# 「惑星物質科学のフロンティア」 研究集会開催報告

村上 登志男1, 大澤 崇人2. 寺田 健太郎3

惑星物質科学は近年大きな転換期を迎えている. そ の第一の原因は、これまで入手不可能であった地球外 物質が入手可能となったためである。 南極地域観測隊 による宇宙塵の大量採取、彗星塵採集計画(スターダ スト). 太陽風採集計画(GENESIS). はやぶさ小惑星 サンプルリターン計画などは、従来の隕石のみを研究 対象とした分析では決して得られなかった知見を我々 に与えてくれた. そして今年度. 次期小惑星探査機は やぶさ2がC型小惑星に向けて打ち上げ予定である。 生命の起源物質を求めるこのミッションで重要な事は. 持ち帰られた微量の試料をいかにして分析し、最大の 成果を上げるかである。本研究会集は、これらの分析 をはじめとした重要なミッションを担う人材の基本的 な議論の場である。2010年に帰還したはやぶさのサ ンプル分析においても、本研究集会の功績は計り知れ ない、Science誌に掲載された6報のはやぶさ試料の 分析結果のうち5報の主著者は本研究集会の主要メン バーである(Science 333巻, p. 1057-1188).

本研究集会は小規模ながら、国際的に極めて高い競争力を有した伝統ある研究集会である。東京大学宇宙線研究所の共同利用研究からの助成を受け開催している本研究集会は20年以上の歴史を持つ。現在、「惑星物質科学のフロンティア」研究集会という名称で研究集会を開催しているが、以前から同研究所からの共同利用研究助成を受け、「宇宙塵研究集会」、「地球外起源固体微粒子に関する総合研究」小集会と時代ととも

に名称は変更しているものの一貫して地球外起源物質を様々な角度から研究している研究者の交流の場として開催している研究会である。当初は関係者中心の研究集会であったが、近年は関係者を中心にオープンな研究集会として、惑星科学会をはじめとし関連学会等にも開催を告知してもらい多様な研究者の交流の場となるように努めている。本研究集会を通じ、探査、観測、理論、分析といった学界の枠を超えた異分野間の研究者交流を通じて太陽系物質進化の認識を深化させることが、本研究集会の大きな目的の一つである。

昨年度は、2014年3月13~14日の2日間に東京大学宇宙線研究所大会議室において「惑星物質科学のフロンティア」研究集会を開催した。この研究集会は成果発表だけではなく、異分野間での情報の共有を図るために研究の解説や今後の研究につなげるための意見交換なども積極的に行っている。本報告では、昨年度開催された研究集会での発表概要を紹介する。

## 1. 2013年度研究集会の概要

#### 1.1 プログラム

#### 「惑星物質科学のフロンティア | 研究集会プログラム

日時:2014年3月13日(木)~14日(金)

場所:東京大学宇宙線研究所大会議室(千葉県柏市)

#### 【1日目】

1) 羽場麻希子,長尾敬介,角野浩史,三河内岳(東大), 小松睦美(早大), Michael Zolensky(NASA):ロシ ア・チェリャビンスク隕石の希ガス同位体分析

2) 今栄直也(極地研):新たに開発した手法によるコン

toshio, murakami@gakushuin, ac. jp

<sup>1.</sup> 学習院大学

<sup>2.</sup> 日本原子力研究開発機構

<sup>3.</sup> 大阪大学

ドリュールメルトへのシリカに富むガスの凝縮に伴う急速かつ大量の低Ca 輝石の析出実験

- 3) 平井隆之(総研大), 矢野創(ISAS/JAXA): IKAROS-ALADDINにより明らかになった周太陽 ダスト凝集域の微細構造
- 4) ビジネスミーティング

#### 【2日目】

- 5) 松本 徹(阪大) [代読:土山教授(京大)]: 小惑星イトカワのレゴリス粒子の表面微細構造から考察する レゴリスの宇宙風化
- 6) 土山 明(京大):イトカワレゴリス粒子の3次元形 状:高速衝突実験破片および月レゴリス粒子との比 較
- 7)尾上哲治(熊本大), 佐藤峰南(九大), 中村智樹(東北大), 野口高明(茨城大), 大澤崇人, 初川雄一(原子力研究開発機構), 海老原充, 白井直樹, 日高義浩(首都大学東京), 鈴木勝彦, 野崎達夫(海洋研究開発機構):【招待講演】日本から発見された2億1500万年前のイジェクタ堆積物
- 8)柴田裕実(阪大),石川優人,松田知之,金子竹男, 小林憲正(横浜国大),三重野 哲(静岡大),長谷川 直(宇宙研):超高速ダスト衝突による有機物生成実 験
- 9)大澤崇人(原子力研究開発機構): 即発ガンマ線分析 の自動化システムの開発と応用可能性
- 10) 寺田健太郎(阪大): SIMSからSNMSへ:次世代局 所 U-Pb 年代分析の基礎開発

#### 1.2 研究発表の概要

前節のプログラムの通り,探査,観測,理論,分析の各分野の成果発表,分析機器開発に関する報告,予備的実験の報告などがなされた.報告の概要は以下の通りである.

羽場(東京大学)らは、昨年ロシアに落下したチェリャビンスク隕石の破片13個をもとに希ガス同位体分析を行い、宇宙線照射年代、各破片の大気圏突入前の天体における表面からの深さを求める試みに関する発表を行った。また、1つの隕石破片について、Ar-ArおよびI-Xe年代測定を行うことにより、チェリャビンスク隕石の母天体における熱史について考察を行ったことを報告した。He、Ne、Ar同位体組成から、分析試料には宇宙線生成核種が含まれていることが確認

されたが、隕石破片によって宇宙線生成核種の濃度が 異なることが確認された。この宇宙線生成核種の濃度 の違いは、チェリャビンスク隕石の大気圏突入前の天 体が大きく、それぞれの破片が異なる深さに存在して いたことを示している。破片の一つHR-7において得 られた21Neと81Krの濃度から、宇宙線照射年代を求 めた。Ar-Ar年代およびI-Xe年代から、チェリャビン スク隕石の母天体では衝突イベントによって脱ガスが 生じており、複雑な熱史を経験していることが示唆さ れた。

今栄(極地研究所)は、低Ca輝石(およびその多形) は太陽系岩石圏を構成する最も主要な相である。原始 太陽系星雲における低Ca輝石(エンスタタイト、 MgSiO3、Mg/Si=1)の析出問題について、実験的に検 討した。この目的のため、実験装置を新たに開発しそ の概要と実験結果について報告した。

平井(総合研究大学院大学)らは、JAXAのソーラー電力セイル小型実証機「IKAROS」に搭載されたダストその場計測器「ALADDIN」の開発についての解説と実際の観測結果の解釈のために開発中の新しいダスト分布モデルの試計算結果の紹介を行った。試計算結果は従来のモデルに比べ、より宇宙実測に近い値を示すことができたことを報告した。

松本(大阪大学、代読:土山教授)は、はやぶさが回収してきたイトカワ粒子の表面モルフォロジーに注目し、粒子表面構造の系統的な分類・解釈を行うとともに、宇宙風化リムの観察を行い、小惑星表層のレゴリス粒子の形成・進化過程と小惑星の宇宙風化過程との関連性を明らかにすることを目的にした研究の成果発表を行った、X線マイクロトモグラフィーによる3次元外形の評価、FE-SEMによる表面微細構造の観察、TEM/STEMを用いた宇宙風化リムの断面構造観察を行い、それらの結果から表面観察のみで粒子表面の宇宙風化の程度を判断できることを示した。

**土山**(京都大学)は、新たにJAXAから配分されたイトカワ粒子、新たな月レゴリス粒子(10084: Apollo 11の静かの海のソイル、60501: Apollo 16のデカルト高地のソイル)、および新たにおこなった高速衝突実験[1]により回収された破片粒子の3次元形状を、SPring-8のビームラインBL47XUにX線CTにより求めた。さらに、ノギスによる測定に対応するCT像からの3軸長測定の手法を開発し、イトカワ粒子、月粒

子,衝突実験粒子の3次元形状を同じ方法で比較することにより、イトカワ表面でのレゴリス粒子の生成・進化をより詳細に理解するとともに、月も含めた大気のない天体での表面プロセスを包括的に理解することをめざした研究の現状について報告した。従来の研究ではイトカワと月粒子の形状分布は明瞭に区別できるものと考えられていたが、今回明らかとなった連続的な変化は、イトカワ・月粒子の形状が同じプロセス(摩耗と破壊)に支配されていると考えると説明しやすいことを示した。

尾上(熊本大学)らは、岐阜県坂祝町において、2億 1500万年前に形成されたと考えられるイジェクタ堆 積物を発見しネイチャー・コミュニケーションズに発 表した. この発表についての詳細な解説を行い、今後 について報告した. この地域では, 三畳紀後期に太平 洋の中~低緯度域で堆積した層状チャートとよばれる 主に大量の放散虫殻から構成される岩石が観察される が、今回発見された約2億1500万年前の層状チャート には、放散虫殻をほとんど含まない粘土岩(層厚約5 cm)が一時的に堆積したことが明らかになった. この 粘土岩には、ニッケルに富む磁鉄鉱やスフェルールな どの隕石衝突に起源を持つと考えられる粒子が含まれ、 これらをICP質量分析装置や多重ガンマ線分析装置を 用いて元素分析を行ったところ地球上の火山活動など のプロセスでは説明できないほど過剰な高濃度の白金 族元素を検出した. 白金族元素の異常を示す粘土岩に ついてOs同位体比を測定したところ、コンドライト 隕石に特有の低いOs同位体比が得られ、これらの結 果から巨大隕石の衝突により蒸発した隕石由来の大量 の白金族元素が海洋に供給され、最終的に深海底の堆 積物中に固定されたことを意味していると解説した. 今後、隕石衝突が引き起こした環境変動や絶滅につい て詳細な研究を進めていく予定であると締めくくった.

柴田(大阪大学)らは、アストロバイオロジーの観点から宇宙ダストの模擬衝突実験を行い、まず、どのような有機物質が生成されるのかを調べることを目的とする研究の初期実験結果について報告した。宇宙ダストを模した球状のアルミナやポリカーボネート粒子を約6km/sに加速し、ポリカーボネートの板及び炭素円板標的に衝突させた。現在までの衝突後の標的を電子顕微鏡、ラマン分光、EPMAを用いて標的の形態測定及び照射クレータの分析を行った結果を報告した。

今後、衝突後に標的周りを囲ったアルミフォイルに付着した物質をアルコールや水等で抽出し、電子顕微鏡や赤外吸収分光、レーザー脱離イオン化質量分析器で質量分析を行った後、加水分解し液体クロマトグラフィにて分析を行う予定であり、化学反応生成物に関してはこれらの分析で明らかになると思われると報告した

大澤(原子力研究開発機構)は、原子力科学研究所の研究炉JPR-3に設置されている即発ガンマ線分析装置に垂直多関節ロボットを導入した経緯を詳細に解説した。LabVIEWで開発した制御プログラムで完全な自動分析が可能になり、ヘリウムの自動流量制御、画像認識を用いたフェールセーフ機能、中性子フラックス自動記録、自動メール配信機能など、機能を満載したことを紹介した。今回の装置の開発により、多数の試料の非破壊分析の効率化を実現し、今後の地球、惑星科学への発展に多大な貢献をするものになることを示した

寺田(大阪大学)は、サブミロン領域における高精度 U-Pb年代測定を行うことを目指し, 0.1 μm径まで絞 れるGaイオン源+フェムト秒レーザー+多重周回型 Time of Flight(MULTUM II)からなる装置の開発現 状について報告した。ウラン放射壊変系を利用した岩 石・化石試料のU-Pb年代分析法は、太陽系の進化や 地球史を明らかにする上で重要な絶対年代情報を与え る. 特に, ウランを多く含む閉鎖温度の高い鉱物(ジ ルコンやアパタイトなど)をターゲットにした、2次 イオン質量分析(SIMS)による局所U-Pb年代分析は、 地球惑星科学の発展に多大な貢献をしてきたが、 SIMS の場合、1次イオンビーム(酸素イオン)による スパッタリングで生成されるU+, Pb+のイオン化効 率は1%以下と低く、スパッタされた殆どの中性粒子 は無駄に消費されているのが最大の難点であった. そ こで寺田らのグループでは、高強度レーザー照射によ って中性原子をポストイオン化することでイオン収量 を増加させるレーザーイオン化SNMS(Sputtered Neutral Mass Spectrometry) の開発を行ってきた[2] ことを解説した.

## 2. 今後の活動

この研究集会の成果は共同利用研究成果として東京

大学宇宙線研究所で発表され、またWEBサイトでも概要を一部公開してきました。WEBサイトのリニューアルも検討しているので研究集会での成果など情報発信も積極的に行いたいと考えています。リニューアル中のサイトを以下の通り公開しております。

http://dust.cc.gakushuin.ac.jp/ICRR\_meeting/ 今後も研究集会を継続して開催していく予定ですの で、分野を問わず興味のある方は是非ご参加ください。 なお、この研究集会は東京大学宇宙線研究所共同利用 研究助成をうけて開催してきました。

### 参考文献

- [1] 島田玲, 2014, 修士論文, 大阪大学.
- [2] Ishihara, M. et al., 2010, Surf. Interface Anal. 42, 1598.