

JAXA'S

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]

No.078

空気の入り口

「大空を飛躍する」

スキージャンプ選手

葛西紀明

JAXA 航空技術部門
基盤技術統括

松尾裕一

特集

AERODYNAMICS

空気力学

飛行機が空を渡る不思議



JAXA's

No.078

CONTENTS

P02-05
空気の入り口
「大空を飛躍する」
葛西紀明 ／ 松尾裕一

P06-08
特集
AERODYNAMICS
空気力学
飛行機が空を渡る不思議

P09
Column① 故郷、地球への手紙
「パワー・オブ・イメージ」
手紙の送り主
塩川いづみ

Column② ざわめき宇宙
超音速旅客機・コンコルド

P10-11
Feel the universe in
Tanegashima

P12-13
宇宙の視座でものを見る
宇宙開発・科学編
月は地球のタイムカプセル

P14
宇宙の視座でものを見る
文化・芸術編
「アポロ11 完全版」

P15-17
JAXA TIMES

P18-19
JAXA の造形 vol.02
See the invisible
見えないものを可視化する

P20
宇宙と航空にまつわる世界のニュース
News Headlines

Cover Illustration：小林一毅

空気の入り口

大空を飛躍する

宇宙と空の違いはひと言で言うと、空気があるかないか。アプローチ、踏み切り、飛行、着地と、空気を味方につけながら、トップアスリートとして活躍し続けるスキージャンプ選手の葛西紀明さん。日本の航空機産業の発展のため、日々研究を重ねているJAXA航空技術部門の研究者、松尾裕一。空気の存在は現象を複雑にする。だからこそおもしろい。そんなふたりの大空を飛躍するための対話。



葛西紀明

（スキージャンプ選手）

松尾裕一

（JAXA航空技術部門 基盤技術統括）

取材・文：水島七恵 写真：辻田美穂子

目には見えない空気の流れを利用して飛んでいるということ。それがスキージャンプと飛行機の共通点です。（松尾）

たぶん今まで誰にも言ったことないと思うんですが、僕は飛行機のイメージで飛んでいるんです。（葛西）

300トン以上の機体が揚力によって浮く

葛西：そもそも飛行機はなぜ飛ぶんでしょう？
松尾：なぜ、飛ぶか（笑）。
葛西：子どもに聞かれたときにどう答えたらよいか、ぜひ教えてください（笑）。
松尾：鳥が空を飛べるのは鳥が翼を持っているからで、飛行機が空を飛べるのも、やはり翼があるからです。
葛西：翼がへの字になっているからですか？
松尾：その翼の前から空気が当たると、空気は上下に分かれて流れます。翼の下側は高圧に、上側は低圧になるので、その差圧で翼を持ち上げようとする力が働きます。この力を「揚力」といって、飛行機は揚力によっ

て空中に浮かび上がったり、飛んだりすることができます。ただし、そのためには速い空気の流れを翼に当てなければなりません。飛行機が浮かび上がるために強力なエンジンで速度を上げながら滑走するのは、このためなんです。
葛西：揚力の力ってすごいですね。
松尾：はい、大型ジェット機は搭乗者を入れて300トン以上の重さになりますが、その重さを揚力が浮かせますから。説明になっているでしょうか？（笑）
葛西：なかなか難しいです（笑）。東京大学のなかにも、風を人工的に発生させる風洞実験施設があるのをご存知ですか？以前、そこでスキージャンプ選手の理想的な姿勢を探る実験に参加したことがあるんですが、施設の

中には実際の機体を模擬した飛行機の模型が置いてありました。僕はそこで初めて翼の形はこういうふうになっているんだと知って。
松尾：飛行機の主翼を横から見ると上側が丸く膨らんでいるんですが、“膨らんでいる”というもひとつのポイントで、これをキャンバーと呼ぶんです。翼のキャンバーによってより大きな上向きの揚力を発生させる。そういう原理になってます。
葛西：先日、札幌から名古屋まで飛行機で移動したんですけど、途中天候が悪くてすごく揺れたんです。そのとき飛行機の翼もぐんぐん揺れて怖かったんですが、揺れすぎて翼がバキッと折れたりすることはありますか？
松尾：絶対大丈夫です。飛行機にとってその程度の揺れは、痛くもかゆくもありません

自分の思う通りには 絶対にいかない。 だから「ちきしょう」って 言いながら 完璧を追い求めていくん じゃないかなと思います。(葛西)

(笑)。そもそも翼は緻密な計算と設計によってある程度曲がるように作られていますし、荷重試験で翼が通常ではありえないくらい大きく曲がってしまう力を加えても折れません。ただどんなに飛行機が無事でも、搭乗者にとってその揺れは厳しいということはあるよね。なので我々はその揺れをできる限り避けるための研究をしています。

葛西：それはどういう研究ですか？

松尾：機体の先端からレーザー光線を出して、あらかじめ激しい揺れを察知して回避するという研究です。そもそも揺れが起きると雨雲などを想像されるかと思いますが、雲のような視覚的な兆候を全く伴わずに気流が乱れるところがあるんですね。それをClear-Air Turbulence、晴天乱気流といって、そこへ飛行機が突っ込んでしまうと大きく揺れてしまいます。その晴天乱気流を回避するのがレーザー光線を使ったライダーという技術です。

葛西：今のお話を聞きながら、ちょっとずつ安心してきました。

松尾：統計的には数100年間、毎日飛行機に乗っていても落ちることはない。そのぐらい飛行機は今安全な乗り物ですから、葛西さん、大丈夫です(笑)。

より飛距離を伸ばすために 必要な身体性

松尾：ところで葛西さんは「なぜ飛ぶことができるんですか？」と聞かれたら、なんてお答えしますか？

葛西：うーん、難しいですね(笑)。子ども相手であればまず「飛ぶためには前傾姿勢を取らないと風をつかめないよ」って話しますね。なぜならスキージャンプのやり始めというのは怖くて前に行けなくて、上に飛んでしまうものなのですが、そうすると飛距離が全然出ないんです。なのでまずはぐっと前傾姿勢を取ること。「それで風を受けることができるし、飛距離が伸びるよ」って教えますね。これが中高生になってくるともう少し細かい部分、



例えばアプローチ(助走路)で得た重力による位置エネルギーを、ジャンプ台先端のカンテ(踏切台)でいかに運動エネルギーに変換するかの勝負になるので、そのタイミングなどの話をします。

松尾：空気抵抗を極力減らすためにアプローチでは身体をくの字にして頭から滑り降りていますが、カンテでは一転して高速で勢いよく飛び出さなくてはいいですね。

葛西：はい、なのでアプローチでの姿勢や重心の置き場所も重要ですし、カンテの5m前ぐらいから少しずつ脚が伸び上がっていくんですね。つまりパワーを徐々に脚元に伝えていってぐっと空中に飛び出し、体勢とスキー板の位置を変えて浮力を最大化させる。そうすることで飛距離を伸ばしていきます。

松尾：選手がカンテから飛び出したときの板や身体の形はまるで飛行機の翼のようで、まさに揚力を得ることで飛翔距離を伸ばしているなあと感じていました。つまりスキージャンプと飛行機の共通点は、目には見えない空気の流れを利用して飛んでいる、と。

葛西：たぶん今まで誰にも言ったことないと思うんですが、僕は飛行機のイメージで飛んでいるんです。

松尾：そうだったんですか。

葛西：両腕を斜めに広げつつ、手のひらを開いて下に向けている。それが僕の飛んでい

るときフォームですが、その姿は動物のモモンガに似ていることからモモンガ・ジャンプとも言われたりしています。けれど僕自身は飛行機の翼をイメージしながら飛んでいました。ももとは両腕を身体に引き寄せながら飛んでたんです。でも2010年、当時のコーチから「両腕をちょっと身体から離せ」と言われてやってみたら、これは飛行機だと思って。以来、少しずつ身体から両腕が離れていきました。

松尾：まるで飛行機のフラップ(高揚力装置)のようですね。

葛西：はい、飛行機が離陸するときや着陸するときに翼からフラップがスルスルと伸びてきますよね。あの感覚で手を広げて「どうだ!」という感じで、僕は飛んでいるんですよ。

時速105km、 約8秒の空の旅

松尾：先ほど葛西さんから風洞という言葉が挙がりましたが、JAXAの調布航空宇宙センターにも風洞設備があります。風洞とは目には見えない空気の流れによって起こる現象を模擬的に再現することができる装置ですが、JAXAでは風洞のなかに航空機の模型を置き、模型が受ける空気力を測る実験を行っています。そしてこの風洞実験のほか

自然現象や社会現象を コンピュータの中で模擬する 数値シミュレーションの技術は、 究極に近いところまで 突き詰められています。(松尾)

にも空気力を測る手段として、数値シミュレーションというものがあるんです。私の専門はまさにこれです。航空機が受ける空気の流れを表す方程式を探し、それを計算機上で模擬実験しているんです。

葛西：数値シミュレーション、初めて聞きました。

松尾：自然現象や社会現象をコンピュータの中で模擬すること。これを数値シミュレーションと呼んでいます。どれだけ揚力が生まれるか、空気抵抗が発生するのかなど、それを、方程式を使って計算しデータ化して可視化していくんです。その結果、例えば新しい機体を設計するためのさまざまな指針を出したり、実際に飛んでときの状態を検証することに活用できるんです。

葛西：風洞実験ではなく、数値シミュレーションを選択する場合というのはどういときですか？

松尾：実験に費用がかかる場合や実験に大きな危険を伴うような場合、実験条件に合うような環境を作り出すことが困難な場合などにおいて、数値シミュレーションはコンピュータが行うものなのでとても有効です。それでこの数値シミュレーションを活用して、葛西さんのようなスキージャンプ選手の空気の流れをコンピュータで計算して可視化できないか?と思ったんです。

葛西：飛行機ではなく生身の人間にも応用できるものなんですか？

松尾：できます。それが数値シミュレーションの優れたところですよ。そもそも計算は物体を覆うように空間内に分布させた点上でしかできないんですよ。「点上でしか」というのは、計算機は数字しか扱えませんから、その数字に対応する実際の点が必要で、問題はそれ



点をどういふうに分布させるかなんです。例えば飛行機のまわりの流れを計算しようとしたときに、その点をどう上手く分布させるのか。それがかなりポイントになってくるのですが、今我々が持っている技術は、究極に近いところまで突き詰められています。つまりどんな物体に対してもそのまわりに点を分布させることができるんです。

葛西：すごいですね。
松尾：なので例えば葛西さんの飛び方のシミュレーションをして、どういう状態で飛んでいるかを可視化する。そのうえでこの飛び方の、ここをこう直せばもっと飛べる可能性が出てくる。といった分析もできるかもしれません。ただひとつ課題があるとしたら、飛行機は固いのでほぼ変形しませんが人間はかなり変形します。そうすると点の分布を変えていかなくてはいけないので、それに関しては工夫が必要にはなりますね。ただ、基本的にはできます。

葛西：90年代初頭、スキージャンプ界ではそれまでの板をそろえた「クラシックスタイル」からV字に開く飛型が主流になりました。ですがそのV字になってから何十年と経ちましたし、そろそろなにか新しい飛び方を開発したいですね。今の飛び方に飽きているわけ

はありませんが、「なんだこれは!」っていう飛び方がしたいです(笑)。

松尾：計算してみてとんでもないスタイルが導き出されたら、それはもう、提案したいです。どうします? 飛距離10m伸びたら。

葛西：誰にも教えないです(笑)。
松尾：(笑)。ところでスキージャンプは飛距離だけでなく、飛行や着地の姿勢の美しさなどの「飛型」も採点されるスポーツだから、難しいですよな。

葛西：隙がないですね。でも一番細かくて難しいからこそ、やりたいんだと思います。これまでさまざまなスポーツを経験してきましたけど、そのなかでもやっぱりスキージャンプが一番難しいスポーツだなと感じていて。アウトドアのスポーツなので、自分の能力や技術だけでは決まらない。空気を含めたその場の自然環境でも決まるスポーツです。自分の思い通りには絶対にいかないからこそ、「ちきしょう」って言いながら完璧を求めていくんじゃないかなと思います。

松尾：根本的な質問なのですが、葛西さん

はジャンプするときに怖さはないんですか？

葛西：スキーフライングのジャンプ台は怖いんです。このジャンプ台は現在ドイツ、オーストリア、ノルウェー、チェコ、スロベニアの5カ所しかなく、日本にはありません。いつ飛んでも怖いんです。怖いですが、どれくらい飛距離が出るかな?というワクワク感のほうが勝りますね。

松尾：スキーフライングでの200m級のジャンプは、ノーマルヒルの約2倍、約8秒飛ぶことになりますよね。

葛西：はい。時速も105kmぐらい出ますね。
松尾：それはもう、まさに鳥になったという感触ですよな。葛西さんはそのスキーフライングで約230m、飛んだんですね。

葛西：最高は241mですね。

松尾：いやあ……。信じ難いですよ。

葛西：それでももっと自分を超えていきたいんです。なのでぜひ、僕の飛び方をシミュレーションしてください。なにかありましたら僕、すぐに試しますので(笑)。

松尾：はい、わかりました(笑)。

対談の拡大版はこちらへ →



スキージャンプ選手
葛西紀明 Kasai Noriaki

1972年北海道下川町生まれ。土屋ホーム選手兼監督。1992年アルペール五輪以来、2018年平昌大会まで8大会連続出場。リレハンメルで団体銀、ソチで個人銀、団体銅の計3つのメダルを獲得。W杯最年長優勝、冬季五輪8回連続最多出場、ジャンプ最年長メダリスト、W杯最多出場、世界選手権最多出場の五つのギネス世界記録を持ち、47歳を過ぎても世界の第一線で戦うレジェンド。



JAXA航空技術部門 基盤技術統括
松尾裕一 Matsuo Yuichi

長野県出身。1989年東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻博士課程修了。工学博士。同年科学技術庁航空宇宙技術研究所入所。1992年NASA Ames研究所客員研究員。これまでに、乱流モデリング、数値シミュレーション等の研究や、スーパーコンピュータの調達・運用等に従事。スポーツ全般に興味があり、大学時代にスポーツ選手まわりの流れの可視化に携わった経験がある。

特集

空気力学

AERODYNAMICS

飛行機が空を渡る不思議

風を受け、揚力を得て、鳥と同じ視点を持つ。

航空という分野においては、

未だ解明されていない複雑な現象があり、

JAXAは研究を続けている。

宇宙と違い、空気があるから、

人は空を飛べる。

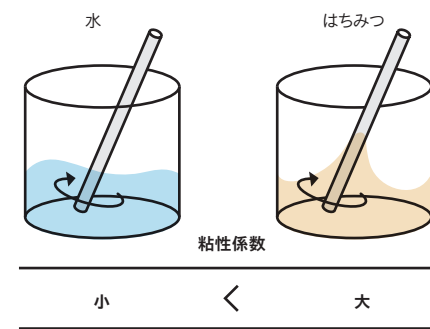
取材・文：村岡俊也 写真：高野ユリカ イラスト：小林一毅



JAXA調布航空宇宙センターには、大きな空気タンクがある。これは航空機や宇宙機が空気中で飛行する際の風の流れを再現し、観察・検証・計測を行う風洞実験のために欠かせないもの。

ep.1 虫は屋上から落ちても無傷 空気の粘性

空気はベタベタしている。湿度の高い日本の夏の話ではなく、熱すると膨張するのと同じような、空気そのものが持つ性質の話。粘性と呼ばれるそのベタベタとした性質は、小さな生き物ほど強く感じている。空力分野での風洞実験と計測を主なフィールドとして



いる小池が解説する。

「人間の感覚で考えれば、油の中で動いているようなイメージでしょうか。グリスがグニャーと流れていくような、そういう粘りが空気にはあるんです。例えばどんな高さから蟻を落としても、衝突して潰れてしまうことがないのも、この粘性によるもの。蟻にとっては、ベタベタした中をゆっくりと落ちていくような感覚のはずです。そして、飛ぶということに関して言えば、蝶のような小さな虫は、その粘性を積極的に使っている。羽の先端部分で渦を作って、その渦によって飛ぶんです」

JAXAでは、人口密集地で虫のような飛び方をできないか、粘性を積極的に使った飛び方の研究を行っていたこともあるという。

一方で飛行機の場合、飛ぶ力を得るために粘性は重要な役割を果たすが、同時に前進することを妨げる抵抗としても働いてしまう。虫とはまったく違う飛び方をしているわけだが、当然、粘性から逃れられるわけではない。「翼の上で粘性による大きな渦ができると、抵抗になって飛ぶ力も失ってしまう。我々は粘性とうまく付き合って、翼の周りの空気の流れをよくしようと研究しているんです」



航空技術部門
空力技術研究ユニット研究開発員

小池 俊輔

Koike Shunsuke

新潟県出身。2008年から現在まで風洞を使用した空力研究に従事。高速流れの流速計測やボルテックスジェネレータの研究を担当。趣味は食べること。お気に入りのフライパンでチャーハンを作るのが好き。

蝶と空気の粘性の関係

流れが蝶の羽の先端で渦を巻いて、その渦に乗るようにして飛んでいる。ベタベタの空気の中を“泳いでいる”と言い換えることができるかもしれない。また、空気の粘性は温度が高くなるほど強くなる性質があり、それは分子の相互作用が関係している。

ワタリアホウドリは、1,000kmの海を渡る

グライダー飛行に特化した、世界最大級の翼を持つ鳥、ワタリアホウドリ。離陸後には、ほとんど羽ばたかずに1,000kmという海を渡ることができる。鳥たちの翼は、それぞれのライフスタイルに合わせた最適な形状になっている。

ep.2 鳥の美しい飛び方を模倣する 翼と揚力

蝶などの虫が羽ばたくことで空気の渦を作って空を飛んでいるのに対し、ある程度以上の大きさの鳥はほとんど羽を動かさずに飛ぶことができる。まるで空中で動きを止めるようにして滑空する鳥。利用するのは、揚力という物理的な力だ。実際に飛行機を飛ばしてデータを測定している研究員の成岡は、鳥の翼を例に、虫とは違う飛び方を解説する。

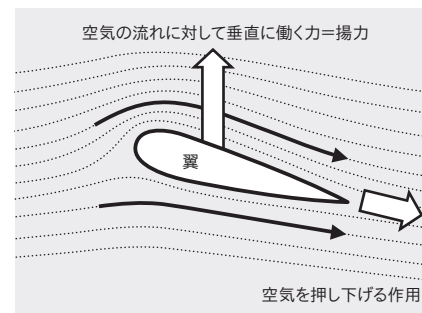
「ワタリアホウドリという、翼を広げると3mにも達する大きな鳥がいます。この世界最大のアホウドリは、1000kmもの距離を海に着水することなく飛ぶことができるんです。とても効率よく、いわゆるグライダー飛行することに特化した鳥ですね。そのスムーズな飛び

方を可能にしているのが、揚力と呼ばれる翼を持ち上げる力で、彼らは揚力を効率よく使っている鳥だと思います」

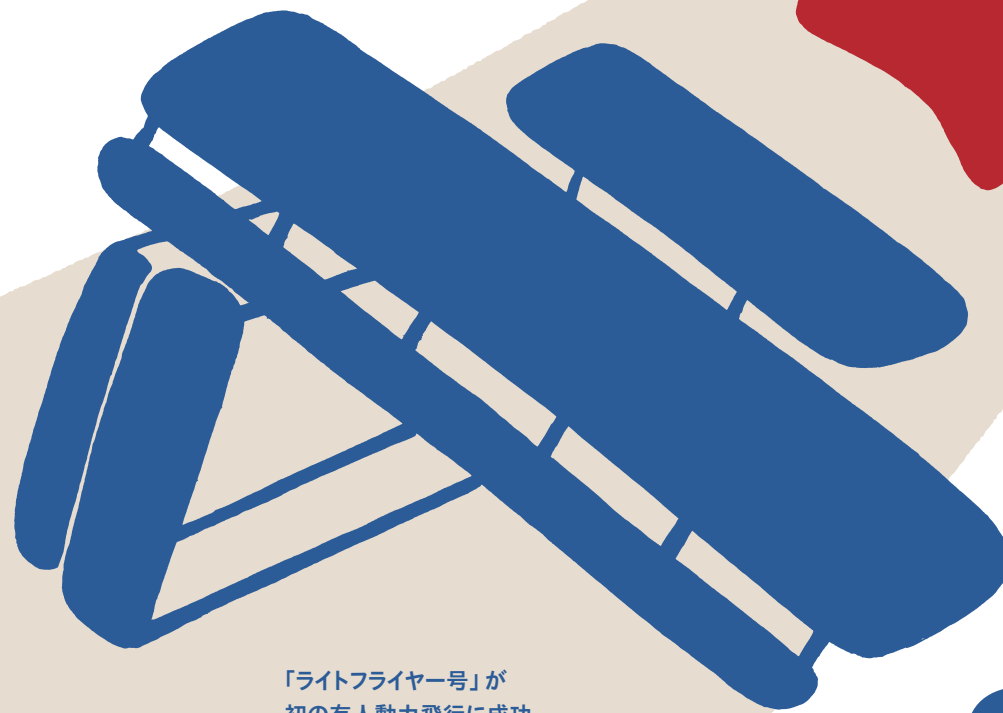
揚力とは、流体を翼で受け流したときに、上向きに働く力のこと。一度スピードを得てしまえば、アホウドリたちはまるで空気に乗るようにして延々と飛ぶことができる。「大きな揚力を得るためには、翼を大きくする以外の方法もあります。例えばツバメのように、鳥たちのなかには、速く飛ぶことで揚

力を得ているものもいます。彼らは翼は小さいけれども、速く飛ぶことによって揚力を稼いでいるのです」

また、ハヤブサは獲物を探しているときにはグライダー飛行をしているが、捕獲のときには翼の形状を変えて急降下する。そうやって鳥たちは揚力を受け止めたり、逃したりしているという。鳥たちの翼を今でも研究し、模倣しながら、人は空を飛んでいる。



空気を押し下げる作用



「ライトフライヤー号」が初の有人動力飛行に成功

ライト兄弟が初めて有人動力飛行に成功したのは1903年。12馬力のエンジンを搭載した動力機「ライトフライヤー号」によって、約12秒間37mを飛行することに成功。その後兄弟は機体にさらに改良を加え、2年後には約38分間45kmを飛ぶ本格的な飛行機を作り上げた。



航空機が飛行する状態を模倣するJAXAの試験設備、風洞。装置内に気流を発生させ、実機の100分の1程度の模型に風を当てて、飛行中にどんな空気を受けるのかを把握する。



多くの人を運ぶための最適な解

旅客を多く、快適に運ぶこと。さらに騒音や速度などの条件から導き出された最適な解が、現在の大型ジェット機のデザイン。ライト兄弟の時代の飛行機に比べると、翼の形状はより高速飛行に適したものになっている。

抵抗をいなくすように進化した飛行機の歴史

翼のデザインと気流の研究

鳥を模倣することから始まった飛行機のデザインは、どんな変遷を辿ってきたのか。実際に業務として翼のデザインに携わる湯原は、空気抵抗との折衝の歴史だったと、ライト兄弟の話から始めた。「抵抗は、粘性抵抗と圧力抵抗とに分かれます。引っ張るような粘性抵抗と、空気にぶつかると圧力抵抗。ライト兄弟が初めて作った飛行機は、現代の飛行機と比べて無骨なデザインです。パイロットが安全に飛行することの優先順位は低かったのでしょう。安全な飛行が確立されると、スピードと効率への追求が始まり、抵抗を逃がすための方法が今もなお探索され続けています。その究極的なひとつの形が、音速を超えるス

ピードで旅客を運んだ超音速旅客機コンコルド。速い飛行機の翼は圧力抵抗を減らすために三角形になっていくんです。現在、我々が普段乗るような旅客機は音速の7～8割ほどのスピードで飛んでいますが、翼の周りで局所的に空気の流れが音速よりも早くなる。そうすると圧縮性という空気の持つ特性によって衝撃波が発生し、抵抗がより大きくなってしまいます。そんなことを考慮して、少し胴体側に寝ている、現在の翼の形状になっているんです」

粘性と圧縮性。翼の周りを支配する複雑な気流の流れの中で、もっともバランスよく飛ぶことができるのはどんな形なのか。飛行機の歴史は、気流の正体を明らかにしていく歴史でもあった。



航空技術部門
飛行技術研究ユニット研究開発員

成岡 優

Naruoka Masaru

東京都出身。2011年から現在まで実験用航空機による飛行試験に従事。航空機の運動計測や性能解析の研究を担当。趣味は電子工作。文中のワタリアホウドリとの出会いも電子工作を通じてだった。



航空技術部門
次世代航空イノベーションハブ
航空機システム研究チーム研究開発員

湯原達規

Yuhara Tatsunori

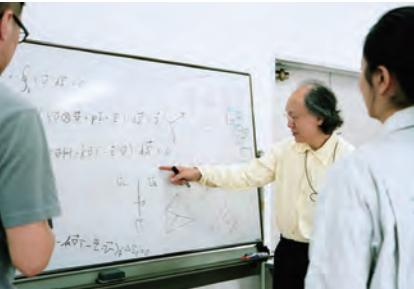
茨城県出身。2014年、航空技術部門に配属。現在は、静粛超音速機等の空力設計に関する研究開発に従事。趣味は、釣り。アフターファイブに多摩川や管理釣り場に行くことも。

未解の式を用いて、現実を解く

ep.4 流れを表す方程式

万有引力や慣性のような物理的な法則は、数式によって示すことができる。その数式は理論の礎となって、実際の現象と照らし合わせることで、現実的な“答え”を作り出していく。空を飛ぶ、ということに関して言えば、“答え”とはすなわち飛行機のデザインであり、数式とはナビエ・ストークス方程式と呼ばれる難解な式のこと。このナビエ・ストークス方程式は、とても複雑で、100年以上も前に導出されながら、未だに数学的な解が見つかっていない。いや、そのような解があるのかどうかさえわかっていないという。この式を利用して、飛行機の周りの流れの数値解析に役立てているのが、研究開発員の金森だ。

ミレニアム問題のひとつです。しかも、そのお題は、答えはなんですか？ではなく、答えは存在するのですか？という問題。それさえわからないくらい難解な式です。実際にはこの方程式をそのまま解くことは無理なので、例えば空気の粘性に関する部分を無視して



航空を専門とする研究者たちの共通言語とも言える方程式を前に、議論を交わす金森と保江、そして数値解析技術研究ユニット、主幹研究開発員の相首秀昭。

計算したり、圧縮性を無視して計算していたのですが、それらの重要な空気の性質を無視しては複雑な気流の流れは説明できない。なので、ものづくりの現場では、紙とペンで解くのではなく、コンピュータで解く方法が主流になっています」

実際に飛行機をデザインし、制作する現場では、コンピュータ上の方程式と現実の空を行き来しながら仕事をする。そのどちらが欠けても、安全に空を飛ぶ飛行機をつくることはできない。



航空技術部門
数値解析技術研究ユニット研究開発員

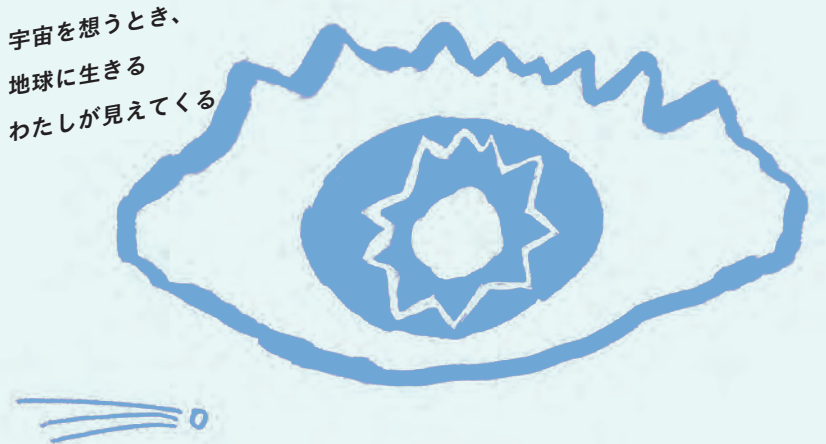
金森正史 Kanamori Masashi

宮城県出身。2012年に入社以来、ソニックブームに関する研究を実施。現在は空気力学や機械学習に関する研究も担当。最近の関心事は、増え続ける体重と、それでもやめられないコカ・コーラとポテチチップスの消費量。



故郷、地球への手紙 vol.02

宇宙を想うとき、地球に生きるわたしが見えてくる



手紙の送り主
塩川いづみ Shikawa Izumi

イラストレーター。1980年生まれ長野県出身。広告や書籍、ブランドのオリジナルプロダクトのイラストレーションも手がけるほか、国内外で作品の展示発表もしている。作品集に『春と修羅』（トーチプレス刊）など。
www.shikawaizumi.com

わたし史上「宇宙」と「わたし」が最も接近したと感じたのは昨年のこと。それは衛星からオンタイムで送られてくる画像や、最新の図鑑によるものではなく、『春と修羅』という宮沢賢治の詩に絵を描いて詩画集を出版したことがきっかけだった。

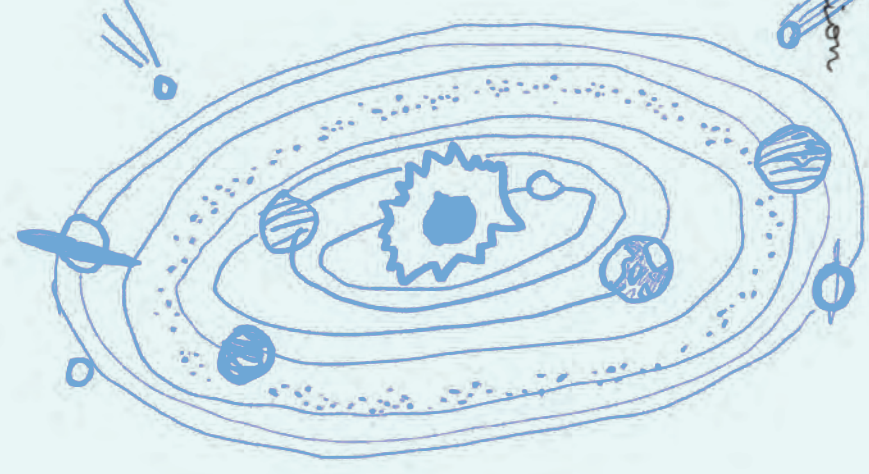
わたしといふ現象は：からはじまる『春と修羅』は、賢治が生前唯一出版した詩集である。特に序章には彼の世界観が詰まっていると言われているが、賢治の作品独特の目の前の出来事から突如宇宙に飛躍するイメージはファンタジーのように突飛で、いざ内容をとらえようとすると難しく、初めて読んだ高校生の頃から何となくの雰囲気であつたつもりになっていた作品だった。

そして出会いから二十余年、ご縁があつて本を作るということになり、あらためて読み解く覚悟で挑んでいた昨年のこと。その時に突然これまでずっとわたしと詩を隔てていた扉がひらき、わからなかった言葉が像を結んで立ち上がつていったのだ。その鍵となつたのが数年前に見たチャールズ&レイ・イームズ夫婦が制作した『powers of ten』だった。

芝生に寝転がっている男性が映し出されたところから始まり、そこから真上に10倍、10倍とズームアウトしていき、大気圏をも抜け

Column ①

パワーオブイメージ
Power of imagination



て太陽系、銀河系、宇宙の果て（マクロの極）まで上って行ったところで止まり、そこから今度は逆に、10分の1、10分の1、とズームインしていき最初の男性にもどろ、その後細胞、分子、原子、とミクロの極まで向かうという映像である。そのイメージにハットした。「最も大きな宇宙」と「わたしを形作っている最も小さなもの」がぎゅっと近づいた。

『春と修羅』の序章は、「すべてがわたくしの中のものなのであるやうにみんなのおののなかくのすべてですから」という言葉で結ばれている。はるか遠くの宇宙と地球にいるわたしとの繋がりが『powers of ten』によって、文字通り腑に落ちたのだった。

”宇宙の中にわたしがいて、わたしの中にも宇宙がある。”

ロケットで飛んで行かなくても、この星に育まれてきたこの体がすでに宇宙のふしぎを知っている。そんな視点を持つて世界を見たら、わたしはわたしという輪郭から解放され、生命の一つが新しい光や古い光を点滅させながら存在している。満天のソラの中にいたのだ。

Future....

コンピュータで気流を再現して、未来の飛行機を作る

ep.5 数値シミュレーション

飛行機のシミュレーションには、大きく分けて3つある。風洞実験と呼ばれる、風によって生み出した気流の中に、模型を置いて計測するもの。実際に飛行機を飛ばしてデータを計測するもの。そして、コンピュータを使って計算するもの。現実「モノ」を使って行う前者ふたつに対して、コンピュータで行う数値シミュレーションは、圧力に限らず温度や速度など、さまざまな要素を調べることができるという。「数値シミュレーションは、モザイク画のようなもの」と語るのは、研究開発員の保江だ。

その一つひとつのボックスの中で、支配方程式、ナビエ・ストークス方程式を用いて、どんな風に気流が変化するかを解析するんです。そのいくつもの格子をつなぎ合わせることで、全体像が見えてくる。その格子を細かくするほど、全体像の精度は上がります。シミュレーションを行う際には、まず物体の形状を定義して、計算条件を設定して、計算格子を作る。そして計算を行って、可視化する。それがおおよその流れになります」

数値シミュレーションのメリットは、実機を飛ばすよりも金銭的な節約ができるだけでなく、保江が担当しているような、実際に飛ばすには危険が伴うような状況を想定できること。さらに、まったく新しい航空機を作る際に

も大きな役割を果たしている。JAXAが開発を進めている電動航空機や、従来に比べて飛行速度を倍増するコンバウンドヘリコプタなど、未知の航空機の設計を導くのも、数値シミュレーションの役割なのだ。



風洞試験を正確にシミュレーションできる、スーパーコンピュータ（スパコン）システム。数値シミュレーションの発展は、スパコンの発達と期を同じくして進められた。

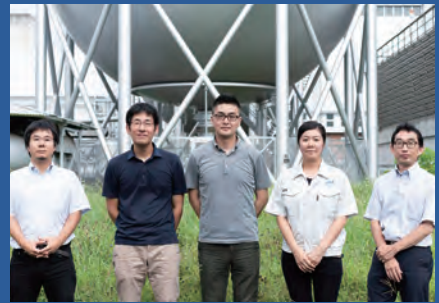


航空技術部門
数値解析技術研究ユニット
次世代航空イノベーションハブ研究開発員

保江かな子 Yasue Kanako

岡山県出身。2018年に数値解析技術ユニットに配属となり、航空機や回転翼機などの数値シミュレーション技術の構築および現象解明などを担当。趣味は、息子とダンボールで工作をすること、R2-D2グッズを集めること。

地球にも未知の世界はまだあって その神秘を紐解く仕事



「宇宙分野と航空分野の決定的な違いは、空気があるか、ないか。空気があるために気流が生まれ、さまざまな複雑な現象が起こる反面、空気がないれば飛ぶこともできない。我々は飛ぶということに関しても、空気の大きな恩恵を受けているんです」

そう語るのは航空技術部門数値解析技術研究ユニット長の青山剛史だ。宇宙部門

が広く知られているJAXAだが、航空部門にもスペシャリストが揃っている。そして、宇宙部門とは違い、空気があるがゆえの魅力があるという。研究員の金森は、空気があるからこそ、美しい形が生まれると語る。

「人工衛星って見方によっては無骨な形ですが、それは宇宙に空気がないから。抵抗を考えなくていいから、滑らかな形に洗練さ

せる必要がないんです。でも航空機は違う。今回お話しした粘性や揚力、抵抗、考えなければいけない要素が複雑に絡み合っているからこそ、必然の形が生まれるんです」

空気の神秘的な動きを紐解きながら、数値シミュレーションと、風洞実験・実機試験によって、新しい飛行機を生み出していく。

さらに詳しい数値解析の情報はこちら →



ぞめき宇宙

心に寄り添うカルチャー案内 vol.02

取材・文：水島七恵

夢の超音速旅客機、コンコルドと私

沖縄出身の私にとって、飛行機はとても身近な移動手段でした。家族旅行で乗ることも多く、飛行機といえば楽しいイメージが染み付いているんです。また子どもの頃はプラモデルが大流行。飛行機が大好きな私は、よく飛行機の模型を作って遊んでいました。

成長するにしたがって、本物の飛行機に携わる仕事がしたいと思うようになり、大学卒業後は航空宇宙技術研究所（現JAXA）に就職。飛行力学を専門に、現在は主に飛行機の効率のよい飛ばし方の研究をしています。

そんな私にとって、世界最速の旅客機だった超音速旅客機・コンコルドは、航空技術のひとつの到達点というか、夢のような飛行機でした。1969年に初飛行したコンコルドは2003年に引退しましたが、私はその引退の年に初めて搭乗することができました。技術者として、また飛行機好きとして、どうしても乗ってみたいかつたんです。

ブリティッシュ・エアウェイズのニューヨーク発ロンドン行きの片道のみでしたが、興奮することがたくさんありました。なかでも印象に残っていることが大きく3つあって、ひとつは宇宙を感じたことです。というのも、コ



私物のコンコルドの模型。「飛行機の模型は300機ぐらい持っていると思います。模型に囲まれていると、安心します。仕事のやる気も出ます（笑）」

もうひとつは、窓に触れたときに生暖かったこと。ジェット旅客機は外気温がマイナス50℃になる高度を飛ぶので、窓に触れてもひんやりとしているものですが、コンコルドの場合、機体の超高速移動のために生じる空気との摩擦熱によって、窓が加熱されるんです。その人肌ぐらいに暖かい窓に触れながら、これが超音速旅客機かと実感しました。

そして最後はやっぱりその騒音の凄まじさ。特に離陸時の騒音は隣の人の声が聞こえなくなるくらいに。また超音速飛行時には、ソニックブームと呼ばれる大音

響を伴う強い圧力波が発生するんです。これが地上まで届き、時には窓ガラスを割るほどの威力があったため、超音速飛行は洋上のみでしか許されませんでした。つまり夢の飛行機には解決しなくてはいけない、技術課題があったんです。

陸上でも飛行可能な静かな超音速旅客機。この実現のため、JAXAではソニックブームを低減するための設計手法を開発しています。今後は実証機での飛行試験を検討していますが、同時に陸上でも超音速で飛んでいいという国際ルールが必要になります。そこで国際民間航空機関では、現在、低ソニックブームなどの新たな国際ルールの策定が議論されていて、JAXAもそのルールづくりのために技術貢献をしているところです。そしてルールが出来上がれば、いよいよ静かな超音速旅客機が作られることに。そのとき日本のメーカーが開発計画に参画する。これがJAXAの目指すところです。

飛行機は車やバス、電車で比べると接する機会は少ないと思います。でもコンコルドのように、飛行機は夢のある乗り物です。だからぜひ、飛行機の模型を手にして欲しいなあと。翼ってこんなに薄かったの？胴体の前だけでなく後ろも尖っているんだ！など、触れてみることで新しい気づきを得られると思います。空港でも購入できますよ。この機会にひとつ、いかがでしょうか？（笑）



航空技術部門
事業推進部 計画マネージャ
又吉直樹 Matayoshi Naoki

沖縄県出身。専門は飛行力学、航空気象。ヘリコプタや超音速実験機の飛行実験を経て、近年は航空交通管理に関する研究開発に従事。2019年より現職。趣味はドライブと飲み会（同時にはしません）。

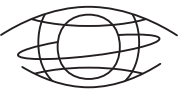


Feel the universe in Tanegashima

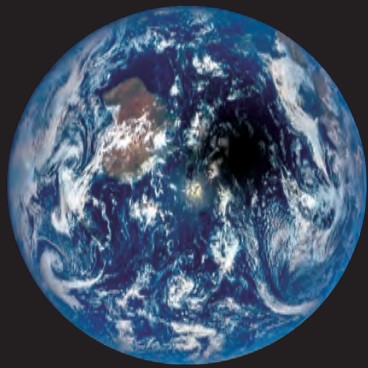


地球と宇宙をつなぐ島は、
原始の姿を残す自然と人の営みが
ゆるやかに交わり合いながら、
そのときを待っていた。

撮影日：2019年9月10日
撮影場所：種子島・竹崎海岸
写真（上）：打ち上げのときを待つH-IIロケット8号機
写真（下）：海岸から望む小島と太平洋
写真：後藤武浩



月は地球のタイムカプセル



太陽とともに、もっとも身近な天体のひとつである月。人類の生活や文化と密接に関わりあってきた月を知ることは、地球がどのように誕生したのかという、私たちがつねに抱いてきた根源的な問いに答えていくことでもある。月と地球の深いつながりのこと、そして現在進行中の月探査について、惑星科学者の大竹真紀子助教と佐藤広幸研究員は語る。

取材・文：水島七恵

天体としての歴史を月と地球と一緒に歩んできた

—— まず、月誕生の背景について教えてください。

大竹：太陽系が誕生して間もない頃、成長途中の地球に火星クラスの大きな天体が衝突しました。その破片が集まって月が誕生したというジャイアント・インパクト説が一番有力だと言われています。つまり月の形成と地球が出来上がっていくタイミングが同時期であったと考えられているので、そういう意味では地球にとって月は距離的に身近なだけでなく、天体としての歴史と一緒に歩んできた切っても切れない関係、それが月と地球なんですね。—— 例えば潮の満ち引きは、月の引力によって起きていることはよく知られていますが、もしも月が存在していなかったら、地球の環境は今とはまったく違ったものになっていたのでしょうか。

大竹：その可能性が十分ありますね。1年に数cmずつ、月は地球から遠ざかっていること知っていますか？ つまり過去に遡れば遡るほど月と地球の距離は近く、地球は月の影響をもっと深く受けていたに違いありません。—— 月を考えることは、同時に地球を考えることにもつながりますね。

佐藤：そもそも私たち惑星科学者とは、なぜ

私はここに存在しているんだろう？地球はどのように誕生したのだろう？といった、人類の根源的な問いが出発点にあり研究を重ねているわけですが、月の研究を通して私自身は地球の成り立ちを学んでいるような感覚があります。例えば月はなぜ地球のような天体にはならなかったのか？それは質量が足りなかったからだ、とか。このように月をはじめとするさまざまな天体と地球を比較することで、地球が存在するための条件が絞られていきます。加えて惑星科学者にとって、月ほど研究しやすい天体というのは、ほかにはあまり見当たらないんですよ。—— それはどういうことですか？

佐藤：月は地球の4分の1の大きさとコンパクトです。月には大気や水がないので、地球のような活発な風化作用や侵食作用がありません。昔は火成活動で溶岩が噴き出して地表の一部を覆うなど活発な変化がありましたが、現在はたまに隕石が当たって地表が掘られるという程度です。地表面にほぼ変化のない状態で長い期間保たれるので、クレーターはどのように形成されるのかなど、地球も含むほかの天体と比べて研究するにはとてもいい天体なんです。

—— 今のお話を伺いながら、前号のJAXA'sの取材で宮崎理紗研究員（JAXA）の言葉を思い出します。「月は早々に地殻が冷え固

まったので、地球に比べてとても古い過去のように誕生したのだろう？といった、人類の根源的な問いが出発点にあり研究を重ねているわけですが、月の研究を通して私自身は地球の成り立ちを学んでいるような感覚があります。例えば月はなぜ地球のような天体にはならなかったのか？それは質量が足りなかったからだ、とか。このように月をはじめとするさまざまな天体と地球を比較することで、地球が存在するための条件が絞られていきます。加えて惑星科学者にとって、月ほど研究しやすい天体というのは、ほかにはあまり見当たらないんですよ。—— それはどういうことですか？

大竹：そうですね。生命を生んだ地球。この環境は水だけでも、大気だけでも生まれません。そんな地球の環境は宇宙にとってどれほど普遍的な存在なのか。そのことに私は興味があるんです。そのうえで地球のはじまり、一番古い時代の岩石を調べたいと思って、その時代の岩石があるなら世界中どこにだって行くと思気込んだんですが（笑）、どれほど遡ろうとしても38億年ぐらい前の岩石しか手に入らず、最初の8億年がわからない。それで月に興味に向かったんです。

佐藤：私自身も、最初は自分が生きているこの地球の大地がどのようにできたのかを知りたくて、もともとは山に登り石を拾って、地質図を描いていました。地質図とは表土の下に、どのような種類の石や地層が分布しているかを記したもののんですが、あるとき地球以外の天体の構造にも興味をもって、火星の地質の勉強を始めました。当時まだJAXAの月周回衛星「かぐや」がなかったので火星を選んだのですが、しばらくするとアメリカのほうで月探査衛星が打ち上がるから来ないか？と言われて、そこから月の研究を始めました。

「かぐや」の探査データをもとにSLIMは月面着陸を目指す

—— 月探査といえば、JAXAでは2007年に打ち上げられ、2009年にそのミッションを終えた月周回衛星「かぐや」。そして現在、小型月着陸実証機SLIMの打ち上げが2021年度に控えています。

大竹：「かぐや」は世界で初めて月の全球で15種類の観測データを取得し、元素や鉱物の分布、重力分布、地形などを調べました。結果、例えば分光観測データでは高分解能の月面観測データが大量に得られ、月の内部を理解するためのカギとなるカンラン石を多く含む岩石（カンラン岩）の分布場所も特定することができました。「かぐや」の観測によって「月面上のどこか」ではなく、“あのクレーターで放出された岩石”にまでフォーカスできるようになったんです。そのうえでSLIMでは「かぐや」のデータをもとに、カンラン岩の分布場所にピンポイント着陸し、月面での科学観測を行う予定です。

佐藤：どんどん解像度が上がっていく月面観測データによって、今まで発見できなかったクレーターが見つかる。そのクレーターには大抵まだ名前がついていない、SLIMで目指すクレーターもまたついていなかったのも、プロジェクトチームで名前を考えて、新しく登録しました。

—— SLIMにおいておふたりはどんな役割を担っているのでしょうか？

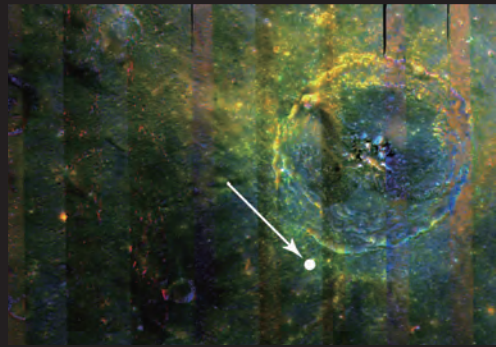
大竹：SLIMにはひとつ、分光カメラという観測機器を搭載するのですが、私はその観測機器と探査機本体のあいだを取り持つパイロード・マネージャを担当しています。高精度な着陸技術の実証がミッションのSLIMは、その名の通り、既存の探査機に比べてもかなり小型・軽量化された探査機です。そんなSLIMにひとつだけ、なにかを搭載できるということになり、みんなで議論した結果、分光カメラを載せようという話になったんです。ピンポイント着陸したあともせっかくの機会だから観測したいですね、と。

佐藤：私はその分光カメラにつける、フォーカス機能の開発を主に担当しています。今回SLIMに搭載できるのはとても小さなカメラです。そのカメラで例えば30m先にあるカンラン岩の表面の結晶を見たいということになると、フォーカス機能がないと困るんですね。それもマニュアルで一回一回ピントを合わせて

いられないので、オート・フォーカス機能であることが重要で、実現させるためには高度なアルゴリズムの検証が必要です。それがうまくいけば、カンラン岩の構成物質である結晶粒径の観測などできるかもしれません。

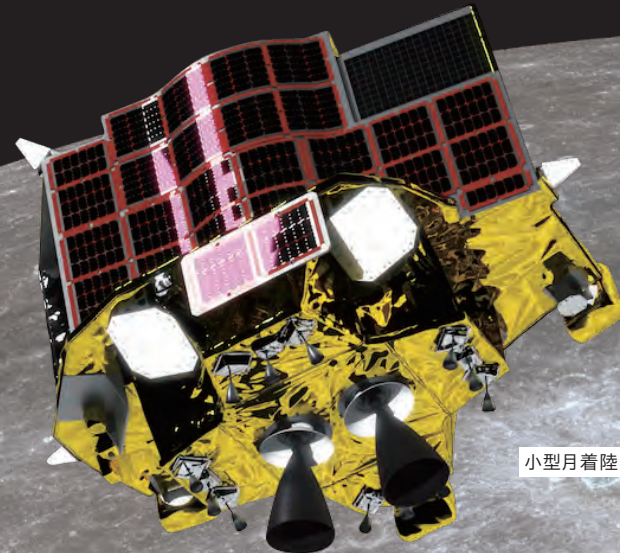
—— 話を伺いながら、ますます期待が高まりました。

大竹：SLIMが月面へ緩やかに降下し、地面に着陸するソフトランディングを行うには、大量の燃料が必要になってくるんです。それは、月は小さいとはいえ重力を持っているので、厳密な制御をしながら降下しないと一気に落ちてしまうからです。もともとSLIMは将来の火星探査に向けた技術を蓄積するという狙いもありますが、火星よりも月のほうが着陸するには難しい部分も



「かぐや」のデータをもとに選定したSLIMの着陸目標地点。（月の低緯度地域にある「神酒（みき）の海」付近）

インタビューの拡大版はこちら →



小型月着陸実証機SLIM



宇宙科学研究所 太陽系科学研究系助教

大竹真紀子

Ohtake Makiko

兵庫県出身。月周回衛星かぐやによる月面分光観測データを用いた月の起源と進化解明、将来月着陸探査に向けた分光観測機器の研究などを行う。月惑星探査データ解析グループにも所属。趣味は山登り、山登りの途中で面白い石を見つけては立ち止まることもしばしば。

※月、地球、SLIMの配置はイメージです。
地球の画像：©NASA



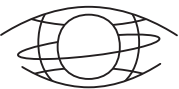
宇宙科学研究所 主任研究開発員

佐藤広幸

Sato Hiroyuki

山形県出身。月惑星探査データ解析グループに所属し、「かぐや」や米国月周回衛星LROのデータを用いた地図作成、月の反射散乱特性の研究などを行う。趣味はキャンプと登山。サーフィンも趣味と言いたいが、長続きしないことが悩み。

月裏側のカラー合成モザイク画像。月周回衛星「かぐや」に搭載の多波長分光カメラ（MI）画像（赤：950、緑：750、青：415 nm）および、Lunar Reconnaissance Orbiter（LRO）に搭載の広角カメラ（WAC）画像（赤：689、緑：643、青：415 nm）を使用。



宇宙の視座でものを見る 文化・芸術編

アポロ11 完全版

今から50年前、人類は初めて月面に降り立った

人類が最も躍動した出来事のひとつ、アポロ11号のドキュメンタリーが『アポロ11 完全版』として映像化。そこに山があるから登るように、そこに誰も知らない謎があるから行ってみたいと思うように、月に向かった人の精神は、今も多くの人に受け継がれている。その当事者のひとりであるJAXAの平岩徹夫研究開発員が、本作の魅力について語る。

取材・文：水島七恵

© 2018 Neon Rated, LLC. All Rights Reserved.

1969年7月21日の朝（日本時間）。父親に叩き起こされて1階の居間に降りてみると、白黒のテレビにはアポロ11号が月面着陸している映像が映し出されていました。当時、5歳の幼稚園児だった私の将来は、この瞬間に決まったようなもの。月面着陸の映像をきっかけに、アメリカの雑誌『LIFE』のアポロ11号総集編やロケット開発の父、ヴェルナー・フォン・ブラウン博士の伝記本に興味に向かっていったわけですから。父親にねだって買ってもらったこの2冊は、どちらもポロポロになるまで読み込んでしまいましたが、私自身がロケット技術者になるきっかけを与えてくれた大切な本です。

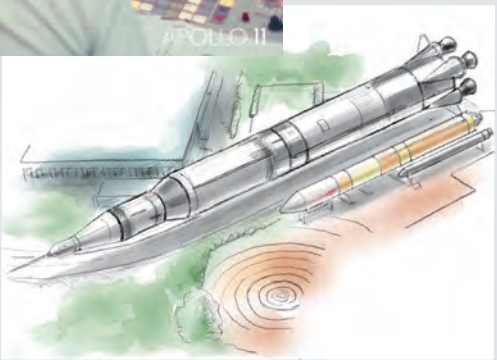
そんな私にとって映画『アポロ11 完全版』は、これまで感じたことのない驚きと発見に満ちた作品になっていました。まずなによう衝撃を受けたのは、映像の美しさ。ナレーションやインタビュー映像などは入っておらず、当時の映像と音声のみで構成されているのですが、映像が本当に美しいのでその場の臨場感や緊張感が説明なしにそのまま伝わってきました。なかでも月着陸船「イーグル」と司令船「コ

ンビア」が、月の周回軌道上を再度会合するシーン。無骨なふたつの船が月を背景にしながらか綺麗に飛行する姿を見たとき、ああ、地球からはるか遠い場所まで本当に来たんだなと、あたかも自分がその場所に立ち会っているような気分になって、心が揺さぶられました。

加えてこれはささやかなことですが、この映画を通じアームストロング宇宙飛行士の印象が変わりました。それまで物怖じしない、冷静沈着なイメージを持っていたのですが、3人の宇宙飛行士のうち、彼の心拍数が一番高かったとわかるシーンがあって、ちょっとずこけそうになりました（笑）。あまり表に感情を出さないイメージですが、内に秘めた想いはきっと一番強く、熱いものがあったのだなあ、と。ちなみにアームストロングといえ彼の伝記を原作に描かれた映画『ファースト・マン』も観て、泣けてしまいました。というのもずっと大切にしていた『LIFE』には、彼の家族写真も掲載されていて、その写真の息づかいが映画の中で再現されていたんです。まるで『LIFE』から飛び出てきたかのような世界観がとても眩しかったのです。



すべての行程を地球から管制していたのが、テキサス州ヒューストンにあるジョンソン宇宙センターの管制室。『アポロ11 完全版』より。



平岩研究開発員のスケッチによる、サターンV（奥）とH-IIロケット（手前）。サターンVはH-IIの約2倍以上の大きさかつ、重さは約10倍になる。



『アポロ11 完全版』

人類史上初の月面着陸から50周年を機に、新たに発掘された映像と音声で、アポロ11号の9日間を描くドキュメンタリー。アメリカ公文書記録管理局（NARA）やNASAなどの協力により、新たに発掘された70ミリフィルムのアーカイブ映像や、1万1000時間以上におよぶ音声データなどをもとに製作。当時、全世界で5億人が見守ったとされる、人類史に刻まれた歴史的な瞬間を追体験することができる。12月1日（日）からデジタル配信開始。
www.amazon.co.jp/AmazonVideo

私はロケットの技術者なので、ロケット技術の視点からアポロ11号のことを少しお話しますね。3人の宇宙飛行士を月へと送り出したロケットは、サターンVと呼ばれています。このサターンVの基本能力というのは、50年経った現在のロケットの能力や機能とほとんど遜色がないんです。もっと言うと今から約75年前、先ほどお話したブラウン博士が宇宙ロケット原点とも言えるA4（V-2）ロケットを開発したのですが、それから今に至るまで、「燃料を燃やして宇宙へ飛んでいく」というロケットの能力そのものは、極端な言い方ですが、わずか数%、向上しているだけなんです。

なぜ大幅に向上できないのか。それはそもそも限界ぎりぎりの状態でロケットを飛ばしているからです。例えば温度、ロケットエンジンの炎は3000℃以上になりますが、それはどんな金属材料も融かしてしまう温度です。ちなみに太陽はその倍の6000℃です。エンジンが融けてしまったら飛べない。だからエンジン自体を冷やす、つまり効率よく冷却する技術が大切で、数%の中にはこのような一見小さな技術の向上が積み重なっているのです。



研究開発部門 主任研究開発員

平岩徹夫

Hiraiwa Tetsuo
ロシア製ロケットエンジンをこよなく愛する愛知県出身の研究者。日独仏共同のロケットを再使用する実験、通称CALLISTOプロジェクトに参画中。言葉では説明しきれないのでタブレット端末でイラストを描いていたら完璧にハマリ、ロケットや飛行機を描く日々。

苦しい時代であっても、私たちは大きな夢を追った

アポロ計画は米ソ冷戦の産物でした。そして3人の宇宙飛行士が月の軌道を回っていた頃、地上ではベトナム戦争が続いていました。苦しい時代のさなかにいた人々ですが、それでも月への旅は国境を超える興奮を世界中にもたらしました。みんなで力を合わせれば、これだけのことができる。その希望を見せてくれたのが、アポロ計画だったように思えます。そしてまだ小さかった私の人生が変わったように、きっと今の若い世代の人たちが『アポロ11 完全版』を観ることで、何かできる、やってみようと思う、小さなきっかけになってくれたら。そう願っています。

JAXA TIMES

宇宙と航空に関わる基礎研究から開発・利用に至るまで、JAXAの最新情報をお届け。

取材・文 平林理奈

「はやぶさ2」2回目のタッチダウンに成功！



はやぶさ2プロジェクトチーム
主任研究開発員
三桝裕也 Mimasu Yuya

2019年7月11日、小惑星探査機「はやぶさ2」が、小惑星リュウグウへの2回目のタッチダウン（着地）に成功した。今年2月に行われた最初のタッチダウンでは、地表面の物質をサンプリング。その後4月に「はやぶさ2」で純銅製の塊を打ち込み、人工クレーターをつくったうえで今回のミッションに挑んだ。1回目とは異なり、地中にあった物質を採取できた可能性が高い。

本プロジェクトに「はやぶさ2」の姿勢制御担当として携わった三桝裕也は、2回目だからこその苦労があったと振り返る。「1回目のタッチダウンの際、舞い上がった埃や砂で探査機の下に付いているセンサが汚れてしまいました。そのためターゲットマーカ（着地点の目印）をとらえるカメラの設定を変えなければならなかったんです」
ベストな設定を模索し、担当者間で何度も議論を重ねた。「シミュレーションを繰り返して設定を提案したところ、安全側に傾きすぎずにアポロ（探

査機が自律判断で降下を中断すること）の可能性が高まるという指摘を受け、ギリギリのタイミングで変更することに。チャレンジングなミッションでは、安全性とミッション成立性のバランスが成功への鍵であることを再認識させられました」

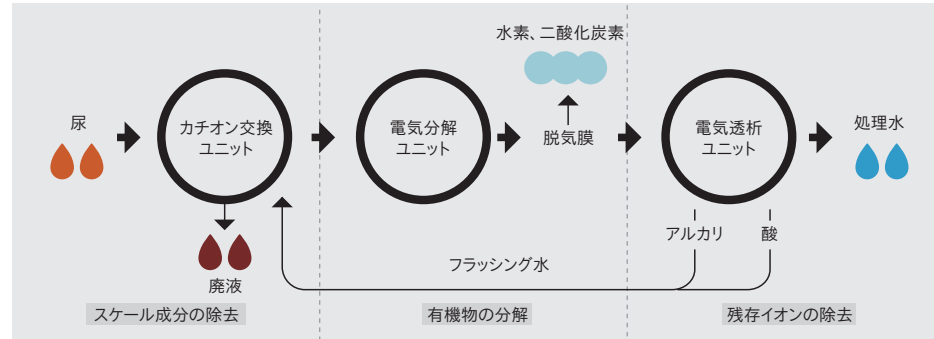
成功の瞬間は「感動と同時に、やり切ったことへの安堵感、本当にやったのかという信じられない気持ちなど、いろんな感情がごちゃ混ぜになった」と三桝。



機体側面の小型モニタカメラでとらえた、タッチダウンの4秒前の様子。

いま、月を周回する宇宙ステーション「ゲートウェイ」の検討が進んでいる。目指すのは、ゲートウェイを拠点とした月、火星などへの有人探査。人類の活動領域を広げていくためには、水や食料、研究用資材など、地球から目的地に運ぶ物資の量を最小限に抑える必要がある。有人宇宙技術部門が栗田工業株式会社とともに開発した宇宙飛行士の尿から飲み水をつくる新型の水再生装置は、この課題に大きく貢献するものだ。

2019年7月に発表した装置は、新開発の技術とシステムを軌道上で実証するために製作した、処理量が少ないサブスケールモデル。2019年後半に打ち上げを予定しており、約半年間、「きぼう」で宇宙飛行士の尿を使って実証試験を行う。その結果を踏まえ、最終的には宇宙飛行士4人分の尿と汗や空気中の水分も処理するフルスケールモデルを開発し、ゲートウェイや月面居住施設へ提供することが目標だ。



● 水再生のプロセス。電気透析の副産物として生成されるアルカリ水と酸性水は、カチオン交換樹脂を自己再生するために使われる。



● メンバー全員が力を結集させて挑んだ今回のミッション。タッチダウンの成功が確定すると、管制室は拍手に包まれた。直後の集合写真では、メンバーの表情に喜びと安堵があふれている。

「メンバーと思い思いに手を合わせ、喜びを分かち合いました。特に、開発時から共に歩んできた上司と握手をしながら『本当にやり切ったね』と言葉を交わしたことが印象的です。リュウグウに到着してからの1年間、さまざまなミッションの成功を積み上げたチームの一員であることを誇りに思いました」

三桝は「最初は、チームとしても、個人としても決して完璧なわけではなかった」と話す。「お互いの足りないところをカバーし合いながら取り組むという、ある種基本的な動作を、み

んなが高い意識レベルで実施してきた結果、今があるのだと思います。『大きな成果を上げるためには、いいチームをつくること』。それが、私が身をもって感じた教訓です」

2回目のタッチダウン地点は「うちのこづち」と名付けられた。日本の昔話で宝物が出てくることにちなみ、ここから採取したサンプルからたくさんの成果が生まれることを期待した命名だ。「はやぶさ2」は2020年末、地球に帰還予定。持ち帰ってくるサンプルが、宇宙の謎を解き明かすヒントをもたらしてくれるだろう。

「はやぶさ2」の最新情報をチェック →

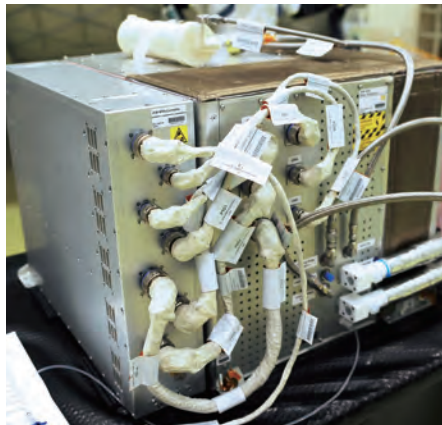


有人宇宙技術部門



長瀬智香
研究開発員
有人宇宙技術センター
Nagase Tomoka

尿から飲み水をつくる 新型水再生装置を開発



● 新型水再生装置。宇宙飛行士によるメンテナンスが不要なもの特徴。

効率よく水をつくり、消耗品も最低限に抑える今回の装置。企業との技術調整を担当する長瀬智香は「電気分解方式は地上でも実績が少ないため、技術の確立に苦労した」と言う。

「電極として使用する部材の選定には2年を費やしました。文献を参照したり、知見のある先生方にアドバイスをもらいながら試験を実施しましたが、耐久性が十分でなく何度も採用不可に。そんななかでようやく基準をクリアする部材が見つかったときには、これで次に進めると安堵しました。電極部材が見つからなかったら装置の開発自体が中止になってしまうといわれ

ていたので、「ホッとした」のひと言に尽きます」さらに「長い開発期間のなかで多くの人に力を貸していただき、研究員の入れ替わりもありました。みんなの思いがようやく実を結びます」と長瀬。今回の開発が、夢に向かうJAXAと企業によるチームをまた一歩前進させた。

新型水再生装置の詳しい仕組み →



衛星データを使って 地上のライフライン 設備をモニタリング

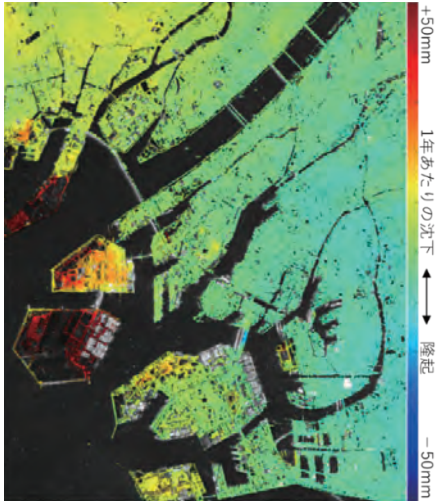
第一宇宙技術部門



富井直弥
Tomii Naoya
地球観測研究センター
技術領域主幹

近年、日本のインフラ（空港や堤防などのライフライン設備）は老朽化が進み、事故リスクの高まりや維持管理コストの増加、点検技術者の減少が社会課題になっている。それを解決しようと第一宇宙技術部門が開発したのが「衛星SARデータによるインフラ変位監視ツール」、通称「ANATIS（アナティス）」だ。ANATISは人工衛星「だいち2号」の観測データを解析し、インフラの変位を可視化するシステム。設定した期間で、地表面にある構造物や地面がどのくらい沈下・隆起したかを画像で確認できる。植生の透過性に優れたレーダによる観測データを使うため、たとえば芝生に覆われた堤防であっても地面の正確な計測が可能。解析は自動で行うので、専門知識がない人でも簡単に使えることも特微だ。これまでインフラは目視により点検されてきたが、ANATISを使えば効率よく広域かつ高頻度で監視できるようになる。

開発は2014年に始まり、2017年に試作品が完成。建設コンサルタントや測量業者での利用実証を経て、今年7月、国土交通省の新技術情報提供システム「NETIS」に登録・



●解析結果の例。海上構造物の沈下傾向が陸地よりも大きい。

公開された。プロジェクトリーダーの富井直弥は「利用者に『ANATISを使って事業ができる』という確信を持ってもらうまで、試行錯誤の連続だった」と振り返る。

「解析するエリアの指定や出力方式、結果の

ANATISによるライフライン設備の解析事例 →



2020年度の打上げを目指して開発が進む新型「H3ロケット」。種子島宇宙センターのロケット発射場では、H3ロケット用に射場設備の新設・リニューアルが進められている。目玉は、新型の移動発射台（Movable Launcher、通称「ML」）と運搬台車（ドーリー）。ロケットを打ち上げる際には、まず工場から運ばれてきたロケットのパーツを種子島宇宙センターの発射場内にある組立棟で組み立てる。このとき台座にするのがML。打上げ直前にはロケットをMLごとドーリーに乗せ、射点まで運ぶ。



●白と水色でカラーリングされたマスト（柱）をもつML。上面デッキの高さは7m、頂部の高さは66.5mと巨大だ。

あった注水設備を地上に移すことで水配管をつなぐ作業がなくなり、作業時間を短縮した。射座の形状や注水の仕方を工夫することで、開発費を抑えることができたのだ。

開発に携わった更江 渉は「特に苦労したのは、1/42模型を使って計測するサブスケールモデル音響試験」と話す。「最初はエンジンがうまく作動せず、改良と再試験を繰り返しました。また、実施場所が秋田県の能代で、4月のまだ寒い時期だったこともあり、強風と寒さにも悩まされましたね。しかし、宇宙科学研究所や研究開発部門など他部門も協力してくれ、一丸となって取り組んだ結果、すばらしいデータを取得できました」

研究開発部門では、物理現象をコンピュータ上で再現するさまざまな研究開発で「数値シミュレーション技術」を使っている。この技術を用いることで、実機をつくって試験するよりも低コスト・短時間で、設計上の課題の洗い出しや、効率的に物理現象のメカニズムを把握することが可能となる。H3ロケットや宇宙探査機、航空機の研究開発に用いられるほか、身近なところでは天気予報にも使われている。

なかでも、ロケットなど飛翔体周りの空気や熱の流れ、そこから受ける力や加熱量を予測できる「熱流体解析ソフトウェアLS-FLOW」は、宇宙開発になくてはならない技術だ。数値シミュレーション技術の専門家である藤本圭一郎が中心となり、10数年をかけて確立してきた。「LS-FLOWは空気力や空力加熱量、熱伝達、機体姿勢などさまざまな物理現象を一度に考慮することができ、かつ解析にかかる時間を最小限に抑えられる。これにより、あらゆる環境条件下での数値シミュレーションを繰り返し行うことができます」と藤本。国際宇宙

新型「H3ロケット」完成に向けて 射場設備をリニューアル



鹿児島宇宙センター 射場技術開発ユニット
主任研究開発員
更江 渉
Sarae Wataru

一方、ドーリーで主眼を置いたのは信頼性の向上だ。56輪のタイヤをもつドーリーは、2台でロケットをMLごと持ち上げ、走行路に埋められたマグネットを検知して自動走行。人が歩くよりも遅い時速2kmで慎重に射点までロケットを運ぶという重要な役割をもつ。「万が一、途中で立ち往生してしまうと大変なことになるため、どんな故障が起きても30分

以内に復旧できるようにしました。今年6月には、ロケット本体と同じ重量の重りを担いだ状態で初めての走行試験を実施。最大の難所のS字カーブできれいに曲がり、射点の位置でもびたりと止まったときは本当にうれしかったです」

H3ロケットのデビューに向け、各セクションの準備は大詰めを迎えている。

射場設備の詳細とH3ロケット最新情報 →



宇宙輸送技術部門

では多様な気流条件で複雑に変化する流れ場構造を、LS-FLOWを使って忠実に再現し、空力特性や空力加熱率変化を効率的にかつ高精度で評価することに成功しました。それにより小型回収カプセルの誘導制御（機体の姿勢や向き、速度を制御して正しい飛行をさせること）の精度向上や耐熱設計に貢献しました」

それまで、ISSからの物資の回収は他国の宇宙船に頼っており、日本が独自に回収したのは今回が初。ISSでの実験成果を載せて、無事地球に帰ってきた。藤本は成功の瞬間をこう回顧する。

「自信になりましたし、とても感動しました。自分が関わったシステムが宇宙へ行き、実際に地球に帰ってくるというのはJAXAのなかでも稀な経験です。これを糧として、次のさらに難しい研究課題に挑んでいきたいと思っています」

宇宙開発を支える数値シミュレーション技術 →



JAXAベンチャー「天地人」が “キウイの新名産地”発掘へ



安全・信頼性推進部 主任研究開発員
株式会社 天地人 取締役
百束泰俊
Hyakusoku Yasutoshi

新事業促進部が取り組む「JAXAベンチャー」は、JAXAの知的財産や知見を利用して職員が起業する会社を認定し、支援する制度だ。宇宙用コンピュータの設計検証のノウハウを活用した民生コンピュータの開発・販売を行う会社、JAXA特許技術を利用したエネルギー管理ソリューションを提供する会社など、2019年9月までに6つのJAXAベンチャーが誕生した。

そのひとつである「株式会社 天地人」は、2018年内閣府主催のビジコンS-Boosterでのトリプル受賞を経て、2019年5月にJAXA職員である百束泰俊を中心に立ち上げられた。メンバーは現在9名。JAXA職員は百束のみで、元マイクロソフト、元外資系広告会社、シ



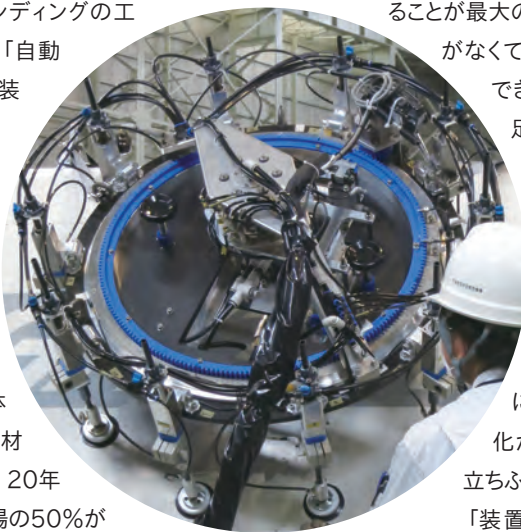
●「ポテンシャル名産地」は、新名産品の創出、地域活性化、休耕地・耕作放棄地の活用など自治体にもメリットをもたらす。

リコンパレー在住のソフトウェアエンジニアなど多様な専門性をもつメンバーが揃っている。提供しているのは衛星データを使った土地評価サービス。農地や太陽光パネルの設置場所な

が不足することが予想されるのだ。開発プロジェクトに携わる星 光は装置の特長についてこう話す。

「手作業ではきれいなすり鉢状に加工することが難しく、時間もかかっていました。精度が低いと修理部分の強度が下がっておそれもあるため、高い技術が求められるのです。今回開発した装置は誰でも簡単に、精度よく加工できることが最大の魅力。熟練の技術者がなくても短時間で加工が完了し、将来の整備士不足をカバーします」

メーカーの新明東北マシナリー株式会社と連携した研究開発は2016年にスタート。プロジェクトを進めるにあたり、小型軽量化が大きな課題として立ちふさがった。「装置が重い、万一機体にぶつかってしまったときに傷つける可能性があるため、軽量化は必須です。試行錯誤を重ね、当初は200kgあった重量を



●装置の直径は65cmほど。機体表面に取り付け、手元のコントローラで操作する。曲面でもきれいに仕上がり、直径30cmの傷であれば約1時間で加工できる。

宇宙をもっと身近に感じる 授業＆工作イベント

広報部



服部桃子
Hattori Momoko

2019年8月21日、小学3年生～6年生を対象とした「JAXA夏休みこども“宇宙”研究～虹を作って地球観測センサを知ろう～」が開催された。会場となったのは、JAXA東京事務所にあるプレゼンテーションルーム。ふだんはJAXAの記者会見が行われている場所だ。

イベントのテーマは「“色”を知り、地球観測衛星を知る」こと。前半は「『しきさい』がとらえた地球の姿と、光の波長の違いを活かした観測の仕組みについて」と題した講義。後半は、特製のキットを使って簡易分光器を制作した。黒い筒状の分光器にはスリットが入っており、反対側から覗くと分光によって

ど、作りたい作物や目的に応じて最適なエリアや場所を提案する。ベースにするのは、地球観測衛星から得られる降水や気象データのほか、3次元の地形データ。ただし、衛星データをそのまま渡すのではなく、自社開発の特許技術「土地評価エンジン」を使って土壌データや空き農地データなどを組み合わせ、複合的に判断・提案するというものだ。

その一例として内閣府「宇宙利用モデル実証プロジェクト」にも採択されたのが、ゼスプリ社をパートナーとした「キウイフルーツポテンシャル名産地発掘プロジェクト」。すでに産地として成功している場所を、土地評価エンジンを用いて学習・分析することで、新たな“名産地”の発掘を目指す。「ゼスプリ社から『日本での生産拠点を拡大したいが、気候風土や土地感がない国での土地探しがとても大変だ』と伺いました。ニュージーランドでの生産をメインに行う弊社にとって、北半球に位置する日本での圃場拡大はチャレンジングな取り組み。そこを一緒に解決

「天地人」公式サイトはこちら →



●開発・試験中の1枚。「こうして形になったのは、長年積み重ねてきた地道な基礎研究の賜物」と星。

2年間で67kgまで減らすことに成功しました。最終的には40kgまで減量することが目標です」

装置は2020年にイギリスで行われるファンボローエアショーに出展予定。世界2大航空見本市である舞臺で、世界に成果を問うこととなる。その後、2022年ごろをめどに商品として市場に投入予定だ。「基礎研究という肥沃な“土壌”があってこそ新しい種をまくことができ、技術をよい方向に成長させることができる。今回の装置は、それが実を結んだ結果です」と星。世界の整備士たちに最高の装置を届けるために、開発は続く。

自動加工の映像も！ 詳細は公式サイトへ →



をのぞき、会場は終始にぎやかな雰囲気にも包まれた。

運営を担当した服部桃子は、「好奇心旺盛な子どもたちがたくさん集まってきて、活気あるイベントになりました」と話す。

「『なぜ？』という疑問や、『こうしたらうまくいった！』という工夫の声が多く上がったのが印象的でした。私自身も、子どもたちと話をするなかで宇宙のおもしろさをあらためて感じることができました」

広報部では、今後も宇宙を身近に感じ、もつとよく知ってもらえるイベントを開催予定だ。

イベントレポートの拡大版を公開中 →



数値シミュレーション技術で 小型回収カプセルの 開発に貢献

研究開発部門



藤本圭一郎
Fujimoto Keiichiro
第三研究ユニット
研究開発員

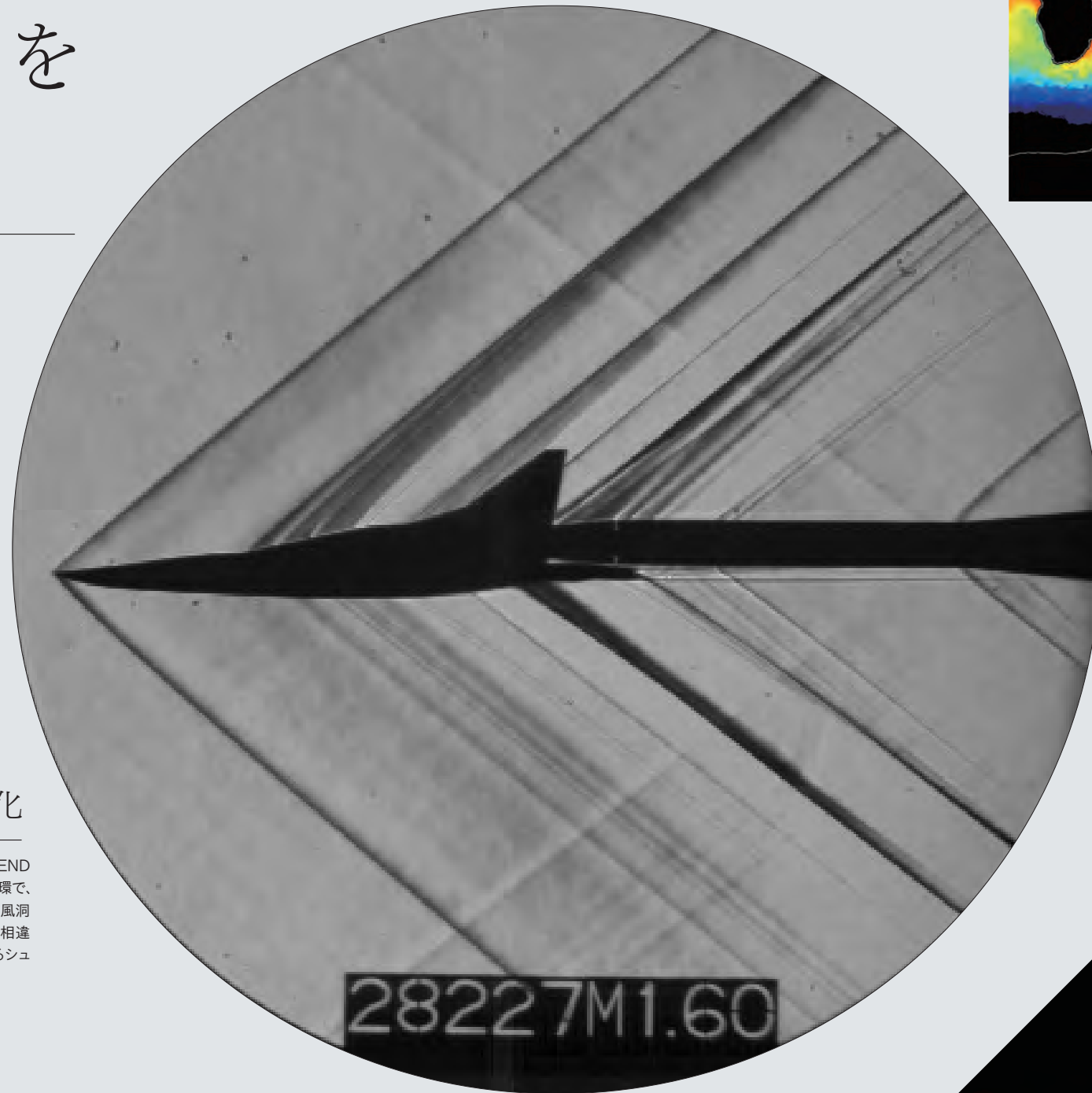
See the invisible

見えないものを可視化する

人間の目には見えない、電磁波の観測によって天文学は発展した。雲が放射する赤外線に注目することで、台風が正確に予測できる。見えない領域に潜む世界に手を伸ばし、見えない関係性を顕在化することで科学は進歩し、新しい世界を手にしていく。

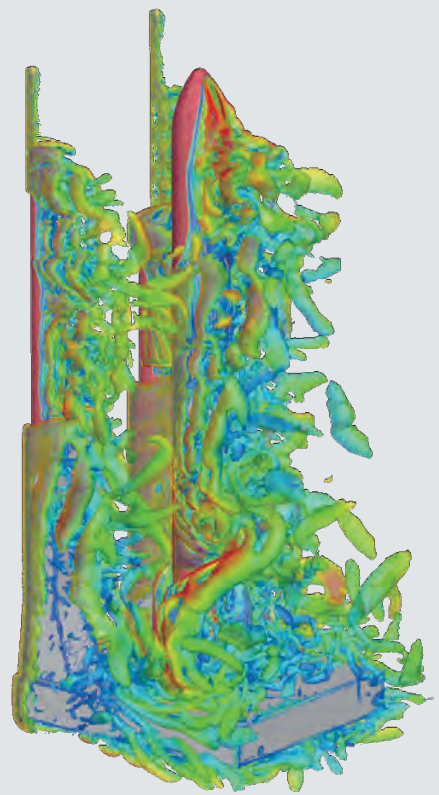
衝撃波の可視化

将来の超音速旅客機実現のためのプロジェクト、D-SEND（低ソニックブーム設計概念実証）。機体形状設計の一環で、超音速機モデルの先端や各部から発生する衝撃波を、風洞の中で可視化。空気中の密度の違いが光の屈折率の相違となって現れる現象を利用して、衝撃波を可視化するシュリーレン法を用いている。



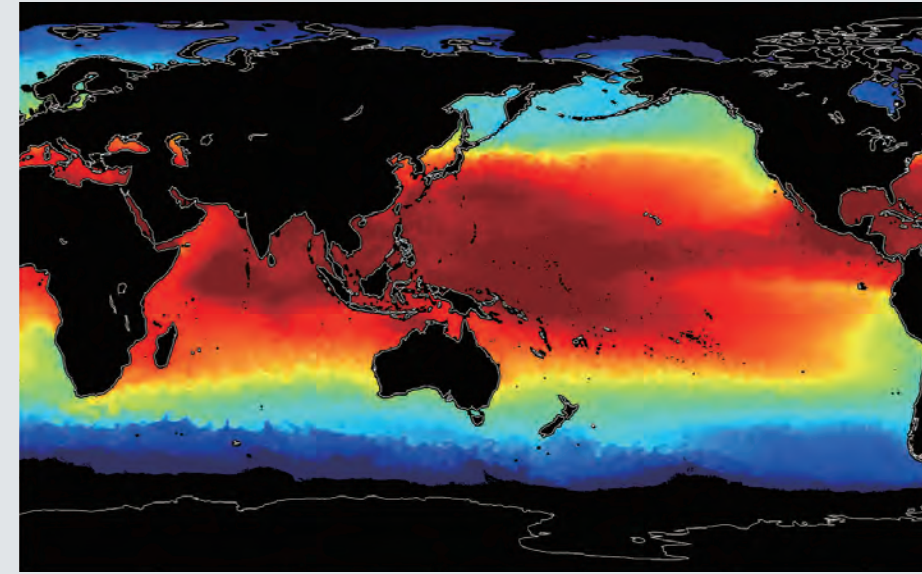
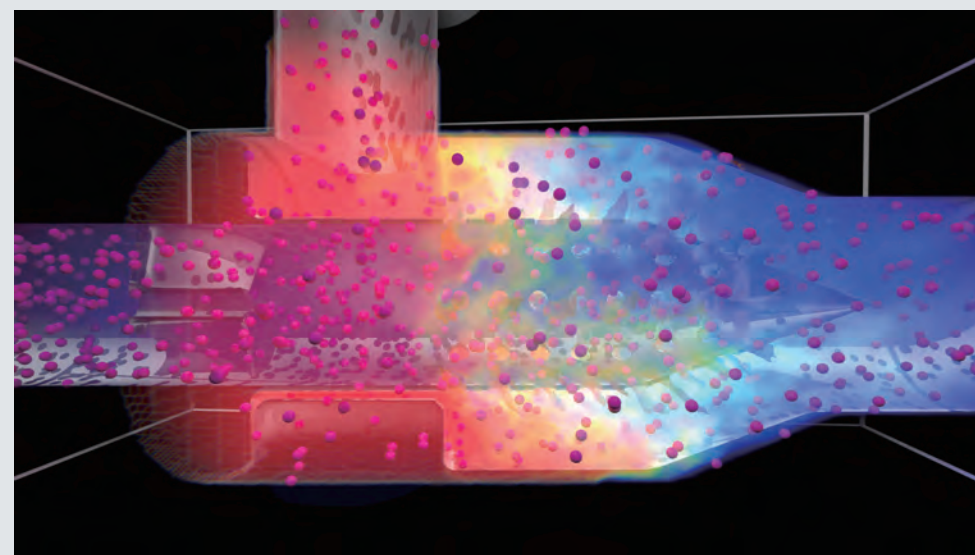
空気の流れの可視化

H3ロケットの射点設備の風速分布を可視化。打ち上げ前は地上風によって空気力を受けるが、その力は風向や風速、射点設備形状の影響によって変化することが知られている。H3の設計が進むにつれ、ML（移動発射台）の形状が詳細化されたため、スーパーコンピュータによる解析によって、ロケット周辺の流れの影響を確認した。



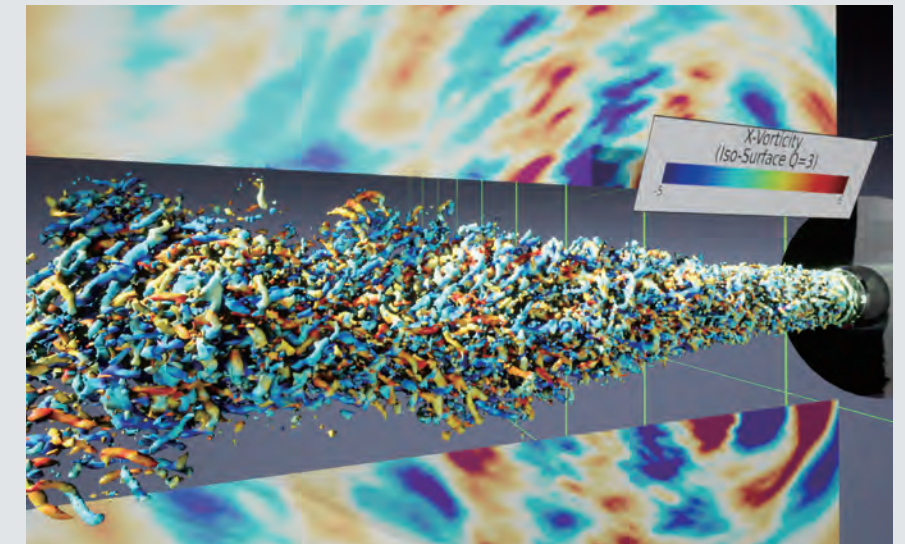
水素の流れの可視化

ロケットエンジンの水素ミキサー内部の流れを可視化。燃焼器に向かう直前の高圧下の環境のもと、極低温の水素（青色）と、タービンを回した低温水素（赤色）とをよく混ぜる必要がある。過大な圧力変動を生じずに混合がしっかり進むかどうかを、シミュレーション結果を用いた仮想粒子で確認をする。H3ロケットのプロジェクトにつながる研究の一環。



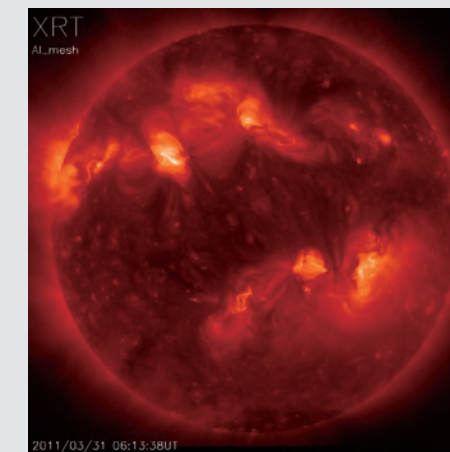
海面水温の可視化

水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W)に搭載されている高性能マイクロ波放射計2 (AMSR2) は、直径約2mの大きなアンテナで、海面や海水、大気から放射される微弱な電波を捉え、水に関するさまざまな物理量を観測。可視化された観測データは、気象予報や漁業、極域での船舶航行などに利用されている。



空力音の可視化

ロケットエンジンから噴射される超音速の排気ジェット（ブルーム）は、搭載する人工衛星を揺らすほどの非常に大きな空力音が発生する。画像は音の発生原因となるブルーム中の渦構造と、周囲に放出された圧力波を可視化したもの。H3ロケットのプロジェクトにつながる研究の一環。



太陽活動の可視化

太陽観測衛星「ひので」(SOLAR-B)に搭載されているX線望遠鏡XRTによる画像。明るく光って見えている部分は、太陽の表面から上空2000km以上にある、100万度以上に高温のガス（コロナ）である。可視光では黒点が見える以外はのっぺりと丸い太陽が、X線では複雑な模様を見ていることがわかる。特に明るい場所は活動領域と呼ばれ、太陽表面の爆発（フレア）もこの場所で起きる。

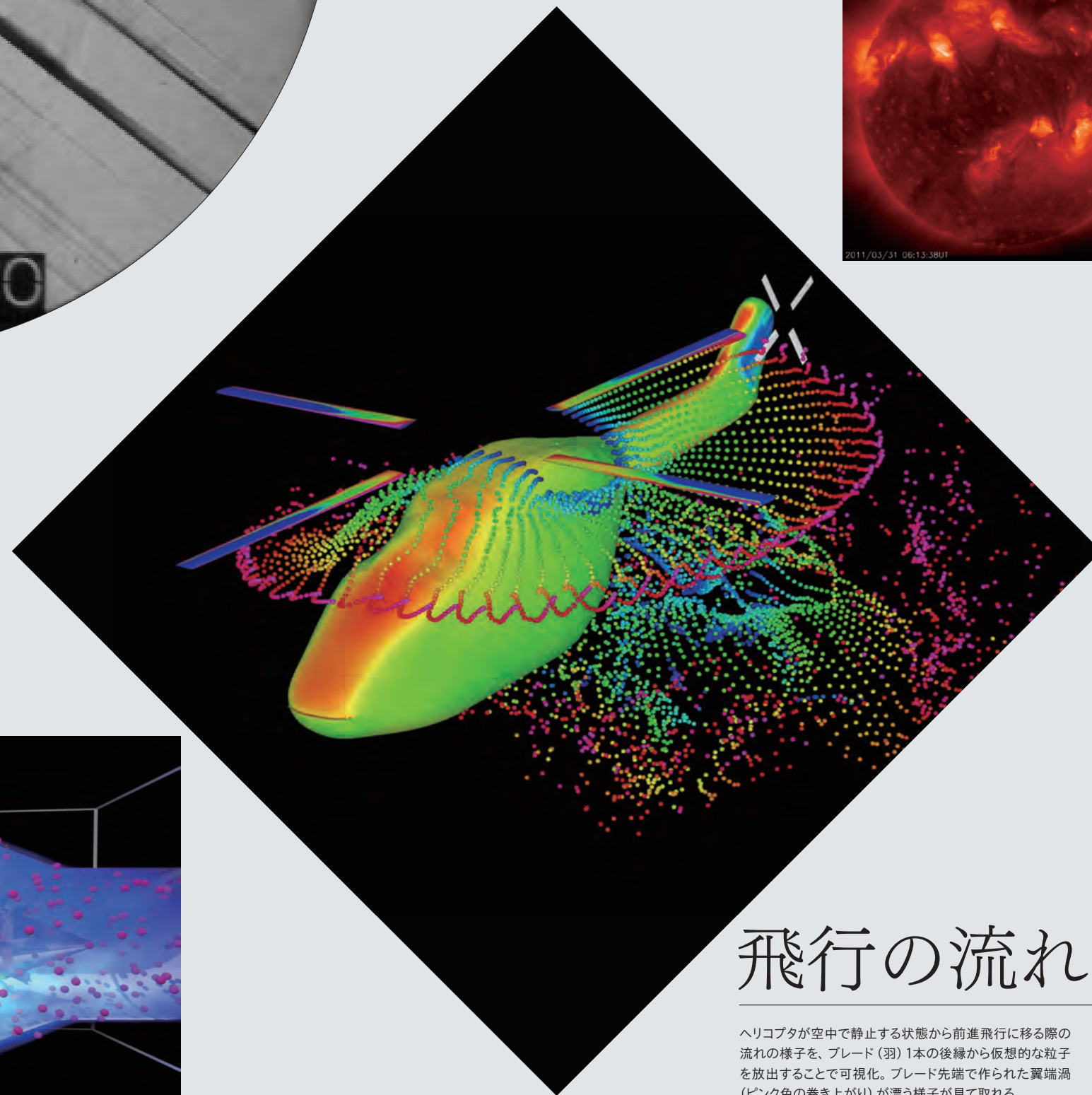


燃料の可視化

高圧の空气中に噴き出された、液体燃料ジェットが微粒化していく様子を可視化。3Dプリンタを使って透明樹脂中に可視化することにより、傘状のジェット先端の背後で液滴が生成される複雑な様子を理解することができる。

飛行の流れの可視化

ヘリコプタが空中で静止する状態から前進飛行に移る際の流れの様子を、ブレード（羽）1本の後縁から仮想的な粒子を放出することで可視化。ブレード先端で作られた翼端渦（ピンク色の巻き上がり）が漂う様子が見て取れる。

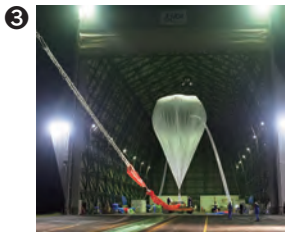




© NASA



© 三菱航空機



*海外のニュースの日付は現地時間

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

6 JUNE

- 3**  宮城県角田市「夢☆宇宙米プロジェクト」の一環として、国際宇宙ステーション (ISS) に打ち上げられていた米 (種籾) が地球に帰還
- 7**  NASA、早ければ2020年にISSを民間に開放することを発表 ⇒**1**
- 13**  三菱航空機、開発中のリージョナルジェット機の名称を「MRJ」から「Mitsubishi SpaceJet (三菱スペースジェット) ファミリー」に改名することを発表 ⇒**2**
- 28**  NASA、土星の衛星タイタンの新たな探査ミッションを発表。ドローン型の探査機を2026年に打上げへ

News Headlines

宇宙と航空にまつわる世界のニュース

 = JAXA  = 国内  = 海外

8 AUGUST

- 5**  NEC、“空飛ぶクルマ”試作機の浮上実験に成功したと発表 ⇒**3**
- 22**  東京の企業ispace、世界初の民間月面探査プログラム「HAKUTO-R」の計画を変更。2021年月着陸、2023年月着陸&探査へ ⇒**9**



© NEC



© ispace



JAXA山川理事長(左)とNASA
プライデンスライン長官(右)

9 SEPTEMBER

- 7**  人型作業ロボットを乗せたロシアのロケットが、ISSとのドッキングを経て地球に帰還
- 11**  ロンドン大学ユニバーシティ・カレッジの研究者ら、ハビタブルゾーン (生命居住可能領域) 内にある太陽系外惑星の大気中に水蒸気が存在することを初めて確認したとする論文を英科学誌で発表
- 24**   JAXAとNASAが月探査に向けた協力に関する共同声明に署名 ⇒**10**
- 25**  ISS補給機「こうのとりのり」8号機をH-IIIBロケット8号機にて打上げ ⇒**11**



あとがき

街を歩いていると、落ち葉を踏み心地よい音を楽しめる季節になりました。落ち葉は木を離れて空中を漂いながら地面に落ちますが、遠い天体まで寸分の狂いもなく探査機を送り込める時代になっても、その落下地点を正確に予測することはできません。これは、宇宙と違い地球には空気があって現象を複雑にしているからです。JAXAの活動は、宇宙だけでなくこの空気に満たされた「空」にまで及んでいます。そこで、本号では空気の力をうまく使って大空を自由自在に飛びまわるための研究をしている航空技術にスポットライトを当てました。航空の研究者は、空を飛ぶことに憧れた先人達の肩の上に立ち、さらなる高みを目指して日々研究に取り組んでいます。ぜひ本号のご意見・ご感想を、右のQRコードからお寄せください。(JAXA's編集委員 青山剛史／航空技術部門数値解析技術研究ユニット長)

JAXA'sアンケートは
こちら →



www.jaxa.jp

発行責任者：鈴木明子 (JAXA 広報部長)
ディレクション・編集：水島七恵 編集：平林理奈
アートディレクション・デザイン：篠澤隆文 (CINRA Inc.)
デザイン：二木大介 (CINRA Inc.)
プロジェクトマネジメント：久野剛士 (CINRA Inc.)
発行日：2019年10月17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 御茶ノ水ソラシティ

 @JAXA_jp
 jaxachannel
 facebook.com/jaxa.jp

WEB版のJAXA'sは
こちら →

リサイクル適性(A)
この印刷物は、資源物で紙へ
リサイクルできます。

VEGETABLE
OIL INK

