



慶應義塾大学ビジネス・スクール

開発技術者がプロジェクトマネージャになるとき(A)

～小惑星探査機「はやぶさ2」と津田雄一～

2020年12月。ケースライターは、小惑星探査機「はやぶさ2」のサンプルリターン成功のTV報道を目にした。未知の宇宙空間における探査機運用は、6年程にわたったという。プロジェクトチームのマネジメントは、どのようなものだったのだろうか。ケースライターは、関心を抱いた。

報道でコメントを述べていた「プロジェクトマネージャ（以下、プロマネと表記）」は、津田雄一氏。ケースライターは早速、はやぶさ2に関する新聞や雑誌の記事、書籍等を調べ、津田氏のマネジメントについて考えるための記述を抜粋することにした。

2020年12月6日未明。日本の小惑星探査機はやぶさ2号機（通称、はやぶさ2）が宇宙空間で切り離れたカプセルが地球の大気圏に突入した。（中略）

カプセルの中には地球から約3億kmも離れた宇宙空間に浮かぶ小惑星「リュウグウ」の岩石が納められている。これを詳しく調べることで、生命誕生と太陽系の成り立ちの秘密を探ることができるというのだ。世界の研究者が帰還を待ちわびていた。（中略）

しかし、この宇宙の旅は決して簡単なものではなかった。

リュウグウは人類未踏の小惑星だ。それどころか詳しい形も地表の様子も地球からはほとんどわからない。手探りの旅だ。実際にたどり着いてみるとリュウグウは岩石だらけの「怪物」だった。その表面は無数の岩塊（ボルダー）に覆われていた。初号機が行った「イトカワ」も岩石が多かったが平地もあった。ところが、ここは着陸できる地点がほとんど見つからない。そのまま着陸しようものなら機体は鋭い岩塊にあたって壊れてしまう。初号機の経験をもとに開発された最強ともいえる探査機はやぶさ2をもってしても、小惑星リュウグウは手強かった。（中略）

はやぶさ2は果たしてこの困難を乗り越えられるのか。ミッションに挑んだのはJAXAの宇宙科学研究所（宇宙研）の若き科学者、津田雄一とそのプロジェクトチームだ。津田は30代でチームをまとめるプロジェクトマネージャに抜擢された。（後略）

『ドキュメント「はやぶさ2」の大冒険』、NHK 小惑星リュウグウ着陸取材班、講談社（2020）、p.2-4

このケースは、討議資料とするために、巻末に示す参考文献をもとにして公開情報によるケースとして作成した。作成したのは高木晴夫、市村真納、鶴ヶ谷典俊である。

本ケースは慶應義塾大学ビジネス・スクールが出版するものであり、複製等についての問い合わせ先は慶應義塾大学ビジネス・スクールまで（〒223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉4丁目1番1号、電話 045-564-2444、e-mail:case@kbs.keio.ac.jp）。慶應義塾大学ビジネス・スクールの許可を得ずに、いかなる部分の複製、検索システムへの取り込み、スプレッドシートでの利用、またいかなる方法（電子的、機械的、写真複写、録音・録画、その他種類を問わない）による伝送も、これを禁ずる。ケースの購入は <http://www.bookpark.ne.jp/kbs/> から。

Copyright © 高木晴夫、市村真納、鶴ヶ谷典俊（2022年6月作成）

ケースライターは、津田のインタビュー記事を見つけた。プロマネ就任に関する、新聞記者の質問に対し、津田はこう答えていた。

——**最年少のプロジェクトマネージャを打診されましたね。**

「はやぶさ2」打ち上げの3カ月後、JAXAの上層部に突然呼び出されました。大急ぎの開発だったこともあって、もともと心配をかけてはいたんですが、あまりに急だったので、「まずいことでもしたか」とビクビクしながら行った。そしたら「4月1日付でプロマネの辞令が出る。受けてくれますか」と。

当時はプロマネを支える立場でしたので、驚きました。15秒間は言葉を失っていたと思います。「こんな重大なことをすぐには返事できない」と言ってその場を後にし、プロマネだった国中均・現宇宙科学研究所長のところに行くと「しょうがないよ。君がやるしかないよ」と返された。もちろんいつかはやってみたいとは思っていましたが、当時まだ39歳。これは捨て駒にされたかなと、うがち過ぎた考えまでよぎりました。

(中略)

——**周りの人たちが背中を押してくれたとか。**

探査機はあまりに複雑なので、私も含め、すべてを理解している人は誰一人いません。一部に深く詳しいか、全体を広く浅く知っているかです。難しい計画をやりとげるには、メンバーがコミュニケーションをとるだけでなく、怖がらずに自発的に提案できる必要がある。そんなチームにしたいと思ったら、頭が回り始めた。これはチャンスだと、1週間ほど後に引き受けると伝えました。(後略)

『朝日新聞』2021年1月23日「be on saturday」、3面

ケースライターは、つぶやいた。

「津田プロマネの就任は、打ち上げ後だったのか……。JAXAはどんな状況だったのだろうか。」

初代「はやぶさ」が6月に内之浦から発射された2003年の秋、日本の宇宙3機関(宇宙開発事業団、宇宙科学研究所、航空宇宙技術研究所)が統合されて単一の宇宙機関JAXA(宇宙航空研究開発機構)が設立されました。(中略)

この統合に伴って宇宙開発の主導権が内閣府に移ったことが、日本の宇宙開発の進め方に大きな影響を持つようになりました。その込み入った事情を乗り切って「次世代小惑星探査機」が「はやぶさ2」プロジェクトとして復活し、力強い鼓動を取り戻しました。(後略)

『「はやぶさ2」が舞い降りた日々』、的川泰宣、勉誠出版(2020)、p.9-10

迫真 宇宙探査新時代 1 たすきつないだ挑戦 (中略)

はやぶさ2の目的は小惑星の砂などの試料をカプセルに採取し地球に届けることだ。(中略)

2011年5月に計画が正式発足したが、最初の壁が立ち上がる。りゅうぐうと地球の位置関係から、エンジン稼働率を高めずに到着できる打ち上げ時期は14年12月に限られた。開発期間は通常約5年だけに「時間がない」。そこでJAXAは異例の体制を取った。

指揮を執ったのは初号機でイオンエンジン開発を担った国中均(現JAXA宇宙科学研究所長)。宇宙研のプロジェクトは1人の責任者が全うするのが通例だが、計画を立ち上げた吉川真から引き継いだ。小惑星の軌道の研究者だった吉川は内外の交渉にたけるが、ものづくりの経験は浅い。3年半の超短期開発で「適材適所が必要」だった。吉川はチームに残り米航空宇宙局(NASA)などとの調整に奔走した。

打ち上げ後、プロジェクトマネージャのたすきは3人目、当時39歳の津田へと渡された。新人で初号機の運用に携わり、2号機の開発で中核を担った津田は適任者だ。「若手を多くチームに配置し、経験を積ませる」(国中)と、決断した。

『日本経済新聞』2020年12月15日朝刊、p.2

ケースライターは、ふと疑問を抱いた。

「プロマネになる以前、津田はどんな仕事をしていたのだろう。」

津田の著書『はやぶさ2 最強ミッションの真実』(P30～P36)に、打ち上げ以前についての記述が見つかった。提案・計画段階の頃、はやぶさ2の件を担っていたのは、JAXAの「月・惑星探査プログラムグループ(=2007年川口淳一郎をトップに発足)」で、現在ははやぶさ2を所管する宇宙科学研究所(宇宙研)とは別の組織だったという。

この組織は、月探査機「かぐや」を所管するほか、「小型ソーラー電力セイル実証機イカロス」のミッションを抱え、打ち上げも行った。津田は初号機「はやぶさ」、「はやぶさ2」に関わりつつも、このイカロスの開発に注力していた。宇宙空間で大面積・超軽量の帆を広げ、太陽の光の力で推進するソーラーセイル技術を実証するイカロスは、通常の科学衛星プロジェクトの10分の1の予算の「ゲリラ的なミッション」で、メンバーも少人数だった。当初津田のはやぶさ2への関わりは技術面においてのみで、自身の「専門性や研究の方向性を『はやぶさ2』に反映することには一生懸命だったが、イカロスにかまけて、はやぶさ2のマネジメントにはほとんど協力しなかった。」という。

この時期、はやぶさ2の立ち上げで対外的な折衝を行っていたのは、川口と、はやぶさ2計画主査の吉川真。また、現場の計画とりまとめ役は南野浩之、中澤暁で、この二人に対し津田は、「少々現場のことは知っているが言うことは全く聞かない私を三顧の礼を尽くすごとく忍耐強くはやぶさ2に招き入れようとしてくれた。」と同書で書いている。

その後、はやぶさ2提案に向けた作業が本格化される。初号機はやぶさの運用に携わった経験のある津田は、2009年8月、川口からはやぶさ2のシステムまとめをメインの仕事とするように言われる。津田は、イカロスに最後まで関わることを条件に申し出を受諾、はやぶさ2チームで「プロジェクトエンジニア」と呼ばれるようになった。津田は自ら、技術メンバーの人選も行ったという。

5 しかし当時はまだ、政府からはやぶさ2提案への風当たりは強く、「実現するかは、五分五分ならいい方」と感じられる状況だったようだ。2010年6月に初号機「はやぶさ」が奇跡的な帰還を果たし、世論が大きく変わる。

2011年5月には「はやぶさ2プロジェクトチーム」が正式に発足。予算が認められ国家事業として認可されることになった。プロジェクトの骨格が定まり、機体の開発がはじまった。

10 プロジェクト発足から打ち上げまで与えられた時間は3年半。通常5年はかかる衛星開発の工程をここまで短縮するために、あらゆる努力が注がれた。

15 衛星開発プロセスの基本中の基本である「基本設計審査（PDR）」は省略。ミッションの目的を決めた後、予備設計のプロセスを省いて一気に詳細設計を進めた。実機（フライトモデル）を作る前に通常製造される、熱モデル・構造モデル・エンジニアリングモデルと呼ばれる実寸大のテスト機体もすべてスキップ。これらの省略は衛星開発のセオリーから考えると非常識だが、はやぶさ初号機の機体設計をうまく流用することで実現できた。

はやぶさ2では「インテグレート方式」という開発方式がとられた。これはJAXAが探査機の設計・製造のマネジメントを行い、その配下で探査機のシステムや搭載装置のメーカーが製造・組み立てを行う方式だ。（中略）

20 この時期、「システム会議」「イオンエンジンサブシステム会議」「電源系サブシステム会議」……というように各技術区分ごとの会議が毎日のように行われ、設計進捗情報や課題が持ち込まれ、そのひとつひとつに判断が下され、システム設計が更新されていった。

私が厳格に管理していた技術項目のひとつに“重さ”がある。2012年当時、はやぶさ2の質量は540キログラムを設計目標としていた。はやぶさ2の重さは、主としてイオンエンジンの性能から制約を受けていた。（後略）

『はやぶさ2 最強ミッションの真実』、津田雄一、NHK 出版新書（2020）、p.82-83

25 ケースライターは、津田の著書の記述（P83～P99）をさらに読んでいった。

津田は開発過程でのメーカーやJAXAスタッフからの質量超過の報告に対しては非常に厳しく反応していたようだ。そして、グラム単位でやりくりし、危なそうなら軌道設計をこっそり見直し余裕の有無を確認したり、また配線材を銅線からアルミ線に代えたりなど「みみっついほどに細かい設計変更」も度々行っていたという。少しでも超過すれば、リュウグウに到達できない。

2012年9月、プロジェクトの体制は、吉川プロマネから、國中プロマネ・稲場プロマネ代理の体制へ変わった。また、はやぶさ2の科学のリーダー、プロジェクトサイエンティストには、名古屋大学の渡邊誠一郎が就任。そんななか工学チームの体制は変わらず、メンバーは引き続き開発上の苦心をしていた。

はやぶさ2には中小企業・町工場を含め約100もの企業が関わっている。探査機製造の中心はNECで、同社にも大島武プロマネをトップとする体制が布かれた。当時の津田（プロジェクトエンジニア）の「カウンターパート」は、NECのシステムマネージャー榎原匡俊。彼らNECの担当者たちと毎週JAXAで、津田主催の「システム検討会」を行っていた時期、材料や電気回路構成、機器配置、探査機の形状、ソフトウェア設計など、探査機的设计に関わる全ての技術的な決定がこの会議で決着された。会議には各担当者も出入りし、4時間に及ぶのは当たり前、朝から夜まで続くこともあった。

一方で、津田は研究会活動も促していた。プロジェクトメンバーに限らず、JAXAの若手や宇宙研内外の学生に門戸をひらき、はやぶさ2を学問として楽しむ母体づくりを行った。専門家たちの、いわば「遊び」としての自主的な研究から様々な成果が上がり、なかには探査機運用に貢献するものもあったという。

2012年9月以降には、各社で製作されていた部品がJAXA(相模原)に集められ各種試験がはじまった。2013年1月からは「一次かみ合わせ試験」、11月からは「総合試験」で完成状態まで組み上げられ、その後は動作試験や運用テストが行われた。2013年から2014年前半のこの最終組み立て工程は、生みの苦しみの時期で、作業は昼夜二交代、複雑な工程がびっしり詰まっていたという。毎日のように発生する問題に苛まれたようだ。

2014年4月（総合試験の中盤）に、津田は一度だけ、打ち上げの延期をプロマネとプロマネ代理に具申したことがあったという。当時ははやぶさ2にトラブルが続出していた。プロマネらの返答は「もう少し踏みとどまろう」だった。

「(前略) 私たちのゴールは、最高品質の探査機を作るのではなく、ミッションを達成することだ。はやぶさ2はミッションを達成する道具たりうるか？その視点で見ている。まだやれるよ。」と諭された、津田の著書に書かれている。

2014年9月、JAXA(相模原)で総合試験が終了。はやぶさ2は、打ち上げの地、種子島へと送られたのだった。

津田がプロマネ就任の通達を受けることになるのは打ち上げ後、3カ月程の初期運用フェーズ(はやぶさ2の全機能チェック)が終わった頃のこと。ケースライターは、津田の著書から二つの記述を抜粋した。

2015年4月1日、はやぶさ2プロジェクトは、津田雄一をプロジェクトマネージャーとする新体制に移行した。ミッションの工学面を統括するプロジェクトエンジニアには佐伯孝尚が就任、科学者を統括するプロジェクトサイエンティストは引き続き渡邊誠一郎、この3名がプロジェクト＝工学＝理学のトライアングルではやぶさ2ミッションのエンジンとなったのだ。(後略)

『はやぶさ2 最強ミッションの真実』、津田雄一、NHK 出版新書 (2020)、P.114

5

JAXA史上最年少の駆け出しプロジェクトマネージャとして、私は日々の忙しい「はやぶさ2」の運用に追われつつ、「チームとしてどうあるべきか」を真剣に考え始めました。「はやぶさ」のプロジェクトマネージャを務めた川口先生は、大先輩であり、目標でもあります。でも、私は川口淳一郎ではないし、同じようなマネジメントはできません。

そもそも、「はやぶさ」はかなり異質なプロジェクトだったと思います。探査機の開発から運用まで、何から何まで初めて尽くし。しかも、イトカワに滞在できるのは約3カ月という短期決戦であり、その場の状況に臨機応変に対応できる力が求められました。もちろん、宇宙探査は常に臨機応変でなければいけません。想像のはるかに上を行く出来事が次々に襲いかかるなかで、あれだけ柔軟に対応できたのは、ほんとうにすごい。奇跡のような生還は、川口先生をはじめ、各現場の「個の力」による部分も大きかったと思います。

今回は、リュウグウ近傍での約1年半の長期観測となるため、私が考えたのは「個の力はもちろん重要だけれど、チームとしての解決能力をどこまで上げるかが勝負」でした。

では、どうすればチーム力を上げられるのか。(後略)

『はやぶさ2の宇宙大航海記』、津田雄一、宝島社 (2021)、p.82-83

10

15

次に、ケースライターはリュウグウ到着までのチームの日々を探った。チームは探査機運用を進めつつ、到着後に備えた訓練や調整に取り組んでいた。

主な訓練については、津田の著書『はやぶさ2の宇宙大航海記』(P83～P88)に、以下のふたつが記述されていた。

- LSS (Landing Site Selection) 訓練・・・着陸地点選定訓練
- RIO (Real-time Integrated Operation) 訓練・・・実時間統合運用訓練

津田は開発の時期から、着陸などの運用には訓練が必要だと考えており、試験段階でつくった部品や装置を残しておき、プロマネ就任後、はやぶさ2の動きを再現するシュミレーターを作った。これに、画像生成装置(はやぶさ2がカメラで捉えるであろう映像をCGで生成)や遅延装置(地球とはやぶさ2の距離からくる片道20分の通信の遅れを反映)が加えられ、リアルな再現が可能なものになった。

訓練のために、到着まで実態が不明な小惑星リュウグウのモデル、「リュウゴイド」が作られた。モデルとはいえ、太陽系科学の専門家の惑星形成の理論にもとづいた、3億ポリゴン(各ポリゴンに色や物性を仮定した情報が付与)という3次元モデルで、訓練はリアルさを追求して行われた。

20

25

30

では、2つの訓練の内容を簡単に紹介しておきましょう。

LSS訓練は、簡単にいえばタッチダウンの目標地点を絞り込む訓練です。実際の運用では、リュウグウの観測データをもとに3次元地図を作成し、さまざまな要素を加味して、科学的に価値の高い着陸点を選びます。それと同じプロセスを、シュミレーターとリュウゴイドを使って行うわけです。

(中略)

また、プロセスを忠実に再現するため、リュウグウに到着してからの観測、解析、会議、決断という流れで訓練を行いました。重要なのは最終的な意思決定です。(中略)プロジェクトマネージャの独断でも、多数決でもなく、徹底的に議論して、チームの総意としての結論を導くことが、この訓練の眼目でした。

訓練には、国内だけでなく海外の科学者も含め、約100人が参加しました。それぞれ専門分野があり、見方が異なるため、最初は意見がバラバラ。とてもまとまるようには思えません。ですが、議論を重ねるうちに各自の価値を重ね合わせられるようになってきます。(後略)

『はやぶさ2の宇宙大航海記』、津田雄一、宝島社(2021)、p.85-86

もうひとつのRIO訓練は、「はやぶさ2」が見舞われるトラブルを人為的に作りだし、リアルタイムで対応する内容になっています。対象はローバ分離、タッチダウンなど、低高度への降下をとまなうすべての運用。実時間にもこだわり、多くの降下運用と同じ24時間かけて行い、数十名が8時間交代シフトで訓練に参加しました。

訓練を受ける人は管制室にいますが、「はやぶさ2」のシュミレーターが置かれている部屋は別にあり、ここは通称「神の間」。訓練を受けるメンバーの出入りは厳禁です。この神の間には、「神様チーム」と呼ばれる出題者がいて、自由にトラブルを起こすことができます。探査機に故障を起こしたり、通信を途切れさせたり。

訓練を受ける運用チームは、いきなり襲い掛かるトラブルに対処し、運用を継続すべきか、アポルト(中止)すべきか、その場で決断しなくてははいけません。追い込まれた状況でも、迅速かつ的確に状況を把握し、どう対処するかを、瞬時に判断できるチームにするための訓練です。

神様チームが仕掛けるトラブルがどんなに理不尽でも、運用チームは「こんなこと起こるわけないだろ!」とはいわないことがチームのお約束になっていました。宇宙空間では「想定外が起こる」を前提にしているのですから。しかし表情を見れば、納得せず神を信じない者のなんと多かったことか。そのうち、運用チームが神様チームの手の内を読むようになる。すると、神様チームはさらに複雑なワナを仕掛ける。仕掛ける神も、罠を解く運用チームも真剣でした。神のほうも、運用チームに育てられたといえるでしょう。こうしてチーム全体の「はやぶさ2」の操縦術が各段に上がっていったのです。

RIO訓練は合計48回に及び、そのなかで「撃墜」という最悪の結果となったことが22回もありました。(後略)

『はやぶさ2の宇宙大航海記』、津田雄一、宝島社(2021) p.86-88

5

(前略)、リュウグウ到着を3カ月後に控えた2018年3月のこと。プロジェクトチームは、LSS訓練とRIO訓練、それに本番のリュウグウ探査の準備に忙殺されていた。立て続けに行われる訓練に、メンバーは疲弊していた。佐伯からは「人が足りていない。私はフライトディレクタを降りて手薄なシステム担当のフォローに入ります。フライトディレクタ制を廃止しませんか？」武井からは、「津田さんの考えるチームは理想的だが、この人数では無理です。津田さんも現場作業に入れませんか？」と切実な声があがった。田中智からは逆の意見が出た。「どんなに忙しくてもプロマネが現場作業はやめた方がいいよ。現場が何とかすべきだ。」チーム内は殺伐とした。それは私だって、プロマネ業よりも現場作業がやりたくて仕方ない。しかし、リーダーが現場作業をすることは大きな危険をはらむ。(中略)

10

数日考えた末、私が提案したのは「権限移譲」だった。それまで管制室での運用上の重要な決断はすべてプロマネの承認をとることになっていた。この最終承認権限をフライトディレクタに譲る。つまり、管制室で一番偉い人はフライトディレクタとし、プロマネであっても管制室内ではフライトディレクタの指示に従うことにする。その上で、今までシステム担当をやっていた若手にもフライトディレクタになってもらう。逆転の発想のようだが、・・・(後略)

『はやぶさ2 最強ミッションの真実』、津田雄一、NHK 出版新書 (2020)、p.148-149

15

ケースライターは、到着までのチームの取り組みの様子を思い浮かべた。

2018年6月。はやぶさ2は、32億kmの飛行を経て、リュウグウ観測のホームポジション(上空20km)に入る。到着の瞬間、管制室は大きな拍手で包まれたという。これからいよいよ本格的なリュウグウ探査が始まる。ケースライターは、書籍の記述で、この頃について取材したものも抜粋しておいた。

20

管制室の中は原則、飲食禁止。ただ、はやぶさ2の運用は長期間にわたることがあり、休憩時間もとれないぐらい忙しい場合があるためにペットボトルなどの蓋がついている飲み物は持ち込みを許した。また管制室近くには、オレンジ色のソファが置かれた休憩室がある。はやぶさ2の降下運用などがある場合、ここに「スナック乙姫」が開店した。「スナック乙姫」にはママはいない。津田と姿勢制御系を担当する三樹裕也、降下運用の大野剛の3人が「緊張が続く運用の合間に少しでもリラックスしてもらえる憩いの場所を作りたい」と、当番制でスナック菓子を調達し並べるのだ。品揃えは、当番のセンスで決める。

25

(後略)

『ドキュメント「はやぶさ2」の大冒険』、NHK 小惑星リュウグウ着陸取材班、講談社 (2020)、p.50

30

ケースライターはつぶやいた。

「しかし、到着の喜びはつかの間だったんだな。」

到着の日すでに、渡邊は着陸の難しさを予想していたが、実際に撮影や分析が進み、リュウグウの詳細が明らかになるほど、ここが想定よりもはるかに過酷な場所であることが確実になっていた。20m 以上の大岩やクレーターも多く、サンプル採取のためのタッチダウン条件として想定していた「100m 四方の平坦な場所」など、ひとつとして見つからなかったのだ。

(なお、はやぶさ2の「タッチダウン」とは、機体をリュウグウに数秒間着陸させ、サンプラーホーンという機体下部の長い筒状の装置を使ってサンプルを採取、直後に機体を上昇させることである。巻末資料①参照)

(前略) 議論の末、15カ所の着陸候補エリアが抽出された。15カ所も選んだのは、自信のなさの表れだった。どれもこれも平たんではなかったが、悪い中でも悪さが少ないエリアをひねり出した、という感じだ。

この着陸選定作業をドライブしていたのは、佐伯率いる「近傍フェーズ計画会議(通称P3T会議)」と渡邊率いる「着陸点選定解析会議(通称LSSAA会議)」だ。前者が工学的な立場から、後者が理学的な立場から、着陸適地を探した。それに加え、NECとJAXAの合同会議「ミッション運用検討会」で、探査機運用技術の観点の議論・調整が行われた。実際にはリュウグウがあまりに難しい状況だったので、多くのメンバーはこの3つの会議を渡り歩いた。(後略)

『はやぶさ2 最強ミッションの真実』、津田雄一、NHK出版新書(2020) p.166-167

ケースライターは、ここでははやぶさ2の「ミッション定義」を改めて見直した。(巻末資料②参照) ミッション定義は、プロジェクトの憲法のようなものだ。理学目標と工学目標が定められ、サクセスクライテリアが設けられている。はやぶさ2は、その両方の目標を迫及して実施されたプロジェクトなのだ。

8月には「着陸点選定会議」が開かれた。国内プロジェクトメンバーのほか、ドイツ、フランス、米国などからの参加者も含め、総勢100名以上が宇宙研の近隣の相模原市立博物館に集結した。

様々な意見のなか、安全な着陸点選定の決め手を見つけるのは難しく、会議は紛糾する。そんななか、津田たちは開発側としての腹案を持ち出した。はやぶさ2の設計上の着陸精度は「誤差50m」(100m四方の平坦な場所が必要)。しかし工業製品の仕様とは、製造者が使用者に保証する性能であり、保守的な数字である。はやぶさ2の実力は実際はもっと高いはずだと考え、「はやぶさの実力を見極めるために、場所を『L08』地点に決め、降下運用のフェーズに移行したい」と提案したのだ。議論は夕方になっても収束しなかった。会場を宇宙研内の会議室に移し、議論はさらに続行された。そして次第に、参加者皆の意見が「慎重に、一歩前に踏み出すべき」という方向に集約されていき、タッチダウンの第一候補として「L08」が選ばれることになった。

私は結論を読み上げた。あれだけ議論が百出していたのに、いま、反論がなく、会場は静まり返った。不安になった私は「Are we sure ? (これで私たちは本当にいいですか?)」と念を押した。刹那、割れんばかりの大きな拍手が起きた。「Yes !」「これでいきましょう！」全会一致だった。国際的なメンバーと、これだけ結束を感じたことは後にも先にもこの時が一番だ。背中がゾクゾクした。

『はやぶさ2 最強ミッションの真実』、津田雄一、NHK 出版新書 (2020)、p.171

5

ケースライターはこの記述を読み、胸をなでおろした。9月にタッチダウンリハーサル、10月に第1回タッチダウンと、計画が立つことになったのだ。

しかし、9月11日から始まった初回リハーサルで、彼らは想定外の出来事に面する。計画通りリュウグウへ降下していた探査機が突然、急上昇したのだ。思いがけぬアボート(降下中止)に、管制室のメンバーは凍りついたのだった。

10

(前略)ほどなく原因が特定された。どうやら、リュウグウが想定以上に反射率が低い(つまり、黒い)ために、未踏高度である600メートルに至ったときにLIDARがその暗さについていけず、目を回したのだ。

15

(中略)

プロジェクトは、完全に鼻をくじかれた。タッチダウンに至る最初の一步で、LRFの確認はおろか、たった600メートルまでしか降りられなかったのだ。所定の目的を達成していない以上、リハーサルはもう一度やらざるを得ない。このあとミネルバⅡ-1、マスコットの運用も予定されている。そうすると、もともと10月末を予定していたタッチダウンは、年内はスケジュール的に不可能だ。

『はやぶさ2 最強ミッションの真実』、津田雄一、NHK 出版新書 (2020)、p.175-176

20

* LIDER = レーザー高度計 (遠距離~近距離に対応)、LRF = レーザー距離計 (高度40m程からの極近距離で使用)

* 「ミネルバⅡ-1」「マスコット」= ローバ(探査ロボット)の名称

ケースライターは、ため息をついた。

「タッチダウンは年明けに延期せざるをえない、か・・・」

25

アボート当日の夕方、主要なメンバーが集まり緊急対策会議が開かれた。皆様に疲労の色濃い表情だったという。この会議で、津田はある大胆な方針変更を提案する。当初、初回タッチダウンでは、「ノーマルタッチダウン方式」が予定されていた。この方式は、ターゲットマーカー(以下TMと表記)をタッチダウン本番で地表へ投下し、落ちて行くTMの姿を探査機が追いかけて着陸へ繋げる方式だ。TMとは、直径10cm程の反射素材に覆われた球で、タッチダウンの際の目印として使う。この方式は、TM投下直後からカメラで追尾するため、TMを見失いにくい利点をもっている。(ただ、凹凸の多いリュウグウの表面で、TMが実際どの場所に落ち着くか予想しにくいのが難点だった。)

30

津田の今回の提案は、それとは別の「ピンポイントタッチダウン方式」に、初回から挑もうというものだっ

た。これは当初、ノーマルタッチダウン成功後の段階で投入が考えられていた方式だ。年内のリハーサルでTMを地表に落としておき、付近の十分な計測や検討を行ったうえで、年明けの本番でそれを目印に特定の位置に正確に着陸する。TM投下とタッチダウンを別の降下で実施することで精度をあげる方針に、転換しようという提案だ。

津田の大胆な提案に、多くの意見が出され議論が起こった。結論として、まずは年内のリハーサルでTM投下まで実施し、その結果をみて次の策を検討しようということになった。

タッチダウンに向けた方向性が議論されるなか、9月中と10月はじめには、予定通り探査ロボットの分離を行う降下運用が実施された。いずれも順調に着陸、はやぶさ2に地表の情報を伝達してきた。プロジェクトは、年内残り2回の降下を年明けのタッチダウン実現に向けた準備に使うことを決めたのだった。

津田は、タッチダウン延期について記者会見で発表した。

2018年10月11日。都内で会見が開かれた。開始時間ぴったりに津田が会見場に入ってきた。黒のスーツ姿にネクタイを締めている。これまではベージュ色で背中にははやぶさ2の機体をあしらったプロジェクトチームのジャケットを羽織っていただけに、その姿はどこか対照的だった。口元を引き締めている。そして、マイクをつかむと、緊張感のある声で打ち明けた。

「一度、はやぶさ2プロジェクトとしては立ち止まろうと思います」

10月下旬に予定していた着陸の延期だった。時期は、翌年1月後半以降。滞在期間は1年半しかない中で、3カ月も計画を後ろ倒しにすることを決めたことになる。(中略)。

「リュウグウは徹底的に凸凹している。探査機を着陸させるという意味では意地悪きわまりない小惑星だと思っている」

さらに津田は言葉を続けた。

「まったく新しい世界を探査するので、何もかもが計画通りにいくとは、まったく思っていませんでしたが、いよいよリュウグウが牙をむいてきたなというふうに思っています」

(中略)

津田は延期を発表した記者会見の後、会見場所に残って、記者たちの質問に丁寧に答えた。ひととおり質問が終わると、逆に津田が記者たちに問いかけた。

「みなさんはどこに降りればよいと思いますか」

ふだんから取材を続けている記者たちは少しびっくりした。記者は事情には詳しいが、科学者でも技術者でもない。JAXAの専門家から質問を受けることなど普通はない。記者たちは、聞かれたのなら、とそれぞれが思うところを答えた。

(中略)

さまざまな意見が遠慮なく出された。津田はそのすべてを真剣に聞いていた。

『ドキュメント「はやぶさ2」の大冒険』、NHK 小惑星リュウグウ着陸取材班、講談社(2020) p.62-66

延期決定後、チームは狭い範囲に着陸するための対策に邁進した。

10月14日からのリハーサル運用では、リュウグウの上空22.3mまで降下できた。LRFの計測に成功。前回アボートのリベンジが叶い、一步前進だ。

5 次の23日からのリハーサル運用では、高度12mで、着陸時の目印となるTMを特に平坦な「L08-B」の地点に向け投下。高度を保ち、TMの姿を視界の中央から離さずしっかりと追尾できるはやぶさ2の実力が確認でき、チームは喜びに沸いた。

TMが落ちた場所は、目標地点から15mの距離だった。当初の誤差50mの想定からすれば悪い結果ではなかったが、はやぶさ2のカメラの視野を考えると、15m離れたTMを基準とした着陸が成功するのかわかではなかった。落ちたTMのもっと近くに、他に安全な場所はないのか。

10 11月下旬、「合運用」の期間に入る。この期間、津田たちはタッチダウン成功に向け改めて熟考を重ねたのだった。

*「合（ごう）」とは、地球とリュウグウを結ぶ線上に太陽が重なる現象。合の期間、1ヶ月間あまり地球とはやぶさ2の通信が細くなり、通信不可能な時期もあるため、タッチダウンのような運用はできない。）

15 課題は3つあった。①ターゲットマーカーが落ちた近くに安全な着陸場所はあるのか。②落ちていたターゲットマーカーを、上空から降下していくはやぶさ2はきちんと見つけることができるのか。そして、③見つけた後それを目印に、安全な着陸場所に高精度で着陸することがそもそもできるのか。プロジェクトのサイエンスチームと工学チームが、総力を挙げてこの課題に取り組んだ。

『はやぶさ2 最強ミッションの真実』、津田雄一、NHK出版新書（2020）、p.189-190

20 ケースライターは、これら課題への取り組みの様子を読み進めた。

TM周辺で安全な場所を探すため、惑星科学の専門家たちは非常に地道な作業を行っていた。写真に写っている石の大きさをひとつずつ定規で測る者、石の影を測ることで石の高さを算出する者。彼らは1万個以上の石を測ったという。得られた石の分布を地形モデルに反映、機体の形を考慮した着陸安全性マップがつけられた。ようやくみつけた安全な候補地は、TMから4m程離れた地点、直径25 6mのエリア（L08-E1）。許される誤差は3m。「吐き気を感じるほど」非常に狭い範囲だ。

一方工学チームは、TMをはやぶさ2が見つけれられるよう検討を続けた。TMの上空に正確に機体を誘導するためには、低高度に高精度で誘導できなくてはならない。ある者は12個のスラスター各々の癖を考慮して、誤差の起こりにくい綿密な降下軌道をつくった。また、フラッシュに照らされたTMと天然の石を誤認しないよう着陸地の景色をくまなく調べ、露光時間などの撮影条件を絞りこんだ者もいた。

30 最後の問題は、TMを捉えた後どのように着陸に持ち込むか。運用メンバーは「頭からボートと湯気が出るほど」考え、議論した3つのアイデアの実現性をNECに打診した。

暮れも押し迫った2018年12月27日のこと、NECから検討結果が報告された。なんと「検討して

いた3つの方式はいずれも成立しない」という返答だった。津田たちにとっては、「崖から突き落とされたようなショッキングな」報告だった。

あとは年明けに考えよう、と結論し会議は散会したが、皆の落胆は深かった。同時に、居ても立ってもいられなかった。

仕事納めの12月28日、私は朝からはやぶさ2のソフトウェアの技術資料を一から読み漁った。どこかにヒントはないか。どこかに見落としている機能はないか。

夕方、資料のあるページに目が留まった。それはLRFのパラメータの設定法についての記述なのだが、それを悪用することを私は思いついたのだ。LRFを騙して、ある瞬間地形の凹凸を“完全無視”にしてしまえば、精度よく着陸できるのではないだろうか—悪知恵も悪知恵、ハッキングのようなアイデアだった。

考えをまとめて、すぐNECにメールを送った。すると、年の瀬とは思えない超速で、NECのAOCS担当の権田仁から返事があった。「それはできる可能性あるかもしれませんが。年明けにすぐ確認してみます。」なんとか答えを見つけねば、という思いは彼らも一緒だった。

(中略)

「実現可能」—2019年1月7日、NECからそう回答が返ってきた。私のアイデアは粗いものだったから、JAXAのAOCSメンバーも総出でこの新方式を吟味した。あらゆる面から、穴がないことが確認された。1月から2月にかけて、最後の仕上げに取り掛かった。(後略)

『はやぶさ2 最強ミッションの真実』、津田雄一、NHK出版新書(2020)、p.193-195

年明け早々から、メンバーは各々が担当する任務の精度を極限まで究めていき、「精巧な寄せ木細工のような」タッチダウンシーケンスが完成。2月12日のJAXAとNECの合同レビュー会では、これが無事了承された。

2019年2月21日。第一回タッチダウンに挑む運用が始まる。津田は近所の小さな神社にお参りを済ませ、管制室に入った。準備は順調に見えた。

ところが、機体の降下開始の1時間半ほど前、突然異変に襲われる。

観測シーケンスを司るコンピューターがエラーを出力し、はやぶさ2はまだ降下してないのに、カメラで観測動作をはじめていたのだ。状況を掴もうと、管制室の全員が慌ただしく動き始めた。フライトディレクターの佐伯は、シーケンスを止める指示を出した。

文字通り、緊急事態だった。もはやここで全力を出さないと、先はない。非番のメンバーも召集され、チームの総力で問題を解決する体制が布かれた。

5 そのうち、状況がわかってきた。どうやら探査機は、低高度で実行すべき観測をいま始めたのだ。何故そんなことが起きるのか。その答えにたどり着いたのは、はやぶさ2の分身のように探査機のあらゆる機能を熟知している、NECの益田だった。「降下シーケンスの初期設定がおかしい。そのために、探査機は今低高度にいますかと思込んでしまったのです。」

問題がわかれば、次は復旧だ。佐伯は「原因がわかっても、復旧は時間がかかります。今日はもう、タッチダウンは無理ですよ」と私に耳うちした。

私は、管制室のバックルームで降下誘導を担当することになっていた山元透の席へむかった。「予定通りの降下はこの状況だと無理だろう。問題の把握と復旧は、佐伯・益田を中心にたぶんできる。ヤマゲン、遅れて降下をスタートさせた場合の軌道を作ってみてくれないか？」

10 山元は快諾し、ものの十数分で私の意図を正確に汲み取った降下軌道を作った。それによると、5時間遅れで降下を開始し、予定の2倍の速度で降下すれば、高度6.5キロメートル付近でもとの計画軌道に追いつける。私はその案を携え、チームに方針を提案した。

「探査機はいま安全な状態だ。中止の判断を急ぐ状況にはない。タッチダウンを今日やるとしたら、何ができるかを考えないか。」

佐伯も益田も、頷いた。「5時間後にだめなら、その時は中止ですよ。そうならないよう、やれるだけやってみましょう。」

15 5時間後という目標を得て、管制室の動きがいつそうきびきびしたものになった。ホワイトボードに、探査機の設定項目が漏れなく書き出され、それらを元に戻す順序のフローチャートが描かれ、作業が終わったものにチェックが付けられていった。管制室の至るところから、確認のための読み合わせと復唱の声が聞こえた。バックルームでは、5時間遅れの“高速降下軌道”をプログラム化し、探査機に送る準備が進められた。

20 運用チームの半分は復旧、半分は続行のために動いていた。(中略) 管制室内は、多重多層に作業が行われつつも、まるでひとつの人格のよう。このとき私は、芸術作品が出来ていく様を見ている感覚にとらわれた。

『はやぶさ2 最強ミッションの真実』、津田雄一、NHK出版新書(2020) p.198-200

探査機運用で、土壇場での軌道変更は普通はありえない。だが、“高速降下”と“プログラムの当日書き換え”はRIO訓練で経験したことがあった。

ケースライターはつぶやいた。

25 「こうして降下準備が整い、念願のタッチダウンと初回サンプル採取を達成できたのだな。」

その瞬間には管制室に歓喜が爆発したという。実際の着陸地点は誤差1mという大成果だった。

30 「はやぶさ2」のリユウグウ滞在は、2019年11月まで続く。この後もチームの挑戦はさらに続くのだが、ケースライターは、ここまで抜粋した資料でも十分に津田のチームマネジメントについて学べるのではないかと感じた。

最後にひとつ、雑誌のインタビュー記事の記述を抜粋した。地球へのサンプルリターンが間近に迫った時期の津田は、記者質問にこう答えていた。

—— プロジェクトに携わる人数は実に五百人を超えるそうですね。

津田 いろんな数え方があって、メーカーの下請けや大学の研究者の助手の人たちを入れると数千人になると思うんですけど、私から直接連絡することができる範囲で六百人と申し上げています。

もちろん私より年齢もキャリアも上の人たちが数多くいますし、JAXAの職員以外にも企業や大学などに様々な分野の専門家がいます。加えて、日本人だけではなく、アメリカやドイツ、フランス、オーストラリアの研究者もいます。ですから、国籍も年齢も所属も専門分野も違う六百人のスペシャリスト集団なんです。

—— そういう人たちを束ねていくのは並大抵でないと思いますが、津田さんは日々こういったことを心掛けてこられましたか？

津田 すごく専門性の高い研究者や技術者ばかりなので、まあ私の言うことを聞かないんですよ（笑）。若いゆえにそれは無理もないなと思いました。

私の場合、皆をグイグイと引っ張っていくような君臨するタイプのリーダーではありません。じゃあ自分でもやれるマネジメントの仕方って何だろうと考えた時に、六百人のチーム全体が一人の人間のように同じ意思を持っていて、だけど頭脳は一人の人間ではなく六百人の頭脳があるわけだから、それが有機的に結びつくことでいろんな難題に取り組める。たくさんの人がいるけれども、最後までバラバラになることなく、問題が生じたら解決に向けて皆で頭を捻って答えが出せる。そういうチームにしたいと思ったんです。

なので、それぞれのメンバーがどういうバックグラウンドを持っているのか、「はやぶさ2」にどういう思いで携わっているのかということをもとにまず知る。そこを理解した上で、「じゃあこういう役回りじゃなくていいか」と。そうやって一人ひとりと個別にコミュニケーションを取り、丹念に調整していきました。

—— 一人ひとりのメンバーと誠実に向き合っただけでいいんです。

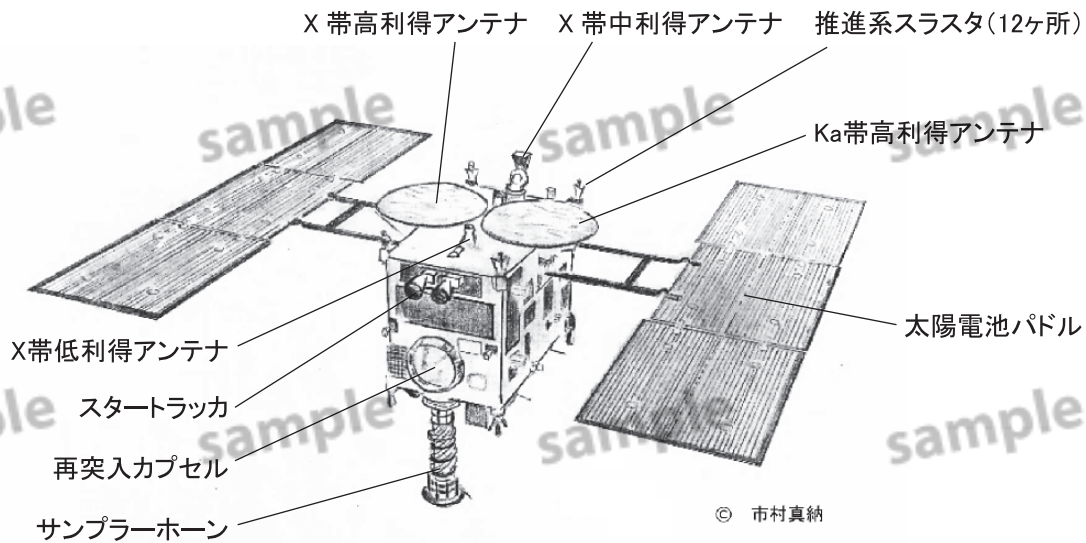
津田 あと、私から放射状にコミュニケーションが延びるだけに留まらず、メンバー同士が繋がれるように仕事を割り振っていくことも心掛けました。

その時に、私は私で専門分野があるので、例えば自分で軌道計算をしたり、プログラムを書いたりして、「これだったらどう？」という形で議論が円滑に進むように、要所で自ら現場に関わっていくことを続けてきました。単に指令を出すとか言い逃げをするだけではダメで、やっぱり「本気なんだな」と思ってもらえなければリーダーは務まりません。それには知識が不可欠です。

また自分の専門分野以外の勉強も随分しました。相手のことを知り、相手の主張を理解するためにはどうしても相手の専門分野に入り込まざるを得ないので、分からないところは素直に教を請いながらやっていましたね。（後略）

『致知』2021年1月号、致知出版社（2020）、p.27

資料① 探査機「はやぶさ2」の外観スケッチ



※本体のサイズ: 1m × 1.6m × 1.25m、太陽電池パネル展開幅: 6m、質量(燃料込み): 609kg

資料② ミッションの定義とサクセスクライテリア (成功基準)

※『はやぶさ2 最強ミッションの真実』津田雄一著 P38 を参考に作表

ミッション目標	ミニマムサクセス (成功とみなせる最低ライン)	フルサクセス (完全成功)	エクストラサクセス (可能ならば目指す成功ライン)
【理学目標 1】 C型小惑星の物質科学的特性を調べる。特に鉱物・水・有機物の相互関係を明らかにする。	小惑星近傍からの観測により、C型小惑星の表面物質に関する、新たな知見を得る。 <達成判断時期> 探査機の対象天体到達1年後	採取試料の初期分析において、鉱物・水・有機物相互作用に関する新たな知見を得る。 <達成判断時期> 試料回収カプセルの地球帰還1年後	天体スケールおよびマイクロスケールの情報を統合し、地球・海・生命の材料物質に関する新たな科学的成果を上げる。 <達成判断時期> 試料回収カプセルの地球帰還1年後
【理学目標 2】 小惑星の再集積過程・内部構造・地下物質の直接探査により、小惑星の形成過程を調べる。	小惑星近傍からの観測により、小惑星の内部構造に関する知見を得る。 <達成判断時期> 探査機の対象天体到達1年後	衝突体の衝突により起こる現象の観測から、小惑星の内部構造・地下物質に関する新たな知見を得る。 <達成判断時期> 探査機の対象天体離脱まで	・衝突破壊、再集積過程に関する新たな知見をもとに小惑星形成過程について科学的成果を挙げる。 ・探査ロボットにより、小惑星の表層環境に関する新たな科学的成果を挙げる。 <達成判断時期> 探査機の対象天体到達1年後
【工学目標 1】 「はやぶさ」で試みた新しい技術について、ロバスト性、確実性、運用性を向上させ、技術として成熟させる。	イオンエンジンを用いた深宇宙推進にて、対象天体にランデブーする。 <達成判断時期> 探査機の対象天体到達時	・探査ロボットを小惑星表面に下す。 ・小惑星表面サンプルを採取する。 ・再突入カプセルを地球上で回収する。 <達成判断時期> 試料回収カプセルの地球帰還時	なし
【工学目標 2】 衝突体を天体に衝突させる実証を行う。	衝突体を対象天体に衝突させるシステムを構築し、小惑星に衝突させる。 <達成判断時期> 生成クレーター確認時	特定した領域に衝突体を衝突させる。 <達成判断時期> 生成クレーター確認時	衝突により、表面に露出した小惑星の地下物質のサンプルを採取する。 <達成判断時期> 試料回収カプセルの地球帰還時

<参考文献>

- NHK 小惑星リュウグウ着陸取材班、『ドキュメント「はやぶさ2」の大冒険』、講談社（2020）
- 『朝日新聞』 2021年1月23日「be on saturday」
- 的川泰宣、『「はやぶさ2」が舞い降りた日々』、勉誠出版（2020）
- 『日本経済新聞』 2020年12月15日朝刊
- 津田雄一、『はやぶさ2 最強ミッションの真実』、NHK出版（2020）
- 津田雄一、『はやぶさ2の宇宙大航海記』、宝島社（2021）
- 『致知』 2021年1月号、致知出版社（2020）

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

sample

不 許 複 製

慶應義塾大学ビジネス・スクール

共立 2022.7 PDF