火の鳥「はやぶさ」未来編 その14 ~サンプルリターンミッションからの試料受入れ~

(要旨) サンプルリターンミッションは惑星探査の最終形態のひとつであり、今後も新たなサンプルリターンミッションが世界中の惑星探査計画において実施されることが予想される. JAXAでも、はやぶさ、はやぶさ2の帰還試料受入れを通して、設備や受け入れ態勢が強化されつつある。本稿では、これまでの経緯を含めJAXAにおけるサンプルリターンミッションからの試料受入れの現在、過去、未来について紹介する.

1 はじめに

本稿のサブタイトルにも含まれている「サンプルリターンミッション」の意義については、[1]で述べられていますが、サンプルリターンは惑星探査の最終形態のひとつで、リモートセンシング観測や着陸機を用いたその場観測では行えない、詳細な試料分析が行えることや、観測(分析)機器を探査機に搭載する必要がないため、試料帰還後の最新の分析装置で分析できること、また重量やサイズの制約が無いため大型の装置が使えることが特徴です。そのため、たとえ持ち帰る量が少量でも、多くの科学成果や知見が得られることが期待できます。

はやぶさ帰還試料の試料受入れ作業については、[2]、[3]で詳細が述べられています.これら帰還試料の受入れ作業を始め、初期記載、分配、保管、管理を含んだ作業の総称を「キュレーション」と呼んでいます.はやぶさ帰還試料の初期分析成果については、2012年のScience特集号で、その後の詳細分析については、2014年のMAPS(Meteoritics and Planetary Science)特集号でまとめられています.日本語では、ISASニュース 2016年9月号や、日経サイエンス 2016年10月

号などにまとめられています.

JAXAキュレーション施設では、これまではやぶさ 帰還試料として約700粒子が回収され、カタログ化さ れています.その成果は毎年JAXA-SPにおいて Hayabusa Sample Catalogとして出版されるとともに、 毎月粒子カタログのデータベースを更新して、地球外 物質研究グループのHPより公開しています[4].

現在も、はやぶさ帰還試料の国際公募分析が行なわれており、提案書をレビュー評価し採択された研究課題に対して試料提供を行っています。最近では粒子表面に刻まれた微小クレータの統計的研究の成果[5]や個別粒子の⁴⁰Ar/³⁹Ar年代測定からイトカワ母天体の衝突破壊年代研究の成果がでています[6].

2. はやぶさ・はやぶさ2帰還試料の特徴

はやぶさ、はやぶさ2の帰還試料は、既知の天体から産状が分かった状態で持ち帰られるということ以外に、サンプル収納容器に封入される形で帰還することにより、試料がその天体にあった状態が保存され、地球大気などに触れることなく、地球物質による汚染が少ない(コントロールされている)ことが特徴として挙げられます。これはNASAが進めているサンプルリターンミッションによる帰還試料とは異なる特徴です。そのため、IAXAキュレーション施設では、そうし

abe, masanao@jaxa, jp

そのため、JAXAキュレーション施設では、そうした特徴を損なわずに帰還試料を取り扱うことを原則と

^{1.} 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 地球外物質研究グループ

^{2.} 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 太陽系科学研究系

^{3.} 総合研究大学院大学

^{4.} 北海道大学

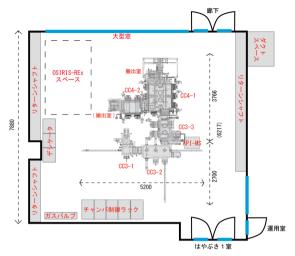


図1:はやぶさ2用クリーンルームおよびクリーンチャンバー設 置案

しており、はやぶさにおける試料容器の開封作業では、クリーンチャンバーを用いて真空環境で行われ、その後の試料ハンドリングも高純度でドライな窒素環境下で行われました。はやぶさ2では、探査対象が揮発性物質を多く含むと考えられているC型小惑星であるため、サンプル容器の密封性を高めるためメタルシールが採用されており、サンプル容器内のガス採取を帰還カプセルの回収地点で実施します。またサンプル容器内の一部の試料を真空環境下で回収する計画で、その機能を持つ専用チャンバーを準備中です。

3. はやぶさ2試料受入れ設備の検討

はやぶさ2試料受入設備の検討は、2015年6月に開かれた第1回仕様検討委員会から本格的にスタートしています。当時、はやぶさ2の初期分析チームはまだPIしか決まっていなかったため、JAXAキュレーションチームのほかに、はやぶさ2サンプラチーム、JAXAと試料受入れ準備に関する協定や共同研究契約を結んだ機関、JAXAキュレーション施設で行う初期記載フローの検討に協力いただいたメンバーに加えて、NASA/JSCや、はやぶさ初号機の初期分析チームからも参加いただき、これまで2016年12月までに計9回の会議を行い、クリーンルームの仕様やクリーンチャンバーの仕様を決めました。図1にはやぶさ2用クリーンルームおよびクリーンチャンバーの設置レイア



図2: はやぶさ2用新クリーンルームと設置されたクリーンチャンバーの一部.

ウト1次案を示します.

試料受入れ設備の製作担当メーカーは、仕様検討委員会の検討と平行して、入札方式で決定されています。はやぶさ初号機では、受注担当メーカーは1社で、その下に各担当メーカーが入る方式をとりましたが、予想されるコストが高いことから、はやぶさ2では、JAXA側が各担当をとりまとめるインテグレーション方式をとっています。担当メーカーは2016年8月から2017年2月にかけて決定され、2018年夏までにクリーンルームおよびクリーンチャンバーを完成させる予定で進められています。図2は2018年2月時点でのはやぶさ2試料受入れ設備の状況の写真です。

はやぶさ2の試料受入れ設備やキュレーション作業フローの詳細については、別途機会を設けて述べるとして、今回は、JAXAにおけるサンプルリターンミッションからの試料受入れの体制や経緯について紹介したいと思います。

4. はやぶさ以前

はやぶさ以前は、JAXAとしては組織だってサンプルリターンミッションの試料受入れを行ってはおらず、研究者が個人レベルでアポロサンプルやスターダストサンプルを借り受け、研究するという方式でした。

はやぶさプロジェクトがスタートした後も, プロジェクト予算は試料受入れ設備の製作に充てるだけで.

人材の確保は2006年に開発員1名を基盤技術分野で採用できただけで、残りは、太陽系科学研究系(当時は固体惑星科学研究系)の教育職が併任で開発を進める形でした。2010年6月に開始した、はやぶさ帰還試料の受け入れ作業についても、任期付招聘職員2名の増員はありましたが、JAXA内の人員では不足のため、初期分析チームの協力により、JAXA外から宇宙研に数名が長期滞在する形でキュレーション作業に参加してもらい、その後に続く初期分析への試料分配までが遂行されています。

2013年のはやぶさプロジェクトの終了後も受入れ 試料の国際公募研究への配分や将来への保管管理が必 要であるため、任期付職員やプロジェクト研究員、派 遣職員などの協力でキュレーション活動を維持してき ましたが、限られたマンパワーでキュレーション業務 の遂行しなければならない状況が続いていたため、は やぶさ帰還試料分析の研究成果創出や成果公表に十分 な時間がさけられない状況でした.

5. はやぶさ以降

2011年5月にはやぶさ2プロジェクトが発足し、その後2012年10月にかけてプロジェクトの体制強化が行われているころ、JAXAのキュレーション活動についても新展開がありました.

2011年8月に初期分析の成果がScience誌に掲載され、12月にはNASAへの試料提供を、NASAとJAXAの覚書(MOU)の取り決めに従って開始しています。続いて2012年1月に国際公募研究を開始し、2012年2月には最初のサンプルカタログが発行されています。また、JAXAのキュレーション活動は、はやぶさプロジェクトが終了にともない、2013年3月からはJSPEC(月・惑星探査プログラムグループ)から宇宙研のC-SODA(科学衛星運用・データ利用センター、現在は科学衛星運用・データ利用ユニット)管轄下に置かれることになりました。

2013年11月には第1回宇宙物質科学シンポジウム (HAYABUSA2013シンポジウム)を開催し、2014年2月には初期分析成果の第2弾がMAPSに特集号として掲載されています。

2015年7月にはキュレーション活動をC-SODAから切り離し、地球外物質研究グループという独立した組

織として、プログラムディレクタの下に、他のプロジェクトと並列する形で発足することとなりました。はやぶさ2の試料受入れ設備の検討が本格化したのもこの頃です。その後、キュレーション活動はプロジェクトのような時限ではなく、基盤技術的な位置づけで、永続的に進めることができるよう、研究基盤・技術統括の下に再配置されています。2016年3月からグループ体制が整い始め、業務改革と研究成果創出を推進し、現在は、キュレーション分野だけでなく、搭載科学機器開発分野や宇宙物質合成分野の活動も開始して、産官学を巻き込んだ、物質科学研究コミュニティーとの連携を進めています。

6. JAXAキュレーションの特徴

JAXAキュレーション施設で扱っている。サンプルリターンミッションの帰還試料は、現時点でははやぶさのみで、2020年からはやぶさ2の試料を受け入れる予定となっています。

はやぶさ帰還試料については、先に述べたように、 現在もその受入れ設備は稼働中で、はやぶさ2につい ても、新クリーンルームが完成し、今年の夏には試料 受入れ用専用クリーンチャンバーが据付完了となる予 定です。

はやぶさ、はやぶさ2帰還試料採取機構(サンプラー)の特徴は、それらの試料容器が密封されていることで、帰還カプセルを地上で回収した時点でも雰囲気 遮断環境を保持できる設計となっています。JAXAキュレーション設備では、その帰還試料の持つ特徴を損なわないよう、帰還カプセル回収後のキュレーション活動においても、極力雰囲気遮断環境を維持することを原則として作業を行っています。具体的には、試料容器の開封は真空環境で行い、試料の取り出しや観察も高純度な窒素環境下で行っています。試料分配に関しても、専用の窒素封入密閉容器に試料を封入して配分できるようにしています。

また、はやぶさでは、帰還試料サイズが最大でも 100 μm程度と小さかったため、専用のピックアップ ツールである静電マニピュレータを開発しています [7]. この技術は、宇宙塵の研究などで行われてきた試料ハンドリング方法を、ドライな窒素環境下でも行え、かつ極力試料を汚染しない手法として改良したもので

す. NASA/JSCからも職員が視察に来るほどで、 JAXA独自の技術ともいえます.

さらにJAXAキュレーションでは、小さな試料を 汚染することなく扱えるだけでなく、そのハンドリン グ装置やツールの洗浄を独自でも行っていること、ま た試料を取り扱う環境をモニターしていることも特徴 のひとつです。

洗浄については、NASA/JSCを初めとして、他分野の研究機関も含めて参考にしながら、独自に開発を進めています[8].

はやぶさ2では有機汚染についても有機物質研究者などから情報収集して、専用のメタルクリーンベンチを導入するなど、施設の整備に注力しています.

7. 将来のサンプルリターンミッション の試料受入れに備えて

サンプルリターンミッションは惑星探査の最終形態であるとともに、今後の惑星探査で主流の形態となりえるものです。実際、はやぶさ2に続いて、米国ではOSIRIS-RExという小惑星サンプルリターンミッションが進行中です。また日本でもMMX(火星衛星探査)がフォボスまたはダイモスからのサンプルリターンを目指して進行中です。その他、月からのサンプルリターン、火星からのサンプルリターン、火星からのサンプルリターン、彗星核からのサンプルリターンミッションの具体的な検討が進んでいます。これらいずれにもJAXAキュレーションは関係しており、継続して帰還試料の受入れおよびキュレーション作業が行える態勢を維持しつつ、惑星物質科学コミュニティーの中核となりえるよう、また他分野、他機関、産官学との連携を進めるべく、体制強化、スキルの強化を継続します。

参考文献

- [1] 矢田達ほか, 2007, 日本惑星科学会誌 16, 170.
- [2] 安部正真, 藤村彰夫, 2011, 日本惑星科学会誌 20, 185.
- [3] 矢田達ほか, 2013, 日本惑星科学会誌 22, 68.
- [4] https://hayabusaao.isas.jaxa.jp/curation/hayabusa/ index.html
- [5] Matsumoto, T. et al., 2018, Icarus 303, 22.

- [6] Jourdan, F. et al., 2017, Geology 45, 819.
- [7] 藤村彰夫, 2011, 静電気学会誌 35, 255.
- [8] 唐牛ほか, 2014, 地球化学 48, 211.