

# はやぶさの成果

## —サンプルがかえる前に分かったこと、その1—

池田人<sup>1,2</sup>, 鈴木絢子<sup>3</sup>, 奥平恭子<sup>2</sup>, 北里 宏平<sup>2</sup>, 出村裕英<sup>4</sup>

はやぶさの到着の前に予想された小惑星イトカワの描像は、形と地質に関して完全に覆され、物質科学的にも大変エキサイティングな成果があがりつつある。いずれフルペーパーとして眼に触れることになるが、本レポートは一足先に、大学院生のメモノートに基づくシンポジウム報告の形で、それらを紹介するものである。

対象の第2回ははやぶさ国際科学シンポジウムは、2006年7月12-14日に東京大学武田ホールにてJAXAはやぶさプロジェクトと会津大学との共催で開かれた(図1)。開催に当たっては、宇宙科学振興会および天文学振興財団の御支援も頂いた。9つのセッション(表1)からなるこのシンポジウムでは、関連研究者が小

惑星ランデブーから半年が経過したのを機に一堂に会して、それぞれの解析の中間報告と意見交換を行った。なお、このシンポジウムに付随して7月8日には会津大学大講義室にて一般講演会(図2)も開催された。

以下に紹介する内容は、口頭発表の聞き書きであって査読を経たものではなく、今後の研究の進展によって変わる可能性もある。しかし、回収試料の分析

<p>7月12日</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 1. Overview (サイエンス特集号まとめ) 出村 / 藤原</li> <li>● 2. Astrodynamics (宇宙力学) 吉川 / Scheeres</li> <li>● 3. Impact (衝突一般) 高木 / Kohout</li> </ul>
<p>7月13日</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 4. Technology (工学成果) 久保田 / Yeomans</li> <li>○ 5. Geology and Geography (地質と地理) 宮本 / Barnouin-Jha</li> <li>● 6. Samples (試料分析) 矢田 / Ireland</li> </ul>
<p>7月14日</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 7. Observations (地上観測) 安部 / Abell</li> <li>○ 8. Photometry (測光) 佐々木 / Clark</li> <li>○ 9. Other_Missions (他ミッション) 矢野 / Asphaug</li> </ul>

表1: 第2回ははやぶさシンポジウムセッション構成と座長

1. 九州大学
2. 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部
3. 東京大学 地震研究所
4. 会津大学



図1: シンポジウム集合写真



図2: 100人以上が詰め掛けた一般講演会の様子。

前に分かったことのまとめという速報性を重視し, 今号と次号の2回に分けて掲載する. 表1のシンポジウムのセッション構成で, 今号掲載するものには●, 次号のものには○印を付けた. なお紙面の都合により, Science第312巻5778号(2006年6月2日号)の特集号『Hayabusa at Asteroid Itokawa』を読まれたことを前提とし, Overviewセッションなどごく基本的な説明は省略させて頂いた.

一通り発表を見回してみても気づくことは幾つかある. まず, 何と言っても, イトカワの奇妙な形状である. 2つの塊が接合し, それぞれが大まかに見て, まるい. しかし, より細かく見ると, 切り欠いた面(ファセット)や台座状のブロックなど, 全球形状と無関係な起伏が見られる. そのほか色々な考察を踏まえ, イトカワは探査機が直接確認した初のラブルパイルであるという認識が深まりつつある.

事前の予想は, イトカワはゴロリとした単一の岩体だろうというもの. 差し渡し1 kmを切る天体では脱出速度が小さく, 衝突で飛び出す高速の破片はほとんどが飛び去ってしまうと考えられていたからだ. しかし, 写真でも明らかなように数多くの砂礫に覆われ, バルク密度が $2 \text{ g/cm}^3$ を切るというのは, かなり衝撃的であった. 前者について, 微小重力環境下の表層砂礫の移動と分級が幾つもの状況証拠と共に取りあげられ, 今後の詳細なシミュレーションが待たれる. また後者について, 多少値がゆらいだとしても空隙率が40%程度と大きいことをどう説明するか, がれきの詰まり具合の不均質性がその後の解析で検出できないか, といったことが議論を呼んだ. コンタクトバイナリ, という単語も一人歩きしているようだが, イトカワの起源を物理的に説明することができるか, 力学的研究テーマも幾つか盛り上がっている.

一方, 物質科学的視点では, やはり分光タイプS型は普通コンドライト組成と見て良さそうだということが蛍光X線分光器ならびに近赤外分光器で確認されたことが大きな成果である. それに加え, 『レゴリスだけでなく岩石も宇宙風化するのだ』という指摘も衝撃

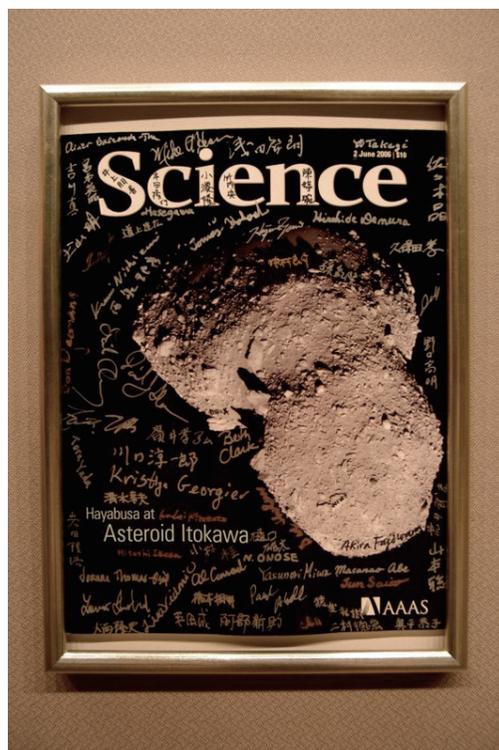


図3: 藤原教授に贈られた署名寄せ書き Science 特集号

的であった. 風化度合いの違いによって, ローカルには多様な表面組成が見られるのだ. じっくり小さな小惑星イトカワは単純な世界だろうという予想は, ことごとく覆された. その多様で奇妙な世界をどう理解したらよいのか, 今も関係者は解析を続けている.

最後に, 前プロジェクトサイエンティスト藤原顕教授の功績を讃えて, 小惑星1991AFが「アキラ・フジワラ」と命名されたこと, 関係者の署名が寄せ書きされたScience特集号(図3)が贈られたことも, ここに付け加える.

### ●宇宙力学セッション

#### <Astrodynamics >

- 1 P. Michael and M. Yoshikawa\*  
“Orbital Evolution of Asteroid (25143) Itokawa : Its Origin and Fate”
- 2 H. Ikeda et al.” Mass Estimation of Asteroid

ITOKAWA by Using Range and Doppler Data Observed Near Gate Position”

- 3 S. Abe et al.” Internal structure of Itokawa by the laser altimetry aboard the Hayabusa”
- 4 D.J. Scheeres et al.” The Actual Dynamical Environment About Itokawa”
- 5 N. Hirata et al.” New gravity and slope maps of Itokawa”
- 6 A. F. Cheng\* and O. S. Barnouin-Jha  
“Fundamentally Distinct Outcomes of Asteroid Collisional Evolution”
- 7 E. Asphaug “Deep Interior: radar reflection tomography and other asteroid exploration strategies
- 8 D. W. G. Sears\* and M. Franzen “A view on the history of the Itokawa asteroid

1 吉川氏講演では、NEO model of Bottke (Bottke et al. 2000, 2002) に基づく計算機実験を通じて小惑星イトカワの起源を論じた。軌道要素の進化を計算機実験したところ、1) メインベルト内縁から共鳴で落ちてきたもの、が最も可能性が高く64%。この領域はS型が多いので、それと整合している。2) 火星軌道交差小天体群は35%、3) Hungaria region起源1%、というもの。イトカワの今後の寿命について、同じく計算機実験したところ、～108年くらいが最もらしく、太陽・金星に食べられて終わる可能性が高い。これは、近地球型小惑星の典型的な挙動である。

2 池田氏講演は質量の見積りに焦点が当てられた。まず、小惑星イトカワを原点としたホームポジション座標系において、はやぶさの位置とその変化を正確に求めた。地球・はやぶさ・小惑星イトカワを一直線上に並べた位置関係を保持したため、地上で正確に測れるはやぶさのドップラー変位とイトカワの暦(天体位置情報)から、小惑星からの相対位置を推定することができた。また、イトカワとのランデブーはイトカワ・はやぶさの位置関係によってフェイズ名をつけ、それ

に応じて解析目標を分けた。ゲートポジション(GP:イトカワから20kmの高度)に9/12-15滞在し、ここでの軌道位置推定結果から太陽輻射圧係数を決定した。続いて、イトカワ近傍でツアーと称する運用を行ったうち、10/21-22に高度3.4km程度の自由落下の準周回軌道を取った。ここで、上述の電波航法に基づく小惑星からの相対位置と、光学航法カメラに基づく三角法での位置決定を突き合わせることで、小惑星イトカワのGMを、 $2.336 \times 10^9 \text{ km}^3/\text{s}^2$ と求めることができた。質量に換算すると、 $3.50 \pm 0.18 \times 10^{10} \text{ kg}$ 、誤差は5%である。

3 阿部氏講演(図4)では、はやぶさの軌道を追跡することで、局所重力場を求め、それを内部構造の推定に結びつける方向性が示された。自由落下を仮定、太陽輻射圧を一定とするのは池田氏と同じである。また、姿勢制御スラスタの実効推力を測定することで、 $\text{GM} = 2.39 \times 10^9 \text{ km}^3/\text{s}^2$ を得た。重力の向きと地表面とのなす角を勾配とし、その分布を調べてみたところ、やはり細長い小惑星形状の両端である頭部と胴体の勾配がきつく、経度でみると2つのピークを持っていた。

4 シアーズ氏講演では、光学航法も電波航法も全て取り入れてGMや形状に基づく議論を詰めた。得られたGMは $2.36 \times 10^9 \pm 0.15 \times 10^9 \text{ km}^3/\text{s}^2$ 、質量は $3.54 \times 10^{10} \text{ kg}$ 、勾配分布は0-69度でその平均値は13度であった。勾配の地図が得られたことにより、表面の地質が議論できるようになった。また、太陽輻射圧など



図4: 阿部氏講演の様子

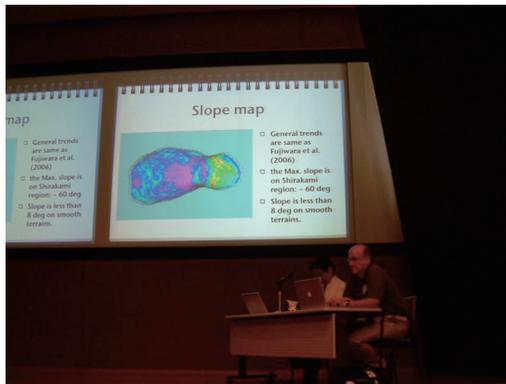


図5：平田氏講演の時の座長席

に比べて重力が小さすぎるので、イトカワにおける安定周回軌道は無いものと思われていたが、形状が明らかになって細かく計算したところ狭い領域ではあるが存在することが示された。

5 平田氏講演では勾配の分布を論じた(図5)。最大勾配は白神地域で60度。レゴリスの移動を論じるための基礎として重力と勾配の地図を作った。停留点(Stagnating points)は東経90と270度にある。イトカワの各地の勾配は、クレーターにも、全球形状にも、支配されていないように見える。

6 Cheng氏の代理でBarnouin-Jha氏が講演した。これまでの小惑星の例では、衝突で全球形状が決まっていると考えられてきたが、イトカワのような小さい天体が調べられたのは初めてのことで、果たしてそうであるのかが興味深い。小惑星エロスではクレーターが激しく穿たれ、数多くの岩塊が見られ、全球に渡るkmスケールの線構造(global fabrics)があった。また、小惑星イトカワと同じスケールの岩や堆積場(blocks and ponds)がたくさんあった。一方イトカワにはそうした全球規模の線構造が無く、岩塊が多くクレーターが少ないことから、中身が詰まった岩体とは考えにくく、重力で結びついた集合体(a gravitational aggregate)と考えられる。イトカワはラブルパイルに違いはない。

7 Asphaug氏講演では、内部構造を知る探査を提案した。ラブルパイルとはどんなものなのか? レーダ

サウンダによるトモグラフィで内部を調査すべきである。地形は、それ自身が地震計として使える。クレータを揺すって消し去る効果をThomas & Robinson (Nature 2005)に倣っている調べるべきだ。

## 8 キャンセルトーク

(会津大 出村裕英)

### ●衝突一般セッション

#### <Impact>

- 1 N. Hirata et al." Crater morphology and impact processes on Itokawa"
- 2 R. Nakamura et al." Size-frequency distribution of craters on Itokawa"
- 3 A.M. Nakamura et al." Impact process of blocks on Itokawa surface"
- 4 Y. Takagi et al." Impact Cratering Experiments in Microgravity Environment"
- 5 J. Leliwa-Kopystynski "Observationally based criterion for impact disruption of asteroids and icy satellites"
- 6 T. Kohout et al." Shock history analysis of the space material based on the coercivity distribution of the remanent magnetization"

7月12日～14日、東大浅野キャンパスにある武田ホールで開かれた第2回ははやぶさシンポジウムを聞きに行った。私にとってははやぶさの成果のお話を聞くのは3度目だったが、今回は多くの方の講演が予定されており、また、はやぶさのイトカワへの到着からある程度時間が経ってまとまった結果が発表されるということで、とても楽しみにしていた。特に、自分自身の興味からImpactのセッションが楽しみであった。

クレーターは、人類が新しい天体に接近したとき、最初に注目するものの一つである。固い表面を持つ全ての天体がクレーターを持っているということ、クレーターは表面地形であり軌道上からでも観測できるということだけでなく、クレーターの数密度や形状を詳

細に調べることで、target 表面の物性や年代を推定することもできるからだ。2010年、サンプルが地球へ到着し、始源的天体の研究に新たな展開をもたらすような多くの結果が得られることを期待している。以下、内容紹介。

1 平田氏の発表で紹介されたイトカワにある最大のクレーターは直径100m 以上もあった。イトカワの大きさがだいたい500m×300m であることを考えると、このようなクレーターを作る衝突イベントはイトカワにとってはとてつもなく重大な事件だったに違いない。イトカワにはこのような大きなクレーターが全部で5つあるそうだが、それらの衝突イベントやクレーターの形状がイトカワ自身をラッコのような現在の形状にしたのかもしれない。また、これら大きいクレーターは、深さがとても浅く、全体として自転車のサドルのような形状をしており、Fujiwara [1993] で予想されていたような、凸型曲面にできるクレーターととても整合的であった。

2 逆に小さいクレーターは少なかった。中村良介氏（産業技術総合研究所）の発表によれば、直径10m以下のものが特に少ないそうである。これは小惑星Erosにも見られる現象である。表面が岩石に覆われているために（Armorring）小さいクレーターができない、レゴリスや砂で埋められてしまっていて（存在するが）見えない、ヤーコフスキー効果などでそもそも小さいクレーターを作るような衝突が起こらない、など様々

な原因が考えられている。またクレーター年代学から推定されるイトカワ表面の年代は1000万年～1億年程度である。

3 イトカワ表面には不規則な形状のブロックも多数見られる。中村昭子氏（神戸大学）の発表によれば玄武岩表面に衝突が起こった場合、このような不規則な形状のブロックがエジェクタとして生成されるそうだ。また、彼女が見せて下さったイトカワ表面の岩石のクローズアップ画像にも、岩石表面に明るい微小クレーターや不規則な形状のへこみなどを見ることができた。このことは前述の小さいクレーターが少ないという観測結果と関連があるのかもしれない。

4 微小重力下で形成されたクレーターという意味でも、イトカワのクレーターは興味深い。クレーターのスケーリングでは、重力の寄与が大きい gravity regime とターゲットの物性の寄与が大きい strength regime の2つのスケーリングがある。高木氏（東邦学園大学）が日本無重量総合研究所（岐阜県土岐市、<http://www.mglab.co.jp/index.html>）で行った実験によると、イトカワ表面と同程度の微小重力下では、簡単な gravity/strength regime のどちらかに分けられるものではなく、両方の効果が混じり合っているようだ。

5 キャンセルトーク

6 Kohout 氏（ヘルシンキ大学）の発表は、物質が持っている磁化によってその天体の衝突史を理解しよ



図6：活発な質疑応答

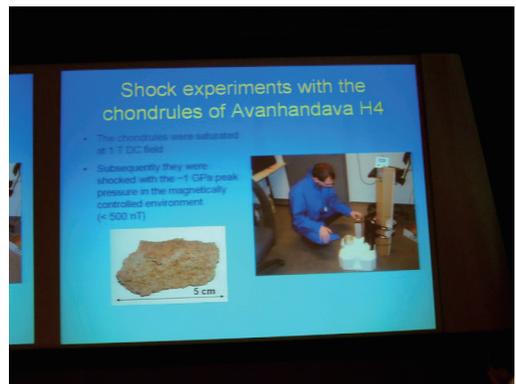


図7：実験の様子

うというお話だった。物質は衝突によって、自身が保持している磁化を失うことが知られている。彼は物質や粒径を様々に変化させて実験を行っている。このような実験が進めば、将来サンプルが戻ってきたときに、イトカワがどのような起源で磁化を獲得したか、どのような衝突史を経たのかを知ることができるそうだ。サンプルリターンははやぶさミッションの大きなテーマでもあるだけに期待が膨らむ。

(東大地震研 D2 鈴木絢子)

●工学成果セッション

<Overviews of Technological results of

Hayabusa mission>

- 1 Y. Shimizu et al.” Status Report of Ion Engine System (IES) Flight Operation”
- 2 T. Ohnishi et al.” Hayabusa Orbit Determination on Cruising to the Target Asteroid”
- 3 T. Kominato et al.” Optical Hybrid Navigation and Guidance in Approach and Proximity Phase”
- 4 M. Maruya et al.” Global Mapping for Descent and Touchdown in Hayabusa Mission”
- 5 T. Kubota et al.” Guidance and Navigation for Descent and Touchdown in Hayabusa Mission”

1 清水氏 (ISAS/JAXA) の講演では、イオンエンジンシステム(IES)の成果がまとめられた。はやぶさには4 台のイオンエンジンが搭載されていて、ノズル直径は10cm, グリッドはC/C の複合材でできている。打ち上げ時には、66.2kg のキセノンがチタン合金の燃料タンクに入れられていた。マイクロ波放電によって作られたキセノンプラズマは1500Vの電場で加速され、30km/s 以上で排気される。それぞれのイオンエンジンは推力 8mN, 比推力3200 秒, 消費電力は 350W である。3 年間のフライトの間に22kgのキセノンを消費して、1400m/s の加速を達成、トータルの稼働時間は25900時間になった。はやぶさは地球に帰って来るだけの燃料を積載しており、来年の始め頃にIES 始動、

はやぶさ地球帰還は2010 年の中頃になる予定だ。

2 大西氏 (富士通) の講演では、巡航期間中のはやぶさの軌道決定について述べられた。巡航期間中はイオンエンジンの加速度モデル誤差が軌道決定・軌道予測に大きな影響を与えた。はやぶさの軌道決定ではテレメトリデータからイオンエンジンの推力モデルを構築し、軌道推定と同時にIESによる加速を推定することで誤差を少なくすることに成功した。合運用時に取得されたドップラーデータのノイズに関して、火星探査機のごみ、NASA のモデルと比較し、整合していることを確認した。イトカワ到着前に小惑星の画像がスタートラックやカメラで得られるようになってからは、電波情報に加えて光学情報を取り込み、正確な軌道決定が行なわれた。

3 小湊氏 (NEC 航空宇宙システム) の講演では、はやぶさ接近・近傍滞在期間における光学複合航法と誘導について紹介された。はやぶさの航法には電波情報に光学情報を組み合わせたものを使用していて、高精度な自律機能を有している。接近・近傍期間では、カメラによる光学情報と地上で計測した電波情報を組み合わせた”Hybrid OPNAV (Optical Navigation: 光学航法)” と呼ばれる手法を用い、はやぶさの位置と軌道を求めた。観測量は往復伝搬時間 (RTT: Round Trip Time) と探査機から見た小惑星の方向である。イトカワ到着後はゲートポジション (本格観測が始まる前、イトカワから10-25km の距離に設定され



図8: 工学成果には多数のメーカーも加わっている。

た試験遊弋空域)において航法性能の確認, イトカワ初期形状モデルの構築などを行ない, その後ホームポジション(イトカワから3-10kmに設定されたランデブー空域)において詳細な理学観測を行った。

4 久保田氏 (ISAS/JAXA) の講演では, 降下・タッチダウンのためのグローバルマッピングについて述べられた。イトカワの3次元モデルを構築することは, 試料採取地点の選定, 降下・着地の誘導・航法を行なう上で必須だった。詳細な形状モデルは接近期間のデータに基づいて作成された。はやぶさプロジェクトでは4つのチーム(誘導・航法チーム, AMICAチーム, LIDARチーム, JPLチーム)が解析を行なった。今回は誘導・航法チームの結果についての発表である。イトカワの表面は起伏に富み, 試料採取地点の選択は難しかった。安全な着地のために地形学的な観点から, 岩塊の大きさと, 表面の勾配を考慮した。誘導・航法の点ではピンポイントで着地する技術を確立できた。

5 橋本氏 (ISAS/JAXA) の講演では, はやぶさの降下・着地時の誘導・航法について述べられた。はやぶさの自律誘導航法では, レーザ高度計2種および航法カメラの情報を用いて探査機の位置を推定, 方向修正マヌーバを決定するように設計されている。はやぶさは一瞬接地して試料採取・上昇離脱(タッチアンドゴー)するので, 降下速度の制御と水平方向速度を殺すことが安全のために必要だった。地表相対速度の要求は, 水平方向に $\pm 8\text{cm/s}$ , 垂直方向は $10\text{cm/s} +0/-5\text{cm/s}$ 。一回目の接地は予定通りの誘導航法が行なわれ, 88万人の名前が書かれたターゲットマーカを投下。最終降下フェーズでFBSが障害物を検知したために, タッチダウンシーケンスは中止されたが, 探査機の姿勢誤差が大きく結果としてより安全な降下が選択され, イトカワ表面に着地。地上から上昇命令が届くまでの約34分間イトカワ表面にとどまり, 通信が回復して世界初の小惑星無人機離着陸成功となった。2回目の接地では新たなターゲットマーカは投下せず, カメラ・障害物検知器の警報を降下中止条件に入れない等の変更を行なった。データレコーダに記録された全情報を

チェックしてはいるが, テレメトリやドップラーによると降下接地手順は正常に実行されたと考えられる。

(JAXA/ISAS D2 池田人)

## ●試料分析セッション

### <Sample Analysis>

- 1 E. Nakamura et al. "Comprehensive geochemical and cosmochemical analyses of extremely small amounts of extraterrestrial samples"
- 2 A. Tsuchiyama et al. "Mineralogical, petrological and cosmochemical analysis plan for Hayabusa samples as preliminary examination"
- 3 A. Tsuchiyama et al. "Future Hayabusa sample analysis by microtomography using synchrotron radiation: density and porosity measurement"
- 4 T. Yada et al. "The planetary sample curation facility in Japan Aerospace Exploration Agency"
- 5 L. Vidnic "NASA's Lessons Learned on Stardust cleanroom construction, field recovery and preliminary examination"
- 6 T. R. Ireland and M. Asplund "Isotopic Analysis of the Sun"
- 7 K. Nishiizumi "Cosmogenic nuclides analyses of tens of microgram samples by Hayabusa sample return"
- 8 Y. Miura "Spherules of carbon with iron-nickel elements formed by shock wave explosions"

どの講演者もはやぶさ試料の地球帰還を心から待ち望んでいた。次の「第3回ははやぶさシンポジウム」は是非この試料分析の成果報告をメインに開催したい, というのが皆の願いだ。

- 1 中村栄三氏(岡山大学)の代理講演, 小林氏の話から, 微小で貴重な試料を分析する際のコンセプトは, assured, reliable, comprehensive, flexibleとのこと。ICP-MS(誘導結合プラズマ質量分析計)などを用い

た, 宇宙研から送られたテストサンプルの分析の話。「サンプル量が少なかったらどうするのか?」という質問に対し、「優先順位を決めて行う。それが”flexible”というコンセプトの一つです」と回答していた。

2 続いては大阪大学の土山氏の講演。HASPET (Hayabusa Asteroidal Sample Examination Team)の紹介およびはやぶさ帰還試料の初期分析プランについての話だった。ガンドルフィカメラを用いたシンクロトン放射光XRD, 超薄切片法で試料準備を行うTEMなどの, 微小試料に対する分析手法は既にスターダスト試料等に対して実践されており, 後ははやぶさ試料の地球帰還を待つばかりといった雰囲気だ。最後は昔のヒットソング「帰ってこいよ」のレコードジャケットを見せ, "Come back, HAYABUSA!" のメッセージで締めくくっていた。

3 続いても土山氏の話。宇宙研から送られたテストサンプル分析を通じて, マイクロトモグラフィーという手法を紹介した。この手法を用いると, LLコンドライトに似ていると予想される小惑星イトカワの試料について, アルミ製の容器に入った状態やガラス繊維に付いた状態で微小な内部の空隙(マイクロポロシティ)がわかる。

4 次に, JAXA・宇宙科学研究本部の矢田氏による宇宙研の惑星試料用キュレーション施設の紹介があった。地球環境からの汚染をいかに最小限に抑えるかが重要な問題であり, 建物は2006年度までに, 中のクリーンルームは2007年度までに完成の予定とのこと。

5 NASA・ジョンソン宇宙センターのVidnic氏からはジョンソン宇宙センターでの, スターダスト帰還試料用クリーンルーム建設における経験談の提供があった。まずはスターダストミッションの概要を紹介した後, キュレーション施設に要求された事項について具体的な例を出して講演した。試料回収に際しては入念なりハースルやチームワークが, また, 試料の初期分析においては記録文書作成が重要であると説き, はやぶさの分析チームに頑張って, とエールを送っていた。

6 続いても海外からの参加者, オーストラリア国立大のIreland氏による, 太陽の同位体分析についての講演。

彗星はスターダスト, 太陽はジェネシス, 小惑星ははやぶさと, まだ量は限られているが起源の明らかなこれら太陽系内の試料を用いて, 例えば酸素同位体組成など, 理解したい事柄が多くあると述べた。

7 カリフォルニア大学バークレー校の西泉氏は小惑星上で作られる宇宙線起源核種の分析についての講演。複数の核種を組み合わせることで, 少なくとも1千万年~1億年前まで遡ったイトカワ表面の露出年代についての情報を与えてくれるだろう, とのこと。

8 最後は山口大学の三浦氏が, 衝撃波による爆発で形成される鉄ニッケル元素を含む炭素のスフェルールの話でセッションを締めくくった。炭素や鉄ニッケルは高温高压で安定な元素であり, このようなスフェールやこれら元素を含んだ破片は, イトカワの組成を理解するのに重要とのこと。

(JAXA/ISAS PD 奥平恭子)

## ●ポスターセッション

### <Poster session>

N. Onose et al. "Shapes and Dimensions of Craters Produced by Impact Cratering on Gypsum"

K. L. Sun and W. H. Ip "Contact Binary Origin of Asteroid 25143 Itokawa"

T. Arai et al. "Evaluation of Sulfur abundance of Itokawa with the X-ray fluorescence spectrometer onboard Hayabusa"

T. Inoue et al. "Ca and Fe abundance on the surface of asteroid Itokawa constrained by Hayabusa X-ray Fluorescence spectrometry"

Y. Takagi et al. "Mapping of albedo and mineralogical variation on asteroid Itokawa"

F. Vilas et al. "Approaches to Improving the Calibration of the Hayabusa NIRS Spectra"

K. R. Georgiev and B. E. Clark "Modeling Asteroid Composition and Space Weathering"

M. B. Simakov "Asteroids and the origin of life - two steps of chemical evolution on the surface of these

Objects”

K. Kitazato et al. “Ground-based observations of near-Earth asteroid mission targets”

S. Hasegawa et al. “Lightcurve Survey of V-type Asteroids. II. Observations from Fall 2004 - Spring 2005”

T. G. Mueller et al. “Itokawa: Summary of results from ground-based thermal observation”

S. Takahashi et al. “A Spectro-photometric Study of Karin Family Asteroids”

A. M. Nakamura et al. “Microscopic surface roughness of Itokawa inferred from photometric function”

T. Honda et al. ” Laboratory study of opposition surge of chips and particle layers of meteorites”

K. Nagao “Noble gas analysis of small grains: application to the Itokawa samples”

K. Okudaira et al. “Assessment of micrometeoroid analog particles? survivability captured in the laboratory by silica aerogel”

P. H. Smith et al. “The plan for archiving the Hayabusa data sets on the Planetary Data System (PDS)”

H. Demura et al. “Global shape and general geology of Itokawa”

以上18件がエントリーされ、中日の夕方に行われた。その時の様子を写真にて紹介する。

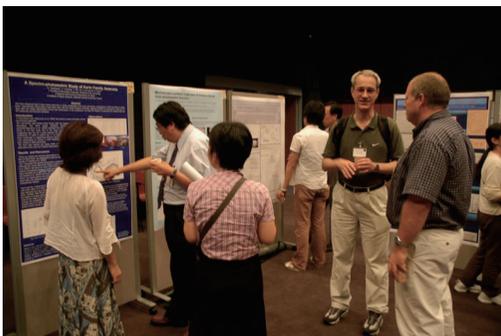


図9：ビール片手に……



図10：イトカワ模型に実寸比のはやぶさ模型（中央）が！



図11：考え込む藤原教授



図12：はやぶさファンからの差し入れ。ラベルに注目！

### ●地上観測セッション

#### <Ground-based observations>

1 J. E. Thomas-Osip et al.” The 2004 Las Campanas/Lowell Observatory Itokawa Campaign 1: Physical Characterization from Ground-Based Observations in comparison to Hayabusa spacecraft results”

2 S. M. Lederer et al.” The 2004 Las Campanas/

Lowell Observatory Itokawa Campaign 2: Hapke Modeling of the Hayabusa Mission Target”

3 P. A. Abell et al.” Is the composition of Asteroid (25143) Itokawa really a good analogue to the LLchondrite meteorites?”

4 T. Okada et al.” Elemental composition of asteroid Itokawa by X-ray fluorescence spectrometry with the Hayabusa Spacecraft and its relation to meteorite types”

はやぶさの探査天体である小惑星イトカワは、1998年9月に LINEAR (MITリンカーン研究所地球軌道接近型小惑星研究チーム) によって発見された。その後ははやぶさが到着した2005年9月までに地上から観測できる機会は、イトカワが地球に接近した2001年および2004年に訪れた。地上観測から得られる小惑星の情報は、ミッションスケジュールを計画する上で欠かせないものであり、探査機に搭載された観測機器のキャリブレーションにおいても有益である。最後の岡田氏講演は、アジア大洋州地球科学学会(AOGS)日程と重なったために、Overviewセッションから移されたものである。

1 および 2 Thomas-Osip et al. と Lederer et al. は、はやぶさ到着前の最後の観測好機であった 2004年に Las Campanas 天文台および Lowell 天文台で行なわれた小惑星イトカワの観測キャンペーンの結果について報告した。観測には 1.7-m Perkins 望遠鏡と Magellan 6.5m 望遠鏡が用いられ、14夜の UBVRi バンドの測光観測、8夜の JHK バンドの測光観測に成功している。Thomas-Osip et al. は、波長帯の異なるバンド間におけるライトカーブの比較から、小惑星イトカワの自転に伴うカラー変化はそれぞれ振幅の2%以下であることを示した。このことから、地上観測から小惑星表面の不均一性はみられないと結論づけている。また、これらの観測期間で太陽位相角の条件は  $4^\circ$  から  $130^\circ$  の範囲まで変化しており、Lederer et al. は、これらの位相に対する測光値のプロファイルに

Hapke モデルを適用して、イトカワ表面の光散乱モデルを構築した。その結果、表面のラフネスパラメータが  $40^\circ$  (S-type小惑星の平均値は  $20^\circ$ ) と推定され、表面が粗いことを示唆した。このことは、はやぶさに搭載されたカメラ (AMICA) で撮像されたイトカワの詳細画像の結果と矛盾しないと主張している。

3 Abell et al. は、2001年3月にハワイのマウナケアにある NASA の IRTF 望遠鏡 (+ SpeX) を用いた小惑星イトカワの可視近赤外線分光観測 (波長域:  $0.4\text{--}2.5\mu\text{m}$ ) の結果について報告した。イトカワの反射スペクトルには、マフィック鉱物であるカンラン石や輝石に由来する  $1.2\mu\text{m}$  の吸収帯がみられることから、S-type 小惑星に属することが示された。また、Band I, II の中心波長について、それぞれ  $0.99 \pm 0.01\mu\text{m}$ ,  $2.02 \pm 0.02\mu\text{m}$  と求めている。はやぶさに搭載された近赤外線分光器 (NIRS) から同様の結果が得られている。S型小惑星に対応する隕石の解釈については、宇宙風化作用を受けた Ordinary Chondrite, あるいは Primitive Achondrite の可能性が考えられている。彼らは、イトカワの反射スペクトルにみられる Band II の中心波長が Ordinary Chondrite のそれよりも長く、Ca-rich な輝石が存在すると説明付けている。Band I の中心波長に関しては、Ordinary Chondriteと一致することから、彼らは小惑星イトカワの構成物質は Primitive Achondrite 的物質から成ると主張している。



図 13 : Abell 氏講演の様子

4 Okada et al. は、はやぶさに搭載された蛍光X線分光器 (XRS) の小惑星イトカワ観測における初期解析結果について報告した。XRS は太陽X線によって励起される小惑星表面の蛍光X線をCCDベースで観測する装置で、小惑星表面の主要元素組成を推定することが可能である。残念ながら、ランデブー期間中は太陽の活動度が低く、XRS で十分に検出された元素は Mg, Al, Si くらいだった。地域別に得られたこれらの元素組成の平均値をとると  $Mg/Si = 0.78 \pm 0.09$ ,  $Al/Si = 0.07 \pm 0.03$  となり、小惑星イトカワの表面物質が LL Chondrite あるいは L Chondrite であることが示唆された。ただし、誤差の範囲内では、H Chondrite や Primitive Achondrite の可能性も否定できないと考えられている。また、NEAR Shoemaker 探査機で観測された小惑星エロスの結果と同じように、イトカワについても表面でSの量が枯渇している可能性も示していた。

(JAXA/ISAS D2 北里 宏平)

●まとめ、というより中締め

次号では、地質と地理、測光、そして他ミッションの3セッションをとりあげる。また試料のキュレーション施設とその初期分析体制について、2本の御寄稿を頂く予定である。