

No.080

JAXA'S NEWS

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.080

気象の入り口

「空のなかの出来事が、
私たちの営みを変える」

アニメーション監督

新海 誠

JAXA 第一宇宙技術部門
地球観測研究センター
研究領域リーダ

沖 理子

特集

Clouds & Rain

雲と雨

宇宙と私たちをつなぐ
コミュニティメディア



JAXA's

No.080

CONTENTS

P02-05

気象の入り口

「空のなかの出来事が、
私たちの営みを変える」
新海 誠 / 沖 理子

P06-08

特集

Clouds & Rain
雲と雨

P09

Column① 故郷、地球への手紙

「宇宙・わからなさ・言葉」
手紙の送り主
最果タヒ

Column② さわめき宇宙

囲碁

P10-11

Wildfire
in Australia

P12-13

宇宙の視座でものを見る

種子島編

自然とロケット。
対極にあるものが
融合するとき

P14

航空の視座でものを見る

大気編

大空を飛行しながら
大気観測

P15-17

JAXA TIMES

P18-19

JAXA の造形 vol.04

「はやぶさ2」帰還試料用
クリーンチェンバー

P20

宇宙と航空にまつわる世界のニュース

News Headlines

表紙写真：松村隆史

気象の入り口

空のなかの出来事が、 私たちの営みを変える

空のなかで起きている気象現象が日常の景色を変え、人の感情ともつながっていく。誰もが当事者となれる“天気をめぐる日々の物語”について、天候の調和が狂っていく東京を舞台にした映画『天気の子』を監督した新海 誠さんと、JAXA地球観測研究センターで雲と雨を研究している沖 理子研究領域リーダーが語る。

雲や雨、雪のこと。
まだわかっていないことが
たくさんあって、
私たち研究者はそれを解明したい。
解明するためには宇宙からの
観測が必要不可欠なのです。

(沖)

新海 誠

(アニメーション監督)

沖 理子

(JAXA第一宇宙技術部門地球観測研究センター 研究領域リーダー)

取材・文：水島七恵 写真：松村隆史

人間が体感できない世界を
見てみたいという欲望がつねにあって、
そのなかで映画『天気の子』は
雲の中で何が起きているのかを見てみたい、
知りたいという思いから生まれたんです。

(新海)



人の目で見える地球とは違う、
様々な色彩の地球を見る

新海：今日は僕の方が勉強させていただきたいなと思って来ました。映画を作る上で何かヒントを見つけられたいなという、下心もありながら(笑)。沖さんは地球観測がご専門ですね。いま運用中の最新の地球観測衛星というとなんでしょうか。

沖：私が関わっている中で最新のものは「しきさい」という気候変動観測衛星になります。

普段、人間の目は「可視光」と言われる波長の光を感じても物を見ていますが、可視光

だけでは地球の気候を知るには十分ではないんですね。例えば紫外線や赤外線など、「しきさい」はそれらの波長を感じできるセン

サを搭載していて、人の目では見られない地球の彩りを見ることができるのです。具体的には、陸地や海上に広がる植生、雲、氷の分布。地表面や海面の温度、大気中にある細かい塵(エアロゾル)の量などが調べる対象になります。「しきさい」の画像ですが、例えばこちら。人間の目では捉えることのできない、近赤外の光の波長を利用して捉えた、冬の日本の植生分布の画像です。

新海：美しい。「しきさい」の解像度はどれくらいなのでしょう？

沖：高度約800kmの上空から、250mもしくは1kmの解像度で測定できます。

新海：250mとは相当な解像度ですね。「しきさい」の画像は、一般に公開されているのでしょうか？



沖：されています。ぜひ、新海監督の作品でもご使用ください(笑)。

新海：本当ですか(笑)。ちなみにこれは、「し

きさい」が観測したデータそのままというわけではなく、データを何かしら変換した結果の画像でしょうか？

沖：はい、観測したデータを物理的かつ工学的な手法を使って、人の目で見た色、可視光の波長に馴染むような画像でお届けしているのです。

新海：なるほど。僕自身、可視光以外で見える世界にすごく興味を持っているんです。例えばコウモリは人間が感受できない赤外線を感じています。コウモリはどのようにこの世界を認識しているのだろうか？と、とても気になりますし、人間が体感できない世界を見てみたい。そういう興味や欲望はずっと持ち続けていますね。

沖：そもそも私たちが見ているこの世界は、

人間の解像度で見ているにすぎない世界、とも言えますよね。

新海：本当にそう思います。「見る」ということでいうと、雲の中で何が起きているのかを見てみたい、知りたいという思いがずっとあって、その思いから映画『天気の子』を作りました。また、雲というと、宮崎駿監督の映画『天空の城ラピュタ』の描写が自分の中に強く印象に残っています。

沖：「竜の巣」ですか。

新海：はい、あの劇中で登場する「竜の巣」です。「竜の巣」は、巨大な低気圧の渦なんですよ。そして渦の中心は雲の周囲とは逆方向に風が吹いていて、激しい雷も鳴っている。そんな「竜の巣」のなかへヒロインのシータたちは、飛行船タイガース号から切り離されてしまった小さな凧に乗って入っていく。ラピュタがあるから。そのシーンを中学生の頃に観たときに「雲の中はこんなふうになっているんだ!」と、見たことのない場所に分け入っていくような感覚があって、すごくワクワクして。あのとき感じた気持ち、好奇心を満たしてくれるような感覚が、アニメーション映画の中にもっとあって欲しい。そういう思いで今、自分自身映画を作っていますね。

宇宙から雲のなかを立体的に見る

沖：雲の中がどうなっているのか。それを見たいという気持ちは、雲と雨を専門に研究してきた私にとってもずっと変わらないテーマです。雲の正体は小さい水や氷の粒で、その小さな粒がくっつきあって、雲粒はだんだん大きくなりますが、大きくなりすぎてしまうと

重くなってしまい、それが地上に落ちてきます。その落ちてくる時に途中でとけて水に変わったものが雨。とけずにそのまま降ってくると、雪やあられになります。そんな雲と雨、雪について、わかっていることがまだまだたくさんあって、私たち研究者はそれを解明したい。そして解明するためには宇宙からの観測が必要で、さらにその観測精度自体を向上させると、見えないものが見えてくるのです。

新海：そのミッションをJAXAで行っているんですね。

沖：はい、その中心のひとつに「全球降水観測（GPM）計画」があります。これはJAXA、NASAの他にも多くの国際機関が参加しているミッションで、複数の衛星が協力して観測することで、約3時間以内にほぼ地球全体の観測ができるようになっていきます。またこのGPMの主衛星に、JAXAが開発した二周波降水レーダ（DPR）というセンサが搭載されていて、地球に向かって電波を飛ばし、雨粒や雪から反射した電波を受け取ることで、これまで不可能だった雲の内部の構造を立体的にスキャンすることができるのです。

新海：GPMIによって雲の解像度が上がったと。

沖：おっしゃる通りです。解像度をあげてその中身を立体的に見なければ、本当に知りたいことがわからないということなのです。

新海：すごいですね。解像度があがっていくことで僕たちの生活の何に活かされていくのでしょうか？

沖：淡水資源の源である降雨を正確に把握することで、水資源を適切に管理することにつながります。また、天気予報の精度向上、洪水警報システムの改善、地球温暖化によ



る異常気象の解明などにも活かされています。

空の魚は水と風のミックス

沖：『天気の子』では降り止まない雨が、街の景色を変えていきますが、雨の観測をしている研究者の身としては、新海監督がどのように雨を描こうとしたのか、お聞きしたいです。

新海：雨が降ると、世界の情報量があがる気がしませんか？例えば東京で雨が降ると

地面が濡れて水たまりができます。するとその水たまりに街のネオンやビル群が映り込んで、街全体の色彩の量が一気にあがって鮮やかになります。あるいは雨粒がついた窓ガラスに目を近づけてみると、ひとつひとつの雨粒に世界が映り込んで見えて、まるで世界が無数に増殖したような感覚になります。また雨粒が落ちる場所によって、雨音は変わりますよね。木々に落ちる音、コンクリートに落ちる音、水たまりに落ちる音。その雨音が世界のかたちを教えてください。それがすごく魅力的だなと思いついて描いていますね。

沖：雨を描くことは難しいことだと思うのですが、新海監督が描く天気は精密で表現豊かで、解像度が高く感じます。新海：解像度という視点でお話すると、『天気の子』のヒロインである陽菜は天気の巫女

として、人間とは違った解像度を持った存在として描けるんじゃないかと思っていました。例えば最初に陽菜が空の世界へ訪れたときに、魚のような小さなものがたくさん飛んでいるのを見ますよね。先ほど人間が見える可視光の光の波長が見える存在として描いているんです。

沖：まさにその空の魚の存在が気になって、今日お聞きしたいと思っていました。

新海：あれは実は水と風のミックスのようなイメージで描いています。人間には大気中に溶け込んでいる水蒸気は見えませんが、普段から観測されている沖さんは別ですが（笑）。でも水蒸気は確かに実在していて、陽菜は天気の巫女としてその水蒸気の流が見えているんです。水蒸気が上昇気流に乗って、空の高いところに持ち上がっていくイメージで描いてみたいという発想もありました。

沖：おもしろいですね。普段、雲粒が、降水粒子が、エアロゾル粒子が〜と研究している私にとっても（笑）、あの空の魚は違和感なく、受け止めることができました。あと、白い龍が空を飛んでいるシーンも興味深く観ました。

新海：あの龍は偏西風やジェット気流をイメージしていたんです。まるで地球をぐるりと取り巻く巨大な龍の様なイメージで。

沖：なるほど、偏西風のジェット気流が蛇行することによっても異常気象は引き起こされますから、あの龍が東京に雨を降らせていたのですね。

複雑で多様で、簡単には測れない気象現象

新海：異常気象と言えば『天気の子』は日本を始め、様々な国で公開させてもらいましたが、“BOY MEETS GIRL”のロマンチックな物語と受け取る方はもちろん、海外では特に気候変動の映画だと読み取る方が多く

雨が降ると、世界の情報量があがります。水たまりに街のネオンやビル群が映り込む。窓ガラスについての無数の雨粒には世界が映り込んでいる。雨音が世界のかたちを教えてください。（新海）

いました。

沖：私自身も気候変動という視点から観ていました。その上で、もし映画のような世界が現実になったとしても、私たち人類はきっとこうして頑張って生きていくのだろう、とむしろ前向きな気持ちになりました。

新海：少しでも明るい手ごたえを持って劇場を出てもらえるような映画にしたいと思っています。その感想はともうれしいです。

沖：でも、時間が経つにつれて思ったのは、帆高くんが選んだのは世界が変わってしまうことよりも陽菜ちゃんだった。すなわち人類が温暖化を止めていないという事実は、私たち自身が今も選んでいるようにも受け取れます。この点に関しては批判的な評価もあったりしたのでしょうか？

新海：批判的な意見もありましたし、そもそも映画とはいろんな意見が出てくるべきものです。ただ、大前提として映画はフィクションですから、「こうしなければいけない」という政治的なメッセージは、映画には込めていません。込めてはませんが、僕は『天気の子』ではふたつの視点を提供したつもりでいるんです。劇中で登場する気象神社の神主が「なにが異常気象じゃ! だいたい観測史

沖：なるほど、偏西風のジェット気流が蛇行することによっても異常気象は引き起こされますから、あの龍が東京に雨を降らせていたのですね。

というような台詞を言ったりしていますよね。

沖：「世界なんてさ、どうせもともと狂ってたんだから」という台詞もありますよね。すごく印象的でした。

新海：人間に気候を変えられるわけがない。ただかこの100年の異常なんて異常じゃない、と。それはある種、地球温暖化懐疑論と同じロジックではあるのですが、災害の多い日本列島に住んでいる僕たちにとっては馴染みやすい考えでもあります。それがひとつ目の視点。ふたつ目の視点は、今みんなが

感じ始めている異常気象というもの、やっぱり人間の経済活動の影響だし、それはある意味で僕たち自身が選んでいることだよ、という視点です。まさに「しきさい」もその状況を観測して、変えていくための気候変動観測衛星だと思っています。僕はそのふたつの視点を提供しながら、すごく極端ではありませんが、この先の起こりうるかもしれない世界を映画の中で見てみたいと思いながら『天気の子』を作ったんです。

沖：地球温暖化というと、温暖化を引き起こしている原因は二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの影響で、それをいかに削減できるのか?ということがよく話題になりますが、実は雲ができるために必要なエアロゾルも、さまざまな現象が複雑に絡み合いながら、温暖化を加速または減速させていると言われて



います。そこでJAXAではエアロゾルを発端として雲や降水が生成・消滅する過程と、それら地球全体での分布を、解明しようと試みています。

空を通じて、大事なものと目が合う

沖：新海監督の作品に『秒速5センチメートル』という作品がありますが、種子島が舞台のひとつなっていますよね。そこに地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」のポスターが写っているシーンがあっただけか

新海：ありがとうございます（笑）。『秒速5センチメートル』が公開されたのは2007年。もう10数年前の作品なので記憶も曖昧ですが、この作品を作るために実際に種子島へロケハンに行ったんです。それで、ふと立ち寄ったコンビニに当時NASDA（現・JAXA）のポスターが貼ってあったり、高校の廊下にH-II Aロケットの打ち上げ写真が飾ってあ

たりして、島の日常に宇宙開発がしっかりと接続しているんだというのがすごく印象的だったので、そういう描写を物語のなかに取り入れたいと思ったんです。

沖：帰り道、その少年と少女の前を、ロケットを載せた荷台が通り過ぎるシーンがあったり、ふたりの関係を変える重要なシーンで、ロケットが打ち上がりますよね。

新海：『秒速5センチメートル』で一番やりたかったこと。それは主人公の少年に強烈な片思いをしている同級生の女の子がいて、その女の子が少年とロケットの打ち上げと一緒に見るんですが、その瞬間、少年が自分を見て

いないことに気づいてしまう。片思いの切なさに気づいてしまう女の子の話を作りましたの

沖：新海監督の作品は、恋心という個人的な感情と遥か彼方の宇宙とがいっぺんにつながる瞬間がありますよね。それが違和感なく観る側に迫ってくるからすごいな、と思います。

新海：そのミクロな自分とマクロな宇宙が直結している感覚というのは、本質的には多くの人が実感したい感覚だと思うんです。長野県の八ヶ岳のふもとにある国立天文台野辺山宇宙電波観測所はご存知ですか？僕はその観測所からほど近い場所で育ったんです。すごく星がきれいな場所で、幼い頃から星空や夕焼けを眺めているのが好きだったんですけど、高校生になった頃、思春期特有の悩みをいっぱい抱えだした自分と、壮大美しい世界とが切り離されているような感覚があったんです。それはとても苦しかったんです。それでも一瞬、美しい星空とかを見ているときに自分のような人間でもその世界の一部なんだと感じられる、涙が出るような瞬間が何度かあって。僕はそんな瞬間を映画の中に入れたい。時間も場所も超えて、すごく大事なものと目が合ってしまうような瞬間を映画の中に込めたい。そういう欲望が僕に映画を作らせているような気がします。

沖：自分がこの世界の一部であるという実感。私自身は地球観測を通じて実感しているのかもしれませんが。その実感をより確かなものにするために、そして人々のよりよい暮らしにつながるためにも、まだ見えていない空のなかの出来事を、より精度を上げて観察できるように

研究者として努めていきたいと思っています。

対談の拡大版はこちらへ →



アニメーション監督

新海 誠

SHINKAI Makoto

長野県出身。2002年、個人で制作した短編作品『ほしのこえ』でデビュー。以降『雲のむこう、約束の場所』『秒速5センチメートル』『星を追う子ども』『言の葉の庭』『君の名は。』を発表。最新作で2019年に公開した『天気の子』は、天候の調和が狂っていく時代に、東京にやってきた家出少年・帆高と不思議な力を持つ少女・陽菜が運命に翻弄されながらも自らの生き方を「選択」する物語で、140の国と地域で公開。その年の国内NO.1興行収入を記録した。(2020年5月27日 Blu-ray & DVD 発売)



© 2019「天気の子」製作委員会



第一宇宙技術部門

地球観測研究センター 研究領域リーダー

沖 理子

OKI Riko

東京都出身。専門は気象・気候学。博士論文のテーマが宇宙からの雨の観測だったことから当時の宇宙開発事業団（NASDA）入社。以来一貫して地球観測の研究に携わる。子育て真っ最中で、ピアノを聴いたり弾いたりするのが唯一の息抜き。

特集 Clouds & Rain

雲と雨

雲・雨・エアロゾルの複雑な三角関係

雲の中の出来事

日々、私たちが目にする雲。天候を左右し、生活に直結する身近な存在でありながら、雲がどう生まれているのかはあまり知られていない。

「雲ができるためには、水蒸気とエアロゾルの両方が必要です。エアロゾルとは大気中の微小粒子のことで、花粉や黄砂、海水由来の塩分から成る粒子といった自然起源のものから、工場の煙のように人間の活動によって生まれるものまで、種類はさまざま。このエアロゾルを核として水蒸気が凝結することで『雲粒』が形成されるんです。エアロゾルがないと、水蒸気量が相当多くてもなかなか雲粒ができません。小さな水の粒である雲粒は重力によって常にほんの少しずつ落下していますが、上昇気流の力が落下する力よりも強いと空中に浮かぶように見え、これが私たちが目にする雲なのです」

雲粒は、水蒸気がさらに凝結したり雲粒同士がくっついたりしながら成長し、やがて上昇気流に耐えきれずに落ちてきたものが雨。つまり雲と雨の違いとは、水の粒が小さいために空中に浮かんでいるか、大きくなって落ちているかだけなのだ。

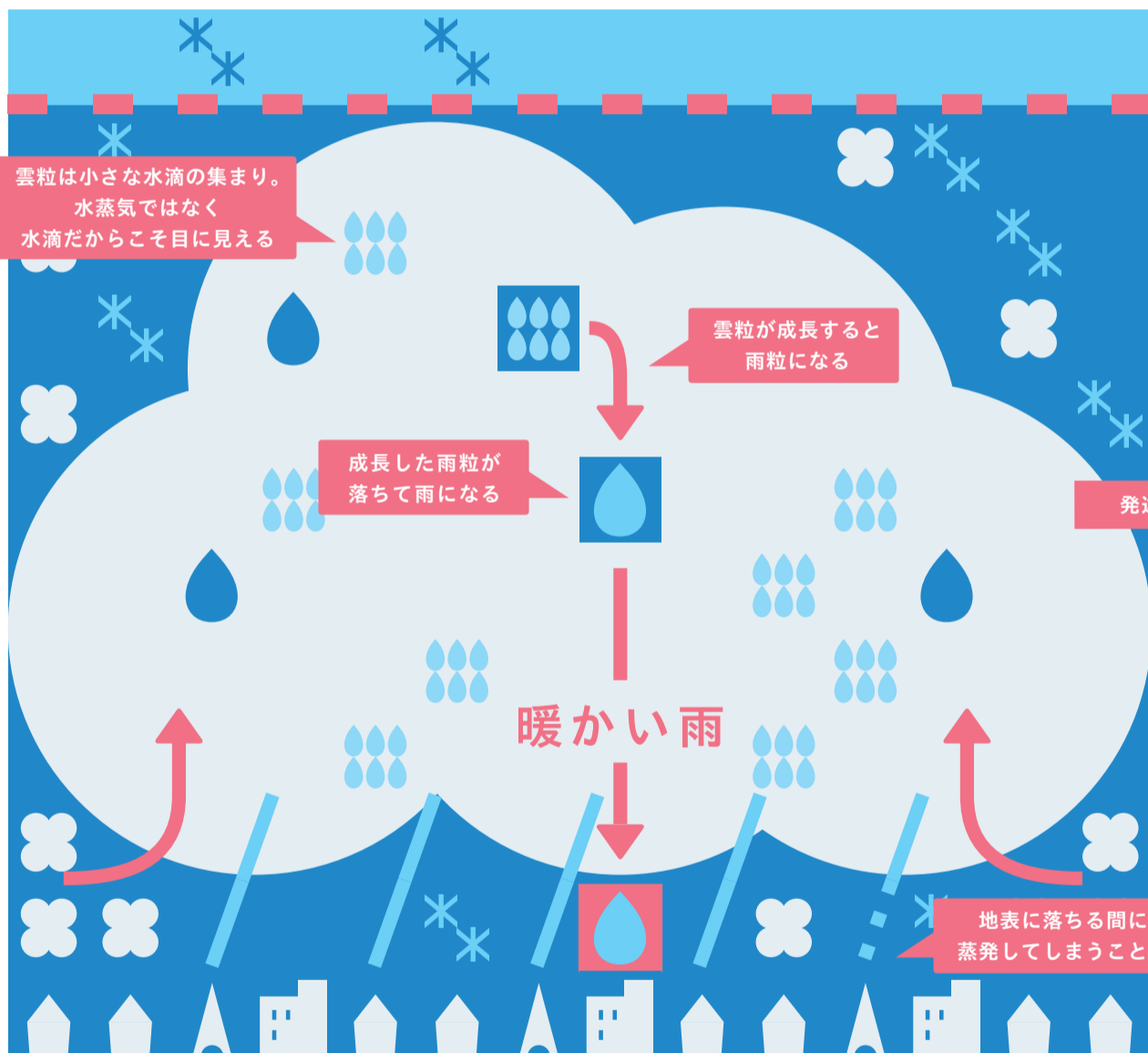
雨が降るまでの色とりどりのプロセス

冷たい雨と暖かい雨

ひと口に雨と言っても、その降り方はさまざま。大気温度は高度が上がるほど低くなり、ある地点で0℃を下回る。その地点より下でできる雲＝「水雲」のなかにはほぼ水の粒しか存在しないが、さらに気温が下がる高度にできる雲＝「氷雲」の中には水の粒が存在する。この水の粒が落下すると、地表に届くまでにとけて水になり、「冷たい雨」となって降ることになる。

一方で0℃の高度より下にも存在する雲から雨が降る場合は、そのプロセスのなかで雲粒が氷になることがないため「暖かい雨」とよばれる。例えば、山の斜面に沿って上昇気流が発生して降るような雨は、暖かい雨であることが多い。冬には冷たい雨が降り、夏には暖かい雨が降るわけではなく、夏でも十

もしもいのは、雲の形成に欠かせないエアロゾルが多すぎると、今度は雨が降りにくくなること。なぜなら核が多いとそれぞれの核が水蒸気を奪い合うので、ひとつの雲粒が成長しづらく、いつまでも空中に浮かんでいられるから。「これは『雲寿命効果』と呼ばれ、雲のライ



分に高い空に雲ができれば冷たい雨となる。「地上では同じ雨のように見えても、冷たい雨と暖かい雨では雨になるプロセスがまったく違います。そこがまた、研究者としてはおもしろいところで、雨の鉛直分布は非常に重要な情報なのです。冷たい雨を降らす水雲と、暖かい雨を降らす水雲は、その見た目からも区別することができます。夏の入道雲のように、雲と空の境目が線で引いたようにくっきりと分かっているものは水雲、秋のすじ雲のように、雲と空の境目がぼやけて見えるのが氷雲です。大きく発達した入道雲では、雲の下の部分が水雲、上の部分が氷雲になっているのが見たらわかるんですよ」

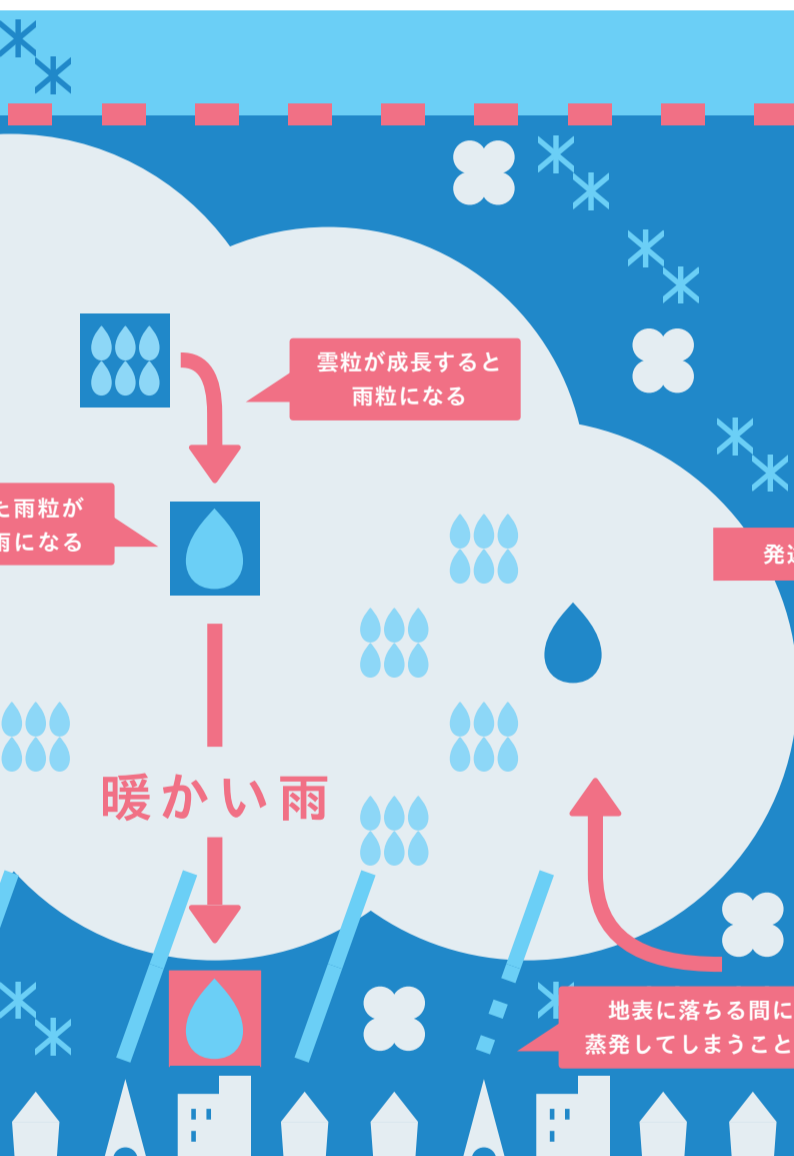
ほかに雨の種類といえば、雨が地表に届くまでの間に乾いてしまうことで見られる尾

空を見上げて深呼吸。快晴に心弾めば、雨の音に心落ち着くこともある。天気とは、地球循環の営みそのものでありながら、個人の暮らしにも深く関わる事象だ。普段、地表からしか見ていない雲や雨を、宇宙から観測することでながわかるだろう？ 主に雲や雨を通じて地球観測を行っている山地萌果研究開発員に話を聞いた。

取材・文：宮本裕人 監修：中島映至(JAXA)

フタイムが延びることで雨になりにくくなることを指します。大気汚染などによってエアロゾルが多いと、雲の寿命が長くなるので1日中どんより曇っているのに雨が降らないことがあります。そして、雨が降らないと地面が乾燥して砂埃も立ちやすくなるのでエアロゾルが増え、ますます雨が降りにくくなる。雲、雨、エアロゾルの3つが互いに、複雑に関係し合っているんです」

や気温・湿度の違いによって雲も多様な顔を見せる。雲の分類法としては、できる高さや形によって10種類に分けられ「十種雲形」が一般的で、いま空に浮かんでいる雲も10種類のどれかに該当するはずだ。山地のお気に入りには、すじ雲とも呼ばれる刷毛で掃いたような形の巻雲だという。「研究材料としてというよりも、単純にきれいだからです(笑)」



- = 雨粒
- = エアロゾル
- = 水蒸気
- = 雪粒や氷粒など
- = 雲粒

流雲や、雨粒が小さくてゆっくり落ちることで地表に届くまで時間がかかり、その間に雲が移動・消滅することで起こる天気雨がある。日本では天気雨が降ることは地域によって「狐の嫁入り」と呼ばれるが、アフリカでは猿

やジャッカル、アラビア語圏では鼠、ブルガリアでは熊、韓国では虎、そしてトルコでは悪魔の結婚と結び付けられて「珍しいもの象徴」として語られている。雨は、その土地の文化や俗信にも密接に関係している。



第一宇宙技術部門 地球観測研究センター研究開発員

山地萌果 YAMAJI Moeka

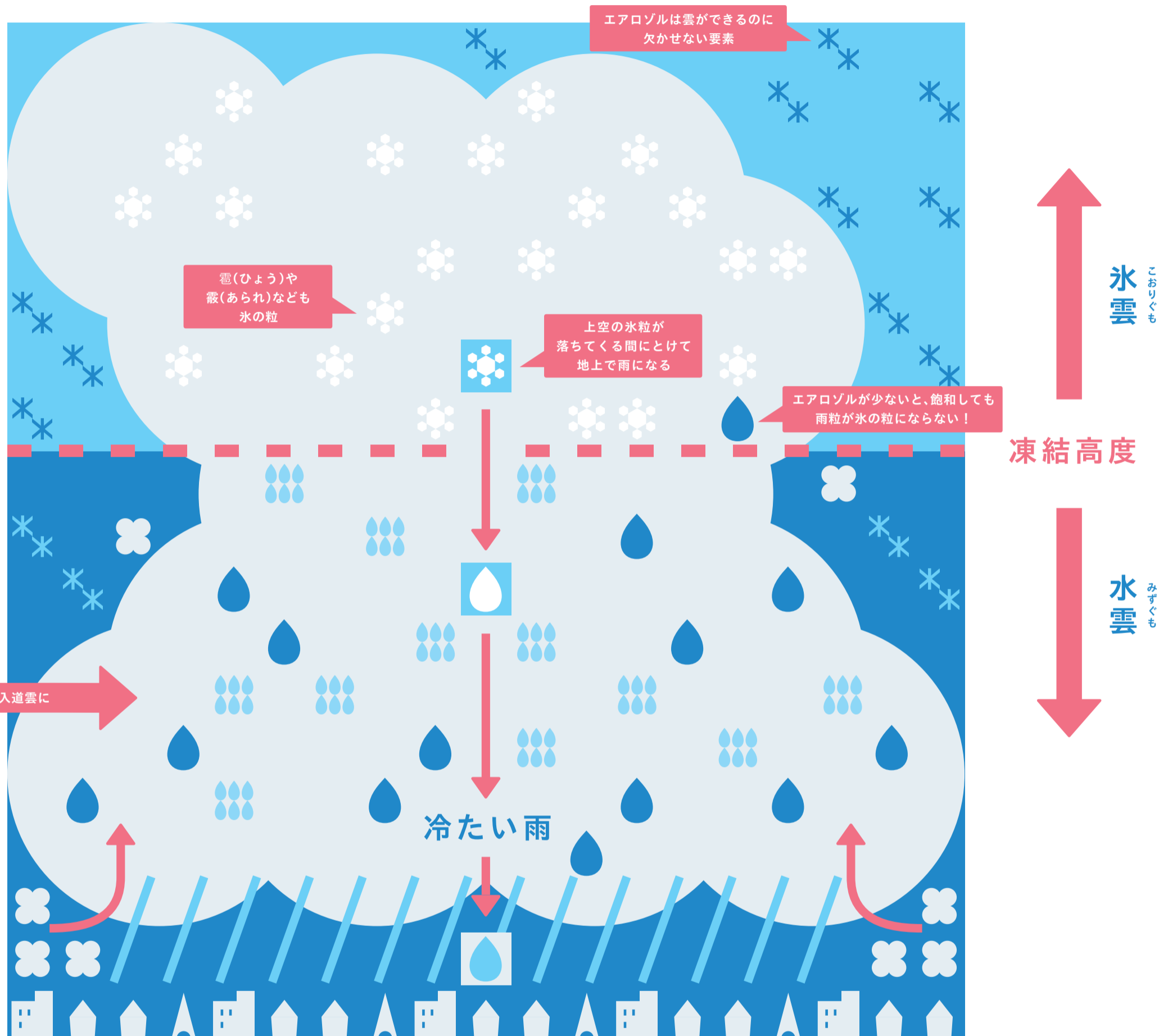
瀬戸内生まれ、東京育ち。専攻は気候学。JAXA入社以来、衛星降水データを使った研究や利用推進業務に従事するとともに、将来の雲降水ミッションに向けて全力で邁進中。好きなことはバドミントン、好きなものは酒類全般。



第一宇宙技術部門 地球観測研究センター参与 宇宙科学研究所特任教授

中島映至 NAKAJIMA Teruyuki

東京都出身。衛星リモートセンシングと気候科学の研究と振興に貢献。NASAゴダード宇宙飛行センター上席研究員、日本気象学会理事、国際気象学・大気科学協会事務局長等を歴任。著書多数。紫綬褒章受賞。最近はバンドで歌っている。



雲は温暖化の不確定要素

雲や雨の理解を深め、集中豪雨にも備える

近年、日本でもまるで東南アジアで見られるような激しい雨が増えている。「ゲリラ豪雨」や「集中豪雨」といった言葉も毎年のように聞くようになった。「こうした雨の降り方の変化には、地球温暖化も大きく関係しています。気温が1℃上昇すると空気中の水蒸気量は7%増加する。

すると当然、雲ができやすくなり、雨も降りやすくなります。ところが、実際の雨の総量はそれほど増えておらず、いま起きているのは『雨の二極化』。雨が降る地域ではより激しい雨が降りやすくなる一方で、降らないところでは弱い雨さえ降りにくくなります。世界的に見ても、豪雨と干ばつという両極端な

現象が増えているんです」地球温暖化が雲に影響を与える一方で、雲もまた、地球温暖化に影響を与えている。「雲には太陽からの放射エネルギー（太陽放射）を宇宙空間に跳ね返す役目もあれば、地球から宇宙に向かって出ていく放射エネルギー（地球放射）を大気中に閉じ込める役目もあります。つまり雲は、地球を冷ます方向にも暖める方向にも働くんです」雲がどちらの方向に働くかは、その高度や性質（例えば雲の厚みによる白さの割合）によって変わり、また雲同士にも移動しながら重なり合っているため、雲の地球温暖化に与える影響を予測するのは極めて難しい。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第

5次評価報告書によると、今世紀末までの世界の平均地上気温の上昇は0.3～4.8℃の範囲に入る可能性が高いと予測されており、この幅の大きさからも不確実性は非常に大きいといえる。その予測を困難にしている一因は、雲とエアロゾルが気候変動に与える影響についてわかっていないことが多いからなのだ。「雲と雨をよりよく理解することで、数値モデルとして雲と雨のふるまいをより正確に表現することができます。これが、長期スケールで100年後の気候を予測する能力向上にも、集中豪雨のような短期間で起きる災害に備えることにもつながります。温暖化や豪雨災害、水資源の問題に対処するためには、『雲と雨を理解すること』が強く求められているのです」

宇宙・わからなさ・言葉

「宇宙は泡の構造をしていると知ったとき私は中学生で、鼻血が出そうだった。関係する本をむさぼるように読んで、そういうことをたくさん日記に書いた。知ってしまったのにそれが全然終わりの見えない事実であって、知ったはずなのに、むしろ「知らないこと」がより増えてしまったようだった。そんなことがあるなら、もう何も怖くないと思った。」

もつと昔、私は宇宙図鑑がどんな図鑑より好きだった。惑星の拡大図はほとんどがイラストで、写真じゃなかった。本物が見られるはずの図鑑のなかで、宇宙図鑑は異質だった。仮説があり、「わからなさ」がたくさんで、でも証明されたことともある。そういう立ち位置で世界を見るのが私でも安心させた。私はなんにも知らないことが楽しかった、それを知らうとすることが、調べることが、幼いころの私の最大の娯楽だった。そしてその遊びが終わらないものと教えてくれたのが、宇宙図鑑だったんだ。

知りたいという気持ちはとても好きで、でも知ることがすごく「勉強」っぽくなることは苦手でした。そこにはゴールがあつて正解があつて、成績をつけられることになる。そうやって世界を狭めることになんの意味があるんだろう。他人に、自分のことを知ってもらう必要があつて、正しく説明し、たった一つの答えを相手に理解してもらう。などということがあるたびに、めっちゃ退屈やなと思った。知らないでいたい、もっと知らなくならないし、そのため知りたいのだ。そんなこと、望んではいけないうらさうか。

地球には言葉がある。言葉は、語ることで何か



故郷、地球への手紙 vol.04

宇宙を想うとき、地球に生きるわたしが見えてくる

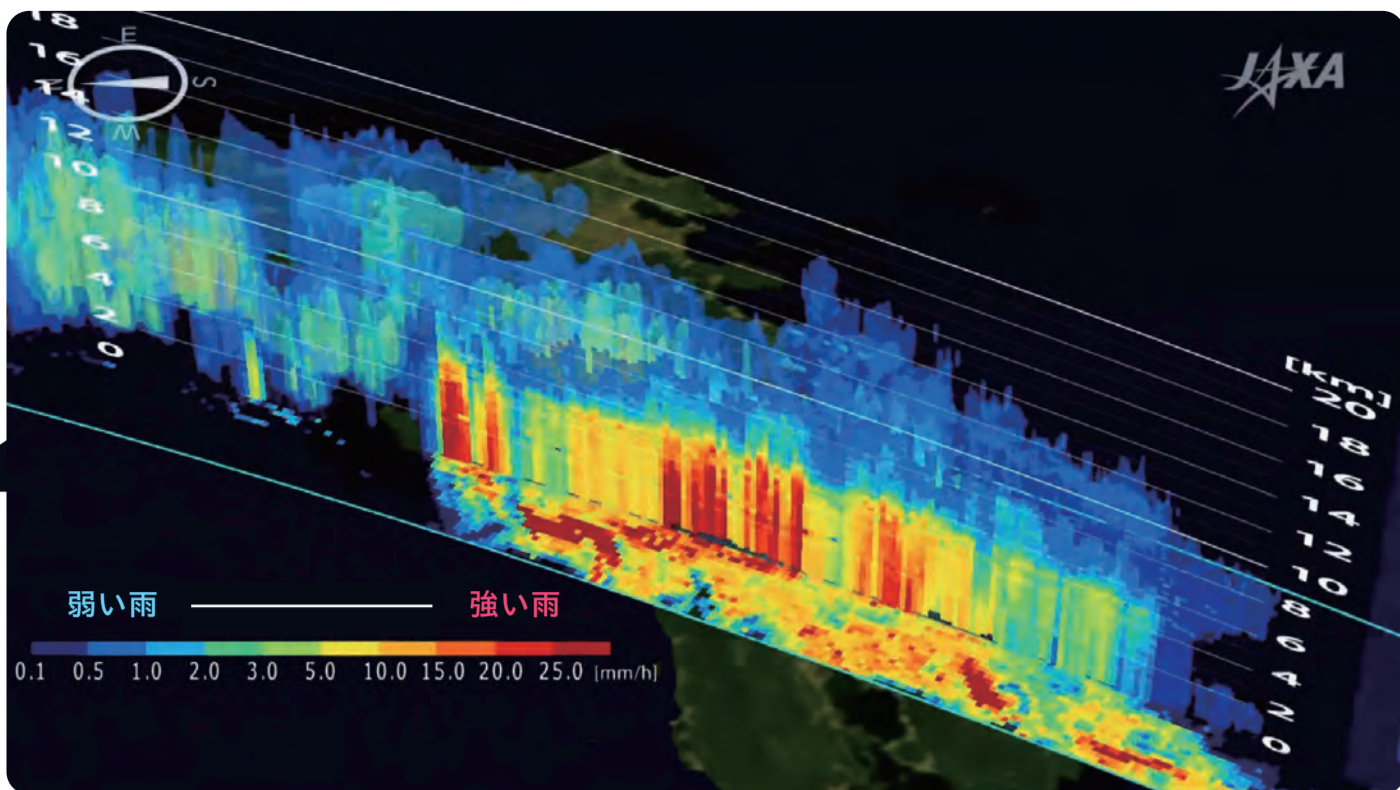


手紙の送り主 最果タヒ SAIHATE Tahi

詩人、1986年生まれ、中原中也賞・現代詩花椿賞などを受賞。主な詩集に『虚空はいつても最高密度の青色だ』『エッセイに『好き』の因数分解』小説『雷が黙になる季節』などがある。最新詩集は恋人たちを『セ』で光る。

宇宙には言葉がない。語る相手がない。空気がないというより、音がないというより、言葉がないと思うとき、急にその世界をとつともなく広く感じる。それで宇宙に行くことがあれば、私は言葉で思考し、言葉でものを思うだろう。星に名前をつけたがり、銀河に名前をつけたがり、目撃した物事の記録を書きとめようとするだろう。私は言葉から逃れられない、生まれたときから言葉を求めていたと思う。思考するために、感情を持つために、言葉はどうやって必要で、でもそれは、思考や感情を終わらせるため、完成させるためではない。いつも、それ以上の何かを求めている。言葉にすることが答えを出すことではないと信じている。あの宇宙図鑑を読んでいたころにみたに。

宇宙の中に言葉はない。けれど、私一人、言葉に溢れるそのことが、さみしいことだとは思わない。わからなさの中に世界があつて、わからなさを諦めないために、言葉はあると思うから。そう、信じているから、私は宇宙でもきっと、詩人であるのだと思う。



西日本豪雨の際の観測画像

GPM主衛星に搭載されている二周波降水レーダ「DPR (Dual-frequency Precipitation Radar)」には、弱い雨や雪の検出が得意なレーダと、強い雨の検出が得意なレーダの2台が搭載されている。この2つのレーダを同時に使うことで、世界中の雨雲の中の降水を立体的に正確に観測することができる。

日本が誇るGPM計画による降水観測技術の最前線

雨や雪の立体構造を宇宙から読み解く

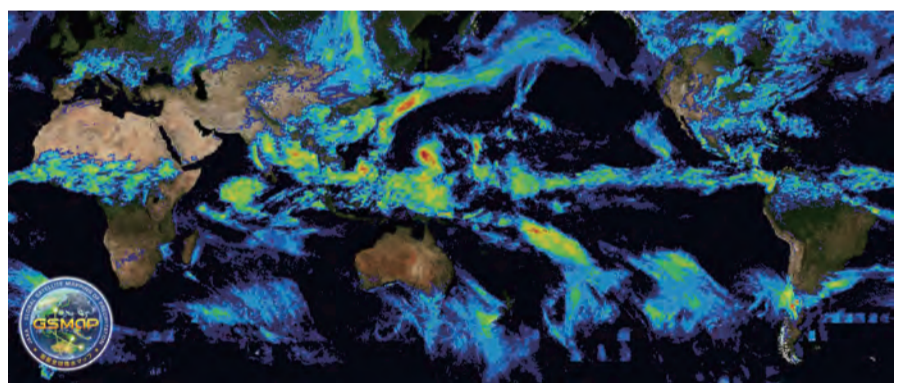
雲や雨をよりよく理解するためには、より高精度で観測することが必要だ。JAXAを含めた世界中の研究所が、宇宙からの観測によって雲と雨を理解しようとしている。なかでも日本とアメリカが主導しながら国際的な協体制で進めている「全球降水観測 (GPM) 計画」は、複数の衛星データを利用して地球全体の雨を高頻度・高精度に観測している。そしてこのGPM計画のために2014年2月にNASAの衛星に搭載され種子島から打ち上げられたのが、日本が開発した雨雲をスキャンする観測装置「二周

波降水レーダ (DPR)」だ。「まるでコウモリが超音波を発生して反射波からまわりの状況を知るように、DPRは地球に向かって電波を飛ばし、雨粒や雪から反射した電波をキャッチします。それによって雲の内部から地上に落ちていく雨や雪の構造を立体的にスキャンすることができる、宇宙で唯一の降水観測装置です」

地球の大部分は海洋や僻地であるため、従来の雨観測で用いられていた地上の観測機では地表面の25%ほどしかカバーできないといわれている。また最先端の観測機は

先進国にしかないため、アジアやアフリカでは十分なデータを得ることが難しい。しかし宇宙から衛星を使って観測することで、地球全体の雨の量や分布をより詳しく知ることができるようになる。さらにDPRは、JAXAが作成する「衛星全球降水マップ (GSMaP)」の基準機としても重要な役割を担っている。衛星によって得られた雨のデータは、日々の天気予報から豪雨災害の察知や予測、異常気象の解明、水資源の管理といった気候・災害にまつわる領域のほかにも、生態系や農業などのさまざまな研究分野で活用されている。

DPRが私たちの生活に大きく貢献した最近の例は、2018年7月に起きた西日本豪雨だ。「DPRのデータは気象庁でも使っています。西日本豪雨の際、上空にある雲の中から地上に至るまでの立体的な雨の観測データが活用されることによって、西日本に広がる強雨域をほぼ正確に予測できたと同様です。このように、宇宙の技術が私たちの普段の生活のなかでも役に立っているのです」



西日本豪雨時の衛星全球降水マップ (GSMaP) 画像 (2019年7月5日~7日の積算降水量)

世界の雨分布速報はこちら →

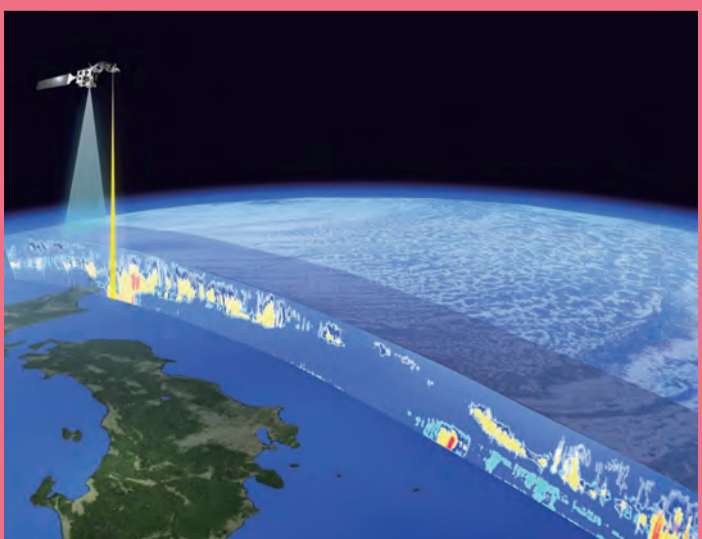


将来の雲雨ミッション

雲ができて雨となって落ちる、一連のつながりを宇宙からとらえる

観測技術が進化しているとはいえ、エアロゾル・雲・雨の一連のつながりについてはまだまだわかっていないことも多い。その謎を解明するためにJAXAとESA (欧州宇宙機関) が共同で進めている新たな地球観測衛星ミッションが「EarthCARE (Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer)」だ。4つの観測センサを用いて、雲とエアロゾルの地球全体の分布や立体構造をより正確に観測するものである。さらに将来に向けた取り組みに目をむけると、全米科学アカデミーは、2018年に発表した「Decadal Survey」

において地球観測で取り組むべき5つの最重要テーマを特定したが、そのひとつが『雲と雨』、もうひとつが『エアロゾル』だった。JAXAとしても、GPMやEarthCAREの開発経験や科学的知見を活かして、NASAやESAをはじめとする国際機関との協力の下、この非常にチャレンジングな課題に取り組んでいるところである。全人類にとって喫緊の課題として迫る気候変動の影響を予測し、その脅威に対処するために、世界の科学者たちはいま、エアロゾルから雲ができ、そして雨となって落ちるまでの一連のプロセスの解明に取り組んでいるのである。



EarthCAREによるエアロゾルや雲の観測イメージ

ごめき宇宙

心に寄り添うカルチャー案内 vol.04

構成：水島七恵

神の一手に感じる宇宙

幼い頃、父親から教わった囲碁に本気になったのは大学時代、囲碁部に入学してからのこと。それまでもすでに夢中ではあつて初段になっていたのですが、大学を卒業する頃には六段まで上達したので、今振り返ってみると、よほど勉強せずに囲碁ばかり打っていたなあと思います (笑)。

そもそも囲碁とは「碁盤」と「碁石」を使って遊ぶゲームで、最も一般的な対局は、縦横19本ずつ線が引かれた碁盤を使って対局するというもの。黒石をもった人と白石をもった人が、それぞれの碁石で陣地を囲いあって、最終的に相手よりも大きな陣地を囲ったほうが勝ち。簡単に言えば陣取り合戦ゲームです。

碁盤の始まりは四千年くらい前、中国から始まったとされていて、日本には奈良時代、遣唐使が唐から持ち帰ったという話がありますが、伝来そのものはそれ以前からとも言われています。また多くの文学作品にも登場していて、かの有名な清少納言の『枕草子』や紫式部の『源氏物語』にも碁盤の対局シーンが描かれています。

碁盤は宇宙、碁石は星のかわりで、古くは天文や暦、占いに使われてたともいわれている囲碁。という背景もあるので囲碁をきっかけに宇宙に関心を持ち、今の仕事に?と聞かれるとするなら、それは偶然です (笑)。

そんな私が碁盤と宇宙のつながりを強く意識したのは、映画「天地

井はもともと、将軍に碁碁を教える名家に生まれた棋士なんです。天文学と囲碁。見事な関連があるのだなあと、『天地明察』を観ながら再認識しました。

碁碁は芸術にも通じるところがあるんですよ。碁碁は一局ごとに「棋譜」と呼ばれる対局記録が残るので、その棋譜のなかから私自身が好きな一局があつて、それが「耳赤の一手」。江戸時代の棋士、本因坊秀策 (ほんいんぼうしゅうさく) が幻庵因碩 (げんなんいんせき) との対局で打ったもので、まさに芸術の神の一手です。「こんな一手があつたのか!」と、それこそ宇宙的な無限の広がりを感じながら、驚きとともに感動しました。そういうときの碁碁は、戦いというよりも調和。本当に美しいんです。

そのような究極の一手は、自分自身はまだ打てませんが、ふと思えば碁碁の視点はこの仕事に役立ってきたように思います。失敗しても戦略を変えたり、俯瞰して全体を見ることや先の先を読むことなど、碁碁で培った経験と思考が、仕事のプロジェクトに取り組むうえで役立ってきました。

碁碁とは随分長い付き合いになりましたが、私にとって碁碁は趣味であり、友達のような存在です。そして一生かかっても極められないであろうその奥深さに、今も惹かれて続けています。



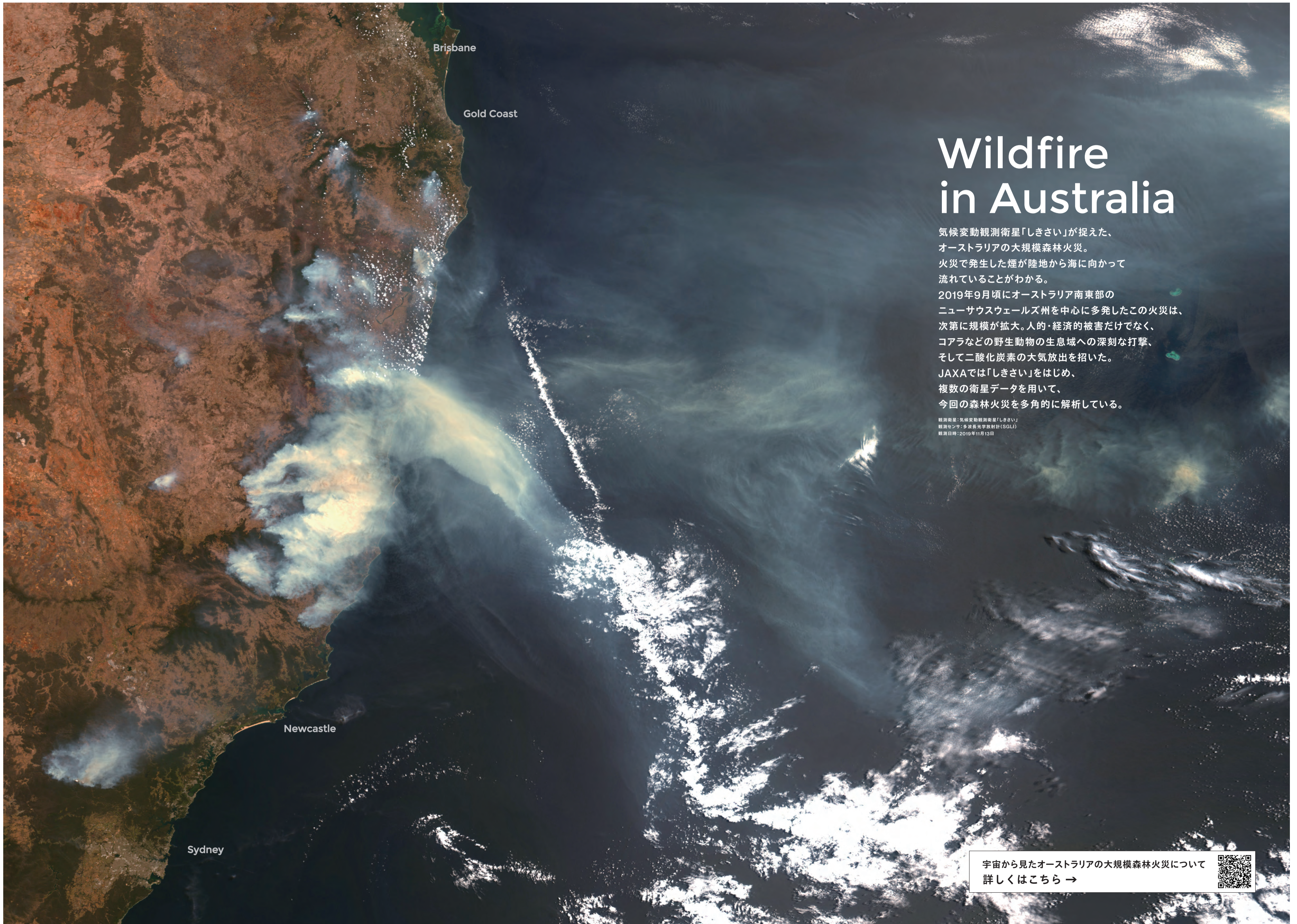
(黒)本因坊秀作(白)幻庵因碩、「耳赤の一手」の局。秀作が盤中央に打った一着が三方にらみの妙手。それを見た幻庵因碩の両耳が赤く染まったことから「耳赤」と呼ばれる。

明察」かもしれません。物語の舞台は江戸時代前期。800年もの間、国内で使用されてきた中国の暦のズレを直し、日本独自の暦作りに専念した実在の人物、安井算哲 (やすいさんてつ) の半生を描いているんですが、安



チーフエンジニア室長 鈴木裕介 SUZUKI Yusuke

北海道出身。国産ロケットH-II、H-IIAロケットや宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV)の開発を経て、現職。碁碁七段。JAXA碁碁同好会の会長を務める。ワイン好き。



Wildfire in Australia

気候変動観測衛星「しきさい」が捉えた、
オーストラリアの大規模森林火災。
火災で発生した煙が陸地から海に向かって
流れていることがわかる。

2019年9月頃にオーストラリア南東部の
ニューサウスウェールズ州を中心に多発したこの火災は、
次第に規模が拡大。人的・経済的被害だけでなく、
コアラなどの野生動物の生息域への深刻な打撃、
そして二酸化炭素の大気放出を招いた。
JAXAでは「しきさい」をはじめ、
複数の衛星データを用いて、
今回の森林火災を多角的に解析している。

観測衛星：気候変動観測衛星「しきさい」
観測センサ：多波長光学放射計(SGLI)
観測日時：2019年11月13日

宇宙から見たオーストラリアの大規模森林火災について
詳しくはこちら →



宇宙の視座でものを見る 種子島編

自然とロケット。 対極にあるものが 融合するとき

1968年9月、初打ち上げから半世紀を経て、日本最大のロケット発射場として人類と宇宙をつないできた種子島宇宙センター。原始の自然が残る島の海岸線から、人類の英知・挑戦を乗せてロケットが打ち上がる。対極にあるものが融合する瞬間を私たちは見届けたいと、種子島へ向かった。

取材・文：水島七恵 写真：後藤武浩



種子島の最南端の地、門倉岬。天文12年（1543）、鉄砲を伝えたポルトガル人の乗った異国船が漂着したことを伝える鉄砲伝来紀功碑がある。

悠久の自然のなかに、科学と技術のいっばん先端をゆくロケットがぼつんと佇んでいる。本来両極にあるはずのものが、不思議と溶け合って見えた。美しい。その景色を見ながら、私は思わず息を飲んだ。「美しさの尺度というものは主観的なもので、人それぞれ解釈が違うと思いますし、うまく言葉で表現できるものではありませんよね」美しいことの内訳をうまく言語化できずただ高揚する私に、笑顔で返してくれたのは、ロケット打ち上げに対するJAXA側の総合的な企画・調整、射場運営管理取りまとめなどを務めている福添森康氏だ。「ロケットは地球の重力という自然に抗って、

朝焼けとともに姿を現すH-IIロケット8号機。



美しさとは、そこに あるべくしてあるもの

2019年9月11日、深夜2時。私たちJAXA's取材班は目的地である南種子島町・恵美之江に到着し、車のヘッドライトを消した。その瞬間、大きな暗幕に覆われたように漆黒の闇に包まれ、視界は自ずと空に眩く星々に奪われていった。そして、水平線からぐりと頭上を経由して地平線に至るまでの180度、どこを見渡しても波打つ星々に埋まった世界を見つめながら、「そうだ、地球は球体だった」と、誰に向けてでもなく口にしてしまった。やがてその星々が一つひとつ消えていき、水平線と、横たわる雲の間に朝焼けの茜色が一本の線を作る頃、ロケット発射場から同日朝6時33分に打ち上げ予定の宇宙ステーション補給機「こうのとり」8号機を乗せたH-IIロケット8号機の姿がうっすらと見えてきた。それがロケットの打ち上げの現実です！全長57m、直径5.2m、重量550t（「こうのとり」を搭載した重量）のH-IIロケットが大気圏を突き抜け、彼方の宇宙へと昇っていく。言葉にすると至極シンプルなものには、約125万点の部品で構成されたロケットの機体と、製造、組立て、点検、さらに地上装置と設備といった、非常に広範囲にわたる巨大なシステムが完璧な状態で成立してこそという現実がある。「あれだけの機体の大きさですから、積荷もさぞたくさんだろうと想像される方もいると思いますが、実は質量550tに対して積荷となる宇宙船『こうのとり』の質量は16.5t、約3%の割合です。残りの質量は、ロケット構



打ち上げ前には、バルーンに取り付けた観測機器で、温湿度・風速風向など上空約20kmまでの大気の状態を観測する。



JR山手線内側の面積の約7倍の広さがある種子島宇宙センター。敷地内には無料で見学できる宇宙科学技術館がある。

打ち上がる人工物です。そんなロケットを見て美しいと感じるということは、きっとロケットと種子島の自然が違和感なく共存して見えたからではないでしょうか。私自身、美しさをなに見出すかと言えば、「そこにあるべくしてあるもの」に感じるような気がします」福添氏と会話をしたのは、H-IIロケット8号機の打ち上げ延期が決定してから半日ほど経った、昼下りのことだった。つい数時間前までその美しさに心奪われていたロケットはこの日、宇宙へは向かわなかったのだ。「H-IIロケット8号機の打ち上げは、宇宙活動法が施行され、その実施を民間事業者（三菱重工）が担当初めての打ち上げでした。一層気を引き締め、準備を整えカウントダウンを迎えていましたが、なにかが起きるときは起



鹿児島県出身の福添森康氏。肩書きは、鹿児島宇宙センター射場技術開発ユニット主幹研究開発員。小学校高学年の頃から宇宙に興味を持ち、天体観測同好会に所属。ハレー彗星の観測会を行うなどしていた。

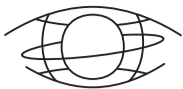
造体や搭載電子機器を除く大部分、9割近くがロケットを持ち上げて宇宙に向かわせるためのエネルギー、言わば推進剤となります。積荷を載せたロケット最終段の最終到達速度は、秒速約7km。時速では約3万kmとなり新幹線の100倍ものスピードに相当します。その速度に到達することで、宇宙空間において地球の重力と釣り合い、地球のまわりをまわり続けることができます。ひとたびロケットが地上を離れると、人間ができることはただ一つ、想定軌道を外れる可能性を確認された時点で飛行中断のコマンドを送るだけ。そういった部分もまたロケットにしかない難しさだとも思います」準備と本番、そして延期。続く原因究明とリカバリー。まさに疲労のピークというさなかで、福添氏はロケット発射場を望む長谷展望公園で私たちの撮影に応じてくれた。「もう昼食は食べました？ あそこのお店はすごく美味しいから、よかったらぜひ行ってみてくださいね」極限を知る人には、どんな状況にも対応できるようなフレキシビリティが、備わっている。そして強く穏やか。わずか15分の対話のなかで身に沁みて実感した。それから14日後の9月25日、深夜1時5分5秒。H-IIロケット8号機が、ついに種子島宇宙センターから打ち上げられた。約15分2秒後には「こうのとり」8号機がロケットから正常に分離され、打ち上げは成功。その後も順調に飛行を続けた「こうのとり」8号機は、9月28日深夜2時55分、国際宇宙ステーション（ISS）に結合した。

種子島は新しい時代が 切り拓かれる起点となる

日本のロケット発射場がなぜこの種子島だったのか。H-IIロケット8号機打ち上げに成功してから数週間後、福添氏にあらためて話を聞いた。「赤道上を周回する静止軌道への打ち上げには、赤道に近く、また、地球の自転速度を利用できる東向きに発射するのが良いのです。ロケットが発生するエネルギーをより少なくでき、効率的なためです。地球は西から東の方

種子島編の拡大版はこちら →





航空の視座でものを見る 大気編

CONTRAILプロジェクト

大空を飛行しながら大気観測

旅客機で世界各地に向かうその時間は、大気を観測する時間でもある。環境分野の取り組みとして始まったCONTRAILプロジェクト[※]は、地上観測では捉えられない上空での二酸化炭素（以下、CO₂）濃度を継続的に取得することで、地球温暖化の予測精度を高めている。このプロジェクトのリーダー、国立環境研究所・地球環境研究センター室長の町田敏暢さんに、旅客機での大気観測だからこそ見えてきたことを伺った。

※参加組織：国立研究開発法人国立環境研究所、気象庁気象研究所、株式会社ジャムコ、公益財団法人JAL財団、日本航空株式会社

取材・文：水島七恵



CONTRAILプロジェクトに使用されている旅客機。機体後方にCONTRAILのロゴ（緑色）が塗装されている。

写真提供：日本航空株式会社

地球温暖化の原因である、温室効果ガス。そのガスのひとつであるCO₂の排出量を減らすことが、今やグローバルな課題となっていることは、みなさんご存知だと思います。

そもそもCO₂の排出量が増えてしまった大きな理由のひとつに、18世紀末に始まった産業革命があります。人間はこの産業革命によって石炭を、その後20世紀に入ると石油や天然ガスなどの化石燃料の使用を急増させました。

化石燃料とは、太古の動植物やプランクトンが堆積し、数百万年から数億年という時間をかけて濃縮した、蓄積されたエネルギーです。それを掘り出して燃やせば、エネルギー源としてはとても効率がよいわけですが、同時に同じ歳月をかけて蓄積してきた炭素が大量のCO₂として大気に放出されることになりました。

産業革命以前の温室効果ガスの濃度は、約280ppmでした。それが現在は約410ppmです。この約200年のあいだに、私たち人間は濃度を1.5倍近くも増加させてしまったのです。さらにその原因となるガスのほとんどが、化石燃料による数億年前のCO₂。つまり地球温暖化とは、ここ数十年、数百年の単位で見るとはならず、もっと大きなスケールで捉える必要があるのです。

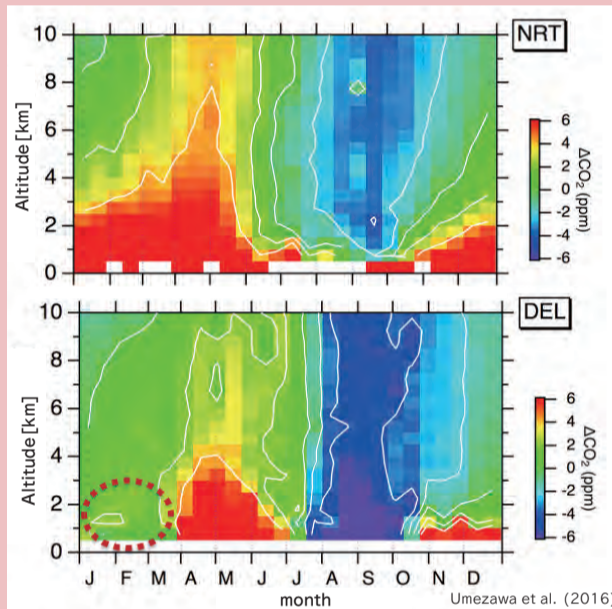
このまま温室効果ガスを放出し続けていけば、地球温暖化を導く濃度増加は免れない。そう危惧した研究者たちは大気中のCO₂濃度を観測しようと、1957年に南極で、1958年にハワイのマウナロアで観測を開始。以降、世界各国で継続的に観測してきましたが、そのほとんどが地上観測によるもの。上空での

観測データが圧倒的に足りないなか、2005年から始まったのが、日本航空（JAL）の旅客機を使った「CONTRAILプロジェクト」です。

これまでもJALの旅客機を使った大気観測は行われていましたが、上空で採取した大気を金属容器に詰めて持ち帰ることを、限られた路線で行っていたのです。それに加えてCONTRAILプロジェクトの大気観測では、飛行中に連続してCO₂濃度を測る装置を新たに旅客機に取り付けることで、より広範囲・高頻度での大気観測が可能になったのです。さらに定期便を利用することで、世界各地のCO₂濃度を毎日測ることができる。地表から上空まで高さの違いによるCO₂の変化、つまり鉛直分布が調べられるなど、世界初の試みとなったCONTRAILプロジェクトは、世界中の研究者から注目されてきました。また、CONTRAILで得られたデータは、JAXAの温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」の検証データにも活用されています。

自分の乗る飛行機が、大気観測に役立っている

世界の広範囲にわたって、CO₂濃度の季節変化や高度による違い、またその濃度の空間分布がこのCONTRAILプロジェクトの大気観測によってわかってきましたが、これまでCO₂観測の空白域であったアジア地域における観測データも、このプロジェクトによって飛躍的に増加させることができました。そのひとつとして例えばインドのデリー周辺



観測データ（画像は、成田（NRT）上空とインド・デリー（DEL）上空における平均的なCO₂濃度鉛直分布の季節変動。濃度は経年変動を差し引いた季節変動成分だけを表している。成田上空では秋から翌年の春にかけて地表付近のCO₂濃度が連続して上昇していく現象が見えるが、デリー上空では1月から3月の地表付近で明らかに低い濃度が観測されている（赤い点線楕円）。

Umezawa et al. (2016)

の大気中CO₂濃度は特殊な季節変動をしており、冬季から初春にかけて非常に低い濃度となっていることがわかりました。それはなぜか？インド北部で冬季に栽培される作物、主に冬小麦によって大量のCO₂が吸収されたことが原因だったのです。さらに驚きなのは、この吸収量はこの時期にデリー周辺から排出される人為起源CO₂の2倍ほどにもなると見積もられたこと。インドの冬小麦、つまり穀物によるCO₂の吸収は、地球上の炭素循環[※]を理解するうえで無視できない量であるということが、観測データによって証明されたのです。

人間が日々排出しているCO₂のおよそ半分は、大気中に残留し、残りの半分は、海と、植物をはじめとする陸上生態系によって吸収されていると推測されています。この推測を一つひとつ解明し、地球上の炭素循環を知るための大気観測。それは、地球温暖化などの気候変動に対応するための大切なデータになります。そんな大気観測は、みなさんが普段乗っているJALの旅客機で行われているのです。乗りながら地球のために役立っている。それも世界最先端の観測が行われているということ。少しだけでも想像していただけたら、ちょっと世界の見かたが変わるのではないのでしょうか。

※人間による化石燃料の燃焼とそれによる二酸化炭素の大気への排出を含めた、地球上の炭素の排出、吸収のメカニズムの循環系をいう。

CONTRAILプロジェクトに関するお問い合わせ：日本航空株式会社ブランドエンゲージメント推進部 Tel：03-5460-3104
CONTRAILプロジェクトホームページ：www.cger.nies.go.jp/contrail/



温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」



国立環境研究所 地球環境研究センター
大気・海洋モニタリング推進室室長

町田敏暢 MACHIDA Toshinobu

埼玉県寄居町出身。専門は大気中温室効果ガスの観測研究で、特に航空機を利用した観測に多く関わってきた。1993年より国立環境研究所で野球を始める。55歳になった今シーズンに盗塁を決める脚力の維持が目標。



自動大気採取装置（ASE）
上空の12地点の大気を採取して地上に持ち帰り、国立環境研究所において分析される。主にヨーロッパ路線、オーストラリア路線、アジア路線に搭載。



CO₂濃度連続測定装置（CME）
運航中にCO₂濃度を連続して高精度で測定・記録する。主に日本とアジア、ヨーロッパ、ハワイ、北米、オーストラリアを結ぶ路線に搭載。

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

技術センター
ネットワーク

新アンテナ&受信設備を開発 宇宙もギガ通信の時代へ



主任研究開発員
白倉政志

SHIRAKURA Masashi



研究開発員
宮谷新

MIYATANI Shin



地球観測センターの追跡管制棟にある追跡中央管制室、国内外の地上局を24時間365日通隔で制御している。

打ち上げられた宇宙機（人工衛星や宇宙探査機）の軌道を確認し、データの送受信や監視制御を行うことを「追跡管制」という。JAXAでその中枢を担うのが、追跡ネットワーク技術センター。筑波宇宙センターを拠点に、システム整備や運用、研究開発を行い、宇宙機による多彩なミッションの達成に貢献している。そして現在、同センターが進めているのは、次世代の地球観測衛星の運用に向けた新しい「地上局」の開発だ。

地上局はアンテナとそれに付随する送受信設備からなる。追跡管制の通信ではまず、宇宙機からの信号（位置や状態、観測データなど）を国内外にあるパラボラアンテナで受信し、追跡管制棟にある「追跡中央管制室」へと送信。追跡中央管制室でそのデータを利用して宇宙機の軌道解析などを行い、必要に応じて制御のためのデータをアンテナを通じて宇宙機へと送信するという流れだ。宇宙機からの信号をアンテナで受信する際、これまではS帯（2GHz帯）やX帯（8GHz帯）の周波数を用



地球観測センターに設置されたKa帯アンテナ。写真の左下の地上に見えるのはコンテナ型のシェルタに実装された受信設備だ。

宇宙教育センターでは、宇宙を素材に“子供の心に火をつける”活動を行っている。その柱のひとつが、保育園・幼稚園、小学校、中学校、高等学校を対象にした学校教育支援だ。授業への宇宙教育の取り入れ方を紹介したり、ワークショップをしたりする「教員研修」や、学校の先生とJAXAが一緒に授業を作る「授業連携」を行っている。

宇宙教育推進室 学校教育支援ラインの主任、鈴木圭子は「印象に残っている授業連携

のひとつは、地層の単元に合わせて火山灰の観察を行った小学校での授業です。火山灰を、『はやぶさ2』が小惑星リュウグウから持ち帰るであろう試料に見立てました。生徒たちはキラキラ光る鉱物に夢中になり、にぎやかに話していました」と話す。

2020年度から、小学校を皮切りに新学習指導要領がスタートする。これは、なにを学ぶかだけでなく、これからの時代に必要とされる能力を身につけることを重視し、“生きる力”を

育むもの。教育センターが提案する教育は、開設当初から「好奇心・冒険心・匠の心」を持つ青少年育成を掲げており、新学習指導要領との親和性が高い。「2019年度の教員研修では、ポスターツアーの授業を実践しました。ポスターツアーとは、グループごとにアイデアを大きな紙にまとめ、一人ひとりがほかのグループにその内容を説明するというもの。生徒の積極的な参加を促す学習法『アクティブラーニング』のひとつです。コミュニケーションを通じてみんなが主役になる学びを、先生方に体験していただきました。授業連携でも『新しい宇宙機を考える』など、問題解決を意識した学習を取り入れています」

鈴木は「専門知識がないことに不安を感じる先生も少なからずいるので、取り入れやすい教材や、授業のどの単元でどう使うかのヒントなどを伝えていきます」と語り、「理科以外の教科や、いろいろな地域、校種の先生方にアプローチしていきたいですね。いつか授業のなかで宇宙を扱うことが普通になり、誰かがそこから興味関心を広げてくれたらと願っています」と続けた。教育制度の変化や対話の相手に合わせてフレキシブルな対応を行い、今後も宇宙教育が広がっていくことを目指している。

宇宙教育センター



主任
鈴木圭子
SUZUKI Keiko
宇宙教育推進室 学校教育支援ライン

新学習指導要領に向けた変化も「宇宙を使う」をサポート

宇宙教育センターの詳細 →



小学校で行った火山灰観察の様子。

新事業促進部



新事業促進部 事業推進課
武田隆史
TAKEDA Takashi



新宇宙技術部門 地球観測研究センター
棚田和玖
TAMADA Kazuhisa

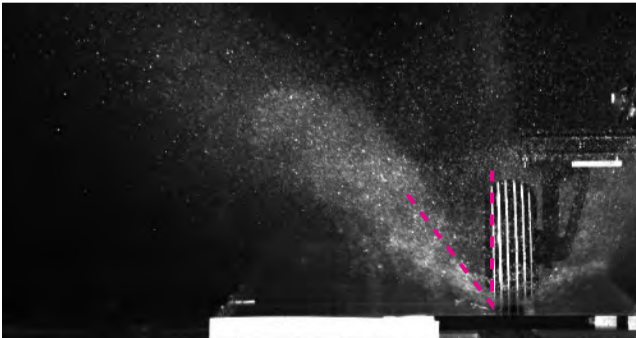
宇宙ビジネスコンテスト「S-Booster 2019」開催



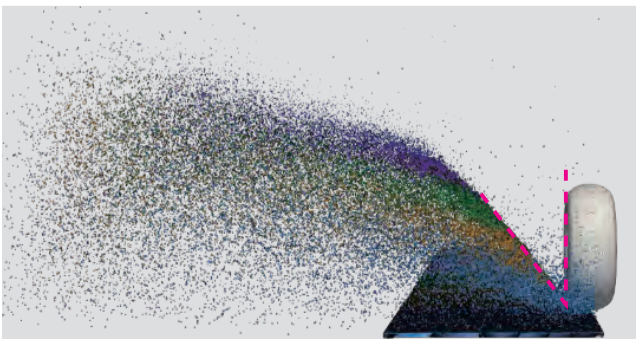
「S-Booster 2019」の受賞者たち。最終選抜会では、宇宙分野に関心を持つ投資家や事業会社などに前に、各々のビジネスアイデアを発表した。

雨が降って水たまりができた滑走路では、航空機が離発着するとき、水が機体の周りに跳ね上げられる。すると、水の抵抗によって離陸に必要な距離が通常よりも伸びてしまったり、水跳ねの角度や量によってはエンジンに水が入って停止したりするリスクがある。国内のほとんどの空港の滑走路にはグルーピングという細かな溝が施されていて、その排水効果で大きな水たまりはできにくく通常はそこまでリスクは高くないが、世界中を飛び回る航空機を開発するうえで、水跳ねに関する評価が必要

準実機スケール試験



P-Flowのシミュレーション



準実機スケール試験とP-Flowのシミュレーションの比較。水跳ねの角度がおおむね一致している(赤点線)、より精度を高めるために、今後、タイヤの変形などの影響の調査をさらに進めていく。

JAXAが内閣府、NEDOと共催している「S-Booster」は、新たな宇宙ビジネスのアイデアを募集し、事業化に向けた支援を行うコンテストだ。審査の視点は、収益性、革新性、社会発展性。3年目となる「S-Booster 2019」では初めてアジア・オセアニア地域からもアイデアを募集し、国内から約200件、海外からは8つの国と地域から約100件の応募があった。そのなかから12チームがファイナリストに選ばれ、2019年11月の最終選抜会において各賞が発表された。実行委員として企画運営に携わる新事業促進部 事業推進課の武田隆史は「年々、ビジネスとしてよりリアルな、レベルの高いアイデアが増えている」と言う。

S-Boosterでは、開催を重ねるにつれ、JAXA職員の活躍も目立つようになっている。2017、2018にもファイナリストの1~2チームにJAXA職員が入ったが、2019では3チームにJAXA職員が入っており、そのすべてが賞を獲得。JAL賞に「Satellite Re-use Market」、ポーラ・オルビスホールディングス賞に「宇宙工場による高付加価値材料の製造サービス」、JAXA賞に「小型衛星環境試験場のシェアリングサービス」がそれぞれ選ばれた。

JAXA賞に選出されたチーム、「SEESE from ABLab」が着目した「環境試験」は、衛星の開発において、宇宙の過酷な環境下でも衛星が正常に動作するかをテストするための重要な工程。全製造コストの約3分の1、全開発期間の約2分の1を占めることもある。チームの代表であり、JAXA地球観測研

となる。そこで現在、航空技術部門が進めているのが、水跳ね予測技術の研究開発だ。

特徴的なのは、空力技術研究ユニットが試験装置による水跳ねの試験・計測を行い、同時に数値解析技術研究ユニットが予測ツールであるシミュレーションプログラム「P-Flow」を開発するという連携プレーで進められていること。空力技術研究ユニットがさまざまな条件下で水跳ねの分布を実測してデータを蓄積し、数値解析技術研究ユニットは、P-Flowでシミュレーションしたデータにその実測データを照らし

合わせ、差異を検証する。そのうえでモデルなどを調整し、検証結果の精度を高めていくのだ。空力技術研究ユニットの研究開発員、古賀星吾は、2018年4月から始まった本研究について「新規テーマということもあり、どのような実験が可能か検討するところから始まりました。その段階から数値解析技術研究ユニットも議論に加わることで、実験条件や解析条件のイメージを共有できました」と語る。

水跳ねの試験・計測は、2018年度に行った全長1mの水槽を用いた簡易スケール試験に始まり、2019年度には全長約50mのレールを走行する車と小型航空機用タイ

小型衛星の「環境試験」をトータルサポート



WEBサービス「SEESE」のイメージ図。試験場の検索・予約だけでなく、必要機材を手配し、供試体と一緒に試験場まで配送するなどの付随サービスも提供する。

究センターの職員でもある棚田和玖は、「全国には600以上の試験場が存在しますが、知名度や実績数によって稼働に大きな偏りがあります。試験の予約が集中する時期には1カ月以上待たされることも少なくありません」と話す。「偏りが生まれるのは、試験場によって『距離』『価格』『知名度』に差があるからです。試験場との距離が近いほど、衛星の運送時に故障するリスクを避けられますし、コストも抑えられます。また、業者ごとに試験単価は異なるので、会場所は当然人気が高くなります。そして、同じ業界のなかでも古くから実績を積んでいる業者や、検索すれば簡単に出てくるような知名度の高い業者には予約が集中する傾向があります」

このような状況を改善すべく、同チームは、立地や予算、試験時期などの条件から、全国の試験場をWeb上で検索できるサービス

「SEESE」を提案。予約はもちろん、供試体の配送や必要機材の準備、人材の手配までトータルでサポートすることで、従来必要だった手続きの煩雑さを解消する。「最終的には試験結果の解析、評価まで行い、いわゆる試験認証サービスを提供できればと考えています。SEESEによって環境試験のハードルを下げることができれば、小型衛星の分野に新たに参入するプレイヤーが増え、宇宙産業の発展にもつながっていくのではない

でしょうか」武田は、S-Boosterの今後についてこう語る。「年数を重ね、過去に入賞して実際に起業したチームも増えてきています。単なるアイデアではなく、その先にある事業化、成長といったフェーズに進むチームが、これからも増えていくことを期待しています。また、JAXA職員の活躍も楽しみです」

最終選抜会のレポートも。

「S-Booster」公式サイト →



ふたつの研究が連携して進める航空機の“水跳ね”予測



空力技術研究ユニット 研究開発員
古賀星吾 KOGA Seigo



数値解析技術研究ユニット 研究開発員
窪田健一 KUBOTA Kenichi

航空技術部門

ヤを用いた準実機スケール試験を実施。2020年春に実施予定の本試験では、表面の溝を埋めたタイヤでの試験と、レーザーを用いた計測により鮮明なデータの取得に挑戦する予定だ。「コストをかけずとも再現性の高いデータを取得するためのアイデアをみんなで出しました。サッカーなどで選手と並走して撮影するための走行台車を利用したり、ときにはアナログな工作をしたりして試験装置を作りました」

一方、数値解析技術研究ユニットの研究開発員、窪田健一は、P-Flowの開発でこれまで苦労した点についてこう語る。「タイヤと滑走路との接地面付近は水の圧力が非常に高くなる関係で、シミュレーション上で水の粒子がタイヤを貫通してしまうことがありました。そこで、粒子にかかる力を適切に評価できるようにタイヤの壁面モデルを改良することで、不具合を解消できました」

航空技術にまつわる研究開発をもっと見る →



宇宙輸送技術部門

パイロードを守るH3フェアリングの分離放てき試験、完了



H3プロジェクトチーム 主任研究開発員
伊海田皓史 IKADA Hiroshi

2019年12月17日、兵庫県の川崎重工業株式会社播磨工場で、開発が進むH3ロケットのフェアリング分離放てき試験が行われた。フェアリングとは、人工衛星や探査機といった積荷(パイロード)が格納されているロケット先端の“殻”の部分のこと。打ち上げ後、高度が大気圏外に達すると貝が開くようにふたつに分かれ、機体から切り離される。今回の試験は、国内最大となる全長16.4m、直径5.2mのフェアリングが設計通りに分離し、機体から離脱(放てき)されることを検証するのが目的だ。

試験では、フェアリングを結合している数百本のボルトを、分離信号とともに火薬で瞬時に切断。分離された左右のフェアリングが美しい円弧を描きながらクッションに着地し、無事に成功となった。H3プロジェクトチームの主任研究開発員である伊海田皓史は、鍵を握ったのは「模擬火工品を用いた点火信号の確認を含め、事前に入念なりハーサルを実施したこと」と話し、「今回の試験にかぎらず、ロケット開発運用では、事前の検証(End to End検証)が重要であると考えました」と続けた。

研究開発部門が進めている「革新的衛星技術実証プログラム」は、民間企業や大学・研究機関などが開発した部品・機器、超小型衛星、さらに小さなキューブサットを宇宙空間で実証する機会を提供するもの。日本の宇宙産業競争力の強化や、宇宙ベンチャーの育成、宇宙利用の拡大を目的としている。実証対象が部品の場合は、JAXAがサポートしながらその部品を含んだシステムに仕上げて実証を行うため、部品単位でも実証ができるというほかに類を見ないプログラムだ。例えば1号機では、集積回路をJAXAが開発したカメラの処理部に実装し、宇宙で実証した例がある。

2019年1月、公募により選定された13の実証テーマを搭載した「革新的衛星技術実証1号機」が、イプシロンロケットによって宇宙へと送られた。内訳は部品・機器が7つ、超小型衛星が3機、キューブサットが3機。薄膜電池を採用した軽量太陽電池パドルや“人工流れ星”

インタビューの拡大版を公開中 →



試験の様子。巨大なフェアリングがロケットからの分離信号を受けて左右に分離し、貝が開くように機体から離脱する仕組み。



H3ロケットのフェアリングには、新しい技術を積極的に取り入れている。「主構造の材料に炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を採用し、複雑な曲面形状を容易に作れるようになりました。フェアリング全体が滑らかな流線形になったことで、空力抵抗が低減され打ち上げ能力が向上します。フェアリングを熱から防護する断熱材は、従来の吹き付

け式ではなく、イプシロンロケットで実績を積んでいる貼付け式に。専用の塗装ブースがいなくなり、シンプルな設備で施工ができるようになりました」

今後は試験機用フェアリングの部品製作・組立を進め、2020年秋頃には種子島に搬入予定。2020年度中の打ち上げを目指して、次世代ロケットH3の完成が近づいている。

大きさにも注目。分離放てき試験の映像 →



研究開発部門



革新的衛星技術実証グループ長
金子豊 KANEKO Yuuka

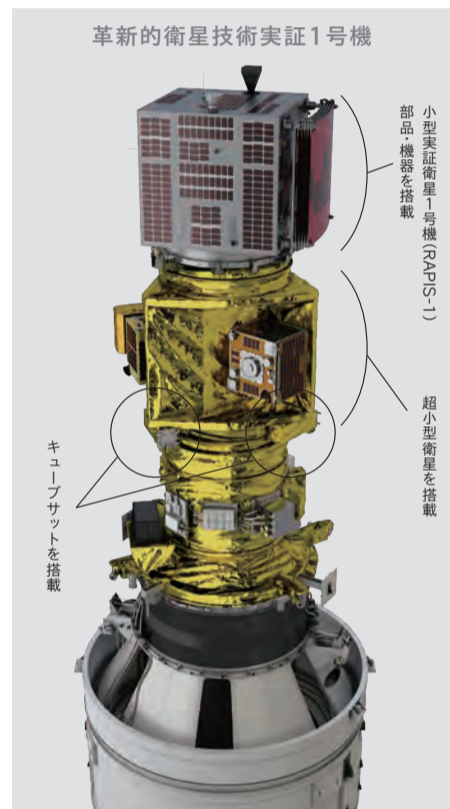
「革新的衛星技術実証1号機」の成果

新技術を宇宙で試す

をつくる衛星など、多彩な顔ぶれとなった。

打ち上げから1年あまりが経ち、「運用を続けてこられたことにホッとしています」とグループ長の金子 豊。「みなさんの協力のおかげで、小型実証衛星1号機(RAPIS-1)に搭載した部品・機器のすべての実証テーマが目標を達成することができました」と続けた。

超小型衛星とキューブサットはそれぞれで運用期間が異なり、実証を続けるものもあるが、部品・機器を搭載したRAPIS-1は計画通り2020年度初めで運用を終える。2021年度には、並行して開発を進めている「革新的衛星技術実証2号機」の打ち上げが控えている。「革新的衛星技術実証プログラムを通して宇宙分野への参入者が増え、宇宙を使ったまったく新しい社会が開けるかもしれない。他分野の方々が宇宙事業にチャレンジする入り口として機能することが、このプログラムの意義だと思います」



「革新的衛星技術実証1号機」は、7つの部品・機器を搭載したRAPIS-1と、3機の超小型衛星、3機のキューブサットで構成されている。

宇宙科学研究所

太陽観測衛星「ひので」が捉えた太陽の前を通過する水星



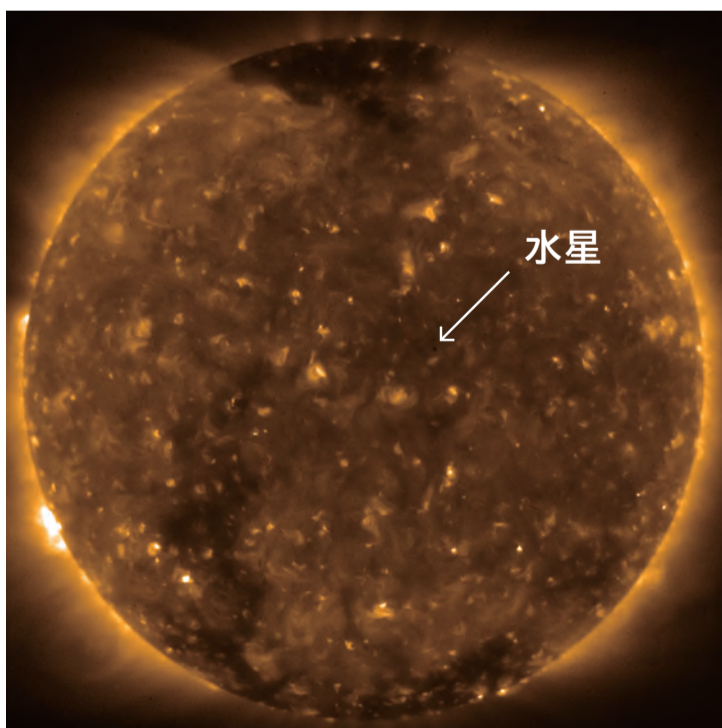
SOLAR-Bプロジェクト 准教授
坂尾太郎 SAKAO Taro

2019年11月11日夜から12日未明にかけて、水星が太陽の前を通り過ぎる珍しい現象が発生。その一部始終を太陽観測衛星「ひので(SOLAR-B)」が観測し、画像や動画を公開した。そこには、直径が太陽の285分の1しかない水星が、非常に小さな黒い点として捉えられていた。

水星が太陽面を通過していく様子を動画で見ると、水星の軌跡が一直線でなく、わずかに波打っていることがわかる。この現象について、SOLAR-Bプロジェクトの坂尾太郎は、

『「ひので」は地球の北極・南極の上空約680kmの軌道上を回りながら観測しているため、観測する位置によって太陽面に対する水星の位置が違って見え、このような現象が起こるのです』と話し、「水星の見かけの動きから逆に『ひので』の動きがわかるのは面白いですね」と続けた。

次に水星の太陽面通過が起こるのは2032年11月の昼間の時間帯。今回は夜中だったことで日本からは見られなかったが、次回は日本からも観測が可能だ。



公開された画像。太陽と比較すると、とても小さく見える水星。矢印先の黒い点が太陽の前を横切っている。

観測動画も見られる詳細レポート →



造形は、機能に従う

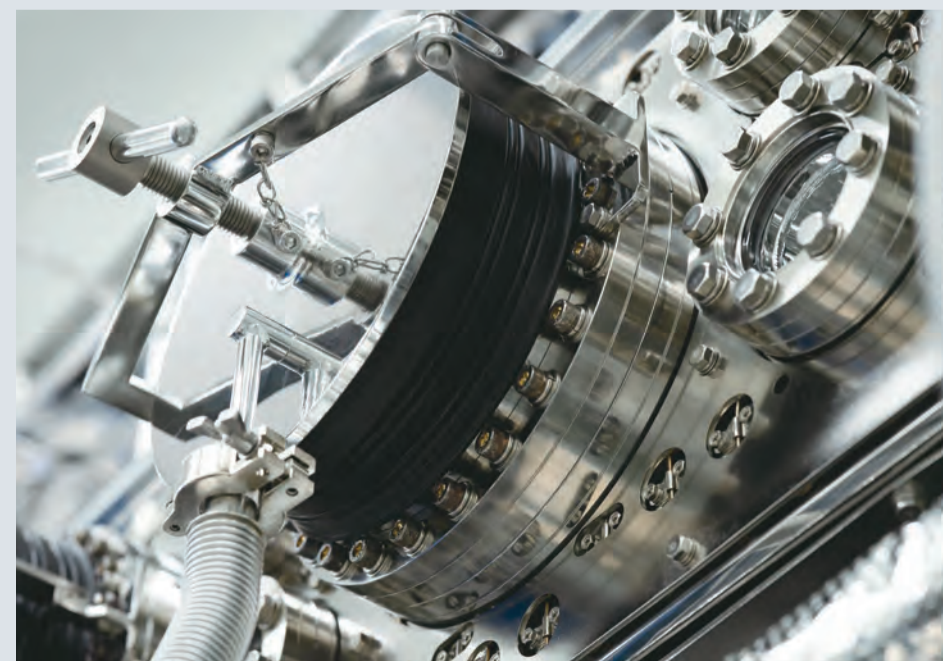
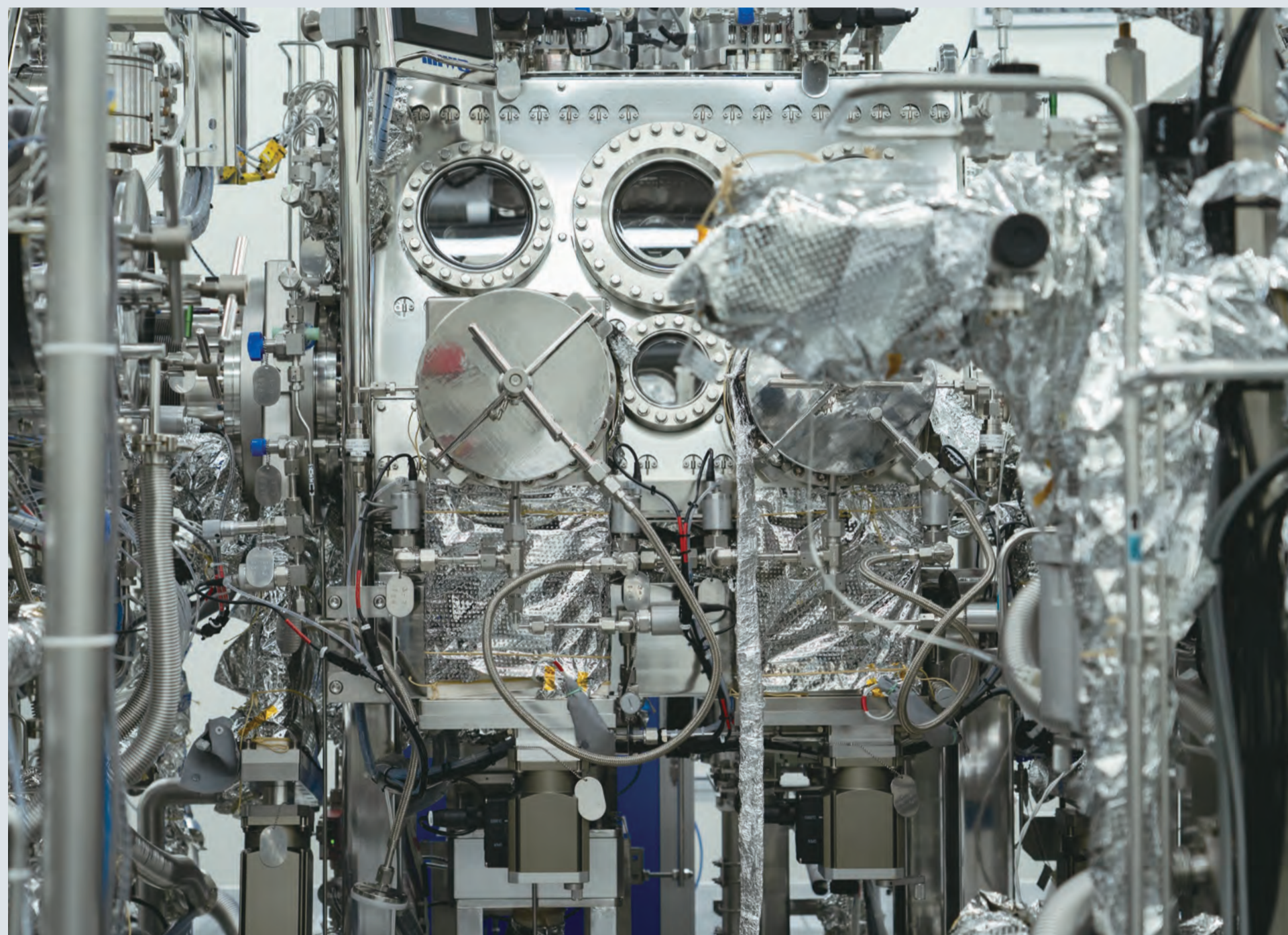
「はやぶさ2」帰還試料用 クリーンチェンバー

今年末、小惑星探査機「はやぶさ2」が小惑星リュウグウの試料を携え地球へと帰ってくる。その貴重な試料の入った容器が最初に開封されるのが、「はやぶさ2」帰還試料用クリーンチェンバー（以下、チェンバー）だ。地球外物質である試料を地球の大気に触れさせないよう、徹底的に考え抜かれた造形になっている。

写真：中矢昌行 監修：安部正真(JAXA)

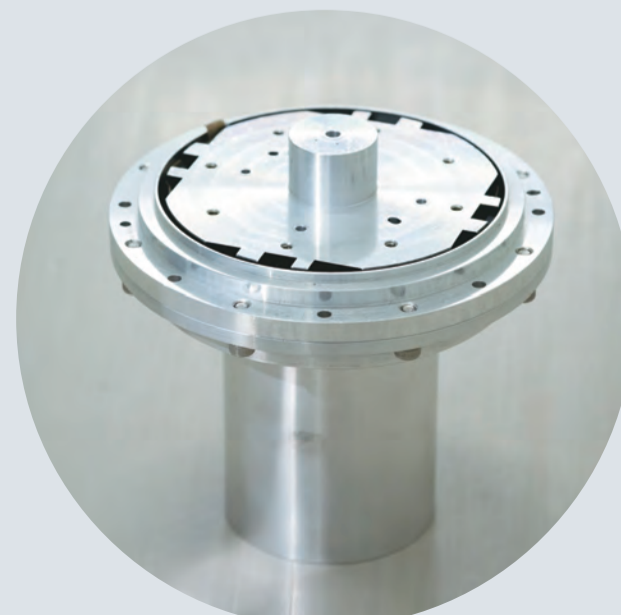
“地球外”の状態を保つ チェンバーの構造

試料を地球の大気に触れさせない“地球外”の状態を保つため、チェンバーは真空環境や窒素環境で運用される。5室構成になっており、1室目と2室目で、真空環境のなかで試料が入っている容器の蓋を開け、一部の試料を取り出す作業を行う。真空環境での試料取り出し機能があるのは、初代「はやぶさ」のチェンバーとの大きな違いだ。そして3室目で真空環境から窒素環境に切り替え、4室目と5室目で試料を光学顕微鏡などで観察する。試料は持ち込まれてから約6か月間、ここで初期記載（光学顕微鏡での観察や重さの測定など）され、その後、世界中の研究者からなる初期分析チームへと配られることになる。



生命の起源に迫る、リュウグウの試料

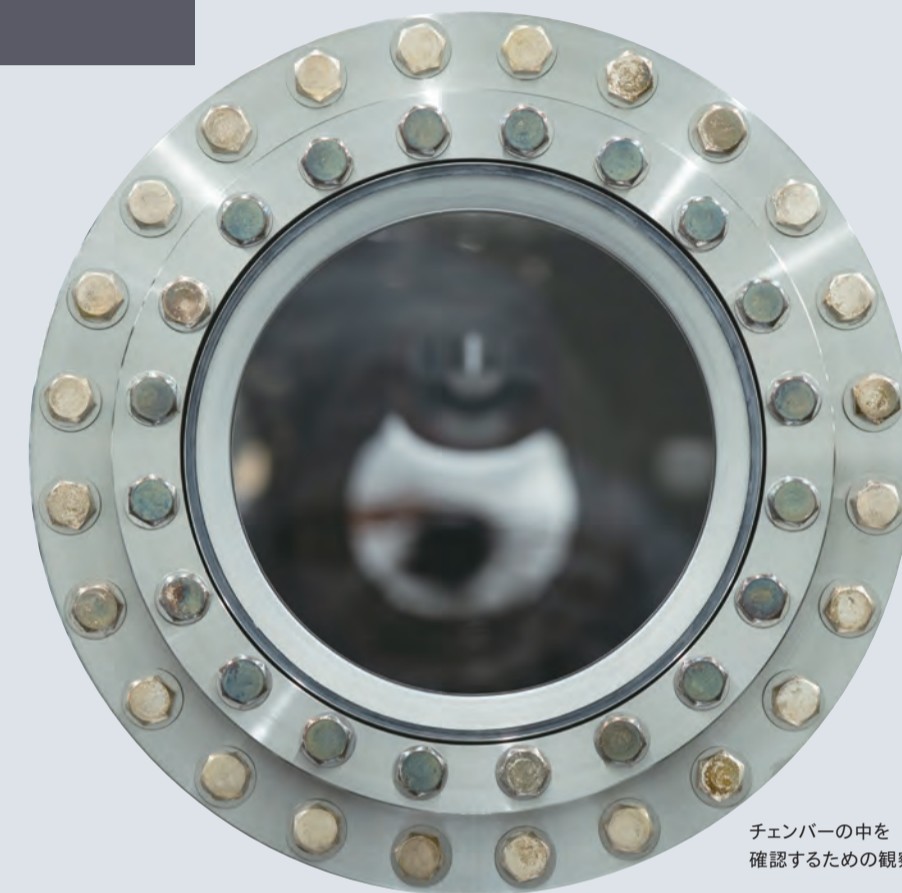
「はやぶさ2」は、リュウグウの表面に接地（タッチダウン）し、プロジェクトイル（弾丸）を打ち込んだ際に舞い上がった物質（試料）の採取に成功したと思われる。試料には水（含水鉱物）や有機物が含まれていると考えられており、太陽系の成り立ちや生命の起源に迫る新たな発見があり得る。写真（左）の試料容器（外径12cm、高さ13cm）に入った状態でチェンバーへ持ち込まれる。



未知のものを解明するために 成るべくしてなった造形

チェンバーの外観には、センサーや窒素ガス配管などが複雑に絡み合っている。複雑に見えても無駄な部品は1つもなく、全てが計算され配置されている。また、チェンバーの主な素材は、試料を汚さないように内面を複合電解研磨して徹底的に精密洗浄されたステンレスだ。

チェンバーのサイズは約6×5m。「はやぶさ2」が持ち帰る試料のサイズはまだ分からないが、初代「はやぶさ」の時はいくつもの0.3 mm程度の粒子であった。未知のものを解明するには、たとえ試料が小さくても、大きくて複雑な設備が必要なのだ。



チェンバーの中を確認するための観察窓

リュウグウの試料を扱う 地球外物質研究グループ

地球外物質研究グループは、地球外物質試料を分析して得られた情報の整理・分類（キュレーション）を行い、世界中の研究者とその情報を共有している。現在は、小惑星探査機「はやぶさ2」が持ち帰った小惑星イトカワの粒子の初期記載・試料配布・保管・研究をしながら、2020年末に帰還予定の「はやぶさ2」が持ち帰る試料を受け入れるための準備を進行中。また、将来の探査のための装置開発、模擬地球外物質試料の作成なども行えるよう活動範囲を広げている。



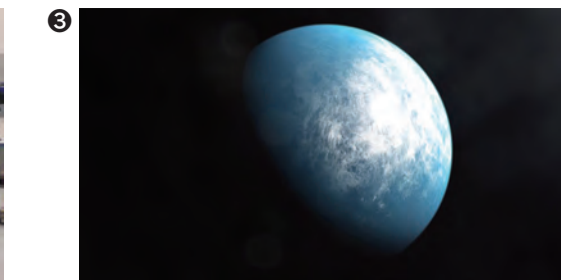
宇宙科学研究所
地球外物質グループ 技術領域主幹
太陽系科学研究系 准教授

安部正真 ABE Masanao

神奈川県出身。「はやぶさ」、「はやぶさ2」の探査対象小惑星の地上観測、探査機搭載科学観測機器の開発、探査機の運用、地球帰還試料のキュレーション業務などに従事。晴れた日は徒歩通勤を心掛けている。

詳しくはこちら →





*海外のニュースは現地の日付

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

12

DECEMBER

24 [J] 超低高度衛星技術試験機「つばめ」の軌道高度(167.4km)が、“最も低い地球観測衛星の軌道高度”としてギネス世界記録®に認定⇒①

27 [J][O] 理化学研究所、筑波大学、JAXA、東京大学、宇宙滞在による免疫機能低下の機構を解明

27 [O] NASA、2020年打ち上げ予定の火星探査車「マーズ2020」を報道陣に公開⇒②

1

JANUARY

7 [O] NASA、水が液体で存在しうる領域(ハビタブルゾーン)に地球サイズの太陽系外惑星を発見したことを発表⇒③

9 [J] JAXA、「高精度ペイロード部姿勢制御技術」と「ロケットから離れた位置のその場観測技術」の実証実験を目的とした観測ロケットS-310-45号機の打ち上げに成功⇒④

19 [O] 米企業SpaceX、飛行中のロケットから有人宇宙船「クルー・ドラゴン」を脱出させる試験に成功

23 [J] JAXA、国連食糧農業機関(FAO)と地球観測衛星データ等の利用に関する協定を締結

30 [O] 国土交通省、羽田空港の新飛行経路について、実機飛行による確認を開始

宇宙と航空にまつわる世界のニュース

News Headlines

[J] = JAXA [O] = 国内 [G] = 海外

2

FEBRUARY

3 [J] JAXA、温室効果ガス観測技術衛星2号「いぶき2号」による、二酸化炭素分布の解析結果を公表⇒⑤

6 [O] 東京メトロ、ドローンを使ったトンネル検査を開始。自律飛行型ドローンの開発も発表⇒⑥

9 [O] 三菱重工業、情報収集衛星を搭載したH-IIAロケット41号機の打ち上げに成功

10 [O] ESA(欧州宇宙機関)とNASA、太陽の極域を観測する衛星「ソーラー・オービター」の打ち上げに成功

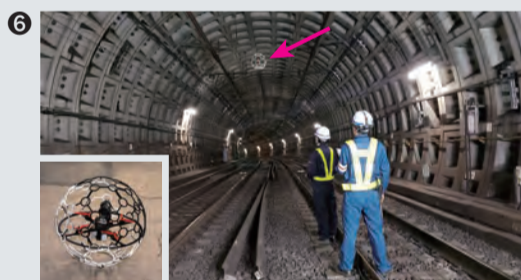
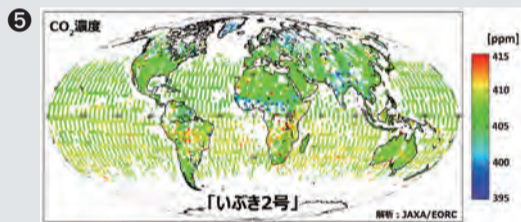
11 [J] JAXA、日本初の人工衛星「おおすみ」の打ち上げから50周年を記念し、国立科学博物館にて「宇宙科学・探査とおおすみシンポジウム」を開催

13 [J] JAXA、H3ロケットのメインエンジン「LE-9」を3基用いた厚肉タンクステージ燃焼試験を完了⇒⑦

14 [O] NASA、天体を探査する「ディスカバリー計画」の次期候補として、金星、木星の衛星イオ、海王星の衛星トリトンの3天体4ミッションを選定

18 [O] 三菱電機、鎌倉製作所内に建設していた人工衛星の組み立てから試験までを行う「新衛星生産棟」の竣工を発表⇒⑧

19 [J] JAXAの火星衛星探査計画(MMX)、火星の衛星「フォボス」からのサンプルリターンを目指すことを決定



3

MARCH

9 [J][O] 「機動戦士ガンダム」の宇宙用プラモデルを搭載した超小型衛星「G-SATELLITE」が国際宇宙ステーション(ISS)に到着

19 [O] 内閣府、第4回宇宙開発利用大賞の受賞者を発表。内閣総理大臣賞は「小型光通信装置SOLISSによる宇宙通信インフラ構築への貢献」(株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所:岩本匡平氏・伊藤大二氏、JAXA:澤田弘崇)、JAXA理事長賞は「アジア諸国への超小型衛星技術教育と実用ネットワークの構築」(北海道大学、東北大学)が受賞

あとがき

今号の特集では、雲と雨を取り上げました。のんびり雲が流れていくのを眺めたり、形を何かに例えたり、しとしと降る雨を見ながら物思いにふけったり、そういう余裕もなかなか無い日々ですが、心を雲の中に飛ばして、気温や空気の流れ、エアロゾルなどの絶妙なアンサンブルが鳴り響いているのだと思うと、ふと見上げた空も違って見えそうです。さて、リニューアルから1年が経ちました。大きな路線変更で、新しい誌面をみんなでアイデアを出し合い、議論しながら作り上げていく過程はとても楽しいものでした。次は走行を安定させつつもマンネリにならないよう、挑戦を続けることが課題です。引き続きJAXA'sをよろしくお願ひします。(JAXA's編集委員 山村一誠/宇宙科学研究所宇宙物理学研究系 准教授)

JAXA'sアンケートはこちら。ご意見・ご感想をお寄せください→



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:2020年3月31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→

