

軌道

【対談】

ON ICE AND IN SPACE, DRAWING ORBITS

氷の上と宇宙に、軌道という名の道筋を描く

町田 樹

(スポーツ科学者・振付家)

×

尾崎直哉

(JAXA宇宙科学研究所 准教授・DESTINY+プロジェクトチーム)

【特集】

軌道設計が導く宇宙の旅

【地球の視座で宇宙を見る・極地編】

宇宙につながる極地、その窓としてのオーロラ

【連載】

JAXA TIMES

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
機関紙【ジャクサス】

宇宙と私たちをつなぐコミュニティメディア

ON ICE AND IN SPACE, DRAWING ORBITS

氷の上と宇宙に、軌道という名の道筋を描く

スポーツ科学者・振付家 /

町田 樹

MACHIDA TATSUKI



JAXA宇宙科学研究所 准教授 / DESTINY+プロジェクトチーム /

尾崎直哉

OZAKI NAOYA

物体が運動するときに描く経路を「軌道」と呼ぶ。氷の上で人が、宇宙空間で探査機が辿るその軌道の裏側をのぞいてみたい。フィギュアスケートの競技者を経て、現在はスポーツ科学を専門とする研究者の町田 樹さんと、探査機の軌道を設計する研究者の尾崎直哉。ふたりの軌道が交わることを垣間見る。

撮影：阿部 健 構成・文：水島七恵



「DESTINY+の軌道は美しいと思っている」。尾崎の話聞いた芸術家が、その軌道を真鍮線で描いた作品。



対談を実施したJAXA相模原キャンパスにて

探査機の軌道とフィギュアスケート それぞれのダイナミクス(力学)

町田 私は人文系の研究者なので物理学に関してはまったく疎いのですが、宇宙空間で物体をぼんっと押ししたらそのまま止まらなくなりますか？真空状態で空気抵抗もないから。

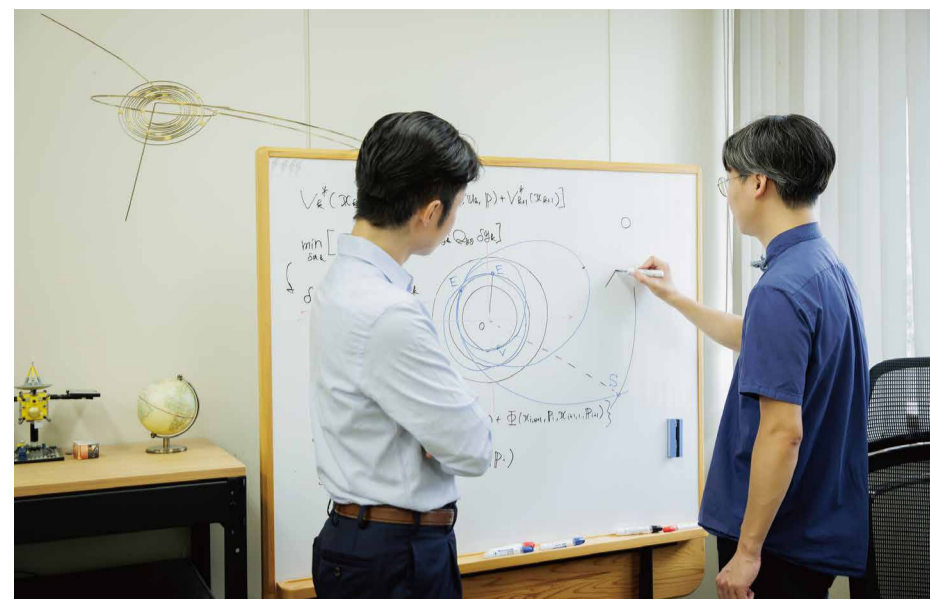
尾崎 止まらないですね。厳密にいうと実はわずかに宇宙空間にはガスやチリが漂っているので完全なる真空ではないんですが、基本的に空気は「ない」と言えて、物体は止まることなく進み続けます。例えば地上では立ち止まって急に右折も左折も簡単にできますけど、宇宙空間だとそれが難しくなります。無理やり右へ左へもできませんけど、

効率はひどく悪いものに。

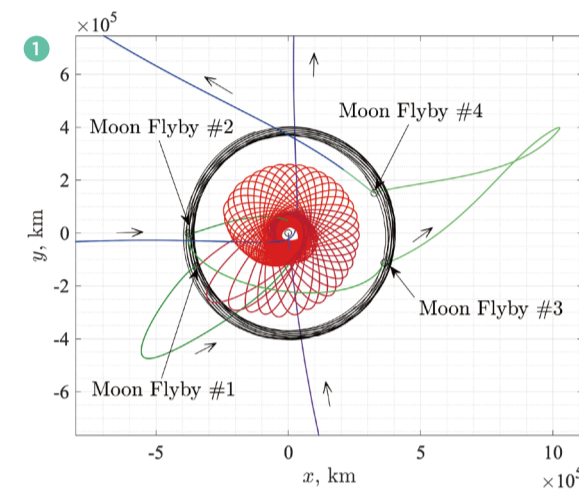
町田 逆にどういった軌道だと効率が良いのでしょうか？

尾崎 はい、それはダイナミクス(力学)をうまく受け入れながら、いかに流れに乗った軌道を設計できるかです。宇宙空間に空気はないけれど、重力は「ある」。探査機の軌道設計においては、ダイナミクスの中でも、天体の重力の使い方がとても重要なポイントになるんです。

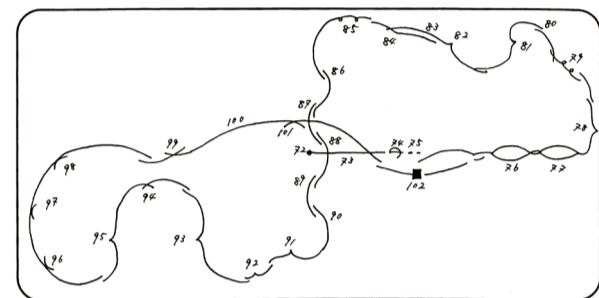
町田 「スイングバイ」ですね。私は東野圭吾の推理小説「ガリレオシリーズ」が大好きで、ドラマも観ていたんですが、主人公で天才物理学者の湯川先生が人工衛星の軌道を天体の重力を使って修正するという実験シーンがあって知りました。



尾崎の研究室のホワイトボードには、軌道設計のための数式が書かれている。「ケプラーの法則(天体の運動に関する法則)からなる運動方程式に沿って計算すると、重力の作用を受けて運動する物体の軌道自体は、比較的シンプルに計算ができる」と尾崎。「でも問題は……」と、軌道設計の難しさを解説。



尾崎が軌道設計を担当している深宇宙探査技術実証機DESTINY+。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う。画像はDESTINY+が地球から深宇宙へ向けて航行する軌道を尾崎が描いた実際の設計図。



町田さんが振付・実演したフィギュアスケート作品の初の映像集「町田樹 振付自演フィギュアスケート作品 Prince Ice World映像集2013-2018」。画像はそのうち、2018年に発表した作品「ペロロ:起源と魔力」における一場面の軌道を記した自筆のトレス図。

尾崎 まさにそれです。人工衛星や探査機は天体のそばを通過すると万有引力の影響が強くなり、天体の大きな重力に引っ張られます。その力と天体の公転速度を利用することでスピードを加速したり、減速したり、航行方向を修正したりといった軌道制御の自由度をあげることができ。そのことをスイングバイと言います。直感的な理解としては「太陽系」というテニスコートで「地球」が走りながら、テニスラケットで「探査機」というボールを打つイメージを持ってもらえたら。実際には、地球が探査機を物理的に打つわけではなく、重力で軌道を曲げるわけですが。

町田 なるほど、おもしろい例えですね。

尾崎 探査機が遠い天体に到達するためには、たくさんの燃料を積み込まなければなりません。スイングバイをすれば、燃料を抑えて軌道を変えることができます。だから僕ら設計者はスイングバイをしながら、いかに効率的な軌道を設計できるか？それを解くための最適な軌道を方程式で計算したり、コンピュータでシミュレーションしながら設計するんです。

町田 まさにそのシミュレーションした結果を、今こうして二次元の図(上の画像①)で見せていただいているんですが、現実には天体も探査機も動き続けているわけですから、きっと私なんかの想像を超えた難題ですよね。

尾崎 取り得る軌道がたくさんあるので、追求すればキリがなく、現実的な時間では計算できないんです。だから軌道を絞り込んでから最適化するよう

にしますが、そのとき必要なのが経験で培ってきた勘やセンス。そこに設計者の個性が出ると思います。

町田 実は軌道設計とフィギュアスケーターの思考のパターンは、非常に似ていると思います。

尾崎 僕もきつと似ているところがあるだろうと感じていました。

町田 そもそもフィギュアスケートは氷上に図形=figure(フィギュア)を描いて滑走することからその名が付き、やがて図形の精度を競う種目へと変化していったという背景があります。そして現在は技のみならず、振付とそれを表現する技量が評価の対象となっているので、スケーターは幅30m×長さ60mのスケートリンクという空間をどう使えば、最も多くの人にアピールできるか？という観点で空間を構成していきます。また、フィギュアスケートは真空状態で空気抵抗もない宇宙空間とは真逆の、空気抵抗と氷との摩擦抵抗に支配された世界です。氷の上でひと蹴りしてもいづれ身体は止まってしまうので、動き続けるには蹴り続ける必要があります。そして、例えばトリプルアクセルを跳ぶとしたらどうか——まず、跳ぶための適切なスピードが必要になります。つまりAからB地点に行くときに、どういった軌道を通れば一番良いステップになるか。効率よくスピードをつけてジャンプできるか。かつ多くの人に一番美しく見える身体のラインを作れるかが重要になるんです。

尾崎 音楽という外的要因を考えるとさらに複雑になりそうですね。

町田 そうですね。あの音が鳴った瞬間に着氷するためには、逆算してどうステップを踏んでいこうか、とか。振付の表現は何万通り、無限大にあって、そういう外的要因とか制約条件を踏まえながら、それにうまく適合すること、最善を探ること。そ

ここにスケーターのセンスが一番光ると思います。このあたりのプロセスはまさに尾崎さんの軌道設計と同じですよ。

軌道設計から 探査ミッション全体のデザインへ

町田 選手時代を経て、今は研究者としてスポーツ科学を専門に研究や教育活動に取り組んでいます。並行してフィギュアスケートの振付家や解説者としての活動もしています。例えば今年の7月から始めた「エチュードプロジェクト」。このプロジェクトはアスリートのための振付作品ではなく、どんな人もスケートの醍醐味を自由に体感していただけるようなユニバーサルデザインな作品を創作して、専用のYouTubeチャンネルで公開しています。

尾崎 プロジェクトを始めたきっかけは何ですか？

町田 音楽の分野にはバイエルといった、誰でも演奏できる練習のための音楽があるように、あらゆる芸術ジャンルには教材的な作品があります。ところがフィギュアスケートにはそういうものがなかったんです。その現状を変えたいと思ったのが発端

ですね。誰もが無料で、質の高い振付作品を滑ることができる機会を提供することで、より豊かな時間を過ごしていただきたかったんです。そこで選曲から振付、模範演技までを手がけることで、非営利であれば誰もが自由に無許諾でその作品を滑ることができるようにしました。

尾崎 とても良いプロジェクトですね。ユニバーサルデザインや公共性の視点で言うと、僕もいつか作りたいものがあります。今「アルテミス計画」という有人での月探査計画が国際的に進行していて、近い将来、さまざまな人が月に行けるようになるかもしれません。そのときに人類の宇宙探査の歩みを止めないように、誰もが簡単に軌道設計ができるようなシステム、例えるならGoogleマップの軌道設計版のようなものを作りたいと思っているんです。

町田 もしそれが実現すると、尾崎さんの専門性や職人技が発揮できなくなってしまいます。AIに役割を取られてしまうような恐れはありませんか？

尾崎 僕自身はあまり恐れてはいなくて、むしろ加速させようとする側の意識を持っています。実際そういう未来が来たら、軌道設計自体はAIに任せて、探査ミッション全体をいかに面白くするかを考える方に集中したいですね。そもそも軌道設計とは宇宙に探査機の旅のルートを描いて完結する仕事ではなく、探査ミッション全体を創り上げていく仕事とセットでやらなければいけません。例えば軌道を設計して初めて、探査機と太陽の距離が決まるので、それによって探査機の電力や熱設計の条件が大きく変わります。つまり軌道設計は探査機の仕様にも関わりますし、設計して初めて打ち上げ時期や、目標天体への到着時期も決まるので、探査計画の主要スケジュールを決める仕事でもあります。世界的には、それを宇宙ミッションデザインと呼んでいます。そういった諸々の条件も考慮しながら旅のルートを描いていくので、今後AIが軌道の設計

部分をするようになれば、僕自身の軸足を宇宙ミッションデザインの方へ移していきたいと思っています。

既存の知を組み合わせ、 新しいものをつくる

町田 芸術の世界ではドラマトルクという役割があるんですが、尾崎さんは宇宙探査におけるドラマトルクのような存在ですね。

尾崎 ドラマトルク……。初めて知りました。

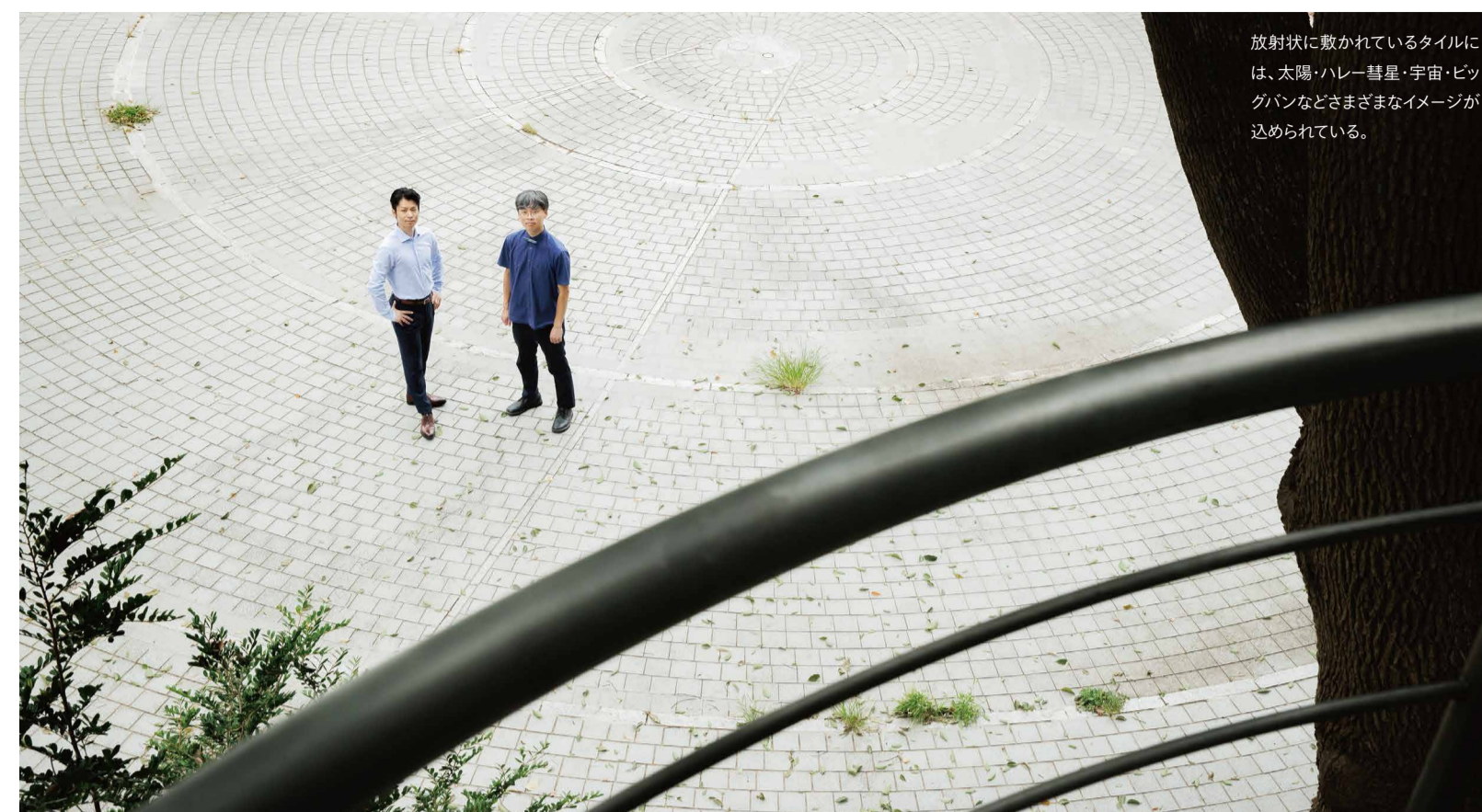
町田 創作現場で生じるあらゆる知的作業に関わり、つねに創作の全体に目を配ることで、今の時代に我々は何を作るべきか、そしてそれを世の中にどういう形で発信するべきなのか。ゼロからプランニングをして、それを形にして、さらに世界に届けるまでのすべてを統括するのがドラマトルクです。

尾崎 これから僕、ドラマトルクと名乗ってもよいでしょうか(笑)。

町田 ぜひ(笑)。

尾崎 でも本当にドラマトルクです。軌道設計の専門家として、軌道のこと、ミッションのことだけを考えていけばいいという時代ではなく、むしろ大切なのは、世の中の流れをちゃんと汲み取って、世の中が今期待していること、またその中でどうすべきかを考えてミッションを提案していくことだと思っているんです。

町田 そこは研究者として私自身もまったく一緒です。自分の研究がいかに社会還元できるかを考えながら実践していくことが大切だと思っています。論文を書いて、学術誌に載せて、アカデミアの世界でちゃんと研究成果を出していく。これはもう研究職だったら、誰もが第一義に考えなきゃいけない仕事ですが、自分の研究室の中だけに閉じこもっているのではなく、積極的に外部とコラボレーションしながら、新しい知を生み出し、社会還元をやっていくことに力を入れていきたい。なぜならイノベーションの核になるものは、ゼロから何かを生み出すことというよりも、既存のもの同士を従来とは異なる



放射状に敷かれているタイルには、太陽・ハレー彗星・宇宙・ビッグバンなどさまざまなイメージが込められている。

る形で組み合わせることによって生まれるのではないのでしょうか。そういった意味では今日の対談もそのひとつです。

尾崎 僕にとっても今日の対談は、イノベーションにつながりそうな良いきっかけになっています。

町田 だから私の研究は学際的研究なんです。社会学的な手法も取れば、芸術学的な手法も取ります。またときには法学、経済学を取り入れることもあります。各学問を縦社会で探求するのではなく横軸でそれぞれの理論をつなぎ合わせて、新しい分析ツールを作って研究を深めていく。それが私自身の研究スタイルです。そうすることで世の中の流れを汲み取るだけではなく、作り出してもいけると感じています。

尾崎 本当にそうですね。

町田 先ほど話をした「エチュードプロジェクト」も、世の中にそういうニーズがあったからこそ取り組んだプロジェクトです。と同時にフィギュアスケート業界の中で、万人のためのユニバーサルな振付作品を作るという価値観や考え方がそもそもなかったので「作り出した」んですね。

尾崎 作り出すという意味では今考えている宇宙探査があります。それは複数の探査機を飛ばして、1か月に1個くらいの頻度でたくさん的小惑星を探査するというアイデアで。

町田 なぜターゲットがたくさん的小惑星なんですか？

尾崎 リュウグウ(小惑星探査機「はやぶさ2」が到達した小惑星)のような小惑星は120万個くらい発見されているんですが、そのうち人間が直接探査しているのは、わずか20個未満。120万分の20しか見てない状態なので、統計的にはまだわかっていないことばかりです。また対象天体を決めずとにかくたくさん的小惑星をターゲットにするということも、過去の宇宙探査にはないコンセプトです。これまでの宇宙探査は目指すべき天体があってそれを探査するために特化した探査機を飛ばしていたんですね。ただとそうではなく、行きたい天体は後で決めます。そういうコンセプトのミッションがあってもいいのではないかと感じています。

町田 まさに流れを作り出していますね。

尾崎 そもそも地球に水をもたらしたのは、無数の小惑星や彗星じゃないかという科学的な説があります。岩石中に水を含む小惑星や氷を塊で含む彗星が地球に飛んできて、その水分が地球の水のもとになったのではないかという。地球の水という観点から捉えても小惑星は良い研究材料なんです。

町田 ミッションに新しい科学的価値を創造しつつ、地球の水の起源を探ることもつながっていくというのは、生活者である私たちにとっても心躍りま

すね。

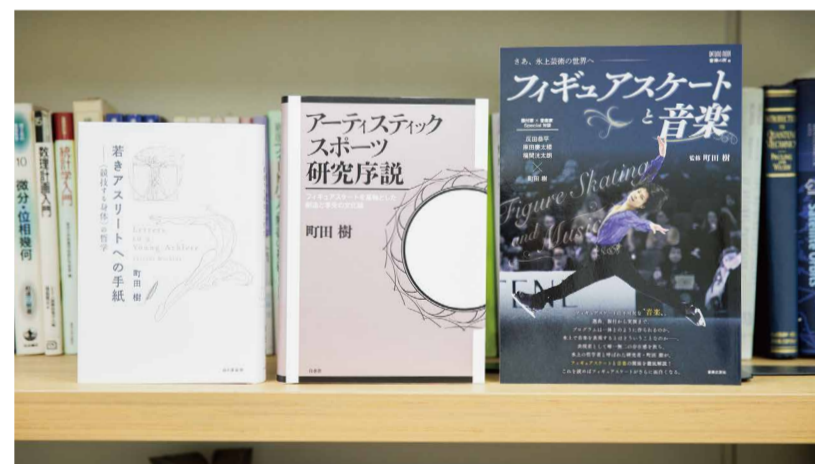
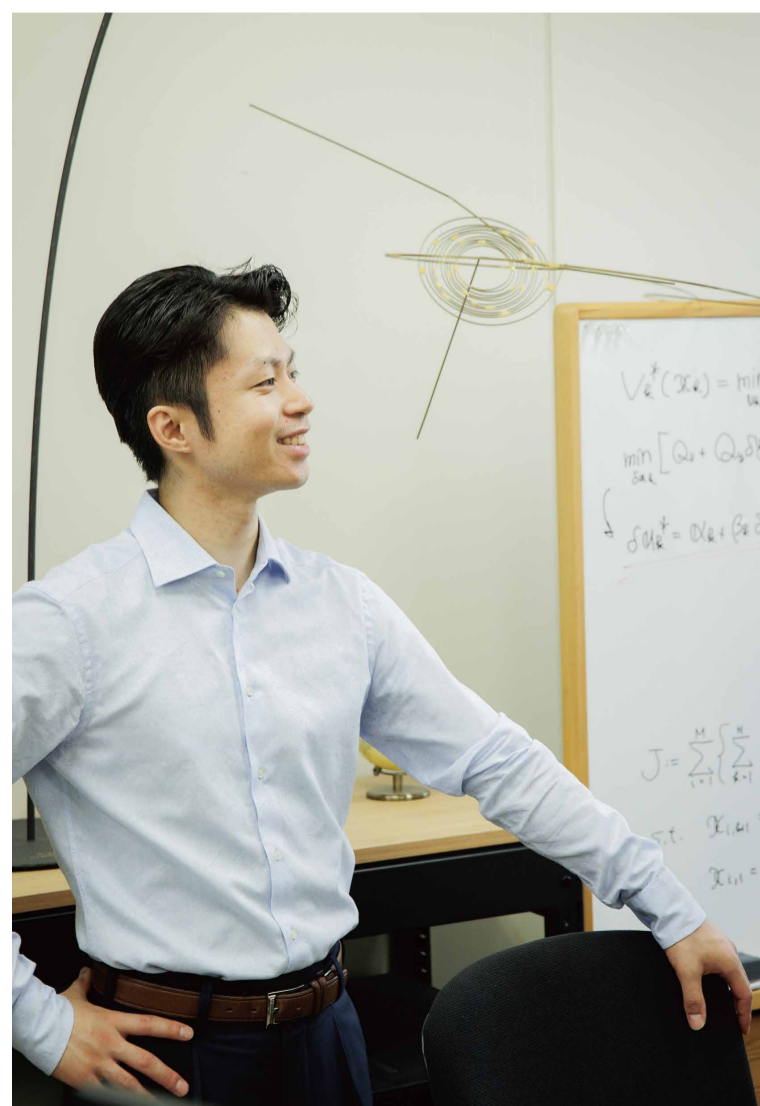
尾崎 ぜひ実現できたらいいなと。町田さんはこれからどんな道を歩んでいきたいと考えていますか？

町田 そうですね、私は研究者とアーティスト。ふたつの顔、その両輪を力強く回しながら、新しい価値を創造していきたいです。なぜならこのふたつは相互作用の関係にあって、実際に研究成果を出せば出すほど、自分の芸術創造が豊かになっていくことを感じています。例えばアーティストとして今までにない価値ある振付作品を作りたいというときには、いかに巨人の肩の上に立つのが重要で。つまり研究者としての学問を磨いていくことで、結果的にアーティストとしてのスイスポットが見えてくるんです。

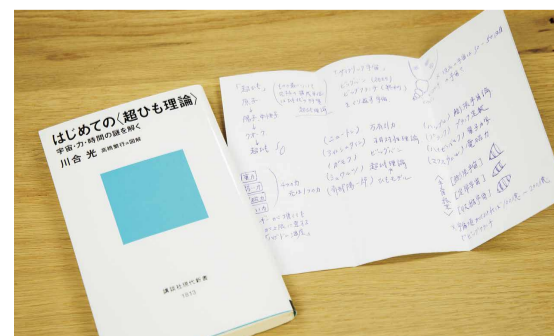
尾崎 わかるような気がします。僕自身、アカデミアとエンジニアの相互作用のなかで最先端の研究をしながら、最先端の科学技術も探究しています。確かに両輪あってこそ、可能性が広がっています。

町田 お互いふたつの顔をスイッチングしながら新しい価値を創造したいですね。

対談の拡大版はこちら



町田さんの著書、左から「若きアスリートへの手紙——(競技する身体)の哲学」(山と溪谷社)「アーティストックスポーツ研究序説:フィギュアスケートを基軸とした創造と享受の文化論」(白水社刊)「フィギュアスケートと音楽:さあ、氷上芸術の世界へ」(音楽之友社刊)。



宇宙好きで、宇宙関連の本もよく読むという町田さん。川合光の「はじめての(超ひも理論)」(講談社刊)と、本からの解釈を自分の中に落とし込むための直筆のメモ。

スポーツ科学者・振付家
町田 樹
MACHIDA Tatsuki

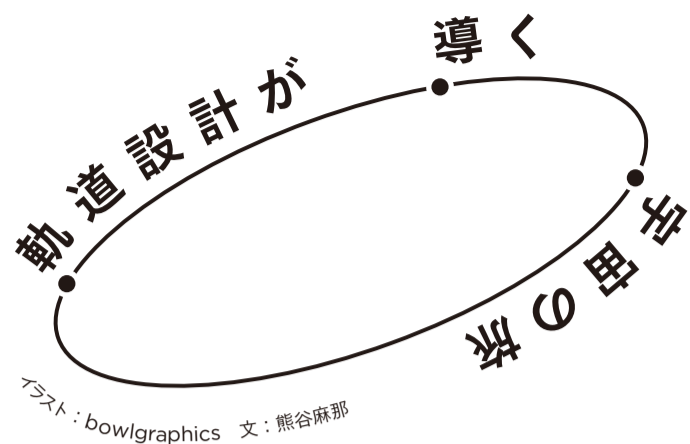
1990年生まれ。スポーツ科学研究者。振付家。現在、國學院大学人間開発学部助教。2020年3月、博士(スポーツ科学)を取得。専門は、スポーツ&アーツマネジメント、身体芸術論。主著に、「若きアスリートへの手紙」(山と溪谷社、2022年)等がある。大の宇宙フリーク。

JAXA宇宙科学研究所
准教授
DESTINY+
プロジェクトチーム
尾崎直哉
OZAKI Naoya

兵庫県出身。大学院時代に、世界初の超小型深宇宙探査機PROCYON(プロキオン)の開発に携わり、宇宙工学分野にのめり込む。ESA・NASAでの武者修行を経て、JAXAにてDESTINY+、MMX等の数多くの深宇宙探査ミッションの軌道設計に携わる。エレキギターを趣味としており、JAXAのイベントで演奏することも。



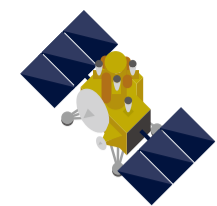
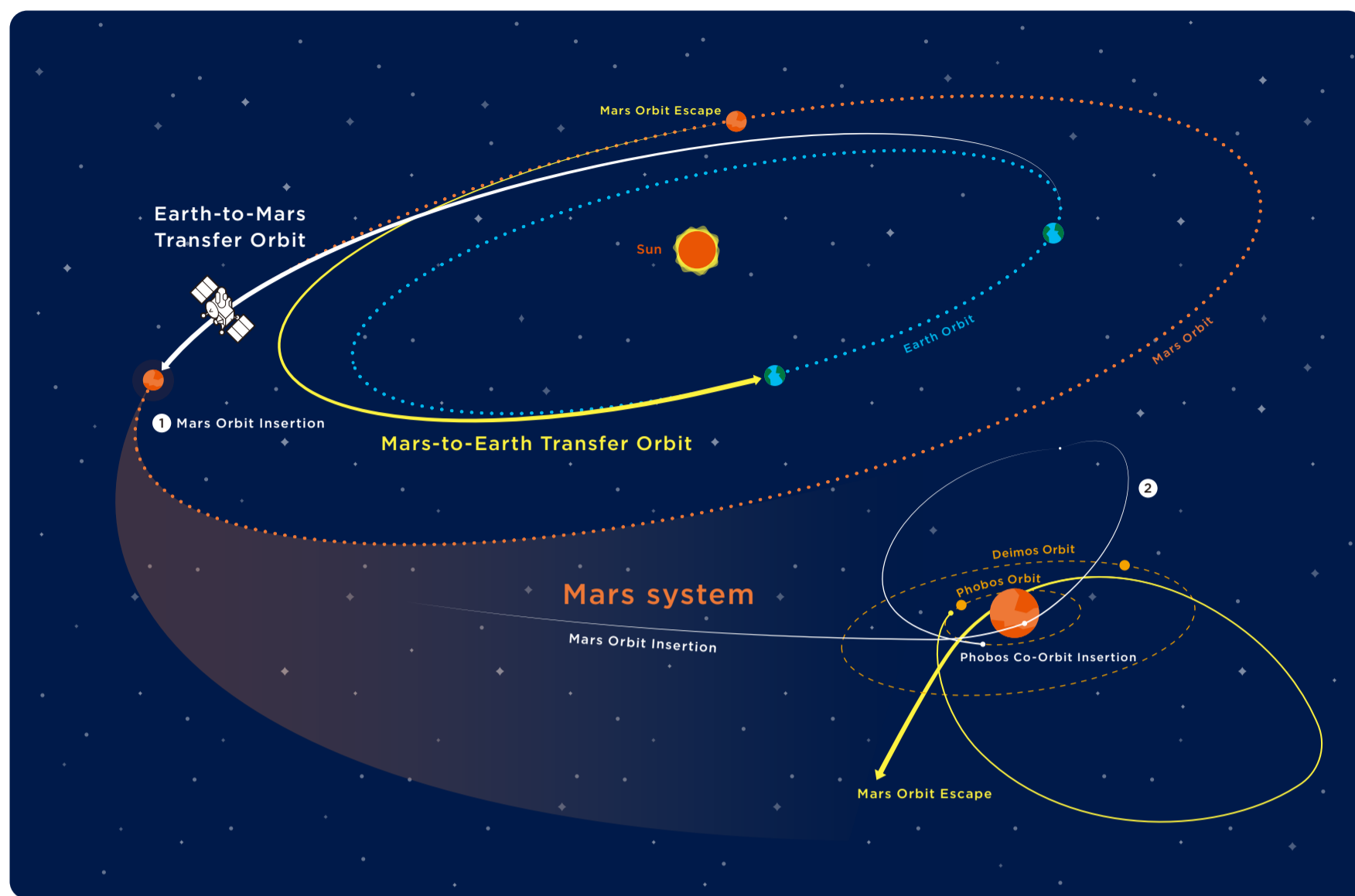
相模原キャンパス内にある展示館(宇宙科学探査交流棟)を見学するふたり。



火星の衛星、月、小惑星。より深く宇宙を理解するため、JAXAは宇宙探査に挑んでいる。そこで最初に必要になるのが「軌道設計」だ。目標となる天体への道筋を、数式やプログラミングによって導き出す。天体の重力が影響し合う宇宙空間のなかで科学的要求や技術的な条件を満たす、3つのプロジェクトの軌道。そこから見つめる、研究者たちの意図や思い。

$$F=ma$$

軌道設計を行う上で欠かせない、ニュートン運動方程式。「目標天体に到着する」とは探査機と天体の位置を合わせ、適切な速度にすること。各天体の重力や太陽光からの圧力などから探査機が受ける力(F)と探査機の質量(m)から加速度(a)を求め、それを積分することで探査機の位置と速度を求める。必要となる速度変化を計算しつつ、探査機の性能や打ち上げ時期等が検討され、具体的な軌道は決まってくる。



火星衛星 フォボスへ

火星衛星探査計画MMX
火星にある二つの衛星「フォボス」と「ダイモス」の観測、さらにフォボスへ着陸し、試料を地球に持ち帰る世界初のミッション。試料からはフォボスや火星の起源、さらに太陽系惑星の進化プロセス解明の鍵まで得ることが期待される。2024年度打ち上げ予定。

地球―火星間の往復。 重力の小さな火星の衛星への旅路。

地 球に月があるように、火星には二つの衛星が存在する。そのうちのひとつが火星衛星探査計画MMXの着陸目標天体で、火星のより近くをまわる衛星「フォボス」だ。フォボスには、隕石が火星に衝突した時に吹き飛ばされた火星表面の鉱物や岩石が、多く降り積もっていると考えられている。つまりフォボスの試料を持ち帰ることができれば、フォボスだけでなく火星の試料も得ることができるのだ。

JAXAでは火星の周回軌道に探査機を投入することや、月以外の衛星を探索することも今回が初となるが、「目標天体がフォボスであるということ、軌道設計の難しさがあります」と、担当した池田人は語る。「例えば地球の衛星である月には、月を中心として探査機が安定してまわる軌道があります。月の観測を行うには、そこに探査機を投入すればいい。しかしフォボスにはそういった軌道がありません。フォボスの重力が弱いので、探査機は火星の重力に支配されてしまいます。MMXは地球を出発すると、惑星間を航行する軌道を経て、火星をまわる軌道に入ります。そこから、フォボスを周回する軌道に入ることができないので、火星をフォボスとともに周回するように調整を行います(②)。そうすることで、フォボスを赤道面付近の全方向から観測します。同じ軌道にいながら目標天体を擬似的に周回する特殊な例で、擬周回軌道(QSO)と呼ばれています」

池田は探査機が打ち上げられた後、探査機がどこをどのように航行しているのかを定める「軌道決定」も担当。地上からの電波計測や探査機に搭載されたカメラ、レーザー高度計などによって得られるデータを元に、探査機が運動した軌道を求め、もし予定していた軌道からずれていた場合には修正を行う。「軌道は、実際に宇宙空間で運用してみると、計画からのずれがあります。試算を念入りに重ねても、いろいろな誤差(モデルの誤差、軌道制御時の誤差など)の影響で当初の設計からずれてしまいます。実際に運用し、そこから得られる、自然や物理現象と対峙している実感は、私のやりがいにもつながっています。私にとって「よい軌道」とは、探査機が安全に運用できる軌道です。2024年度に打ち上げられ、2029年度(いずれも予定)に帰還するMMXが、最後まで旅路を全うできるよう支えていきたいと思っています」



研究開発部門 第一研究ユニット 池田人 IKEDA Hitoshi
鹿児島県出身。探査機の軌道推定、天体の重力場解析、宇宙機の軌道力学系運用、運用設計等に従事。趣味はサッカー観戦。アビスパ福岡のファン。



小型月着陸実証機SLIM
SLIMは、将来の月惑星探査に必要な目標地点へのピンポイント着陸を小型探査機で実証するプロジェクト。2023年9月7日、H-IIAロケット47号機で打ち上げられた。月のクレータの斜面に100m以内の精度で着陸し、月内部から噴出したと考えられる岩石を観測するミッションなどを行う。



研究開発部門 第一研究ユニット 研究領域主幹 植田聡史 UEDA Satoshi
大阪府出身。研究開発部門で航法誘導制御・軌道力学分野の技術グループを統括。SLIMプロジェクトでは、着陸降下のための誘導アルゴリズムを大学研究者と共に考案した。社内のラグビーチームで楯円球の力学を探索していた。最近ではジョギングしながら史跡めぐっている。



宇宙科学研究所 深宇宙追跡技術グループ 杉本理英 SUGIMOTO Yoshihide
福岡県出身。軌道力学分野を専門とし、深宇宙追跡技術グループで探査機の軌道決定や地上系の検討に従事。SLIMプロジェクトでは、軌道設計・軌道決定等に携わる。SF物の映画や海外ドラマを見ることが日ごろの楽しみで、アメコミヒーローのような体を目指して肉体的改造中。

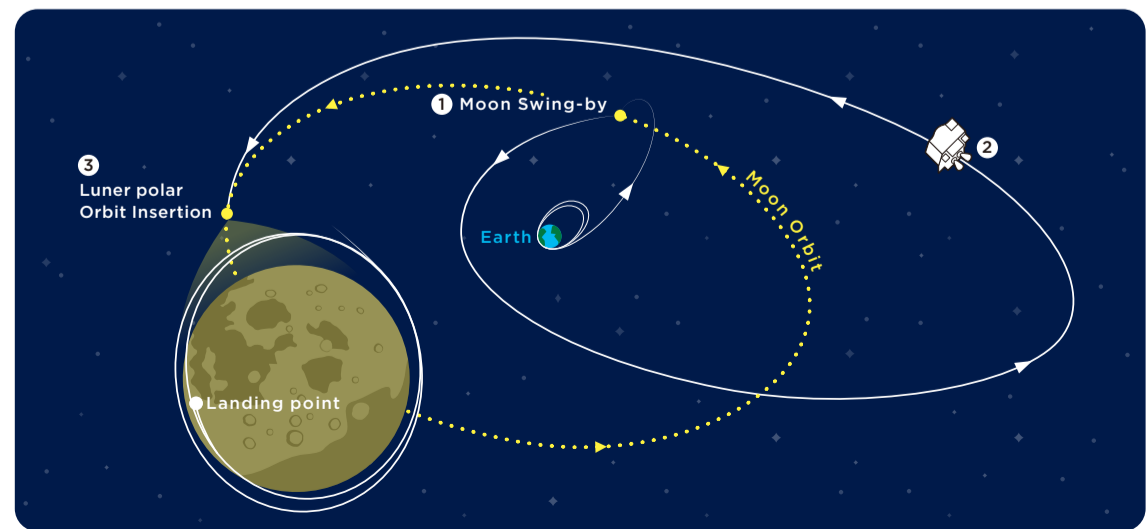
あえて遠回りする航行で、自然の物理法則を活用する。

今 月惑星探査は「降りやすいところに降りる」から「降りたいところに降りる」へと変化しようとしている。SLIMは第一歩として、月面への高精度なピンポイント着陸を試みる。月到達までの軌道設計を担当する杉本理英は、月惑星探査ミッションを「探検」だと表現する。「限られたリソースのなかで未開発の場所に行き、探索するのが月惑星探査ミッション。その道筋を描き、探検を実現させるのが軌道設計です」

SLIMで設計されたのは、月に一直線に向かうのではなく、月軌道の外側を遠回りするという軌道だ。「SLIMでは太陽の重力と月の重力、それぞれを有効活用することで月軌道に到達します。まず地球から月付近まで向かい、月の重力を活用してスイングバイ(※1)。月軌道の外側にSLIMを飛ばします(①)。月軌道の外側では太陽の重力を大きく受けるのでその力に引っ張ってもらい、どんどん軌道を膨らませる(②)。そして月と再会時の速度差を小さくすることで、エネルギーを節約して月軌道への投入を試みる(③)。できるだけ自然の物理を利用し、消費する燃料をできるだけ少なくしています」

月軌道に辿り着くと、次に求められるのは精度の高い着陸だ。アポロ計画等の月着陸の精度は目標地点から数km~10数kmだったが、SLIMでは、目標地点100m以内に着陸することを目指す。そのプロセスを、着陸降下軌道をふくむ軌道設計全体を取りまとめる植田聡史が説明する。「ピンポイント着陸では、月上空で探査機自身が自分の位置や向きを正確に把握する必要があります。しかし月にはカーナビもゲグレマップもありません。そこで取り入れたのは、月面の写真を撮り、そこに写るクレータから位置を見出す手法です。クレータは過去の観測から月面上の位置が判明しているので、そのデータと照合し探査機の位置を推定します。そこから最適なルートを計算し、着陸するのです」

植田は続ける。「SLIMは、月面への高精度着陸技術を小型探査機で実証することをミッションとしています。しかしそれを満たしていたとしても、到着まであまりに時間がかかったり、着陸降下のための燃料が足りなくなったりすると、その軌道は使えません。一度遠回りをする軌道が、許容範囲かどうか見極めるのも軌道設計の役割なんです。私たちは月への探検を生身で感じることができませんが、SLIMから受け取るデータや月面写真から、その感動をともにしたいと思っています」



小惑星 1998 KY26/ 2001 CC21へ

小惑星探査機「はやぶさ2」拡張ミッション「はやぶさ2#(シャープ)」
小惑星リュウグウの試料を地球に届けた後も航行を続けている小惑星探査機「はやぶさ2」。拡張ミッションとして、地球の公転軌道近くをまわる二つの小惑星「1998 KY26」「2001 CC21」の探査を目指す。最終目標の1998 KY26には、2031年に到着予定。

二つの小惑星に向かえば、より面白い。拡張ミッションならではの挑戦を実現する。

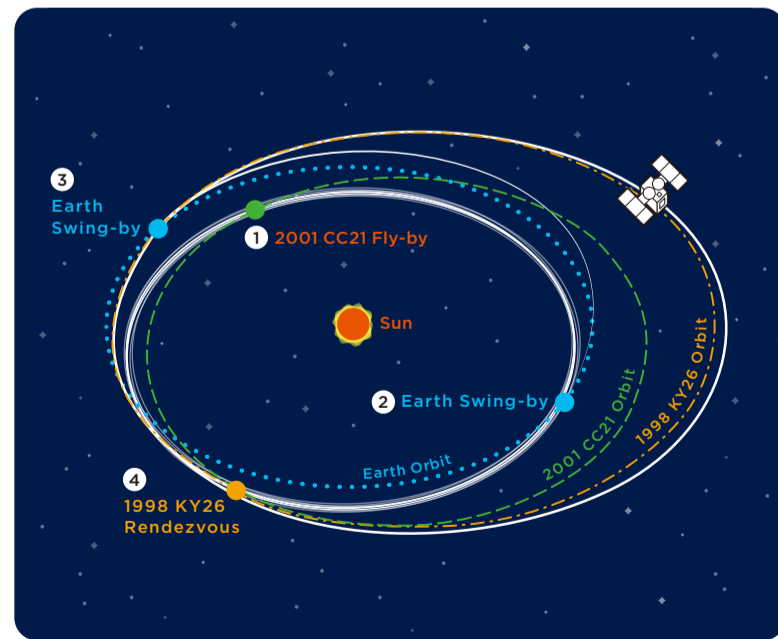
小 惑星探査機「はやぶさ2」は小惑星リュウグウの試料を地球に届けた後も航行を続け、「はやぶさ2#」として次の天体に向かっていく。「はやぶさ2#」で求められたのは、残された燃料のなかで、リュウグウ以外の天体にランデブー(※2)すること。その軌道設計は、向かう天体を決めるところから始まった。「軌道は、いきなり一本の線を通るわけではありません。まず軌道の大枠を見出すため、「ランペール問題」という太陽と地球の重力のみを考慮する簡易な式を用いました。その後、徐々に複雑な計算を行うことで、軌道の成立性を確認していきました」と、軌道設計を担う佐伯孝尚は語る。いくつかの解からさまざまなトレードオフを経て、最終的に採用されたのが、直径約30m程度の小惑星1998 KY26だ。

「目標が決まった後、せっかくならもう1つ天体に立ち寄り、と2つ目の天体の検討が始まりました。目標への軌道をよぎり、フライバイ(※3)できそうな天体を探していく。そうして、小惑星1998 KY26よりも内側を公転する小惑星2001 CC21に狙いが定まってきました。この軌道設計には、拡張ミッションだからこその難しさもあった。「通常は探査機をロケットで飛ばして適切なタイミングで軌道に入れるわけですが、今回は「はやぶさ2」がカプセルを分離した後に地球を脱出する軌道が初期値となるわけです。地球出発のタイミングと軌道を自由に選べないため、すぐに1998 KY26に向けて出発できるわけではなく、同じ軌道を長期間航行することで地球スイングバイをすることになりました。最終的に「はやぶさ2#」は、まず太陽の周りを6周半まわったのち、2026年に2001 CC21をフライバイ(①)。その後、太陽の周りを1周半してから地球スイングバイ(②)。さらに太陽の周りを半周したのちに地球スイングバイをもう一度する(③)ことで、ようやく1998 KY26に到達する(④)。実に10年半もの時間をかけて、ようやく目標にたどり着くのである。

軌道設計において人間の感覚は、軌道の妥当性の判断に出る、と佐伯は言う。「「はやぶさ2#」では立ち寄る小惑星が追加されたことで、フライバイ後の地球スイングバイの難易度がやや上がっています。軌道としては成立したが本当に実際の運用ができるか、チャレンジ精神と実現可能性のその按配を判断する。そこに軌道設計者の経験やセンスが表れるのではないかと思います」

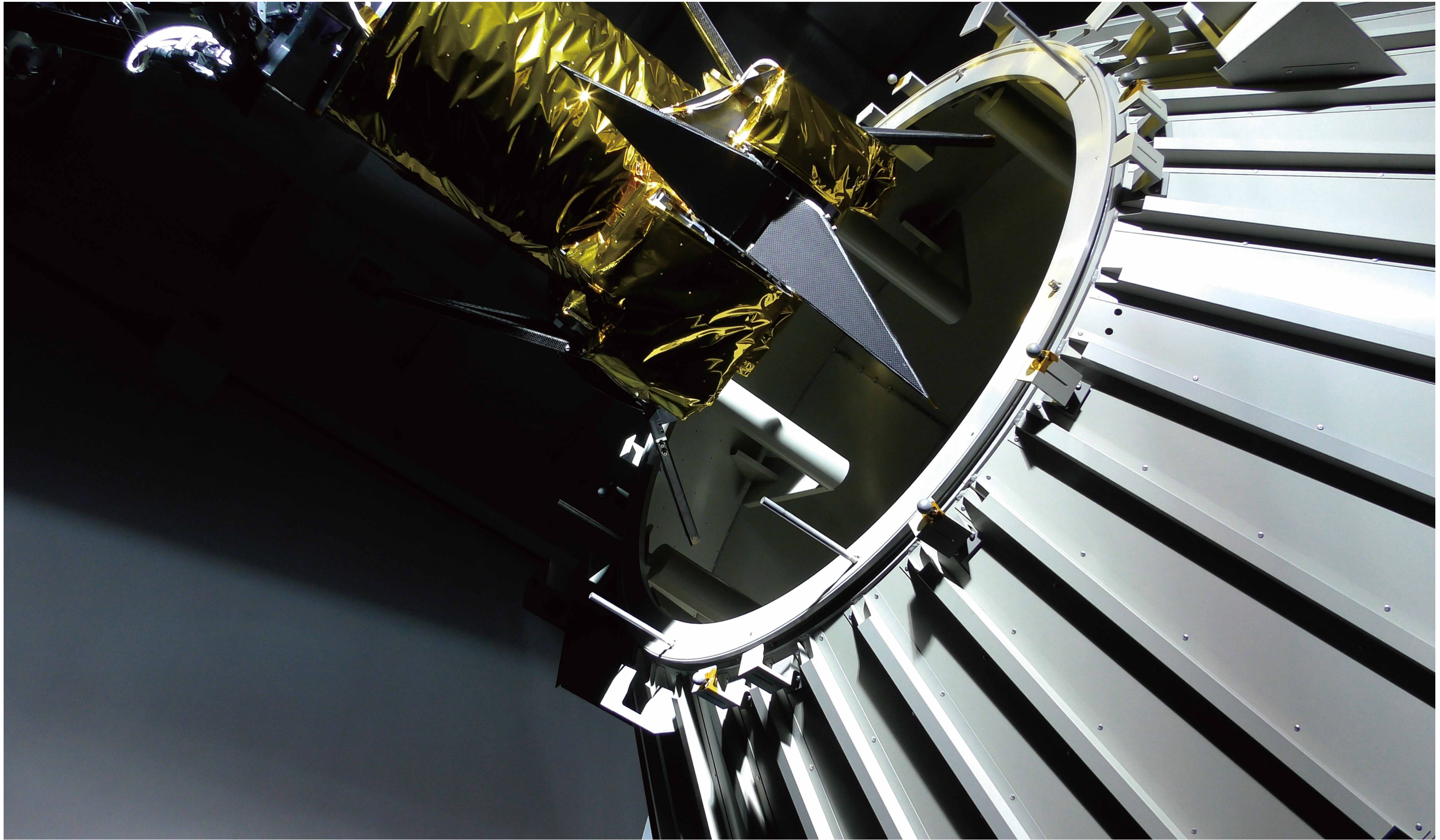


宇宙科学研究所 「はやぶさ2」プロジェクトエンジニア 佐伯孝尚 SAIKI Takanao
広島県出身。探査機システム、軌道・姿勢制御を専門とし、「はやぶさ2」の運用フェーズでは探査機システムを取りまとめるプロジェクトエンジニアに。子どもの頃の夢は宇宙飛行士。好きな食べ物はお好み焼き。野球では大の広島カープファン。



ウェブ版の記事はこちら

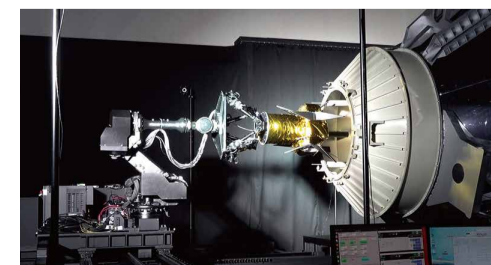
(※1)スイングバイ/天体の重力を使って軌道を曲げる(進行方向を変える)こと。(※2)ランデブー/探査機が目標の天体に速度を合わせ、同じ軌道を航行すること。(※3)フライバイ/探査機が天体の近くを通過するなかで、観測を行うこと。



CATCHING SPACE DEBRIS

スペースデブリを捕獲する

宇宙開発が進むにつれ、地球の周りには役目を終えたロケットや人工衛星、あるいはこれらから分離した破片といった「スペースデブリ(宇宙ゴミ)」が増加し、運用中の人工衛星への衝突の危険性などから課題となっている。上の写真は、大型デブリ除去に向けた試験の様子だ。金色に光る試験体(左)の爪が、デブリを模したパーツ(右)を「捕獲」しようとしている。デブリは正確な位置や運動の把握が難しく接近も容易ではないが、さらにJAXAはそれを捕らえようと試みる。対象への接近と接触を可能にするこの技術は、人工衛星の修理や燃料補給への将来的な応用も期待されている。



デブリ捕獲試験は、筑波宇宙センター内にある試験設備(軌道上サービス技術実証プラットフォーム/SATDyn)で行われている。大型デブリを模したパーツ(写真右)は4mの直径がある。

スペースデブリに関する
研究開発について、詳しくはこちら。



3 ドローンが街中を飛び回る時代を見据えて ドローン用の 低騒音プロペラを開発

航空技術部門



航空利用拡大イノベーション
特任担当役
嶋英志
SHIMADA Eiji

JAXAは、航空機用に開発した低騒音プロペラ「Loopprop」（ループプロップ）を、ドローンに応用するため、株式会社ACSLと共同開発を行ってきた。開発に携わる嶋英志が、この背景や内容について語る。

「現在、ドローンは物流や警備などさまざまな分野で利用されはじめ、今後は居住地に近い場所での飛行も増えていくと考えられます。その中で課題となるのがドローンのプロペラから発生する騒音。これを解決すべく、私たちは数年前から低騒音化の研究を行ってきました」

今回の共同開発におけるベースとなった「Loopprop」は、JAXAが航空機の低騒音化をめざして開発したループ状(8の字状)のプロペラだ。

「低騒音実現のポイントは、プロペラを大きく湾曲させたことにあります。これにより回転の際に周囲の空気とプロペラが穏やかに接するため、静音効果が発揮されます。しかし、一般的な航空機用の細長いプロペラを湾曲させた場合では、高速回転時に変形しやすく所定の性能を発揮できません。そこで独自の技術を用い、ループ状のプロペラを整形、これを構造的に成

立させた点がこの技術の特徴です」

JAXAは低騒音プロペラの設計には強みを持っていたが、ドローンへの応用経験はなかった。そこで「ドローンを設計する技術力」を持つACSLと連携することで、ドローンに適した低騒音プロペラの実現が可能になったのだ。

「今回の共同開発では、まずACSLのドローン用に、原型となるプロペラの形状パラメータを忠実に模倣したLooppropを作成しました。しかし、期待していた性能は得られませんでした。細く軽くできるという利点を持つLoopprop形状ですが、その細さゆえに柔らかくなってしまったのです」

嶋たちはその後も検討を続けた。「第2回試作は、Looppropを太めに修正するとともに、設計理論も改良し、結果として良い性能が得られました」

コストやスケジュールの制約の中での改良は、神経をすり減らすものだったと嶋は振り返る。そして、今後の展開についての期待を語った。



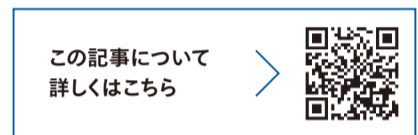
©JAXA/ACSL



©JAXA/ACSL

上: 低騒音プロペラ「Loopprop for SOTEN」(試作品)
下: 低騒音プロペラを搭載したドローン「SOTEN(蒼天)」

「この技術は一般的な材料で制作できるので、ドローンだけでなくプロペラが使われるあらゆる場面で利用できます。例えば空飛ぶクルマなど、今後、広く活用いただきたいですね」



長野にある美笹深宇宙探査用地上局(以下、美笹局)は、JAXAや海外の深宇宙(地球からの距離が200万km以上である宇宙)探査機と通信を行う施設だ。この美笹局において、信頼性や運用性の向上をめざし、設備や機能の追加が進められた。そして、それらの機能を確認するための総合試験(インテグレーション試験)がスタート。この内容について、試験全体をとりまとめる湯地恒次

「美笹局では、2021年から冗長系開発整備を行ってきました。冗長系とは、美笹局の不具合が出やすい、あるいは不具合があると探査機ミッションに大きな障害が発生しかねない部分に対し、故障が生じても困らないような仕組みのことです。

2023年5月に各開発メーカーによる整備が完了したことを受け、設備や機能の追加を行った部分について、システム全体とうまく整合しているかなどを検証する総合的な試験を、JAXA主体で2023年6月から行っています」

そのなかで2023年7月19日に実施されたのが、水星表面探査機MPOからのデータ受信試験だ。

「MPOはESA(ヨーロッパ宇宙機関)の水星探査を目的とした探査機で、ESAが有するアンテナに加えて、美笹局等のアンテナと通信し、さまざまな情報をやり取りしながら航行しています。その通信において使われるのがX帯(8GHz帯)とKa帯(32GHz帯)という周波数の電波になります。今回の試験ではX帯とKa帯の同時



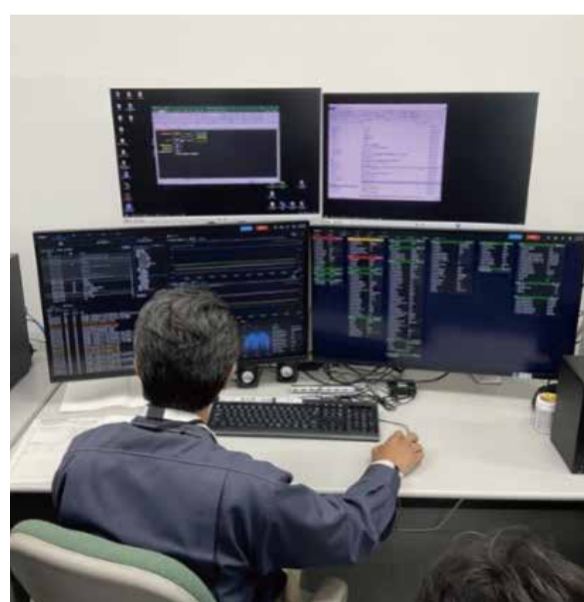
美笹深宇宙探査用地上局のアンテナ(口径54m)

受信に挑戦し、JAXAのアンテナとして初めてこれに成功しました」

X帯とKa帯の周波数は、小惑星探査機「はやぶさ2」や、開発中の火星衛星探査機「MMX」にも採用されている。つまり、ふたつの周波数を同時に受信できることは今後の深宇宙探査において非常に重要な意味を持つのだ。

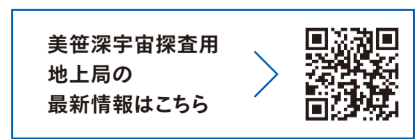
「Ka帯は、X帯の約2.5倍のデータを探査機が伝送できる周波数です。2種類の電波を同時に受信することができるようになれば、詳細な観測データや高解像度の画像などでもスピード感のあるやり取りが可能になり、探査機の成果創出の拡大につながることで期待されます」

最後に、今後の冗長系開発整備についての意気込みを聞くと湯地はこう答えた。「総合試験の後は、運用体制を含めて、実際の探査機運用を模倣した試行運用



水星表面探査機MPOからの電波受信時の運用風景

フェーズに入ります。試験では、いろいろなことが起こるものですが、一つひとつ確実に対処していきたいと思っています」



4 探査機から、2種類の電波の 同時受信に成功

美笹局が総合試験を実施

追跡ネットワーク
技術センター



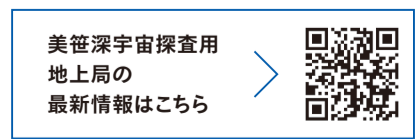
美笹深宇宙探査用地上局
冗長系開発整備部門内プロジェクトチーム 研究開発員
湯地恒次
YUCHI Koji

受信に挑戦し、JAXAのアンテナとして初めてこれに成功しました」

X帯とKa帯の周波数は、小惑星探査機「はやぶさ2」や、開発中の火星衛星探査機「MMX」にも採用されている。つまり、ふたつの周波数を同時に受信できることは今後の深宇宙探査において非常に重要な意味を持つのだ。

「Ka帯は、X帯の約2.5倍のデータを探査機が伝送できる周波数です。2種類の電波を同時に受信することができるようになれば、詳細な観測データや高解像度の画像などでもスピード感のあるやり取りが可能になり、探査機の成果創出の拡大につながることで期待されます」

最後に、今後の冗長系開発整備についての意気込みを聞くと湯地はこう答えた。「総合試験の後は、運用体制を含めて、実際の探査機運用を模倣した試行運用



5 SARデータの軌道上での 画像化に成功

軌道上画像化装置FLIP

研究開発部門



システム技術ユニット
研究領域主幹
小澤悟
OZAWA Satoru

研究開発部門では、SAR衛星が地球観測を行う際に、衛星自身が軌道上でデータを画像化する技術を研究している。そしてこの研究において、企

業と協力して軌道上での実証実験を実施し、成功した。この技術開発に取り組む小澤悟が研究内容や成果を語る。

「2023年6月13日、JAXAとアルウェッ



実験で取得した画像(羽田空港付近)

JAXAと国土交通省国土地理院は、測位衛星の正確な軌道情報を算出するための協力体制を構築した。そしてこのたび、この協力体制のもと算出した軌道情報の品質が、IGS(衛星測位に関する国際組織)に認められ、測位衛星の軌道情報の公開を開始した。衛星測位システム技術ユニットの秋山恭平は、この取り組みについてこう語る。

「衛星の軌道情報とは、人工衛星がどこを飛んでいるかという情報です。米国のGPSや日本の準天頂衛星「みちびき」をはじめとする測位衛星は、衛星自身の位置が正確にわかるほど、その信号を使って計算した地球上の位置(受信機の位置)が正確にわかります。だからこそ、衛星自身の位置、すなわち軌道情報の精度を上げることに取り組んできました」

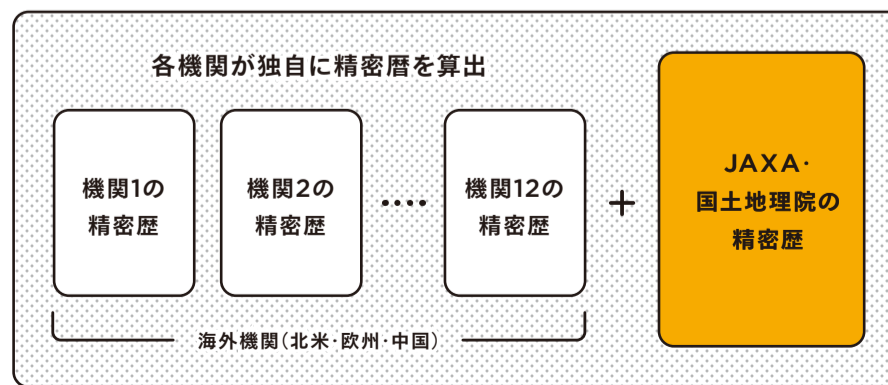
この衛星の軌道情報は「暦(れき)」と呼

び、精度の高い暦を「精密暦」という。測位衛星の精密暦のなかで、現在最も精度が高いとされているのが、IGSが算出する「IGS暦」だ。

「IGS暦は、世界各国の機関が算出した精密暦をIGSが統合処理して算出します。極めて精度が高いため、例えば地球上の位置の基準となる情報の算出や、地殻変動の観測などに用いられています。つまり地震の多い日本では、非常に重要な役割を持っているのです」

このIGS暦において、日本はこれまで必要な際に「利用する立場」だった。しかし今回、日本の精密暦の品質がIGSに認められ、IGS暦算出のために日本の精密暦を提供できる「算出に貢献する立場」になった。

「日本の精密暦は、JAXAが2011年から開発してきた、軌道解析ソフトウェア



IGS暦が算出される仕組み

6 JAXAと国土地理院が連携 高精度な軌道情報の 提供を通じた測位基盤の強化へ

第一宇宙技術部門



衛星測位システム技術ユニット
主任研究開発員
秋山恭平
AKIYAMA Kyohi

「MADCOCA」を用いて国土地理院が計算し、その結果に基づいてJAXAがMADCOCAを改良することで運用されています。その算出は非常に精密で、地球・太陽・月などの重力はもちろん、太陽の光

の圧力や、地球に照り返された太陽光による圧力など、衛星に加わるあらゆる力を考慮する必要があります。この精細な計算を積み重ね、改良を繰り返すことで、ようやくIGS暦に活用される精度を得ました」

これにより日本は、測位衛星の軌道情報に基づく地球上の位置の基準を、海外に依存せず、自律的・安定的に維持・管理できる見込みとなった。

「測位衛星は社会インフラだと思いますので、今後も軌道情報の精度に磨きをかけていけたらと思います」



地球の視座で
宇宙を見る

極地編



南極昭和基地とオーロラ

宇宙につながる極地、 その窓としてのオーロラ

宇宙と地球は、なめらかにつながっている。地上から高度を上げると、少しずつ大気は薄くなり、空から宇宙へと変化する。JAXAが「宇宙から」科学を進める一方で、その視線と交差するように「地上から」宇宙を探求するのが、国立極地研究所（以下、極地研）だ。そこでオーロラを研究する片岡龍峰さん（宙空圏研究グループ・准教授）に話を伺い、宇宙と地球の関係性を見つめる。

写真提供：国立極地研究所 取材・文：熊谷麻那

極地研は、極地（南極・北極）をフィールドに生物や地質、大気、海洋などの視点から総合的に科学する研究所だ。南極では、地下に眠る100万年前の氷床や宇宙から降ってきた隕石の調査を行い、

北極では主に海水などの調査を行っている。「極地は地球だけではなく、宇宙にも深くつながっています」。そう話す片岡さんは、極地研に所属し北極圏での観測等を通して、オーロラや宇宙天気予報を

専門に研究している。「なかでもオーロラは、地球と宇宙との関係性を目に見えるかたちで、私たちに知らせてくれる窓のような存在です。オーロラを知ると、宇宙と地球、そして生命を知ることにもつながっていきます」

3つの物理が複雑に絡み合う現象

オーロラといえば、緑や赤に揺らめく姿をイメージできるものの、その正体は何か？と尋ねられると説明できる人は少ない。「科学においても発生メカニズムを十分に説明できないのが現状です。オーロラは物理学でいうと、量子・流体・電磁気という3つの視点が絡み合う、非常に複雑な現象なんです」

では、何がオーロラを光らせているのか？この問いには100年前に解が出ているという。「光の正体は、地球の大気に含まれる酸素です。高山に登れば酸素が薄くなるように、高度が上がるほど酸素は薄くなります。オーロラが発生する高度100～500kmあたりはほとんど真空状態で、酸素原子

が孤独に浮遊しています。そこで宇宙からのエネルギーを酸素が受けると、そのエネルギーを一身に溜め込むことになり、『励起』と呼ばれる興奮状態が起こる。そこから元の安定した（基底）状態に戻ろうと、発散するのがオーロラの光なんです。極めて小さな量子的な視点から、その発光は説明できます」。すると、次の疑問が湧いてくる。酸素が受けたエネルギーは一体なんだろうか？「それは、宇宙から飛び込んでくる10億kW（キロワット）の強力な電流です。これは約25万世帯が1年で消費する電力に相当しますから、途方もない電力ですよね。では、この電流を生み出しているのはどこか。これが電磁気的な視点で、太陽から吹き出すプラズマの流れ『太陽風』と、地球の持つ磁場『地磁気』が関係しています。そのふたつが作用し合うことで電気を生み出しているのです」

オーロラは発生すると、北極・南極それぞれに冠のような「輪」をなす。その輪は、少し歪な形をしていることから「オーロラオーバル」と呼ばれている。「オーロラのマクロな全体像、特に爆発的に変化する激しい変化などは、JAXAが運用するジオスペース探査衛星『あらせ』やスーパーコンピュータのシミュレーションなどから、解明されてきた部分も多くあります。一方で、ミクロな視点で見ると、なぜオーロラが波を打ち、点滅し、ゆらゆらと形が崩れ、また元に戻るというような複雑な動きができるのか。そういった流体的なメカニズムやオーロラが織りなす細かな構造については、まだ謎が多いんです」

オーロラの輪から見渡すこれから

オーロラオーバルの全体像は、基本的なことでもまだわからないことがたくさんある。特に、輪の内側に現れるさまざまなタイプの暗いオーロラの形状や動きについては、地上からの高精細なオーロラ撮影画像が圧倒的に不足しているために理解が進んでいない。そこで今、片岡さんが取り組むのは「極冠域から探る宇宙環境変動と地球大気への影響」を観測課題とする、通称「オーロラXプロジェクト」。オーロラオーバルの内側に位置する日本の南極観測基地「ドームふじII」や各国の観測基地に小型カメラを設置することで、国際協力によって内側全体を埋め尽くすようなオーロラ観測ネットワークをつくり、広く高精細なオーロラの撮影を試みる計画だ。「まだオーロラオーバルの内側の本来の姿を見た人はいません。その姿の全体像が高精細に可視化できたとき、これまでの常識は変わっていくでしょう」

プロジェクトの拠点となる「ドームふじII」には、JAXAが開発に携わった「南極移動基地ユニット」がある。電気も通信もない冬季の観測に備え、片岡さんは風力発電装置を開発中だ。「10億kWで光るオーロラに対して、カメラに必要なのはたった5W。氷点下80度にもなる極限環境で、その電力を生み出すのがものすごく大変です。試行錯誤を重ね、今年中には1号機がやっと完成予定です。それを南極移動基地ユニットのまわりに展開して風力発電の性能試験、来年度には、その電力を使ってオーロラ撮影をするのが目標です」

現在アメリカを中心として、火星に人類が降り立つことを見据えた計画が進められているなか、「オーロラオーバルの内側の環境は、実は火星と似ているんです」と片岡さんは語る。「火星は大気が薄く磁場もないので、太陽からやってくる放射線の影響をそのまま受け取り、被ばくする危険があります。オーロラオーバル内部も同じように、日本などの低緯度地域を守るように覆う磁場（双極子磁場）がなく、そのまま宇宙空間にひらかれている。宇宙からの影響をダイレクトに受けるような無防備な状態なん

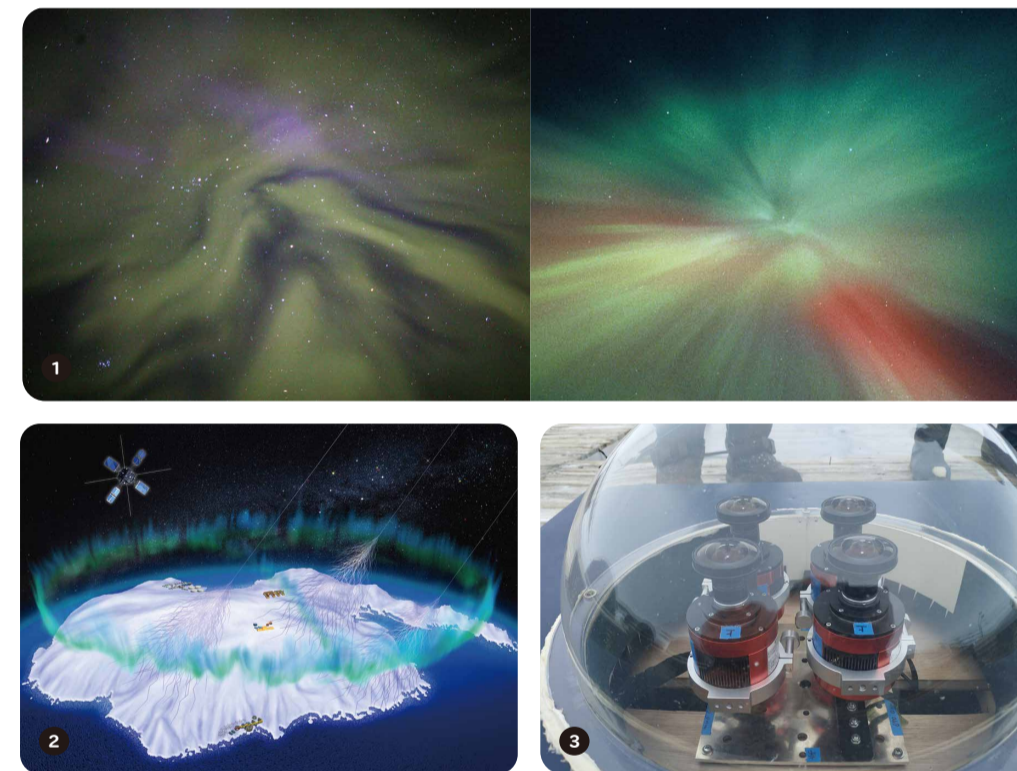
ですね。そんな環境下では、生命は宇宙からどんな影響を受けるのか。あるいは、地球はどのように宇宙と接続しているのか。オーロラ研究は、そういった疑問を解く鍵にもなります。極地での研究モデルが他の星を理解する土台にもつながっていくんです」

宇宙と地球。その曖昧な境界に現れるオーロラは、宇宙と地球を理解するヒントを私たちに見せてくれている。



国立極地研究所
宙空圏研究グループ・准教授
片岡龍峰
KATAOKA Ryuho

宮城県仙台市出身。専門は、オーロラと宇宙天気予報。著書に『オーロラ』、『宇宙災害』、『日本に現れたオーロラの謎』、絵本『オーロラみつけた』などがある。覚えたスキルを活かして、そのうち自宅にも風力発電とカメラをつけてみようと思っている。



① オーロラにはよく知られたカーテンのような形だけでなく、数秒周期で明滅するような脈動オーロラ（左）やコロナ状オーロラ（右）などがあり、光を発する高度によって色も変化する。② オーロラXプロジェクトの模式図。オーロラオーバルは、南極大陸を囲うように輪をついている。（イラスト：木下真一郎）③ オーロラXプロジェクトに向けて、第64次南極地域観測隊が試験運用中の新型オーロラ観測カメラ。

極地研とJAXAが関連する取り組み



南極移動基地ユニット

過酷な自然環境のなかで行われる南極観測。それを支える施設のひとつが、極地研・JAXA・ミサワホーム株式会社とで共同開発した「南極移動基地ユニット」だ。南極の自然環境に耐える丈夫さ、建築の専門家ではない隊員も簡単に施工できる仕組みは、将来の月拠点にも通じている。



北極圏の海水・氷床を連携し監視する

地球温暖化の進行をもっとも感じやすい場所のひとつが、北極圏内にある北極海やグリーンランドだ。極地研とJAXAは「北極域研究加速プロジェクト（ArCs II）」等のもとで連携し、北極圏の海水や氷床を、水循環変動観測衛星「しずく」や気候変動観測衛星「しきさい」の観測データ等から監視や解析を行う。画像は2020年9月13日「しずく」が観測した北極の海水分布。衛星観測史上2番目に小さい海水面積を示した。



南極観測船「しらせ」の航路選択

極地研が南極観測を行う際に日本と南極を結ぶ、南極観測船「しらせ」。海水を砕きながら進む「しらせ」の航路選択には、陸域観測技術衛星2号「だいち2号」や水循環変動観測衛星「しずく」の観測データが活用される。高度な解析から海水の状況を識別することで南極観測を支える。



小惑星リュウグウの試料を用いた研究

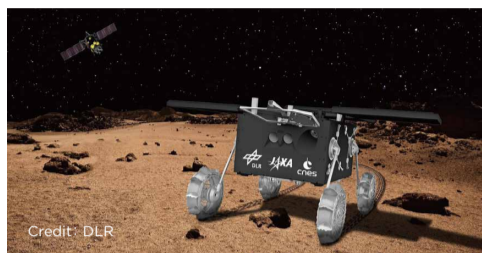
小惑星探査機「はやぶさ2」が採取した小惑星リュウグウの試料は、極地研でも分析が行われ、リュウグウの形成過程を明らかにしてきた。極地研には南極で採取した約17,000個もの隕石があり、その中にはリュウグウの試料に似た隕石（写真の「Yamato 980115」など）もあることから、今後は双方を比較研究することでさまざまな謎の解明に繋がることが期待されている。

6 JUNE TOPICS

- 16 JAXA、油井亀美也宇宙飛行士を2024年頃の国際宇宙ステーション(ISS)長期滞在搭乗員に指名①
- 20 JAXA、ドイツ宇宙航空センター(DLR)、フランス国立宇宙研究センター(CNES)、火星衛星探査機(MMX)に搭載される小型ローバーに関する三者間協力覚書を締結②
- 29 宇宙旅行ビジネスを目指す米Virgin Galactic社、サブオービタル往還機VSS Unityにて初の商業有人宇宙飛行に成功



油井宇宙飛行士



小型ローバーIDEFIXのCG

8 AUGUST TOPICS

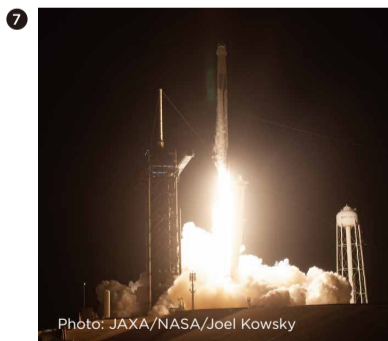
- 8 JAXA、東海クラリオン株式会社、株式会社アジア・テクノロジー・インダストリー、既存の車に自動運転機能を組み込むことができるシステム「YADOCAR-iドライブ」に関する共創活動を開始。JAXAの衛星測位技術を活かしたシステムの高度化をめざす
- 12 のしろ銀河フェスティバル、JAXA能代ロケット実験場/サイエンスパーク・能代市子ども館/能代エナジウムパーク/能代宇宙広場などで開催。宇宙に関する講演やVTuberとのイベントを実施
- 19 美笹深宇宙探査用地上局の特別公開を実施。アンテナの内部を初めて公開⑤
- 23 インド宇宙研究機関(ISRO)の月探査ミッションChandrayaan-3、インド初の月面着陸に成功⑥
- 26 古川聡宇宙飛行士が搭乗するクルードラゴン宇宙船(Crew-7)、打ち上げ成功(26日)。翌27日にISSに到着し、自身2回目となる長期滞在を開始⑦



口径54mのアンテナ



Chandrayaan-3が撮影した月面の様子



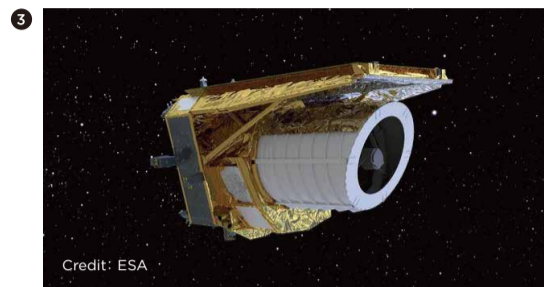
左: Crew-7打ち上げの様子



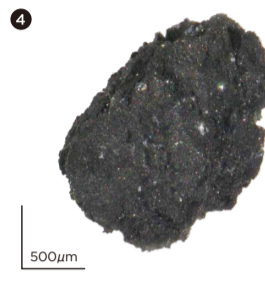
右: ISS到着後の古川宇宙飛行士(前列一番右)(28日撮影)

7 JULY TOPICS

- 1 欧州宇宙機関(ESA)の宇宙望遠鏡Euclid、米SpaceX社のファルコン9ロケットに搭載され打ち上げ。暗黒宇宙の構造と進化などを調査するミッションを開始③
- 14 イプシロンSロケット、第2段モータ地上燃焼試験で爆発・火災事故が発生
- 21 小惑星探査機「はやぶさ2」が小惑星リュウグウから採取した試料の、第3回試料研究公募における選定結果を公開。17件を採択し、23の新規試料の配布を選定④



宇宙望遠鏡EuclidイメージCG



リュウグウの試料のひとつ

NEWS HEADLINES 宇宙と航空にまつわる世界のニュース

宇宙開発や天文、最新の研究など、宇宙と航空に関する4ヵ月間のトピックスをご紹介します

*海外のニュースは現地の日付、ISSでのニュースは日本の日付

- 🇯🇵 ... 日本
- 🌐 ... 海外
- 🇯🇵 ... JAXA

9 SEPTEMBER TOPICS

- 7 X線分光撮像衛星(XRISM)と小型月着陸実証機(SLIM)、H-IIAロケット47号機にて打ち上げ。XRISMは天体の進化の解明を、SLIMは月面へのピンポイント着陸をめざす⑧
- 10 角田宇宙センター、4年ぶりに入場制限なしの一般公開。職員による講演のほか、工作や謎解きゲームなどのイベントを実施



XRISM、SLIMのイメージCG



www.jaxa.jp @JAXA_jp jaxachannel facebook.com/jaxa.jp



例えば旅行の計画をたてる時、「どうやって行こうか」とルートを考えるのは楽しいし、その過程で行った気になったりする。きっと探査機の軌道の設計者は「ここで太陽を何周まわって、地球をスイングバイして…」などと、自分も探査機になった気分で目標天体までのルートを描いているのだろう。その気分は専門的な知識がなくても、例えば軌道図の線を指でなぞってみただけでもフィジカルに味わえる。何万、何億キロをクルクルまわりながら(なぞりながら)、探査機と一緒に旅する宇宙はいかがでしょうか。(JAXA's担当 中島史朗/広報部)

発行責任者: 佐々木薫(JAXA広報部長) ディレクション: 編集: 水島七恵 編集: 武藤晶子(アドベックス2)、熊谷麻那 アートディレクション・デザイン: groovisions プロジェクトマネジメント: 戸高良彦、森部嘉一(マガジンハウス CREATIVE STUDIO) 発行日: 2023年9月29日 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA) 広報部: 〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6 御茶ノ水ソランティ

JAXA'sアンケートはこちら. WEB版のJAXA'sはこちら. Includes QR codes.