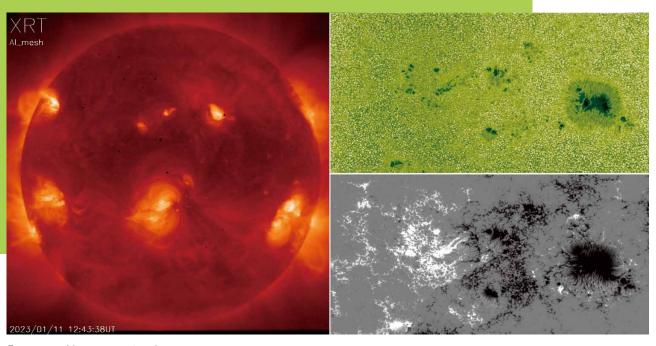
2023

No.504

JAXA宇宙科学研究所 News



「ひので」が捉えた最近の太陽

太陽観測衛星「ひので」の軌道上での運用が2月末に6,000日を超えました。太陽活動は、予測に比べて強めに上昇しつつあります。X線コロナ画像(左)を見ると、中緯度域に明るい活動的な領域が幾つも現れているのがわかります。搭載の可視光磁場望遠鏡は、太陽面の中央近くにある活動領域を観測し、太陽表面の黒点(右上)や正負極の磁場の分布(右下)を捉えています。今年に入り、中規模・大規模フレアの発生頻度が高まっています。

The Forefront of Space Science

宇宙学制

新時代の幕開けとデータ管理

宇宙科学研究所太陽系科学研究系 准教授 山本 幸生(やまもとゆきお)

はじめに

惑星探査は数100億円以上のプロジェクトであり、それらプロジェクトに携わることができるのはその時代・その場に生きた一部の関係者のみです。しかしそれらプロジェクトが残したデータは世界中の人がアクセス可能で、さらには時代を超えた人類の資産と言えます。そのため古いプロジェクトのデータがどのような困難に直面し、どのように保存されてきたのかを知ることが重要です。

温故知新

人類が月・惑星探査を始めてからまだ100年も経っていません。月・惑星探査における古いデータの代表格は米国のApolloミッションになります。1969年に初めて人類が月面に降り立ったこのミッションは、科学的にも重要なミッションでした。特に月面に置かれた地震計データは、50年以上前のデータにも関わらず、今なお研究対象として利用価値の高いデータです。

Apolloミッション以降、一度も月面に地震計が設置されていないことが理由の1つとして挙げられますが、同様に研究者がデータを共有することを前提に作られたデータであることもその理由です。図1は過去の論文に掲載された図と、デジタルデータから復元した図の比較です。近年の科学論文投稿ではデータの提示を求められることが多く、50年以上前のデータがこうして復元できることは論文の正しさを未来の技術で検討する上で必要なことです。しかしながら、長期間データを使えるようにするために、様々な変化に対応する必要がありました。この50年間でデータ管理を取り巻く環境の何が変化したのか見てみます。

1.コンピュータを取り巻く環境の変化

データを長期間保存することを考えた場合、それらのデータが未来の環境で読み取れることが必要です。例えば現在のコンピュータではアルファベットと数字の対応にはASCIIコードが使われていますが、Apollo時代の文字コードはEBCDIC*が使われていました。記録媒体も最初はオープンリールテー

* 1963年にIBMによって開発された文字コード体系。

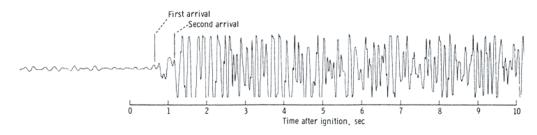


FIGURE 8-4.—Signal recorded by the SPZ seismometer from the lift-off of the Apollo 15 LM ascent stage.

1971-08-02T17:11:22.6 - 1971-08-02T17:11:35.8

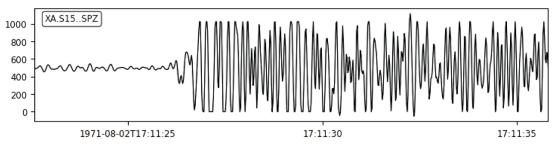


図1: Apollo 15 PRELIMINARY SCIENCE REPORTに掲載された図(上) とデジタルデータから再現した図(下)

プで保存され、その後小型のカセットテープ、そして現在は ハードディスクや半導体メモリへと変遷しています。また現 在の地震研究で使用されている標準的なデータフォーマット (SEED、SAC、SEG-Y等) はまだ存在せず、独自フォーマットと なっています。

また記録媒体の大容量化や高速化も研究環境の変化に大きく寄与しています。Apollo月震計のデータは約110GBになりますが、リールテープで一部屋丸ごと占有していた時代と比較すると、現在はUSBメモリで保存可能なサイズです。インターネットから全データをダウンロードしても数分から数時間程度で手に入れることができます。

インターネットで配布する際にも注意が必要です。様々な事情により配布元のURLが変化することが考えられるからです。科学データの共有はプロトコルとしてftpが主流でしたが、その後httpになり、さらに現在はhttpsが使われるようになりました。またドメイン名に関しては、保存している機関の名称変更等により変わり得ます。

2.研究環境の変化

惑星科学分野ではNASAが各国の研究拠点となるRegional Planetary Image Facility (RPIF)を設立しています。そこでは NASAからデータを収めたCDやDVDが送付され、研究者は RPIFに集まり研究を行ってきました。JAXA相模原キャンパス にもRPIFがありますが、インターネットが普及しデータをダウンロードできる現在ではRPIFを目的に訪れる研究者はほぼ いません。

解析環境も大きく変化しています。データを解析するための準備が今よりもずっと大変でした。専用のOSに解析専用ソフトウェアの導入が必要でしたが、ソフトウェアが高価で個人の研究者が研究をするにはハードルが高いものもありました。しかし現在は無料で強力な計算ライブラリや描画ライブラリを備えた環境を数多く利用することができます。高度な処理環境が既に用意されているため、研究者はより本質的なところで議論することが容易となり、さらには惑星科学を専門としない他分野の研究者の惑星科学への参加が期待されます。

3.データ保全に対する意識の変化

かつては、データは論文の構成要素の1つとみなされ、データは基本的には実験者自ら取得し第三者のために共有するという考えはありませんでした。しかし近年はデータに対する意識が変わり、データを皆で共有しようというオープンデータという動きがあります。そこでは共有データについてFindable (データを探しだせる)、Accessible (アクセスできる)、Interoperable (相互運用できる)、Reusable (再利用できる)の頭文字を取ったFAIR原則として知られる原則があります。また研究プロジェクトにおいても、データの取り扱いについてデータ管理計画 (Data Management Plan; DMP) が求められるようになりました。研究データを安全に保管するために、明らかにひと昔前とはデータに対する意識が異なってきています。そのためデータを長期間利用可能な状態で保存するには、以下の視点から見て、維持可能な状態を構築することが重要であることが分かります。

4.分野を超えた協力関係の必要性

今日、世界各国が宇宙開発へと参画し、また国際宇宙ステーションの後継や月探査計画、惑星科学とそれ以外の分野の境界線が曖昧になってきています。惑星科学の分野でも天文学で良く使われるFITS (Flexible Image Transfer System) と言うフォーマットは広く利用されています。また地球科学で使うGIS (Geographic Information System) 関連の技術はそのまま他の惑星科学でも利用可能です。民間企業の宇宙開発への参画も相まって、各分野で培われたノウハウの調和を取っていくことが最重要課題となっています。その先には、非専門家によるデータの利用可能性、いわゆるオープンサイエンスへの道筋があります。

データの標準化

コンピュータや研究環境の変化が進む一方で、データ自身も進化してきました。データを効率よく共有・分析を行うためには「標準」が必要となります。惑星探査の分野で最も良く使われるデータに関する標準として「Planetary Data System

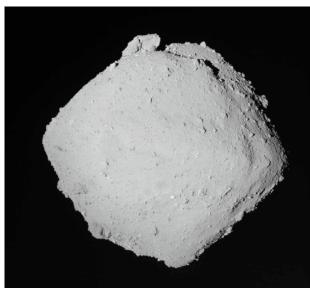


図2: PDS Version 4でアーカイブされたHayabusa 2で撮影したRYUGU (https://data.darts.isas.jaxa.jp/pub/pds4/data/hyb2/hyb2_onc/)

(PDS)」と「SPICE」があります。PDSは惑星探査の科学データを保存するための標準であり、SPICEは軌道や姿勢など科学データに付与される補助データ(アンシラリデータ)を保存するための標準です。これらの使用は国際惑星データ連合(International Planetary Data Alliance; IPDA)により推奨されており、各国の宇宙機関はこれらの標準に従ってデータ整備することが求められています。JAXAが公開する惑星探査のデータも近年の探査機は全てこれら標準に準拠するよう作成を行っています(図2)。

標準の精錬化

標準化されたデータを使い始めてしばらく経つと、その標準では満足できないことがあります。機能不足や処理しやすいフォーマットへの対応などです。そのため標準自体、時代とともに改良されていきます。改良を繰り返すうちに、歴史的なノウハウが詰まった高度に精錬された標準が出来上がります。実際、上記の惑星探査で使用される2つの標準は、非常に高度化されているので、一つ一つの正確な意味を理解した上でデータを作成するのは、一般的なサイエンスとは異なる知識と技術が必要となります。こうしたデータを作成する人のことを「データアーカイビスト」と呼ぶことがあります。データアーカイビストと科学者の関係は、自動車の開発者と運転者の関係に良く似ています。開発者は車や運転者のことを熟

知している必要があり、お互いが密接に協力しないと品質の 高い製品を作れません。

分業化

標準が高度化・精錬化された結果、標準に準拠して作成することが難しくなっていきます。人の多い大型プロジェクトは対応できますが、小型のプロジェクトではどうしてもデータを正しく作成することに人手を割くことができません。大きなプロジェクトも小さなプロジェクトも同じ品質でデータを作成するためには「データを専門的に作成するチーム」が必要になります。NASAやESAには当然あります。JAXAにはこの専門のチームというものがこれまで存在しませんでしたが、これを組織として進めるための土台を作ろうという動きがあります。

まずデータアーカイブを進める上で3つの主体的なプレーヤーと11個の要素が存在します(図3)。3つのプレーヤーとは、1つはプロジェクト、そしてデータセンター、最後にコミュニティです。プロジェクトが行うべきデータを作るという観点では5つの要素「定義」「生成」「文書化」「構築」「評価」があります。そしてデータセンターが担う維持管理という観点では3つの要素「保存」「公開」「識別」があります。科学データを使うという観点においてコミュニティは「利用」「協力」「標準化」を担当します。今までもこれからもプロジェクトが責任を持ってデータを作ることに変わりはありませんが、品質の高いデータを残すためにもデータアーカイビストの専門チームによるサポートが必須となります。

IPDA

標準が世界の標準として認められるためには、影響力のある団体に「これが世界標準としましょう」と認めてもらう必要があります。惑星探査の分野では、米国NASAや欧州ESAのデータ相互利用のために立ち上げた前述のIPDAがそれにあたります。発足から15年以上経った現在は、世界各国の宇宙機関がデータ標準や利用促進を議論する場となっています。

最後に

長い間、宇宙は特別な空間であり、惑星探査は国家レベルのプロジェクトでした。しかし今後は、民間企業による宇宙開発が活性化する時代へと変遷し、データの利活用が重要な役割を担うことになります。これまで世界の宇宙機関が積み上げてきた努力の結晶とも言えるデータとその標準を活用して頂けたら幸いです。



退職の時を迎えて

この3月で、次の皆様が定年を迎えます。教育職では中村正人教授、中川貴雄教授、紀伊恒男准教授。一般職では、小川眞司さん、下田孝幸さん、利岡加奈子さんです。旧宇宙研からJAXA宇宙研にかけて、それぞれのお立場で宇宙研を支え、宇宙科学を牽引してきたこられました。 長年の貢献に感謝するとともに、今後のご活躍を祈念いたします。

このまま継続して宇宙研でご活躍される方々もいらっしゃいますが、人生のひとつの節目ということで、本号ではお二人の方に想いをご寄稿いただきました。他の方々には、今後また別の機会に誌上で語っていただきたいと思います。 (ISAS ニュース編集委員会)

「退職にあたって

中村 正人 (なかむらまさと)

私は色々な意味で能力的には他人様の後塵を拝する人間で あるにもかかわらず、色々な仕事をさせて頂いた事は誠に幸 運であった。振り返ると失敗の連続で大学院生時代に電場観 測の3機の観測ロケット、2機の気球実験に失敗し、ようやく 博士3年のときにS-520-9観測ロケットで人工的に放出したリ チウムイオンのTime of Flight (TOF)を使った電離層の電 場観測はうまくいった。プラズマ圏を撮影するというプラズ マ撮像も多くの失敗の末に「のぞみ」搭載の極端紫外撮像装 置で、世界で初めて部分的にではあるがプラズマ圏が写っ た。金星探査機も最初の金星周回軌道投入には失敗し、5年 後にやっと軌道投入に成功した。この様に書くといかにも失 敗を自分で乗り越え成功を掴み取った様に見えるかもしれ ないが、そうではなく実は周りで助けて下さった方々のお 蔭である。電場計測は2020年12月に亡くなられた我が師、 鶴田 浩一郎 (「のぞみ」 PM)、早川 基さん (「みお」 PM) と一 緒に行った実験の成果であるし、プラズマ撮像は当時の東大 の大学院生諸君(吉川 一朗君、山崎 敦君、塩見 慶君ら)の 努力の賜である。終始励まし続けてくれたのは向井 利典さ んだった。また「あかつき」の復活は石井 信明君をはじめと する多くのチームメンバー、またその家族の方々に引っ張ら れて私は旗を振ったに過ぎない。この様な私でも、自慢した いことが2つある。

1つは東大地球物理で中村研究室を出た9人の博士の諸君である。胸を張ることではないが、私は彼らに教育らしい教育をしたことがない。せいぜい実験の合間にカレーを作ってやったとか、「一寸したものの言い方」という本を読むように勧めたくらいしか思いつかない。博士論文のテーマも全て学生諸君が自身で選んだ。このように指導体制の全く無いと言って良い研究室を出た9人が、全員、現在研究を主とする

イプシロンの気象室にて阿部 琢美先生、応用気象の勝田 貴典さんと(筆者中央)

職に就いている事は私の自慢であり、奇跡的なことと思っている。あんな調子でも東大の助教授が務まるんだ、と思ったのか。私がなまじ優秀な指導教官でなかった事が、災い転じて福となってくれたと思っている。自分で道を切り開く過程で研究の楽しさを理解してくれたのかもしれない。

2つめは内之浦気象班員としてである。もともと東大の研 究所であった宇宙研では地球物理出身者が順番に内之浦でロ ケットの打上げ時の気象班をしてきた。我が師、鶴田 浩一郎 も助教授時代に気象班を命ぜられ、研究室の早川助手、山川 秘書、学生であった私が下駄を用意して、其処に晴れ、曇 り、低気圧来る、等々を書き込んで、判断に迷ったらそれを 蹴るようにと送ったものである。私の気象班デビューは「は やぶさ」の打上げである。当時は、加藤 学先生が班長をして おられたが、内之浦のコントロールセンターの一角に気象班 の居場所があり、天気図などが船舶無線で送られてきてい た。まずは、その情報をインターネットから取るように変革 するところから仕事は始まった。大まかな天気の推移は天気 図を眺めていれば判るが、内之浦はローカルに雨が襲来す る。岸良の上空で雲が湧いて突然の雨に見舞われたりする。 M-Vは雨に弱く、気象班は「一滴の水も機体にかかってはい けない、かかればそれは諸君の責任である。」と上杉先生、 小野田先生ほかの工学の先生方からいわれていたため、大変 に気を遣った。岸良の周辺に若い連中を展開して、雨が降っ てきたらすぐ連絡するように言っておいたのに、連絡は来ず 雨が降ってくる。帰ってきた雨諜報員に「どうしたんだ」と 聞くと、「あんなところに行かされても携帯電話の電波が繋 がらないんです!」。これではいつまで経っても埒があかな いので考えたのが気象レーダーの導入である。京大Muレー ダーに関係しておられた津田 敏隆先生にレーダーの会社を 紹介してもらい、導入費用はM-V打上げ技術者派遣費1日分。 これを当時のM-Vプロマネ森田 泰弘先生に交渉して、安い ものだと購入して貰った。コントロールセンターの屋上に設 置した気象レーダーの効果は絶大で、ローカルに降ってくる 雨は分刻みで判るようになった。M-Vの7か8号機か忘れたが、 ランチャから出そうというときに豪雨が襲ってきて、「何時 出せる?」「あと何分で雨雲が通り過ぎるからそれまで待て!」 と電話で森田先生と怒鳴り合った事は懐かしい。この気象 レーダーはあまりに良すぎて種子島気象班も欲しがったので 数年間、H-IIA打上げの為に種子島に貸し出していた期間も あった。

このように私は本業ではだらしなかったが気象班としては 一生懸命仕事をした。宇宙研に尽くせたのは、むしろこの方 面であったかも知れない。内之浦のことを書くことが宇宙研 に相応しいかとも思いつつ、筆を置きたい。 気が付けば宇宙科学研究所に赴任してから35年近く、もっと若いつもりだったのだが。研究者として赴任したはずだったが、ここ10年間は研究者らしい仕事をほとんどせず、宇宙科学プロジェクトの支援・評価にいそしんだ。少し中途半端な気分になる。

元々はX線天文学の研究者として赴任した。その頃「ぎんが」 が運用されており、実験主任の槙野 文命先生の助手であった ため、運用の手伝いをしたことから始まる。当時はASTRO-D 計画、後の「あすか」の概念設計が始まり、大学院時代そのX 線光学設計を研究しており、観測機器の開発に従事するつもり だった。実験主任の田中 靖郎先生から仰せつかったのは、姿 勢制御系のスタートラッカの開発であり、観測機器の開発か ら外れた。当時、搭載制御系技術が十分に確立されておらず、 仕方がなかったのだが、おかげで、開発・運用期間を通じて主 に制御系を中心に衛星システムのあたりでうろうろ仕事した。 技術の未熟さから運用当初から制御系の面倒を見るのに苦労し た。不器用であったのもあるが、研究者稼業がおろそかになっ た。その後、電波天文衛星MUSES-B(「はるか」)の開発終盤か ら運用、赤外線天文衛星ASTRO-F(「あかり」)の開発・運用と、 一貫して天文分野ではあるが何が専門なのかよくわからない経 歴を持ち、結局衛星システムの仕事を多くすることとなった。 曲折はあったが「あかり」の運用が終了して、次に何をするか



「あかり」(ASTRO-F) 打上げ前のリハーサル中、コマンド送信の様子を見守る筆者。(2006年2月)

迷っていたころ、常田前所長からお声がかかり、宇宙科学プロジェクトの支援をすることとなった。その後、中村 安雄さん、満田 和久先生に導かれ評価の仕事をすることとなり、現在に至る。いたって研究者らしくない経歴だと我ながら思う。

とはいえ、仕事は面白くなかったわけではない。対策の検討に頭が爆発しそうな失敗も経験したが、結果的にその経験がこれまでの活動を支えている。人の縁もあり、ふらふらとした経歴で、研究者失格だったかもしれないが、まあ、宇宙科学研究所で、少しは寄与ができたと思うし、良い経験ができたとも考えている。若い人も、今はつまらないと思っている仕事でも、そのうち面白くなるかもしれないし何かの役に立つかもしれないよ。

ISAS事情 ...

宇宙工学GDIが目指すミッション創出と技術開発研究

これまでの宇宙科学ミッションの特徴は、限られたロケット 打上げ能力と衛星・探査機規模の中でも独自の科学とミッション領域を磨き、低リソースでも実施可能な理工学学際領域(ブルーオーシャン)を切り拓いた点にありました。こうした戦略は自律的なミッションを頻度高く実現し、独創性と多様性を発揮するために効果的でした。ただ、近年は宇宙科学・探査が進展して国際的な競争が激しくなり、また、大規模天文衛星のように従来の規模では実施が難しいミッションが増えています。日本の宇宙科学・探査ミッションはスピード感と規模感の双方で苦境に立たされていると言えます。こうした中で宇宙科学が目指す戦略は、非常に小規模な実証等と、これとは対比的な中規模な衛星または探査機の組み合わせにて、成果創出のスピードと多様性を担保することです。

宇宙工学GDI*は、宇宙工学の大目標に向けた戦略の具体化と次期戦略的中型ミッションの立案を担っています。ここでは、1) 2040年代までを見通して、戦略的中型・公募型小型等で実施すべきミッション群を明らかにし、2) 2030年代初頭の戦略的中型3号機の候補を設定して時限ワーキンググループ(WG)を設定します。その上で3) 研究開発の主体となるWG/リサーチグループ(RG) 等を設定します。宇宙工学GDIには3つのサブGDIがあり、新しい衛星技術をベースとしたミッション創

出を目指す科学衛星サブGDI、将来探査ミッションを創出する 探査サブGDI、軌道間輸送を強化し重力天体からのサンプルリターン (SR) へと繋げる技術シナリオを検討する輸送系サブGDI が、各領域の戦略と研究計画の策定にあたっており、これら全 体を運営委員会がまとめています。

次期戦略的中型ミッションを目指した活動としては、次世代 小天体SR探査ミッションの研究が約1年前から宇宙工学委員会 にて開始しており、火星より遠方の小天体からのSRを目指して います。現在の日本の宇宙科学の技術的プレゼンスは小惑星、 惑星等の非着陸系探査にあり、この分野にて世界をリードし続 けるべきです。その一方、議論が続いているのが重力天体着陸 探査です。火星等の着陸探査では技術開発要素が多く開発規模 が大きくなることから、月面の科学探査と同様、国際宇宙探査 として国内のリソースを糾合した体制が求められます。自律的 な開発と目標設定が可能な小天体SR等に加え、フロンティアを 拡張するための重力天体とそのSR、そして外惑星域の本格探索 等が今後目指すミッション分野となるでしょう。そのためにも 現在のフレームワークを更に柔軟化し、迅速な超小型衛星・探 査機による技術実証から、小天体SRミッションなどが目指す本 格的な宇宙機技術の刷新まで、次世代ミッションを活性化して いく仕組みの構築を急がなければなりません。 (船木一幸)

-- ISAS事情 --

「みお」運用シミュレータと運用訓練、始動

BepiColomboは2022年10月に打上げ4周年を迎え5年目に突入しました。長いと思っていたクルーズ期間も折り返し地点をすぎ、プロジェクトでは水星到着に向けた準備にとりかかっています。

2021-22年度にかけて宇宙研の一室に「みお」運用シミュレータを構築しました。探査機のメインコンピュータ (DMC, data management controller) のエンジニアリングモデル、姿勢系ダイナミクスシミュレータ、一部観測機器の地上試験モデルを組み合わせた構成になっています。探査機の全機能の模擬には至りませんが、手順の検証や運用訓練に利用できるような環境になっています。

2023年1-3月にかけて、運用シミュレータを用いた1回目のクリティカル運用訓練を実施しました。「みお」のクリティカル運用は、水星周回軌道での探査機分離からワイヤアンテナ・磁力計マストの伸展完了までをカバーしています。毎週1-2回、合計14回に渡り本番同様にコマンドを送信しながら(距離に応じた伝搬遅延の模擬も可能!)訓練を行っています。本稿執筆時点であと2回残っていますが、今回の主目的であったシミュレータの操作習得・管制システムや運用支援ツールの操作習得・ノミナル(正常)手順の理解と課題抽出は達成できたと思います。運用の全体像を把握できたことで、検討&調査すべき事項が多く洗い出されました。これらを反映し夏ごろに第2回の訓

訓練の朝会の様子。 JAXA、探査機システム メーカー、運用支援メ ンバーが集まり、その 日の運用内容を確認 する。



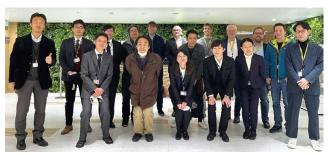
練を行う計画です。

ところで、今頃訓練を?と思われるかもしれません。通常は 打上げ前に必要な訓練は終わらせておくものですよね。「みお」 の場合、上記の運用は打上げから7年後になることが分かって いたため、当初から打上げ後の適切な時期にシミュレータ整備 と訓練を実施する計画になっていました。開発担当者と運用担 当者が異なる場合の引継ぎの場としても訓練は適しています。

クルーズ中はMPO、MTMと結合された状態のため、「みお」自身の姿勢制御機能や通信機能は水星周回軌道で分離されてから初めて使うことになります。これがほかの深宇宙探査機にない、「みお」特有の難しさです。今回の訓練はノミナルケースのみでしたが、これから様々な異常ケースも想定して訓練を行っていきます。気が遠くなりますが、確実に準備を進めていきたいと思います。続報をお楽しみに! (関 妙子)

DESTINY⁺ 総括PDRを条件付きながら終了

DESTINY⁺の総括PDR (JAXAとしてのプロジェクト全体の基本設計審査) が終了しました。探査機、キックステージ (探査機を長楕円軌道に投入するためのブースター)、運用全般を含む地上系をJAXA内外の有識者の方々に審査いただきました。DESTINY⁺は公募型小型プロジェクトでありイプシロンSロケットでの打上げが前提です。そのイプシロンSロケットも開発中であり、いくつかのインターフェース条件が最終調整中であるため、総括PDRはいくつかの課題を残しフォローアップ審査を行うこととなりました。DESTINY⁺は、クリーンなインターフェースをもとにした開発と異なり、探査機、キックステージ、イプシロンSと、いずれも開発中でありインターフェースをうまく調整する必要があります。難しい調整も多々ありますが、ロケット開発とともに進化してきた「宇宙研スタイル」を期せずして経験できる貴重



ドイツDDAチーム、NECシステムメンバーと打合せ終了後@NEC府中(2023年2月)

な機会となりました。

コロナ禍での海外チームとの開発も貴重な経験となっています。リモート会議の利便性が進んだのと同時にリモートでの調整に限界を感じたところでもありました。コロナ禍になる前のプロジェクトでは、定期的なProgress Meetingを設定しFace to Faceでの打合せがあたりまえでした。無意識のうちに相手の表情をみながら、打合せの中で不安な要素を読み取って、より深く議論をしていたように思います。Face to Face会議の重要性をあらためて考えさせられました。

既開発コンポーネントを使うことの難しさも感じたPDRでもありました。開発が無い分、スケジュール短縮にはつながるものの、ミッションに最適化したものではないところも出てきます。あたりまえのことですが、プロジェクト側も忘れがちな点。最適化した開発があたりまえな科学衛星にとって歯がゆい感覚を覚えたところではありましたが、そこの塩梅をとるのが小型プロジェクトとしては必要であり、プロジェクトの真価が問われるところでもあるなと感じた部分です。

機器の開発は、詳細設計フェーズに移行していきます。その先にあるのは製造・試験と続き、気が抜けない状況です。探査機システムのMTM (構造モデル) / TTM (熱モデル) 試験準備がはじまり、探査機全体の様相が2023年度前半には見えてきます。スケジュールが厳しい探査機ではありますが、「地上で不具合は出し切るつもり」で開発を着実にすすめていきたいと考えています。みなさまのご支援、よろしくお願いします。 (高島 健)

銀河を 吹き渡る 風をみる 100

安全で確実な運用を目指して ~追跡管制隊~

2022年12月、衛星システム試験が終盤に差し掛かった頃、XRISM/SLIM追跡管制隊が発足しました。追跡管制隊とは、衛星の打上げが近くなってくると組織される臨時のチームです。今回は、この「追跡管制隊」について紹介します。

まず、追跡管制隊の概要です。

追跡管制隊は、文字通り、ロケットで打上げられた衛星の "追跡管制 (データの送受信を通じて軌道上衛星の監視制御 を行うこと)"を実施するチームです。一般的に衛星は、打上 げ後、初期段階、定常段階、後期段階の順に運用フェーズが 移行しますが、追跡管制隊は"初期段階"の運用を担当します (XRISMの場合は約3ヶ月です)。初期段階の作業が完了する と、定常段階の運用を担当する組織に運用を引継ぎ、解散し ます。

今回はXRISMとSLIMのデュアルロンチのため、①XRISM衛星管制班(XRISMの運用を行います)、②SLIM探査機管制班(SLIMの運用を行います)、③企画管理班(追跡管制隊全体の進捗管理や隊内外の情報連絡・広報活動を行います)の3班で構成されます。更に、追跡ネットワーク技術センター(地上局の監視制御や軌道決定を行う定常組織)と緊密に連携して作業を進めます。様々な業務を行うため、プロジェクトメンバーのみならず他部署の職員も集まって結成されます。衛星開発や追跡管制の経験者はもちろん、普段あまり衛星開発に携わらない職員も、情報連絡や広報活動の担当として参加したりします。

さて、ここからは「XRISM衛星管制班」の紹介です。

追跡管制隊が担当する初期段階には、打上げ直後の通信・電源・姿勢制御など衛星の生死に直結するシステムの正常動作を確認するクリティカル運用期間と、その後の衛星搭載機器や衛星システム全体の機能確認を行う初期機能確認運用期間があります。特に前者は、皆の緊張が高まる重要かつ危険が大きい期間です。打上げ後、衛星が安定した状態になるまでは、万が一不測の事態が発生しても迅速な対応がとれるよう、JAXAのみならず開発に携わったメーカー、大学関係者やNASA等海外機関の技術者も総動員で臨みます。ASTRO-Hの教訓を踏まえXRISMは24時間運用を行うこともあり、XRISM衛星管制班は総勢約180名います。



衛星運用システムを使用した訓練の様子。安全で確実な運用を目指し 皆、真剣に取り組んでいます。

しかし、いくら必要な人数をそろえても、準備せずに運用に臨んではうまくいきません。そこで連載第5回で紹介した様に、これまでの衛星運用準備活動で、衛星運用文書の作成や訓練計画の策定を行ってきました。それらに従い、XRISM衛星管制班は、運用訓練を鋭意実施中です。

訓練形式は、講義形式の座学訓練と、衛星運用システムを使用した実技訓練がありますが、実技訓練は、基本的に実際の打上げ時の運用体制と同じ人員配置で訓練を行います。打上げ後の衛星シーケンスや異常発生時の対応を習得する訓練や、衛星運用計画を立案する訓練等いろいろな種類の訓練を行っていますが、特徴的な訓練としては衛星シミュレータを使用した運用シーケンス訓練があります。

衛星シミュレータは、連載第5回で紹介したように、安全で確実な運用を目指し導入した機能です。訓練では、衛星模擬データを衛星シミュレータから衛星運用システムへ配信し、実際の衛星イベント時の進行や班内の係間連携を経験します。訓練とはいえ、実時間で、かつコマンド送信を含め本番と同じ動きをするので、非常に緊張感のある訓練です。

更に、運用訓練の最終確認として、リハーサルを行います。XRISMでは2回実施するのですが、わざと不具合を発生させ、異常時の対応確認なども行ったりします。

安全で確実な運用という観点では、連載第5回で紹介したもう1つの新しく追加した機能として「衛星自動監視システム」があります。衛星の異常兆候を見逃さないよう、初期段階を通じて監視ルールの更なる充実化を行い、リスク低減活動を進めます。その結果は、定常段階へ引き継ぎます。

訓練を行うと、手順変更が必要になるなど、うまくいかない部分がいろいろ出てきます。訓練は、実運用で困らないように問題点を洗い出す目的もあるので、要処置事項が見つかるのは良いことなのですが、衛星システム試験と並行して実施していること、他の運用訓練の実施や要処置事項に追われることから、非常に大変です。

打上げに向けて、追跡管制隊の訓練はまだまだ続きます。 軌道上のXRISMの動作を想像しながら訓練を行うことで「よ うやくここまで来た。いよいよ打上げだ!」と隊員の士気は 高まっています。打上げ後は、長丁場で、夜勤もある変則的 な勤務体制が続く追跡管制隊ですが、安全確実な衛星運用に 向けて最善を尽くします。XRISMの観測成果に是非ご期待下 さい。

XRISMプロジェクトチーム 堀内 貴史(ほりうち たかふみ)



宇宙ミッションデザイナーの挑戦

良い軌道は美しい

宇宙ミッションデザイナーと名乗られているそうですね。

馴染みがない名前かもしれませんね。探査機が目的の天体までどのルートで飛行するかを決めることを軌道設計といいます。最短で目的天体に行きたい人も、途中で別の天体を探査したい人もいるでしょう。探査機のサイズと燃料の量によっても軌道は制限されます。さまざまな要求を総合的に評価してミッションの成果が最大限になるように、またいろいろな制約を満たすように、軌道を設計しなければなりません。軌道設計は探査内容や探査機の仕様などミッション全体に関わってくることから、軌道設計を含めミッション全体を設計することを宇宙ミッションデザインと呼び、それを行うのが宇宙ミッションデザイナーです。日本で宇宙ミッションデザイナーを名乗っている人はまだ少ないですね。

現在はどのミッションに参加しているのですか?

最も深く関わっているのは、深宇宙探査技術実証機DESTINYです。いくつもの軌道設計をやってきましたが、難しさで言えばDESTINYは最上級です。DESTINYは、小型ロケットで打ち上げられ、地球周回軌道に投入されます。イオンエンジンを稼働し、地球を何百周も回りながら加速して高度を上げていき、月の重力を利用して軌道変更と加速を行い小惑星フェートンへ向かいます。この方法で深宇宙へ行く探査機は、世界初です。初めての方法というだけでも難しいのに、取り得る軌道がとてもたくさんあるのです。すべて計算して最善解を探索していくと、現実的な時間では軌道設計が終わりません。そこで、軌道を絞り込んでから最適化していきます。そのとき必要になるのが、経験で培ってきた勘やセンスです。

─ 良い軌道とは?

最適解を追究し過ぎるのもよくありません。トラブルが起きても立ち直ってミッションを継続できることが重要です。そのためには余裕を持った軌道設計をするのですが、余裕をどう取るかが難しく、トラブルを想定した最善の軌道を設計する手法が私の研究テーマの1つになっています。また、良い軌道は美しい軌道になる、と私は考えています。

--- DESTINY⁺の軌道は美しいですか?

はい、自信があります。DESTINY⁺の軌道はとても美しいんだよ、という話をいろいろなところでしています。それを聞いた芸術家の友人が、その軌道を真鍮線で描いた作品をつくって、

✔ 編集後記

今年も退職される方をお送りする季節がやってきました。退職される皆様の長年のご功労に敬意と感謝を表します。年々、退職される方が「雲の上の偉い方」から「年の近い方」に移ってきており、自分の番が近づいているのをひしひしと感じます。

(小川博之)

宇宙機応用工学研究系 テニュアトラック特任助教

尾崎直哉(おざき なおや)

1989年、兵庫県生まれ。東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻博士課程修了。博士(工学)。2018年、宇宙科学研究所日本学術振興会特別研究員PD。2019年より現職。



Photo by Madoka Shibazaki

私の結婚祝いにプレゼントしてくれました。研究室に飾って、なんて美しい軌道なんだろう、と毎日眺めています(笑)。

AIによって最善の軌道を設計する

モットーや今後やりたいことは?

「不可能なことを可能にする」というモットーで取り組んでいます。しかも、期待を超えていくミッションをやりたい。

1つ挙げると、深宇宙コンステレーションです。地球周回軌道 でたくさんの衛星を連携して運用する衛星コンステレーション が実現し始めています。コンステレーションとは、特定の目的の ために協調した多数個の衛星・宇宙機の一群およびそのシステ ムを指します。その深宇宙版で、超小型探査機を同時に複数打 上げ、それぞれが異なる小天体をマルチフライバイする軌道上 でコンステレーションを構築します。各探査機がフライバイ探 査といって小天体の近くを高速で通過しながら探査した後、地 球スイングバイを行い地球の重力を利用して軌道を変え、別の 小天体をフライバイ探査する、ということを複数の超小型探査 機で繰り返すのです。対象天体との相対速度をゼロにして行う ランデブー探査の方が、フライバイ探査より詳細な情報を得る ことができます。しかし、日本がランデブー探査を行った小天 体は、数十年の歴史の中でイトカワとリュウグウの2個です。小 天体は、太陽系内に100万個以上発見されています。この方式 ならば、1ヶ月に1個の頻度で新しい小天体のフライバイ探査が 可能です。また、深宇宙コンステレーションを組んでおくと、地 球スイングバイ時に方向転換をして、恒星間天体等の突発的に 現れる魅力的な天体を探査することもできます。その情報を元 にランデブー探査の対象を決めたり、プラネタリーディフェン スや宇宙資源ビジネスが動き出したり、新しい世界が開けるで しょう。

――宇宙ミッションデザインの今後は?

深宇宙コンステレーションがいくつも構築されるようになったら、多くの軌道設計が必要になります。経験で培った勘やセンスを必要とする現在のやり方では、対応しきれないでしょう。そこで私は今、軌道設計のスペシャリストが持っている勘やセンスをAI(人工知能)に学習させてモデル化しようとしています。探査機の仕様と目的地を入力すると、AIによって最善の軌道が自動で出てくるようにしたいのです。AIを用いた軌道設計の自律化研究は今、とてもホットなテーマです。世界に先駆けて軌道設計の不可能を可能にしたいと思っています。

XA Explore to Realize

JAA ISASニュース No.504 2023年3月号

ISSN 0285-2861

発 行/国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 発行責任者/宇宙科学広報・普及主幹 藤本 正樹 編集責任者/ISAS ニュース編集委員長 山村 一誠 デザイン制作協力/株式会社 トリッド

〒 252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1 isasnews@isas.jaxa.jp

ISASニュースはインターネットでもご覧いただけます。▶https://www.isas.jaxa.jp/