたい。

## 4. 課題

月探査情報ステーションは間もなく開始から16年目を迎えようとしている。この間、たゆまぬ運営と記事の追加、維持によって、名実とも日本の月・惑星探査、さらには宇宙科学・宇宙開発を牽引するサイトとなってきているが、よりいっそうの飛躍を行うためには、以下のような問題を解決していくことが必要である。

#### ○運営リソースの不足

運営スタッフが限られ、記事執筆からサーバー運営までが寺薮1名でほとんどまかなわれているという状況は、サイト運営に多大な影響を及ぼしている。記事の更新の遅延やサーバー不具合の把握の遅れなどはその典型的な例である。

1人での記事執筆は、文体や語調の統一感の維持では役立ってはいるが、絶対的な情報ボリュームが多い本サイトでは、その維持や発展はもはや1人では難しい。分業体制をとり、必要な作業を委託することでサ

イトの定常的な更新が行えるようにしていくことが必要である。そのためにはより一層の予算やボランティアスタッフの確保が絶対的に求められる。

### ○英語版の増強

月探査情報ステーションには英語版も存在する[14]。そもそも、URLデザインに際しては、将来的な多言語化を想定しており、英語版開設時の構想では、閲覧者が日本人よりもはるかに多くなるであろう、英語ユーザーに向けての情報発信も重要と考えていた。しかし、上記の通りリソースの圧倒的な不足で、英語での情報発信はほとんど行われていない状況にある。

2.にて述べた月探査情報ステーションの3つのポリシーは、英語での情報発信においても重要性は変わらないと考えられる。リソースが確保できれば、特に日本の月・惑星探査計画について、正しく豊富な情報を英語で発信することを行っていければと考えている。これはまた、PV増大からくる広告収入増大にもつながるであろう。

### ○スマートフォンなど携帯機器への対応

アクセスログ解析状況から、特にここ1～2年ではスマートフォンからのアクセスが増大していることがわかってきている。今年の中秋の名月の日のアクセスでは、携帯電話3社(ドコモ・au・ソフトバンク)のスマートフォンのネットワークからのアクセスが、ヒット数全体の34.6%を占めており、実に3分の1以上のアクセスがもはやスマートフォンからのものとなっていることがわかる。

しかし、サイトのスマートフォン対応は非常に遅れた状態となっている。特にトップページのナビゲーションが未だにFlashベースとなっており、iPhoneはもちろんのこと、Android系でもここ最近のスマートフォンでは対応できない状態となっている。また、このページも古いHTML規格で作成されていることから、スマートフォンでの閲覧の際、文字が極端に小さくなるなどの問題が生じている。このため、特にトップページについてはスマートフォンなどの携帯機器からのアクセスの際にもPCと同様の統一感あるナビゲーションが行えるものへと更新する必要がある。

### ○ページを支えるシステム基盤の不足

3300以上のページを有している月探査情報ステーションは、情報更新に際しても問題を抱えている。これだけのページを有しているにもかかわらず、本サイ

トには、現代の中・大規模ウェブサイトでは必ずといっていいほど有しているコンテンツ管理システム(CMS)が存在していない。これは、長年寺菌が1人で運用してきたこともあって、そのようなしくみを必要としていなかったということも関係している。しかしこれだけ膨大なコンテンツを1人で管理するのは事実上不可能であり、今後複数人でコンテンツを編集していくのであれば、CMSの導入は必須である。また、1人での更新であったとしても、直接HTMLファイルを編集する方法に比べれば、CMSでの更新の方がはるかに迅速である。

現に、月探査情報ステーションでは以前はRSSも更新していたが、現在では手が回らずこの更新が止まっている。CMSをはじめ、情報を迅速に更新、維持するためのシステム基盤の導入や確立が早急に必要である。

これらの課題の解決には、予算を確保した上でのシステム購入や人員雇用などが必要となってくるが、寄付やスポンサーなどはなかなか集まらないのが現状である。広告収入は次第に増大しているが、アクセスが多い9月でも月10万円程度、一般的な月では月6000円程度にとどまっており、定常的なスタッフの雇用に資するにはまだまだ足りない。

また、複数人での運営については、すでに一部コンテンツ作成などの外注を実施し始めており、これが軌道に乗っていけば運営体制構築にも結びつくと期待している。ただ、トップページの更新やシステム構築などは費用や人員を要する内容であり、急を要するものであるにもかかわらずこれらが不足することで実施できていないという点が大きな課題となっている。今後はスタッフ間だけでなく、外部のウェブサイト運営経験者などの意見も参考に、この解決策を探っていくことを考えたい。

## 5. まとめ

数多くの課題を内包しつつも、月探査情報ステーションは日本と世界の月・惑星探査情報を発信するサイトとして認知されるようになってきた。とりわけ、このサイトはメディア関係者や教員といった、情報伝達を行う人たちからの高い支持を得ている。情報源として本サイトが新聞やテレビ、教育の情報源になってい

るようで、このような傾向は今後の発展に向けて大いに期待が持てるものである。

また、月探査情報ステーションではこれまでのサイト運営によって培われた膨大なノウハウが存在している。例えばサイトにおける探査機名の表記方法やカタカナ表現の方法の統一は、一見細かいことにみえるかも知れないが、ユーザーの違和感を最小限にとどめたり、ウェブ検索ロボットでの検索で優位に立つことにつながるものである。こういったノウハウは宇宙関係の他のウェブサイトはもちろん、文献やパンフレットといった他のアウトリーチ手法でも活用が十分に可能である。今後はこれまで培ってきたこのようなノウハウを明文化し、月・惑星探査だけではなく、宇宙科学全体の情報発信に役立つ手法として広めていくことを考えたい。

月探査情報ステーションがこれだけ広範な支持を得るに至った大きな理由として考えられるのは、その情報発信の基本的な姿勢にある。

一般的に、探査の情報は伝えたい側が伝えたい情報だけを一方的に流す形になっている。しかし月探査情報ステーションでは、運営者が伝えたいことではなく、ユーザーが伝えて欲しいことの把握に努め、積極的に掲載してきたことが、社会からの強い支持につながっていると考えられる。

典型的な例は、中秋の名月のQ&Aページである。そもそもこのようなページが必要であるかどうか、筆者(寺蘭)を含めて半信半疑であったが、問い合わせがそれなりにあることからページを作成したところ、多くのアクセスがあり、やがては検索エンジンで第2位になることになった。このような、一般的な人が求めている情報を入口として、そこから月・惑星探査の本来の情報へどのように導いていくかは現時点でも大きな課題であり、これが実現できれば、多くの人たちへの情報提供という、アウトリーチの最も基本的な目標を達成できることになる。

今後も、サイトに求められている社会的な役割と、これまでの運営で維持してきたサイト自身の立場を維持しつつ、将来の探査計画を含めたコンテンツの増強、運営手法の近代化、ノウハウの明文化を通じた宇宙開発・宇宙科学アウトリーチへの貢献などを目指し、日本、そして世界の月・惑星探査を牽引するウェブサイ

トとしての役割を引き続き担っていきたいと考えている。

## 謝辞

月探査情報ステーションは、多くの方のご寄付により支えられてきました。また、スポンサーとして渡辺教具製作所様、株式会社ウイル様が支えてくださっています。これら、月探査情報ステーションを財政面、技術面で支えてくださるすべての方に感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 月探査情報ステーション, <http://moonstation.jp>
- [2] 横山隆明ほか, 2002, 第46回宇宙科学技術連合講演会, 通信総合研究所.
- [3] 寺蘭淳也, 2008, 第52回宇宙科学技術連合講演会, 兵庫県立淡路夢舞台国際会議場.
- [4] Terazono, T. et al., 2009, Proc. The 40th LPSC.
- [5] 寺蘭淳也, 2010, 第54回宇宙科学技術連合講演会, 静岡県コンベンションアーツセンター「グランシップ」.
- [6] Terazono, J. et al., 2011, 28th ISTS.
- [7] 仮想月開発プロジェクト, <http://moonstation.jp/ja/vld/>
- [8] Fox TV and the Apollo Moon Hoax, <http://www.badastronomy.com/bad/tv/foxapollo.html>
- [9] 火星・赤い星へ, <http://moonstation.jp/ja/mars/>
- [10] 今日の月, <http://moonstation.jp/ja/today/>
- [11] Yahoo! ニュース, <http://news.yahoo.co.jp/pickup/6132337>
- [12] Yahoo! JAPAN 媒体資料 (Yahoo! JAPAN), <http://marketing.yahoo.co.jp/download/>
- [13] 中秋の名月の日はいつですか(Q&A), <http://moonstation.jp/ja/qanda/F211>
- [14] The Moon Station, <http://moonstation.jp/en/>

## 特集「広報・アウトリーチ」

# 月周回衛星「かぐや」の広報・普及啓発活動

祖父江 真一<sup>1</sup>，奥村 隼人<sup>2</sup>，滝澤 悦貞<sup>3</sup>，佐々木 進<sup>3</sup>，加藤 學<sup>3</sup>，  
阪本 成一<sup>4</sup>，山本 彩<sup>1</sup>，藤田 岳人<sup>1</sup>

(要旨) 2007年9月14日に宇宙航空研究開発機構(JAXA)が打ち上げ、2009年6月11日に月面に制御落下した日本の月周回衛星「かぐや(SELENE)」は、冷戦時の米・ソのアポロ・ルナ両計画以降初となる本格的な月探査ミッションであった。搭載された最先端の科学観測機器を通じて月に関する科学を総合的に推進するだけでなく、月という身近な天体の探査を通じて国民への宇宙科学・宇宙開発の普及啓発を進めた。

本稿では、「かぐや」の打ち上げ準備段階から制御落下までに実施した広報・普及啓発活動やデータの教育利用にむけた取り組みとその成果を紹介する。

## 1. はじめに

2007年9月14日に宇宙航空研究開発機構(JAXA)が打ち上げ、2009年6月11日に月面に制御落下した日本の月周回衛星「かぐや(SELENE)」は、冷戦時の米・ソのアポロ・ルナ両計画以降初となる本格的な月探査ミッションであった。搭載された最先端の科学観測機器を通じて月に関する科学を総合的に推進するだけでなく、月という身近な天体の探査を通じて国民への宇宙科学・宇宙開発の普及啓発を進めた。

本稿では、「かぐや」の打ち上げ準備段階から制御落下までに実施した広報・普及啓発活動やデータの教育利用にむけた取り組みとその成果を紹介する。

ターネットを利用した直接の情報発信、教育普及用媒体の作成・配布、一般向け講演会等の実施など、広報・普及啓発活動にも高い優先度を割り当て、着実に実施した。第二に、広報・普及啓発活動に関するいくつかの新たな試みも行った。教育普及用観測機器の搭載や、科学データの教育普及目的での早期公開、企業との連携などである。以下では、それぞれの項目について順次取り組みを紹介する。

## 2. 広報・普及啓発活動

### 2.1 「かぐや」の広報・普及啓発活動の概要

「かぐや」における広報・普及啓発活動は、大きく以下の二つに大別される。まず第一に、一般的な広報・普及啓発活動の精力的な推進である。報道対応、イン

1. リモート・センシング技術センター

2. 滋賀医科大学

3. 宇宙航空研究開発機構

4. 自然科学研究機構 国立天文台

Sobue\_shinichi@restec.or.jp



図1: 「かぐや」の広報・普及啓発活動。

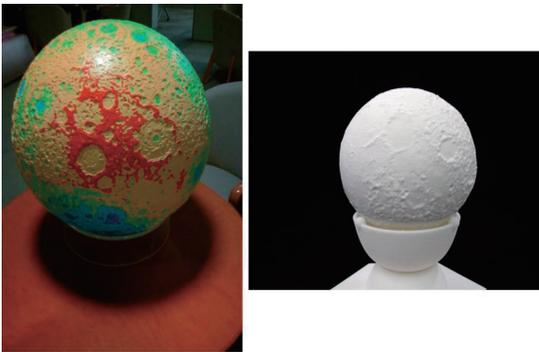


図2：LALTデータを用いた凹凸月球儀。

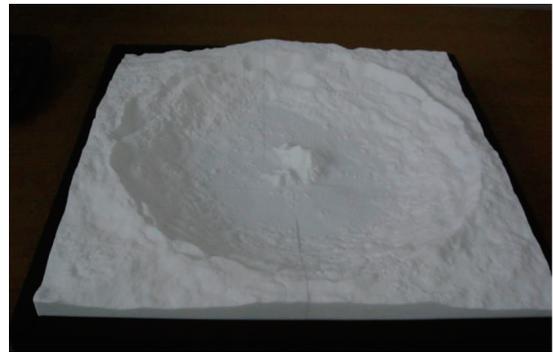


図3：TCデータを用いたティコクレータ。

## 2.2 報道対応

プレスリリース、取材対応などを行い、マスメディアを通じて広範囲への情報発信を実施した。新聞、雑誌、TVなどのマスメディアでとりあげられた回数は、プロジェクト実施中だけでも100回を超えた。

打ち上げ前から制御落下まで各種のイベントも行った。愛称募集で知名度の向上を図るとともに、「月に願いを」キャンペーンで国民のミッションへの参加を可能にした。JAXAの広報部が実施している平成18年度の宇宙関連での国民の関心事に関する調査でも、土井宇宙飛行士の飛行を除けば、「かぐや」の愛称決定、「かぐや」の打ち上げ、「かぐや」が月に向かう途中で11万kmかなたから撮影した遠ざかる地球の映像、「かぐや」が月周回軌道からとらえたいわゆる「地球の出」などが高い関心を得たという結果になっており、これらは一定の効果を挙げたと言ってよいだろう。

TVの特別番組も4回ほど編成され、科学番組としては高い視聴率を得ており、「かぐや」および月に対する国民の関心の高さがうかがえる。

## 2.3 媒体の配布

国内外の科学館や教育現場の要請に応じるために、「かぐや」の衛星概要、ミッション紹介、打ち上げ・運用状況、観測データの画像・映像の解説などをする教育普及用のコンテンツを制作してDVDやブルーレイディスクなどの媒体として用意し、配布を行い、科学館などで利用してもらった。打ち上げからの運用室のドキュメンタリービデオ“遙かなる月へ 月周回衛星「かぐや」の軌跡”とその続編で制御落下までをとられたと“遙かなる月へ 月周回衛星「かぐや」の軌跡

2009”，およびハイビジョンカメラ(HDTV)などに解説をつけて紹介した“かぐやが見た月の姿”は、国内外の科学館、教育現場などにそれぞれ約1000枚と約2000枚配布し、利用してもらった。加えて、教育用素材集を作成し、DVD化して提供している。

あわせて、広報用のパンフレット、ポスター、グッズなどを作成し、シンポジウム、イベントなどの機会に配布した。

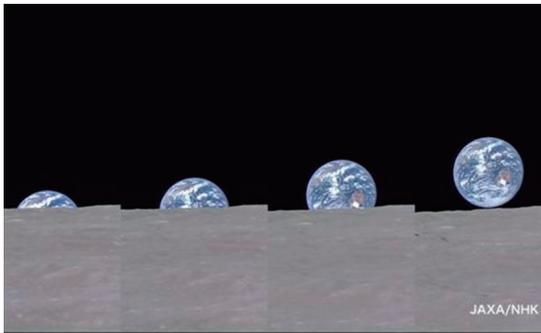
## 2.4 インターネットを活用した情報発信

報道や科学記事、科学番組などで取り上げられたり、媒体で配布したりすることのできる情報は、内容や配布先などの面で制約を受ける。そこで、多種多様なニーズに応えるために、映像素材や最新の科学的成果などを中心に、インターネットを利用した直接の情報発信を「かぐや」運用期間から継続して行っている。

## 2.5 一般講演会等の実施

教育普及の現場からは、研究者の生の声を聞きたいという要望も多数寄せられる。そこで、インターネットによる情報発信以外にも、学校や科学館などの依頼に応じ、プロジェクト関係者の一般講演を行っている。講演実績は「かぐや」の運用中では、年間100件を超え、3日に一度はJAXAの「かぐや」関係者が日本のどこかで講演をしている数になっていた。

また、実際の一般講演においては、できるだけリアル感を体験してもらうため、SELENEの1/30模型とレーザ高度計(LALT)のデータを用いて作成した凹凸月球儀や地形カメラ(TC)のデータを用いたティコクレータのジオラマを持参した(図2, 3)。

図4：HDTVによる満地球の出(<http://jda.jaxa.jp>)。

## 2.6 広報・普及啓発用機器の搭載

従来の科学衛星や探査機にない特徴として、「かぐや」には広報・普及啓発用機器を搭載されているということがある。「かぐや」には日本放送協会(NHK)と共同で開発されたHDTVが搭載されており、あたかも月旅行に出かけたかのような迫力のある画像を取得した。

得られた画像は、NHK等の放送各社を通じて科学番組だけでなく一般の番組などにも広く活用されており、さらに、JAXA デジタルアーカイブ(<http://jda.jaxa.jp>)にもこれまでに取得されたすべてのHDTV映像を150映像(連続静止画を含む)登録し、オンデマンドでの一般利用に供した。図4は、HDTVによる満地球の出の連続ショットである。

## 2.7 科学データの教育普及目的でのデータ情報公開

科学衛星や探査機で取得された科学データは、機器開発を行った研究者に一定期間のあいだ優先的に供され、学術的な成果が得られるのと同時に成果発表の形で公開されることが多い。しかしながら「かぐや」プロジェクトでは、地形カメラ(TC)やレーザ高度計(LALT)などの科学観測ミッションのデータも、観測機器チームの理解と協力の下に、教育普及目的で有用となる科学データの早期公開を実現し、広報・普及啓発活動に活用された。特に利用価値の高いのは画像データであるため、一般の人たちの関心の場所の画像を選定し、観測機器チームによる平易な用語での解説を加えたのちに、広報・普及啓発用画像として「かぐや」画像ギャラリー(<http://wms.selene.darts.isas.jaxa.jp/>)に登録し、公開・提供した。画像ギャラリーには平成24年の更新終了までに199件の記事(画像は200



図5：画像ギャラリーの画面イメージ。

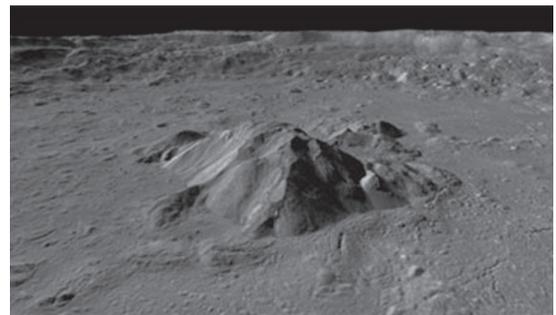


図6：地形カメラによるティコクレータ中央丘付近。

以上)が登録されており、利用実績を解析すると、HDTVによる「地球の出」の動画や地形カメラによるアポロ着陸地点画像など、一般の人たちに関心の高く、わかりやすいコンテンツが登録されたときに、大幅に利用数が伸びていたことが確認された。また、TVの特別番組が組まれた場合や科学雑誌で特集が組まれた場合にも同じような傾向が見られた。

また、かぐやの取得した月全球の詳細画像及び地形データ、元素分布データ、重力分布データ等を臨場感溢れる三次元表示で自由に閲覧できるアプリケーションとして、「かぐや3Dムーンナビ」が公開されている。同アプリケーションはウェブ上から自由にダウンロードして利用することができ、Web Map Server (WMS)形式で整備されたデータをインターネットを通じて取得することでユーザの環境に表示することができる仕組みとなっている。

公開後から子どもや教師の方々にも好評の「かぐや3Dムーンナビ」であるが、より教育向けにフィットするように現在改修中であり、教育現場への普及が始まりつつあるタブレット端末等への対応も近いうちに実

現する予定である。

## 2.9 企業との連携

広報・普及啓発をより効果的に行うために、企業等との連携も強めた。打ち上げ前からJAXA産学官連携部が中心となって実施してきた『「かぐや」応援キャンペーン』では、「我が国が本格的に月の探査を目指し、日本国民に夢・希望・勇気をもってもらう」というテーマに賛同して応募したキャンペーン参加企業は、「〇〇社は、『かぐや(SELENE)』を応援します!』という文言や「SELENEロゴ」等を自社の商品等へ掲出したり、「かぐや」応援イベントを実施することなどにより、「かぐや」の広報・普及啓発活動に協力する。企業にとっても、一定の要件を満たせば「かぐや」の資料や観測データなどを従来よりも使いやすく利用でき有用なため、これまでに60以上の企業が応援キャンペーンの趣旨に賛同した。特に、「かぐや」の開発・運用などに携わった企業では、自社のイベントやCMなど



図7: かぐや3Dムーンナビの画面イメージ。



図8: 「かぐや」が撮影した「満地球」画像の代表的な使用例。左が洞爺湖サミット、右がチームマイナス6%。

で「かぐや」の情報を積極的に活用してきた。これによって、従来よりも多く、JAXA主体でなく関係企業を通じた形で「かぐや」の情報をより広く発信することができた。

加えて、「かぐや」の地形カメラ、HDTVなどから得られた月と地球の素晴らしい画像を写真集にしたものを2009年の「かぐや」の運用終了後に出版社と協力し、発刊した。また、プラネタリウムでの上映にむけた3D MOONという全天周CGを駆使した、迫力の3Dアニメーション作品を民間映像業者と協力して作成し、2009年にプラネタリウムでの上映を行った。なお、実写場面については、国立天文台および月周回衛星「かぐや」開発現場にて撮影した。

## 2.10 ソフトパワーとしての科学の利用

「かぐや」は、日本人にとって特別な存在である月を自分が月にいったかのように体感できる機会を与えた。これによって、国民、特に青少年の科学への関心を高めることに役立ったと考えている。あわせて、満地球の出などのHDTV映像を通じて、かけがえのない地球のことも広く体感させてくれている。洞爺湖サミットにおけるハイビジョン映像の上映ならびに参加首脳が満地球のパネルにサインをしたことや、チームマイナス6%に代表されるような地球環境保全活動への取り組みの紹介にも、「かぐや」がとらえた灰色の月面と青い地球の対比が多く使われた。いってみれば、地球環境保全のためのシンボリックに「かぐや」のデータが利用されたといえる。これらのことは、科学が人間社会に対して明確なメッセージを発しうるものであり、外交のソフトパワーとしても有効に機能しうることを示しているのではないだろうか。

## 3. 国際協力

「かぐや」の打ち上げ以降、中国、インドそしてアメリカが次々と月を周回する衛星を打ち上げつつあり、月は第2の探査、研究ラッシュを迎えている。この中で、「かぐや」は科学的な成果を競うというところはあるものの、それとともに、いかに国際的にデータの共有化、アーカイブの共有化をはかっていけるか、そして将来の国際協力のよる有人月探査につなげていくかが重要となっている。

なお「かぐや」においては、追跡管制、月探査ミッション計画立案および研究に関する国際協力を、NASAのLRO/LCROSSプロジェクトとの間で実施した。また、インド宇宙研究機構(ISRO)との間においてもISRO地上局試験支援を実施した。

## 4. まとめ

「かぐや」は最先端の科学観測機器を搭載し、月の起源と進化の解明に寄与する世界に冠たるデータを提供しており、観測機器チームによるすばらしい成果、新たな知見を世界にむけて発信してくれていることは間違いない。また、その成果である地形、日照、資源情報などは、将来の月面有人活動においても大変重要なデータとなっていることも疑いがない。

また、「かぐや」の成果は、純然たる科学、工学利用にとどまらず、広報・普及啓発における宇宙科学、月への国民の関心と日本が最先端のミッションを実現できたことでの国民に夢と自信を与えることにもつながっている。これらは、講演会での質疑やメールなどを通じて、関係者が身をもって感じているところである。

加えて、高度100 kmの月周回軌道に入り本格運用を開始するまでにHDTVでとらえた遠ざかる地球の姿や、モニターカメラによる月の写真などを公開することにより、国民の関心を得ることができた。その上で、「かぐや」がとらえた青く小さな地球は、地球がいかにすばらしく、はかないものかを印象づけるものとして広く利用されている。

広報用としてのハイビジョンカメラの搭載・活用ならびに、プロジェクトと観測機器チーム協力の下による観測機器による広報・普及啓発用の画像公開・提供活動により、「かぐや」は科学成果に加えて、広報・普及啓発活動でも大きな成果を挙げたミッションとなっている。

NASAはミッションの実施にあたり、納税者への還元のために、観測機器チームなどと協力して教育普及活動に少なくともプロジェクト資金の特定量の資金を投じることを表明している。今後のミッションにおいても、これを参考にしつつ、「はやぶさ」と「かぐや」という探査ミッションで国民の関心を高めてきた流れをつないでいくべきであると考え。

## 5. 謝辞

広報・普及啓蒙活動は、プロジェクト単独で実施できるものではなく、SELENEの各観測装置の主研究者(PI)、PIの所属する研究機関・大学、共同研究者(Co-I)も含めた「かぐや」研究者チームが一丸となり始めて実現できたものであった。この場を借りて、「かぐや」研究者チーム、SELENEプロジェクトおよびJAXA広報部、ISAS・月惑星探査プログラム広報、および「かぐや」の関係メーカなど「かぐや」に携わったすべてのみなさまに謝辞を述べさせていただきます。

## 参考文献

- [1] 祖父江真一ほか, 2008, 日本地球惑星科学連合2008年大会, P221-006.
- [2] 祖父江真一ほか, 2008, ISTS2008, 2008-K-25.
- [3] 祖父江真一ほか, 2008, 日本リモートセンシング学会誌28, 1, 44.
- [4] 祖父江真一ほか, 2008, 日本リモートセンシング学会誌28, 3.
- [5] 祖父江真一ほか, 2008, 電子情報通信学会通信方式研究会 第2種研究会.

## 特集「広報・アウトリーチ」

# 地方都市に"太陽系科学"旋風を巻き起こすまで

三島 和久<sup>1</sup>

(要旨) 2011年10月当科学館で開催した『特別展示「はやぶさ」帰還カプセル特別公開 in 倉敷』では、4日間で2万5千人を超える人々が殺到するという体験をした。地方科学館としてはかなりレアケースだったのではないと思う。しかし、単純に一発的なイベントとして大当たりしたという実感はなく、数年前から徐々に浸透させてきた地域への話題発信の効果があつてのことだと考えている。地方科学館での講演イベントや「はやぶさ」カプセル展の事例を窓として、どのように太陽系科学のアウトリーチ活動に貢献していきたいと考えているか、科学館学芸員の経験を踏まえてご紹介させていただきたい。

## 1. はじめに

ここ数年は「宇宙ブーム」と呼んでもいいかもしれない。とはいえ、科学施設に人が押し寄せているとかいう派手な実態はないのであるが、科学館という職場からの視点で世の中を見渡すと、宇宙に関心を持つ人が確実に増えているという実感がある。特に、子どもや高齢者だけでなく、大人の女性層にまで広がっていることは、これまではなかった現象だ。

ターニングポイントは2010年の小惑星探査機「はやぶさ」の地球帰還がもたらした、世界初となる小惑星からのサンプル採集の快挙であったことは間違いない。国際宇宙ステーションを舞台とした日本人宇宙飛行士たちの活躍、2012年以降は天文現象が賑やかで、25年ぶりとなる国内金環日食、次に観測できるのが105年後となる金星の太陽面通過、パンスターズ彗星、アイソン彗星など注目を集める彗星の相次ぐ到来、ここ数年は宇宙に関する話題に注目が集まるのが何と多かったことか。

私は、岡山県倉敷市にある倉敷科学センター<sup>注1</sup>という科学館施設の天文系学芸員として21年間、プラネタリウムの解説や科学教育の推進に携わってきた。岡山県南部、瀬戸内海に面した人口48万人の地方都

市の中規模の科学館。大都会の大規模な科学館と違いマンパワーもなく、広報力もなく、運営力も一歩も二歩も劣っている。そのような環境の中で科学イベントを推進していくには、また違った運営上の工夫や広報ノウハウが必要となる。

## 2. 講演会に人が来ないシビアな現実

かつて「うちは講演会に人が集まらなくて、講演会で会場をいっぱいにするのは至難の業。満席にできるとすれば、宇宙飛行士かノーベル賞受賞者か…」と嘆いた科学館の担当者がいた。私が科学館勤務をスタートさせた20年前は、地方科学館の講演会で賑わいをもたらすのは難しいという認識があり、当時は私も遠からず似たような印象を持っていた。

実際、イベントの参加者集めは50人までなら比較的容易であるが、本当に大変なのはそこから先という現実がある。つまり、少人数なら宇宙ファンなど毎度足を運んでくれる常連の参加で達成できるのだが、それ以上となると一般層の関心をいかに引き寄せられるかの勝負となる。科学に関心を持っていない人を振り向かせるには、かなりのエネルギーが必要だ。100名規模なら「広報をいつも以上に」と努力で突破できても、

1. 倉敷科学センター  
ksc@city.kurashiki.okayama.jp

注1: 倉敷科学センター  
<http://www2.city.kurashiki.okayama.jp/lifepark/ksc/>

表1：倉敷科学センターでの科学講演会の実績。2006年前後より講演テーマ選びの感覚に変化が見られる。

▼定期科学講演会	
1995.06	毛利衛の宇宙授業 宇宙開発事業団・宇宙飛行士 毛利衛
1996.02	星とともだちになろう 兵庫県立西はりま天文台長 黒田武彦
1997.02	今日から宇宙は近くなる 鹿児島大学教授 森本雅樹氏
1998.02	宇宙開発 これからの100年 宇宙科学研究所 鹿児島宇宙観測所長 的川泰宣氏
1998.09	星たちのおしゃべりをきこう 国立天文台岡山天体物理観測所長 前原英夫氏
1999.10	しし座流星群がやってくる 兵庫県立西はりま天文台長 黒田武彦
2000.10	守ろう地球 めざそう宇宙 宇宙開発事業団 菊山紀彦
2001.11	大出現か！？2001年のしし座流星群 国立天文台広報普及室 渡部潤一
2002.11	地球を守る天体観測・プロとして、アマチュアとして 日本スペースガード協会 浅見敦夫
2003.11	人類はなぜ宇宙をめざすかの 宇宙科学研究所 的川泰宣
2004.11	宇宙への挑戦 日本宇宙フォーラム 寺門邦次
2005.03	岡山でみつけた！太陽系外の惑星探し 神戸大学大学院COE研究員 佐藤文衛
2006.01	実験で探る宇宙の謎 厚木市子ども科学館 菅原賢
2006.03	小惑星イトカワに舞い降りた「はやぶさ」 神戸大学大学院COE研究員 阿部新助
2006.12	冥王星が惑星でなくなる！？～太陽系の新しい姿～ 国立天文台情報公開センター助教授 渡部潤一
2007.03	お天気博士をめざせ！天気予報のおもしろ話 山陽放送キャスター、気象予報士 高畑誠
2007.10	地球と友達になろう NHK解説委員 室山哲也
2008.01	冥王星のその後 新しい太陽系像にせまる 国立天文台普及室長 縣秀彦
2008.03	夢を追いかけて～私の宇宙飛行士の挑戦～ 第4回宇宙飛行士選抜試験最終選考受験者・麻酔科医 白崎修一
2008.04	民間宇宙旅行の時代がやってくる JTB宇宙旅行事業推進室 田中利彦
2009.01	カムイロケット、宇宙をめざす～夢で食えるか？科学で食えるか？～ 株式会社植松電機 専務取締役 植松努
2010.01	人に寄り添うロボットテクノロジー 筑波大学教授、CYBERDYNE株式会社 代表取締役社長 山海嘉之
2010.02	星の町～宇宙に一番近い町の話～ NPO法人子ども・宇宙・未来の会(KUMA)菊地涼子
2011.05	上坂浩光監督「HAYABUSA」を語る 有限会社ライブ 上坂浩光
2013.02	本田実生誕100周年記念講演会 夜空に新しい星をさがす 佐治天文台長 香西洋樹
2013.03	錯視・錯覚でさぐる脳の不思議！ 生理学研究所 准教授 小泉周
▼開館20周年記念連続講演会(全4回)	
2013.08	動き出した世界最大の電波望遠鏡・アルマ望遠鏡の全貌 国立天文台 チリ観測所 助教 平松 正顕
2013.09	太陽系小天体の魅力ーロシア隕石、小惑星そして期待のアイソン彗星ー 国立天文台 副台長 渡部 潤一
2013.10	国際宇宙ステーション 宇宙飛行士のトレーニング 有人宇宙システム株式会社 有人宇宙技術部 醍醐 加奈子
2013.11	超大型望遠鏡TMTで何がわかるか 国立天文台TMT推進室 准教授 青木 和光
▼国際ソロプチミスト児島認証30周年記念講演会(科学館共催企画)	
2013.07	宇宙、人、夢をつなぐ 宇宙飛行士 山崎直子

200名以上の規模となるとその何倍の労力を掛けても報われず、担当者としてはシビアな現実と向き合わなければならない実情があった。

こうした背景もあり、講演会の集客傾向は地域の科学文化の根付きをはかるバロメータになると考えている。科学館で行う科学講演会にいかに関わりをもたらし、定着させていくか。担当者として、講演会企画には特別な想いを持って取り組んできた。

### 3. 2006年変化を感じた「はやぶさ」講演会

開館以来21年間で倉敷科学センターでは59回の講演イベントを開催してきた。天文学を主体とした理工系科学館(倉敷市には生物学、地学分野を扱う自然史博物館もある)ということもあり、講演テーマも表1

のように、天文・宇宙開発系を採り上げることが多い傾向がある。

開館10年ぐらまでは、講演会の募集をすると「子どもでも楽しめるか？」という問い合わせが頻繁に寄せられたものである。この場合の子どもとは小学生のこと。主催側として、どうしても小学生の知的水準に合わせたテーマ選びを求めざるを得ない雰囲気があった。当時人気テーマも、基礎的な天文学のトピックやスペースシャトルでの宇宙生活といったもの。

そういった空気に変化を感じ始めたのが、2006年3月の当時神戸大学に所属していた阿部新助先生を招いての講演会であった。テーマは『小惑星イトカワに舞い降りた「はやぶさ」』。まだこの時点の「はやぶさ」は、前人未踏の小惑星タッチダウンがメディアで広く伝えられ、一般からも一目置かれる存在にはなり始めてい



図1：阿部氏講演会の終演後の様子。会場を閉鎖しなければならぬ時間が迫っても質問で居残る子どもたちに、記念写真撮って帰ろうねと説得している風景。

たが、講演会場を満席にできるという状態までには至っていなかった。

講話の内容は、イトカワに到達した「はやぶさ」の科学的成果と小惑星タッチダウンの様子を、プロジェクトメンバーの一員として管制室からの視点で紹介したもので、ちょっと小学生にはハイレベルか？と思えるものだったが、子どもたちの目の輝きがこれまでとすこぶる違って驚かされた。

終演しても会場から立ち去ろうとせず、講師に質問したり、一緒に写真を撮ってもらったり、何らかの交流の機会を得ようと長蛇の行列ができあがっている。順番待ちの何人かの子どもに今回の講演会の感想をたずねたが、小学3年生の男の子の「細かいところはよく分からなかったけど、何かすごかった！探査機を作る研究者になりたい。」という感想が的を射ていたように思える。

小3の彼の言葉を借りると「阿部氏が担当するレーザーで「はやぶさ」着陸させようとして、一度はうまく行かなかったけど、次にちゃんと成功させたと言れるところまでやりきったところがかっこいい」と。思えば、それまでの宇宙開発の講話は、NASAの有人宇宙飛行や惑星探査をどうやさしく紹介するかという流れが本筋で、アメリカの科学者はこう言っていたとか、NASAエンジニアはどのように工夫して、このようなものを作ったといった、肝心なところの主語が常に「三人称」的であったような気がする。ところが、この時の阿部氏の講話の中に溢れていたのは「私」は考えてこうした、「私たち」はこのように克服した」といった、まさに「一人称」的な流れであった。

自分の経験を語っているか、第三者の経験を語って

表2：サイエンスカフェ岡山の開催実績

▼定期科学講演会

第1回	2007.09	岡山でさがす、第二の地球	国立天文台岡山天体物理観測所	泉浦秀行
第2回	2007.09	日本の月探査機「かぐや」飛ぶ！	会津大学助教	寺藺淳也
第3回	2007.01	南極で過ごした16か月	第47次日本南極地域観測隊越冬隊員	山本道成
第4回	2007.12	オーロラに会いに行こう！	オーロラウォッチャー	福島 円
第5回	2007.12	科学実験の魅力に触れる	科学実験エキスパート	船田 智史
第6回	2008.01	冥王星のその後 新しい太陽系像にせまる	国立天文台 普及室長	縣 秀彦
第7回	2008.02	熱気球 世界の空を行く	熱気球パイロット	宮田 浩樹
第8回	2008.03	夢を追いかけて～私の宇宙飛行士への挑戦	第4回宇宙飛行士選抜試験最終選考受験者、麻酔科医	白崎 修一
第9回	2008.08	宇宙の中の地球	国立天文台理論研究部 准教授	小久保 英一郎
第10回	2008.09	文系人間による天文学へのアプローチ～奥様天文談義～	ライター・天文台マダム	梅本 真由美
第11回	2008.01	深海への旅～地球最後のフロンティア～	海洋研究開発機構 極限環境生物圏研究センター	佐藤 孝子
第12回	2008.12	最新有人宇宙旅行事情	JTB宇宙旅行事業推進室 室長	田中 利彦
第13回	2009.01	星空に会いに行く	星景写真家	武井 伸吾
第14回	2009.02	夢で食えるか？科学で食えるか？	株式会社植松電機 専務取締役	植松 努
第15回	2009.11	黒い太陽を撮る!!～皆既日食の魅力～	株式会社ホットスター・天体映像撮影家	唐崎 健嗣
第16回	2009.12	宇宙(そと)に出てはじめてわかる地球(うち)のこと	JAXA宇宙科学研究本部 教授	阪本 成一
第17回	2010.01	人に寄り添うロボットテクノロジー	筑波大学大学院 教授/CYBERDYNE株式会社 代表取締役社長	山海 嘉之
第18回	2010.01	知ってるようで知らない、おひさまの素顔	国立天文台野辺山太陽電波観測所 助教	下条 圭美
第19回	2010.02	『星の街』～宇宙に一番近い町の話	NPO法人子ども・宇宙・未来の会(KU-MA)	菊地 涼子
第20回	2010.02	天気予報の読み解き方	山陽放送気象キャスター	高畑 誠
番外編	2010.12	はやぶさ感謝祭!～なぜここまで愛されたのか?～	会津大学 先端情報科学研究センター 助教	寺藺 淳也

いるかでは、聴衆のアンテナ感度に差を生む。講演会の参加者は、科学者の非日常的かつ魅力的な体験を垣間見て、感動や興奮や悔しさといった感情的な感覚を講師と共有したいと感じているのではないか。しかも、そういった内容の方が、子どもにも(少なからず)通用しているようだと考え始めるようになった。

講演イベントの軸足を「知識伝達型」から「経験共有型」へ、子どもの理解力にも配慮はするが媚びない、一人称的に魅力ある体験を語れる講師を招待した講演イベントを模索し始めたのはこの頃からである。

一人称でトップサイエンスを語れる分野が日本に存在していることは、教育的刺激を演出する上で大きな価値があると思う。それを適切な形で青少年や市民と接触させることが、地域科学館、博物館の役割と強く意識するようになった。ちょうどその頃に活性化し始めていた日本の月・惑星探査は、私にとって非常に魅力的なテーマに映っていた。

もっとおおざっぱに言えば、岡山・倉敷という地方地域に太陽系科学のファンをいかに増やすかという挑戦をはじめることになったわけである。

#### 4. 2007～2010年サイエンスカフェ岡山試行～女性層とメディアを味方に付けたい～

2007年、いいタイミングで科学技術振興機構の助成を3カ年得てサイエンスカフェを実施する機会をいただいた。据えた目標は、魅力的なテーマを散りばめ科学イベントをセンスよく演出し、講演イベントからもっとも遠かった“女性層”を取り込むことができるか?一風変わった科学イベントが人気を呼んでいる様子を演出し、地元マスメディアから一目置かれる存在となれるか?という二点である。

企画名称は「サイエンスカフェ岡山」に決定。職場の上司からは倉敷科学センターが運営主体となっているため、「倉敷」を前面に押し出した方が、職務的に説明しやすいと奨められたが、そこは妥協せず「岡山」を強く推した。県庁所在地の岡山市のメディアにも訴えることができるかどうかは非常に重要な要素である。これは、メディアへのアピール力を強く意識した選択でもあった。

各回のテーマと招待するゲスト講師の一覧を表2に示す。テーマは科学に関心が薄い層の人々にも響くよう、親しみやすくわかりやすく、さまざまな分野の科

学の魅力を提案できるようなラインアップしてみた。

例えば第7回のバルーンパイロットによる競技気球の飛ばし方講座。一見、スカイスポーツのお話と思えるが、気球のコントロールは風を読む要素が非常に大きく、高度によって複雑に変わる風向きを味方に付ける巧みさは、まさに科学そのもの。風を読む科学的な知識と思考力を持ち合わせていなければ、命の安全を図れないとのこと。第12回の有人宇宙旅行をテーマとした講座は、大手旅行会社の宇宙旅行担当営業マンをゲスト講師に招き、契約書の原本を目の前で示しながら最新宇宙旅行事情のリアルな実情が紹介された。さまざまな視点で科学の重要性や魅力を垣間見させてくれるのであれば、ゲスト講師は科学者だけに限らないというのがこだわりだ。

2007年から2010年までに実施したサイエンスカフェは番外編も含めて全21回。倉敷市と岡山市の女性層から高い支持を集めていそうなカフェ店舗をチョイスして貸し切りの交渉。大いに手間はかかってしまうのだが、毎回カフェ店舗を変えることで、単調になりがちな科学イベントに“毎回違ったカフェを楽しむ”という魅力を与えようと努めた。

カフェ店舗と交渉を進めていく中で、こうした趣旨の科学イベントに好感を持っていただける店舗は多く、貸し切り交渉は当初想像していたよりスムーズに進めることができた。岡山を代表する有名カフェ、レストランをはじめ、アートギャラリーを開放した会場、イングリッシュガーデンのながめが美しい会場、大正期の歴史的建造物でもある旧日本銀行岡山支店を改装したホール空間、いかにも倉敷らしい風情が漂う築120年の商家の米蔵を改装した和の格調高い登録有形文化財カフェなど、会場のバリエーションもかなり豊かにできたと思っている。サイエンスカフェ岡山の活動記録はWeb<sup>注2</sup>で公開しているのでご参照いただきたい。

毎回、カフェ店舗を変えたことはかなりの負担となったが、カフェ常連を中心とした口コミ効果でこれまで科学イベントに関心が薄かった層を呼び込む力となったほか、地域の有名飲食店は地元メディアともつながりが深かったりするもので、雑誌のライターをはじめ、新聞、テレビの記者の方から関心を寄せてもらう

注2: サイエンスカフェ岡山  
<http://www2.city.kurashiki.okayama.jp/lifepark/ksc/sciencecafe/>

# 市民と専門家 気軽に科学談議

## 倉敷などで「サイエンスカフェ」人気

市民と科学者が街角のカフェなどでコーヒー片手に科学談議を楽しむ「サイエンスカフェ」が、科学振興の新たな手法として全国的に注目される。岡山でも科学館や天文台が岡山、倉敷市を中心に開催。専門知識を持たない人でも、最前線の研究事情を楽しめるイベントとして人気を呼んでいる。(天津雄一郎)



### 最前線の知識肌を感じる

「サイエンスカフェ」は、市民と科学者が街角のカフェなどでコーヒー片手に科学談議を楽しむ「サイエンスカフェ」が、科学振興の新たな手法として全国的に注目される。岡山でも科学館や天文台が岡山、倉敷市を中心に開催。専門知識を持たない人でも、最前線の研究事情を楽しめるイベントとして人気を呼んでいる。(天津雄一郎)

# 出 か け ま せ ん か @ 倉 敷 岡 山

市民と科学者が街角のカフェなどでコーヒー片手に科学談議を楽しむ「サイエンスカフェ」が、科学振興の新たな手法として全国的に注目される。岡山でも科学館や天文台が岡山、倉敷市を中心に開催。専門知識を持たない人でも、最前線の研究事情を楽しめるイベントとして人気を呼んでいる。(天津雄一郎)

参加者数を常に記録できるまでになっていた。

サイエンスカフェ岡山で太陽系科学の分野を扱ったのは第2,6,9,16回、および番外編の計5回。参加者アンケートの回答結果も良好で、「また扱って欲しいテーマ」としても太陽系科学は筆頭に上がっている。太陽系科学の人気が地域社会に定着し始めている手応えを感じ始めていた。特にあるラジオ局のディレクターは「日本の探査機のお話しならリスナーはもれなく興味を持ってくれると思う。また探査機の先生が岡山にいらっしやるなら、ぜひ。」と逆提案を受けたことも加えさせていただく。

## 5. 2010~2011年機が熟したタイミングで「はやぶさ」地球帰還

2010年9月にJAXAより発表された「はやぶさ」カプセルの展示協力機関の公募は、当科学館の歴史において、これまでにない大きな転機となるものだった。

倉敷市として応募するにあたり、市長と教育委員会から「教育的にも有意義な催しとして成功させる。来場者数2万人を目指す」という目標が示された。結果、11年3月までの公開施設の選考には漏れたが、続く選考で11年10月下旬の公開施設として倉敷科学センターが選定された。全国で55箇所目の会場となるため、思い描いていた人気沸騰中の開催というビジョンは叶いそうもなく、目標に課せられた2万人という数字が重くのしかかる内容にはなったが、逆に9カ月の長期的な広報戦略を展開できる余裕が生まれたことは、科学館にとっては幸いなことだった。

目標達成のためにカプセル展に向けて、次のような企画を打ち出すこととなった。

- (1) 「はやぶさ」ゆかりの科学者を招いた「はやぶさ」連続講演会の開催
- (2) プラネタリウム映像作品「HAYABUSA - BACK TO THE EARTH - (以下「HAYABUSA」)」上映
- (3) カプセル展と平行して「はやぶさ」企画展を同時開催
- (4) 愛知県武豊町で製作された実物大模型を借用し施設ロビーに展示

ほぼ、科学館の9カ月が「はやぶさ」に染まることを意味しているが、肝心なのはこの4本柱の企画を完遂させることではないと考えていた。地方都市で2万人を集める科学イベントを成功させるのは容易なこと

図2：科学イベント人気を伝える新聞記事。(山陽新聞2009年1月9日)

きっかけとなり、後のメディア広報の取り組みに大きな弾みをつけるものとなった。

このような形で行われたサイエンスカフェ岡山は全回で満席。参加者の7割以上を女性が占め、当初の目標としていた女性層の獲得も達成することができた。カフェで科学イベントを行うという試みは岡山ではまだ珍しく、しかも、科学に縁のなかった女性層が大勢参加しているらしいということになるとニュースバリューも十分で、マスメディアの取材数も順調に伸ばしていくことができた。

一方、ゲスト講師の岡山滞在が許され協力が得られる範囲で、テレビやラジオ番組への出演提案を積極的に行った。一般に伝わりやすいテーマ選びをした甲斐があつてか、メディアにとっても魅力ある内容だと認めていただき、全体で約20件の番組出演やインタビューの機会を得た。

サイエンスカフェ岡山が実施された3年間は、科学の話題の発信という意味で、かなり充実した期間となった。岡山のメディア関係者との人脈を広げ信頼関係を築けたことは、地元への科学情報の発信源でありたいと願う地域科学館にとって、今でもとても貴重な財産となっている。その波及効果もあつてか、このころの科学館の講演会は200人の定員に対して満員に近い



開幕を直前に控えた帰還カプセル展示会場



「はやぶさ」帰還カプセル公開 倉敷会場風景



地元マスメディアの全社の取材陣に囲まれる



「はやぶさ」実物大模型は会場のシンボリック存在



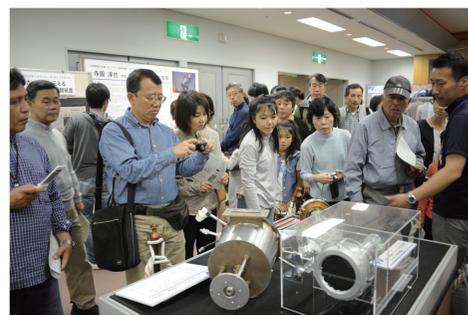
順番を待つ行列は、施設内を一周し外まで続く



企画展会場も混雑で大混乱



グッズ、ファンアートの展示コーナーも人気



帰還カプセルに匹敵するぐらいの価値があったと言ってもらえた企画展

図3：岡山県倉敷市で行われた「はやぶさ」帰還カプセル特別公開の様子。

はない。目的はあくまでもメディア、市民に話題性を喚起するための、長期的かつ継続的な情報発信。4企画を足がかりとして、メディアに一目置かれ、太陽系科学ファンを一人でも多く増やせるかどうかが鍵となるはずだ。

### 5.1 驚異的な人気を集めた「はやぶさ」連続講演会

「はやぶさ」や太陽系科学をよりよく興味を深めてもらうために、2010年12月から2011年11月に渡り、計7回川口淳一郎先生を始め7名の先生方による連続講演会を開催した。ビッグネーム7名の連続講演会はネットやメディアを通して人気が沸騰し、各回満席の盛況ぶり。岡山県内に止まらず、遠く東京や九州からの参加者もいたほどだ。

特に驚いたのが、9月に予定されていた西山和孝先生の講演会が、台風直撃の影響で11月の順延になった際、参加者一人一人に電話をして順延日に参加する意思を確認していったのだが、ほとんど100%が参加の意思を示した。「はやぶさ」の人気の驚異的な高さを改めて思い知らされた一幕であった。

うれしいことに、7名の先生方の刺激的な講話の数々に影響を受けた子どもたちが、今も科学館の講演会に大勢参加してくれている。その子どもたちが現在、進路の時期に差し掛かり宇宙科学の分野を目指したいと言ってくれている。次世代に向かってまかれた種は、着実に育っているようである。

### 5.2 科学館内の目に付くところにカプセル展広報を

科学館の正面入り口にはカプセル展の予告にも触れた巨大看板、カプセル展の開催日時が確定した後は、「あと〇〇日」というカウントダウンを設置したほか、全国のプラネタリウム作品で大ヒットを記録した作品「HAYABUSA」は当館でも大きな反響を呼び、「はやぶさ」への理解を促し、人々にカプセル展への期待を植え付けるという役割を十分に果たしてくれた。

なお、「HAYABUSA」終演後の演出として、連続講演会講師として川口淳一郎先生が来館の際に収録させていただいた「10月下旬のカプセル展にご期待ください」という映像メッセージを流すサプライズ演出を行った。「HAYABUSA」と観て感動で心が温まったところに、川口先生による倉敷でのカプ

セル展開催予告と見どころの紹介。やってみると、これがなかなか印象的で効果のあるものだった。

### 5.3 地域からも反応が出始めた

地元の水島ロータリークラブより、地域の青少年をプラネタリウム番組「HAYABUSA」に無料招待したいという申し出があり、特別鑑賞会が2回催された。地域からのこういった反響はこれまでなかったものだ。

一方、水島工業地帯の自動車製作に必要な木型を手掛ける企業からは、帰還カプセルの実物大模型を寄贈したいという提案もいただいた。寄贈された模型は表面がそれらしく板金塗装され、見た目に変美しいものだったので、その後に催された「はやぶさ」企画展でも大いに活用させていただいた。

「はやぶさ」を盛り上げるために地域の力を借りることができたことは、広報の効果が浸透してきた証ともいえる大きな前進であった。

### 5.4 カプセル展会場を格調高く演出したい

倉敷は全国で55番目の会場で順番としてはかなり後ろとなるため、先に実施される会場を何カ所か視察させてもらったが、カプセルを展示する会場づくりにおいて、照明や床材の違いは見た目の印象を大きく変え、来場者への影響力を考えると侮ってはならない重要な要素という認識を持った。

カプセルの保護の上で照明は熱放射がない光源が適当とのこと。しかし、多くの会場でポピュラーだった蛍光灯下のカプセルはいささか地味な印象。もったいない。価値あるものを見てもらうのであれば、なおさら見た目の演出は重要。恐らくカプセルを見学しに来る人々の一生の記憶に残る機会であることを思えば、可能な限り展示会場やカプセルは美術館並みの高い格調に演出できないかと考えるようになった。

ところが、当科学館の特別展示室に設置されている照明はダイクロハロゲン電球でNG。ギャラリー仕様の設計も施されていない。ここは手間と出費を惜しむことはやめて、すべての照明を高演色LEDに変える決断をし、手作業による大改装ではあったが床面も赤い不織布を大量調達して敷き詰め、美しい展示空間づくりを目指した。

### 5.5 カプセル展会場にインパクトあるアイキャッチを

展示という企画をする上で、アイキャッチになる要素の存在は重要だ。携帯端末で撮影された会場写真がネット上で拡散する現代においては、広報上の観点からも無視できない。特に今回、目玉となる「はやぶさ」カプセルは撮影が禁止されているため、それを補うインパクトのあるアイキャッチ要素をぜひとも会場に求めたかった。ちょうどそのころ愛知県武豊町で「はやぶさ」実物大模型が製作されたという話を聞き、借用の交渉をはじめることができたのは幸運なことだった。

全長6mの手作り製作でありながら見た目の完成度が非常に高い模型で、施設ロビーの大空間に据えてもインパクトは十分すぎるほど。会場に入った瞬間の「わあ！」というわくわく感を演出することができた。特に子どもが喜んだ。カプセル展を訪れた来場者の記念写真、報道のインタビュー撮りの定番スポットとしても広くネットやメディアにも露出し、倉敷でのカプセル展開催を象徴するアイキャッチとしての役割を十分に果たしてくれた。

### 5.6 平行開催の「はやぶさ」企画展は予算の都合で手作り

『60億キロ宇宙の旅』と題した「はやぶさ」企画展は、予算の都合で業者に委託することができず、科学館職員の自らの手で作り上げるしかなかったが、宇宙科学研究所より「はやぶさ」模型やゆかりの資料を提供いただいたほか、特別に搭載イオンエンジン「μ10」の地上耐久試験モデルの展示が叶うなど、地方科学館の企画展として充実した体裁を整えることができた。國中先生をはじめ、研究室のみなさまのご配慮には、感謝を重ねても感謝し切れない。手元の貴重な資料を大量に提供いただいた寺蘭先生にも厚くお礼申し上げたい。

この他、ネットを通して協力を申し出ていただいた宇宙ファンのみなさんより、模型やグッズ、イラストなどを提供いただけたため、バリエーションに富んだ展示づくりに大いに役立った。このほか、かなりの負担ではあったが、科学館でも50枚を越える解説パネルを自主製作している。

倉敷市内の学校と近隣地域に配布したチラシは12万枚。Webサイトの公開、この他にもマスメディアには段階的にカプセル展の取材要領を通知し、カプセ

ル展当日を迎えることとなる。

## 6. 2011年10月「はやぶさ」カプセル展を終えて

かくして、小惑星探査機「はやぶさ」帰還カプセル特別公開 in 倉敷と題し、2011年10月27日(木)～30日(日)の4日間に渡り開催された。直前のリサーチでは、1万人前後の動員数の会場がほとんどで、倉敷で目標とされていた2万人に届く見込みはほとんどないと見ていたのだが、予想を大幅に超える人々が押し寄せ、終わってみれば2万5千人を超える結果となっていた。特に、混雑は土日に集中、企画展会場、カプセル展会場は最長2時間を越える待ち時間が発生していた。

会場の混乱ぶりはすさまじいものでここでは語らないが、2万5千人という数字はJAXAが一般公募した会場としては10年11月の広島県呉市に次ぐ2番目の動員数で、呉市での開催が小惑星由来の粒子が確認された発表時期と重なり、マスメディアが競うようにカプセル展を紹介していた背景を思えば、55番目という遅い時期の倉敷会場に、これだけ多くの来場者が集まってくれたことに担当として大きな感動を覚えた。

今回の一連の取り組みを通じて、岡山、倉敷の地に太陽系科学の人氣が根付いた確かな手応えを感じるこ

倉敷科学センター

**先月の「はやぶさ」帰還カプセル公開**

**盛況 4日間で2.5万人**

**今年全国22カ所の最多**

(倉敷市福田町吉野田)で10月30日から4日間行われた小惑星探査機「はやぶさ」の帰還カプセル公開で、入場者数が2万5043人だったことが7日、同センターの集計で分かった。宇宙航空研究開発機構(JAXA)によると、今年公開された全国22カ所のうち、最多だった。盛況の背景についてJAXAは、西日本初公開のイオンエンジン試験機などカプセル以外の展示内容の充実▽最終日を除き、開館時間(午後9時まで延長)▽同時期に上映している(有料)の相乗効果



倉敷科学センターで公開された「はやぶさ」の帰還カプセル＝10月27日

なを指摘。「岡山の人々の宇宙への関心の高も見逃せない」としている。帰還カプセルの公開は2010年7月ヒューストン。倉敷市は55カ所の開催だった。期間の長さに違いはあるが、入場者数は10年8月の東京(5日間)で計4万2874人、同11月の呉市(同2日)6271人などに次ぐ。今年、今年開催で最も多かった4月の富山県砺波市(同2日)2万人を超えた。

倉敷科学センターは「混雑でパネルを写すのが難しく、今冬には今回使用したパネル展の開催を検討したい」としている。(大橋洋平)

図4：2011年10月に実施されたはやぶさ帰還カプセル展示を伝える新聞記事。開催期間前後は、ほぼ全社の紙面をこの話題が賑わせた。(山陽新聞2011年11月8日)

とができた。科学者と連携したアウトリーチを考えていく上で、地方科学館が最も期待されるものとしては、科学者のよき理解者でありサポート役として、地域の市民との橋渡しをするために、適切かつ効果的に両者を接触させるノウハウや環境を整える能力を発揮できるかどうかということだと思っている。そのためには、科学館施設が地域独特の個性や人脈に精通し、市民や施設利用者、メディア関係者などの確かな信頼関係が構築できていることが不可欠だ。

倉敷での「はやぶさ」カプセル展は、これらの歯車がたまたまうまくかみ合った時期に実施できた幸運な例だったのかもしれない。まだまだ手探りではあるが、地域に科学の文化の根を定着させていくために、倉敷科学センターなりのやり方を見つけていく努力を続けていきたいと思う。

最後にもう一つ。科学者のアウトリーチ活動と地方科学館の地元で科学を根付かせる活動は目的としては概ね一致しているが、一生懸命になればなるほどその恩恵の行き先がどちらか一方に偏ったりする。何でもやればいいというものではない。科学教育を推進するために継続は力となるが、一方的では継続は望めず、歩み寄り方を間違えると無駄や不幸な結果を呼ぶ。そのためにも、科学者として何を提供できて、何ができないのか。科学館としても何が提供できて、何が期待に添えないのか。両者にとってよりよいギブアンドテイクの関係を築けるか、十分に理解し合うことが非常に重要だ。

科学館が科学者のみなさんに負担を掛けることがあるかもしれない。まだまだ科学館が未成熟で失望させてしまうこともあるかもしれない。同じ科学教育の担い手として、地域の科学文化や科学館を育てていくという面でもご理解をいただきたいのである。

# 天文観測的手法における小惑星4ベスタの研究

長谷川 直<sup>1</sup>

2014年7月24日受領, 2014年8月22日受理.

(要旨) 小惑星4ベスタは様々な天文観測的手法に用いて観測し尽くされている天体であり, Dawn探査機がランデブーした現在, 最も物理情報が取得されている小惑星であると言っても過言ではない. 筆者はこれまでベスタに関わる天文観測的手法を用いた研究を行い, 1) 3ミクロン帯の分光観測から, ベスタ表層に含水鉱物が存在していることを発見, 2) 内側小惑星帯のV型小惑星のライトカーブ観測から, それらが破片としてベスタから飛び出した年代を示し, 3) 位相関数の観測から, ベスタ表層の密度を示し, 更に衝効果の原因を明らかにした.

## 1. 過去におけるベスタの観測的研究の歴史

1807年(江戸時代文化4年)3月29日にH. W. Olbersに発見された小惑星4ベスタは1801~1807年の5年間の間に発見された4大小惑星(1ケレス・2パラス・3ジュノー・4ベスタ)の最後に発見された小惑星である. ベスタは地球からみて, 一番明るくなる小惑星であり, 条件が良ければ, 肉眼で見えることも可能である(筆者は肉眼で見たことがある). 一番明るく見えるが故に, ベスタはこれまで考えられる様々な観測手法で観測が行われている.

望遠鏡にマイクロメーターを取り付けて, その視直径を測るという方法を用いて, 4大小惑星も発見から直ぐに天体の大きさを測る物理観測が試みられている. 発見から18年後の1825年(江戸時代文政8年)には, ベスタの直径が測定されている[1]. 1883年(明治16年)には, ベスタ表層のアルbedoと明るさの変化が観測されている[2]. その後, 1929年(昭和4年)にベスタの可視光域のスペクトル(太陽光スペクトルで割られた反射スペクトルの形で掲載されていないが)と自転周期が測定されている[3]. 1934年には, 位相角の変化によるベスタの偏向度の変化も測定されている[4].

1945年以前に, ベスタは精度はともかくとして小惑星の基本物理情報である直径・アルbedo・自転周期・スペクトルが測定されていたことになる.

1951年には, 検出器に光電管を用いた非常に精度の高いライトカーブ観測が行われ, 自転周期が高精度に計測された[5]. 1967年には, 高精度のライトカーブデータを用いて, ベスタの自転軸のあり得る2つの解が示され(小惑星帯の小惑星のライトカーブデータのみから自転軸を求める場合は原理的に1つの解に絞ることが難しい), また, 位相角の変化に対する明るさの変化を示す位相関数も示された[6]. Gehrelsの示した自転軸の解の1つは最終的にDawn探査機によって得られた自転軸の結果とほぼ一致している. 1968年には, ベスタ近傍に近接した他の小惑星の軌道のふらつきから, その質量が求められた[7]. 1970年には, 中間赤外線天体の熱輻射量から直径を推定する方法から, その直径が高精度に求められた[8]. また, 同年にベスタの可視光域の反射スペクトルが高精度に観測され, その表面が分化隕石と似ていることが示された[9]. 1973年には, 自身で観測したデータに加えて, それまで得られた高精度のライトカーブデータを用いて, ベスタの南半球に巨大なクレーターがあることが示唆された[10]. Taylorのこの研究は後にHubble宇宙望遠鏡の観測やDawn探査機の探査で, その正しさを証明されることになる. 1975年には, 近赤外波長

1. 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所  
hasehase@isas.jaxa.jp

域の分光観測が行われ、可視光と合わせた研究で、その表面が分化隕石のグループの1つであるHED隕石(ホルライト・ユークライト・ダイオジェナイト)と似ていることが示された[11, 12]. Larson等とJohnson等のこの研究によって、HED隕石の隕石学的な研究とベスタの天文観測的な研究が結びついたことになる。1977年には、スペックル干渉法により、ベスタを点源でなく、面光源として、捉えることに成功した[13]. また、同年にマイクロ波でベスタの観測に成功した[14]. 1979年には、自転位相によるカラー差が存在していることが示され[15], 自転位相による偏向度の変化も示された[16]. Blanco等とDegewij等の研究からベスタ表層の異方性が示され、自転周期が決定された(通常の小惑星は表層のカラー差の影響より形状の効果の方が大きい為に、ライトカーブ形状は1周期ダブルピークであるが、ベスタは表層のカラー差の影響の方が形状の効果より大きかった為にシングルピークであった). また、同年にレーダーによる観測も成功している(但し、この時点ではレーダーによる3次元形状は得られていない)[17]. また、同年に小惑星の軌道データを用いて、個数は少ないが、ベスタ族の存在が初めて示された[18]. 以上、1950年以降の電子技術の発展により、ベスタの様々な物理的情報が高精度で得られた。

1980年には、IUE紫外線天文衛星でベスタの紫外光域のスペクトルが取得された[19]. 1986年には、IRAS赤外線天文衛星の全天サーベイにベスタが検出された[20]. 1988年には、スペックル干渉法によって、ベスタの3軸回転楕円体の大きさが示された[21]. 1989年には、マイクロ波観測からベスタ表層がレゴリスに覆われていることが示された[22]. 1990年には、小惑星のその当時最新の軌道データを用いて、ベスタ族のメンバーが本格的に示された[23]. 1991年には、近地球型小惑星でベスタと似たスペクトルを持つV型小惑星が見つかった[24]. なお、Cruikshank等は観測したV型の近地球型小惑星をベスタ起源で無いと論文では述べているが、後述の様々な発見により、現在ではベスタ起源であると考えられている。また同年、ベスタの掩蔽現象が観測されている[25]. 1993年には、ベスタ族メンバー、及び、ベスタ近傍の内側小惑星帯にV型小惑星があることが発見された[26]. 1996年には、レーダー観測によって、ベスタ表層が玄武岩質的

な物質に覆われていて、レゴリス層は地質学的に未成熟であることが示された[27]. また同年に、補償光学を用いて、ベスタの撮像が行われている[28]. 1997年には、Hubble宇宙望遠鏡によりベスタの観測が行われ、大きさ・形状・自転軸や北半球のアルベド分布が直接的に示された[29]. 南半球にある巨大クレーターが直接的に確認されたことより、ベスタ上の巨大クレーター→クレーターから排出されたV型小惑星群→地球近傍まで来ているV型近地球型小惑星→地球に落下してきているHED隕石と、ベスタとHED隕石を結ぶ線が繋がったことになる。

1998年には、ISO赤外線宇宙天文台で取得された中間・遠赤外線域測光データと過去得られた測光データを組み合わせて、ベスタ表層の熱慣性と中間・遠赤外線域の輻射率が示された[30]. 2010年には、1997年のHubble宇宙望遠鏡の観測で得られていなかったベスタの南半球のアルベドマップが得られた[31]. 2011年には、Swift  $\gamma$ 線バースト観測衛星やIUE紫外線天文衛星、Hubble宇宙望遠鏡の紫外光域のスペクトルから、ベスタの表層が宇宙風化作用を受けていないことを示した[32]. 2013年には、過去の熱輻射のデータから、ベスタの表層レゴリスの平均粒径が求められた[33]. そして、2011年には、Dawn探査機がベスタに到着・ランデブーし、その探査を基にしてベスタの形状・質量・密度・表面形態・内部構造・表層物質組成・表層年代等々を調べられ[34]. 現在も詳細な解析が進んでいる。

ベスタの観測は、地球からみて一番明るく、小惑星帯で3番目に大きい小惑星(準惑星セレスを小惑星としてみた時に)故に、その時代での最新鋭の観測技術・手法を用いて、観測が行われており、その結果、上記の様に様々な研究成果がでていいる。ベスタは小惑星帯の小惑星で一番物理的性質が判明していると言っても過言ではない。

本論文では、このようなベスタを巡る天文観測的研究の激しい競争の中で、筆者が進めてきたベスタ及びそれに関わる小惑星の研究についてまとめる。

## 2. 最もよく調べられた小惑星であることを活かした研究

天文観測では天体の明るさの絶対値をどのように決定しているかと言うと、物差しで長さを測ることと同

様に、標準星と呼ばれる明るさが分かっている星の明るさと比較することによって、未知の天体の明るさを決定している。この標準星は可視光・近赤外域では数多く存在している[e.g., 35]が、中間・遠赤外線域になると標準星の数は少なくなる。理由の1つとして、可視光から波長の長いところまで、明るさを正確に予測する為には、恒星のモデルが存在しなければならないが、特定のスペクトル型の恒星しかモデルが存在していないことが挙げられる。また、これらの星は中間・遠赤外線域になると明るさが暗くなっていくというのも理由の1つである。更に、もう1つの理由としては、「ベガ型星」のようにデブリディスクが付随されている天体は中間・遠赤外線域に明るさの超過が見られることがある。この超過は過去の観測からどの天体に超過の有無があるか天体毎にわかっているが、その超過分をモデルで予測することが事実上不可能の為に、明るさを正確に予測できない。よって、中間・遠赤外線域の明るい標準星(例えば100ミクロンで1Jyを超える天体)は10天体程しか存在していない。

一方で、電波観測では、火星・天王星・海王星といった惑星が、標準星として、使用されている。これら惑星の標準星は標準星としてはとても明るく、例えば、一番暗い海王星でも、100ミクロンで300 Jy程の明るさがある。即ち、遠赤外線域では、標準星として使用できる惑星と恒星の明るさに1.5桁ほどのギャップが出来ていることになる(図1)。

この明るさのギャップを埋める為に中間・遠赤外線域では小惑星を標準星として使用することが提案され、実際にISO赤外線宇宙天文台では遠赤外線域の標準星として使用された[e.g., Müller & Lagerros 1998]。中間・遠赤外線域の小惑星は太陽光の反射でなく、太陽光を吸収してその熱輻射で輝いている。熱輻射による明るさは見かけの断面積に大きく依存する。しかしながら、小惑星は一般的に形状が歪であり、自転軸や絶対的な大きさを正確に測ることが困難な為に、精度高く明るさを予測することは難しい様に思われる。但し、ベスタのように形状や絶対的な大きさ・自転ベクトルが分かっている小惑星は地球から見た断面積が精度良く予測できる為に、高い精度で中間・遠赤外線域の明るさを予測が可能である。

ベスタのフラックス予測の確からしさ(大凡5%程度の確からしさ)は確かめられている[e.g., 36]が、自

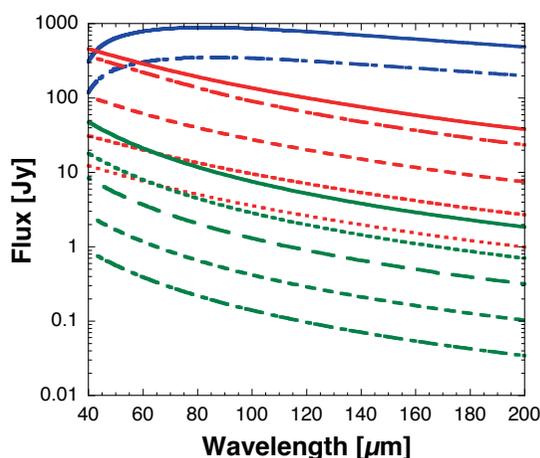


図1: 遠赤外線標準星天体のフラックス。フラックスの大きい順に、青線:天王星・海王星、赤線:1ケレス・4ベスタ・7イリス・511ダビダ・47アグライヤ、緑線: $\alpha$  Booアークトゥルス・ $\beta$  Andアンドロメダ座ベータ星・ $\alpha$  Cmaシリウス・やぎ座オメガ星・ $\Theta$  Umiこぐま座シータ星

表1: ベスタの中間赤外線域での観測値。モデル値はStandard Thermal Modelによるもの。

band	observed flux	Model
8.7 um	121 Jy	146 Jy
18.8 um	468 Jy	420 Jy

前での小惑星標準星整備の為に、あかり赤外線天文衛星打ち上げ以前の2003年に国立天文台ハワイ観測所の8.2mすばる望遠鏡のCOMICS装置で中間赤外線領域のベスタの測光観測を行った(表1)[37]。

8.7ミクロンと11.8ミクロンの観測の結果、それぞれの観測と簡易熱モデル予測値の差は10-20%精度あり、過去行われた研究と比較すると多少大きめの数値になった。しかしながら、地上の中間赤外線の絶対値の測光精度は良くても10%ほどであり、簡易熱モデルをしたことによることから考えると観測と予測値は一致していると考えて良い。

そこで、ベスタも含めた物理的素性のよく分かっている55個の小惑星を標準星として用いて、筆者を含めた研究グループでは、あかり赤外線天文衛星の遠赤外サーベイの恒星カタログ[38]の較正、及び、小惑星カタログ[39]の較正を行った。異なる手法で較正されたIRAS赤外線天文衛星やWISE赤外線天文衛星で得られたそれぞれの直径の値とあかり赤外線天文衛星で得られた小惑星のカタログの直径の値が10%以内の精度で一致していることが確認されている[40]。この

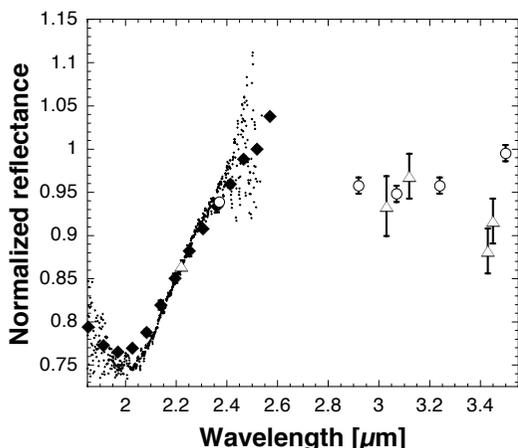


図2：過去のベスタの3ミクロン帯の観測。△は[42]，○は[43]のデータ。これらのデータだけみると，3ミクロン帯の観測が無い様に見えるが，◆の[44]と+の[45]のデータと組み合わせると，3ミクロン帯の吸収があるように見える。

ことはあかり赤外線天文衛星で用いた較正法の正しさを示している。

このように，小惑星ベスタは明るさの絶対値を決定する為に，非常に有用な小惑星の1つであるということが出来る。それを裏付けように，ベスタはあかり赤外線天文衛星以降の天文衛星である Herschel 宇宙望遠鏡の3つの機器の PACS・SPIRE・HIFI の絶対値較正にも使用されている [41]。

### 3. 3ミクロン帯観測に関わる研究

筆者は小惑星の含水鉱物の将来の研究(あかり赤外線天文衛星による近赤外分光サーベイ観測計画立案の準備)の為に，その時点で公開されていた3ミクロン帯の多色測光・分光データを中心に検証を行っていた。検証のポイントとしては，単純に1つの論文のデータを眺めるだけでなく，異なる波長域の多色測光・分光データを組み合わせて，3ミクロン帯の吸収の有無を調べたことである。ベスタの3ミクロン帯の観測は2つの論文[42, 43]を単独に見てみると(図2の△印と○印をそれぞれ単独にみると)，それぞれ3ミクロン帯の吸収は無い様に見える。しかしながら，2.5ミクロンまでの連続的なスペクトル[44, 45]を組み合わせると，明らかに少なくとも5%程の3ミクロン帯の吸収があることが判明した(図2)。ベスタは序章で紹

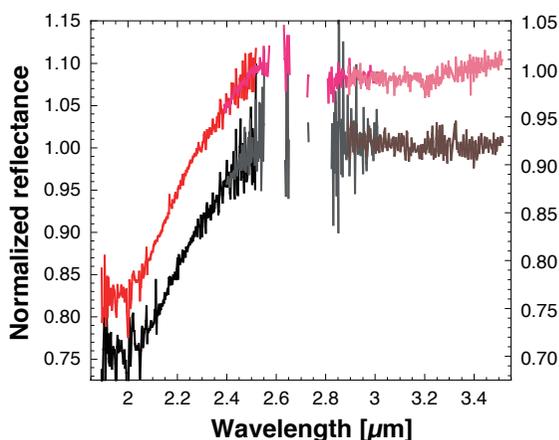


図3：ベスタの3ミクロン帯の観測。黒線が2003年3月1日，赤線が2003年3月2日のスペクトルデータ。3月2日のデータに3ミクロン帯の吸収があることがわかる。

介した様に分化した小惑星として知られていたこともあり，3ミクロン帯の吸収があることは『この当時』はあり得ないことと暗黙の内に考えられていた。それ故，見いだした結果はそれと矛盾する結果であった。但し，組み合わせたデータには観測誤差があり，また，ベスタの過去の3ミクロン帯観測が対象波長帯を同時刻に取得できない多色測光のデータの為に，ベスタ自身の変光度(可視光域で最大差で約0.2等くらい)の影響も捨てきれなかった。この問題を解決する為には3ミクロン帯の分光観測を行う以外には方法が無かった。

そこで，筆者は1.9～3.5ミクロンの波長帯での分光観測を2003年にハワイ・マウナケアにある英国合同天文センターの3.8m UKIRT 望遠鏡の CGS4 装置を使用して行った。観測の結果，大凡数%程度の吸収があることが判明した(図3)。この結果はすぐさま雑誌に投稿したが，吸収レベルが%レベルと言うことと上述の様な理由から，なかなかすんなりとは受理はされなかったが，観測から半年程度で世の中に公開された[46]。

3ミクロン帯の吸収としては成因がいくつか考えられた。1つめとしては太陽風による陽子の打ち込みによるベスタ表層上で含水鉱物の生成説[46]，2つめは炭素質コンドライトのような天体衝突によってもたらされた外因説[46]，3つ目は炭素質コンドライト天体族起源の惑星間塵がベスタに降り積もったという外因

説が考えられた[47]. 論文を書いた当初では3つの説の内、筆者は2・3つめの説が有力と考えていた. 当時は、他の天体上で陽子の打ち込みによる含水鉱物の生成が確認されていないこと、ホルダイト内にCM2コンドライトの欠片が見つまっていること、ベスタでの衝突速度を考えると衝突圧力的に含水鉱物が消えないことからである. しかしながら、10年経った現在では、研究の進歩があり、必ずしもそうとは言えない状況にある.

1つ目の重要な研究は2009年に、月での含水鉱物の発見である[48, 49]. 元々月での含水鉱物の存在は月起源隕石での炭素質コンドライトの発見から推定していた[46]が、成因としてはそれではなく、磁場のない月表面に太陽風によって陽子が打ち込まれたことが成因として考えられた. その後の研究で、3ミクロン帯の含水鉱物の吸収の形が、蛇紋石やスメクタイトと言った層状珪酸塩鉱物の吸収の位置(ピークが2.7ミクロン付近)が異なり、太陽風による陽子の打ち込みによって人工的に作った鉱物と吸収の位置(ピークが2.8ミクロン付近)が一致していること[50]から、太陽風起源説が決定的であると考えられている. 2つ目の重要な研究は、Dawn探査機によって、3ミクロン帯のスペクトルが取得されたことである[51]. ちなみにだが、実は2003年の筆者の研究結果はそれまでは色眼鏡で見られていた感があったが、Dawn探査機によって、その正しさが証明されたことになった[52].

地上望遠鏡で大气吸収がある故に連続的にスペクトルが取得出来ないが、Dawn探査機での観測は真空中下で行われたので、3ミクロン帯のスペクトルが連続的に取得された. その結果を見ると、実は月の3ミクロン帯のスペクトルと同様に太陽風による陽子の打ち込みによって人工的に作った鉱物と吸収に位置が一致していることが分かった. このことはベスタ表層の3ミクロン帯の吸収の成因として、太陽風による陽子の打ち込みもその候補として挙げることができる.

しかし一方で、Dawn探査機に以外の2つの研究: ベスタ表層の可視・近赤外のスペクトルが赤化していないことからの磁場の存在を示唆する研究[53]とHEDの磁場測定から現在も磁場が存在する可能性を示唆する研究[54]からは、ベスタ表層の太陽風の影響は否定されている. また、Dawn探査機の結果から、ベスタ表面には可視光で見ると局所的にアルベドの暗

い場所が所々に存在し、それらは炭素質コンドライトの衝突の結果と考えられている[55, 56]. そのような衝突の繰り返して、宇宙風化の蓄積が無くなっているとも考えられている.

但し、Dawn探査機は磁力計を搭載していなかった為に、ベスタに磁場が存在しているかどうかは現時点では実際の所ははっきりと確定していない. よって、少なくとも含水鉱物の太陽風成因説をはっきりと否定する事ができない. 3ミクロン帯のスペクトルの形からその起源を考えると、ベスタの磁場が太陽風に影響を与えるほどは存在していないという説に一票を投じることになるかと思われる.

#### 4. ライトカーブ観測によるベスタの巨大衝突に関わる研究

序章でも述べたが、ベスタは族を形成し、その近傍にはV型小惑星が多く存在しているが、それらV型小惑星はベスタで起きた巨大衝突によってベスタから飛び出してきた破片と考えられている[e.g., 29]. よって、破片であるV型小惑星の研究を行うことによって、ベスタの衝突に関する情報が得られる可能性がある. そこで筆者は、ベスタが存在している内側小惑星帯に数多く存在しているV型小惑星のライトカーブ観測を行った[57].

2003~2005年の間に東京大学木曾観測所の1.05 m シュミット望遠鏡と0.3 m望遠鏡、宮坂天文台の0.25 m/0.36 m望遠鏡、紀美野町みさと天文台の1.05 m望遠鏡、国立天文台岡山天体物理観測所の0.5 m望遠鏡、ハワイ・マウナケアにあるハワイ大の2.24 m望遠鏡の7台の望遠鏡を用いて、22個のV型小惑星のライトカーブを取得し、その内19個の天体の周期が判明した(表2). なお、副産物として、V型小惑星を観測した視野に写ったV型以外の15個の小惑星が検出され、そのうち、13個の自転周期が判明した. 自ら取得した19個のV型小惑星の自転周期に加え、ライトカーブデータベース[58]に公開されているV型小惑星のデータを集めて、総計59天体のV型小惑星の角速度分布を調べた(図4).

小惑星の角速度分布は特に直径40 km以上の天体ではマクスウェル分布と一致することが知られている[59]. 衝突履歴があるとマクスウェル分布になるという理論的な研究[60]から、直径40 km以上の天体では

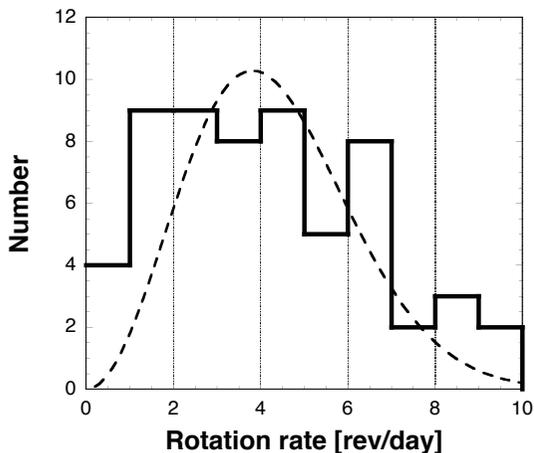


図4：内側小惑星帯のV型小惑星の角速度分布。実線が観測データ。破線が観測データをマクスウェル分布でフィットした線。一致していないことがわかる。

表2：観測したV型小惑星。副次的に観測された小惑星はスラッシュの後に示す。

望遠鏡	V型小惑星/副次的に観測された小惑星
Kiso 1.05m	1933 2011 2508 2511 2640 2795 3307 3657 3900 4005 4147 4977 8645 10285 10320 / 477 1455 3192 6664 10389 10443 11321 18950 22034 29976 41051 46121
Kiso 0.3m	2511 2653 4796 6331
Miyasaka 0.25m	2653
Miyasaka 0.36m	1933 2011 3900 4005 4434 4796 6331 8645 / 477 11321 89481
Misato 1.05m	4383 4796
Okayama 0.5m	6331
UH 2.28m	4383

天体衝突の履歴が残っているということが知られている。しかしながら、V型小惑星の角速度分布はマクスウェル分布とKolmogorov-Smirnov検定で凡そ90%の確率で一致しない結果になった。このことから、これらV型小惑星達が衝突時に獲得した衝突履歴が消えてしまったことが考えられる。

他の族の角速度分布と比較してみると、コロニス族[61]、フローラ族[62]、マリナ族[63]も同様にマクスウェル分布と一致しない結果になっている。それぞれの論文で、マクスウェル分布と一致しない理由として、YORP(Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-Paddack)効果によって、角速度分布がマクスウェル分布から外れたと述べられている。実際に、これらの族の多くの天

体はYORP効果が効くとされる40 km以下で構成されており、また、衝突破壊年代もそれぞれ2.5 Gyr, 3 Gyr, 1 Gyとされており、YORP効果が十分働くだけのタイムスケールである。

V型小惑星の殆どが直径40 kmという事実と前述の他の族と要因から考えると、V型小惑星の角速度分布のマクスウェル分布と一致しない結果の要因はGyくらいのタイムスケールでYORP効果が効いた結果と推定することができる。

ベスタ上で大規模な衝突破壊が何時行われたかという研究は幾つかある。1996年にベスタ族の数値シミュレーション研究が行われ、族形成年代が大凡1 Gy前とされた[64]。2003年に小惑星帯にあるダストバンドは5-250 Myr前に衝突破壊された族がその源とされたが、ベスタ族にはそれに対応するダストバンドがないので、それより古いと考えられている[65]。2005年に小惑星帯のサイズ分布の再現研究から約20%の確率で3.5 Gyr前にベスタ族が形成されたとされた[66]。2007年にベスタに近接する小惑星の軌道シミュレーションを行い族形成年代を大凡1.2 Gy前とした[67]。2008年に軌道進化シミュレーションから少なくとも1 Gy前にベスタ族が形成されているとした[68]。Dawn探査機で観測された南半球の巨大クレーターの数から、2つの巨大クレーターが1 Gy前に形成されたと見積もった[69]。これらの結果は内側小惑星帯のV型小惑星がGyくらいの年代で現在のサイズの小惑星となり、その結果YORP効果が働いたという結論と矛盾しない。

## 5. 衝効果に関わる研究

位相角が0度に近づいた時に急激に明るくなる現象「衝効果」は1895年に土星のリングで確認されており[70]、1922年に月[71]で、1967年に火星で確認されている[72]。小惑星での衝効果の現象は1956年に確認され[73]、ベスタ自身も1967年に確認されている[74]。

衝効果の原因として影効果と干渉性後方散乱の2つが考えられている[e.g., 74]。影効果は表面にある凸凹が明るさに寄与するという効果であり、小惑星では位相角が7.8度から現れる現象である。干渉性後方散乱は表層が明るく、かつ、位相角が1~2度以内の場合に現れる現象である[75]。衝効果による干渉性後方散

表3：ベスタの測光観測と分光観測。

望遠鏡	位相角 [度]
Sagamihara 0.064m	0.2, 0.3, 0.8, 0.9, 1.1, 1.2, 1.3, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 6.0, 6.1, 6.8, 6.9, 7.0, 9.4, 9.5, 10.2, 10.3, 10.4, 12.4, 12.5, 12.8, 12.9, 15.3, 22.6, 22.7, 22.8, 23.2, 23.7, 23.8
Miyasaka 0.36m	0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 0.9, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.6, 1.7, 2.6, 2.7, 10.3, 10.6, 10.7, 10.8, 13.5, 13.6, 16.0, 17.8, 17.9, 21.0, 21.1, 21.2
Nishiharima 0.076m	0.2, 0.4, 18.1, 19.4, 23.2, 23.7, 23.8
Maidanak 0.6m	0.1
Nishiharima 2.0m	20.3, 20.9
Okayama 1.88m	24.9

表4：ベスタの反射率とHapkeモデルによる空隙率および密度。

波長帯	アルベド	空隙率	密度 [kg/m <sup>3</sup> ]
B (CB有)	0.353	0.575	1300
B (CB無)	0.321	0.7	900
Rc (CB有)	0.407	0.4	1900
Rc (CB無)	0.335	0.5	1600
z' (CB有)	0.305	0.65	1100
z' (CB無)	0.298	0.7	900

乱の有無を調べる為には位相角が1度以内の観測が必須である。但し、ベスタの低位相角の観測は位相角が1.2度までの観測しか無く、そもそも1.2度未満での位相関数の変化が分からなかった。序章でも述べたが、ベスタはあらゆる観測手法で観測が行われ、Dawn探査機のランデブーも行われ、それらによってベスタの知りうる物理情報は殆ど分かっているが、実は1度以下の低位相角での位相関数の振る舞いが実は判明していなかった。

2006年初頭にベスタの位相角が0.1度になる事に気がついた筆者はベスタの低位相角から高位相角まで広い範囲の位相関数を取得する為の観測を行った。なお、ベスタは軌道傾斜角が地球の軌道傾斜角と異なっている為に、位相角が0.1度近くになるのは百年に1回程しかない。

JAXA宇宙科学研究所屋上に仮設置した0.064 m望遠鏡と宮坂天文台の0.36 m望遠鏡、兵庫県立大学西はりま天文台の0.6 m望遠鏡にガイド望遠鏡として同架されている0.076 m望遠鏡、ウズベキスタン・マイダナク天文台にある0.6 m望遠鏡を用いて測光観測を、兵庫県立大学西はりま天文台の2.0 mなゆた望遠鏡と国立天文台岡山天体物理観測所の1.88 m望遠鏡を使って分光観測を行った[76](表3)。測光観測はB, Rc, z'

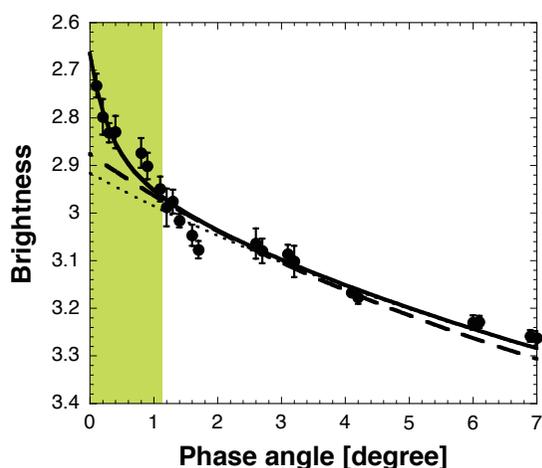


図5：ベスタのRバンドの位相関数。点は観測データ、点線はフィットした影効果のみのHapkeモデル、実線はフィットした影効果と干渉性後方散乱のHapkeモデル、点線はフィットした影効果と干渉性後方散乱(Bc0=0)のHapkeモデル。影効果と干渉性後方散乱のHapkeモデルが良く一致しているのがわかる。

の3バンドで行った。位相角0.1~23.8度の間で、測光データを取得したが、Rosetta探査機とDawn探査機で、位相角30度を超えるデータを取得されているので、それらのデータも位相関数導出に用いた[77, 78]。

観測によって得られた結果は図5に示す。物理情報の取得の為に干渉性後方散乱が考慮されたHapkeモデルでフィットしている[e.g., 79]。

$$\frac{I_{\lambda}}{F_{\lambda}} = \left[ \left( \frac{w_{\lambda}}{8} \left[ (1 + B_{SH\lambda}(\alpha)) P_{\lambda}(\alpha) - 1 \right] + \frac{r_{0\lambda}}{2} (1 - r_{0\lambda}) \right) \left( 1 - \sin \frac{\alpha}{2} \tan \frac{\alpha}{2} \ln \left[ \cot \frac{\alpha}{4} \right] \right) + \frac{2}{3} r_{0\lambda}^2 \left( \frac{\sin \alpha + (\pi - \alpha) \cos \alpha}{\pi} \right) \right] (1 + B_{CB\lambda}(\alpha)) K_{\lambda}(\alpha, \theta_{\lambda}),$$

ここで、 $w_{\lambda}$ は単粒子散乱能、 $P_{\lambda}(\alpha)$ はHenyey-Greenstein位相関数、 $K_{\lambda}(\alpha, \theta_{\lambda})$ は表面の凸凹に関する補正項、 $r_{0\lambda}$ は下記の式で示される。

$$r_{0\lambda} = \frac{1 - \sqrt{1 - w_{\lambda}}}{1 + \sqrt{1 - w_{\lambda}}},$$

$B_{SH\lambda}(\alpha)$ と $B_{CB\lambda}(\alpha)$ は下記の式で示される。

$$B_{SH\lambda}(\alpha) = \frac{B_{S0\lambda}}{1 + \frac{1}{h_{S\lambda}} \tan \frac{\alpha}{2}},$$

$$B_{CB\lambda}(\alpha) = B_{C0\lambda} \frac{1 + \frac{1 - \exp\left(-\frac{1}{h_{C\lambda}} \tan \frac{\alpha}{2}\right)}{h_{C\lambda} \tan \frac{\alpha}{2}}}{2 \left( 1 + \frac{1}{h_{C\lambda}} \tan \frac{\alpha}{2} \right)^2},$$

$B_{S0\lambda}$ と $h_{S\lambda}$ は影効果の項の振幅と半値幅であり、 $B_{C0\lambda}$ と $h_{C\lambda}$ は干渉性後方散乱の項の振幅と半値幅である。

フィットして得られたパラメータからまず、Hapke

モデルより空隙率を求めることができる。

$$h_{S\lambda} = -\frac{3}{8} \frac{\sqrt{3}}{\ln\left(\frac{d}{d_0}\right)} \ln \rho_\lambda,$$

$\rho_\lambda$ は空隙率,  $d/d_0$ は構成粒子の最大・最小直径比である。空隙率と構成粒子の最大・最小直径比を用いると表層レゴリス層の空隙率を求めることが出来る。

各バンドで異なるが0.4~0.7の間での空隙率であった(表4)。ベスタのレゴリス層の真密度をユークライトと同程度と仮定するとその密度は900 - 1900[kg m<sup>-3</sup>]となった。

各バンドのアルベドが下がると、各バンドのバルク密度が小さくなることもわかった(表4)。レゴリスのバルク密度は表面に近いほど、小さくなるが分かっている[80]。よって、アルベドが低いバンドでのバルク密度の情報は、より表面付近のバルク密度を示している可能性がある。

次に衝効果の成因について探った。衝効果で、影効果のみ・影効果と干渉性後方散乱の2パターンでフィットをおこなった。その結果、影効果と干渉性後方散乱でフィットした方が良く一致していることが分かり、影効果のみだと、特に位相角1度未満のデータを説明できなかった。このことからベスタは位相角1度未満では干渉性後方散乱の効果が色濃く出ることが分かった。

干渉性後方散乱の強度はベスタの場合はアルベドと相関があることが分かった。このことは干渉性後方散乱が、アルベドが高い粒子、即ち、透明度が高く、反射率の高い粒子の多重散乱で引き起こされている事を示している。

## 6. まとめ

筆者は天文観測的手法観測的手法で、

- 1) 3ミクロン帯の分光観測から、ベスタ表層に含水鉱物の吸収があることを発見した。
- 2) V型小惑星の観測で、それらが破片として、ベスタから飛び出した年代を示した。
- 3) 位相関数の観測から、ベスタ表層の密度を示し、衝効果の原因を明らかにした。

筆者が行ったこれらの研究結果は、最新の観測技術を用いての王道の研究というよりかは、既知のデータから未知であることを探しだし、それに対して、観測

を行ったアイデア勝負の王道から外れた研究であったと言える。しかしながら、これら研究がベスタの物理的性質解明に一役買ったということは言うことができるかと思う。

## 謝辞

本研究は様々な方にサポートされて実行された。

標準星の研究を進めるにあたっては、藤原英明氏、片坐宏一氏、藤吉拓哉氏、T. G. Mueller氏、M. Cohen氏、R. Moreno氏、大坪貴文氏、関口朋彦氏、山村一誠氏にお世話になった。

3ミクロンの研究を進めるにあたっては村川幸史氏、石黒正晃氏、野中秀紀氏、高遠徳尚氏、Chris J. Davis氏、上野宗孝氏、廣井孝弘氏にお世話になった。V型小惑星の研究を進めるにあたっては、宮坂正大氏、三戸洋之氏、猿楽祐樹氏、小澤友彦氏、黒田大介氏、吉田道利氏、柳澤顕史氏、清水康広氏、長山省吾氏、戸田博之氏、沖田喜一氏、河合誠之氏、北里宏平氏、吉住千亜紀氏、西原説子氏、縫田明理氏、森真知子氏、関口朋彦氏、石黒正晃氏、阿部琢美氏、安部正真氏にお世話になった。

衝効果の研究を進めるにあたっては、宮坂正大氏、時政典孝氏、十亀昭人氏、M. A. Ibrahimov氏、吉田二美氏、尾崎忍夫氏、石黒正晃氏、安部正真氏、黒田大介氏にお世話になった。

過去の入手困難な文献検索と本原稿執筆と校正において、白井文彦氏には大変お世話になった。

査読者として、原稿を丁寧に読んでいただき、大変有益なコメントをくださった廣井孝弘氏に心より感謝いたします。

本研究はJAXAあかり赤外線天文衛星と国立天文台すばる望遠鏡によって実施された観測結果を使用した。英国合同天文センターと国立天文台との国際協力の枠組みによって英国UKIRT望遠鏡を使用させていただいた。また、宮坂天文台、東京大学木曾観測所、国立天文台岡山天体物理観測所、兵庫県立大学西はりま天文台、紀美野町みさと天文台、ハワイ大学天文学研究所、ウルグベク天文研究所マイダナク天文台の望遠鏡を使用して、観測が行われた。

本研究はJAXA宇宙科学研究所スペースプラズマ共同利用のサポートを受けている。

## 参考文献

- [1] Aspin, J. 1825, *A Familiar Treatise on Astronomy: Explaining the General Phenomena of Celestial Bodies* (London: Samuel Leigh).
- [2] Harrington, M.W., 1883, *Amer. J. Sci.* 26, 464.
- [3] Bobrovnikoff, N.T., 1929, *Lick Obs. bull.* 407, 18.
- [4] Lyot, B., 1934, *Bull. Astron.* 67, 3.
- [5] Stephenson, C.B., 1951, *AJ* 114, 500.
- [6] Gehrels, T., 1967, *AJ* 72, 929.
- [7] Hertz, H.G., 1968, *Science* 160, 299.
- [8] Allen, D.A., 1970, *Nature* 227, 158.
- [9] McCord, T. et al., 1970, *Science* 168, 1445.
- [10] Taylor, R.C., 1973, *AJ* 78, 1131.
- [11] Larson, H.P. & Fink, U., 1975, *Icarus* 26, 420.
- [12] Johnson, T.V. et al., 1975, *ApJ* 197, 527.
- [13] Worden, S.P. et al., 1977, *Icarus* 32, 450.
- [14] Conklin, E.K. et al., 1777, in: *Comets, asteroids, meteorites* (Toledo: University of Toledo), 261.
- [15] Blanco, C. & Catalano, S., 1979, *Icarus* 40, 359.
- [16] Degewij, J. et al., 1979, *Icarus* 40, 364.
- [17] Dickel, J.R., 1979, in *Asteroids*, ed. T. Gehrels (Tucson: University of Arizona Press), 212.
- [18] Williams, J.G., 1979, in *Asteroids*, ed. T. Gehrels (Tucson: University of Arizona Press), 1040.
- [19] Butterworth, P.S. et al., 1980, *Nature* 287, 701.
- [20] Matson, D.L., 1986, *Infrared Astronomical Satellite Asteroid and Comet Survey* (Pasadena: Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology).
- [21] Drummond, J.D. et al., 1988, *Icarus* 73, 1.
- [22] Johnston, K.J. et al., 1989, *AJ* 98, 335.
- [23] Zappalà, V. et al., 1990b, *AJ* 100, 2030.
- [24] Cruikshank, D.P. et al., 1991, *Icarus* 89, 1.
- [25] Dunham, D.W. et al., 1991, in: *Comets, asteroids, meteorites 1991* (Houston, Lunar and Planetary Institute), 54.
- [26] Binzel, R.P. & Xu S., 1993, *Science* 260, 186.
- [27] Mitchell, D.L. et al., 1996, *Icarus* 124, 113.
- [28] Dumas, C. & Hainaut, O.R., 2006, in *Workshop on Evolution of Igneous Asteroids: Focus on Vesta and the HED Meteorites*, ed. D. W. Mittlefehldt & J. J. Papike (Houston: Lunar and Planetary Institute), 7.
- [29] Thomas, P.C. et al., 1997, *Science* 277, 1492.
- [30] Müller, T.G. & Lagerros, J.S.V., 1998, *A&A* 338, 340.
- [31] Li, J.-Y. et al., 2010, *Icarus* 208, 238.
- [32] Li, J.-Y. et al., 2011, *Icarus* 216, 640.
- [33] Gundlach, B. & Blum, J., 2013, *Icarus* 223, 479.
- [34] Russell, C.T. et al., 2012, *Science* 336, 684.
- [35] Landolt, A.U., 1992, *AJ* 104, 340.
- [36] Müller, T.G. & Lagerros, J.S.V., 2002, *A&A* 381, 324.
- [37] Fujiwara, H. et al., *Private Comm.*
- [38] Yamamura, I. et al., 2010, [http://www.ir.isas.jaxa.jp/ASTRO-F/Observation/PSC/Public/RN/AKARI-FIS\\_BSC\\_V1\\_RN.pdf](http://www.ir.isas.jaxa.jp/ASTRO-F/Observation/PSC/Public/RN/AKARI-FIS_BSC_V1_RN.pdf).
- [39] Usui, F. et al., 2011, *PASJ* 63, 1117.
- [40] Usui, F. et al., 2014, *PASJ* 66, 56.
- [41] Müller, T.G. et al., 2013, *Exp. Astron.* 37, 253.
- [42] Lebofsky, L.A., 1980, *AJ*, 85, 573.
- [43] Feierberg, M.A. et al., 1985, *Icarus* 63, 183
- [44] Bell, J.F. et al., 1988, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. XIX*, 57.
- [45] Le MouËlic, S. et al., 2001, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. XXXII*, 1094.
- [46] Hasegawa, S. et al., 2003, *Geophys. Res. Lett.* 30, 2123
- [47] Hasegawa, S. et al., 2004, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. XXXV*, 1458.
- [48] Clark, R.N., 2009, *Science* 326, 562.
- [49] Pieters, C.M. et al., 2009, *Science* 326, 568.
- [50] Ichimura, A.S. et al., 2012, *EPSL* 345-348, 90.
- [51] De Sanctis M.C. et al., 2013, *Metrotit. Planet. Sci.* 48, 2166.
- [52] Clark, B.E., 2012, *Nature* 491, 45.
- [53] Marchi, S. et al., 2010, *ApJ* 721, L172.
- [54] Fu, R.R. et al., 2012, *Science* 338, 238.
- [55] McCord, T.B., 2012, *Nature* 491, 83.
- [56] Reddy, V. et al., 2012, *Icarus* 221, 544.
- [57] Hasegawa, S. et al., 2014a, *PASJ* 66, 53.
- [58] Warner, B.D. et al., 2009, *Icarus* 202, 134.
- [59] Pravec, P. et al., in *Asteroids III*, ed. W.F. Bottke, A. Cellino, P. Paolicchi, & R.P. Binzel (Tucson: University of Arizona Press), 113.
- [60] Salo, H., 1987, *Icarus* 70, 37.

- [61] Slivan, S.M. et al., 2008, *Icarus* 195, 226.
- [62] Kryszczyńska, A. et al., 2012, *A&A* 546, A72.
- [63] Kim, M.-J. et al., 2014, *AJ* 147, 56.
- [64] Marzari, F. et al., 1996, *A&A* 316, 248.
- [65] Nesvorný, D. et al., 2003 *ApJ* 591, 486.
- [66] Bottke, W.F. et al., 2005, *Icarus* 175, 111.
- [67] Carruba, V. et al., 2007, *A&A* 465, 315.
- [68] Nesvorný, D. et al., 2008, *Icarus* 193, 85.
- [69] Marchi, S. et al., 2012, *Science* 336, 690.
- [70] Seeliger, H., 1895, *Abh. Bayer. Acad. Wiss. Math. Naturwiss. Kl.* 18, 1.
- [71] Barabashev, N.P., 1922, *Astron. Nachr.* 217, 445.
- [72] O'Leary, B.T., 1967, *AJ* 149, 147.
- [73] Gehrels, T., 1956, *ApJ* 123, 331.
- [74] Muinonen, K. et al., 2002, in *Asteroids III*, ed. W.F. Bottke, A. Cellino, P. Paolicchi, & R.P. Binzel (Tucson: University of Arizona Press), 123.
- [75] Mishchenko, M.I. et al., 2006, *Appl. Opt.* 45, 4459.
- [76] Hasegawa, S. et al., 2014b, *PASJ* 66, 89.
- [77] Fornasier, S. et al., 2011, *A&A* 53, L9.
- [78] Li, J.-Y. et al., 2013, *Icarus* 226, 1252.
- [79] Hapke, B., 2002, *Icarus* 157, 523.
- [80] Houston, W.N. et al., 1974, *Proc. fifth Lunar Planet. Sci. conf. Suppl.5, Geochim. Cosmochim. Acta* 3, 2361.

## 「2013年度最優秀研究者賞受賞記念論文」

ダストから微惑星へ：  
衝突密度進化と急速合体成長奥住 聡<sup>1</sup>

2014年9月16日受領，2014年10月20日受理。

(要旨) ダスト微粒子から微惑星が形成される過程は多くの謎に包まれている。ダストの合体成長を阻む最大の困難の1つは、ダストが原始惑星系円盤の中で成長するよりも速く中心星の方向に落下してしまうという、いわゆる「ダスト落下問題」である。筆者らは、近年の数値衝突実験によって明らかになってきた「ダストの衝突合体に伴う低密度化」を新たに考慮し、ダスト落下問題の再検討を行った。その結果、低密度化に伴うダストの空気力学的特性の変化がダストの急速な成長をもたらし、ダストが大規模な落下を経験せずに微惑星サイズにまで成長することが可能になることを明らかにした。本稿ではこの研究成果についてできるだけ丁寧に解説し、その適用限界についても議論する。

## 1. 導入

微惑星の形成は惑星形成の第一歩である。惑星形成の舞台となる原始惑星系円盤は、分子雲コアからの星の形成とともに誕生する。誕生直後の円盤において、水素・ヘリウムを除く物質の大部分はマイクロサイズないしサブマイクロサイズの固体微粒子(ダスト微粒子<sup>\*1</sup>)として存在していると考えられており、これらが惑星形成の出発物質となる。微惑星とは、これら固体微粒子が何らかの集積過程を経て、1–100 kmの大きさの固体天体となったものを指す。このような大きさにまで成長すると、固体天体は互いの重力相互作用によって合体できるようになる。標準的な惑星形成モデルでは、微惑星が重力的な衝突合体を繰り返すことで、より大きな固体天体である原始惑星が形成されると考えられている。

ところが、微惑星の形成は力学的には非常に困難なプロセスである。微惑星形成の理論モデルはこれまでにさまざまなものが提案されている(例えば文献[1]の第1節を参照)。最もシンプルなモデルは、ダスト粒子やその集積物(アグリゲイト)が円盤の中で付着成長

をひたすら繰り返し、微惑星サイズの固体天体を形成すると考えるもの(直接合体成長説)である。しかしながら、アグリゲイトがどの程度の大きさまで大規模な衝突破壊を免れて合体成長できるのかは、ダストの組成や円盤ガスの乱流状態にも依存する非常に微妙な問題であり、「衝突破壊問題」と呼ばれている(例えば[1, 2]を参照)。加えて、ある程度の大きさをもつダストは、ガス円盤の中で速い速度で中心星の方向に移動してしまうことが知られている[3]。この運動はダストの「落下」と呼ばれ、ダストが成長するよりも速く落下してしまうことを「ダスト落下問題」と呼ぶ。特にダスト落下問題は、(微)惑星形成論における長年の未解決問題の1つであり、この問題を回避するために多くの微惑星形成モデルが提唱されてきたと言っている。

本稿では、ダストの衝突合体に関する最新の描像に基づいて、微惑星形成に対するダスト落下問題の再検討を行う。近年、ダストアグリゲイトの衝突過程の詳細が、実験や数値シミュレーションによって急速に明らかにされてきている。とりわけ数値シミュレーションは、衝突合体を繰り返すアグリゲイトの内部密度進化に対する我々の理解を飛躍的に発展させた。最も驚

1. 東京工業大学 大学院理工学研究科  
okuzumi@geo.titech.ac.jp

\*1. 本稿では、微惑星より小さな固体物体を総称して「ダスト」と呼ぶことにする。また、「ダスト」が微粒子の集積物であることを強調する場合は、「アグリゲイト」と呼ぶことにする。

くべき予言の1つは、ダストは微惑星へと至る衝突合体進化の途中段階で極めて低い内部密度をもつアグリゲイトへと進化するというものである。筆者は、このような内部密度進化を組み込んだ微惑星形成シミュレーションに取り組み、低密度化するアグリゲイトがダスト落下の壁を乗り越えて急速に微惑星サイズへと成長することを明らかにした[4]。本稿ではこの研究成果について、研究背景を含めて解説することにする。

本稿は日本惑星科学会2013年度最優秀研究者賞の受賞記念論文として執筆させていただいたものである。受賞対象には本稿で紹介する研究に加えて、微小なダストの成長に対する静電障壁についての研究(文献[5]など)、乱流円盤中における惑星形成についての研究(文献[6]など)が含まれている。本稿ではこれらも含めて広く(浅く)紹介するべきかどうか迷ったが、これらについてはすでに日本語の紹介記事[1, 7]を書かせていただいていることもあり、あえてダスト落下問題に焦点を絞ってそのぶんと寧に解説することにした。本稿の内容と筆者の他の研究内容とのリンケージについては、本稿の最後の節で簡単に言及する。

## 2. ダスト落下問題

まずこの節では、微惑星形成における長年の問題である「ダスト落下問題」とは一体どのようなものなのかを説明する。2.1節では、原始惑星系円盤におけるダストの落下運動に関する基本事項についてまとめる(詳しい読者は読み飛ばしても良い)。2.2節では、ダストの落下と成長を同時に考慮した理論計算の例を紹介する。

### 2.1 円盤中でのダストの落下

ダストの落下は、ダストと円盤ガスの公転速度差によって引き起こされる現象である[3](図1上図)。円盤ガスは自身の圧力の影響によって、ケプラー速度に比べてわずかに遅い速度で公転する。一方、ダストのような固体粒子は、(ガス抵抗さえなければ)ケプラー速度で公転しようとする。このため、ダストをガス円盤の中に置くと、ダストはガスに比べてより速い速度で公転しようとする。つまりダストには、公転する方向と逆向きの「向かい風」が吹くことになる。この向かい風はダストに対して、公転方向と逆向きの摩擦抵抗

力を与える。これによって、ダストは公転しながら少しずつ角運動量を失い、中心星の方向に向かって落下して行くのである。

落下速度はダストの大きさ、より正確には円盤内の制動時間(stopping time)に依存する。制動時間とは、円盤ガスの空気抵抗によってダストの運動が終端運動に到達するまでの時間であり、ガス抵抗がダストの運動にどの程度の影響を与えるかを表す(制動時間が短いほどガス抵抗の影響は大きい)。一般に、ダストのサイズが大きくなるにつれて制動時間は長くなる。例えば代表的なガス円盤である太陽系最小質量円盤モデル[8]を仮定すると、地球軌道でミクロンサイズの微粒子の制動時間は約1秒、メートルサイズのコンパクトな巨礫の制動時間は約1年、キロメートルサイズの微惑星の制動時間は約1000年といったところである。具体的に制動時間がダストのサイズや内部密度にどのように依存するかはすぐあとでもう少し詳しく述べる。

落下速度は、ダストの制動時間がある一定の範囲内にあるときに限って大きな値をとる。図1下図は、ダストの落下速度  $v_{\text{drift}}$  を制動時間  $t_{\text{stop}}$  の関数としてプロットしたものである。図が表すように、落下速度が最大になるのは、制動時間がその軌道半径でのケプラー角速度  $\Omega$  の逆数程度、つまりそこでの公転周期程度になったときである。 $t_{\text{stop}} \ll \Omega^{-1}$  の場合、ガス抵抗が強すぎるため、ダストはガス円盤に対してほんの小さな相対速度しか持たなくなってしまう。逆に  $t_{\text{stop}} \gg \Omega^{-1}$  の場合、ガス抵抗が小さすぎるためにダストは向かい風からの影響をほとんど受けない。ガス円盤に対してある程度の相対速度を持つことが許され、かつ向かい風から受ける影響もある程度大きいような中途半端な場合( $t_{\text{stop}} \sim \Omega^{-1}$ )に限って、ダスト落下は素早く起こるのである。落下速度の最大値は典型的にはおよそ  $50 \text{ m s}^{-1}$ 、言い換えれば1 AUの距離を約100年で横切る速さである(この値は円盤モデルによって0.5-2倍程度は変わりうる)。例えばメートルサイズのコンパクトなダストは公転周期程度の制動時間を持つので、ほぼ最大の落下速度を持つことになる。

次項へ進む前に、制動時間とダストのサイズ・密度との関係(いわゆる抵抗則)についても、本稿の内容に限って説明しておく。物体の抵抗則には、そのサイズ(球であれば半径)と周囲のガスの平均自由行程の大小に応じて、2通りのものがある<sup>\*2</sup>(図2)。

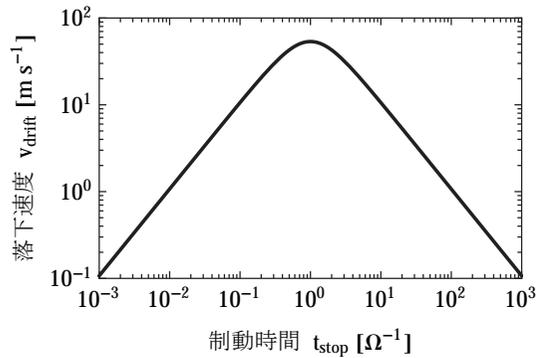
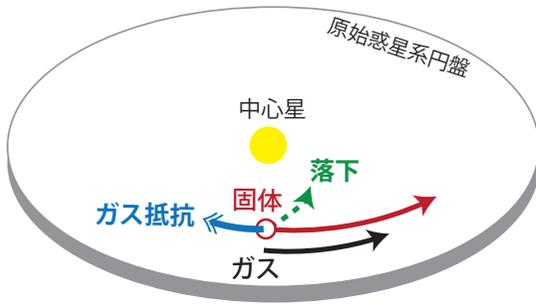
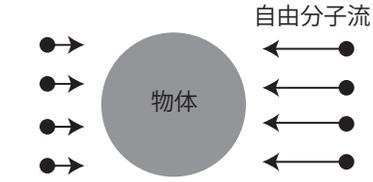


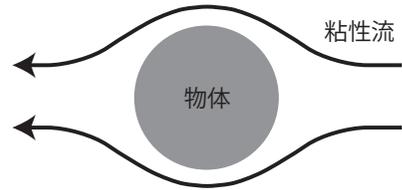
図1：上図：原始惑星系円盤におけるダストの中心星方向の落下を表す概念図。下図：ダストの落下速度 $v_{\text{drift}}$ をダストの制動時間 $t_{\text{stop}}$ の関数として表したもの。制動時間はケプラー角速度の逆数 $\Omega^{-1}$ で規格化してある。

(a) エプスタイン抵抗 ( $a < \lambda_{\text{mfp}}$ )



制動時間  $\propto$  内部密度  $\times$  半径

(b) ストークス抵抗 ( $a >> \lambda_{\text{mfp}}$ )



制動時間  $\propto$  内部密度  $\times$  (半径)<sup>2</sup>

図2：物体にかかるガスの抵抗を表す概念図。ガス抵抗は、(a) 物体のサイズ $a$ がガス分子の平均自由行程 $\lambda_{\text{mfp}}$ に比べて小さいときはエプスタイン則に従い、(b) 逆の場合はストークス抵抗に従う。

(a) **エプスタイン則**：物体のサイズがガスの平均自由行程より十分に小さいうちは、抵抗を与えるガスの流れは自由分子流としてふるまう。このとき、制動時間は内部密度と半径に比例する。

(b) **ストークス則**：物体のサイズがガスの平均自由行程より十分に大きくなると、ガスの流れは粘性流体としてふるまうようになる。このとき、制動時間は内部密度、およびサイズの2乗に比例する。

太陽系最小質量円盤モデルでは、ガスの平均自由行程は1 AUで約1 cm, 5 AUで約1 mである。

## 2.2 成長と落下の競合

ダスト落下問題とは、微粒子と微惑星の中間的なサイズをもつダストが、成長するよりも速く落下してし

まうことをいう。ミクロンサイズ程度の微粒子は、非常に小さい落下速度しか持たないため、ほとんど落下を経験することなく成長することができる。ところが、ダストが巨視的なサイズへと成長していくと、落下速度は次第に無視できなくなってくる。もしある段階で落下速度が成長速度を上回ってしまうと、ダストはその段階で中心星の方向に落ち込んでしまうことになる。成長と落下を同時に考慮した理論計算は従来から行われており、ダストは1-10 cm程度にまで成長したところで落下することが示されている[9, 10]。ただし従来の計算では、ダストは固体の物質密度( $\sim 1 \text{ g cm}^{-3}$ )と同程度の内部密度をもつ、比較的コンパクトなアグリゲイトとして扱われていた。このことに注意しておこう。

落下現象がコンパクトなダストの成長をどのように阻むかを、著者が行った円盤ダストの進化シミュレーション[4]の結果を用いて具体的に見てみよう(図3)。このシミュレーションでは、円盤内の異なる軌道半径

※2. ここでは簡単のため、ダストまわりのガス流のレイノルズ数が1より小さいことを仮定している。レイノルズ数が1より十分に大きくなると、抵抗則はストークス則からニュートン則に切り替わる。ニュートン則が落下問題に対して大きな影響を与えないことについては筆者の論文[4]で議論している。

コンパクト成長モデル

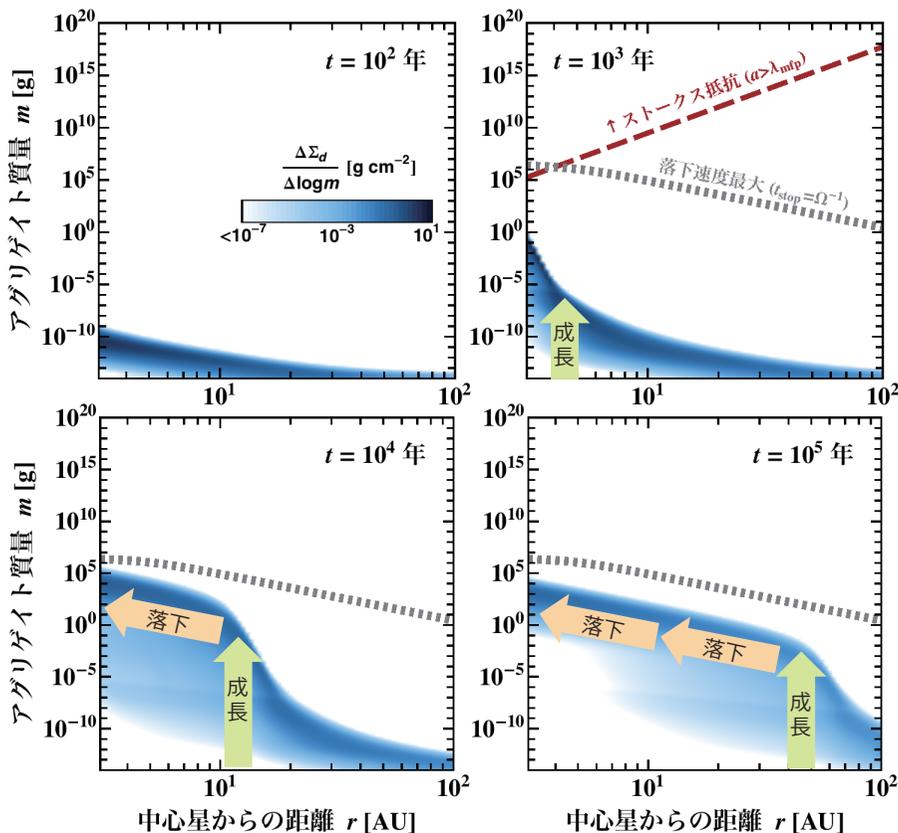


図3：内部密度一定 ( $1 \text{ g cm}^{-3}$ ) で進化するダストの成長・落下シミュレーションの結果。4つのパネルは、ダストが円盤内で成長を開始してから時刻  $t (= 10^2, 10^3, 10^4, 10^5 \text{ 年})$  だけ経過した後のダストの空間・サイズ分布  $\Delta\Sigma_d/\Delta\log m$  を示す。ここで  $\Delta\Sigma_d/\Delta\log m$  は、各軌道半径における、アグリゲイトの質量1桁あたりのダスト面密度である (単位は  $\text{g cm}^{-2}$ )。色と数値の対応は左上パネルに記している。右上のパネルにおいて、破線はダスト半径がガスの平均自由行程と等しくなるときのダスト質量を表し、点線は落下速度が最大になるときのダスト質量を表す。文献[4]の図2を改変。

に位置するダストの集団を、軌道半径ごとのサイズ分布として表現している。各場所であるダストが他のダストと衝突する頻度は、他のダストの個数密度、相対速度、衝突断面積の積で与えられる。衝突結果(完全合体か、それとも破片の生成を伴うか、など)をあらかじめモデル化しておけば、すべての衝突ペアに対する衝突頻度と衝突結果を足し上げることによって、衝突に伴うダストサイズ分布の時間進化が計算できる。また、ダストの落下速度は軌道半径とダストサイズの関数としてすでにわかっているので、落下に伴うダスト空間分布の時間進化も同時かつ簡単に計算することができる。このような統計的手法は、円盤におけるダストや微惑星の衝突進化計算で広く用いられている。

特にここで紹介するシミュレーションでは、ダストは衝突時に破片を出すことなく完全に合体すると仮定している。冒頭で述べたように、ダストが衝突破壊を経験せずに成長できるかどうかは微惑星形成における大問題の1つである。ここであえて完全合体を仮定するのは、衝突破壊の問題とは独立にダスト落下問題というものが存在することを強調するためと理解していただきたい。ガス円盤のモデルとしては前述の太陽系最小質量円盤モデルを仮定している。また、ダストは約  $1 \text{ g cm}^{-3}$  の内部密度を保ったまま成長するという、従来の一般的な仮定を採用している。

図3は、シミュレーションによって得られた、ダストの空間・サイズ分布の時間進化を示したものである。

初期時刻にはダストは円盤全体で0.1ミクロンのサイズをもってたと仮定している(初期サイズに関する仮定はここでは重要でない)。ダストの成長は一般に中心星に近い領域ほど速いので、大きなダストの形成はまず円盤の内側のほうから始まっていく。ダストがある程度の大きさにまで成長すると、落下速度は成長速度と同程度にまで上昇する。その結果、ダストはその場にとどまって成長することができなくなり、中心星の方向に落下してまう。落下するダストの制動時間はおよそ $0.1 \Omega^{-1}$ であり、ダスト質量はおよそ1 g、半径はおよそ1 cmである。さらに時間が経過しても、より遠方のダストが同様の成長と落下を経験するだけであり、いつまで経っても微惑星サイズにまで成長するダストが現れることはない。ここで示したモデル計算では、中心星から1 AU以遠の全領域で成長が落下に負けてしまう。

このような結果に終わってしまうのは、ダストの運動を支配するガスの抵抗則のふるまいが大きく影響している。図3の右上のパネルにおいて、ダストの半径がガスの平均自由行程と一致するときのダスト質量を破線で示した。コンパクトなダストの進化は常にこの線の下方面、すなわちガス抵抗がエプスタイン則に支配されるようなサイズ領域で起こっていることがわかる。比較のため、落下速度が最大になるときのダスト質量を点線で示してある。実は、エプスタイン抵抗のもとでの成長の時間スケールは円盤モデルにあまり依らずに落下の時間スケールを上回ってしまうことが、解析的な見積もりによって示されている<sup>\*3</sup>[10]。円盤モデルにあまり依らないという点が、ダスト落下問題を難しくしている。

では、落下速度が小さいうちに、ダストのサイズがガスの平均自由行程を上回るような状況は、どのようにすれば実現されるだろうか？ ひとつの重要なパラメータはダストの内部密度である。上で紹介したシミュレーションでは、内部密度が物質密度に近い、コン

\*3. さらに言うと、ダストのモデルの詳細にも依存しないことが示されている[10, 11]。ダストの衝突頻度(成長時間の逆数)は、ダストの相対速度、断面積、数密度のそれぞれに比例する。相対速度は一般に制動時間の関数である。一方、ダストがみな一様に成長すると仮定すると、数密度はダストの質量に反比例するので、断面積と数密度の積は(断面積)/(質量) $\propto 1/[(内部密度) \times (半径)]$ に比例する。これはエプスタイン則のもとでは、制動時間に反比例する量である(図2a参照)。このように、衝突頻度は全体としてダストの制動時間のみの関数となり、それ以外のダストのパラメータには依らなくなる。

パクトなダストを仮定していた。制動時間は内部密度に比例するので(2.1節)、より低密度のダストはより大きなサイズにまで成長しないと落下速度が上昇しない。したがって、もしダストの内部密度が非常に低いのであれば、ダストは大きな落下速度を獲得する前に、エプスタイン則に支配されるサイズ領域を突破することができるかもしれない。ダストが円盤で実際に低い内部密度を持ちうることは3節で、エプスタイン則を突破した先では実はダストの急速な成長が起こることは4節で見ることにする。

### 3. ダストの内部密度進化

前節の最後で述べたように、原始惑星系円盤でダストの内部密度がどのように進化するかを明らかにすることは、ダスト落下問題の再検討をする上で非常に重要な課題である。この節では、特に衝突合体に伴う密度進化に焦点を当て、近年の研究で明らかになってきたダスト密度の描像を筆者の研究も交えながら紹介していく。

#### 3.1 フラクタル成長と衝突圧縮

衝突合体にともなうアグリゲイトの密度進化は、その衝突エネルギーに応じて2種類のものに分けられる。図4はこれを概念的に表したものである。図4(a)のように、2つのアグリゲイトがある相対速度をもって衝突したとしよう。衝突エネルギーが小さい極限(図4(b))では、合体後のアグリゲイトは合体前の2体がそれぞれの先端で触れ合ったような形をもつ。このような衝突変形を伴わないような合体では、接触した2体のあいだに大きな空隙が生じる(その体積は、衝突前の2体のうち小さいほうの体積に匹敵する)。このため、合体後のアグリゲイトは、合体前の2体よりも低い平均内部密度を持つようになる。このような衝突合体が繰り返されると、アグリゲイトの内部密度は成長とともに急激に減少していく。特に、衝突する2体のサイズ比が常に1対1の場合、アグリゲイトの内部密度は質量の平方根に反比例して減少することが知られている(例えば文献[12])。筆者らの数値実験によると、繰り返し衝突する2体の体積比が1対100程度であっても、ほぼ同様の質量-密度関係が実現される[13]。形成されるアグリゲイトはフラクタルな(自己相似的

な)構造を持ち、このためこのような成長は「フラクタル成長」と呼ばれている<sup>※4</sup>。原始惑星系円盤では、ダストの合体成長はこのようなフラクタル成長から始まる。なぜなら、微小なダストの衝突エネルギーは非常に小さい(相対速度も質量も小さい)からである。

フラクタル成長が進行し、衝突エネルギーが大きくなってくると、合体の際に内部の圧縮が起こるようになる(図4(c))。低密度化したアグリゲイトがどのような衝突圧縮を経験するかについては、近年のN体数値シミュレーションによって詳しく調べられてきた。ここで言うN体シミュレーションとは、アグリゲイトの全構成粒子を付着力を持つ弾性体球[14, 15]として表現し、それらの運動を直接解くことによってアグリゲイトの衝突破壊や圧縮を調べるものである(微粒子の接触力学モデルについては、和田や陶山らによる過去の遊星人記事[2, 12]で詳しく解説されているので参照されたい)。このようなシミュレーションによって明らかになってきたことは、低密度アグリゲイトの衝突圧縮が驚くべきほどに不効率であることである。和田ら[16]は、等しいサイズフラクタルなアグリゲイト2体を衝突合体させ、合体後のアグリゲイトの内部密度が衝突エネルギーにどのように依存するかを調べた。その結果、合体後のアグリゲイトの内部密度が、その質量で決まるある値よりも大きくならないことを見いだした。具体的には、構成粒子の質量および密度をそれぞれ $m_0, \rho_0$ 、アグリゲイトの質量および平均密度を $m, \rho$ としたとき、 $\rho$ が $\rho_0(m/m_0)^{-1/5}$ より大きくならない<sup>※5</sup>ことがわかったのである。このことが衝突圧縮を繰り返し経験するアグリゲイトに対しても成り立つことは、陶山ら[12, 17]によって示されている。

### 3.2 円盤ダストの超低密度化

以上の最新の密度進化モデルを、原始惑星系円盤でのダスト成長に適用しよう。驚くべきことに、ダストは微惑星に至る途中段階で極めて低い内部密度をもつアグリゲイトとして成長することがわかる。図5は、ダストが円盤内で成長とともにどのような衝突密度進化をたどるかを、ひとつの具体例で示したものである。ここでは簡単のため、同一サイズのダストどうしの衝

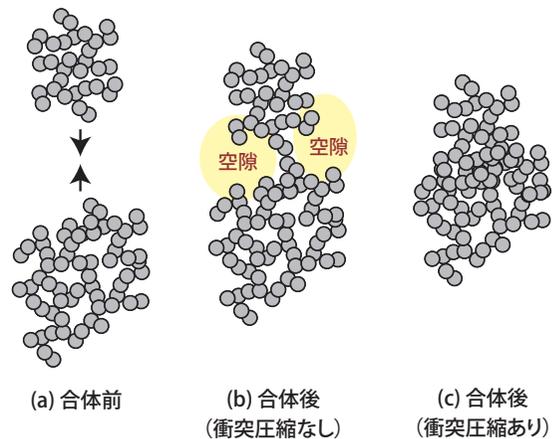


図4: アグリゲイトの衝突密度進化を表す概念図。衝突エネルギーが小さいと、合体後のアグリゲイトには大きな空隙が付加され、平均内部密度は合体前に比べて下がる(b)。衝突エネルギーが大きくなると、アグリゲイトの変形とそれにより圧縮が起こる(c)。文献[4]の図1を改変。

突が成長を支配する(ダストが狭いサイズ分布を保ったまま成長する)と仮定し、また中心星から5 AUの距離で落下することなく成長するとしている。合体に伴う密度進化の計算には、陶山と筆者らが導いた、N体計算に基づく密度進化公式[18]を用いている。この公式は、内部密度の変化を、衝突エネルギーと圧縮に要するエネルギーの比などの関数として与えるものである。図5の例では圧縮強度を氷の物性値から計算し、衝突エネルギーは円盤内でのダストの運動に基づいて算出している。

図5からわかるように、衝突圧縮を伴わないフラクタル成長は、アグリゲイトの質量が $10^{-5}$ g程度になるまで継続する。フラクタル成長が終わる頃には、アグリゲイトの内部密度はおよそ $10^{-5}$ g cm<sup>-3</sup>という非常に低い値まで低下する(このときのサイズはおよそ1 cmである)。これより大きいサイズでは、衝突圧縮が効き始めて密度低下は起こらなくなる。しかし、前述のとおり衝突圧縮は非常に不効率な過程であるため、内部密度は増大に転じることもなく $10^{-5}$ g cm<sup>-3</sup>程度の値が維持される。この結果、アグリゲイトは極めて低い内部密度を維持したまま、落下速度が最大となる段階( $t_{\text{stop}} = \Omega^{-1}$ となる段階)を迎えることがわかる。ここ

※4. 密度が質量の平方根に反比例することは、そのアグリゲイトのフラクタル次元が2であることを意味する。フラクタル次元の定義については文献[16]などを参照。

※5. 最大衝突圧縮を経験したアグリゲイトは、自己相似構造をもち、そのフラクタル次元は2.5であることがわかっている[16]。本文で言及している質量-密度関係式は、アグリゲイトのフラクタル次元が2.5であることからただちに導かれる。脚注※4も参照。

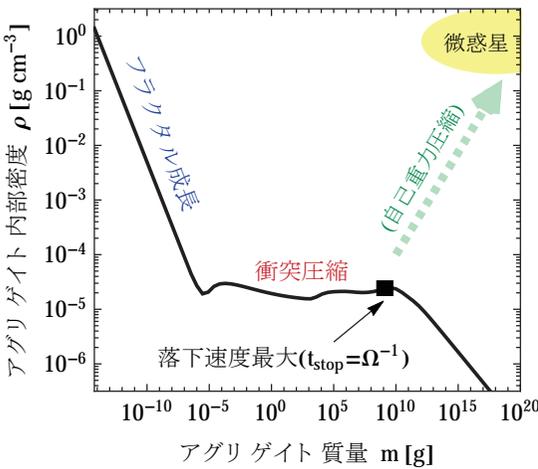


図5：原始惑星系円盤における、衝突合体に伴うダストの内部密度進化の例(仮定については本文を参照)。はじめは衝突圧縮を伴わないフラクタル成長を通じて低密度化し、衝突圧縮が始まると内部密度は下がり止まる。円盤での落下速度が最大になる段階(四角印)でも $10^5 \text{ g cm}^{-3}$ 程度の内部密度が維持される。さらにダストが成長すると、実際にはダスト自身の自重による圧縮が衝突圧縮よりも重要となる。このため、実際のダスト内部密度は点線矢印のように進化する[19, 20]。

で重要なことは、落下速度が最大になった段階でのアグリゲイトのサイズはもはやメートルサイズではなく、それををはるかに上回っていることである。具体的には、この段階でのアグリゲイトの質量は $10^{10} \text{ g}$ 程度、内部密度は $10^5 \text{ g cm}^{-3}$ 程度であり、したがって半径は1 kmにも及ぶ。このようにアグリゲイトが巨大化するまで落下速度が上がらないのは、ひとえに低密度のアグリゲイトの制動時間がなかなか大きくならない(制動時間は内部密度に比例する)からに他ならない。次の節で見るように、この結果はアグリゲイトの成長と落下の競合の描像を大きく変化させる。

図5に示した密度進化曲線は、アグリゲイトが最大の落下速度を経験したあとの段階では現実的でない。ここで用いた密度進化公式は、衝突圧縮の効果のみを記述している。しかし現実には、アグリゲイトの圧縮は衝突圧縮だけでなく、円盤ガスから受ける動圧(向かい風の圧力)やアグリゲイトの自己重力によっても起こりうる。これら非衝突の圧縮の効果は、片岡と筆者らによる最近の研究[19, 20]で調べられたところである。ガスの動圧を考慮すると、アグリゲイトの内部密度は $10^4 \text{ g cm}^{-3}$ 程度まで上がりうる。さらに自重による圧縮まで考慮すると、最大落下速度を経験したあ

とくらの段階から、内部密度は急激な上昇を始める。その結果、微惑星程度の質量をもつアグリゲイトは、太陽系の小惑星や彗星と矛盾のない大きさの内部密度を持つようになる(図5の点線矢印)。ただし、これらの非衝突圧縮はダストの落下問題に対しては大きな影響を与えない。

#### 4. 密度進化するダストの急速成長

いよいよ本節では、3節で述べたダストの密度進化の最新の描像に基づいて、2節で説明したダスト落下問題の再検討を行うことにする。

筆者がこれまでに取り組んできた、ダストの合体成長・落下・内部密度進化を考慮した数値シミュレーション[4]を紹介する。2節で紹介したシミュレーションは、衝突合体および落下にともなうダストのサイズ分布の進化を統計的に計算したものであった。ここでは新たに、 $N$ 体計算から導かれているアグリゲイトの密度進化公式[18]を用いて、合体によるダストの内部密度変化も計算する。密度進化計算に必要な衝突エネルギーは、衝突する2体の円盤内での運動速度差から計算できる。このようにしてダストの成長・落下・内部密度進化の3点を同時かつ無矛盾に追跡するようなシミュレーションは、筆者らのグループが世界に先駆けて行ったものである<sup>\*6</sup>。技術的な話になるが、ダストを記述する新たな変数(いまの場合、内部密度)を安直に導入して統計シミュレーションを行うと、計算コストが大幅に増大してしまう。筆者は過去の研究[13]において、統計シミュレーション上で計算コストをうまく抑えながら内部密度進化を追跡する手法<sup>\*7</sup>を開発しており、ここで紹介するシミュレーションでもこの手法を採用した。

結果を見てみよう。図6は、内部密度進化を考慮したシミュレーションにおけるダストのサイズ・空間分布の進化を示している。ここでは内部密度進化は示していないが、例えば中心星から5 AUの距離であれば密度進化は図5のものとはほぼ同じである。図6を見ると、

<sup>\*6</sup> 内部密度進化を追跡せずに一定の低い内部密度を仮定するようなシミュレーションは、田中らの過去の日本語記事[21]で紹介されている。彼らはすでに、低密度のダストがより急速に成長することを指摘している。

<sup>\*7</sup> 具体的には、各サイズのアグリゲイトの内部密度分布は狭いと仮定し、各サイズに対する平均内部密度のみを追跡している。この手法の妥当性は筆者の過去の研究[13]で確認してある。

内部密度進化モデル

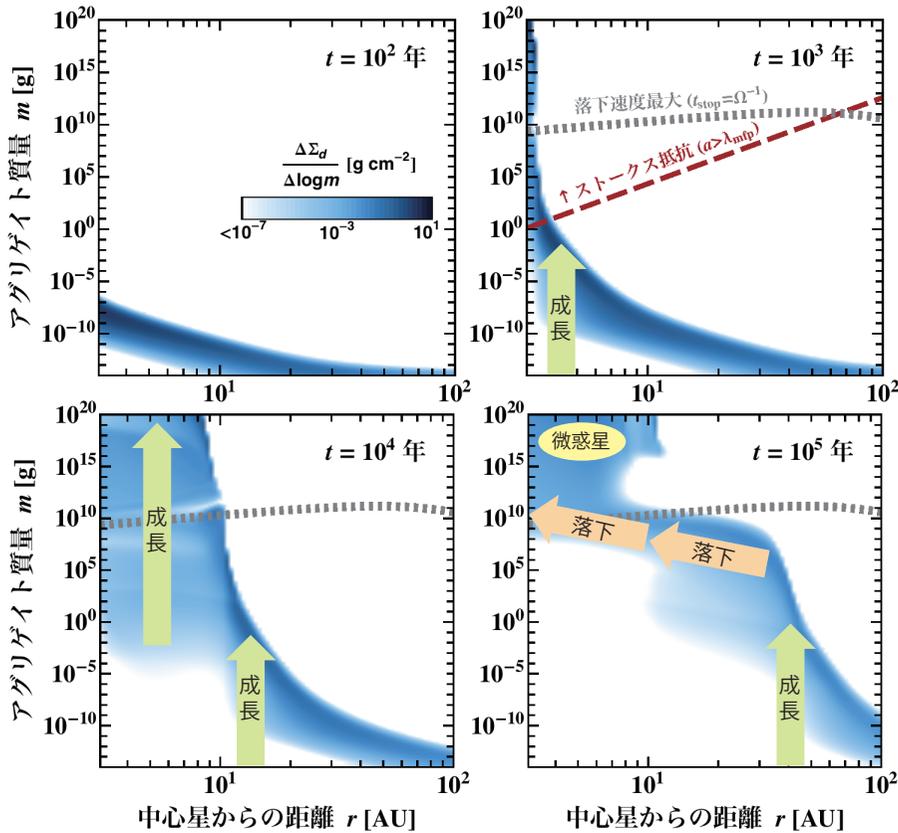


図6：内部密度進化を考慮したダストの成長・落下シミュレーションの結果。図の見方については図3のキャプションを参照。文献[4]の図5を改変。

中心星から10 AU以内の距離でダストが大規模な落下を経験することなく、微惑星程度の質量をもつ天体へと成長しているのがわかる。5 AUでのダストのサイズ進化を詳しく見てみると、約2200年の時間をかけて質量 $10^3$  g程度の巨視的アグリゲイトが形成され、そこから約100年という短時間で質量 $10^{15}$  g程度の微惑星サイズ天体が形成されている。一方、10 AUより遠方にあるダストの成長は、3節でみたコンパクトダストの成長と定性的に同じである。ある段階までは成長するものの、やがて落下速度が成長速度を上回って円盤のより内側のほうへ落下する。落下してくるダストの一部はすでに形成されている微惑星サイズ天体に捕獲され、残りはさらに中心星に近い領域へ落ち込んでいく。

低密度化したダストはなぜ落下の壁を乗り越えて成

長できたのだろうか。これはすでに示唆したとおり、低密度ダストが大きな落下速度を持つ前に、ガスの平均自由行程よりも大きなサイズを獲得したことによる。図6の右上のパネルにおいて、落下速度が最大になるときのダスト質量(点線)と、ダストの半径がガスの平均自由行程と一致するダスト質量(破線)を示してある。図3とは異なり、ここではダストの内部密度が $10^5$  g  $\text{cm}^{-3}$ であると仮定して線を引いてある。10 AUより内側の領域では、ダストが最大落下速度を獲得するよりもはるかに早い段階で平均自由行程以上のサイズを獲得しているのがわかる。つまり、このような領域では、最大落下速度をもつダストはストークス抵抗則に従って運動しているのである。実は、ストークス則のもとでのダストの成長速度を見積もってみると、ダストの半径が平均自由行程よりも50倍以上大きければ、

成長速度が最大落下速度を上回ることが示される[4]. この結果には、ストークス則のもとでの制動時間がエプスタイン則のもとでのそれに比べてより急激なダストサイズ依存性を持つことが効いている<sup>※8</sup>.

ダストの急速成長が起こる領域は、円盤の質量(ガス密度)にも依存する. 具体的には、ダスト/ガス質量比を固定したまま円盤の質量を大きくすると、ダストの急速成長が起こる領域はより遠方まで広がる. これは、ガスが高密度になると平均自由行程が短くなり、より小さなダストもストークス抵抗のもとで運動ようになるからである. 例えば、太陽系最小質量円盤より10倍重い円盤を仮定してシミュレーションを行うと、中心星から30 AUの距離であっても微惑星サイズにまで成長するダストが出現することがわかる.

## 5. まとめと議論

本稿では、微惑星形成における最重要未解決問題の1つであるダストの中心星方向への落下に焦点を当て、ダストの内部密度進化がこの描像をどのように変えるかを見てきた. ダストの低密度化は、ダストの運動を支配するガス抵抗則の変化をもたらし、これによってダストは急速な合体成長を経験する. この急速成長のおかげで、円盤の10 AU程度以内の領域ではダストは落下の壁を乗り越えて微惑星サイズにまで成長することが筆者らの数値シミュレーションによって明らかになった. ダストが微惑星に至るまで連続的に成長するというシンプルな仮定を維持し、なおかつガス円盤のモデルに修正を加えることなく、微惑星形成に対するダスト落下問題を正面から突破できることを示した意義は非常に大きい.

本稿で紹介したシミュレーションでは、ダスト落下問題に焦点を絞るため、アグリゲイトの衝突破壊を完全に無視した. このため、我々の微惑星形成モデルが適用できるのは、アグリゲイトが少なくとも大規模な破壊を経験せずに成長できるような状況に限られる.

本稿を閉じるに当たり、その適用限界について明確にしておこう. まず、アグリゲイトの衝突に関するこれまでの室内および数値実験の結果を総合すると、岩石質のダストアグリゲイトが大規模に壊れることなく微惑星サイズにまで合体成長することは非常に難しいと考えられる[2, 22, 23]. したがって現状では、本稿の微惑星形成の描像は、岩石微惑星の形成には適用できない可能性が高い. 一方、氷の微粒子あるいは氷マンテルを持つ微粒子で構成されたアグリゲイトは、より高い破壊強度を持ち、円盤の中で破壊を免れて成長し続けられることが示唆されている[2, 23]. これが真実であれば、我々のシミュレーション結果は氷微惑星の形成に対しては適用可能であると結論づけることができる. ただし、氷の昇華が起こるスノーラインの近くでは、焼結による氷アグリゲイトの分裂が起こることが城野によって指摘されている[24]. そのような領域では、氷微惑星形成の描像は我々の予言するものと大いに異なるであろうことには注意しなければならない.

ダストの大規模な破壊が実際に起こるかどうかは、それらの衝突速度、すなわち円盤中でのダストの運動状態にも依存する. 衝突速度の駆動源の1つは円盤ガスの乱流運動であり、円盤の乱流状態によってはダストの衝突速度は非常に大きなものになる. 原始惑星系円盤における代表的な乱流の一種である磁気流体力学的乱流(磁気乱流)を例にとると、ガスの電離度が高く磁気乱流が活発に生成される領域では、氷のアグリゲイトであっても大規模な破壊を経験しうる[1]. 幸い、惑星形成領域である約10 AU以内の領域では、ガスの電離度は円盤表層部でのみ高く、赤道面付近におけるガスの運動状態は比較的穏やかであると考えられている. しかしながら、磁気乱流の強度は円盤を貫く磁場の強さにも依存し、磁場の強さによっては磁気乱流がダストの成長を妨げることが筆者らの理論計算によって示されている[6]. 円盤を貫く磁場の強さは理論的にも観測的にもあまり制約がついていないため、今後のさらなる研究が求められる.

内部密度の低下はダストの成長をいつでも促進するというわけではない. 低密度のアグリゲイトはコンパクトなものに比べてより低い破壊強度をもつ[2, 23, 25]. また、ダストのフラクタルな成長は円盤ガス中でのダストの帯電の影響で著しく遅れることが著者のこれまでの研究によって示されている[5, 7]. 円盤ガ

※8. 直観的ではないが、脚注※3でおこなった議論を繰り返すと説明はできる. 脚注※3で述べたように、衝突頻度は一般に(衝突速度)/(内部密度)×(半径)に比例し、また衝突速度は制動時間の関数である. ストークス則では、(制動時間)∝(内部密度)×(半径)<sup>2</sup>であるから(図2b参照)、(内部密度)×(半径)∝(制動時間)/(半径)と書くことができる. したがって、衝突頻度は制動時間依存性に加えて半径に比例する形になり、半径が大きくなればなるほどダストの成長時間は短くなる.

スのように弱く電離したガスの中では、ダストは負に偏って帯電する傾向にあるのだが、フラクタルダストは相対速度が小さい(制動時間が短い)ために静電反発の影響をより大きく受けるのである。著者の見積もりでは、静電反発によるフラクタル成長の遅れは100万年前後である[26]。もし成長の遅れがこれよりも長いようなことがあると、有限の寿命(数百万年)をもつ原始惑星系円盤の中での惑星形成に影響が生じてくる。一方、円盤の赤外観測の結果からは、年齢が100万年前後の円盤にもある程度の量の微小なダストが残留していることが示唆されている[27]。このことを説明するためにはむしろフラクタルダストの成長の遅れは好都合である。実際、本稿の図3や図6からわかるように、微小なダストの合体成長は円盤観測を説明するにはあまりにも速すぎるのである[28]。

最後に、ダストの著しい低密度化はあくまでも従来の数値衝突実験の結果に基づくものであることを強調しておこう。数値実験ではアグリゲイトの構成粒子を滑らかな球でモデル化しているが、実際に微惑星のもととなったダスト微粒子がどのような形状であったかは明らかでない。アグリゲイトの圧縮に関して言うと、接触する構成粒子が互いの表面上を滑らかに転がることのできるという点が、数値実験の結果を決めている。構成粒子が多面体のような形状であるとか、接触面が焼結による太いネックを持つなどの理由で、接触粒子が滑らかに転がることのできないような場合は、アグリゲイト圧縮の描像はこれまでの数値実験の予言するものと大きく異なる可能性がある。

いずれにせよ、これまでの数値実験の予言を、実際のアグリゲイトを用いた実験や天文観測などによって裏付けていくことが必要であろう。低密度のアグリゲイトはコンパクトなものとは異なる光学特性を持つため[29]、この違いを利用して原始惑星系円盤における低密度ダストの存在を天文観測から実証することができるかもしれない。片岡と筆者らはこの点に注目し、内部密度進化を検証するのに有効なアグリゲイトの光学的性質の特定を進めているところである[30]。また、ダストがある軌道半径より内側で急速に成長を遂げるという我々の予言も、円盤の撮像を通じて検証できるのではと考えている。実際、内側領域でダストの放射光や散乱光が欠損している円盤はこれまでも多く見つかっている[31]。これらの円盤のいくつかは、我々

のモデルで説明できるかもしれない。

## 謝辞

本稿は日本惑星科学会2013年度最優秀研究者賞受賞記念論文として執筆しました。受賞対象となった過去5年間の研究成果は、多くの方々との共同研究によって得られたものです。共同研究者である田中秀和、犬塚修一郎、廣瀬重信、阪上雅昭、竹内拓、小林浩、和田浩二、陶山徹、Chris Ormel、片岡章雅、藤井悠里、谷川享行の各氏に、この場を借りてお礼を申し上げます。また、本稿の査読者の城野信一氏にも丁寧な査読をしていただきましたことを感謝いたします。受賞対象となった研究は、日本学術振興会特別研究員研究奨励費(22・7006)、同会研究活動スタート支援(25887023)、文部科学省科学研究費(23103005)の助成を受けました。

## 参考文献

- [1] 奥住聡, 廣瀬重信, 2011, 遊星人 20, 42.
- [2] 和田浩二, 2009, 遊星人 18, 216.
- [3] Adachi, I. et al., 1976, Prog. Theor. Phys. 56, 1756.
- [4] Okuzumi, S. et al., 2012, ApJ 752, 106.
- [5] Okuzumi, S., 2009, ApJ 698, 1122.
- [6] Okuzumi, S. and Hirose, S., 2012, ApJL 753, L8.
- [7] 奥住聡, 2011, 天文月報 104, 126.
- [8] Hayashi, C., 1981, Prog. Theor. Phys. Suppl. 70, 35.
- [9] 渡邊誠一郎, 井田茂, 1997, 岩波講座地球惑星科学 12, 比較惑星学第3章, 187.
- [10] Brauer, F. et al., 2008, A&A 480, 859.
- [11] Takeuchi, T., & Lin, D. N. C., 2005, ApJ 623, 482.
- [12] 陶山徹ほか, 2008, 遊星人 17, 177.
- [13] Okuzumi, S. et al., 2009, ApJ 707, 1247.
- [14] Johnson, K. L. et al., 1971, Proc. R. Soc. Lond. A., 324, 301.
- [15] Dominik, C., & Tielens, A. G. G. M., 1997, ApJ 480, 647.
- [16] Wada, K. et al., 2008, ApJ 677, 1296.
- [17] Suyama, T. et al., 2008, ApJ 684, 1310.
- [18] Suyama, T. et al., 2012, ApJ 753, 115.
- [19] Kataoka, A. et al., 2013, A&A 554, A4.
- [20] Kataoka, A. et al., 2013, A&A 557, L4.

- [21] 田中秀和ほか, 2008, 低温科学 66, 47.
- [22] Güttler, C. et al., 2010, A&A 513, A56.
- [23] Wada, K. et al., 2009, ApJ 702, 1490.
- [24] Sirono, S., 2011, ApJ 735, 131.
- [25] Shimaki, Y. and Arakawa, M., 2012, Icarus 218, 737.
- [26] Okuzumi, S. et al., 2011, ApJ 731, 96.
- [27] Furlan, E. et al., 2005, ApJ 628, L65.
- [28] Dullemond, C. P. and Dominik, C., 2005, A&A 434, 971.
- [29] 木村宏, 2006, 遊星人 15, 58.
- [30] Kataoka, A. et al., 2014, A&A 568, A42.
- [31] Williams, J. P. and Cieza, L. C., 2011, Annu. Rev. Astron. Astrophys. 49, 67.

# エポックメイキングな隕石たち(その5) : Almahata Sitta隕石～落ちてきた不均質 小惑星“2008 TC<sub>3</sub>”～

宮原 正明<sup>1</sup>

(要旨) 地球に接近・衝突する可能性がある近地球型小惑星(Near Earth Objects : NEO)は, NASAを中心としたNEO programによりその発見, 軌道予測, データベース化が進められている. このNEO programにより地球落下前に発見され落下の軌道予測に成功した例が1つだけある. それが2008年に地球に落下した小惑星“2008 TC<sub>3</sub>”であり, その破片は後に回収され“Almahata Sitta隕石”と呼ばれている. ところで, 多くの隕石は一種類の隕石種からなる. 一方, Almahata Sitta隕石の場合, 複数の異なる隕石種の岩片を含む(ユレイライト, 普通コンドライト, エンスタイトコンドライト, 炭素質コンドライト)ことが分かっている. 本稿では小惑星“2008 TC<sub>3</sub>”の発見・落下の経緯と上記のようなユニークな特徴を持つ“Almahata Sitta隕石”の研究から明らかになった小惑星“2008 TC<sub>3</sub>”の構造と成り立ちを紹介する.

## 1. はじめに

2013年2月15日, ロシアにChelyabinsk隕石が落下した. 落下に伴う衝撃波が地上にまで達し, 多くの人が割れたガラス等で傷つき, 建物にも大きな被害が出た. 幸いにもChelyabinsk隕石の大部分は都市部から離れた湖や森林地帯に落下したため隕石本体の衝突による人的・物的被害は免れた. しかし, 観測網に探知されることなしに20 m近い天体が地上に落下したこの事件は天体衝突が人類にとって大きな脅威であることを知らしめた. こうした地球に接近・衝突する可能性がある近地球型小惑星(Near Earth Objects : NEO)は, NASAを中心としたNEO programによりその発見, 軌道予測, データベース化が進められている. このNEO programにより地球落下前に発見され落下の軌道予測に成功した例が1つだけある. それが2008年に地球に落下した小惑星“2008 TC<sub>3</sub>”であり, その破片は後に回収され“Almahata Sitta隕石”と呼ばれている. ところで多くの隕石は一種類の隕石種からなる(例えば, Chelyabinsk隕石はLL5普通コンドライト). 一方, Almahata Sitta隕石の場合, 複数の異

なる隕石種の岩片を含む(ユレイライト, 普通コンドライト, エンスタイトコンドライト, 炭素質コンドライト)ことが分かっている. 本稿では小惑星“2008 TC<sub>3</sub>”の発見・落下の経緯と上記のようなユニークな特徴を持つ“Almahata Sitta隕石”の研究から明らかになった小惑星“2008 TC<sub>3</sub>”の構造と成り立ちを紹介する.

## 2. 小惑星“2008 TC<sub>3</sub>”の落下とその破片の回収

NEO programにはNASAを中心として各国の様々な機関が参加している. 米国のアリゾナ州にあるカタリナ天文台もその1つである. 2008年10月6日, カタリナ天文台のスタッフがNEOの観測を行っていたところ, 小惑星“2008 TC<sub>3</sub>” (後に命名される)を発見した. 直ぐに“2008 TC<sub>3</sub>”の軌道計算が行われ, 地球への衝突コースにあると判明した. この情報は直ぐに上位機関であるNASAへ送られ, より精度の高い軌道計算が行われた. その結果, “2008 TC<sub>3</sub>”は10月7日2時45分にスーダン北部のヌビア砂漠に落下すると結論付けられた. “2008 TC<sub>3</sub>”の大きさは2-5m程度と見積もられた. この乗用車程度の大きさの天体の地球への落

1. 広島大学理学研究科  
miyahara@hiroshima-u.ac.jp

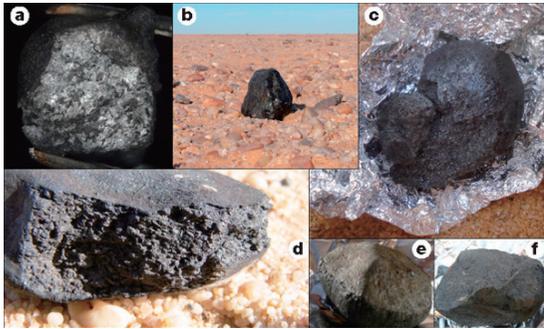


図1：ヌビア砂漠で回収されたAlmahata Sitta隕石(a～f)。[1]

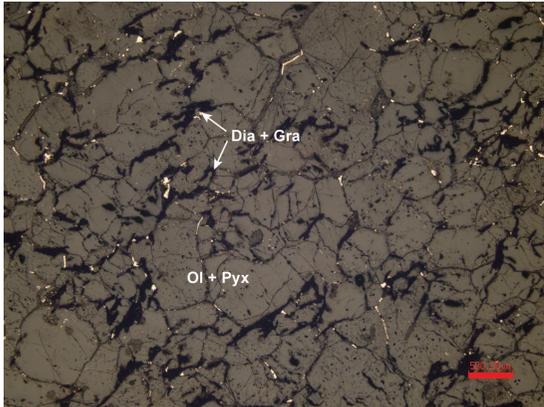


図2：粗粒ユレイライト(Almahata Sitta MS-170)の反射光学顕微鏡写真。オリビン(Ol)と輝石(Pyx)の粒子間隙をダイヤモンド(Dia)とグラファイト(Gra)が埋めている。

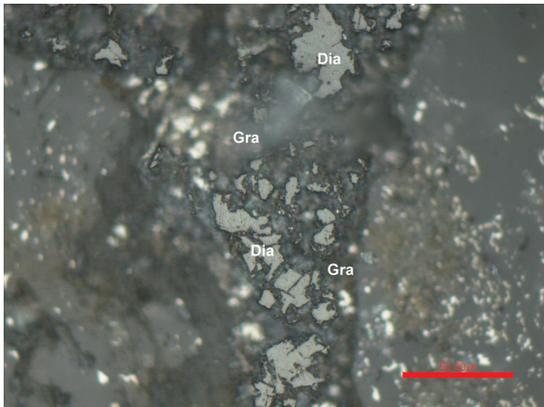


図3：粗粒ユレイライト(Almahata Sitta MS-170)に含まれるダイヤモンド(Dia)の反射光学顕微鏡写真。グラファイト(Gra)よりもダイヤモンドの方が硬いため、表面研磨した試料ではダイヤモンドの部分のみが凸状になっている。

秒にスーダン北部の大気圏に突入し、その5秒後に高度37 kmで爆発した。この爆発の瞬間は欧州の人工衛星の赤外線像に捉えられた。“2008 TC<sub>3</sub>”の落下後から、スーダンの大学とNASAを中心とした探索チームが編成され、“2008 TC<sub>3</sub>”の破片の探索が始まった。その結果、初期の探索で多くの破片(約4 kg)が回収された(後にも回収が続けられている)(図1)。“2008 TC<sub>3</sub>”の破片が回収された地域は砂漠であり、鉄道駅(アラビア語でAlmahata Sitta = 第六鉄道駅)以外にこれといったランドマークがなかったため、Almahata Sittaがその破片(=隕石)の名前になった[1]。こうして“2008 TC<sub>3</sub>”は人類史上初めて落下の事前予測とその破片の回収に成功した天体となった。

### 3. Almahata Sitta隕石

最初に述べたように Almahata Sitta隕石は様々な隕石種を含んでいる。その中で最も数が多いのはエコンドライトの一種である超苦鉄質岩(ほとんどがオリビンや輝石からなる岩石)、“ユレイライト”である。Almahata Sitta隕石中のユレイライトは異なる化学組成の碎屑岩の混合物で構成されるポリミクトユレイライトであり、個々の破片ごとにその岩石学的・鉱物学的特徴が大きく異なっている。Almahata Sitta隕石のユレイライトを肉眼で或は光学顕微鏡で観察すると空隙が目立つ。一般的なユレイライトの空隙率が9%程度であるのに対して、Almahata Sitta隕石のユレイライトの空隙率は25 - 37%と非常に高い[2]。Almahata Sitta隕石のユレイライトは主にオリビンと輝石で構成されるが、粗粒なオリビンと輝石粒子からなる粗粒ユレイライト、細粒な粒子からなる細粒ユレイライトに分けられている。ユレイライトの特徴の1つとして多くの炭素を含む点がある。すなわちユレイライトの母天体は炭素に富む天体であることを示唆している。Almahata Sitta隕石のユレイライトでもグラファイトやダイヤモンドがオリビンや輝石の粒子間隙を埋めるように存在している(図2)。粗粒ユレイライトの中からはこれまで発見されたものに比べてはるかに大きい数十マイクロメートルのダイヤモンドが報告されている(図3)。ユレイライト中のダイヤモンドの成因としては、ユレイライトの母天体が他の天体と衝突した際に発生した高圧力条件下でグラファイトから生成した

下情報は、米国だけでなく各国に“警報”として送られ、世界中の天文台や天文家により“2008 TC<sub>3</sub>”の追跡が始まった。そしてNASAの計算通り、7日2時45分40

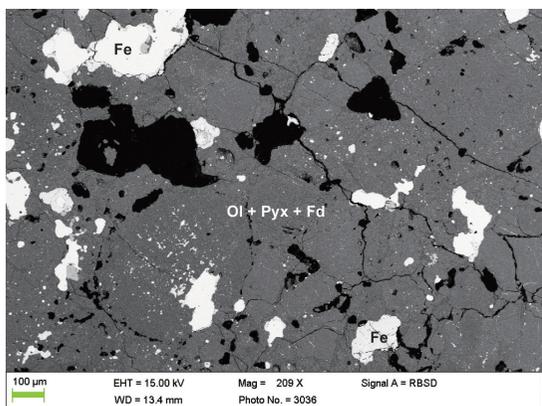


図4：H5/6タイプ普通コンドライト(Almahata Sitta MS-11)の反射電子像。主にオリビン(Ol)、輝石(Pyx)、長石(Fd)、鉄ニッケル合金(Fe)から構成される。黒い部分は空隙に相当する。

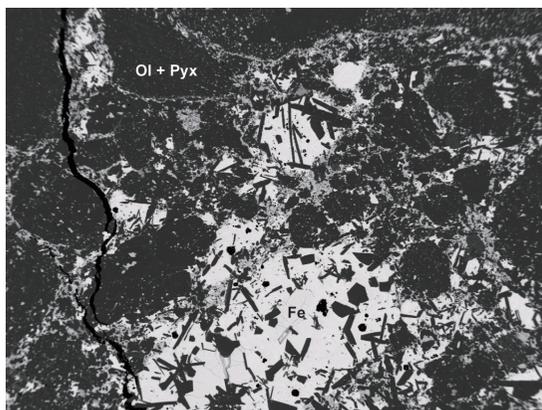


図5：EL3タイプエンスタイトコンドライト(Almahata Sitta MS-17)の反射電子像。主にオリビン(Ol)、輝石(Pyx)、鉄ニッケル合金(Fe)からなる。

とする説が現在最も有力である。しかし、Almahata Sitta隕石に含まれる数十マイクロメートルオーダーのダイヤモンド生成を衝撃変成説で説明するのは難しく、原始太陽系雲内でのガスからの直接生成(化学的気相成長)やユレイライト母天体内部での生成の可能性も議論されている[3]。なお、これまでに発見されたユレイライトはユレイライト母天体のやや深い部分(マントル)を構成していた物質と推定されているが、最近、Almahata Sitta隕石の中からユレイライト母天体の地殻を形成した火成活動に関連すると考えられる安山岩に似た隕石も発見されている[4]。

Almahata Sitta隕石の中でユレイライトについて多いのはHグループの普通コンドライト(図4)とエンス

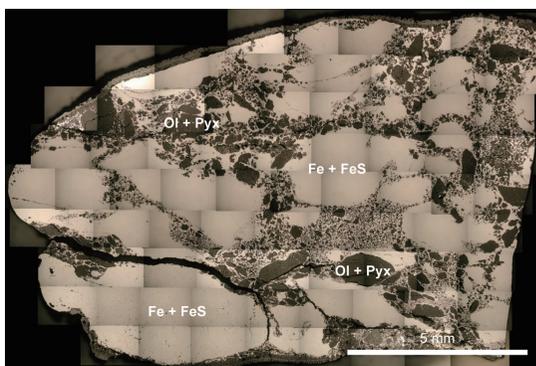


図6：Cbタイプ炭素質コンドライト(Almahata Sitta MS-181)の反射光学顕微鏡写真。主に鉄ニッケル合金(Fe)、硫化鉄(FeS)、オリビン(Ol)、輝石(Pyx)から構成される。

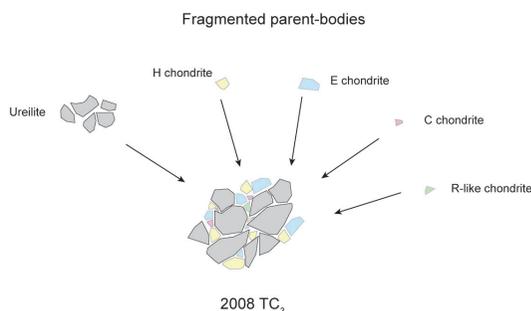


図7：小惑星”2008 TC<sub>3</sub>”の成り立ちの概略図。

タイトコンドライト(図5)である。エンスタイトコンドライトはさらにEHとELに分けられるが、Almahata Sitta隕石にはその両方が含まれている。さらに、コンドライトは熱変成度の違いによりタイプ3~6に分けられる。Almahata Sitta隕石のEHとELはどちらも異なる熱変成度を示す岩片を含む(例えば、EL3、EL6、EH3など)。これら以外としては、炭素質コンドライト(図6)とRタイプコンドライトに類似するものも報告されている。このようにAlmahata Sitta隕石に含まれる隕石種は大変複雑で種類が多く、その全容の解明にはまだまだ時間がかかるとみられる。

#### 4. 小惑星“2008 TC<sub>3</sub>”の不均質な構造と成り立ち

前項で述べたようにAlmahata Sittaの隕石種は大変複雑で種類が多い。それはすなわち、“2008 TC<sub>3</sub>”

が複数の異なる隕石種で構成されていたことを示唆している。Almahata Sitta隕石に含まれていたものは主要なものだけでもユレイライト、普通コンドライト、エンスタイトコンドライトである。それぞれの隕石種は本来固有の母天体で形成されたと考えられることから、それぞれの母天体が天体衝突で破壊され、飛散した破片が再集積して形成されたのが“2008 TC<sub>3</sub>”であろう[5](図7)。このような複数の隕石種の岩片から構成される隕石としてはAlmahata Sitta隕石以外にはKaidun隕石が報告されているのみである[6]。惑星間空間にはアルベドと反射スペクトルが異なる様々なタイプの小惑星が無数に存在している。現在の小惑星はそれらが衝突、破壊と再集積を繰り返して形作られたと考えられる。これまでの様々な隕石やイトカワ試料の研究から、同一の起源をもつ天体同士の衝突とその破片の再集積が主要な天体の進化過程であろう。一方、Almahata Sitta隕石に含まれていた多様な隕石種岩片が示唆する不均質性は起源の異なる母天体同士の衝突が起き、その破片が再集積することによっても天体が形成されている可能性を示す。Almahata Sitta隕石はその発見と落下の経緯がドラマチックであったが、小惑星進化史の新たな側面を解き明かすエポックメイキングな隕石でもある。

[6] Zolensky, M. and Ivanov, A., 2003, *Chemie der Erde Geochemistry* 63, 185.

## 謝 辞

木村真氏、野口高明氏、岡崎隆司氏からこの原稿執筆の機会を与えて頂き、粗稿を読んで頂きました。東北大学の太谷栄治氏、独バイロイト大学のAhmed El Goresy氏、スイス連邦工科大学のPhilippe Gillet氏には試料を提供して頂いた。この場を借りて皆様に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Jenniskens, P. et al., 2009, *Nature* 458, 485.
- [2] Bischoff, A. et al., 2010, *Meteoritics & Planetary Science* 45, 1638.
- [3] Miyahara, M. et al., 2013, 44th LPSC, 1425pdf.
- [4] Bischoff, A. et al., 2014, *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 111, 12689.
- [5] Goodrich, C. et al., 2014, *Elements* 10, 31.

# 研究会開催報告 「衛星系研究会：衛星系から探る外惑星領域の 小天体軌道進化」

谷川 享行<sup>1</sup>, 奥住 聡<sup>2</sup>, 木村 淳<sup>3</sup>, 倉本 圭<sup>4</sup>, 大槻 圭史<sup>5</sup>

衛星系研究会を2014年8月27-28日の日程で、北大低温研(札幌市)にて開催した。今年で3回目である。過去2回は札幌近郊の宿を会場として合宿形式で行ってきたが、今回は北海道大学低温科学研究所の共同研究・研究集会から支援して頂けることとなったため、会場も低温研で行うことになった。本研究会は、衛星(系)を対象とした研究を行う様々な分野の研究者が相互に交流することを目的として、一昨年に発足したものである。

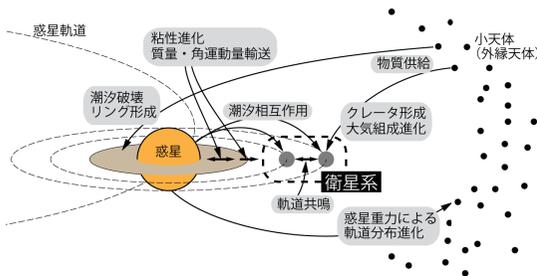


図1：衛星系の進化に影響を与える環境

今回は、「衛星系から探る小天体軌道進化」というテーマを設定した。本研究会における興味の対象であるガス惑星周りの衛星系(リングを含む)は、太陽系形成の最終期に、もしくは太陽系完成後に形成したと考えられている。その後46億年にわたって進化を続けてきたが、その進化の主な外的要因は太陽系小天体にあるだろう。一方でその太陽系小天体も、外惑星の重

力摂動により軌道進化をしてきた。つまり衛星系は、外惑星と太陽系小天体の相互作用の橋渡し・仲介役と見ることが出来る(図1)。さらに、惑星本体に比べ衛星や小天体は数が多く多角的・統計的な検証が可能であるため、太陽系形成に関するより具体的なシナリオを描き汎用性のある理論を構築するためには都合がよい。今回はそういう視点から、惑星形成と同時に出来る衛星形成と言うより、惑星形成後における衛星系の進化に関連する話題を中心とし、その鍵となるプロセスに精通する方に招待講演をお願いした。



図2：研究会中の様子

まず母惑星に近い側から、惑星周りの粒子リングの力学進化について同志社大学の道越秀吾氏にお話し頂いた。リングの進化、例えば土星リングの寿命・形成時期はよく分かっておらず、また惑星に近い側(リングのすぐ外側)の小衛星群はリングが外へ拡散することで形成・成長した可能性も指摘されており、それらを検証するための力学的素過程について、基礎的な話から詳しく話を頂いた。

1. 産業医科大学医学部  
2. 東京工業大学理工学研究科  
3. 東京工業大学地球生命研究所  
4. 北海道大学大学院理学研究科  
5. 神戸大学大学院理学研究科  
t-tanigawa@med.uoeh-u.ac.jp

次に、天体の重力相互作用で重要となる平均運動共鳴について、国立天文台の松本侑士氏にお話し頂いた。衛星系には多くの共鳴関係にある天体が存在するが、その形成・進化を理解するために、近年の系外惑星系研究で理解が進んだ知見を衛星系に適用させた検討が紹介された。

衛星系に残るクレータから読み取れる歴史について、名古屋大学の諸田智克氏に地球の月クレータに関する御自身の研究の知見を生かしてお話し頂いた。外惑星の衛星クレータ記録から読み解くことが出来る惑星軌道周囲の小天体群の情報(サイズ分布、クレータ生成率など)について、月クレータから分かることと比較しつつ、広範にわたるレビューがなされた。

外惑星に降って来る小天体群の起源の1つであるTNOs(Trans Neptunian Objects)の軌道の構造と進化について、近畿大学のパトリック・ソフィア・リカフィカ氏にお話し頂いた。主に、いくつかの有力な外惑星移動モデルがTNOsの軌道分布が示す様々な特徴を説明可能かどうかについて、理解の現状をわかりやすく整理して頂いた。

このように、衛星系にはその内(リング天体)にも外(TNOs, トロヤ群など)にも小天体が豊富に存在しており、かつ現在においても進化は続いており、衛星系は太陽系全体の形成史を紐解く上でも重要な情報を保有している。それゆえ世話人としては、本研究会での各講演テーマが今後さらに進展することで、衛星系を鍵とした外惑星領域の形成史の統合的に理解が進むことを願っており、また本研究会がその一助となれば幸いである。

研究会終了後、参加者に本研究会について簡単なアンケートを行った。会場(北大低温研)について意見を求めたところ、アクセスの良さが一様に評価が高かった。これは、前回までのような札幌近郊の宿泊施設に比べてということもあるだろう。

また、今後聞きたい・勉強したいテーマについて意見を求めたところ、こちらは皆さん様々であった。これは、衛星系という研究対象は同じでも、皆さん様々な視点・背景から取り組んでいることの現れであろう。ある意味で、視点・背景が様々な人たちが集まって1つのことを議論するというのもそもそのこの研究会の意図しているところなのでこれは当然の結果かもしれない。

なお、今回は過去2回にも増して若手、特に大学院生の参加が多かった。これは、本研究会が低温研の共同研究に位置づけられたことに伴い旅費支援が得られたことによって資金的に自由のきかない若手の参加が促進されたことと、若手は特に温泉に釣られて(?)くるわけではないということの、2点が原因ではないかと考えている。

本研究会は、今後も年に1回程度のペースで続けていきたいと考えている。研究会のスタイル(合宿形式か大学での研究会方式か)は今後どうするかは未定だが、いずれにせよじっくりと話を聞ける機会をもうけつつ相互交流を促進できる場にしたいと考えている。研究会を継続していくことで、世話人も含めた参加者個々人が知識・人脈の幅を広め、衛星分野の研究の活発化に貢献できればと考えている。

最後に、招待講演者の皆さんをはじめ、すべての発表者の方々、および参加して会を盛り上げて頂いたすべての参加者の皆様に感謝したい。また、研究会の準備を積極的に手伝って頂いた低温研・理論惑星グループの皆さんに感謝したい。低温科学研究所の共同研究により参加者の旅費を支援して頂いた。参加申込にはCPSサーバの会議開催ツールを使わせて頂いた。

……………プログラム<sup>\*1</sup>……………

———— 8/28 ————

- 09:30-09:35 はじめに
- 09:35-09:40 低温科学研究所所長挨拶



図3: 集合写真

1. 講演資料は <https://www.cps-jp.org/satellite/> で公開している。

- 09:40-11:00 道越 秀吾(同志社大): 惑星環の構造と力学的特性
- 11:00-11:40 平田 直之(東京大): ディオーネの地質学的層序の検討
- 11:40-12:00 (ポスター講演の紹介)
- 12:00-13:30 (昼休み)
- 13:30-14:10 兵頭 龍樹(神戸大): 周惑星粒子円盤の進化と衛星形成
- 14:10-15:30 松本 侑士(国立天文台): 天体の平均運動共鳴軌道への捕獲と脱出
- 15:30-16:00 (休憩・討論)
- 16:00-17:20 諸田 智克(名古屋大): 外惑星領域におけるクレータ記録と天体衝突史
- 17:20-18:00 三上 峻(北海道大): 周惑星ガス円盤中で形成する巨大氷衛星の原始大気
- 18:00-18:30 (討論)

———— 8/29 ————

- 09:30-10:50 ソフィア リカフィカ パトリック(近畿大): Orbital Structure and Dynamical Evolution of TNOs
- 10:50-11:30 田中 篤行(岡山大): 冥王星-カロン系における未発見衛星存在の可能性に関する研究
- 11:30-13:30 (昼休み・個別討論)
- 13:30-14:10 小野 智弘(京都大): 周惑星円盤における回転不安定性の考察
- 14:10-14:50 金川 和弘(北海道大): 巨大惑星周辺の原始惑星系円盤のガス構造について
- 14:50-15:30 (総合討論)

———— ポスター講演 ————

- 関根 康人(東京大): 巨大衝突に伴うエウロパ内部海の不可逆的酸化
- 木村 淳(東京工業大): 氷衛星表層における生命構成物質の重合反応
- 木村 淳(東京工業大): 氷衛星地下海の安定性: 塩度と潮汐加熱の依存性
- 樋口 有理可(東京工業大): フォボスとダイモスの力学的起源のレビュー
- 瀧 哲朗(東京工業大): ガスト摩擦による圧力バンプ構造の破壊とガスト流出

# 2014年度 惑星科学フロンティアセミナー 参加報告

黒川 宏之<sup>1</sup>

9月2日から5日にかけて北海道勇払郡むかわ町の穂別町民センターにて、惑星科学フロンティアセミナーが開催されました(図1)。執筆者の暮らす名古屋はまだまだ残暑が厳しい時期でしたが、すでに秋の気配がするさわやかな北海道の気候は、セミナーに没頭するのにうってつけのものでした。むかわ町でのフロンティアセミナーの開催は2011年、2012年に続き3度目となりますが、今年も変わらないむかわ町の方々の暖かい心遣いには、心地よく懐かしい気分させられました。夜の懇親会では、もはや恒例となりセミナー参加者一同が楽しみにしていた町の特産のメロンとシシャモに加え、今年はマツタケまで提供されるという大盤振る舞いのもてなしで、早くも来年度のセミナー参加を決意せざるを得ませんでした。(食べるのに夢中で写真を撮るのを失念しておりましたので、よく熟れたメロンと丸々と太ったシシャモに関心をお持ちの方は過去の参加報告をご参照ください。)

さて、ここからはセミナーの内容について簡単にご紹介します。今回は渡部重十氏(図2)を講師にお招きして、「惑星プラズマの生成と散逸」というテーマで講演していただきました。惑星科学者は数十億年という時間スケールでの惑星の進化を研究対象にします。惑星プラズマの生成散逸過程は、このような長い時間をかけて地球や太陽系内惑星、さらには系外惑星の大気と表層環境の進化に影響を及ぼすため、惑星科学とも密接に関連のある研究分野です。二日間の講演は、電離圏研究の歴史的経緯を導入として、数時間という短い時間で変動する惑星プラズマのダイナミクス、中性大気から電離圏・プラズマ圏にまたがる複雑な結合過

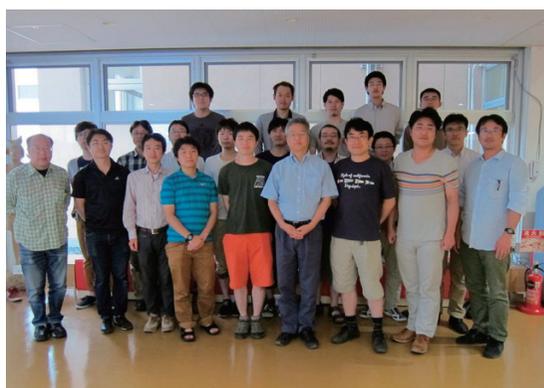


図1：穂別町民センター内での集合写真。

程、そして地球以外の太陽系内惑星・衛星のプラズマに至るまで、渡部氏の豊富な研究経験をもとに惑星プラズマ研究の魅力を存分に味わわせてくれるものでした。講演の具体的な章立ては以下の通りです。

1. 地球電離圏の光化学・力学・energetics・不安定性・中性大気結合過程
2. 地球プラズマ圏の構造・散逸(変動)・生成(供給)
3. 地球以外の惑星プラズマ

初日の講演では1章と2章途中までの講義がありました。第1章の電離圏の講義で印象深かったことは、多種のイオン・電子が関連し、空間的には磁力線を介して地球の裏側とやり取りし、時間的には昼夜で変動する現象を追う惑星プラズマ研究の複雑さです。電離圏では太陽紫外線を吸収する高度が波長ごとに異なり、それぞれ異なる分子・原子を電離させるため、高度ごとに存在するイオン種が異なります。また、プラズマの温度は磁力線に沿って移動する光電子による加熱の影響を受けるため、局所的には決まらないというこ

1. 名古屋大学大学院理学研究科  
kurokawa@nagoya-u.jp

とでした。加えて、昼夜での太陽照射の変動がさらなる複雑性を生み出すのです。惑星プラズマ研究では、このような複雑極まる光化学・力学・空間的時局的変動を相手にします。一方で、惑星科学では、数十億年という時間での変化を議論するため、根本的な要素を切り出し、系をどんどん単純化していきます。現在起こっている現象を議論する惑星プラズマ研究と、惑星形成を含めた惑星の歴史を議論する惑星科学研究の違いを実感する講義内容でした。

初日から2日目にまたいで行われた第2章の講義は、電離圏の上空、プラズマ圏の話題でした。プラズマ圏は惑星プラズマが太陽風の影響で剥ぎ取られ散逸する惑星大気の前縁であり、惑星科学との関連でも特に重要な話題です。ここで特に興味深かった話は、プラズマ圏の散逸と再供給による時間変動です。太陽風に変動があると磁気圏対流がプラズマ圏に侵食してくるため、プラズマが剥ぎ取られ散逸します。この剥ぎ取りは数時間という短い時間で起こる一方、極域の開いた磁力線を通じた電離圏からのプラズマ供給は1日から2日程度の時間を要するとのことでした。散逸と再供給の時間スケールに違いがあることは、電離圏からプラズマ圏への供給過程が散逸の律速過程になっている可能性を想起させ、惑星進化への影響を考える上でとても興味深いお話でした。

2日目の午後からは第3章の地球以外の太陽系内惑星・衛星のプラズマの講義が行われました。この話題では、「惑星の数だけ個性がある」という渡部氏の言葉が印象的でした。金星と火星はどちらも固有磁場を持たず、電離圏が直接太陽風に晒されている惑星ですが、太陽風との明確な電離圏界面を持つ金星と異なり、火

星の電離圏界面はそれほど明瞭ではないそうです。また、木星と土星はどちらも強い固有磁場を持つ巨大ガス惑星ですが、明確なプラズマ圏界面の存在は木星でのみ確認されているとのことでした。渡部氏の言葉はこのような惑星ごとの多様性を端的に表したものであり、惑星プラズマ研究の奥深さを感じさせます。地球以外の惑星についての講義は時間的制約もあり駆け足ながら、参加者一同のさらなる興味を掻き立てる内容であったと思います。

二日間に渡る講義は、惑星プラズマの多岐にわたる研究を渡部氏の視点からまとめあげた内容の濃いものであり、参加者からの質問も多く飛び交いました。惑星プラズマ研究で得られてきた最新の理解や残っている課題を知るとともに、惑星科学への応用について考える手がかりを得られたとても実りの多いセミナーでした。ここで改めて、長時間の講義をしてくださった渡部重十氏に感謝申し上げます。また、セミナーの企画・運営をしてくださった代表世話人の千秋博紀氏をはじめとするセミナー実行委員会の方々に感謝いたします。今回私は日本惑星科学会からの参加費補助をいただいで参加いたしました。ここで日本惑星科学会に感謝申し上げます。惑星科学フロンティアセミナーはひとつの研究分野について、第一線で活躍する研究者の経験に基づく一貫した視点で講義していただけるまたとない機会です。拙い参加報告文ですが、今回のセミナーに参加できなかった方々にセミナーの盛り上がり的一端でも伝えることができ、来年以降のセミナー参加に興味を持っていただければ幸いです。



図2：講演中の渡部重十氏。

# 「赤外線観測と惑星科学」研究会開催報告

臼井 文彦<sup>1</sup>, 大坪 貴文<sup>2</sup>

(要旨) 2014年10月8日～9日の2日間, 神戸大学惑星科学研究センター(CPS)にて「赤外線観測と惑星科学」と題した研究会を開催した。これは, 惑星科学・太陽系科学と天文学の研究者が一堂に会して, 赤外線観測でこれまで得られた知見と現在の重要な科学課題をレビューし, 将来重点的に取り組むべきテーマ・達成すべきテーマを明らかにすることを目標としたものである。研究会は世話人からの依頼講演のみとして, 合計17名にそれぞれの分野のレビューから将来の計画, 希望, 期待などを含めて講演して頂いた。本報告では, この研究会の講演概要を紹介する。

2014年10月は1週間で2つの台風が本州に上陸するという荒天に見舞われたが, その合間を縫うように, 10月8日～9日の2日間, 神戸大学惑星科学研究センター(CPS)にて「赤外線観測と惑星科学」と題した研究会を開催した。世話人は, 小林浩(名古屋大学), 臼井文彦(東京大学), 大坪貴文(東京大学), 木村宏(神戸大学), 芝井広(大阪大学), 山本哲生(神戸大学/CPS)の6名が務めたが, ここでは代表して臼井・大坪の2名がその内容について報告する。

惑星科学は, 現在, 様々な手法によって多方面から総合的に研究が進められているが, 赤外線の波長域における天文観測は, その中でも欠くことのできない手法であるとともにユニークな位置を占めている。太陽系の惑星や小天体などは, 一般に, 太陽の散乱光を可視光で, 熱放射を赤外線で見ることになるため, 赤外線観測は対象天体の光学特性・熱特性を知るのに非常に有効である。また, 赤外線の波長域には, 分子・氷・鉱物など多様な物質の回転・振動バンドによる吸収や放射の特徴的なスペクトルが存在し, 太陽系天体の構成物質をとらえるのに欠かせない波長域である。本格的な赤外線天文学が始まったのは1970年代からであ

るが, 21世紀に入ってから, 地上の多くの望遠鏡に加え, Spitzer宇宙望遠鏡, 赤外線天文衛星「あかり」, 広域赤外線探査衛星 WISE, Herschel宇宙望遠鏡などの赤外線衛星が貴重な観測結果を提供してきている。そして, 現在進行中の Dawn や Rosetta, 「はやぶさ2」などによる探査, JWST宇宙望遠鏡や超大型地上望遠鏡 TMT など, 今後の大型望遠鏡により太陽系科学がさらに進展することが期待される。また, 2020年代には日本の次期赤外線衛星 SPICA などの大型赤外線衛星が計画されている。SPICA に関しては, 太陽系小天体観測グループ有志によって, これまでにいくつもの観測提案が練られてきているが, SPICA の本格的な始動の時期を迎えつつある今, 赤外線観測が惑星科学に果たすべき役割について再度立脚点を明確にしようという気運が高まってきている。

そこで, 惑星科学・太陽系科学と天文学の研究者が一堂に会して, 太陽系科学において赤外線観測でこれまで得られた知見と現在の重要な科学課題をレビューし, 将来重点的に取り組むべきテーマ・達成すべきテーマを明らかにすることを目標として, 今回の研究会を企画した。特に SPICA やその他の赤外線観測などで遂行すべき観測に関連した話題を軸として, 広く討議・共有することを目的とした。研究会は世話人からの依頼講演のみとして, 世話人5名の講演を除き, 合

1. 東京大学大学院理学系研究科

2. 東京大学大学院総合文化研究科

usui@astron.s.u-tokyo.ac.jp

計12名にそれぞれの分野のレビューから将来の計画、希望、期待などを含めて講演していただいた。時間のないところでの講演依頼にも関わらず、すべての方が快諾してくださったことに深く感謝する。

本報告では、以下でこの研究会の講演概要を紹介する。

## 1. 「赤外線観測と惑星科学」研究会概要

1講演あたり質疑応答込み30分でプログラムを組んだが、実際には多くの活発な議論がなされたために予定時間を大幅に超過してしまった。また、会場設備の都合により一部円滑な運営ができない場面もあった。この点について、世話人として、講演者ならびに参加者の皆様にはお詫びを申し上げます。

### 1.1 プログラム

#### 「赤外線観測と惑星科学」研究会プログラム

**日時**：2014年10月8日(水曜日)～9日(木曜日)  
**場所**：神戸大学惑星科学研究センター(兵庫県神戸市中央区)セミナー室

**参加者数**：18名(1日目)・24名(2日目)、各日ともテレビ会議接続あり(最大9局)

#### 1日目(10月8日)—————

**芝井 広**(大阪大学)：赤外線望遠鏡衛星SPICAと惑星科学への期待

**大坪貴文**(東京大学)：赤外線観測で見た太陽系の氷ダスト

**臼井文彦**(東京大学)：小惑星の赤外線観測

**石原大助**(名古屋大学)：SPICAによるデブリ円盤の研究

**小林 浩**(名古屋大学)：惑星形成の歴史と天体のサイズ分布

**玄田英典**(東京工業大学)：地球形成に関わる巨大衝突とデブリ円盤

#### 2日目(10月9日)—————

**本田充彦**(神奈川大学)：星周円盤の氷ダスト観測

**田口 真**(立教大学)：あかつき中間赤外カメラによる金星大気の研究

**関根康人**(東京大学)：惑星・衛星の有機物と氷の化学  
**長谷川直**(JAXA宇宙科学研究所)：SPICAによる

TNOsの観測の検討

**藪田ひかる**(大阪大学)：太陽系有機化学：隕石学と次世代赤外天文学の融合への期待

**小林仁美**(京都産業大学/京都虹光房)：彗星の赤外線観測から探る太陽系形成時の分子進化

**日高 宏**(北海道大学)：太陽系天体の氷

**和田浩二**(千葉工業大学)：小惑星における「衝突」を見る

**松浦周二**(JAXA宇宙科学研究所)：深宇宙探査機による黄道光の赤外線3D計測

**谷川享行**(産業医科大学)：衛星系形成過程

**木村 宏**(神戸大学)：The Organic-Rich Carbonaceous Component of Dust Aggregates in Circumstellar Disks: Effects of Its Carbonization on Infrared Spectral Features of Its Magnesium-Rich Olivine Counterpart

### 1.2 講演の概要

以下、講演の概要をまとめる。講演者名については敬称略とさせていただきます。

#### (1)1日目(10月8日)

**芝井**(大阪大学)は、計画されている次世代赤外線天文衛星SPICAの現状報告を、現在および将来の可視光・赤外線・電波の観測機器との比較を含めて報告した。現在、SPICAプロジェクトは、JAXAリードのもと、欧州宇宙機関(ESA)および欧州コンソーシアムとの密接な協力のもと衛星全体の開発検討が進められている。特に中間赤外線・遠赤外線の波長域において、圧倒的な性能を誇るSPICAが惑星科学・太陽系科学に大きい貢献を果たし、太陽系外惑星研究との密接化、宇宙生命探査に向けた連携が深められるとの期待を語った。

**大坪**(東京大学)は、「あかり」の全天サーベイ観測のデータから、黄道光放射を詳細に解析し、特に小惑星起源の微細構造などで従来広く使われてきたCOBE/DIRBEモデルの改訂が必要であることを示した。さらに、「あかり」の指向観測による5~12 μmの連続的な分光観測の結果から、黄道光のスペクトルが単一温度の黒体放射では再現できず、温度の高い成分が存在すること、また結晶質シリケートのフィーチャが存在し、その空間領域による違いを将来の赤外線衛星観測でとらえることが重要であることを示した。

白井(東京大学)は、IRAS、「あかり」、WISE といった赤外線全天サーベイ衛星の観測から得られた小惑星のサイズ・アルベドカタログと、軌道やスペクトル分類のデータを総合した大規模なデータを紹介した。これを用いて、スペクトル型ごとのサイズ・アルベドの関係の多様性、スペクトル型ごとの存在割合やアルベドの日心距離依存性について議論した。小惑星のサイズを決定することは、単にデータ数を増やすことだけではなく、太陽系における物質分布を考える上で必須なものであると述べた。

石原(名古屋大学)は、「あかり」・WISEを含む、可視光～赤外線での観測時期の異なる観測データを組み合わせることでデブリ円盤の探査の結果を紹介した。これらのサンプルにおいて従来のデブリ円盤の標準理論では説明がつかず、非正常プロセスを検討する必要があることを示した。また、惑星形成過程におけるシリケートの進化の理解のためには、原始惑星系円盤からデブリ円盤にかけて、中間赤外線での分光観測の必要性を説いた。前者はSPICA を用いた空間分解や変光現象の検出を含めて統計的に理解をする必要が、後者はSPICA の中間赤外線の分光機能を発揮した観測が必要であると議論した。

小林(名古屋大学)は、小天体のサイズ分布を決定することが太陽系の歴史を明らかにすることにつながることを示した。惑星形成の際には暴走成長を起こすサイズが系の質量を決めるが、これはサイズ分布から明らかにできる。このサイズは微惑星サイズとしてよく議論されており、惑星形成理論の大問題である「微惑星形成」に対しての大きな手がかりとなる。小惑星帯では数100 km とすでに観測的に明らかになっている

が、カイパーベルトでも今後の赤外線観測により決められることを説いた。また、小さい天体のサイズ分布は衝突破壊によって決まるベキ分布をしているが、数10 m 程度の天体ではYarkovsky 効果が効くためこのベキ分布よりも数が減る。この減り方を決めることで、Yarkovsky 効果の不定性を小さくすることになる。これは、我々の太陽系のような「淡い」デブリ円盤の理解に重要であることを述べた。

玄田(東京工業大学)は、地球型惑星形成とデブリ円盤の関係から、巨大天体衝突ステージにおいてどの程度の破片がばらまかれ、赤外超過としてどのように観測されるのかを、段階ごとにN体計算とSPH計算を組み合わせることで評価を行った。この結果、巨大衝突で0.4地球質量ほどの破片がばらまかれ、それによって $10^8$ 年にわたってデブリ円盤が維持され、赤外超過として観測される可能性を示した。さらに、分光観測による長期モニタリングで、惑星形成段階でのデブリの生成・消滅といった動的プロセスを追跡することが重要であることを述べた。

なお、1日目の夜は皆既月食で、神戸市内でも赤銅色の月を楽しめたことを記しておく。

## (2)2日目(10月9日)

本田(神奈川大学)は、星周円盤中の $H_2O$ 氷に関して、非晶質氷から結晶質氷への遷移をとらえることが分子雲から太陽系に至る氷ダストの熱史の理解に重要であることを述べた。これには、特に44, 46, 62  $\mu m$ のフィーチャが有効なプローブとなるが、ISO以来40  $\mu m$ 帯での分光観測は行われておらず、JWSTでも観測できないため、将来のSPICAなどに期待が寄せられる。また原始惑星系円盤のスノーラインの位置をとらえる



図1：研究会の様子。

ために、中間赤外線・遠赤外線の水蒸気輝線が重要であり、その観測可能性について議論がなされた。

田口(立教大学)からは、金星探査機「あかつき」の中間赤外カメラによる金星の観測結果について紹介があった。「あかつき」は2010年12月に金星の夜側を、2011年3月に昼側を観測した。中間赤外線のみみた雲はモデルよりも勾配が急になっていることがわかるなど、雲の分布をとらえるのに有効である。このカメラは非冷却のマイクロ・ボロメータアレイ検出器(UMAD)を搭載しているが、冷却が不要なので衛星搭載に幅広く活用され、今後の応用も期待されている。

関根(東京大学)からは、太陽系天体のハピタピリティに関し、エネルギー、材料、場(溶媒・物質循環)、という3つのキーワードが提案された。今後ターゲットとして、エウロパ・エンセラダス・タイタンなどの衛星が有望である。プリューム活動の時間変化や希薄大気成分の同位体観測は重要であるが、高空間分解・高分散分光ではALMAによる地上観測が現実的であると予想される。大気中の有機エアロゾルなどの微量成分について化学構造・光学特性をとらえるために、中間赤外線・遠赤外線分光観測が有効であることが示された。

長谷川(JAXA宇宙科学研究所)は、SPICAによる太陽系外縁天体の観測の詳細検討の状況を報告した。現時点で想定されている観測装置の感度をもとに見積ると、1000個以上の既知の外縁天体のほとんどすべてについて、測光観測からサイズ・アルベド・熱慣性を決定し、基礎的な物理量が決められること、さらにその約半分については分光観測によって組成を調べられることを示した。外惑星の衛星についても、既知のものはすべて測光観測からサイズ・アルベドを求めることができる。このような天文学的手法は、探査機によるその場観測の結果と結び付けることで、現在の太陽系の姿を明らかにする手がかりとなることを議論した。

藪田(大阪大学)は、滞在先のカナダから、現地まで夜遅くにもかかわらず講演していただいた。小天体有機物分析化学研究の過去45年の変遷を振り返り、超微量分析に顕微分析が加わることで、分析対象が生体関連分子の探索から、より始原的な組成の理解へと発展してきたことをまとめた。その上で、近年の局所微小領域分析によって、超炭素質南極宇宙塵の有機化学的・

鉱物学的な総合理解が進んでいることを紹介した。そして、今後赤外線観測と連携することで、原始惑星系円盤や小天体形成初期の物質進化の理解へと迫れる可能性を展望した。

小林(京都産業大学/京都虹光房)は、彗星コマ中の分子の赤外線高分散分光が、太陽系の素材となった分子雲の温度や原始太陽系円盤中の化学反応プロセスの解明にとって有効であること、特にD/H比、 $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 比など同位体比を調べることの重要性を示した。この観測のためには、既存の分光装置では圧倒的に感度不足であり、SPICAなど将来の赤外線衛星での高分散分光観測が不可欠であることを提案した。

日高(北海道大学)は、氷Ih、氷XIの構造・特性について示し、氷Ihの水素原子が秩序化した相である氷XIの太陽系内における存在環境について示した。氷Ih、氷XIの判別には遠赤外線領域( $100\text{--}350\text{ cm}^{-1}$ )の分光観測が有効であるが、温度環境の点ではカイパーベルト天体や氷衛星にこうした氷が存在する可能性が想定されるため、そうした遠方天体の赤外線衛星による分光観測の重要性が議論された。

和田(千葉工業大学)は、クレーターの形状や密度、あるいは小惑星の形状を手がかりに探る太陽系の衝突進化史について紹介した。探査機で近づいた上での観測では十分な数のサンプルを得ることは難しいため、赤外線による観測がどの程度有効であり、小惑星の形状やクレーターの存在に制限がつけられるか議論がなされた。また、将来の衝突探査と赤外線衛星の連携による「アクティブ衝突実験」の可能性についても提案がなされた。

松浦(JAXA宇宙科学研究所)は、これまでのCOBE/DIRBEやロケット実験CIBERによる黄道光の赤外線観測の結果をレビューしつつ、地球近傍からの黄道光観測では日心距離2 AU以遠の惑星間塵の分布を制限するのは難しいため、地球軌道および黄道面を離れた深宇宙からの黄道光観測が重要であることを示した。トロヤ群小惑星をターゲットとして現在検討されているソーラー電力セイル探査機であれば、トロヤ群だけでなくクルージングフェーズを利用した黄道光の立体的観測やその場計測などが可能である。

谷川(産業医科大学)は、衛星系形成過程に関して、Gas-starved disk modelとSpreading tidal-disk modelの2つの有望なモデルについてレビューを行った。ど

ちらのモデルにも、海王星系や木星系をうまく説明できないなど、まだクリアすべき問題点はいくつかあるが、確実に形成理論が進展している様子が伺えた。また土星のリング内でのmoonletの形成の可能性について紹介があり、観測の重要性が議論された。

木村(神戸大学)は、彗星やデブリ円盤の赤外線スペクトルに見られるシリケート・フィーチャを再現するダスト・モデルについて最新の成果を紹介した。これまで、シリケート・フィーチャの形状やピーク波長がシリケート・ダスト粒子の形状や温度によって変化することが知られているが、それよりも、有機物の体積比や有機物の炭化度がピーク波長を決定する上で重要なパラメータであることを示した。彗星やデブリ円盤のさらなる赤外線分光観測が重要となるが、モデルによる結果の解釈にとって考慮すべき重要な観点を提供した。

## 2. まとめ

以上のように、1日半という短い期間ではあったものの、幅広い視点をカバーしたとても盛りだくさんの内容で、非常に活発な議論が行われた大変有意義な研究会となった。この内容を見てもわかるように、惑星科学研究は急速に広がりを見せているが、これまでそのテーマは、日本では必ずしも赤外線観測と十分有機的に連携した形にはなっていなかったように思われる。「はやぶさ」をはじめ、日本でも探査機による惑星科学は着実に進展を見せているが、探査機によるその場観測だけでは多数存在する天体を網羅的に調べることは事実上不可能である。その意味では、太陽系の歴史を広く俯瞰的に理解するために、望遠鏡による(太陽系だけでなく系外惑星系も含めた)様々な天体の天文学的観測がこれからも有効であることに変わりはない。SPICAをはじめ、日本の将来の赤外線衛星計画の実現は2020年代以降とまだ少し先のことではあるが、その頃に赤外線観測と日本の惑星科学研究が密接にリンクし実りある成果をもたらしてくれるためにも、この研究会がきっかけとなり将来へ続いていけばと期待している。

今回は立案から開催までの期間が短く一般講演なしの開催となってしまったが、是非講演したかったという声も開催後に複数いただいた。今後の開催予定は未

定であるが、次回以降は是非幅広く講演を募り、惑星科学からの面白いアイデアを取り入れた赤外線観測研究を展開していければと考えている。

なお、本研究会は惑星科学研究コンソーシアムの活動の一環として開催されました。研究会当日の講演資料に興味をお持ちの方は、[inquiries@cps-jp.org](mailto:inquiries@cps-jp.org)までお問い合わせください。開催に際しては神戸大学惑星科学研究センター(CPS)からご支援をいただきました。この場を借りてお礼を申し上げたいと思います。

# 月科学研究会報告

大竹 真紀子<sup>1</sup>, 倉本 圭<sup>2</sup>, 村上 英記<sup>3</sup>, 藤本 正樹<sup>1</sup>,  
橋本 樹明<sup>1</sup>, 山本 哲生<sup>4</sup>

## 1. はじめに

月探査は、太陽系科学における重要性はもちろん、今後のわが国の惑星探査に必要な技術実証の場、あるいは国際宇宙探査における我が国のプレゼンスを示す意味でも重要な位置を占めます。本研究会は「かぐや」を始めとするこれまでの研究成果をふまえ、科学面から一貫した月研究の統合的戦略を議論し、イプシロンロケットを用いた月探査および将来の中大型月探査を想定して今後の月ミッションの科学内容の練り上げに資することを目的としました。また現在、議論されている月探査計画の間の情報共有に資することも重要な目的の一つです。

講演は惑星科学における月探査の意義と位置づけ、これまでの月科学成果の総括、月探査に関係する工学技術の現状と展望とし、月科学の統合的戦略については総合討論の時間に議論しました。なお通常講演は招待講演のみとし、通常講演に盛り込まれなかった視点やアイデアなどは総合討論の時間帯に発表していただきました。

## 2. 研究会の日程とプログラム、参加人数

日 程：2014/10/27(月)-28(火)

場 所：神戸大学惑星科学研究センター(CPS)セミナー室

<https://www.cps-jp.org/access/>

1. 宇宙航空研究開発機構

2. 北海道大学

3. 高知大学

4. 神戸大学

ohtake.makiko@jaxa.jp

宇宙科学研究所相模原キャンパス新A棟2F会議室A  
(サテライト会場)

主 催：JAXA 宇宙科学研究所，惑星科学研究コンソーシアム

参加人数：2日間のべ90名(神戸大CPS会場と宇宙科学研究所サテライト会場含む)

TV接続先：宇宙科学研究所，国立天文台，北大，高知大，産総研，会津大

## 3. 感想

各講演者の皆様には惑星科学における月研究の意義やこれまで月の理解がどこまで進んでいるのか、残っている課題は何かそれぞれ非常に興味深い発表をしていただき、とても有意義な研究会になったと思っています。また多くの方に参加いただき、神戸のCPS会場はほぼ満席となり熱い議論ができました。特に惑星形成論や巨大衝突仮説と月の関係、地球と月の構造や組成の比較、熱進化の観点での月の特性、長期にわた



写真1：研究会風景 ほぼ満席となった神戸大CPSセミナー室(1日目)

## 《プログラム》

発表資料の閲覧を希望される方は inquiries@cps-jp.org にお問い合わせください。

## 10/27(月)

13:00-13:30	藤本 正樹(宇宙研)	月探査を取り巻く状況と長期月探査ウィジョンの必要性
13:30-14:00	小久保英一郎(天文台)	太陽系形成と月形成
14:00-14:30	玄田 英典(東工大)	ジャイアントインパクト仮説レビュー + $\alpha$
14:30-15:00	黒澤 耕介(千葉工大)	月探査から探る隕石重爆撃
15:00-15:30	大谷 栄治(東北大)	物質科学的にみた月中心部
15:30-16:00	(ブレイク)	
16:00-16:30	丸山 茂徳(東工大)	月探査の重要性：地球生命の起源と冥王代原初大陸
16:30-17:00	佐伯 和人(大阪大)	月試料分析と月リモートセンシング、それぞれの役割と惑星地質学における意義
17:00-17:30	斉藤 義文(宇宙研)	月周辺プラズマ研究の現状
17:30-18:00	高橋 太(九州大)	最新の月科学：磁場
18:00-18:30	大竹真紀子(宇宙研)	最新の月科学：月地殻の形成過程

## 10/28(火)

9:00-9:30	小河 正基(東大)	地球型惑星の内部進化と月探査の意義
9:30-10:00	諸田 智克(名古屋大)	最新の月科学：月の火成活動
10:00-10:30	石原 吉明(JSPEC)	最新の月科学：月の内部構造
10:30-11:00	橋本 樹明(宇宙研)	月探査の工学的意義
11:00-11:30	澤井秀次郎(宇宙研)	将来の月着陸探査に向けた技術実証構想 ～ SLIM ～
11:30-12:00	橋本 樹明(宇宙研)	表面探査技術の研究開発動向
12:00-12:30	後藤 健(宇宙研)	将来のハードランディング技術による着陸探査
12:30-13:30	(昼食)	
13:30-14:00	紀伊 恒男(宇宙研)	ISAS/SE推進室が勧めるミッション創成とコミュニティに期待すること
14:00-17:30	総合討論*	
	倉本 圭(北海道大)	総合討論オープニング
	橋本 樹明(宇宙研)	月探査に関連するWG活動等の紹介
	山田 竜平(天文台)	APPROACHの目指す月震観測(原理・手法・解析法)
	佐伯 和人(大阪大)	SEL2着陸点検討会の成果
	岩田 隆浩(宇宙研)	次期月探査計画検討WGの活動成果報告
	春山 純一(宇宙研)	月の縦穴・地下空洞探査(UZUME計画)について
	佐伯 和人(大阪大)	月探査の長期ウィジョン検討叩き台の紹介

\*総合討論で話題提供を予定されている方の発表時間は10分を目標

る天体衝突による月面掘削の影響、リモートセンシング観測の惑星科学への意義、地球における生命誕生と斜長岩地殻との関係性、まで広い視野でのお話を伺えたことは、今後の月探査で目指すべき重要な科学的課題は何か、またそれら探査をどう実現して行くのかを考える上でとても重要であったと感じています。ただし1.5日の短い時間の中に、科学目標の議論だけでなく月探査の工学的意義や今後の月探査で何をを目指すのかまでのそれぞれ重要な議論を詰め込みすぎたために、いくつかの項目について十分な議論を行う時間が不足であった点は世話人で反省しています。

当日の総合討論ではこれら反省点を踏まえつつ、今後も今回重要な課題として上げられた科学目標をより先鋭化するための議論を続け、さらにはこの先、月探

査の実現に向けてどのような戦略を立てるのかについても議論を重ねることとなりました。今回は月に絞った会でしたが今後は火星などの他天体へも議論を広げ、今後の月惑星探査を総合的に考察して行く必要があることも話し合われました。今後行う議論の枠組みや日程については別途お知らせしていく予定です。また次号の遊星人で今回の研究会の議論のまとめを報告する予定です。科学的価値の高い月惑星探査ミッションの創出を目指して、研究コミュニティの皆様のご協力をお願い致します。

## 2014年度秋季講演会報告

2014年度日本惑星科学会秋季講演会実行委員長(東北大LOC) 中村 智樹<sup>1</sup>

2014年9月24日から9月26日にかけて、東北大学片平キャンパスさくらホールにて日本惑星科学会2014年度秋季講演会が行われました。参加者は、222人(うち事前参加申込者190人、当日申込者32人)と前年を上回る多数の方にご参加頂くことができました。また、今年は学部生及び修士1年の非発表の学生を参加費無料としたところ12人の参加者がありました。今回、学生参加の敷居を下げたことは、一人でも多くの学生に惑星科学に触れてもらえる機会を提供できたので、参加者及び惑星科学会の双方に有益な制度であったと感じます。

また、今回の新たな試みとしては、予稿集の冊子体の販売を行わずに、WEB上でダウンロードして頂く形式にしたことです。特段問題は発生しませんでした。準備の際の手間を大幅に省くことができ、当日の販売作業も不要なので様々な面で効率化を図れたと感じました。

発表数は184件でした。口頭発表が100件、ポスター発表が78件、口頭発表とポスター発表の両方が義務付けられている最優秀発表賞のエントリー講演数6件です。二日目の総会にて、発表賞受賞者の表彰式が行われ、京都大学の松野淳也さんが受賞されました。また、総会後に最優秀研究者賞特別講演(東京工業大学 奥住聡さん)が行われました。

前年度同様、口頭発表の一人あたりの持ち時間は10分(質疑応答2分含む)としており、時間が押してしまう場面もありましたが、休憩時間などの調整により大幅な遅れや、最終日の最後のセッションの発表順変更を除き、プログラムの大きな変更はありませんでした。



図1: 秋季講演会会場: 片平キャンパスさくらホール。

た。

そして今回の開催場所である片平さくらホールは、東北大学の施設であり、東北大学理学研究科の共催を得られたことで、会場経費などは例年より削減することが出来ました。さくらホールは、多くの学会を開催している実績があるため、学会を行うための講演会場やポスター発表会場共に様々な設備が整っており、スムーズに会の進行を執り行うことが出来ました。講演会場は当初人数に対して、少し狭いのではないかと懸念がありましたが、実際は約200名を収容するのに丁度良い広さであり、スライドも見やすく講演者の声も届きやすく、皆様には講演に集中することのできる環境で拝聴頂けたかと思います。

懇親会は、さくらホール内で行いました。立食形式にし、参加者が多くの方々と交流を持てるような会となりました。今回は、東北大学のオーケストラ部の中選抜された4名に、カルテットを行って頂きました。BGMとして、参加された皆様の会話に華を添えることが出来たかと思います。また、東北は地酒が美味し

1. 東北大学理学研究科  
aloc-m1@wakusei.jp



図2：ポスターセッションの様子。

いことでも有名ですので、厳選した地酒を用意させて頂きました。

学会開催の前日の2014年9月23日、東北大学片平キャンパスさくらホールにて一般向け公開講演会を開催しました。この公開講演会は、一般の方に惑星科学会の活動について知ってもらうために企画されたものです。会場のさくらホールには、事前申込180名と当日参加の20名強を合わせ、200名近くの来場者が集まりました。テーマは打ち上げ間近のはやぶさ2であり、題材や講演者の一般認知度からか、小学生のお子様を連れたご家族での参加も目立ちました。

講演会は國中均教授(はやぶさ2プロジェクトマネージャー・JAXA宇宙科学研究所)と渡邊誠一郎教授(はやぶさ2プロジェクトサイエンティスト・名古屋大学大学院環境学研究科)のお二人にご登壇頂きました。

一人目の講演者は國中先生で、テーマは「はやぶさ2が拓く宇宙探査」。大学の講義のような、参加者に話しかけるスタイルで行われました。ロケット開発の歴史からはじまり、イオンエンジンのしくみ、そしてはやぶさ2のミッションと未来図までお話されました。中でも、マイクロ波を使ったイオンエンジンをどのように実用可能にしたのかといった開発秘話は、初代はやぶさからエンジン開発に携わってこられた國中先生ならではの、臨場感あふれるものでした。

二人目の渡邊先生の講演テーマは「はやぶさ2」が探る惑星科学です。「小惑星からの惑星科学」をキーワードに、はやぶさ2のミッションのサイエンス的な意義についてお話をされました。はやぶさ2が目指す小惑星は、地球や月のように高温を経験し天体内部が



図3：一般向け公開講演会の様子。

溶融してしまったものとは違い、太陽系誕生のころやその後の進化の記録を持っていると考えられます。そのような情報を持つ小惑星からサンプルを持ち帰り、地球や太陽系の惑星の起源を探るといふ、研究の一つの大きな目的について語りました。

お二人の話に共通していたのは、10年20年後に最前線で活躍しているであろう若い世代に向けたメッセージでした。その頃には宇宙大航海時代となり、宇宙で我々が活動する、または宇宙をどうやって利用していくかを探る時代になっているだろうと話し、将来を見据えて今から夢を持って頑張りたいと伝えました。

國中先生、渡邊先生、打ち上げが迫った時期に素晴らしい講演をくださり、誠にありがとうございました。11月のはやぶさ2の打ち上げとミッションの成功をお祈りいたします。

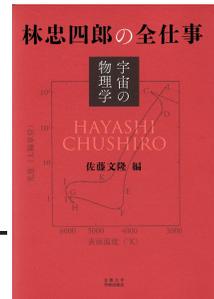
最後に、今回の秋季講演会を開催するに当たりまして、多くの皆様のご協力を頂きまして誠にありがとうございました。東北大LOC実行委員として裏方で準備や、当日の運営に携わって下さいました皆様、アルバイトでお手伝いをして下さった学生の皆様には深く感謝申し上げます。そして、本原稿の作成を補助していただいた東京工業大学地球生命研究所 米原様、多くの助言やご指針を頂いた行事部会や情報部会の皆様には、改めてこの場をお借りしまして、深く御礼申し上げます。

書評

## 「林忠四郎の全仕事」

佐藤 文隆 編  
 京都大学学術出版会  
 2014年5月刊行 全816ページ 定価15,120円  
 ISBN: 9784876984978

牧野 淳一郎<sup>1</sup>



林忠四郎の「全仕事」といながら、781 ページのこの本は日本語である。つまり、論文集ではなく、林忠四郎およびその周辺の人々の、日本語で書いた文章、解説記事、対談、追悼記事等を集めたものである。

しかし、この「全仕事」の意義は、編纂にあたった皆様には申し訳ないが、なんとといっても第I部「林忠四郎の自叙伝」にある。生前から存在は知られていたものの、ごく一部のものしかみていなかった自叙伝が、活字となって公表されたのである。覗き趣味とか論文読めとかいった声が聞こえるような気もするが、読まない、という選択はありえない。林は日本の現在の理論天体物理学研究、理論惑星科学研究の祖というべき存在であり、そのような「大成功」をおさめた研究者がいったいどのようなことを考えて研究テーマを定め、研究室運営をし、学生を指導してきたのか、を本音で語った貴重な資料なのだ。

テーマ選定、研究室運営という観点からは、天体核研究室ができた経緯が興味深い。1957年、即ち、1954年度に日本における原子力研究が開始されたわずか3年後に、原子核理学専攻核エネルギー講座が創設されており、林はその教授として「天上と地上の核融合」の研究をテーマとした。それまでの林は、素粒子理論、ビッグバン元素合成、赤色巨星の構造等の研究で業績をあげていたものの、地上における核融合についてはほぼ素人である。本人の言葉を借りるなら「1954年から1958年の間に多数の論文とL. シュピッツァーの本「完全電離ガスの物理」やT. カウリングの本「磁気流体力学」などを読んで勉強したが、そのエネルギー利用の実現可能性については、確信が持てるような見通

しが得られなかった。実現には、少なくとも、孫の代までは待つべきものと考えていた」とある。それでも、京大におけるヘリオトロン研究をスタートさせ、日本語での教科書も執筆した。しかし、早くも1960年には研究室における「地上の核融合」研究は中止し、天体核物理研究に集中、その後は、林フェーズの発見から、研究テーマを主系列にいたる前の星形成、さらには惑星形成へと、核融合と関係あるとはいいがたいところへ広げていくことで、現在にいたる日本における理論天体物理学の祖となった。これはもちろんよく知られていることではあるが、本人の証言はやはり興味深い。また、現在の、文科省の意味不明の「改革」のいいなりにになっている大学(その先にあるのが筆者の現所属の理研である)から見ると、講座の設立目的をわずか3年で反故にできた、ということにある種羨望を感じないわけにはいかない。

もうひとつ、印象深いのは、林の徹底した研究中心主義である。利己的とも見えるその姿勢は、自らが学部長に落選するべく工作したこと、他大学への転出まで検討したことを述べる林の口調に現れているほか、自叙伝の随所から読み取ることができる。京都大学定年まで、さらには定年後まで、自分の研究をひたすらに追求する姿勢には圧倒される一方、それには、では「老害」の面は全くなかったといいきれぬのか? という疑問もわいてくる。

ほぼ同時代の早川幸男(「素粒子から宇宙へ」に垣間見ることができる)と比べると、優れた研究者のあり方も色々である。それほどではない研究者はどうするべきか、考えさせられた。

1. 独立行政法人理化学研究所 計算科学研究機構  
 jmakino@riken.jp

## JSPS Information

- ◇日本惑星科学会第108回運営委員会議事録
- ◇日本惑星科学会第42回総会議事録
- ◇日本惑星科学会賛助会員名簿
- ◇日本惑星科学会主催・共催・協賛・後援の研究会情報

### ◇日本惑星科学会第108回運営委員会議事録

日 時：2014年9月24日(水)18：30－21：15

場 所：東北大学片平キャンパス 東北大学本部棟4 施設部 3階会議室

出 席：田近 英一，渡邊 誠一郎，倉本 圭，林 祥介，永原 裕子，佐々木 晶，荒川 政彦，小林 直樹，  
中本 泰史，はしもとじょーじ，千秋 博紀，橘 省吾，生駒 大洋，中村 智樹，平田 成，荒井 朋子，  
並木 則行，城野 信一，井田 茂(早退)，中村 昭子，杉田 精司(ともに，学会賞選考委員のため遅刻)  
欠 席：渡部 潤一，藤本 正樹，小久保 英一郎(ともに，議長委任)

#### 1. 中間報告(荒井財務専門委員長)

増税により支出に若干の増加があったが，収入支出ともにおおむね予算通りである。

#### 2. 予算案(荒井財務専門委員長)

##### ○一般会計

##### [収入]

- ・会費収入は例年通り
- ・賛助会員5社. 350,000円
- ・前受金(学生のダブルクリック問題)
- ・学会誌出版事業費
  - －例年減少
  - －今年は少なめに10万円と見積もり
- ・秋季講演会参加費
  - －40万円の収入を見込んだ

##### [支出]

- ・学会誌出版・広報事業
    - －遊星人の要望を100%考慮
    - －原稿起こし・カラーページ費用は40万円とし，昨年(20万円)の倍とした。
    - －EPS分担金は10万円で，今年の半分とした。
- ※特に新たな支出があるわけではないが，徐々に赤字になりつつある。

## [質疑・コメント]

質問(林会員)：サーバー基礎開発費は積み立てておかなくてよいのか？

回答(千秋情報化専門委員長)：

- ・これまでの支出は立ち上げにかかった費用を4年間で分割したもの、それを完済しただけ
- ・現行OSのサポート期間は16年度末で切れるので、OSを入れ替える必要があり、そのときに、まとまった費用が必要となる可能性があり、日程は未定
- ・現在、OSについては幾つかのアイデアがあり、議論中である。まだ具体化されていないので、予算を定量化できていない。
- ・あとでメール審議する。
- ・最大でこれまでに払ってた額とほぼ同額(30数万×数年)
  - 財務として対応するように(会長)

質問(はしもと会員)：秋季講演会の事業収入の減少はなにか？

収入=支出とすべきなので、参加費を値上げすべきではないか？

回答(田近会長)：値上げはやむを得ない。学生については参加費は据え置き(2000円)で、一般の参加費を4000円(1000円アップ)にする。

- 運営委員会として承認した。
- 秋季講演会の予算が20万円増

質問(渡邊会員)：カラーページ費用が40万円というのは多すぎるのでは？

回答(はしもと編集専門委員長)：30万円で妥協する。

## ○学会賞特別会計

問題なく回っている。

## 3. 災害に伴う会費免除(財務専門委員長)

現時点で対象者なし

## 4. 入退会について(平田総務専門委員長)

2014年9月23日現在

正会員646名(内学生108名)

- ・2014年度入会30名
- ・2014年度退会予定8名

賛助会員5件

購読会員・名誉会員

- ・一般購読数 5
- ・法人購読数 7
- ・名誉法人数 8

## 5. 選挙管理委員会(平田総務専門委員長)

会則第3章および役員選挙規定に従って通常通りに行う。

- 9月24日 選挙管理委員会発足
- 10月29日 会長候補者の推薦・募集開始
- 11月15日 同終了
- 11月19日 役員選挙公示・投票受付開始
- 12月9日 同終了
- 12月17日 会計幹事候補者公示・信任投票受付開始

1月15日 同終了

#### 6. その他総務からの案件(平田総務専門委員長)

第42回総会の議長として谷川享行会員を、書記として長岡央会員が推薦され、運営委員会はそれを承認した。

#### 7. 遊星人(はしもと編集専門委員長)

問題なく発行中である

#### 8. 2014年秋季講演会報告(中村2014年秋季講演会組織委員長)

- ・講演会参加者数(事前登録)は190名。これに当日参加登録者が加わる。発表は186件あった。
- ・会場費が無料であったことや、LOCのボランティアのおかげで、赤字なく終わった。
- ・一般講演会は満席で、大成功に終わった。

#### 9. 来年度秋季講演(井田2015年秋季講演会組織委員長)

- ・会場(ELSI新棟)はまだできていないが、来年10月には間に合う予定である。
- ・日程として10月7・8・9日に講演会、10日に一般講演会を予定しているという提案が井田委員長からあった。しかし、三連休にかかるため、10月14・15・16日講習会、17日に一般講演会という予定にすべきという意見が出た。東工大の学園祭の予定を調べて、最終的にELSIが結論を出すことに決まった。

#### 10. 日本地球惑星科学連合報告(永原日本地球惑星科学連合連携専門委員長)

- ・連合大会2015のセッション提案がすでに始まっている
  - －関連分野を統合し、パラレルセッションをなくす方針。ただし、惑星科学にはほぼ無関係。
  - －5月24日～28日に幕張メッセで開催予定
  - －JpGUの国際化にともなって、国際シンポジウムを計画中。英語セッションを増やしたい。
- ・西田先生が連合に寄付金。それに基づいて西田賞を設立(締切10月15日)。惑星科学会としても対応すべき。
- ・PEPS特別セッション=複数にまたがるセッション。ノルマはPEPSに投稿すること。10月24日まで。
- ・惑星科学会内に連合連携組織委員長という委員をおく必要性について、次期会長選出時に議論することになった。

#### 11. 最優秀発表賞受賞者決定(佐伯学会賞選考委員長)

- ・松野淳也(京都大学)に決定した。
- ・例年議長発表だが、今回は委員長が発表するようにする。→承認

#### 12. CiNiサービス中止に伴う予稿集電子版の取り扱いについて(中村行事部会長)

- ・再来年にはCiNiに予稿集をアップできなくなる。
- ・3つの方向性

- 1) J-Stage Lite への移行(現在構築中)
- 2) リポジトリを使う
- 3) 商業ベースに乗る

があるが、可能性1)を行事部会で検討中。しばらくは様子を見る。J-Stage Lite が使いにくかったら、改めて検討することにする。

#### 13. 今後のサーバーの開発方針について(千秋情報化専門委員長)

上で報告した通り。それに加えて、2017年3月に現行のOSサポートが終了。2016年にサーバー移行の予算立てが必要。

#### 14. 「来る10年」検討状況の報告(並木将来探査検討グループ長)

パブコメの集計結果を総会で報告する。先行してその内容を紹介。

コメント1

- ・学会外での議論も進んでいる状況であり、学会内部の活動としてのこの報告をどのタイミングで行うのが難しく、見計らっているところ(渡邊)

- ・月：理学が先行，火星・トロヤ：工学が先行，カウンターパート側の検討をどう進めるか(渡邊)
- コメント2
- ・ベネトレータ実証ミッションのイプシロン3号機への提案は残念ながら採択されず(小林)
- ・採択されたのは工学提案のSLIM(月着陸)とDESTINY(ラクランジュ+ $\alpha$ (小惑星?))(渡邊)
- ・提案に関わる反省報告をポスター発表している(小林)

#### 15. 惑星科学教育研究コンソーシアム構想について(倉本副会長)

- ・「太陽系生命前駆環境の実証的解明のための統合研究プログラム」の検討
- ・文科省から公募が出た．．．宇宙航空科学技術推進委託費
- (1) 実践的若手人材育成プログラム(年度上限1000万円)
- (2) 宇宙科学研究拠点形成プログラム(年度上限3500万円)
- どちらも10月10日メ切
- ・運営委員会前日に会長他数名で会合を開き議論した。
  - 業界全体のために提案を行うことを確認した。
  - (2)の予想採択数は4件で，工学2件+理学2件と考えると，惑星に回る可能性があるのは1件。したがって，惑星から1件を提案することにした。
  - (1)にも1件を提案することにした。
  - (1)は神戸中心(リーダー：林会員)，(2)は東大中心(リーダー：杉田会員)

#### (2)についてのプラン(杉田会員)

- ・最終的な目標は，惑星探査を強力に進めていくための足腰を鍛える。
- ・早めに成果を出せることが文科省から求められている(利用促進)
- ・はやぶさ2 ONCデータ解析を核に，「ひさき」データ解析や機器開発等も入れて構築する
- コメント(林会員)：コンソーシアムという枠組みで行っていることを忘れずに。

#### (1)についてのプラン(林会員)

- ・アウトリーチに近い公募をどう解釈するかがポイント
- ・昨今の問題を鑑み(学生の減少，レベル減退)，エリートコースに対応するサマースクールを行うことを検討中。
  - フロンティアセミナーやプラネタリースクール，探査実習など
  - ELSI等に参加をお願いする。

#### 16. その他

##### ○政治レベルでの宇宙政策の現状について説明(田近会長)

- ・宇宙政策委員会が実働に乏しいため，委員会内部に宇宙政策部会(正しくは基本政策部会)が設置され，中長期計画を検討することになった
- 宇宙政策，宇宙基本法の見直し
- コミュニティに対しての要求：向こう10年の工程表
- 宇宙科学・探査部会も近々開催(そこで具体的なプランが策定される?)
- ※永原会員・渡邊会員から背景補足があった。

## ◇日本惑星科学会第42回総会議事録

日 時：9月25日(月)16:30-17:20

場 所：東北大学片平キャンパス さくらホール 会議室

〒 980-8577 仙台市青葉区片平二丁目1-1

正 会 員：646

定 足 数：65

参加人数：107名(開会時) (これに加えて非会員の傍聴者2名), 121名(議事3.1採択時), 122名(議事3.2採択時)

委 任 状：117通(議長:115通, 林 祥介会員:1通, 田近 英一会員:1通. ただし内2通分は提出者が総会に参加したため無効)

### 1. 開会宣言

平田総務専門委員長が開会を宣言.

### 2. 議長団選出

運営委員会からの推薦で議長に谷川享行会員, 書記に長岡央会員が選出された.

### 3. 議 事

#### 3.1. 第12期下期(2014年度)中間報告

##### ○会計報告(荒井財務専門委員長)

荒井財務委員長より会計の中間報告が行われた. 収入・支出共に順調である. 消費税増税のため各項目で支出は増えたが, とくに問題なし.

##### ○各種専門委員会報告(各専門委員長)

なし

##### ○質疑応答

なし

##### ○採択

第12期下期活動報告の採択が行われ, 賛成:121, 反対:0, 保留:0により採択

#### 3.2. 第13期上期(2015年度)予算案

##### ○説明(荒井財務専門委員長)

・収入:例年通り.

・支出:原稿起こし, カラーページ費用を増やした. 「来る10年」報告書印刷費を計上. その他はほぼ例年通りであるが, 消費税増税により支出が増えている.

##### ○質疑応答

・収入の会員費はどれだけの回収率か? また回収率を上げる努力は?

・一割程度が未回収, 3年待つ, それでもだめなのは2, 3人ほどいる. その場合は除名処分. そうならないように周りに声がけをお願いします(荒井)

・予稿集は紙では印刷しないのか?(JAXA・岡田)

・今年度から予行集はPDF化, そのため予稿集は刷らない(荒井)

・2015年度はサーバー開発費分の支払いが終了した分減っているのに赤字になるのはなぜか?

・増税分のマイナスが20万, 印刷費関連が20万くらい. 会費収入を少なめに見積もる傾向があるので, 最終

的には特に心配はないとおもう(荒井)

- ・会費収入は実際の会員数をかけて算出するべきでは?(名大・渡邊)
- ・EPS分担金, 学会賞の予算の変動分はなぜ?(JAXA・岩田)
- ・EPS分担金は1年で10万円, 前年度分を2月に今年度分を5月に支出, 今年度は合わせて20万円を計上. 来年は例年通り10万円. 学会賞は2013年度まではプール金があったのでそこから, 今年はそれがないため支出が増えている(荒井)
- ・賞金は寄付金によっている(荒井)

○採択

第13期上期(2015年度)予算案の採択が行われ, 賛成: 122, 反対: 0, 保留: 0により採択された.

#### 4. 報告事項

##### 4.1. 自然災害に伴う会費免除措置について(荒井財務専門委員長)

- ・今年度自然災害にあった会員は来年度の会費免除, 申請は1月中旬頃までに(荒井)

##### 4.2. 学会賞授賞式: 2013年度最優秀研究者賞および2014年度最優秀発表賞(司会: 議長)

- ・東工大の奥住聡会員に対する2013年度最優秀研究者賞授賞式は, 総会に続く特別講演のセッション冒頭に行われた.

○2014年度最優秀発表賞授賞式

- ・佐伯学会賞選考委員長から, 2014年度最優秀発表賞の選考結果が発表された
- ・受賞者及びタイトル: 松野淳也会員「三次元観察と室内実験から探るGEMSの起源」
- ・佐伯学会賞選考委員長より, 選考の経緯と講評の説明があった. 来年度も実施の予定であるが, 募集要項改訂を検討しているとのこと.
- ・田近会長より表彰状及び副賞の贈呈が行われ, 受賞者挨拶があった.

##### 4.3. 2014年秋季講演会の報告(中村2014年秋季講演会組織委員長)

○中村2014年組織委員長より報告

- ・一般講演会: 参加者180名来場
- ・参加者: 190+32名
- ・今回予稿集はPDF化し印刷物はなし, 予稿集代金での収入はなくなる. その分会費を値上げ. 結果黒字となった.

##### 4.4. 2015年秋季講演会の案内(中本2015年秋季講演会組織委員)

○中本秋期講演会委員長から報告

- ・2015年は東京工業大学の地球生命研究所にて開催.
- ・2015年10月14-16日学術講演, 17日一般講演(仮)

##### 4.5. 「来る10年」検討状況の報告(並木将来探査検討グループ長)

○並木グループ長の報告

- ・第三段階の評価終了.
- ・21件の評価で評価者は14名. 火星探査8件, 月年代8件, トロヤ群5件.
- ・火星生命探査: 生命探査はあたりはずれがおおきい. 工学と理学のミッションで工学は検討が進んでいるが, 理学は少し足りないのではという見方. 資金については工学の計画は明確だが, 理学は不透明. システムについては詳しいコメントは特になし. スケジュールについては意見が分かれる. 体制についてはポジティブな評価.
- ・月年代学: 科学目標の重要性については重要なミッションという位置づけ. 技術の見方についてはラボ実験から実際の観測に適用させるのはまだ難しいという見解. 資金については, 年代測定だけでは中型ミ

ッションとしては高い。システムについては検討課題あり。スケジュールについてはまだうまくいっていない。体制については工学との連携が必要。

- ・ トロヤ群：理学ミッションとして成果がでるまでの期間が長い。技術については工学での検討は進んでいる。資金面は難しい。スケジュール面は漠然と可能なのではという評価。体制は理学側が足りない。
- ・ これらの検討については遊星人にまとめ、1月頃までに投稿する。
- ・ 質問コメント：なし

#### ○宇宙基本計画について

- ・ 予算を確保するために、計画を進めていかななくては。
- ・ 惑星探査についても対象を決めなさいという段階にきている。月なのか火星なのか、小天体なのか。
- ・ コミュニティーで考えないといけない。
- ・ ぜひ懇親会で率直な意見を聞かせてほしい、意見を積極的にかわしましょう(名大・渡邊)

#### 4.6. 役員選挙の案内(平田総務専門委員長)

- ・ 2年で一期、新たに13期の役員選挙を実施。
- ・ 選挙管理委員会を組織した。
- ・ 質問コメント：なし

#### 4.7. その他

なし

#### 5. 議長団解任

#### 6. 閉会宣言

### ◇日本惑星科学会賛助会員名簿

2014年12月25日までに、賛助会員として本学会にご協力下さった団体は以下の通りです。社名等を掲載し、敬意と感謝の意を表します。(五十音順)

アメテック株式会社カメカ事業部  
株式会社五藤光学研究所  
有限会社テラパブ  
株式会社ニュートンプレス  
フジカット有限会社

## ◇日本惑星科学会主催・共催・協賛・後援の研究会情報

(a)場所, (b)主催者, (c)ウェブページ/連絡先など.  
転記ミス, 原稿作成後に変更等があるかもしれません. 各自でご確認ください.

---

### 2015/05

---

#### 5/24-5/28 日本地球惑星科学連合2015年大会

- (a)幕張メッセ国際会議場, 千葉県千葉市
  - (b)公益社団法人日本地球惑星科学連合
  - (c)<http://www.jpгу.org/meeting/index.htm>
- 

### 2015/07

---

#### 7/4-7/10 第30回宇宙技術および科学の国際シンポジウム (ISTS)

- (a)神戸コンベンションセンター, 兵庫県神戸市
- (b)第30回宇宙技術および科学の国際シンポジウム組織委員会, 日本航空宇宙学会
- (c)<http://www.ists.or.jp/2015/>

## 編集後記

特集「広報・アウトリーチ」はいかがでしたでしょうか。月惑星探査のような巨大プロジェクトを推進していくためには国民の理解と応援が必須であることは言うまでもありません。また、次世代、次々世代の人材を育てるためにも、子供たちに惑星科学の面白さや意義をしっかりと伝えていくアウトリーチ活動は重要です。私は「かぐや」に関わって以降、一般公演や子供達向けに公演をさせていただく機会が増えました。そういった機会があるたびに、正確に情報を伝える難しさを痛感しております。これからも精進します。

さて、本号で編集幹事のお仕事がお役御免となりま

す。この2年間、全身全霊をかけて私を支えてくれた編集長、前編集幹事、そして編集委員、著者、読者の皆様方、まことに有難うございました。無事、遊星人は存続しております。就任当初は皆さんの締切に対する認識の緩さに何度も泣かされましたが、じきに「そんなもんだ」という境地に至り、冷静に対応することができるようになりました。何事も経験です。

惑星科学は広範囲の研究対象を扱う学問だけに、互いの知識や活動について分かりやすい解説がえられる遊星人は貴重な雑誌です。これからもぜひ皆さんで遊星人を盛り上げていきましょう。（諸田）

編集委員

はしもと じょーじ [編集長],

諸田 智克 [編集幹事],

寺藺 淳也 [特集「広報・アウトリーチ」ゲスト・エディター]

生駒 大洋, 上相 真之, 岡崎 隆司, 奥地 拓生, 木村 勇氣, 倉本 圭, 小久保 英一郎, 白石 浩章,

杉山 耕一朗, 関口 朋彦, 田中 秀和, 谷川 享行, 成田 憲保, 本田 親寿, 三浦 均, 山本 聡,

渡部 潤一, 渡部 直樹, 和田 浩二

2014年12月25日発行

日本惑星科学会誌 遊・星・人 第23巻 第4号

定 価 一部 1,750円(送料含む)

編集人 はしもと じょーじ(日本惑星科学会編集専門委員会委員長)

印刷所 〒501-0476 岐阜県本巣市海老A&A 日本印刷株式会社

発行所 〒105-0012 東京都港区芝大門2-1-16 芝大門MFビルB1階

株式会社イーサイド登録センター内 日本惑星科学会

e-mail : staff@wakusei.jp

TEL : 03-6435-8789 / FAX : 03-6435-8790

(連絡はできる限り電子メールをお使いいただきますようご協力お願いいたします)

本誌に掲載された寄稿等の著作権は日本惑星科学会が所有しています。

複写される方へ

本誌に掲載された著作物を個人的な使用の目的以外で複写したい方は、著作権者から複写等の行使の依託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル 学術著作権協会

TEL : 03-3475-5618 / FAX : 03-3475-5619

e-mail : kammori@msh.biglobe.ne.jp

著作物の転載・翻訳のような複写以外の許諾は、直接日本惑星科学会へご連絡下さい。