

宇宙探査機 (Space Probe)

— 「はやぶさ2」 —



吉野川下流域土地改良区

井形 圭治

Igata Keiji

(農業部門／総合技術監理部門)

1. はじめに

2015年徳島県技術士会会報VOL. 23に投稿させていただいた、宇宙探査機 (Space Probe) — 「はやぶさ」とその仲間たち — の続編として小惑星探査機「はやぶさ2」を紹介したい。

初号機「はやぶさ」が地球に帰還して10年が経過し、この間に宇宙・航空ファンにとって、様々な情報を得る機会や手段、JAXA (宇宙航空研究開発機構) の積極的な広報などにより宇宙探査について多くの情報が手に入るようになった。

図.1 JAXA「はやぶさ2プロジェクト」ホームページ (画像クレジット: JAXA)

<https://www.hayabusa2.jaxa.jp/>

ホームページに加えて、Twitter、FacebookなどのSNSによる情報発信、YouTubeによる中継や講演会など多くの情報にうれしい悲鳴を上げている。

また、withコロナの中、地方では参加することができなかった講演会がオンラインで開催され、自宅から参加することが可能となった。

2. はやぶさ2プロジェクト

「はやぶさ2」は、「はやぶさ」に続くJAXAの小惑星探査プロジェクトである。

「はやぶさ2」は、小惑星サンプルリターンのための技術実証機である初号機「はやぶさ」で挑戦した技術を基に、改良を加えて新たな機能も搭載した探査機である。

探査対象は、小惑星「1999JU3」。後に「Ryugu（リュウグウ）」と名付けられた。「はやぶさ」が探査を行った「イトカワ」（S型小惑星）とは違う種類、C型小惑星からのサンプルリターンを行う。C型小惑星の表面物質には水や有機物が含まれていると考えられており、地球の海の水の起源や生命の原材料について知ることができると考えられている。

地球出発からカプセルの地球帰還までの「はやぶさ2」のミッションの流れは次のとおりである。

2014年12月 3日	打ち上げ（種子島宇宙センターからH-IIAロケット26号機）
2015年12月 3日	地球スイングバイ
2018年 6月27日	リュウグウ到着
2018年 9月21日	MINERVA-II 1分離（日本の探査ロボット）
2018年10月 3日	MASCOT分離（ドイツ・フランスの探査ロボット）
2018年10月25日	ターゲットマーカー分離（第1回タッチダウン用）
2019年 2月22日	第1回タッチダウン
2019年 4月 5日	衝突装置（人工クレータの生成）
2019年 5月30日	ターゲットマーカー分離（第2回タッチダウン用）
2019年 7月11日	第2回タッチダウン
2019年 9月17日	ターゲットマーカー分離（2個をリュウグウの軌道投入）
2018年10月 3日	MINERVA-II 2分離（日本の探査ロボット。リュウグウの軌道投入）
2019年11月13日	リュウグウ出発
2020年12月 6日	地球帰還（カプセルのみ）

はやぶさ2プロジェクトは、JAXA、NECをはじめ民間企業、大学など総勢600名を超える人たちが係わる、6年をかけた大規模プロジェクトである。

プロジェクトの主要メンバーは、ベテランから若手までがバランス良く配置され、プロジェクトの確実な達成と次世代への技術継承が考慮されている。

20代・30代の若手研究者、技術者や大学院生も運用に参加している。日本が世界の中で最先端に行く小惑星サンプルリターン分野で、常に先を見据えて若手を参加させ、現場経験の中で育成していく体制に感心した。

打ち上げ以降の主要メンバーは、

プロジェクトマネージャー	津田 雄一 (39歳で就任)
サブプロジェクトマネージャー	中澤 暁
ミッションマネージャー	吉川 真
プロジェクトエンジニア	佐伯 高尚 (工学面統括)
プロジェクトサイエンティスト	渡邊 誠一郎 (理学面統括：名古屋大学)
誘導制御技術統括	照井 冬人
システム担当	武井 悠人
NEC プロジェクトマネージャー	大島 武
NEC システムマネージャー	益田 哲也

初号機「はやぶさ」は数々の絶体絶命の困難を乗り越え、地球に帰還したことから、複数の映画が製作されテレビで特集番組の放送や多くの書籍も出版された。多くの国民の関心を集めた。

「はやぶさ2」は、映画にならない計画的な運用を目指して、初号機の経験を活かした徹底的な準備と訓練が行われた。

宇宙空間、初めて人類が訪れる小惑星リュウグウでは何が起きるか分からない。順調にミッションが進んだように思われる「はやぶさ2」でも想定外の困難があり、これらを克服していった。特に大きな問題点は、2つあった。

- ①リュウグウには着陸可能な広い平坦地がどこにもなかった。
- ②リュウグウ地下物質採取のための2回目のタッチダウンを確実に・安全に実施できることの証明。

①は、第1回のタッチダウン（着陸）を延期し、リュウグウの詳細地形分析と1万個を超える着陸目標地点周辺の石の高さの計測、ピンポイントタッチダウンの導入と精度の磨き上げにより安全性を確保し解決した。

結果、はやぶさ2の大きさとほぼ同じ広さわずか6mの平坦地（着陸目標地点L08-E1）に着陸誤差1mの高精度でタッチダウンし、リュウグウのサンプル採取に成功した。

この成功の様子は、国民からの寄付により追加装備された「CAM-H」カメラの画像から作成された動画により、リュウグウの砂礫が宙に舞う様子で明確に確認できた。

②は、1回目のタッチダウンによりリュウグウのサンプル採取がほぼ確実に行われたことから、2回目に危険を冒して墜落しサンプルリターンを無にしてしまうリスク。1回目のタッチダウン時に舞い上がった砂礫により着陸に必須のカメラレンズの性能が低下していたことなどから、技術的に安全・確実に着陸できることが強く求められた。

膨大な軌道設計とシミュレーションにより、墜落防止の安全設定のチューニングが繰り返された。絶対に墜落が起きないような着陸手順が作り上げられた。

2019年7月11日、「はやぶさ2」は事前にプログラムされたとおりに完全自律飛行でタッチダウンし、自ら生成したクレータから飛び散った地下物質を含むサンプル採取を成功させた。この時の直径7mの着陸目標地点C01-Cbに対する誤差は、1回目をさらに上回りわずか60cmであった。

約3億km離れたリュウグウ上（電波が届くのに20分弱の距離）でのこの精度は、驚異的なものである。

「はやぶさ2」は、ほとんどのミッションを計画どおり達成した。工学技術の観点では、7つの世界初を達成した。

- 小型探査ロボットによる小天体表面の移動探査
- 複数の探査ロボットの小天体上への投下・展開
- 天体着陸精度60cmを実現
- 人工クレータの生成とその過程・前後の詳細観測
- 同一天体2地点への着陸
- 地球圏外の天体の地下物質へのアクセス
- 最小・複数の小天体周回人工衛星の実現

理学面からは、現在日本をはじめ世界中で行われている、リュウグウのサンプルの初期分析結果が発表されるのが楽しみである。

【Webサイト】

- ・ JAXA はやぶさ2プロジェクト <https://www.hayabusa2.jaxa.jp/>
- ・ はやぶさ2特設サイト ファン!ファン!JAXA!
<https://fanfun.jaxa.jp/countdown/hayabusa2/>

【Twitter】

- ・ 小惑星探査機「はやぶさ2」@haya2_jaxa
- ・ haya2kun@haya2kun



写真.1 トミカプレミアム はやぶさ2

3. 私のはやぶさ2応援

はやぶさ2プロジェクトでは、ミッションの各段階において積極的な広報やリアルタイム中継が数多く行われた。以下に私の応援（参加）状況を記載する。

(1) 打ち上げ、地球スイングバイ、リュウグウ到着

JAXA はやぶさ2プロジェクトのwebサイトを中心に最新情報を収集した。H-IIAロケット26号機の打ち上げ写真をしばらくの間、PCのデスクトップ背景画像にしていた。

リュウグウ到着の少し前から、webサイトによる情報発信、記者発表の頻度が増加してきた。

(2) 小惑星近傍フェーズ

ミッションの重要なイベントの前・後には必ず記者会見が開かれ、YouTubeで見ることができた。特に重要なイベントの運用はYouTubeで生中継された。昼間の運用のためライブで見られないものは帰宅後にYouTubeの録画されたものを見た。

2019年2月22日の第1回タッチダウンは、出勤前の時間帯にライブ中継された。ドキドキ、ハラハラしながらタッチダウン瞬間の管制室の映像を見ることができた。

「はやぶさ2」タッチダウン運用ライブ配信

<https://www.youtube.com/watch?v=WmPQmVVtE5A>

人工クレータ生成運用、第2回タッチダウンなど数多くの映像がYouTubeのJAXA相模原チャンネルなどで現在も見ることができる。

この他、はやぶさ2プロジェクトのwebサイトでは、記者対応資料として、リュウグウ到着前の段階から現在までの記者説明会の資料と映像が見られる。

第1回タッチダウンの頃から、Twitterでの情報収集や応援の書き込みを頻繁にするようになった。この過程で、日本惑星協会が、はやぶさ2応援の一環として、プロジェクトメンバーが自費で作って着ている「はやぶさ2ユニフォーム」をプロジェクトの好意で提供してくれることを知った。早速、注文し購入した。

(3) リュウグウ出発からカプセル地球帰還

「はやぶさ2」は、2019年11月13日に多くの成果をあげてリュウグウを出発した。地球帰還までは約1年間、復路の飛行も順調に進んだ。

地球帰還が近づくにつれて、記者説明会の頻度が増してきた。2021年7月の記者説明会でカプセルの地球帰還日が12月6日に決定したことが発表された。

「はやぶさ2」地球帰還応援メッセージへの投稿などをしながら地球帰還を待った。

帰還直前には、JAXAの若手職員を中心に企画された、「はやぶさ2帰還・拡大前夜祭！オンライントークイベント」が11/29(日)から12/4(金)まで6日間連続開催された。

手作り感満載で、司会を務めたJAXA若手研究者の村上豪さんは、水星探査機「みお」のサイエンスマネージャーである。現在もYouTubeで見ることができる。

<https://www.youtube.com/watch?v=09GPLV0JU5k>

2020年11月29日(日)～12月4日(金)
はやぶさ2 帰還・拡大前夜祭!
 ～中高生向けオンラインイベント～

12/5深夜(12/6未明)の小惑星探査機「はやぶさ2」地球へ帰還に向けて、6日連続でオンラインイベントを開催!
 「はやぶさ2」メンバによる解説やJAXAが進められている今後の最新状況を、主に中高生向けにわかりやすく紹介!

プログラム決定!
 ①プレイバックはやぶさ2、②はやぶさ2の宇宙技術、③JAXAの太陽系探査、④Q&A

日時	11月29日(日)	11月30日(月)	12月1日(火)	12月2日(水)	12月3日(木)	12月4日(金)
トータルプレイバック はやぶさ2	高松 浩一 高松 浩一	高松 浩一 高松 浩一	高松 浩一 高松 浩一	高松 浩一 高松 浩一	高松 浩一 高松 浩一	高松 浩一 高松 浩一
はやぶさ2の宇宙技術	野口 義典 (カプセル回収の専門家)	中野 実志子 (宇宙工学の専門家)	佐藤 健 (JAXAの宇宙技術者)	伊藤 孝 (JAXAの宇宙技術者)	高松 浩一 (JAXAの宇宙技術者)	高松 浩一 (JAXAの宇宙技術者)
JAXAが進める太陽系探査	林 義雄 (JAXAの宇宙技術者)	尾崎 昌博 (JAXAの宇宙技術者)	伊藤 孝 (JAXAの宇宙技術者)	高松 浩一 (JAXAの宇宙技術者)	高松 浩一 (JAXAの宇宙技術者)	高松 浩一 (JAXAの宇宙技術者)
質問コーナー (45分予定)	全員+ゲスト参加	全員+ゲスト参加	全員+ゲスト参加	全員+ゲスト参加	全員+ゲスト参加	全員+ゲスト参加

●場所: Zoom (中高生向け)・YouTube
 ●参加費: 無料
 ●参加申し込み: <https://www.opac.or.jp/jaxa/>

©池下 幸裕



(画像クレジット: JAXA)

図.2 写真.2 「はやぶさ2」帰還・拡大前夜祭へ自宅から参加
 (ノートPCはzoom, デスクトップPCはYouTubeに参加)

「はやぶさ2」は、12月5日14時30分に地球から22万kmの距離で計画どおりカプセルを分離した。この後、本体は地球に衝突しないよう速やかにTCM-5（地球圏離脱の軌道修正）を行い、地球からの高度約350kmで地球をかすめて次のミッションに飛び立っていった。

これに合わせて開催されていた、リュウグウ&「はやぶさ2」お帰り観測キャンペーンに参加していた日本各地の観測地で本体が観測（撮影）された。

カプセルの大気圏突入予定時間は、12月6日2時28分27秒。YouTubeで生中継された「カプセル再突入・着陸実況」を見守った。深夜早朝にもかかわらず、4万viewsを超えていた。

<https://www.youtube.com/watch?v=6UngQqiEWxQ>

カプセルは予定どおりに大気圏に再突入し、きれいに光りながら帰ってくる様子がオーストラリア・ウーメラ砂漠からの生中継で確認できた。その後パラシュートの展開、ビーコン発信と順調に進み、回収に向かったヘリコプターから目視確認され、無事に回収された。現地でガス採取・分析が行われた後、速やかに飛行機で空輸され、神奈川県相模原市のJAXA宇宙科学研究所に届けられた。

12月15日、リュウグウの真っ黒なサンプルが採取できたことが発表された。



写真.3 カプセル帰還中継の待機中
 (応援グッズも準備)

カプセル地球帰還と前後して、「はやぶさ2」関係の書籍が次々と発刊された。まず、帰還直前の11月10日に発行された、津田雄一プロジェクトマネージャー著の「はやぶさ2 最強ミッションの真実」を購入した。ミッションの緊迫した内容が詳細に書かれている。

吉川真ミッションマネージャー監修の「はやぶさ2のすべて ミッション&メカニカル編」は、カラーの図表が豊富で、はやぶさ2プロジェクトのことがよく理解できた。



写真. 4 「はやぶさ2」関係書籍



写真. 5 劇場版HAYABUSA2~REBORN

カプセルの地球帰還に合わせて、「劇場版HAYABUSA2~REBORN」の劇場上映が全国各地で始まった。徳島でも運良く、イオンシネマ徳島で11月27日から12月10日まで上映された。

この映像は、初号機「はやぶさ」の帰還を全編CGで描き、プラネタリウムで上映され大ヒットした「HAYABUSA - BACK TO THE EARTH -」監督の上坂浩光さんが、製作した作品である。

上坂浩光監督のTwitterで、カプセル帰還前後で見比べると映像の感じ方が違うとのツイートがあったので、帰還前後で2回見た。帰還前はミッション成功への期待感、帰還後は帰還前に製作した映像にもかかわらずYouTubeのライブ映像と重なり合っていた。

帰還後には、フルドームプラネタリウム映像「HAYABUSA2~REBORN 帰還バージョン」が製作された。

全国でも極めて早く、香川県「さぬきこどもの国」で上坂浩光監督の講演会と帰還バージョン上映会があることをTwitterで知った。新型コロナウイルス感染症の中、定員80人の枠に申し込みし、運良く参加券が届いた。

2021年3月20日、さぬきこどもの国スペースシアターで、上坂浩光監督の製作の秘話と全天ドームに映された「HAYABUSA2~REBORN 帰還バージョン」の迫力あるCG映像を楽しんだ。この作品も俳優の篠田三郎さんがナレーションを務めている。

4. 現在のはやぶさ2

カプセルを切り離れたはやぶさ2は、地球をかすめて新たなミッション（拡張ミッション）に入っている。

拡張ミッションは、太陽の周りを6周半した後2026年7月に小惑星2001CC21をフライバイ観測し、その後2回の地球スイングバイを経て2031年7月頃に目標天体である小惑星1998KY26にランデブーするものである。小惑星1998KY26は、直径約30m、自転周期10分の高速自転する微小小惑星である。下記の拡張ミッション紹介のビデオが分かりやすい。

https://www.hayabusa2.jaxa.jp/galleries/othermovie/img/HR_HAYABUSA2_ext_mission.jp.mp4

はやぶさ2の軌道位置や探査機の状態がリアルタイムで分かる「はや2NOW (Haya2NOW)」を紹介する。

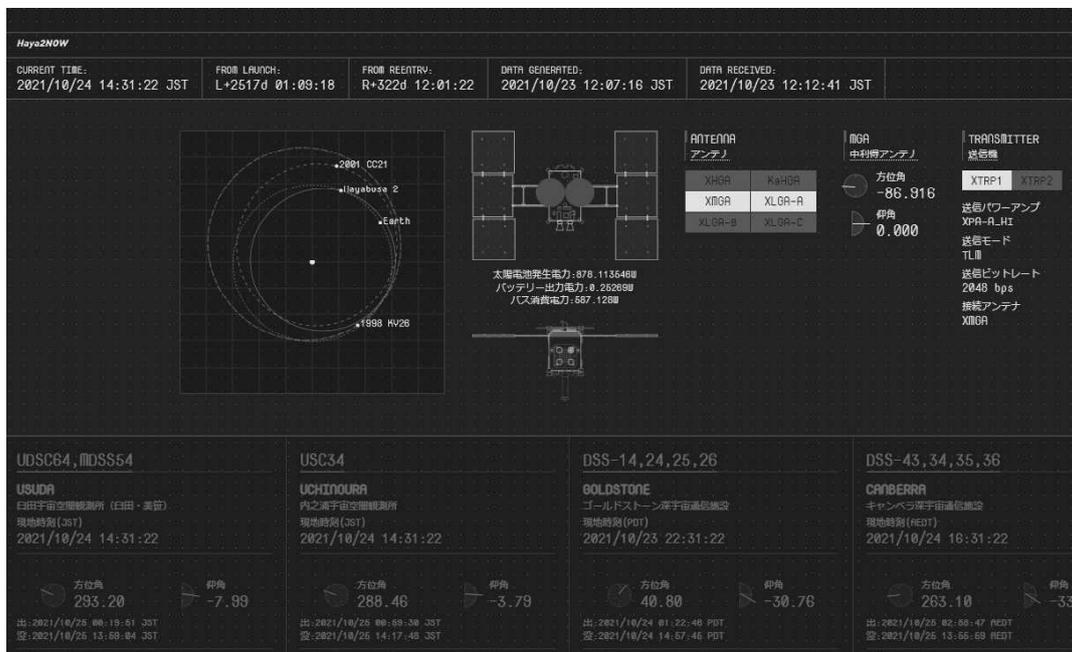


図.3 Haya2NOW webサイト (画像クレジット: JAXA)

<http://haya2now.jp/>

5. おわりに

「はやぶさ2」帰還カプセル巡回展示の公募が行われ、全国の21団体にあすたむらんど徳島が選定された。「はやぶさ」のカプセル展示と同様、四国ではあすたむらんど一ヶ所となった。あすたむらんど関係者の方々の応募に感謝したい。

2022年3月4日（金）～3月8日（火）が展示期間、この絶好の機会を逃さないよう必ず見に行きたいと思っている。新型コロナウイルス感染症が再流行し中止にならないことを祈っている。小惑星リュウグウを往復し、6年間で総航行距離約52億kmの宇宙を旅してきたカプセルに会うのを楽しみにしている。