

小惑星探査機はやぶさ帰還粒子取り扱いに用いた静電制御微小マニピュレーションについて

Electrostatic micromanipulation system applied for the returned particles of the asteroid explorer Hayabusa

藤村 彰夫¹, 安部 正真¹, 矢田 達^{2*}, 中村 智樹³, 野口 高明⁴, 岡崎 隆司⁵, 岡田 達明¹, 白井 慶², 石橋 之宏², 小川 真帆⁶
Akio Fujimura¹, Masanao Abe¹, Toru Yada^{2*}, Tomoki Nakamura³, Takaaki Noguchi⁴, Ryuji Okazaki⁵, Tatsuaki Okada¹, Kei Shirai², Yukihiro Ishibashi², Maho Ogawa⁶

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ² 宇宙航空研究開発機構月惑星探査 PG, ³ 東北大学大学院理学研究科, ⁴ 茨城大学理学部理学科, ⁵ 九州大学大学院理学府, ⁶ 東京大学大学院理学系研究科

¹ISAS/JAXA, ²JSPEC/JAXA, ³Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ., ⁴College Sci., Ibaraki Univ., ⁵Grad. Sch. Sci., Kyushu Univ., ⁶Grad. Sch. Sci., Univ. Tokyo

藤村他(2011)で述べられている通り、2010年6月13日深夜にオーストラリアウーメラ砂漠立ち入り禁止区域に小惑星探査機「はやぶさ」の帰還カプセルが着陸した。回収された帰還カプセルは、2010年6月18日未明に宇宙航空研究開発機構相模原キャンパス惑星物質試料取扱設備に搬入され、以来、一連のサンプルコンテナ開封・試料回収プロセスにより、現在、サンプルキャッチャーから粒子を回収し、光学顕微鏡、電子顕微鏡による観察・分析作業、及び初期分析のための配布作業が行われている。この作業において中心的な役割を果たしているのが静電制御マイクロマニピュレーションシステムである。

この静電マイクロマニピュレーションシステムは、約1年にわたる開発の後、去る2010年1月に、惑星物質取り扱い設備の高純度窒素雰囲気にあるクリーンチェンバー第2室内に導入された。このシステムは、X, Y, Z, Z軸の微動・粗動機構と様々なタイプのテーブルを備えるサンプルステージと、X, Y, Z, Y, Z軸の微動・粗動制御を備え、正負の電圧印可が可能な合成石英針を備えたプローブや除電用線源を設置可能なプローブステージ左右一対から構成される。合成石英ガラス針内のPt線と接続された電圧制御電源でチェンバー外から正負の電圧を印可した状態で、チェンバー内の粒子をチェンバー内外に設置された2種の光学顕微鏡により観察しながら、これらのステージをバイトン製グローブにより操作し、高純度窒素雰囲気下にある微粒子をピックアップ・リリースする事が可能である。

このシステムについて、想定されるはやぶさ帰還粒子の模擬物質(Niカンラン石)を用いてマニピュレーションテストを3月から5月にかけて実施して、制御技術を確認し、本番のはやぶさ帰還粒子マニピュレーションに臨んだ。

はやぶさ帰還コンテナから取り出されたサンプルキャッチャーは、Al蒸着されたジュラルミンから成る円筒で、その中が、A室、B室、回転筒の3つの空間に仕切られている。キャッチャーを回収する工程で、まずA室が開封されていたため、最初にA室内の観察・直接の粒子マニピュレーションを行った。このマニピュレーションでは光学顕微鏡で識別しやすいAl粒子が主にピックアップされ、判別しづらい鉱物粒子と思われる透明粒子のピックアップは少数に留まった。この問題を解消するために、電子顕微鏡試料室に導入可能なテフロン製へらを開発し、キャッチャーA室内面に対して掻き取り作業を行い、粒子を回収して電子顕微鏡観察・分析を行い、多数の珪酸塩鉱物的組成を示す粒子を確認し、その鉱物種の存在比率から、これらの粒子が小惑星イトカワ起源であると推定される事については既にプレスリリースで発表されたとおりである。

しかし、テフロンへら上の10 μmを下回る微小粒子のマニピュレーション技術は確立されていないため、初期分析にははやぶさ帰還粒子を供するためには、より大きな粒子をマニピュレーション出来る状態で回収する必要がある。これに対して、キャッチャーA室の蓋と同型の合成石英ガラス製板を準備し、この板を取り付けた状態でキャッチャーを上下反転し粒子を自由落下させた上で、元の向きに戻し、板を回収してその表面を光学顕微鏡で観察した。その結果、1000個以上の10 μm以上の粒子が確認された。これらについて、前述の静電マニピュレーションシステムを使い、粒子の拾い出し、電子顕微鏡観察・分析を実施した結果、およそ50個の岩石質粒子を確認し、初期分析のための配布作業を主に同マニピュレーションシステムを用いて行った。

上記の一連の静電マニピュレーターシステムを用いた粒子ハンドリング作業により、サンプルキャッチャーA室から回収された粒子に対して、これまでに多数の取り扱い機会があったが、高い成功率で粒子取り扱いを実施している。

本発表では、本システムの構成の説明と、模擬物質マニピュレーションテストの内容、はやぶさ帰還粒子マニピュレーションの内容についてレビューする。

Keywords: asteroid exploration, Hayabusa, Itokawa, curation, electrostatic control, micromanipulation

PPS022-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 14:00-16:30

はやぶさ2搭載小型ランダー MASCOT の検討 MASCOT, a small lander on Hayabusa-2

岡田 達明^{1*}, 平田 成², 出村 裕英², 久保田 孝¹, 矢野 創¹, 津田 雄一¹, トラミ・ホ³, ラース・ビッテ³, ジャン・ピエール
ビブラン⁴

Tatsuaki Okada^{1*}, Naru Hirata², Hirohide Demura², Takashi Kubota¹, Hajime Yano¹, Yu-ichi Tsuda¹, Tra-Mi Ho³, Lars Witte³,
Jean-Pierre Bibring⁴

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 会津大, ³ ドイツ航空宇宙センター, ⁴ フランス宇宙天体物理研究所

¹JAXA, ²University of Aizu, ³DLR, ⁴IAS

「はやぶさ2」では、「はやぶさ」では実施できなかった小型ランダーによる小惑星表面上での探査を検討している。C型小惑星 1999JU3 の表層の地形、微細な構造・組織・組成、表層の硬度や熱物性などを調査することができ、微小なC型小惑星のより詳細な素性を知ることに貢献する。小型ランダーの特徴と現状について科学目標とともに報告する。

「はやぶさ2」では、10kg級のランダーをドイツ宇宙機構 DLR が中心となり、宇宙航空研究開発機構 JAXA やフランス宇宙機構 CNES と協力のもとで科学探査用として開発を進めている。搭載観測機器は最大 3kg である。うち 1kg は多色の広角カメラ WAC、可視・近赤外のマクロ分光カメラ OicrOmega を搭載予定である。その他は今後決定されるが、レーザ誘導破壊分光 LIBS などが有力である。その他の小型センサとして、温度プローブ、磁力計などの搭載案もある。ミッション全体としての科学目標への貢献度、機器開発のフェジビリティ、リソース等を考慮して最終的に決定する。

そのほか常備装置として、温度センサ、加速度センサ、傾斜計、電位計があり、それらからも表層温度や熱慣性、撥ね返り係数、重力場方向、帯電性など主に物性情報を取得することができる。寿命は1次電源で決まり、最低16時間程度(2小惑星日)である。

小型ランダーの最重要目的は、表層における高解像度・微視的な高精度の地形や物質の観察や分析である。特にC型小惑星が対象であるため、水や有機物と無機鉱物との共存状態や相互作用の状態をその場で観察・分析することが最重要である。表面にいて直接接触するランダーゆえに可能となる表層物理状態の探査や内部構造探査も重要であるが、限られたリソース内で実現することは困難である。掘削孔の構造や地下物質(宇宙風化を受けていない試料、地下の氷や有機物など)の探査はC型小惑星の水と有機物の関連性を調べる探査として極めて重要であるが、ランダー自身の長期間の寿命や孔への誘導制御という技術課題があり、実現性の検討を進めている。

なお、小型ランダーの主要観測課題は次のように整理できる。表面での科学観測(Stand-alone surface science):地形や物質の高解像度撮像や微視的スケールでの観測、物質の組成や組織のその場分析、内部構造の探査を行う。地質学的産状把握(Geological context):帰還サンプルやサンプル回収地域付近の産状について情報を収集する。指標情報(Groundtruth):リモート観測データを解析するために必要な表層の物理状態、典型的な粒径、物質の元素・鉱物組成、物性についての情報を取得する。

キーワード: はやぶさ2, 小惑星, 表層探査, 着陸機, 顕微鏡, 元素分析

Keywords: Hayabusa2, asteroid, surface exploration, lander, microscopy, elemental analysis

PPS022-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 14:00-16:30

熱水合成 phyllosilicate 鉱物の組成変動 - 炭素質コンドライト隕石の phyllosilicate との比較 Compositional variations of hydrothermal synthesized phyllosilicates -comparison with phyllosilicates in carbonaceous ch

渡邊 公典^{1*}, 尾崎 弘子², 磯部 博志¹
Kosuke Watanabe^{1*}, Hiroko Ozaki², Hiroshi Isobe¹

¹ 熊大院・自然科学・地球環境科学, ² 熊大院 (現:三菱スペース・ソフトウェア)

¹Dept. Earth Environ. Sci., Kumamoto Univ, ²Pres. Add; Mitsubishi Space Software

炭素質コンドライト隕石には様々な phyllosilicate が存在しており、これらは、隕石母天体上での何らかの前駆物質が水質変成作用を受けることによって形成されたと考えられている。phyllosilicate 組成に影響を与える要因は、温度、酸化還元条件など様々な要素が考えられる。特に酸化還元条件は金属鉄、酸化鉄、硫化鉄間の Fe 元素の分配に強い影響を与え、結果的に phyllosilicate の Fe 含有量に影響を与える。

尾崎, 磯部 (2009) は太陽光球と同様の Si, Mg, Fe の組成を持つ olivine を出発物質とし、それと enstatite が共存する系、または fayalite が共存する系の二つの実験系について phyllosilicate の合成実験を行った。この実験では、有機物が共存する環境での実験を再現するために、エタノール溶液を溶媒として使用し、水質変成作用の過程を調べるため、それぞれの出発物質を様々な温度・反応期間の実験条件に分けた上で水質変成実験を行った。

本研究では、同様の系での追加実験の結果をもとに SEM、EDS を使用して phyllosilicate やその他の実験生成物を観察し組成の検討を行った。そして、合成した phyllosilicate と実際に炭素質コンドライトに見られる phyllosilicate との組成の比較を行い、炭素質コンドライトの phyllosilicate が形成される条件の推測を行った。

実験生成物の SEM 観察の結果、様々な形態 (繊維状、塊状、スポンジ状) および組成を示す phyllosilicate が観察された。合成された phyllosilicate の多くは Fe に乏しい組成のものだが、fayalite 実験系における反応期間が短い試料には Fe に富む phyllosilicate が含まれていた。エタノール高濃度の実験による phyllosilicate は組成が均質化する傾向があり、また、高温で形成された phyllosilicate は Fe に乏しく、Si に富む組成に均質化される傾向を示した。enstatite 実験系では、反応期間が長期化するほど、phyllosilicate は Fe に乏しい組成のものが現れた。fayalite 実験系では、反応期間が短いもので二極化した組成のものが観察され、反応期間が長期の試料には二極化組成を元にした連続した組成トレンドをもつ phyllosilicate が観察されるものが一部存在した。

実験生成物中の phyllosilicate と実際の炭素質コンドライトに見られる phyllosilicate を比較した結果、炭素質コンドライトに見られる phyllosilicate は 250 °C 以下の低温において、比較的短期間の水質変成作用によって形成されたと考えられる。

キーワード: 水質変成, 隕石母天体, 含水層状ケイ酸塩, 熱水反応実験

Keywords: Hydrous alteration, parent body, hydrous phyllosilicate, hydrothermal experiment

Methods to improve data quality when creating meteorite databases Methods to improve data quality when creating meteorite databases

Peter Ness^{1*}, Hideaki Miyamoto²

Peter Ness^{1*}, Hideaki Miyamoto²

¹Tokyo Univ. Dept. Complex. Sc. Eng., ²Tokyo Univ. Museum

¹Tokyo Univ. Dept. Complex. Sc. Eng., ²Tokyo Univ. Museum

The purpose of our research is to obtain statistics of bulk analyses for meteorite groups/subgroups to help refine a more accurate understanding of near-earth asteroids (NEA). If laboratory and other database errors are not controlled then they can have a dramatic and adverse impact on how representative meteorites are, and whether they can be used to analyze NEA. Thus, we need to understand the various types of errors and eliminate them, correct for them, or modify any conclusions.

Many meteorites are already classified, so it makes sense to use previously published analyses. A number of authors have compiled lists to help subdivide and classify meteorites into groups/ subgroups based on chemistry and petrology [1-6]. Our database includes 26,661 bulk-analyses from 1195 meteorites, sourced from 112 journal articles published between 1953 and 2010.

To try to improve the quality of the analyses we preferentially used the most recent values on the assumption that they have lower laboratory precision errors. Analyses were tagged so they can be traced back to their source. Data was checked multiple times for errors. Precision errors of sourced analyses were analyzed. Some data were replaced where possible, especially where rounding errors > precision errors.

The results were then compared to other datasets to confirm: 1) that meteorite classifications are correct, 2) whether results differ from previously published works, and 3) whether any bias exists between Antarctic and non-Antarctic meteorites.

The results show that: 1) a close match exists between our database and other authors, 2) minimizing database errors helps to reduce dispersion, and 3) the majority of differences between Antarctic and non-Antarctic meteorites may be explained by: a) an insufficient number of samples, b) distributions with high skew or kurtosis (peakedness), and c) normal variability between samples.

We discuss ways to improve database quality by considering the following: 1) laboratory precision, 2) quality of analyses, 3) data entry and conversion errors, 4) over-rounding of analyses, and 5) potential misclassification of meteorites.

We conclude that the most efficient way to improve data quality is to replace older analyses with more recent ones. However, the assumption that the most recent analyses have lower precision does not always hold. Although laboratory precision has gradually improved over time, our results suggest it is also influenced by how well individuals follow standard laboratory procedures.

[1] Urey, H.C., Craig, H. (1953). *Geochim. Cosmochim. Acta*, 4, 36-82.

[2] Wiik, H., (1955). *Geochim. Cosmochim. Acta*, 9, 279-289.

[3] Wasson, J.T., Kallemeyn, G.W., (2002). *Geochim. Cosmochim. Acta*, 66, 13, 2445-2473.

[4] Nittler, L.R., et al. (2004). *Antart. Meteorites.*, 17, 231-251.

[5] Schaefer L., and Fegley, B., Jr. (2010). *Icarus*, 205, 483-496.

[6] Jarosewich, E. (1990). *Meteoritics*, 25, 323-337.

キーワード: meteorites, chondrites, Near Earth Asteroids, NEA

Keywords: meteorites, chondrites, Near Earth Asteroids, NEA