

シリーズ： はやぶさ2 #トリフネ・フライバイに寄せて
「2020年12月からの6年間（その1）」

はやぶさ2 拡張ミッションプロジェクトチーム
システム担当 岩城 拓弥
AOCS 担当 木村 洸貴

■6年間を振り返って～若手コアメンバーの視点から～

拡張ミッションのコアメンバーが、はやぶさ2の地球帰還後にチームへ参加した若いメンバーで構成されていたことは、これまでも述べられてきた通りである。もちろん、拡張ミッションになった途端にメンバーが一新されたわけではない。メインミッションのチームに、新たな中心メンバーが一人、また一人と加わる形で、少しずつ現在の体制が形づくられていった。

本エッセイシリーズの残りでは、地球帰還からトリフネフライバイまでの6年間を、それぞれの視点から振り返る。「その1」となる本稿では、地球帰還後にチームへ加わった岩城と木村の2名の視点から振り返りたい。

岩城は若手コアメンバーのなかでは最も古くから参加し、探査機全般の監視と調整を担うシステム担当を務めた（世間一般には、もはやまったく若手とは呼べない年齢であることは一応強調しておきたい）。一方の木村は、拡張ミッションチームの最若手として、探査機の姿勢や軌道を制御する AOCS の担当として参加した。

■高価なラジコン

岩城が JAXA に入構したのは 2021 年 4 月のことである。それとほぼ同時に、システム担当としてはやぶさ2 チームに加わった。当時は、2020 年の地球帰還を無事に終え、その興奮の余韻がまだ微かに残る一方で、拡張ミッション最初の探査対象である小惑星 2001 CC21 へ向け、チームの体制も少しずつ変化し始めていた頃だった。後に「トリフネ」と呼ばれるこの小惑星も、当時はまだ無機質な仮符号で呼ばれており、そこへ到達するのは約 5 年後のことであった。5 年という年月は、宇宙探査のスケールでいえば決して長くはない。それでも、目標天体のどこか無機質な名前とも相まって、5 年後のフライバイは、まだ実感の湧かない、ぼんやりとした遠い目標に感じられたことを覚えている。

システム担当の仕事は、いわば探査機全般のお世話と、そのための調整である。必然的に、日々の運用にも深く関わることになる。JAXA への入構と同時に宇宙探査の世界へ足を踏み入れた岩城にとって、当初は全体像さえ掴めないほど複雑な探査機というシステム

を把握し、その全体を見ながら調整するという仕事に四苦八苦する毎日であった。そんななか、当時システム担当業務の指導をしてくださっていた先輩が何気なく口にした言葉が、いまでも非常に印象深く残っている。

「こんな高価なラジコンを操作できるなんて、本当に面白いよね。」

それを聞いた当時は、確かに探査機は電波を介して遠隔操作するのだからラジコンだよなあ、くらいに受け止めていた。しかし、いま振り返ると、探査機を「ラジコン」と言い切れてしまうこと自体が、メインミッションから続くはやぶさ2チームの強みなのだと思う。その意味を本当に理解するまでには、そこから5年の時間が必要だった。

■フライバイに向けた役割の変化

トリフネフライバイに向けて、岩城は、小惑星へ最接近する際の小惑星追尾姿勢について検討することになった。ランデブーミッション用の探査機として設計されたはやぶさ2は、高速フライバイ専用の高解像度カメラも、それを小惑星方向へ自在に向け続けるための可動機構も持っていない。小惑星を追尾するには、探査機そのものの姿勢を動かすしかない。つまり、探査機が高速で小惑星のすぐそばを通過するときに、どのような姿勢制御を行えばより多くの観測ができるか。それが与えられた問題だった。

ところが、これがかなり分の悪い問題であることはすぐに分かった。探査機は約5 m/sで小惑星の横を通り過ぎるため、探査機から見た小惑星の方向は最近接直前に劇的に変化する。はやぶさ2の姿勢制御では、その変化に追従することは到底できない。小惑星を追尾するという意味での最適な姿勢制御は、探査機の制御性能のはるか外側にあるということは明確であった。最近接距離が大きければ、小惑星方向の変化も緩やかになり、姿勢変更による追尾にも意味が出てくる。しかし、プラネタリーディフェンスの文脈を強く持つこのミッションでは、検討が進むにつれて目標最近接距離は徐々に小さくなり、ついには1 km となった（さらに本番直前には、それが800 m へと更新された）。ある日の打合せで、岩城は三榘さんにこう述べた。

「姿勢制御で小惑星を追尾することには、あまり意味がないですね。観測姿勢は固定でいいと思います。」

最近接1 km まで近づけば、小惑星をかなりの大きさを撮像できる。その期待がある一方で、普段は拡張ミッションの外で「制御屋」として活動している岩城にとっては、自分の専門を発揮する場がなくなってしまったような、少し複雑な気持ちでもあった。

しかし、小惑星追尾を諦めたことは大きな転機でもあった。観測姿勢を単純な固定姿勢としたことで、むしろ「サイエンス観測の成果をどう最大化するか」という、より本質的な問題に集中できるようになった。ちょうどその頃、統合サイエンスチームの平林さんを中心に、トリフネフライバイでのサイエンス観測を議論する「トリフネフライバイ WG」の

活動が始まった。すでに小惑星追尾姿勢の検討を通じて、最近接付近における小惑星と探査機姿勢の幾何学的な関係はある程度頭に入っていた。そのため、最近接直前にサイエンス機器の視線方向を小惑星側へ約2度傾けておけば、視野の狭いLIDARやNIRS3を含め、すべてのサイエンス機器に小惑星を観測できるチャンスが生まれることにすぐ気づくことができた。小惑星と探査機の幾何学的な関係を丁寧に追えば、誰でもたどり着ける単純な話ではある。それでも、早い段階でその可能性を示し、サイエンス側での議論を活性化できたことは非常に良かったと思う。

■ ボールをゴールに流し込む

それ以降は、システムの立場からサイエンスの深い議論になんとかついていきながら、フライバイ時のサイエンス観測シーケンスが徐々に具体化していくのを支援した。最終的に、観測姿勢は2度強のオフセットに調整され、その姿勢を探査機へアップロードした状態でフライバイ当日を迎えた。

観測姿勢は事前に決まったものに固定されたので、当日に何かを判断する必要はない。システム担当として（あるいは雑用担当として）、割り振られたいくつかの作業や監視をこなしながら、フライバイの瞬間を待った。やがてフライバイ時刻を迎え、さらに片道の電波伝搬時間が過ぎても探査機からの信号が途絶えなかったことで、はやぶさ2がフライバイを無事に終えたことが分かった。管制室全体が安堵の空気に包まれるなか、逆に岩城の緊張はピークを迎えつつあった。

これからしばらくすると、サイエンスデータが次々に地上へ下りてくる。軌道誘導では、最後の10分間に航法解が更新されないという問題があった。それでも、少なくとも周囲のメンバーがテレメトリから判断できる範囲では、探査機は狙った場所のある程度近くまで誘導されているように見えた。観測シーケンスも問題なく動作していることが、各担当から次々に報告される。これで小惑星が観測できていなければ、観測姿勢が間違っていた、ということになる。ここまでの2週間、各担当者が見事なパス回しを続け、最後には優秀な後輩たちの血と汗が滲むような努力による軌道誘導が、決定的なラストパスを送り込んだ。ボールはもう、キーパーさえいない無人のゴールへ向かっていた。岩城の仕事は、そのボールが間違いなくゴールに吸い込まれるよう、ほんの少し触れてあげることであった。

彼らの努力を台無しにしたくない。そんな気持ちのなか、最初のサイエンスデータであるLIDARの測距データが下りてきた。その場面については、平林さんが先のエッセイで書いた通りである。LIDARが小惑星の測距に成功したのは、フライバイの約4秒前と3秒前。まさに、「LIDARで測距できるとすれば、この2回のタイミングしかない」と予測し

ていた時刻である。事前の検討通りのデータが本当に下りてきたと分かった瞬間、平林さんと喜び合った。そこにあったのは、「サイエンスの皆さんに良いデータを提供できてよかった」という工学側の立場からの感情ではなかった。チームの一員として、小惑星観測を実現したことへの純粋な喜びだった。

■高価なラジコンを自在に動かす力

はやぶさ2チームの強みは、理学と工学を隔てる壁がなく、各担当者がそれぞれの領域に少しずつ足を踏み込みながら、探査機に関わり続けていることにあると思う。拡張ミッションとなっただけでも、多くのサイエンスメンバーが日々の運用に積極的に関わっている。そうした日々の積み重ねから生まれる、「自分たちは、はやぶさ2という『高価なラジコン』をうまくコントロールできる」というチームの自信。それこそが、この極めて難易度の高い、ストレスのフライバイを実現できた理由なのだと感じている。

■最後のピース

「担当業務は、はやぶさ2のAOCSとして2026年のフライバイミッションの成功に貢献することです。」2024年にJAXAに新卒で入構した木村は、一番初めの上司との打ち合わせでそう告げられた。はやぶさ2という、聞いたことはあるが自分の人生と直接関係することを想像もしていなかった探査機の名前と、AOCSやフライバイという聞き馴染みのない言葉で構成された指示に、期待で胸が高まると同時に、たった2年で自分はどこまでできるのかという不安を覚えた。わからない単語について説明はしてもらったのだと思うが、正確に頭には収まらず何も想像できないまま、詳しく業務内容を説明してもらい機会があり、そこで三桝さんと初めて対面した。第一印象はとにかく若く、優しく、新入職員の木村に対しても低姿勢な方だった。はやぶさ2運用のリーダーと聞いたときは、想像する「プロジェクトマネージャ」とは少し違って、意外な印象を抱いたものだ。三桝さんからは、「フライバイのコアメンバーとしてはこれまでシステムに岩城さん、藤原さん、楠本さんを迎え入れていて、AOCSとして迎える木村君が最後のピースだよ。」と伝えられた。心が熱くなると同時に、若手だからと言い訳ができない環境だと気が引き締まる思いになった。最後のピースとして期待通りの働きができたのか、今でも考えることが多いが、この言葉がチームに貢献したいという木村の気持ちの根底にあったことは間違いのない。

■成長のためのリードパス

意気込みは良いものの、はじめは右も左もわからなかった。木村は大学でも宇宙機の姿勢制御について研究していたのだが、実運用ではこれまでの研究では見えていなかったことばかりで、周りの人はテレメ画面に映る数字を見るだけでなぜ何が起きているのかわかるのか、本当に不思議であった。そんな木村に対し、三桝さんはいつも、少し挑戦的な課題

を出し続けてくれた。チーム入って2週間の頃、はやぶさ2ではじめてのスピン運用を実施したのだが、その運用の担当に任命し、学会発表まで実施するように指示をくれた。周りの先輩は「三柵さんは鬼だね」と冗談混じりに木村の心配をしてくれる方もいたが、木村には天使に見えていた。実際三柵さんは運用にも付きっきりで実際の指示は三柵さんから出ていて、学会発表の内容は…（細かく見てくれていたかはともかく）確認をし、「大丈夫だよ」と言ってくれたからである。そして責任を与えてくれるからこそ、自分がやったと胸を張って言える。きっと周りから見ると小さなことで、成果とも言えないようなことでも、ありがとうと言ってもらえると少しは貢献できたのだと思うことができた。感謝を伝えられて、自分が納得するには、責任を与えてもらっていることが重要だったように思う。こうして三柵さんの「大丈夫」を信じ、「ありがとう」を目指して頑張ることを繰り返していたように思う。

■はやぶさ2チーム

はやぶさ2のチームは、木村がテレビで小学生の時に見ていたはやぶさ、高校大学で見ていたはやぶさ2の雰囲気とほとんどずれがなかった。ノミナルミッションを支えたベテランからフライバイを目指す若手メンバーまで全員が、温かく、熱く、技術には厳しく真剣な姿勢を持った人々の集団だった。唯一意外だったのは、とにかくミッションに対する強気で挑戦的な姿勢であった。流石はサンプルリターンを成功させてもそれに留まらず拡張ミッションへ挑むチームということなのだと思うが、探査機の安全は最優先に考えつつも、成果に見合うリスクは積極的に取るように、計画が進められていた。そんな空気感は若手のメンバーがこれまでのはやぶさ2の歴史に臆せずこれからのことを考えて精一杯取り組みよう、背中を押していた。

■AOCSとしての自覚

木村は1年間、AOCSとしてやるべきことを学び、必要な技術の習得を続けた。しかし、2024年からの1年間、はやぶさ2は巡航フェーズであり、探査機の状態も落ち着いていた。スピン運用以降は、特殊な運用も少なく比較的繰り返しの日々であった。未だフライバイの計画はもちろん、探査機の設計も十分に頭に入らないまま、本当にクリティカルフェーズで役に立てるのか、木村は漠然とした不安を抱えていた。そして2024年度末のある日、はやぶさ2は突如セーフホールド（探査機が緊急事態を検知し、生命維持のために太陽指向する状態）にいた。突然の事態に木村は対処もわからず、ただ慌ただしい管制室で皆の議論についていくだけで必死であった。発覚当日は何もできなかったが、セーフホールドから探査機の姿勢は数日間安定するのか解析し、セーフホールドモードから通常の制御モードへ一つずつ戻していく作業を覚えた。今思えばこの時初めて木村は本当の意味で運用を経験し、AOCSとして求められる能力を理解できたように思う。以降、こういったチームが困っている時にこそ力になれるエンジニアになりたいと強く感じ、目の前で

起きていること一つ一つに対して、役割を与えられるのを待つだけでなくできる仕事を探して取りに行くことを意識できるようになった。そしてチームは、同様の不測の事態がフライバイ当日やその直前に起きても大丈夫なのか、一から検討準備を始めた。個人にとってもチームにとっても、このセーフホールドは大きな転換点になったと思っている。

■AOCS にとってのフライバイのクリティカル運用

はやぶさ2のフライバイは、最後の最後はオンボード光学航法だ。ミッションそのものの成否を決め、技術的にも最大の課題であった。そんなオンボード光学航法をメインで担当している藤原さん、楠本さんとは少し違い、木村はAOCSとしてフライバイ前のアプローチフェーズから当日までの姿勢を計画し、地上誘導による軌道制御（計画は軌道系）の実施を担当した。この作業は、チームとしてはノミナルミッションでも行っていた作業と共通する部分も多かったため、大きな新規性はなかったように思う。それでも実際にやってみると、フライバイのタイミングでは探査機は太陽に近く温度が上がりやすいことや、探査機から見た地球と太陽方向が大きく離れているなど、これまでより難しい条件がいくつもあった。さらに、通常の熱や電力の観点での姿勢制約に加え、小惑星をカメラで指向するための制約や、姿勢制御系の機器への負担を減らす工夫、撮った画像を地上で見えるための通信性の高い姿勢など、様々な観点を細やかに考慮しながら最適な姿勢を計画する仕事は、これまでの2年間があって初めてできたことだと思う。軌道制御を実施する際にも、その実績評価やスラスト推力のばらつきなど、必須ではないかもしれないが、フライバイ直前にみんなで頭を抱えた事象に対して積極的に解析に取り組むことができた。今回特大ホームランを打ってくれたオンボード光学航法の前に、ランナーとして出塁できたことを誇りに思う。そして何より、未熟な木村を打席に立たせてくれた三榎さんには、本当に感謝しかない。フライバイの朝三榎さんは、「全責任は私が取る」と宣言していた。威厳のあるリーダーが言うのとはまた違い、優しい三榎さんが笑顔でそう言い切った姿に、新しい時代の真のリーダーの姿を見た。当日三榎さんの周りで立場も関係なく、全員が笑顔で作業をしていたことが、そのリーダーシップを表現していたと思う。AOCSとして、リーダーとして、常に背中で道を示してくれた三榎さんを目標に、周りの仲間を安心させられる「大丈夫」と「ありがとう」を言えるエンジニアを目指す。