

シリーズ： はやぶさ2 # トリフネ・フライバイに寄せて
「ISAS 流が結実した日」

JAXA 宇宙科学研究所
所長 藤本 正樹
副所長 津田 雄一

■超近接フライバイの達成

リュウグウへの往復探査を終え、新たな旅路についていた小惑星探査機はやぶさ2は、2026年7月5日18時30分（日本時間）に小惑星トリフネのごく近傍の通過観測（フライバイ）に成功した。そのときの小惑星との相対速度は実に秒速5.3キロメートル。新幹線の60倍の猛スピードで、小惑星中心から僅か800mを精度100m以下で通過させるという野心的なミッションであった。

そのときの地球距離は約1億キロメートル。通過成功が相模原管制室に伝わるのに6分弱かかる距離だ。かくして、18時36分、40名近く詰めていた管制室では、若い世代に代替わりしたはやぶさ2運用メンバーの歓喜の拍手が沸き起こったのであった。

翌日、早くもフライバイ中のトリフネの画像が下りてきた。（予定では数日かかるはずだったのだが、大抵こういうときチームは無限の力を発揮するものだ。）そこには驚くべき解像度で、ついさっきまで人類未踏だった“新世界トリフネ”が映っていた。それは、フライバイのワンチャンス運用、誘導制御技術、観測シーケンス、すべてが文句なしの大成功であったことを一撃で物語る画像であった。

■目指したのは「ぶつけようと思えばぶつけられる」技術

超近接フライバイを目指したいきさつには、「必要性」と「将来展開」の二面性があった。「必要性」とは、はやぶさ2の性能限界から来る制約のことだ。そもそもはやぶさ2はリュウグウにゆっくり近づき近傍（～20km以下の距離）に留まるよう作られた探査機だ。高倍率の望遠レンズは持っていない。また高速でカメラの首を振るような俊敏さも持ち合わせていない。高速フライバイしようにもないもの尽くしなのだ。そんな中チームが思いついたアイデアが、首も降らず、超望遠にも頼らず、正面衝突するコースで小惑星に接近し、シャッターを切り続ける、そしてスレスレの距離をぶつからずに通り過ぎる、という作戦であった。

他方で「将来展開」の観点は、この手法は単に小惑星の科学探査に留まらず、プラネタリーディフェンス（地球防衛）へ繋がるということだ。小惑星の地球衝突を回避する有力な方法は、衝突の遥か前に小惑星のコースを変えることだ。正確な軌道もわからない高々直径450mほどの小さな天体に、人工物を超高速でぶつける技術は、世界でその重要性が認知され始めている地球防衛の先駆けとなりうるものであった。地球防衛という新たなテーマが加わったことで、拡張ミッションは格段に魅力の光を放つようになった。

さて、この作戦の根幹をなしたのが、ISASが培ってきた深宇宙ナビゲーション技術と、今回新たに開発した宇宙機搭載型のフライバイ航法誘導アルゴリズムである。前者は太陽系における探査機の位置・速度を精確に割り出す技術であり、後者は最終的な超近接飛行に必要な小惑星相対の軌道制御を搭載カメラとスラスタを使用して探査機が自律的に行う技術

である。チームは、5年かけてこの2つの技術を徹底的に磨いてきた。

その詳細は、今後いろんな場面で紹介できると思うので、ここでは少し時を戻そう。

■チーム文化の継承

「はやぶさ2プロジェクト」が、「はやぶさ2拡張ミッションチーム」（はやぶさ2 #、ないし Hayabusa2-SHARP）に生まれ変わった当初、フライバイ距離は10～100kmを目指すことになっていた（注：これでも従来のフライバイミッションよりはかなりの近接レベル）。この状況を良しとせず焚きつけたのは、はやぶさ2の性能と科学の何たるかを知り尽くしているシニアメンバーであった。曰く、「10～100kmではしょぼい。もうはやぶさ2は減価償却が終わっている。地球防衛にもっと貢献できる成果を出そう！心配せず、挑戦しよう！！10km以下をめざせないか？」

折しも、NASAのDARTミッションが2022年に小惑星伴星ディモルフォスへの衝突を果たした。世界初の地球防衛技術の実証成功であった。この技術をつぶさに見ていた津田は衝撃を受け、危機感を覚えた。しかしそこは、窮すれば通ずとはよく言ったものだ。非力なはやぶさ2でも実行可能なアルゴリズムを案出し、チームに設計図を提示して、DARTに匹敵する成果をはやぶさ2なら出せるし、そうしないと世界に貢献できないことをチームに説いた。

そうして、チームは探査機に組み込む誘導航法ソフトウェアの開発を決心した。

時は経ち、フライバイの数か月前。チームは世代交代し、若手に引き継がれていた。開発をやり切り、試験や訓練を乗り越えた新生チームから、「フライバイ最接近距離は800mにしたい」と提案があった。シニアメンバーは度肝を抜かれた。あれだけ焚きつけていたくせに、そんな近くて大丈夫なの？と不安がる始末。しかし、そこにはチャレンジとギャンブルの境界をしっかりと見極め、自ら挑戦に踏み出したチームの姿があった。彼らは、800mという限界値を割り出すために、チーム内でかなりせめぎ合いの議論をしていたと聞く。

彼らの自信を支えたのはISASの力だけではない。JAXA研究開発部門や、メーカーとの強いタッグが出来上がっていた。拡張ミッションゆえ、決して大きくない予算の中、彼らはワンチームになっていた。彼らは、飛行中の宇宙機のソフトウェアを書き換え、様々な試験を繰り返してその癖を掴み、その過程でいいチームを作っていた。そして挑戦した。元祖はやぶさ2のリュウグウへのミッションを彷彿とさせる、よいチームが出来たことが、これまたとても嬉しいことであった。

■新アジェンダ「地球防衛」で、「どうにかしてみせる」マインドを埋め込む

さらに昔の話。はやぶさ2は2019年11月に小惑星リュウグウを離脱して地球帰還へと向かったのだが、その頃のこと。藤本は、はやぶさ2プロジェクトチームのメンバーに管制室の裏にある小部屋に呼び出され（密談の雰囲気満々だった）、地球帰還後もミッションを継続したいのだが、と相談された。だったら、地球防衛（当時は訳語がなく、プラネタリーディフェンスと言っていた）の味付けがいい、と言ったことを覚えている。

日本は小惑星探査で世界をリードする（ことが、はやぶさ2の大成功で確立した）。そうで

あれば、地球防衛にも、少なくともある程度は、関与すべきである。だが、地球防衛を宣言するには「腹を括る」必要があると思う。DARTをやってみせた NASA には、それがある。日本にそれがあるのか。そういったモヤモヤがあったのだが、リュウグウではやぶさ2を経て、人類が小惑星のことをよくわかっていないことを思い知り、であれば、小惑星のことをわかることも地球防衛だ、小惑星に探査機をぶつけなければ地球防衛を語る権利がないということでもない、とも思い始めていた。

その背景があって管制室の裏に呼び出された際に地球防衛とつぶやいたのだが、それが工学サイドのハードルをとてつもなく上げることになったのは上述の通りである。実際、その時、目の前にいた佐伯教授は頭の中が真っ白になったらしい。一方で、地球防衛のような、外野（宇宙軌道設計屋でない者）にも理解し易いロジックでの目標設定があったことが、今回のチーム若手メンバーの頑張りを周囲がすぐに高く評価できることにつながったのではないだろうか。いずれにしても、「どうにかしてみせる ISAS」らしい展開となったわけである。

■揺籃（ようらん）期の地球防衛を未来へつなぐ

はやぶさ2 # のトリフネ・フライバイは2026年7月5日にあったが、その2か月前、ベルリンにてRAMSESをESA・JAXAの共同ミッションとして実施していくことの合意文書が署名された。また、11月にはESA・HERAの探査対象天体への到着がある。

2029年4月13日の金曜日。アポフィスという名の小惑星が地球に大接近する。最接近時には静止衛星軌道の内側に入るほどの大接近であり（約20年前に発見当時は、地球にぶつかると言われていた！）、この最接近時が夜にあたるアフリカ・欧州ではアポフィスが夜空を横切る様子を肉眼で観察することができる。世界中の多くのひとが「地球防衛」のことを知ることになる。実際、国連は2029年を「小惑星の啓発と惑星防衛の国際年」と定めた。

RAMSES は、地球大接近中のアポフィスのランデヴー観測を行う計画である。このためには最接近の一年前に打ち上げる必要があるが、計画の立ち上げは2024年の秋まで本格化しなかった。というのは、その前身であるHERAの打ち上げ（実際には、HERAが短期間で製作できることが示されること）を待つ必要があったのである。

HERA は、2022年にNASA・DARTが行った小惑星への衝突実験を現場検証する計画である。同時に、重厚長大なスタイルをとるESAにおいても短期間で探査機を製作できることが可能であることを示してやろう、という一派がいて、（当然、ISASと仲がいい）彼らが主導するミッションでもあった。2024年にスケジュール通りに打ち上げられ短期製作が可能であることが示された。そこから技術論としては、同じ手法でRAMSESを製作すれば地球最接近時を含む期間中にアポフィスのランデヴー観測が可能、と判断された。一方で、予算要求のタイミングからずれていた等の変則的な進め方だったために、意思決定層での勢いを生み出すことに苦労していた。JAXAが強い興味を示し、最終的にはH3ロケットを提供するまでのコミットをして、実現への道を強くサポートしたと自負する。やることが決まっていた計画の用意された椅子に座っただけではないことは強調したい（結果、RAMSESはESAとJAXAの共同計画となった）。

なお、H3はRAMSESに加えて、JAXAのDESTINY+も打ち上げる。そして、DESTINY+は

アポフィスの（世界初）フライバイ観測を行う。つまり、今後、HERA、RAMSES/DESTINY+と地球防衛活動が進むのが見えているタイミングで、トリフネの高速&大接近フライバイをやってみせ、三桝隊長は日本地球防衛のスパイスの香りを高く立ち昇らせたのである。

RAMSES への道はバタバタで、普通であれば共同計画は無理という判断がされていたであろう。実際には、どうにかしてみせると頑張ったわけだが、その理由は、アポフィス来襲/RAMSES の地球防衛における立ち位置、「HERA/RAMSES を通じて ESA のやり方を変えてやる」軍団（ISAS と仲がいいです）をできるだけサポートしたかったことであり、加えて、ESA とであればこういう感じでも OK と思えるマインドがベピコロンボで作られてきたことがある。

水星探査計画ベピコロンボでの ESA との付き合いは長い。その間にも、JUICE や Comet Interceptor といった ESA が主導する面白い計画に参加することを決めてきたが、RAMSES は、ある意味で、今の時点での集大成であると思う。そして、そのベピは、12 月にいよいよ水星に到着する。