



新管制室誕生！

落ち着いた雰囲気の中、淡々と進む「はやぶさ2」運用訓練中のひとコマ。共有したい情報は正面の3枚の120インチ大画面に、各自で見たい情報は手元の画面で確認できるようになっています。部屋の明るさは調節可能で、この写真では暗めに見えますが、手元の明るさは確保されています。

いずれ訪れるだろう多くの人でにぎやかになる日を、新管制室は待ち望んでいます。
(p.4 参照)

宇宙科学最前線

小規模計画DUSTプロジェクトが目指す 宇宙ダスト研究の最前線

北海道大学低温科学研究所 准教授
木村 勇氣 (きむら ゆうき)

結晶化の初期過程

我々の周りを見渡すと、空気や水、ビールやワインなどを除いては、目にする物質のほとんどすべてが固体です。固体物質は身近にあふれているために、簡単に形作られるように感じるかもしれませんが、実はガスが固体になるには非常に大きな障壁が存在しています。液体が固体になるにも、大きな障壁があります。例えば、皆さんに最も身近な水の融点はご存知の通り0℃です。しかし、水は0℃で凍ることはありません。水が氷になるには核生成という分子が集まって結晶の核を作るプロセスを経る必要があり、その核生成には大きな障壁があるのです。水分子が規則正しく並んで結晶を作ろうとすると、必然的に作られる表面のために自由エネルギーに不利が生じます。核の表面にいる分子は非常に不安定で、簡単に離れてしまうのです。結晶化が進むためには、より大きな自由エネルギーの利得を得るための過冷却が必要になります。核生成理論から、表面自由エネルギーが小さいと、結晶化に必要な過冷却度は小さくなることが分かっています。また、分子同士の付着確率（くっつきやすさ）が大きいと、同様に核生成しやすくなります。

では、水が氷になるにはどの程度の過冷却が必要なのでしょう。過冷却の度合いと結晶化までの時間には関係があり、およそ-40℃以下になると水としては存在できなくなって直ちに氷になります。同様に、ガスが冷えてある鉱物に対して熱平衡になってもダストはすぐには形成しません。それでは、ガスからダストが形成するためには、どの程度の過飽和（液体の過冷却に対応）が必要になるのでしょうか。その答えは、実は簡単ではありません。というのも、結晶になるより前に、結晶よりも表面エネルギーの小さな非晶質粒子の核を作ると、より小さな過飽和で結晶化が進む可能性があります。原子や分子からダストが生成するとき、どのように障壁を超えて核生成するのでしょうか。2017年度に始まった我々の小規模計画DUSTプロジェクトでは、海外の観測ロケットを用いた微小重力実験を行い、ダストの2つの物理量（表面自由エネルギーと付着確率）の決定と赤外線スペクトル観察による核生成経路の探索から、ダストの生成過程の解明を目指しています。

DUST チームのアプローチ

地球外からやってくる固体物質である隕石や塵を分析すると、太陽が生まれた 46 億年よりもずっと昔に形成したダスト（プレソーラードアスト）が見つかります。また、星々の光のスペクトルを観測すると、ダストに起源を持つ特徴的な強度プロファイルを示す波長帯（フィーチャーと呼ばれる）が見られます。これまでの分析や観測、理論的アプローチによって、太陽系の元となったダストは超新星残骸や進化末期の赤色巨星の周囲で作られたことが分かっています。ガス分子が集まって固体となる、ただそれだけのプロセスなのに、なぜ、ダストの生成過程を理解することは難しいのでしょうか。我々は、その主な原因が『ナノ粒子に特有の物性』にあると考えています。ダストの成長は、0.1 nm の原子、分子から 100 nm まで、原子・分子の物理でも、マクロな固体の性質でも説明のできない“ナノ”のサイズ領域で進みます。それにもかかわらず、従来はマクロな固体の物性や熱力学を用いたアプローチで主に研究されてきました。実は、物質のサイズがナノ領域にまで小さくなると、融点が下がったり拡散速度が大きくなったりと、マクロな固体とは物性が異なってくることが知られています。

これまでの我々の研究で、表面自由エネルギーと付着確率の 2 つの物理量が、核生成の予測結果に最も大きな影響を与えることが分かっています。従来は、ダストの特徴を理解するためにマクロな固体の表面自由エネルギーを用いて、付着確率は 100% と仮定するのが一般的でした。ダストが生成する環境やサイズ領域における、これらの物理量を求めるために、我々は干渉計を用いた核生成実験をスタートさせました。この手法により、過飽和雰囲気からダスト類似物が核生成する際の温度と圧力（過飽和度）を同時に計測し、新規の核生成理論によるモデルと比較することで、2 つの物理量を決定することに成功しました。さらに、核生成過程を理解するために、その途中過程の結晶構造を調べられる赤外線スペクトルのその場測定も開始しました。この装置を用いると、天体観測で得られている赤外線スペクトルと直接比較することができるという大きなメリットもあります。これまでは、地上でダストの候補物質を媒質（主に臭化カリウム）に埋め込んで赤外線スペクトルを測定していま

した。そのため、埋め込むことによる凝集や表面構造の変化、粒子表面の電荷が媒質の分極によって打ち消されることによるピークシフトなどの影響を受けたスペクトルを基準とした天体のスペクトル解析に甘んじていました。我々の方法ではこれらの問題をなくし、天体の赤外線スペクトルと直接比較可能なスペクトルを取得できるようになりました。

微小重力実験の必要性

地上でダストの材料物質を加熱蒸発させて赤色巨星周辺のダスト形成領域を再現しようとする、図 1 a に示すようにガス雰囲気中の濃度勾配、温度勾配が巨視的な密度差対流を生み、ダストの生成環境に大きな不均質が生じます。一方で、微小重力下では、図 1 b に示すように蒸発ガスは蒸発源から等方的に拡散するために、核生成は均一な条件で起こります。

我々のこれまでの実験で、ガスからの核生成においても溶液からの核生成と同様に、結晶が直接生成するのではなく、非晶質（液体）状態を経由することが分かってきました。赤外線スペクトルのその場測定では、初めに非晶質の特徴を示すスペクトルであったのが、時間の経過と共に結晶に起因する特徴を示すスペクトルに変化していく様子が見られています。これは、結晶よりも表面自由エネルギーの小さな非晶質粒子が生成した後に、ある待ち時間を経て、結晶が核生成するという 2 段階の生成過程の存在を示唆しています。

S-520 観測ロケットを用いた微小重力実験

観測ロケットで得られる 10^{-4} G 程度の微小重力環境では、ガスの揺らぎは無視できるほどに小さく、また、微小重力時間も長いために、乱流が落ち着くまでと、実験開始後に蒸発源の温度が均一になるまでの時間を確保できます。さらに、核生成した後に冷却過程で起こる赤外線スペクトルの変化も長時間にわたって測定することができます。

小規模計画 DUST プロジェクトに先立って 2012 年に実施した S-520 28 号機の実験では、宇宙における鉄の存在形態の謎に迫る実験を行いました。天体観測からは、星間空間では鉄の 99% がダスト（固体）として存

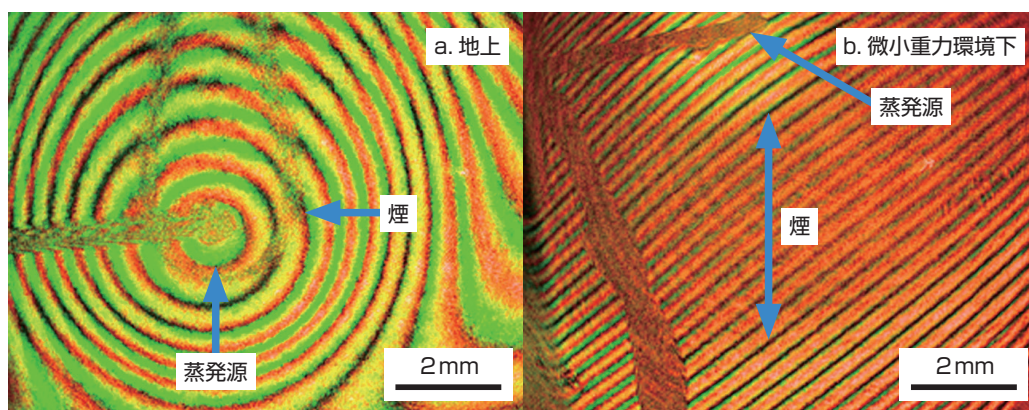


図 1 ダスト生成の模擬実験で得られる二波長干渉像の地上実験（左）と微小重力実験（右）の比較。任意の物質を蒸発源から加熱蒸発させると、冷却に伴ってダスト類似物であるナノ粒子が生成する。その粒子は、レーザー光を散乱するために、煙のように見える。核生成が起こる直前の干渉縞の変化から、温度と濃度を同時に決定できる。a. 地上で加熱蒸発させると、重力の影響で煙は対流によって上方に運ばれる。b. 微小重力環境下で加熱蒸発させると、蒸発源から等方的に拡散した後均質核生成し、そのまま広がっていくために幅広い煙が得られる。

在していると言われています。しかし、そのダストがどのような鉱物であるのかは、観測からも隕石の分析からも確かめられていませんでした。そのため、スペクトルに特徴がないために天体観測では検出できない金属鉄だろうと信じられてきました。この謎に決着をつけるため、宇宙に存在する鉄の主要な供給源である超新星爆発の後に、鉄粒子が生成する可能性を調べる再現実験を行いました。鉄がガスから固体になる様子を観察したところ、核生成は 10^{13} から 10^{14} (= 蒸気圧/平衡蒸気圧) もの超高過飽和になって初めて起こることが分かりました。温度にすると 1000 K を超える大きな過冷却です。また、核生成の際の付着確率を調べた結果、これまで 100% と考えられていた付着確率が、実は 0.002% 程度であることが明らかになりました。これは、金属鉄粒子の生成は非常に限定的なことを示しており、鉄は化合物として存在している、または、不純物として他の粒子にくっついているという可能性を示唆しています。この結果は、宇宙における鉄の主要な存在形態は金属ではないことを示す成果で、新たな問題を提起することになりました。

2015 年に行った S-520 30 号機の実験では、独自に開発した浮遊ダスト赤外線スペクトルその場測定装置を小型化して搭載することで、天体周辺に浮いているアルミナダストの赤外線スペクトルの再現に成功しました。加えて、これまで理論的に説明のできなかった、ガスから固体粒子が生成する過程(核生成過程)の一端が、時間を追って取得したスペクトルから明らかになったことで、原子や分子から材料を作るボトムアップによるナノ粒子の生成過程を思うがままに制御できる可能性も広がっています。

日米欧との国際協力による DUST 計画

日本の観測ロケットを用いた微小重力実験では、残念ながら実験試料や実験装置を回収することができません。図2に示す S-520 30 号機で用いた実験装置も、今は生成したダストと共に太平洋の海の底です。海外の観測ロケットを用いることで試料回収ができれば、生成したナノ粒子を実験室に持ち帰り、透過電子顕微鏡観察や赤外線スペクトル測定などの詳細分析が可能になります。これにより、生成粒子のサイズや数密度、結晶構造や結晶性などを決定できるため、得られたナノ粒子の物理量がどの鉱物に対応するものかを決められます。これにより、初めて生成物質を確認しながら天体周囲での宇宙ダストの核生成を直接論じることが可能になるのです。さらに、物質進化を理論的に扱う際や、従来の実験的研究を進める際の条件選びにも生かすことができます。また、生成したダストのサイズが分かると、核生成理論と直接比較することで、ナノ粒子特有の融合成長の頻度も議論可能になります。そのため、結晶成長分野で今まさにホットな話題となっている核生成を含めた結晶化の初期過程に直接切り込むことが可能で、その理解のブレークスルーとなり得ます。これにより天文学・惑星科学分野を超えて基礎物理分野への寄与も期待できます。

2017 年度にキックオフした小規模計画 DUST プロジェクトにおける日米協力では、主に酸素が炭素より多い(太陽も含め通常の)元素組成を持つ赤色巨星の星周のアストロケミストリーに注目しています。このような



図2 S-520 30号機に搭載した実験機器主要部の外観。

星は、宇宙の至る所に存在しているシリケート(ケイ酸塩鉱物)の供給源です。シリケートは地球表層の主要鉱物でもあることから、最も重要な鉱物の一つと言えます。その核生成過程を理解するために必須の、原子、分子からナノ粒子へと成長する過程における構成分子の付着確率や表面自由エネルギーを求め、スペクトル変化から結晶化の初期過程に迫ります。

同様に日欧協力では、星間空間においてシリケートの構成元素であるシリコンやマグネシウムに比べて1桁以上多く存在する炭素に注目します。炭素質ダストの存在量もシリケートの数倍から1桁近く大きいことが示唆されています。隕石中からはナノダイヤモンド、ナノチューブ、グラフィティックカーボン、フラーレン、中空状炭素質粒子(globule)など様々な形態で多量の炭素質ダストが見つかっています。その中にはプレソーラーダストも多く含まれています。炭素の存在量が酸素より多い特殊な赤色巨星の星周に注目し、星間物質の主要成分の一つである炭素質物質の生成過程を理解するために必須の、炭素と炭化チタン粒子の核生成時の表面自由エネルギーや付着確率を決定し、さらに炭化チタン粒子の核生成過程の赤外線スペクトルの取得を行います。

アルマ望遠鏡やジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡が登場し、SPICAの活躍が期待される次世代の赤外線天文観測では、ダストが核生成している恒星周囲の環境を時間的、空間的に分解できるようになるでしょう。測定されたダストの生成温度や濃度、冷却の時間スケールから、起源物質の物理定数に制約を加えることが可能になれば、我々の実験と直接比較できるようになると期待されます。DUSTプロジェクトが終了する2021年ころには、太陽系の種となったダストに関する理解が大きく飛躍していることでしょう。それに向けて全力で取り組んでいます。

謝辞

2回のS-520観測ロケットを用いた微小重力実験では、宇宙科学研究所の稲富 裕光教授や石井 信明教授をはじめ、非常に多くの方にお世話になりました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。本研究の一部は、JSPS 科研費 基盤研究(S)15H05731の助成を受けたものです。

「あかつき」定常観測フェーズ終了

金星探査機「あかつき」が宇宙科学シンポジウムで初めて計画発表されたのが2001年1月、打ち上げられたのが2010年5月。目的地である金星に到着するも、推進器の停止により、太陽の周りを放浪した5年の日々。そして再度金星に近づき、全力で逆噴射をして金星の周回を始めたのが2015年12月。ここまでですでに15年の歳月がたち、当初計画と一緒に考えた仲間も、ある者はこの世を去り、ある者は引退している。他の部署で活躍している若い仲間のことも忘れることは出来ない。

しかし、当初に地球と全く異なる異星の気象を解明しようとしたその志は消えること無く、その後の3年間の運用により多くの金星気象の観測がなされた。そのうちのあるものは「あかつき」が最初に観測で捉えた現象であり、また、あるものは今まで知られてきた現象を定量的に記述することにより、その現象の起こるメカニズムに肉薄している。

また、3年間という短い観測期間の中でさえ時間的、空間的に変動しているダイナミックな金星気象を明らかにして来た。いま、ここに我々は「あかつき」が定常観測のフェーズを終えたことを静かに宣言したい。

「あかつき」は4月から後期運用フェーズに入った。探査機の推葉が枯渇し、その寿命を終えるまでの期間がどれほどあるかは判らないが、それまでの間、我々は探査機と



「あかつき」イメージ。

ともに生きる。これまで「あかつき」を支えてくださった皆様に感謝の言葉を申し上げたい。「あかつき」は大変に幸運な探査機であった。これまでの太陽系探査の歴史の中で、一旦軌道投入に失敗して、なおかつ再挑戦でその星に辿り着き、さらには当初の目的である科学観測を成し遂げた例はあまり聞いたことが無い。

ただ、この幸運は、着実な設計運用の思想に沿って「あかつき」を丁寧に育ててきた人々の努力の上に成立したことを忘れてはならない。そしてまた、日本は重力天体に正当な方法でアプローチすることに成功したわけでは無いことも。

惑星探査は一段ずつ歯を食いしばりながら石段を上げるようなものである。一足飛びに次のステップを飛ばして上に行けるわけでは無い。「あかつき」の後に続く日本の太陽系探査ミッションの成功と幸運を祈る。

(中村 正人)

新管制室、目標に向けてついに始動

これまでISASニュース誌上で経過をお知らせしていましたが、昨年度進めていた数々の整備作業も何とか無事に終わり、この度ついに「新管制室」が誕生しました。「旧管制室」は相模原キャンパスが動き始めたころとほぼ時を同じくして設けられ、当初は探査機を、その後地球周回の科学衛星の運用も担うようになっていきました。しかし、宇宙科学ミッションの増加・多様化・長期化を背景として、徐々に手狭に感じられることが多くなっていました。これまで数々のドラマを生んだ旧管制室に敬意を表しつつ、今回、管制室をリニューアルするにあたって、考慮したポイントが二つほどあります。

まず1つは如何にして今あるスペースを有効利用するか、です。これまでは打上げ等のイベントで使えるスペースはほぼ一部屋に限られていましたが、近年はプロジェクトの規模も大きくなり、隣の部屋を間借りして使用するような状況でもありました。今回周辺の部屋も含める形で新しく管制室として定義し直し、重要なイベント時にも余裕を持って対応できるようになりました。ファーストユーザーは「はやぶさ2」で、接近・タッチダウン運用の舞台となります。

その他の衛星・探査機の運用は新管制室に先立って整備された「第2管制室」での運用を継続していきます。このようにして管制室スペースは一挙に広がりました。またこの再定義によって今回、セキュリティ等も考慮さ

れた「見学者スペース」を設けることもできました。これを今後どう効果的に使っていくかは課題のひとつと考えています。

2つ目は「宇宙科学プロジェクトらしさ」を如何にして醸し出すか、です。利用シーンの分析の段階でも「宇宙研の特性」として「いろんなものを壁などに貼りたがる」「ホワイトボードに書きたがる」「互いの顔が見えていると安心」「定位置があっても動き回る」といったものがありました。制約条件に苦労しつつも、これらを可能な限り活かせる仕組みや設備を用意しました。室内各所に配置されている窓やガラス壁も、法律上の制約の中で全体の一体感を出すための工夫のひとつとなっています。内装イメージについては様々な意見が出ましたし、「海外機関では見ないデザイン」という“高いハードル”もありましたが、そこは結局、無難なところに落ち着いた感もあります。本紙表紙の写真をご覧になって、どのような印象を持たれたでしょうか。

現在（執筆時点）、「はやぶさ2」は実際のイベント運用に向けて、数々の運用訓練をこの新管制室で実施しています。本番に向けて管制室の細かいところをチューンアップしていく段階ですが、この新しい舞台ですばらしい成果を皆さんにお見せできるよう、見えないところでもまだまだ準備していきます。

(長木 明成)

市村学術賞貢献賞受賞

平成 29 年度市村学術賞貢献賞が「ソーラーセイル技術を用いた無燃料姿勢制御の実現」（JAXA 宇宙科学研究所准教授 津田 雄一氏、JAXA 研究開発部門 第一研究ユニット 大野 剛氏、JAXA 宇宙科学研究所 はやぶさ 2 プロジェクトチーム 三樹 裕也氏）に授与された。市村賞は、優れた技術開発に対して授与される産業賞と技術開発を支える優れた工学研究に授与される学術賞からなり工学・技術分野における権威ある賞である。

太陽光を帆（セイル）に受けて宇宙空間を航行するソーラーセイルは古くから多くの人を魅惑してきた。宇宙科学研究所においても、1990 年代以降ソーラーセイルの研究が行われてきたものが、2010 年小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS（イカロス）」として実現された。「IKAROS」は深宇宙探査活動におけるソーラーセイルの有効性を実証した技術成果であり、2017 年 IAA（国際宇宙航行アカデミー）から Laurels for Team Achievement Award が授与された。「IKAROS」プロジェクトでは、この素晴らしい技術的成果とともに、工学的に大変意義のある研究が行われた。それが今回の受賞対象となった研究である。

「IKAROS」はセイルに垂直な軸回りにスピンしているが、飛翔データからそのスピン軸がゆっくりと円錐運動をしていることが発見された。変形しやすい大型膜構造物であるソーラーセイルが、太陽、惑星の引力場の中で、太陽輻射圧等の外乱をうけながらどのような姿勢運動をするのであろうか。飛翔データに基づく解析によって、こ



受賞式の様子。左から三樹 裕也、津田 雄一、大野 剛。

の運動は太陽輻射圧によって誘起された歳差運動であることが明らかにされ、その結果を基に太陽輻射圧によるソーラーセイルの姿勢運動を一般化したスピンセイルモデルとしてまとめられた。更に、このモデルを基に太陽輻射圧によって誘起される姿勢運動を用いてソーラーセイルの姿勢を制御する「ソーラーセイル技術を用いた無燃料姿勢制御法」が考案された。考案された制御法は、「IKAROS」とともに「はやぶさ 2」に採用されその有効性が実証されている。

宇宙科学研究所における宇宙工学研究は、プロジェクトによって得られるデータの中から工学として意味ある現象を見出して、その解析を行い背後にある法則を明らかにし、その知見を基に新規な技術開発を行いプロジェクトに貢献するという、プロジェクトと連動した実践的な研究で高い評価を受けてきた。本研究は、そのよき伝統が若手研究者に受け継がれていることを示したものであり、大変うれしく思っている。

（京都大学名誉教授 土屋 和雄）

http://www.sgkz.or.jp/prize/science/50/document_05.html

「宇宙学校・さがみはら」「宇宙科学講演と映画の会」開催

今年も相模女子大学グリーンホールにて、ゴールデンウィークのスタート日である 4 月 28 日、恒例の大イベントを催しました。午前中は「宇宙学校・さがみはら」、午後からは第 37 回「宇宙科学講演と映画の会」です。午前中は小、中学生を中心とする約 400 名の方々に、午後からは約 450 名の方々においでいただきました。

「宇宙学校・さがみはら」の 1 時間目の“先生”は津田雄一氏。「はやぶさ 2」プロジェクトマネージャとして、探査機の今と未来をわかりやすく説明しました。2 時間目は、垠本 尚義氏による「はやぶさ」が持ち帰った微粒子の最新情報に関する授業でした。「宇宙学校」は“生徒”と“先生”の質疑応答が中心です。子供たちからの専門的な質問には講師陣も舌を巻くほどで、閉校後も質問するための行列ができていました。

一方、「宇宙科学講演と映画の会」の前半は『太陽系大航海時代に挑む』と題し、國中 均 宇宙研新所長が、JAXA が目指す将来計画を新しい切り口で熱く語りました。2 人目の講演者は、本年 2 月 3 日に打上げに成功した観測ロケット SS-520 5 号機プロジェクトマネージャである羽生 宏人氏。4 号機の失敗を受けてどう再生し成功に辿り着いたのか、5 号機打上げ時の管制室の様子（動



画）も交えながら、臨場感たっぷりに説明しました。

来場者が講演とセットで楽しみにしてくださるのが新作映画です。今回は『蒼天に翔る SS-520 5 号機 385 日の記憶』をお披露目しました。終了後に回収したアンケートには「Web にアップして欲しい」、「何回も観たい」という声を多数いただきました。

最後にこのたびの企画では、特に相模原市役所の職員の方々にお世話になり、また支援していただきました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

（宇宙科学研究所 広報）

前回（3月号）は、宇宙科学プロジェクト実施に際して「企業が果たすべき役割と責任の明確化」という社会的要請が生じたこと、および2012年の「宇宙科学プログラム実行上の改善に関するタスクフォース」（タスクフォース12）が4つの問題点を指摘したこと、これらの課題への対処が不十分な中で起きたASTRO-Hの喪失を受け、ISASのアクションプランが立案され、それを包含するJAXA全体のプロジェクトに関する業務改革（業務改革17）が、契約の問題に焦点を当てたことを述べました。そして、プロジェクトのシステム開発を「請負契約」で行う1つめの意味として、仕様要求が不明確な契約を避ける、という点を挙げました。

「請負契約」のもう1つの意味は、タスクフォース12が指摘した問題点（a）不十分な検討に基づくコスト過小評価（b）不明確な仕様と開発計画、の解決です。プロジェクトのコストオーバーランは多方面に多大な負の影響を与えます。このためJAXAでは、プロジェクト移行時に設定された総資金に対して20%以上の超過が見込まれる場合は、プロジェクトの継続可否の審査に入っています。もしもChallengingなプロジェクトで、やってみなければわからないことがあり、走りながら物事を決めていかざるを得ないのであれば、プロジェクトの総資金も走りながら決めざるを得ません。宇宙プロジェクトの開発は、段階的に進められ、フェーズが進むとともに不確定性を小さくしていきます。JAXAでは、プロジェクトとして正式にスタートするのはPhase B（基本設計段階）開始時なので、この時点で、総資金の20%以上の増額となるような不確定要因は取り去っておくことが必要です。タスクフォース12は、これができているためコストオーバーランに至ると指摘しています（問題点（b））。NASAではプロジェクトの最終段階までの実行を決定するのはPhase C開始時でJAXAよりも1フェーズ後ろになっています。一方、ESAはPhase B開始時でJAXAと同じですが、Phase A終了までに技術的不確定性を小さくすることが強く要請され、それを満たさないと次のフェーズに進めないよう厳しく管理されています。日本の予算システムを考えるとJAXAにはESAと同様の選択しかないでしょう。これが、業務改革17の主な趣

旨（2）（前回の記事参照）に対応します。これを実現するには、少なくとも次の2点を行う必要があります。

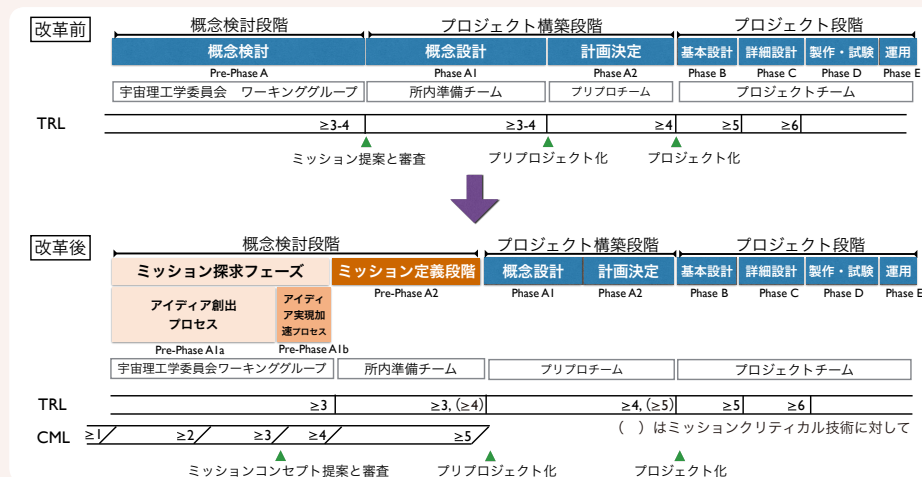
まず、第一はミッションコンセプトの充実です。前述の独法評価JAXA 部会長の高橋 德行氏は「プロジェクトの成功のためには、よいコンセプトを選ぶことが重要。悪いコンセプトを後から良くしようとしても良くならない。」という意味のことを仰っています。業務改革17では、概念検討段階（Pre-Phase A）の実施方法を明文化しました。すなわち、このフェーズをミッション探求フェーズとミッション定義段階の2つに分け、それぞれの段階で達成すべきミッションコンセプトの成熟度をConcept Maturity Level (CML) により明確化しました。さらに、後半のミッション定義段階は、有志ではなく、JAXAの研究開発部門、または担当部門が主体となって行うこととしました。

技術リスクの低減の実現に必要な第2の事項は、その次の段階であるPhase Aの充実です。新規性の高いシステムや機器についても、プロジェクト実行段階（Phase B）に入る前に、「明快で網羅的かつ一貫性があり検証可能な要求を設定し、システム開発を実施する企業が、実施を請け負うことができるレベルまで技術リスクを低減」することを求められ、そのためにはPhase Aでエンジニアリングモデル（EM）に近いモデルを試作・試験して設計検証する必要があります。これは、従来はPhase BからPhase Cの前半で行って来ました。現実的には、Phase AでのEMレベルの試作は、特に新規性の高い部分に限って行わざるを得ないのは事実です。一方、試作をしない部分についても、システムの構成要素レベルで設計要求まで作り終えている必要があります。これも従来はPhase Bで行ってきたことです。

タスクフォース12の指摘を受けて、2013年から宇宙科学プロジェクトでは、Phase Aの充実（いわゆるPhase A1活動）を行って来ました。その実質的な中身は、上記のミッション定義段階の活動に近いものです。そこで、Phase A1活動をPre-Phase A後半のミッション定義段階に移動し、新しいJAXA標準に則した段階的开发を行うことにしました。

以上の改革により、プロジェクト移行前に、これまで以上に大きなリソースが必要となります。これをISAS内の

の努力だけで確保することは不可能です。現在立ち上げ段階にあるプロジェクトは新しい考え方で実施しており、JAXA内で理解を得ることでJAXA全体からの支援が少しずつ得られるようになってきています。これを、より広げ、確実なものにするには、各プロジェクトがプロジェクト実行段階に入る前に何をどこまでクリアしなければならぬかを、その根拠と実現手段とともに、明確にすることが重要です。（満田 和久）



改革前と後のプロジェクトの段階的開発（フェーズアップ）の考え方

リュウグウの乙姫殿、お宝をいただきます。

近日参上
「はやぶさ2」

HAYABUSA2

リュウグウの乙姫殿、お宝をいただきます。

参上
「はやぶさ2」

HAYABUSA2

参上
「はやぶさ2」

HAYABUSA2



「はやぶさ2」可視カメラによる科学観測と狙う成果

「はやぶさ2」は、光学航法カメラ（ONC）を搭載しており、7色のバンド分光の機能を持つ望遠カメラのT（直下視）と単色広角カメラのW1（直下視）とW2（斜視）の3つから構成されている。このカメラの主務は光学航法だが、多岐に渡る科学観測も担う。

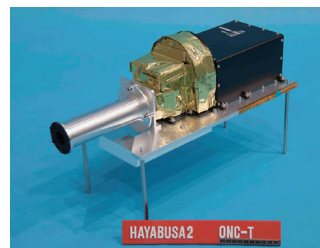
だが、紙面に限られるので科学目的を網羅的に紹介することはできない。そこで、ここではONCチームが最も頭を悩ませ且つ面白いと感じている可視分光観測を紹介する。リュウグウのようなC型小惑星は、可視域の反射スペクトルに吸収帯がほとんどないため、特徴が掴みにくい。しかし、世界の地上大望遠鏡群の協力で得られた23本のリュウグウのスペクトルは、いずれも広義のC型ではあるものの、狭義には様々なサブタイプ（Cg、C、Cb、Bなど）に分類されるものであった。C型小惑星の構成物質は炭素質コンドライトに近いと考えられている。炭素質コンドライトは種類によって物質組成に大きな差が見られるにもかかわらず（例えば、水や有機物の含有量は桁で異なる）、可視スペクトルには比較的小さな変化としてしか現れない。そのため、地上望遠鏡観測で得られたリュウグウの可視スペクトル多様性は、リュウグウ表面が極めて大きな物質的多様性を持っていることを反映し

ているのかもしれない。

さらに、可視分光観測は、リュウグウの母天体探しにも重要な役割を果たすと期待している。「はやぶさ2」とOSIRIS-RExのプロジェクト開始以来、両機が探査するリュウグウやベヌー（Bennu）

の故郷と目される小惑星内帯は世界中の研究者の注目の的となり、この領域の理解は観測・理論の両面から飛躍的に進んだ。例えば、ポラナ族やオイリア族が新たに同定され、さらに彼らより古い族の提案も出てきた。4年前にはリュウグウは特定の族には属さないだろうと推定されたが、新しい族が起源である可能性が出てきた。力学的には、どの族由来の可能性もあり得るので、スペクトルの類似性が決め手になるのではないかと予想している。もしこの推定が実現すれば、OSIRIS-RExと「はやぶさ2」の試料の母天体の相互関係も明らかになるため、その波及効果は非常に大きい。

東京大学 理学系研究科、ONCサイエンスチーム 杉田 精司（すぎた せいじ）



光学航法カメラの多色望遠カメラ ONC-Tのフライト品。

LIDARによる小惑星リュウグウの表層と内部の研究

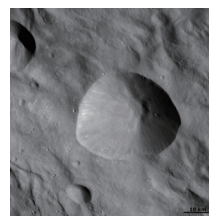
「はやぶさ2」レーザ高度計は探査機が安全に小惑星に接近し、サンプル採集を行うためには欠かせない航法機器であり、同時に小惑星リュウグウの姿や生い立ちを調べるための科学観測機器でもある。LIDARサイエンスチームはレーザ高度計の開発に従事しながら、（A）小サイズの小惑星の形成過程を明らかにし、小惑星の衝突進化モデルを検証する、（B）小惑星上の物質移動など、地質活動を明らかにし、回収試料のコンテキストを与える、という目標を掲げて、小惑星の表層と内部の研究を行っている。

「はやぶさ2」に搭載されるレーザ高度計は距離を測り、探査機運用に役立てられるとともに、リュウグウの形状モデル作成に活用される。また、レーザ高度計は送信光と受信光のレベルを計測することができる。送信光と受信光を比べることで小惑星表面の反射率を調べる。さらに、「はやぶさ2」レーザ高度計にはダスト検出機能が付加されており、世界初の小惑星ダストの発見に挑む。サイエンスチームは地形・反射率・ダスト検出により、小惑星表層環境の変遷を調査する。

サイエンスチームのもう一つの目標は小惑星内部構造の研究である。「内部構造」といっても、月や火星のような重力天体内部と同様に分化が生じているとは考えられない。期待されるのは、衝突・合体の痕跡として残さ

れているかもしれない不均一性と、表層のレゴリス、ボルダーの水平、垂直移動による物質進化である。こうした研究は隕石サンプルの分析データを解釈する上で重要な実験的情報となるだろう。これまで、隕石サンプルが母天体内で形成されてから地球に到達するまでの間に、母天体同士の合体による天体内部の流動や、サンプルが表層に露出してから後のレゴリス内での上下運動はほとんど考慮されていなかった。しかし、小惑星探査が静的な母天体という描像を変えていく可能性がある。また、「はやぶさ2」の後には火星衛星サンプルリターン計画や深宇宙探査技術実証機 DESTINY+ による小惑星フェートンフライバイ計画が進められている。小惑星の内部構造と表層進化についての知見は、将来日本が太陽系内の水輸送や前生命環境の研究に踏み込んでいくために、欠かすべからざる情報源になるだろう。

国立天文台 RISE 月惑星探査検討室、LIDARサイエンスチーム 並木 則行（なみき のりゆき）



小惑星4ベスタのTarpeiaクレータ（© NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA）。画像中央のクレータの左側斜面に白い筋が見える。これは小規模地滑りによって、地下の物質が表面に露出して出来た反射率のムラと考えられている。「はやぶさ2」の衝突実験によって、同じようなムラがリュウグウでも見られるかもしれない。

子どもたちにわかりやすく、夢を与えられるようなかたちで、最新の研究成果を伝えたい。



宇宙教育センター長（宇宙教育推進室長）

桜庭 望（さくらば のぞむ）

1958年、秋田県大館市生まれ。大学卒業後、北海道で10年間高校教諭を務める。1993年、北海道教育委員会網走教育局社会教育主事。1997年、北海道立社会教育総合センター研修情報課社会教育主事～主査。2002年、国立オリンピック記念青少年総合センター事業課主任研修指導専門職。2005年、北海道立生涯学習推進センター学習情報課長～研修調査課長。2009年、北海道教育庁生涯学習課社会教育主幹。2013年、紋別市立小学校長。2015年11月より現職。

▶研究者と子どもをつなぐコーディネーターに

——2年半程前、公募で現職に就かれました。

JAXAに来る前はどんなお仕事を。

ずっと教育畑を歩んできました。北海道で高校の教員（農業・理科）を10年。その後、教育委員会の社会教育主事となり、ホールの芸術・文化振興に関する業務に4年間従事しました。上京し、代々木のオリンピックセンターで青少年教育と国際交流事業に携わり、北海道に戻って「生涯学習情報システム」の仕事や、研修担当として少年自然の家での野外教育なども経験しました。最後は紋別の小学校で校長を2年7カ月ほど務めました。宇宙との関連を強いてあげれば、高校教員の採用が地学で通ったので、その中に若干宇宙の要素も入っていたことくらいでしょうか。でも、小学生のころからお小遣いで『天文ガイド』を買って読んでいましたから、宇宙好きではあったと思います。

——宇宙研に対する第一印象は。

いろんな分野で世界最先端の研究をされているすごい方々が集まっておられる場所だなと。そうした中で一緒に働かせてもらえることを、非常に光栄に思いました。宇宙とは無縁の世界で生きてきましたが、学校教育、社会教育、学習情報、国際交流活動などかなり広範囲にやっていたので、これらの経験を宇宙教育という領域に活かしたい。そして、第一線のすごい研究者と子どもたちをつなげるコーディネーターになりたいと思います。最先端の研究成果を子どもたちにわかりやすく、また夢を与えるようなかたちで伝えることを心がけています。

——現在のお仕事は。

学校教育支援では授業連携や教員研修を行います。もちろん自分が教えるのではなく、教育現場で先生に活用してい

ただ宇宙教育教材を用意したり、お手伝いやアドバイスをしています。社会教育活動支援では、体験型学習プログラムの「コスミックカレッジ」や親子で学ぶ「宇宙の学校」。高校生対象の「エアロスペーススクール」、相模原キャンパスでは「君が作る宇宙ミッション（きみっしょん）」。他にも「国際水ロケット大会」など、宇宙教育センターの様々な事業の運営と地域の教育活動を支援しています。

▶ジャズピアノ、休日は野外ライブも。

——宇宙教育センターの魅力は。

「宇宙が子どもたちの心に火をつける」をコンセプトとするJAXAの宇宙教育は、他国の宇宙機関の活動と比べるとユニークなものです。宇宙に関係する道に進むための人材育成に主眼を置くのではなく、宇宙教育センターの対象は、小・中学生を中心とした子どもたち。彼らの好奇心・冒険心、自分の手でモノをつくりだす創造性を育むことが目的で、将来的に宇宙開発やロケット研究にイノベーションを起こせるような人材が育つかも知れません。学び続ける態度は子どもの頃の経験によって育まれます。ホンモノに触れたり、研究者から直接話を聞く貴重な機会は、きっと将来に活かされていくことでしょう。たとえば「きみっしょん」のような事業に参加した高校生は、5日間の体験学習が終わるとがらっと印象が変わります。人前で話せるようになったり自分に自信がついたり、学習の意欲が喚起される様子が顕著にみられます。ここが宇宙教育センターの事業の特徴で、社会貢献度の高いプログラムは他国にも自慢できるものだと思います。

——音楽演奏が趣味と聞いています。

30～40代はアマチュアオーケストラ（バイオリン）、50代後半からは地元のライブハウスのメンバーになり、野外ライブなどお声がかかれば参加しています。大学時代はジャズ研。最近になって、ジャズピアノを本格的にやろうと練習を再開しました。ジャンルは問わず、歌謡曲の伴奏でもなんでもやりますよ。実はJAXAにも知る人ぞ知る職場バンドがあって、年に2～3回は演奏機会を持っています。それ以外には、これといった趣味はありません。かつては年間300冊の読書をノルマとしていましたが、最近は忙しくてとてもできなくなりました。

——今後の目標を。

宇宙研の先生方に、快く教育活動に参加していただく方法を思案しています。皆さんお忙しい中ご協力していただきませんが、こちらからお願いしているだけではいけない。お互いにプラスになるようなアイデアを模索しているところです。



ISASニュース No.446 2018年5月号
ISSN 0285-2861

発行／国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

発行責任者／宇宙科学広報・普及主幹 生田 ちさと

編集責任者／ISAS ニュース編集委員長 山村 一誠

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1 TEL: 042-759-8008

本ニュースは、インターネット(<http://www.isas.jaxa.jp/>)でもご覧になれます。

デザイン制作協力／株式会社アドマス

編集後記

1年くらい前にはERG初期運用のために私が日々出入りした3階管制室は、この1年ですっかり生まれ変わりました。この管制室に新たなドラマが生まれていくことを楽しみにしています。苦難より成功・新発見の喜びに満ちた空間となりますように。（三谷 烈史）

*本誌は再生紙（古70%）、
植物油インキを使用しています。

R70
古紙/パルプ配合率70%再生紙を使用

VEGETABLE OIL INK