

JAXA キュレーションセンターにおけるリターンサンプルデータの管理システムの開発とその運用状況

○上棺 真之, 矢田 達, 唐牛 譲, 中藤 亜衣子, 熊谷 和也, 橋口 未菜子,
松本 徹, 岡田 達明, 安部 正真 (JAXA)

Development and operation status of data management system for Hayabusa-Returned samples in JAXA Extraterrestrial Sample Curation Center

Masayuki Uesugi, Toru Yada, Yuzuru Karouji, Aiko Nakato, Kazuya Kuamagai,
Minako Hashiguchi, Toru Matsumoto, Tatsuaki Okada, and Masanao Abe

Abstract

We developed a data management system for the analysis of Hayabusa-returned samples. The system consists of two major components, a work log management system and sample database system. Analyzed data of Hayabusa-returned samples were picked up from the work log management system, and converted and inputted into the sample database system. Through the system, we provided such sample information for the international announcement of opportunity of Hayabusa sample investigation. We will add the sample database of returned samples of future sample return missions, such as Hayabusa 2, into the system in the future work.

Keywords: extraterrestrial sample curation, Hayabusa-returned samples

概要

本論文では JAXA 地球外試料キュレーションセンターにおける、データの管理システムの開発と、現状の機能について説明する。このシステムは、キュレーションで実施される作業を管理する作業管理システムと、「はやぶさ」帰還試料のデータベースシステムの二つの要素で構成される。作業管理システムに登録された作業データのうち、「はやぶさ」帰還試料の分析データをシステムが抽出し、サンプルデータベースに追加する。2011 年の運用開始以降これまでに 3 回行われてきた「はやぶさ」帰還試料の国際公募研究に対して、試料を選定する情報を提供するなど、本システムは大きな成果を上げている。今後は「はやぶさ 2」帰還試料や、その他の帰還試料のサンプルデータベースを既存システムに追加する予定であり、さらに海外機関との連携も視野に入れた分析データ公開システムの構築を検討している。

1. はじめに

地球惑星科学分野、特に地球外物質を扱う惑星物質科学分野において、試料のデータベースシステムの開発は他の宇宙科学分野と比べて進んでいるとはいえない。この背景として(1) 試料を回収できる場所や手法が限られており、試料の絶対量が少ないため、データベース開発が盛んな材料工学や生化学分野と比べて分析例が多くないこと、(2) 多くの場合、地球外試料は化学組成・組織等にきわめて高い不均質性をもっているため、分析成果が研究成果につながりやすく、論文化せずに分析結果を他者に提供することが少ないこと、(3) 天然試料の分析は、たとえ同じ装置で分析したとしても、試料準備や分析フローなどによって得られる結果(解釈)が異なる場合があるため、統一された手法で

* 平成 27 年 12 月 17 日受付 (Received December 17, 2015)

の分析結果や他の研究に直接応用できる分析結果は少ないこと、(4) 鉱物学・岩石学等の地球科学だけでなく、工学、生物学、化学など、数多くの分野にまたがる分析手法、装置を利用しており、分析の結果得られるデータのフォーマットも膨大な種類が入り乱れていること、(5) 以上の理由から、他者が分析したデータを多くの作業を介して再利用して研究を行うメリットが少ないこと、(6) フィールドワークを主とする地質学分野出身の研究者が多く、業界全体がデータベースシステムの開発経験そのものに乏しいこと、(7) 慢性的な予算不足・人手不足により、データ管理にまでコストが避けられないこと、等の理由が挙げられる。これらのうち(1), (2)は他の宇宙科学分野とだけでなく、地球物質分野とすらも大きく異なる、惑星物質科学分野特有の背景といえる。端的に言うと、データベースそのものが殆ど求められてこなかった。

しかし、この惑星物質科学分野でも、試料データベースシステムが必要となる場面がある。天然試料を収集し、その後保管・管理・配分し、科学成果を創出する立場にある、キュレーション(curation)と呼ばれる活動である。National Aeronautics and Space Administration, Johnson Space Center (NASA JSC) のキュレーション施設では、アポロの月サンプル、Genesis の太陽風サンプル、スターダストの彗星試料等、これまでの NASA の地球外サンプルリターン計画で得られた試料を管理しており、その他に成層圏フライトによって収集できる微隕石(interplanetary dust particles, IDP)や南極隕石などもプロジェクトとして収集している [1]。こういった試料に加え、JAXA から配分された「はやぶさ」試料や、探査に使われた人工衛星の表面物質などを同時に保管し、管理・配分している。隕石試料や IDP は保有試料のリストが Web 上の表や Excel シートで提供されている。その他のリターンサンプルは PDF やフォトギャラリーなどの形で画像データとともに、組成や組織等の詳細な情報が配分に対する参考資料として提供されている。

日本では国立極地研究所の南極隕石ラボラトリーが南極で回収した世界最大級の隕石コレクションを管理しており、これまでの所、国内唯一の地球外試料のキュレーション施設であった。試料は薄片の作成、化学組成分析などが実施され、これらのデータが PDF リストの形で定期的に Web 上に公開されている [2]。

このほかに、Natural History Museum of London や American Museum of Natural History 等でも地球外試料のキュレーションが行われている。このような施設では、回収された隕石試料の配分のために、リストを Web や書籍の形で公開している。また、キュレーション作業ではないが、国際隕石学会(The Meteoritical Society)では、世界中で得られた隕石の承認(名前の付与)を 1957 年から行っており、その過程で得られた情報を Meteoritical Bulletin [3] 及び Meteoritical Bulletin Database [4] という形で公開している。これらのデータベース・公開資料において多くの場合、重量、サイズ、発見場所や時期、隕石タイプ(普通コンドライト、炭素質コンドライトなど)、グループ(H, L, LL, EH, EL, CV, CM, CI 等)のほか、風化度などの情報が提供されている。

しかし、これらのキュレーション活動においても、試料データベースの開発には多くの課題が存在する。上で述べたとおり、地球外試料は単位試料量が少なく、試料を配分する前に破壊し、消耗し尽くすわけにはいかないため、収集だけでなく、保管・配分まで行うキュレーション活動における分析手法は限られている。また、高精度な分析手法になるほど、試料の前準備、及び分析そのものに多くの技術と時間をかける必要があるため、収集された試料すべてに高精度分析手法を適用するのはコストがかかりすぎる。さらに、キュレーションを行う施設のスタッフも研究者であるため、分析して得られたデータを論文として発表する前に一般に公開することによるジレンマも存在する。このように、実際に試料データベースシステムを必要とするキュレーション活動においても、データの取得、公開には多くのハードルが存在し、データベースシステムの開発は進んではいなかった。近年では惑星物質学の試料管理に応用可能なデータベースシステムの開発及びそれを利用したデポジトリの開発の活動報告がなされているが [5]、実際のデータの一般公開・試料配分に対する運用には至っていない。

このような背景の中、2010 年に Japan Aerospace exploration Agency (JAXA)は小惑星探査機「はやぶさ」によって世界初の小惑星表面からのレゴリス粒子のサンプルリターンに成功した。本論文では、JAXA 地球外試料キュレーションセンター(Extraterrestrial Sample Curation Center, 以降

ESCuC) における「はやぶさ」帰還試料の記載データの管理システム、及びサンプルデータベースシステムの開発について報告する。

2. ESCuC におけるデータ管理システム開発の経緯

「はやぶさ」帰還試料 (Hayabusa-returned samples)の分析は大きく三つのフェーズに分けられる。初期記載(initial description)と初期分析(preliminary examination)、そして詳細分析(detailed analysis)である。初期記載は ESCuC でキュレーションチームが実施する記載フローで、すべての「はやぶさ」帰還試料が対象である。この初期記載で「はやぶさ」帰還試料は組成に基づき、以下の4つのカテゴリに分類される [6]。小惑星イトカワの表面から採取されたレゴリス粒子 (Itokawa particles) はカテゴリ 1 と 2、主に炭素から構成されるカテゴリ 3、人工物から成ると思われるカテゴリ 4 である。初期分析は、このうちの「イトカワ粒子」、すなわちカテゴリ 1 と 2、に対して国内の共同チームによって「はやぶさ」帰還後 1 年で実施された、より詳細な記載・分析作業である [7-13]。近年、炭素から構成されるカテゴリ 3 についても別途初期分析が実施されている [14-18]。最後に、詳細分析のフェーズがあり、これは国際公募研究(AO)や JAXA 主導のコンソーシアム研究などが当てはまる [6]。この詳細分析は現在の所、期間は制限されておらず、公募に対する申請に応じて、審査の上試料の配分が実施される。

初期記載の分析データはその後の初期分析、及び詳細分析の試料選択に使用するもので、「はやぶさ」帰還試料の全容把握のためにも重要な情報である。2010 年の「はやぶさ」帰還当初、ESCuC にはこのデータの明確な管理システムが存在しておらず、得られたデータをプリントアウトしたものにペンでノートを書き込み、バインダで綴じて管理していた。従って、初期分析にはこのバインダによる初期記載情報が提供された。しかし、データの増加と共にデジタルデータの検索が困難になり、試料レポート作成にも膨大な時間を要した。さらに、データの取り違いや紛失など、トラブルも頻発しはじめた。それらの解消のため、2011 年 7 月にデータの管理システムの開発が始まった。開発は「はやぶさ」帰還試料のキュレーション作業と並行して実施され、同 8 月初頭に運用を開始した。運用開始直後から 11 月までは稼働開始以前のデータの登録も並行して行われている。なお、第 1 回の国際 AO は 2012 年の 1 月に発行されており、システム開発の開始からこの AO での試料情報公開までに半年しか要していない。このように本システムは極めて短い開発期間・運用までの移行期間であったにもかかわらず、その後の国際 AO およびキュレーション作業に多大な貢献をしている。この短期間での開発と運用が可能だった理由として、すでに応用可能な基礎的なデータベースシステムが主著者により開発されていたこと [19-20]、また当時の記載データ量が極めて限られていたため、最小限の調整で適用可能であったこと、第三者を介さず、キュレーション作業員である主著者が直接システムを構築したため、要件の確認などの手間を短縮できたこと、後述の通り、それまでの作業との親和性を考慮した運用システムを導入したことなどがあげられる。

なお、システムの改修はその後も並行して続けられ、2015 年現在も高速化やインターフェースの改良など、システムアップデートは続けられている。

3. システム

本システムは大きく二つのシステムから構成されている。ひとつは作業管理システムであり、これは ESCuC のクリーンルーム内の作業で得られるすべてのデータを管理する。ESCuC では「はやぶさ」帰還試料を扱う作業以外にも、設備メンテナンスなどの作業も実施されており、それらのデータなどもすべてネットワークを通じてネットワークストレージにアーカイブされる。試料の分析データを含むこれらの作業データは、Web 上の統一されたシステムにより、テキストデータを付加され、集中管理される。もう一つはサンプルデータベースシステムであり、上記の作業管理システムに保存されたデータの中から「はやぶさ」帰還試料に関する記録をピックアップして、Web 上のシステムを介してより詳細な試料情報を付与したのち、試料情報検索に特化して使用される。

これらのシステムは Web ブラウザをインターフェースとして CGI アプリケーションとして実行される。アプリケーションは主に shell スクリプト、perl を組み合わせて作成され、UNIX システム上で稼働する。これらの言語を使用するメリットは、殆どの UNIX システムに初期インストールされているため、サーバクラッシュなどのトラブルの際のレストアに専門知識を要さず、適当な場所にファイルを保存するだけでシステムが再構築できることがあげられる。本システムはサーバに MacOSX を採用しており、データレコードの管理には、維持管理・レストアのコストが低いフラットファイルによる管理を行っている。したがって、データベース管理システムのインストール作業が必要なく、UNIX の専門知識がない作業員でも手順書に従って簡便なレストアが可能になっている。また MacOSX は、sips という極めて優秀な画像編集コマンドがデフォルトで実装されているため、画像変換を多用する本システムではアドバンテージが多い。一方、デメリットとして、既存のデータベース管理システムに比べてインターフェースの変更や後述のファイルシステム管理などに柔軟性が乏しいこと、検索エンジンの最適化が十分でないため、大規模なデータを扱う際に待ち時間が発生する問題などがあげられる。以降でこれらふたつのシステムの構成と開発の経緯について、詳細を述べる。

3.1. 作業管理システム

ESCuC のクリーンルームの各部屋にはデータ保存用のネットワーク PC(Windows)が設置されている。作業員は作業終了時ネットワークストレージのルートディレクトリに作業日時/作業内容/の階層でフォルダを作成し、その中に作業に応じたデータを保存する。この「作業内容」にあたるフォルダの名前には、特に「はやぶさ」帰還試料に関する作業については、簡単なルール付けがされており、作業員はそのルールに則った名前で作成する。

The screenshot shows a web-based 'Work Log' interface. At the top, there are navigation links for 'Set Work' and 'Sample Database'. Below is a 'Work Log' header with a search bar labeled 'Folder Search FT'. The main area is a calendar grid showing work logs from 2010 to 2015. A search bar above the calendar is labeled '検索カラム (日付、作業名)'. The calendar grid has columns for each day of the month. A box labeled '日付' points to the date column. A box labeled '全作業カラム' points to the first column of the calendar grid. A box labeled 'はやぶさ帰還試料関連作業カラム' points to the right side of the calendar grid. A box labeled '試料ID' points to a specific entry in the detailed view of the calendar grid.

図 1 作業管理システム概要画面。一ヶ月単位で作業内容を一覧表示する。その日の全作業が日付の次のカラムに表示され、その詳細画面へのリンクが張られている。この作業リストのうち、「はやぶさ」帰還試料に関する作業は、右側のカラムに作業内容（ハンドリング、分析、試料配分、返却試料チェック）に分けて再度表示され、その作業が行われた試料 ID がその下に表示される（矢印に例を示す）。

データ保存後、作業者はクリーンルーム外のデータ管理用 WindowsPC で、Web ブラウザを介して保存したデータにアクセスする。クリーンルーム内は常に全身を覆うクリーンスーツを着用しており、さらにクリーンルームの外気をコントロールするフィルターファンユニットによる轟音が響いているため、作業には恒常的に極めて高い負荷がかかっている。このため、滞在時間は必要最小限とし、時間がかかるデータ入力作業はクリーンルーム外で行う方針になっている。この時間差によって発生する入力ミスなどは、後述の管理者によるチェックで対処している。サーバープログラムはネットワークストレージの階層構造を参照し、“作業内容”のフォルダ名を解析して作業内容をグループ分けし、表示する(図 1)。さらに、各“作業内容”フォルダの項目にはリンクが張られており、作業内容の詳細ページを表示することが出来る。作業内容詳細ページでは、作業者は作業情報を登録、閲覧することが出来る(図 2)。作業情報の一部として試料 ID を登録すると、図 1 の作業一覧の各カラムにその試料 ID が表示され、各試料に対する作業日時と作業内容が一覧で確認出来る。作業情報閲覧画面では、保存された分析データを閲覧しやすい形にフォーマットし直すプラグインシステムが採用されている。これにより、本来 Web での閲覧には適さない Word フォーマットなどで保存される各分析装置のレポートなどを、図 2 のように必要な情報だけ適切な形で表示することが可能になる。

サーバープログラムは、CGI を介して渡された各データに対する入力情報を、同様の階層構造を持ったサーバー上のデータベースに、テキストデータとして保存する。入力されたデータはいつでも入力画面を通して更新が可能であり、新しいファイルが追加された場合・削除された場合はユーザーが該当ディレクトリにアクセスした際に検知されるため、同様に入力が可能である。また、後述のサンプルデータベースへの変換の際、必ずファイルが存在しているかどうかの確認を行っているため、ファイルが存在しない場合はサンプルデータベースには登録されず、新規ファイルが追加された場合は新しい情報が追加される。本システムの問題点として、作業フォルダの変更が難しい点がある。作業ホルダの名前などを変更した場合、その内部にあるすべてのファイルのツリーが変更になるため、作業データをすべて再度入力する必要がある。現在は管理者がデータファイルを直接編集して対応しているが、将来的にはユーザーが修正可能なようにシステムを改良する必要がある。

3.2. サンプルデータベース

サンプルデータベースシステムは、作業管理システムのデータを検索し、新しい試料 ID を見つけると、この試料のレコードを自動で作成し、その作業記録データの階層情報をフィールドに追加する。この新しい試料 ID の付与は粒子が電子顕微鏡による記載を終え、保管先のスライドガラス上に移動した時点で行われ、それまでは粒子は仮 ID で管理される。この仮 ID はサンプルデータベースには反映されない。従って、粒子のスライドガラス移動後、電子顕微鏡による記載前の拾い出しの時点まで遡って、仮 ID を正式な試料 ID へ置き換える作業が発生する。管理者はこの ID の置き換え作業時に、日々の登録・記載情報に誤りが無いか、粒子の入れ違い等のチェックを実施する。実際にはこの時点でかなりの登録ミス・記載の混乱が発見され、訂正されている。このため、この仮 ID と正式な粒子 ID の置き換え作業は自動化も可能だが、現在は月 1 回のペースで手作業で、この新規レコードの追加を行っている。

サンプルデータベースには、この作業情報の他に、現在の保存場所、試料状態、移動履歴、サイズ、カテゴリ、鉍物組成、分析履歴、コメントなどのフィールドが存在する(図 3)。

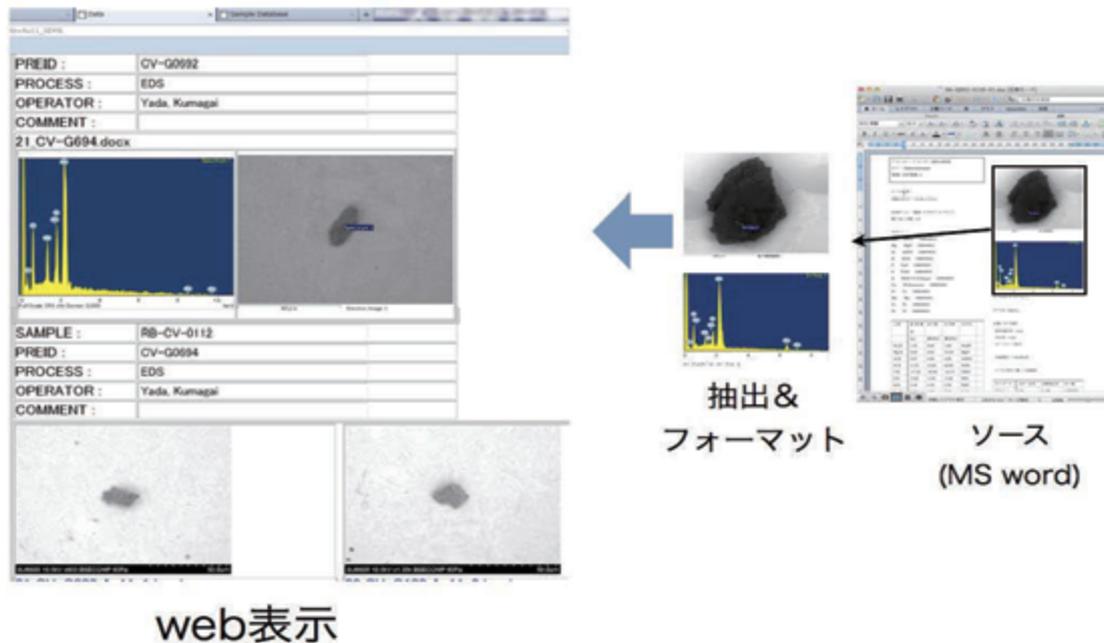


図 2 作業管理システム詳細画面。作業内容の登録・閲覧をおこなう。例では「はやぶさ」帰還試料の分析データを登録している。プラグインにより、MS Word のデータを抽出して成形し、Web 画面上に表示している

開発当初は新規の試料データ検索をユーザーがデータベースにアクセスした際に毎回行っていた。これは作業者が誰でも新規データ入力する事が可能で、作業負荷の分散を目的としたシステムである。しかし作業管理システムのデータ件数が増えるにつれ検索時間が増大し、その間はデータベースでの作業が出来なくなる上、複数の作業による入力のためのミス、混乱が増大した。これは第 1 回の国際 AO の試料配分時に大きな問題となった。このため、上記で説明したように、新しい試料レコードの作成作業を、単一の管理者が定期的にまとめて実施し、データ入力のチェックを行い、その作業直後にデータベースのアップデートを実施することで運用する方針に変更した。

サンプルデータベースでは試料レコードの各フィールドを利用しての絞り込み検索が可能だが、本システムは当初、保存されているすべてのデータに対して、ループ文で検索を行う、きわめて効率の悪い手法をとっていた。データ量の少なかった開発当初はこれで十分な速度であり、単一のフィールドへの入力での全文検索が可能などのメリットもあった。しかしその後、試料ピックアップの効率化と共に予想を超えてデータ量が一気に増大したため、検索に非常に時間を要するようになった。このため、すべての情報を一括保存した主データの他に、検索に使われる粒子情報のテキストデータ、各バイナリに付与されるメタデータ、保存されたデータのディレクトリツリーのデータなどに細分した中間キャッシュを作成するよう、システムを変更した。検索時には検索項目を指定し、個々のデータを含むキャッシュに対してのみ検索を行う事でパフォーマンスの向上を行うよう、検索エンジンの変更をおこなった。この結果、検索時間は最大時で 1 分近くかかっていたが、現在は検索項目数によらず 1 秒以下になっている。この中間キャッシュはサンプルデータベースへの新規情報の登録の際に主データと一緒に更新される。

データベースの検索で試料レコードを抽出した後は、作業管理システムで保存された分析データや、サンプルデータベースシステムから入力された試料情報などを閲覧出来る (図 4)。サンプルデータベースでの分析データの閲覧にも、作業管理システムで使用されている表示用のプラグインを利用することが出来る。

現在の所、ESCuC で初期記載に使用しているのは電界放出形走査電子顕微鏡 (Field emission-type scanning electron microscope, FE-SEM) 及びエネルギー分散型 X 線分析装置 (energy dispersion X-

国際 AO など、「はやぶさ」帰還試料のデータを公開する場合、上述の通り CSV,PDF 等のフォーマットでデータを打ち出した後、別の Web アプリケーションでそれを読み込む形で利用する。データベースサーバーとデータ公開サーバーを物理的に切り離しているため、情報の即時公開などには適さない。しかし、キュレーションのシステムのセキュリティを維持するには必要なことである。また、公開の前にデータの検証など最終確認を行えるメリットもある。実際に国際 AO へのデータ提供の際には、タイプミスや前後矛盾などを修正するためのチェックが行われている。

開発開始時にすでに「はやぶさ」帰還試料のキュレーション作業が始まっていたこともあり、本システムの開発において最も重要視されたのが、可能な限り早く、また円滑に運用を開始することであった。このために、本システムは、既存のデータ運用フローを可能な限り吸収する形で開発が進められている。本システム開発以前から、データはネットワークストレージ上に、名前に日付の入ったフォルダに保存されていた。フォルダには非常に大雑把なルールによる、作業内容が判別可能な名称が日付の後に付加されていた。本システムでのデータ保存は、既存のフォルダの名前付けと階層に関してより明確なルールを適用しただけであり、作業への運用開始時の負担を必要最小限にとどめている。

The screenshot displays a web application interface for sample data. At the top, it shows 'Particle Data' and the sample ID 'RA-QD02-0016'. A section titled '試料情報' (Sample Information) contains a table with columns for Status, Site, Transfer, Category, Phase, Analysis, Job, Reference, and Comment. Below this is an 'Analysis handling history' table with columns for ID, Date, and Analysis. A section titled '作業情報' (Operation Information) shows a list of operations with columns for ID, Date, and Analysis. At the bottom, there are two sections for '作業情報詳細' (Operation Information Details), each showing a sample image and associated metadata like 'SAMPLE: RA-QD02-0016', 'PREID', 'PROCESS', 'OPERATOR', and 'COMMENT'.

図 4 サンプルデータベース詳細画面。各試料の分析データ、ハンドリング履歴や、その詳細を閲覧できる。

また、システム開発以前は作業記録およびサンプルカタログはプリントアウトした物を共有していた。本システムでは運用開始後も同様の作業が可能なように、作業管理システムやサンプルカタログシステムの詳細画面は、Web ページをそのまま印刷すれば、レポートとして適切な形に再フォーマットされるよう設計している。

初期記載での FE-SEM/EDS による分析結果は分析装置のソフトウェアが作成するレポート機能を利用して、MS Word 形式のファイルフォーマットで保存されていた。本システムではプラグインシステムを採用した結果、作業者はそれまで通りのフローでデータを保存すれば、作業管理システム及びサンプルデータベースシステムを通して Web ブラウザでそのデータの閲覧が可能となる。

作業管理システムに入力するデータが多いほど、その後より多くの作業に応用できるが、一回の入力作業に割く負担が増大する。ほぼ毎日膨大な作業データが発生するキュレーション作業においては、入力データを必要最小限に絞り、まずは運用開始の早期化を優先した。そのため、運用開始当初は作

業管理システムの入力項目は試料名と作業内容の 2 項目のみで、まずは作業者が入力作業に慣れることからスタートした。その後項目を徐々に増やして、現在の 5 項目（試料 ID、仮試料 ID、作業名、作業内容、コメント）としている。また、サンプルデータベースでの試料の詳細情報の入力も管理者が適宜実施し、毎日の作業とは切り離されている。

以上のような取り組みの下、データベースシステム、ネットワークシステムあるいは PC システムについて必ずしも全員が精通しているわけではない ESCuC チームメンバーに対して、運用に伴う負担を可能な限りシステムが吸収する形で最小限にすることで、短期間の内に運用を軌道に乗せることが可能となった。

4. 今後の課題

現在本システムで取り扱っているのは「はやぶさ」帰還試料のみだが、今後 ESCuC では「はやぶさ 2」等の新たな帰還試料の受け入れを予定しており、これらに対応したデータベースが必要になる。作業管理システムは、帰還試料が増える毎にインターフェースを微調整することで、すべての帰還試料の作業に対して共有できる。このインターフェースの調整は、すでに現行のシステムで管理者が任意にカスタマイズすることが可能になっている。サンプルデータベースシステムは作業管理システムに記録された各帰還試料に対して個別のデータベースを独立して設置できるため、今後の帰還試料の増加に対しても、十分な柔軟性を持って対応出来る。

現在のシステムでは、サンプルの分析データはプラグインで加工後に PDF 化して提供する仕組みになっているが、この場合スペクトルデータをグラフ化後の画像フォーマットでしか提供できないなど、限界がある。今後は分析データをそのまま提供することを検討しており、JAXA の科学衛星運用・データ利用センター (C-SODA) と連携し、試料データアーカイブを公開する予定である。この場合、ESCuC で作成する PDF を利用したカタログは、分析結果の一部をプラグインで加工した試料の概要情報とし、詳細データ（生データ）を同時に提供する形となる。具体的な公開方法は現在検討中である。

さらに、今後の帰還試料分析に向けて、新しい試みも検討している。現在のサンプルデータベースはカタログとしての機能に限定しているが、公開予定の試料データアーカイブはすべてのデータを利用可能な形で公開することから、これらを統計的に扱い、新たな科学成果を創出できる研究を目的としたアプリケーションシステムの開発を検討している。ESCuC では X 線回折装置や X 線 CT 装置など非汚染・非破壊の分析手法を開発し、初期記載にこれらを組み込むことで、試料データを拡充する予定である。これらは、研究者が試料を選ぶ際、より適切な試料を選定することに貢献できる。一方で、非汚染・非破壊で得られる初期記載データは、精度としては破壊分析に劣るため、それだけで科学的成果を創出するのは難しい。しかし一連のデータを統計的に扱うことが出来れば、試料全体を新しい視点で俯瞰することが可能になる。これらの分析装置から得られるデータの統計的な取り扱いには手法のさらなる研究開発が必要だが、例えば X 線 CT の場合、隕石試料内部の包有物のサイズ分布や、化学組成と相関する X 線吸収係数の分布などを利用して複数の隕石試料を系統的に議論する試みはすでに行われている [23-24]。

今後海外でもサンプルリターン計画が予定されており、アメリカでは 2023 年に帰還予定の OSIRIS-REx が 2016 年に打ち上げ予定である。ESCuC は、「はやぶさ 2」と OSIRIS-REx の試料受け入れ準備を NASA JSC と連携して実施することを計画している。汚染物質の情報など、お互いの予備分析の情報を公開データアーカイブ等を通して円滑に共有できるシステムを開発することができれば、両者の試料受け入れ準備に大いに貢献できる。例として、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) では、海底のボーリングコアサンプルのデータを Integrated Ocean Drilling Program (IODP) に所属する複数の大陸の研究機関で共有するシステムがすでに稼働している [25]。これらを参考にし、現在 C-SODA との共同で開発中のデータアーカイブシステムを中心として、今後はできる限り多くの JAXA

内部機関、及び外部機関との連携を行い、複数国にまたがる研究機関の連携を促進する、惑星試料データベースシステムの構築を目指したい。

5. まとめ

本論文では ESCuC での、「はやぶさ」帰還試料を対象にした作業管理システムおよびサンプルデータベースシステムを構築する過程、およびその内容について紹介した。惑星試料のデータベースシステムは、これまでの研究者個人の研究ベースでは労力に見合う成果が見込めないためあまり必要とされず、キュレーション活動においても制約が多いため、積極的な開発は行われてこなかった。しかし、今後サンプルリターン計画が活発化し、惑星物質の分析データが広く共有される機会が増えれば、このようなデータベースシステムの開発を促し、個人の研究にも簡便に適用する事が可能になり、惑星物質学に新しい視点をもたらすことが期待される。

謝辞

本論文の作成においては、匿名の査読者にきわめて有益なアドバイスを多くいただき、著者の作業の大きな助けになった。この場を借りて感謝の意を表す。また、著者らはこの論文を作成する機会を与えてくださった海老沢研氏、山本幸生氏に感謝する。

References :

- 1) NASA astromaterials Acquisition and Curation, <http://curator.jsc.nasa.gov>, Johnson Space Center, National Aeronautics and Space Administration (NASA JSC), USA
- 2) Antarctic Meteorite research Center, National Institute of Polar Research, <http://yamato.nipr.ac.jp/en/>, National Institute of Polar Research (NIPR), Japan
- 3) Meteoritical Bulletin Archive, http://meteoriticalsociety.org/?page_id=57, The Meteoritical Society
- 4) Meteoritical Bulletin Database, <http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php>, The Meteoritical Society
- 5) 北川宙, 谷内勇介, 国広卓也, 中村栄三: 地球惑星試料デポジトリ DREAM の構想と現状, 宇宙科学情報解析論文誌 第3号 (2013) 71-77, <https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/ais/16896>
- 6) Yada T., Fujimura A., Abe M., Nakamura T., Noguchi T., Okazaki R., Nagao K., Ishibashi Y., Shirai K., Zolensky M. E., Sandford S., Okada T., Uesugi M., Karouji Y., Ogawa M., Yakame S., Ueno M., Mukai T., Yoshikawa M., and Kawaguchi J. Hayabusa-returned sample curation in the Planetary Material Sample Curation Facility of JAXA, Meteorit. Planet. Sci. 49, 135-153, (2014)
- 7) Nakamura T., Noguchi T., Tanaka M., Zolensky M. E., Kimura M., Tsuchiyama A., Nakato A., Ogami T., Ishida H., Uesugi M., Yada T., Shirai K., Fujimura A., Okazaki R., Sandford S. A., Ishibashi Y., Abe M., Okada T., Ueno M., Mukai T., Yoshikawa M., and Kawaguchi J., Itokawa dust particles: a direct link Between S-Type Asteroids and Ordinary Chondrites, Science, 333, 1113-1116 (2011)
- 8) Yurimoto H., Abe K., Abe M., Ebihara M., Fujimura A., Hashiguchi M., Hashizume K., Ireland T. R., Itoh S., Katayama J., Kato C., Kawaguchi J., Kawasaki N., Kitajima F., Kobayashi S., Meike T., Mukai T., Nagao K., Nakamura T., Naraoka H., Noguchi T., Okazaki R., Park C., Sakamoto N., Seto Y., Takei M., Tsuchiyama A., Uesugi M., Wakaki S., Yada T., Yamamoto K., Yoshikawa M., and Zolensky M. E., Oxygen isotopic compositions of asteroidal materials returned from Itokawa by the Hayabusa mission, Science, , 333, 1116-1119 (2011)

- 9) Ebihara M., Sekimoto S., Shirai N., Hamajima Y., Yamamoto M., Kumagai K., Oura Y., Ireland T. R., Kitajima F., Nagao K., Nakamura T., Naraoka H., Noguchi T., Okazaki R., Tsuchiyama A., Uesugi M., Yurimoto H., Zolensky M. E., Abe M., Fujimura A., Mukai T., and Yada T., Neutron activation analysis of a particle returned from asteroid Itokawa, *M. Science*, , 333, 1119-1121 (2011)
- 10) Noguchi T., Nakamura T., Kimura M., Zolensky M. E., Tanaka M., Hashimoto T., Konno M., Nakato A., Ogami T., Fujimura A., Abe M., Yada T., Mukai T., Ueno M., Okada T., Shirai K., Ishibashi Y., and Okazaki R.. Incipient Space Weathering Observed on the Surface of Itokawa Dust Particles. *Science* 333: 1121-1125. (2011)
- 11) Tsuchiyama A., Uesugi M., Matsushima T., Michikami T., Kadono T., Nakamura T., Uesugi K., Nakano T., Sandford S. A., Noguchi R., Matsumoto T., Matsuno J., Nagano T., Imai Y., Takeuchi A., Suzuki A., Ogami T. , Katagiri J., Ebihara M., Ireland T. R., Kitajima F., Nagao K., Naraoka H., Noguchi T., Okazaki R., Yurimoto H., Zolensky M. E., Mukai T., Abe M., Yada T., Fujimura A., Yoshikawa M. and Kawaguchi J., Three-dimensional structure of Hayabusa samples: Origin and evolution of Itokawa regolith, *Science*. , 333, 1125-1128, (2011)
- 12) Nagao K., Okazaki R., Nakamura T., Miura Y. N., Takahito O., Bajo K., Matsuda S., Ebihara M., Ireland T. R., Kitajima F., Naraoka H., Noguchi T., Tsuchiyama A., Yurimoto H., Zolensky M. E., Uesugi M., Shirai K., Abe M., Yada T., Ishibashi Y., Fujimura A., Mukai T., Ueno M., Okada T., Yoshikawa M., and Kawaguchi J., Irradiation history of Itokawa regolith material deduced from noble gases in the Hayabusa samples, *Science*, , 333, 1128-1131, (2011)
- 13) Nakamura E., Makishima A., Moriguti T., Kobayashi K., Tanaka R., Kunihiro T., Tsujimori T., Sakaguchi C., Kitagawa H., Ota T., Yachi Y., Yada T., Abe M., Fujimura A., Ueno M., Mukai T., Yoshikawa M., and Kawaguchi J. 2012. Space environment of an asteroid preserved on micrograins returned by the Hayabusa spacecraft. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109: E624-E629.
- 14) Ito M., Uesugi M., Naraoka H., Yabuta H., Kitajima F., Mita H., Takano Y., Karouji Y., Yada T., Ishibashi Y., Okada T., Abe M. (2014) H, C and N isotopic compositions of HAYABUSA Category 3 organic samples. *Earth, Planet. Space.* 66:91,
- 15) Uesugi M., Naraoka M., Ito M., Yabuta H., Kitajima F., Takano Y., Mita H., Ohnishi I., Kebukawa Y., Yada T., Karouji Y., Ishibashi Y., Okada T., Abe M. Sequential analysis of carbonaceous materials in Hayabusa-returned samples for the determination of their origin. *Earth, Planets. Space.* 66:102, (2014)
- 16) Yabuta H., Uesugi M., Naraoka H., Ito M., Kilcoyne A. L. D., Sandford S. E., Ohigashi T., Kitajima F., Mita H., Takano Y., Karouji Y., Yada T., Ishibashi Y., Okada T., Abe M. Molecular compositions of Hayabusa Category 3 carbonaceous particles. *Earth, Planet. Space.*, 66:156 (2014)
- 17) Kitajima F., Kotsugi M., Ohkochi T., Naraoka H., Ishibashi Y., Uesugi M., Karouji Y., Abe M., Fujimura A., Yada T., Okazaki R., Nakamura T., Noguchi T., Nagao K., Tsuchiyama A., Yurimoto H., Ebihara M., Ito M., Yabuta H., Mita H., Takano Y., Mukai T., Sandford S. A., Okada T., Shirai K., Ueno M., Yoshikawa M., Kawaguchi J. A micro-Raman and infrared spectroscopic approach to the several stony and organic (category 3) particles recovered by the Hayabusa mission, *Earth, Planet. Space.* 67:20 (2015)
- 18) Naraoka H., Aoki D., Fukushima K., Uesugi M., Ito M., Kitajima F., Mita H., Yabuta H., Takano Y., Yada T., Ishibashi Y., Okada T., Abe M. ToF-SIMS analysis of carbonaceous particles in the sample capsule of the Hayabusa mission. *Earth, Planet. Space.* 67:67(2015)

- 19) 上梶真之, 上杉健太郎, X 線 CT の 3 次元データのためのデータベース開発, 日本地球惑星科学連合大会予稿集, MGI015-06 (2010)
- 20) Uesugi H. and Uesugi M., Development of the Database for Images of the Text on the Stone Monuments. In Culture and Computing (Culture Computing), 2013 International Conference on (pp. 149-150). IEEE. DOI: 10.1109/CultureComputing. 2013.40 (2013)
- 21) International Announcement of Opportunity for Hayabusa sample investigation, <http://hayabusao.isas.jaxa.jp>
- 22) Uesugi M., Yada T., Okada T., Karouji Y., Nakato A., Kumagai, K., Abe M. Hayabusa-returned sample catalogue 2014, JAXA Special Publication, JAXA-SP-14-007E, 1-770, <https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/a-is/236431>, (2015)
- 23) Uesugi M., Uesugi K., Takeuchi A., Suzuki Y., Hoshino M., and Tsuchiyama A., Three-dimensional observation of carbonaceous chondrites by Synchrotron radiation X-ray CT - quantitative analysis and developments for the future sample return missions -, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, , 116, 17-32, (2013)
- 24) Uesugi M., Uesugi K. and Oka M., Non-destructive observation of meteorite chips using quantitative analysis of optimized X-ray micro-Computed Tomography, *Earth and Planetary Science Letters*, , 299, 359-367, (2010)
- 25) Core sample summary and Core sample availability, <http://www.kochi-core.jp/cs/> and <http://www.kochi-core.jp/sample-availability/>, Kochi Core Center, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Japan