

リュウグウから噴出する エジェクタカーテン

「はやぶさ2」の衝突装置 (SCI) が、小惑星リュウグウ表面に人工クレーターを生成した瞬間の画像 (衝突から192秒後の撮影)。表面から噴出したエジェクタカーテンが変化する様子が、分離カメラ (DCAM3) で撮影された。右画像は左画像の拡大図であり、スケールは25mを示す。クレーターは、周辺の水平面より下に凹んだ領域の直径が約14.5m、リム (クレーターの縁で盛り上がった部分) の直径が約17.6m、水平面からピットと呼ばれる凹みの底までの深さが約2.3m、リム頂上からの深さでは約2.7mとなり、想定よりもかなり大きなものであった。このクレーター生成実験により、リュウグウ表面の物理特性を解明できた。2020年3月、サイエンス誌掲載。

©Arakawa et al., Science 2020

192 sec.



The Forefront of Space Science

宇宙 科学 最前線

3Dイメージを撮影するフラッシュライダー

宇宙機応用工学研究系 准教授 水野 貴秀 (みずの たかひで)

はじめに

私が「はやぶさ」搭載用のLIDARを開発していた当時は「ライダー」というと「Rider」と思われてしまった時代でしたが、「はやぶさ2」での開発を経て、最近では新聞やネットニュースで「LiDAR」という単語を頻繁に目にするようになり、隔世の感を覚えます。余談ですが、LIDARは「Light Detection And Ranging」または「Light Imaging Detection And Ranging」を省略した造語で、一般的には「LiDAR」と表記されていますが、月着陸用レーダーの開発もしてきた私としては「RADAR (レーダー)」を「RaDAR」とは書かないだろう」という思いから、LIDARと表記することにしています。

3Dイメージを撮影するLIDAR

LIDARはおおまかに、目標に向けて光を「送る」レーザー、光を「受ける」望遠鏡とセンサー、時間を「測る」ストップウォッチの3つから成っています。光が1ナノ秒で約30cmの速さで進む性質を使って、LIDARは自ら発射したレーザー光が、目標で散乱して返ってくるまでの往復時間を測ることで距離を計算します。

最近では自動運転車やドローンなどが道路、地面、障害物の形状と位置を知るために3Dイメージ (距離画像) を必要と

しており、3Dイメージが撮像できるLIDARの実用化が進められています。この3Dイメージでは、距離や空間の分解能 (点の数) とともに画面内での時刻ずれがないこと (時刻同時性) が重要になります。動いている探査機や自動車から撮像した際に、画面の左上と右下の距離を測った時間が違うと後の処理がたいへんになるからです。3Dイメージ (距離画像) を撮ることが可能なLIDARにはスキャン型LIDARとフラッシュ型LIDAR (Flash LIDAR) があり、スキャン型は鋭いレーザービームを走査することによって、フラッシュ型はデジタル撮像のように2次元アレイ状のセンサーの視野にレーザーを拡散照射することによって3Dイメージを撮像します。撮像方法の違いから、Flash LIDARには、画面内の時刻ずれがない時刻同時性に優れた3Dイメージが得られ、機械構造がなく簡易な構造であるためシステムの信頼性が高いという特徴があります。

さて、宇宙でも小型月着陸実証機SLIMや月ゲートウェイを拠点とする月の極域探査など、探査機が着陸直前の地形測定、障害物回避、対地姿勢を検出するために3Dイメージが必要となっています。ローバーにおいてもSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) といわれる自己位置推定と環境地図作成のために必要とされますし、軌道上でのランデブードッキングにおいても、相対距離および相対姿勢の測定のために3Dイメージが必要とされています。

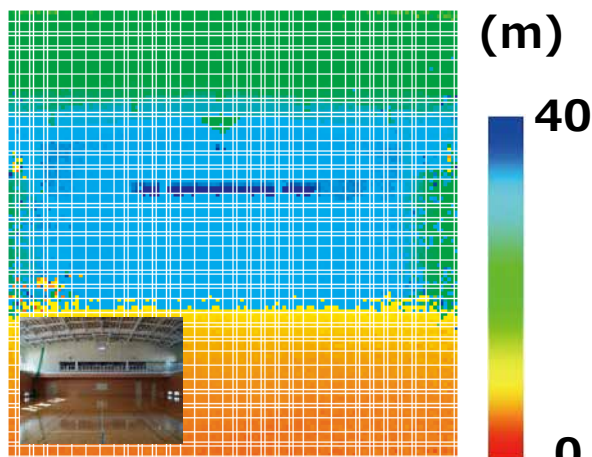
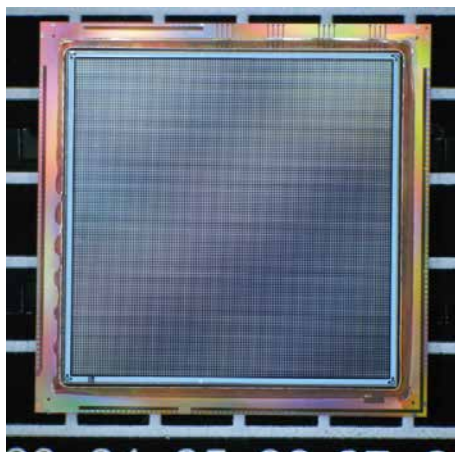


図1 試作された128×128 Si-MPPC 3Dイメージセンサー(左)、体育館を撮像した3Dイメージ(右)。

このように多くのシーンで必要とされる重要なセンサー技術を、海外に依存せず国内で持つことが、国際的宇宙開発の協力や競争の中で日本が自由度を確保していくことにつながるという思いで、「なんとかFlash LIDARのコアである3Dイメージセンサーの開発を」と考えていました。「はやぶさ」が帰還した数年後、国内のセンサーメーカーでも開発しているということがわかり、2つ隣のお部屋にいらっしゃったIC設計の専門家の協力を仰いでメーカーとの相談に臨んだのが、私たちの開発のはじまりです。

開発の鍵

Flash LIDARの開発で鍵となるのは3Dイメージセンサーで、光を電流に変えるAPD (Avalanche Photo Diode) のアレイと、その各々に対応する時間測定回路のIC (Integrated Circuit) を、FCB (Flip-Chip Bonding) という技術で貼り合わせた構造をしています。このセンサーでは先に説明したLIDARの機能の中で、光を「受ける」機能と時間を「測る」機能が、集積回路 (IC) 技術で100 μm 角以下の画素毎に高密度集積されています。

APDの使い方には、ダイオードの降伏電圧よりも低い逆バイアス電圧で使うリニアモードと、降伏電圧を超えた逆バイアス電圧を加えて使うガイガーモードがあります。リニアモードは出力電流が受信した光に比例して増える特徴がありますが、増倍率M (1光子が生成する電子数) は100程度と感度が低いです。過去に惑星探査機に搭載された長距離LIDARはすべてリニアモードのAPDを使用していますし、OSIRIS-RExやDragon搭載のFlash LIDARもリニアモードのAPDを使用しています。

これに対してガイガーモードのMは10万以上と高く、光の最小単位である単一光子の検出も可能なほど高い感度を持ちます。このガイガーモードAPDを、単一光子でも検出が可能なことからSPAD (Single Photon Avalanche Diode) と呼びます。SPADの高感度特性は、レーザーを拡散照射するために受信光量が少なくなるFlash LIDARには適していますが、一方で出力電流が受信した光に比例しないため光量の判別ができず、太陽光などの外乱光による光子との識別に工夫が必要です。外乱光への対策として、浜松ホトニクスが独自に開発したマルチピクセルフォトンカウンター (MPPC) という技術があげられます。MPPCは小さなSPADを1画素内に複数個

高密度集積したセンサーで、原理的には画素内にあるSPADの個数分のフォトンカウンティングが可能で、光量を判別できます。現状ではシリコン (Si) 製しかありませんが、このMPPCを使うと光量が小さい外乱光とレーザーからの信号を識別することができます。

シリコン (Si) を使用したAPDの感度は可視光から1 μm 程度の近赤外線までですが、技術的難易度が高いインジウムガリウムヒ素 (InGaAs) を使うとより波長の長い0.9~1.7 μm の光をとらえることができます。波長1.4 μm 以上は目の網膜での吸収が少なく、目に対する傷害が少ないアイセーフ波長域です。したがって、InGaAsが持つ1.4~1.7 μm 域の感度は、地上あるいは人がいる環境での使用を考えた場合には安全のために重要な特徴となります。ただし、InGaAsはSiに比べてダークノイズ (入射光が無い状態でのノイズ) が多いことに加えて感度のある面積を広く均質に作る 것이 難しいため、ノイズが少なく感度の良いAPDの実現には高い技術レベルが必要となります。

開発の今

2015年、宇宙科学研究所は技術的難易度の高いInGaAs製SPADを使った16×16画素の小規模な3Dイメージセンサーを試作し、2016年後半からは宇宙探査イノベーションハブの枠組みで浜松ホトニクスとの共同研究^(注)による開発を始めました。月や惑星への着陸機が必要とする障害物検出センサーの基本性能は、最大距離数100m、距離方向分解能10cm以下、空間分解能50cm以下といわれています。地上用途でも似た仕様の要求があることから、私たちが開発する3Dイメージセンサーの目標は、難易度は高くても人の目に害を及ぼしにくいアイセーフ波長域に感度を持つInGaAs製SPADを使い、128×128画素以上、時間測定回路の分解能は666ps (ピコ秒) 以下 (距離分解能10cmに相当) としました。浜松ホトニクスはセンサーの開発と組み立て、JAXAは宇宙応用を見据えた耐放射線性を考慮した回路設計という分担です。

スタートして間もなく、新型宇宙ステーション補給機 (HTV-X) のランデブーセンサーとしての用途も加わりました。しかし、InGaAs製SPADはデバイスの開発が始まったばかり、そして要求されるセンサーの視野角と空間分解能は128×128画素では満たせないという高いハードルでした。一方で、浜松ホトニクスは既に単素子の製作技術が確立されているSi

(注) 本研究はJSTイノベーションハブ構築支援事業の支援を受けて実施しています。

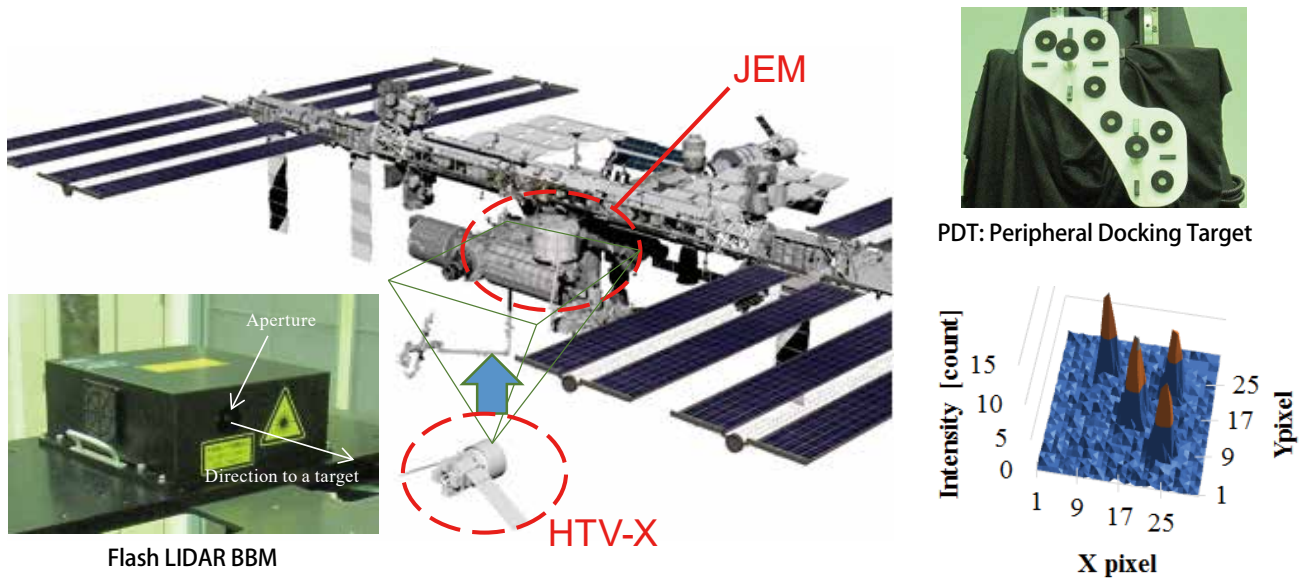


図2 HTV-X搭向けに試作されたFlash LIDAR (左下)、国際宇宙ステーションに接近するHTV-Xのイメージ (中央)、国際宇宙ステーション側で用意される接近目標となるターゲットPDT (右上)、PDTを撮像した結果 (右下)。

製MPPCを使った3Dイメージセンサーの開発を独自に進めていました。Si製MPPCはフォトンカウンターとしての機能によって強度の測定も可能なことから、外乱光を識別できることに加えて、スタートラッカーのようなセントロイド処理によって画素分解能以上の空間分解能を得られるメリットがあります。そこで、HTV-Xのランデブーセンサーは、浜松ホトニクスが独自開発したSi製MPPCアレイを採用してセントロイド処理で空間分解能の問題を解決することにして、現在3Dイメージセンサーのエンジニアリングモデル (EM) を開発中です。図1は試作段階のSi製MPPCを使った128×128画素の3Dイメージセンサーの写真と、それによって得られた3Dイメージで、30mほどの体育館の奥行きがきれいに見えるのがわかります。センサーの1画素は100 μm 角で、この中にさらに12個のサブピクセルのSPADが集積されてMPPCを構成しています。ICIはJAXAが耐放射線性を考えた設計で、分解能は距離換算で4cm以下を達成しています。図2は図1のセンサーの1世代前の32×32画素センサーを使ってJAXA研究開発部門が試作したFlash LIDARで、国際宇宙ステーション側で用意されている接近目標のターゲットPDT (図2右上) を撮影した結果です。この実験の結果、距離測定精度と空間分解能が要求値を満たすことが確認され、画素規模を16倍に拡大した128×128画素の開発へと移行しました。

さて、話をアイセーフ波長対応のInGaAs製SPADに戻しますと、宇宙探査イノベーションハブでの共同研究の結果、InGaAs製SPADの低ダークノイズ化や感度の問題が改善されて2018年には図3に示した32×32画素の試作品ができ、現在ではさらに画素規模を拡大した128×128画素の製作が進んでいます。センサーとしての性能は、単一光子から感度があり、感度波長域は0.9~1.69 μm 、時間分解能は250ps (距離分解能4cm以下)、測定時間は8 μs (最大距離1.2km) です。さらに画素数を増やすことを念頭に、画素サイズを図1のSi製MPPCタイプの約1/4の面積となる55 μm 角に納めて製作しています。また、時間測定のためのICは、これまでの重イオンを使った宇宙放射線に対する耐性試験において、ラッチ

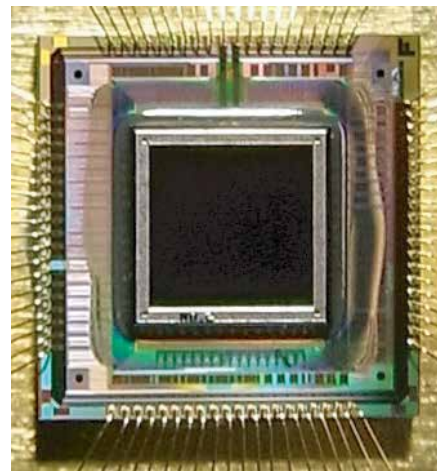


図3 試作された32×32画素InGaAs-SPAD 3Dイメージセンサー

アップと呼ばれるICが破壊に至るようなエラーは発生しないことが確認されています。プロトンやガンマ線を使った放射線試験では、InGaAs製SPADはSi製よりも放射線耐性に優れていることが確認でき、着陸機への搭載に向けて着々と準備を進めています。

おわりに

3Dイメージセンサーの研究開発は、宇宙探査イノベーションハブの枠組みの中で多くの方々のご支援とご協力を得て、車載センサーなどの民生応用と宇宙応用がたいへんうまくかみ合い、高いレベルに到達することができました。このセンサーは、ユーザが見たい対象に合わせて送信用のレーザーと受信レンズを選択してFlash LIDARシステムを設計できるため、民生でも宇宙でも多くの用途に利用可能な汎用性の高いセンサーです。宇宙機搭載のためには超えなければならないハードルがいくつか残されていますが、着陸機の障害物検出やランデブーセンサーとしてはもとより、ローバーでの地形認識、地上からのデブリ観測など、私たちが開発した3Dイメージセンサーが多くの分野で活用され、その分野の発展に貢献することを期待しています。

私達は何処から来て、 何処にいて、 何処に向かうのか？

国立天文台 先端技術センター 特任教授
元宇宙科学研究所 宇宙物理学研究系 教授

満田 和久(みつだ かずひさ)

X 線天文学の黎明期から活躍され、すだれコリメータや白鳥座X-1と呼ばれるX線星がブラックホールであることを世界で初めて示唆されたこと等で知られている小田 稔先生は、世界のX線天文学に、そして日本の宇宙科学に大きな足跡を残された。その小田先生が晩年の頃、研究会等の様々な機会にお見せになられていた楕円形の図がある。そ

れは宇宙物理学の重要課題や発見を10年毎にまとめた地図で、北から「意外性」を持って発見が現れ、「知識の深まり」とともに南に移動するようになっている。水平軸はその事柄が関わる空間スケールの大きさを表している(図1(a))。1996年に先生が書かれた物理学会誌の記事のweb版*の中に地図を今も見ることができる。それは1950年代から始まり1990年代までの5枚の地図で構成される。小田先生は私の大学院時代の指導教官で、私は1978年に初めて先生にお会いしてから亡くなられる直前まで先生の薫陶を受けてきた。そのため僭越ながらこの地図達の後ろに2000年代の地図を付け加え、現在につなげたいとかねがね思っていた。今回この記事でそれをISASニュースの読者の皆さんにお見せするという有難い機会をいただいた。紙面の都合で、さらに誠に僭越ながら、1950年代の地図を削除させていただき、研究分野の興隆は10年程度で起きるので10年毎の地図が正しいのであるが、1960から1990年代を20年毎の二つの地図にまとめさせていただいた。その上で私が増えた地図が図1(d)である。

同じ物理学会誌の中に先生はもう一つ興味深い図を載せておられる。それは米国天文学会の学術誌(Astrophysical Journal)の全論文数とX線天文学が関係する論文数を1962年から1993年までの変遷として示した図である。論文のネット検索という概念すらなかった時代に、どのようにしてこれをまとめられたのか頭の下がる思いである。今回は、Web of Science (WoS) 論文データベースを用いて、定義は多少異なるが、これも現在まで延長することを試みた(図2)。図2の(1)はWoSが天文学・宇宙物理学分野の学術誌と定義する論文誌に掲載された論文数の変遷である。最初が1970年なのは、宇宙研のWoSとの契約により1970年以降の論文しか見ることができないためである。図2の(2)は(1)の中でX線天文学の論文であるはずの論文を取り出したプロットである。これらからX線天文学は1990年頃に大きく成長し、世界の天文学の約10%を占める存在になったことがわかる。一方、これを日本天文学会の学術誌に限った(3)(4)を見ると、日本のX線天文学は1980年代半ばと1990年代初期に2度の大きな成長をとげて、日本の天文分野の30%を占める存在になったと言うこともできるであろう。小田先生が物理学会の記事の中で検証

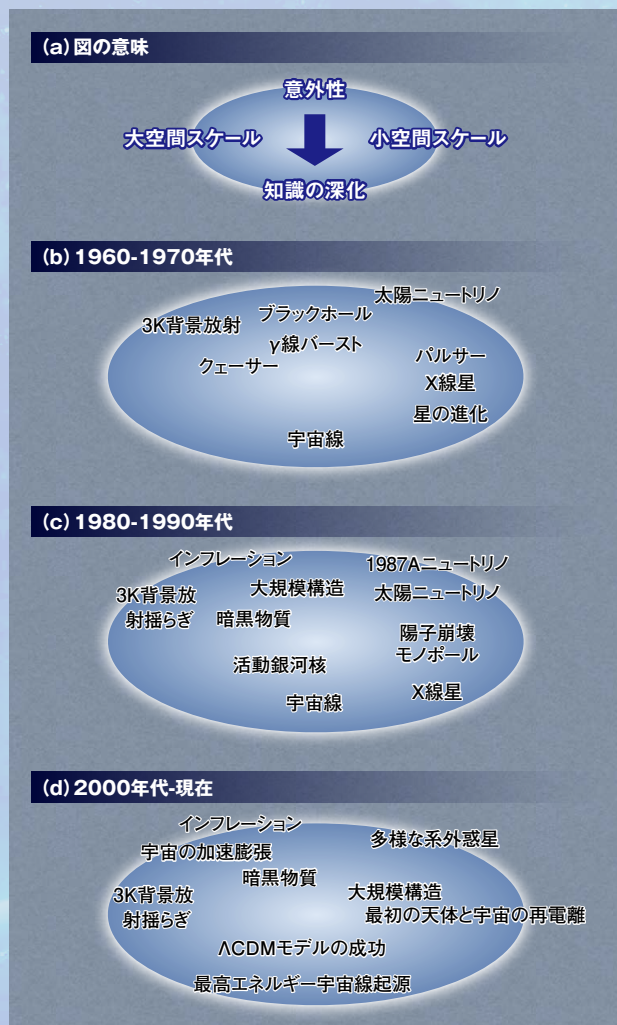
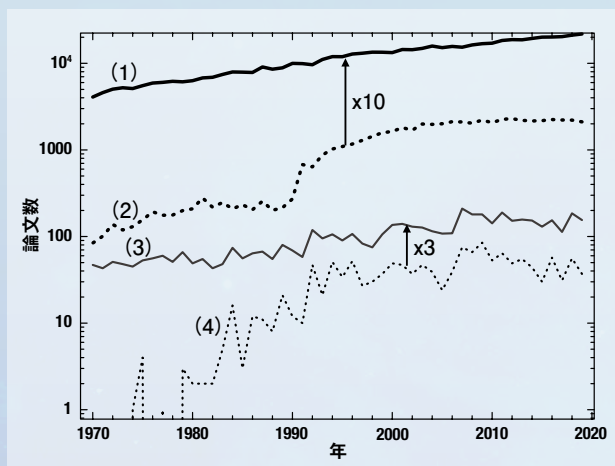


図1 宇宙物理学の重要課題や発見の深化と空間的広がり。地図。(b)(c)は小田先生の10年毎の地図を20年毎にまとめた地図。(d)は筆者が新たに付け加えた地図。

*https://www.jps.or.jp/books/50thkinen/50th_08/002.html,

https://www.jps.or.jp/books/50thkinen/50th_08/002.html, <https://doi.org/10.11316/butsuri1946.51.557>



- (1) Web of Scienceで天文・宇宙物理に分類される論文
 (2) (1)の中でkeyword = x-rayで検索される論文
 (3) 日本天文学会欧文報告(PASJ)の全論文
 (4) (3)の中でkeyword = x-rayで検索される論文

図2 論文数の変遷。縦軸は対数スケールになっているので、縦軸の距離は二つの点が何倍離れているかを示している。

されているように、1990年頃の世界のX線天文学の大きな成長を支えたのはドイツのROSAT衛星と日本のASCA衛星であった。1962年のX線背景放射とX線星の発見で始まったX線天

文学は、小田先生が宇宙物理学の地図に示されている重要課題の多くと密接に関わりながら発展してきた。図1(c)1980-1990年代のキーワードの中では、X線星、大規模構造、暗黒物質、活動銀河核にX線天文学は大きく貢献している。

図2の(1)(2)の2010年以降を見ると天文学・宇宙物理学の全論文は増え続けているが、X線天文の論文数は一定値になって、論文シェアが下がっているように見える。日本が同じ傾向にあるのかは図2の(3)(4)から明確にはわからないが、そうであるようにも見える。この傾向には複数の要因があると思われるが、その一つは天文学・宇宙物理学に新たな分野が興隆し、より多様になったことであろう。図1(c)から(d)へ、新たに加わったキーワードの中で「宇宙の加速膨張」にはX線が関わっているし、また将来実現される高感度の観測装置は「最初の天体と宇宙の再電離」にも寄与するであろう。その一方で、「多様な系外惑星」「3K放射揺らぎ」など他の波長が観測の主となる分野が大きく成長している。今後は、専門技術を発展させつつ、天文学・宇宙物理学の発見と知識の深化への貢献という視点で、波長によらずにスペースからの天文学・宇宙物理学を考えることが重要であろう。常に新しいことに興味を持たれていた小田先生もそうされたのではないだろうか？私もそのように貢献していきたいと考えている。

ISAS事情

火星衛星探査計画(MMX)開発フェーズに移行！

火星衛星探査計画(Martian Moons eXploration: MMX)は、世界初の火星衛星フォボスからのサンプルリターンミッションです。火星衛星の起源の解明、惑星形成過程と物質輸送への制約、火星圏進化史への新たな知見の獲得とともに、宇宙探査を先導する技術の獲得をミッションの目的として掲げ、2024年度の打上げを計画しています。

2019年度はフロントローディング活動を実施し、重力天体着陸・表面探査技術、重要ミッション機器、そして探査機システムについて技術的な成立性を見通しを立てることができました。その成果なども含めて、探査機システム、ミッション機器、地上システムなどのメーカーの競争的選定プロセスを実施し、三菱電機、川崎重工、明星電気など、開発担当企業を選定するとともに、システム定義審査・プロジェクト移行審査を受審し、先のプロセスに進めることが承認されました。

年が明けて2020年2月に文部科学省宇宙開発利用部会においてプロジェクト移行審査の結果を報告し、開発フェーズへの移行が承認されました。これにより、名実ともにMMXは開発フェーズに移行したことになり、探査機システムと各ミッション機器とのインターフェースの確定や、探査機システム・ミッション機器・地上システムの設計を固める基本設計を本格的に始めています。

2020年度は先行して開発を進めているミッション機器のPDR



火星圏投入時の火星衛星探査機(MMX)想像図(奥:火星、右:フォボス)。

(Preliminary Design Review: 基本設計審査)を皮切りに、秋には探査機システムのPDRそしてJAXA総括PDRと、基本設計活動と一連の審査を行う予定にしています。

国内外から関係者が一堂に会して議論を行う予定だった設計会議が、新型コロナウイルスの影響により、テレビ会議を用いた遠隔会議に変更しての開催を余儀なくされるなど、これからも予期せぬいろいろな問題が起きることは十分あり得ます。そのような時も、今回の設計会議のように、みんなで知恵を出し合い、問題を解決し、2024年度の打上げに向けてプロジェクトチーム一丸となって開発を進めていこうと考えています。

MMXの活動の様子はTwitter (@mmx_jaxa_jp) やMMXニュース (<http://mmx-news.isas.jaxa.jp/>) で随時お伝えしていきますので、ぜひご覧ください。

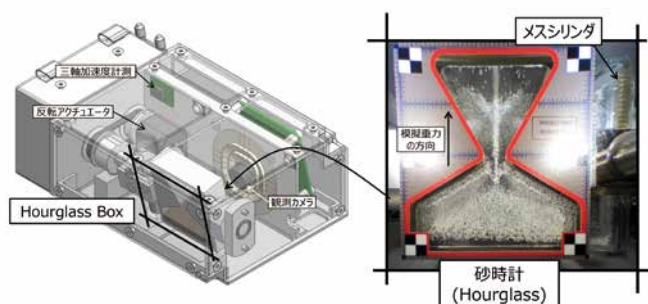
(川勝 康弘)

Hourglassミッション第1回実施

惑星表面を覆うレゴリスなど粉粒体の機械特性の重力依存性を調査し、将来の着陸探査機設計に資する情報を得ることを目指したHourglassミッションの第1回運用が実施されました。

Hourglassミッションでは、国際宇宙ステーション (ISS) の「きぼう」モジュールにあるCell Biology Experiment Facility (CBEF) に含まれるターンテーブルを用いて、遠心力方向に模擬的な重力環境を発生させ、粉粒体 (模擬レゴリスや地上砂など) の動的挙動と静的な堆積状態を観察して、低重力が粉粒体の特性に及ぼす影響を調査します。

装置 (Hourglass Box) のイメージを図に示します。このBoxは、粉粒体が入った砂時計ならびにメスシリンダ型の真空容器



砂時計とメスシリンダを搭載するHourglass Boxのイメージ (左) と低重力でのアルミナビーズの挙動 (右)。

を搭載し、定期的にそれらを反転させながら可視光カメラで観測、そして、かかる模擬重力を計測する機能を持っています。砂時計では粉粒体の動的な挙動や堆積形状を観察し、メスシリンダでは堆積時のかさ密度を計測します。CBEFには一度に4個のBoxを設置でき、計2回の実験で8種類 (アルミナビーズ、豊浦砂、東北砂5/8号、フォボス/火星の模擬砂、月の模擬砂 (425/850 μm ふるい)) の対象試料について、動的な挙動と堆積状態を任意の重力環境 (0.063Gから2.0Gの間) で動画撮影します。

現在、一つのBoxの実験データが地上に下ろされています。その結果から人工重力と実際の重力環境下での作用力の違いを把握し、重力に依存しない静的な堆積状態や真空中を飛翔する粒子の重力により異なる動的な挙動が観測されており、第1回の実験の残り3Boxの結果が戻ってくるのを待ち望んでいます。

本ミッションは宇宙科学研究所と有人宇宙技術部門の連携だけでなく、宇宙探査イノベーションハブと国内大学の関連分野研究者との連携により装置の設計製造、運用、解析が行われています。また、Hourglassミッションでは、天体成長過程の理解への貢献、月惑星におけるテラメカニクス (Terra-Mechanics : 土壌と機械の相互力学関係を表す造語) の構築に向けた基礎データの取得、将来的な着陸機や探査ローバ、サンプル採取装置などの設計に必要なシミュレーションパラメタの取得、「きぼう」人工重力環境の価値や能力のアピールと異分野への利用拡大等の成果が期待されています。 (大槻 真嗣)

第12回宇宙科学奨励賞 下西 隆氏と菊地 翔太氏に授与

公益財団法人宇宙科学振興会では、毎年、宇宙科学分野で優れた研究業績を挙げ、宇宙科学の発展に寄与した若手研究者に宇宙科学奨励賞を授与しています。創設以来12回目となる2019年度は、新潟大学・研究推進機構・超域学術院・助教の下西 隆氏 (理学分野) と宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・プロジェクト研究員の菊地 翔太氏 (工学分野) に宇宙科学奨励賞が授与されました。

下西氏への授賞の対象となった研究業績は「あかり衛星を用いた低重元素量系外銀河における原始星と星間物質の研究」です。下西氏は赤外線天文衛星「あかり」の観測データの較正・解析を行い、大マゼラン雲のデータを世界で初めての分光カタログとして世界の研究者に提供すると共に、低重元素量下での化学過程という新しい分野を開拓・推進し、宇宙科学分野における優れた独創的な成果を挙げてこられました。これらの成果は下西氏の新しい分野を切り拓く強い意欲とデータ解析での粘り強い研究能力を示しており、今後も宇宙科学を牽引し大きな貢献をされると期待されています。

菊地氏への授賞の対象となった研究業績は「小天体近傍の強摂動環境における軌道・姿勢力学理論の構築」です。小天体近傍の強摂動環境における探査機の軌道・姿勢力学という一貫したテーマについて多角的な研究を行い、学術的に重要な力学理論を構築してこられました。研究の実ミッションへの応用の集大成が「はやぶさ2」の着陸運用であり、これまでの知識・経験



下西 隆氏 (理学部門受賞者)



菊地 翔太氏 (工学部門受賞者)

を活かして着陸軌道の設計と事後復元を見事完遂されました。菊地氏は、日本が世界をリードする小天体探査の分野を中心に、今後も我が国の宇宙工学の発展にリーダーシップを持って貢献されると期待されています。

当振興会は今回受賞された下西氏と菊地氏に心からお祝い申し上げますと共に、今後の宇宙科学の発展に大いに貢献されることを期待しております。例年は3月初旬に多数のご来賓、関係者列席のもとに本賞の表彰式を開催していますが、今回は新型コロナウイルス感染症問題への対応のため、残念ながら表彰式は延期になりました。なお、本授賞の対象となった両氏の研究内容は、それぞれISASニュース5月号および6月号の「宇宙科学最前線」で紹介いただく予定です。

(佐々木 進)

「みお」つくし

第12回

世代も国境も越え水星へ挑むベピコロomboの物語

水星 / 「惑わない星」より



「みお」のプロジェクトマネージャ交替

2020年3月31日付けで早川基BepiColombo「みお」プロジェクトマネージャが宇宙科学研究所を定年退職され、4月1日から私がプロジェクトマネージャに就任しました。

水星探査ワーキンググループから数えると、向井 利典先生、山川 宏先生、早川 基先生に次いで4人目となります。早川 基先生は2006年から13年余りプロジェクトマネージャを務められました。

私は1998年に宇宙科学研究所に入所して以来、水星探査計画に参加してきました。宇宙科学研究所の「水星探査ワーキンググループ」結成が1997年ですから、ほぼ最初から携わっていることになります。主として熱制御系開発を担当してきました。「みお」以外にもM5ロケットの飛行安全や再使用ロケット、他の衛星の熱制御系の仕事もあって、「みお」の開発のすべてに関われなかったことは少し心残りです。しかし、これからは「みお」が水星を観測し素晴らしい成果を収めて寿命を全うするように精一杯のことをしてあげたいと思っています。

私は20年以上関わっていることになりますが、ヨーロッパの科学コミュニティは1983年に水星探査計画提案をしていたとのことですので、ヨーロッパの歴史はさらに15年以上古いことになります。本当に長いミッションです。長いミッションになると定年や異動・転職などで人の入替がどうしてもあります。「みお」を一緒に開発してくれたメーカーの担当者も何回か替わりましたし、ヨーロッパ側のプロジェクトマネージャや「みお」の担当者も替わりました。人が替わる毎に不安になりましたが、新しい担当者の頑張りと周りの方のサポートで大きな問題なくこれまでやってこられました。私も頑張りたいと思います。

この「みおつくし」の第10回で早川 基先生が日欧の違いについて紹介されていますが、私も紹介します。

それは基準です。BepiColomboは惑星探査ミッションということもあって計画当初から質量が厳しく、グラム単位の質量管理がなされました。ヨーロッパでは開発の進め方がECSSという基準に定められています。マージンフィロソフィー（余裕の考え方）もそこに定められていて、機器毎の設計の完成度に依存するマージンやシステムレベルのマージンをそれぞれ定義し、開発の進捗に合わせてそれらを管理するやり方を取っています。一方で、日本側は機器担当者が開発実績や開発経験に基づいて余裕も込みで質量を算出し、システムレベルではそれらを集計し、ターゲット質量に対して管理していくというやり方でした。双方がやり方を理解できず苦労しました。最も困惑したのが「Phase Bまでは機器のマージンの他に、システムマージンを20%とることになっている」と言わ



2006年10月BepiColomboプロジェクトチームとして最初の欧州宇宙運用センター(ESA/ESOC)訪問。写真中央の女性はElsa Montagnon氏(現BepiColombo Spacecraft Operation Manager)。当時から担当が替わらないのはとても心強く安心感があります。



2006年10月にESA/ESOCを訪問した日本チーム。左から戸田 知朗先生、筆者、笠羽 康正先生、山川 宏先生(前々プロジェクトマネージャ)、早川 基先生(前プロジェクトマネージャ)、山田 隆弘先生。

れた時で、日本側がそれまで算出してきた質量には考慮されておらず、観測機器をすべて降ろしても実現できない要求で、途方に暮れた記憶があります。結局、お互いが譲歩した形で開発がすすめられましたが、「みお」はBepiColombo全体システムから割り当てられた質量に対して長い間マイナスマージンで、質量軽減が最重要課題の1つでした。

このようにヨーロッパには衛星開発の基準 (ECSS) がありますが、当初はそれを日本側の開発にも適用するように求められました。日本の製造メーカーが対応困難であるなど現実的ではなかったので、日本のやり方を受け入れてくれるよう交渉しました。結局「みお」は日本の基準で開発するが、ヨーロッパ側とのインターフェース部分はECSSに則ることで決着しました。それでも、その後ヨーロッパ側に日本の基準の説明をかなりしなければならませんでした。

さてBepiColomboの地球スイングバイは無事終了しました。水星到着まで5年余り。「みお」の航海の無事を祈りつつ、皆様これからよろしくお願い致します。

BepiColombo計画 日本側プロジェクトマネージャ 小川 博之 (おがわひろゆき)

品質管理班で学んだ「本物、現場の尊さ」

総合研究大学院大学 戸端 佑太 (とばた ゆうた)

ISASニュース 2月号記載のS-310-45号機フライトオペの前工程に、大学院の制度を活用して参加しました。今回は職員と一緒に現場にて、「品質管理班」の一員として、宇宙研に所属する学生が参加して感じた率直な感想を記します。

参加期間における主な作業は、内之浦宇宙空間観測所におけるロケットの組立てでした。フライトオペに先立ち、前年11月の噛み合わせ試験時で取得したデータとの突合や、製造工場から直接射場に搬入されたロケットモータなどの組立てが主に行われました。所属班では、各工程が仕様書通り(計画通り)の進行かどうかを確認しました。

ところが、初めて目にする莫大な数の部品や組立工程の緻密さ、現場の作業者数、大型の設備や迷うことなく作業が行き交う風景に、興奮と戸惑いが入り混じり、当初はその過程と作業時刻のメモがやっとでした。次第に現場の雰囲気慣れましたが、それでも「作業の妨げにならず、警戒心を与えず、不具合を逃さない」、という心得の実践はなかなか難し

く、職員間の連携の難しさと大切さを学びました。

他にも、職員やメーカー、宇宙研以外のJAXAの方々と技術的な内容の議論に参加できたことも今回ならではの貴重な体験でした。教科書にも記載されている内容も当然ありましたが、組立て方法や、なぜその材料を使うのか、といったモノ作りに関する思想の議論は、実物を目の前にしたからこそ、より深く理解できたと感じます。食事やお酒の席での、過去の運用のよもやま話も、普段なかなかフランクに伺えないお話ばかりでした。

今回このような貴重な機会、ご縁をいただきましたことに、関係者の皆様に心から感謝申し上げます。この分野への研究意欲が一層湧き上がりました。これから宇宙開発や探究を志される後輩たちも、このような教育機会を享受できますよう切に願います。



糸川英夫先生銅像とのスリーショット。
左が戸端、右が山田。

OP班で見た開発現場

東京大学大学院 山田 哲嗣 (やまだ さとし)

2020年1月9日に観測ロケットS-310-45号機が内之浦宇宙空間観測所から打上げられました。私は、12月末から始まったこのフライトオペレーションに宇宙研の大学院生として参加しました。現地ではOP班に所属し、射場上空の風観測に用いるラジオゾンデの準備と実際の放球を担当し、ロケット搭載機器の最終整備作業から打上げに至る全工程に立ち会いました。

風観測に用いられる機器類はこの場で初めて目にするものがほとんどで、役割や機能、計測原理などをご指導いただきながら作業をしました。強風時の放球は思いのほか難しく、気球が大きく左右に揺さぶられます。リリースの瞬間に観測機器が地面すれすれを漂うこともあり、冷や汗をかく場面も度々ありました。参加当初はブラックボックスであったものも、自らの手を動かして機器に触れることで実感が湧き、持っていた知識と感覚が一致したことは大きな収穫でした。また、これらの作業は屋外が中心なので、オペレーション中は測定データ等を扱う電子計算機室から実際にロケットを打ち上げるKS台地への移動が頻繁にあります。設備の配置や形状、規模感などは想像していたものより圧倒的な迫力があり、打上げに向けて気持ちは昂る一方でした。

OP班の一員として、管理棟で行われる打合せにも参加しま

した。各班のチーフからテキパキと(時に笑いもある)報告がなされる際には、チームが一丸となって作業を進める姿を見て、仕事とは何かを学びました。総勢百人を超える大人数でありながら、細分化された各機能が有機的に結合し、全体を俯瞰するリーダーと、それぞれの役割を担う職員の呼吸がこれほどまで揃うものかと感動しました。

余談ですが、現地では思いがけない出会いもありました。種子島宇宙センターから研修で参加していた職員の野田 裕之さん、山口 大成さんとお話をしたところ、同世代であることが判明。途中からはすっかり意気投合し、以降はリラックスして現地生活を満喫しました。

今回のオペレーションでは、打上げに関する経験はもちろんのこと、その他にも上記のようにたくさんの収穫を得ることができました。末筆となりましたが、今回このような機会をくださいました皆様にはこの場を借りて御礼申し上げます。

編集後記

「新型コロナウイルス」のため、非日常が続いています。年度末は会合がほとんどなくなったため、異動の方と節目の挨拶をする機会を失いました。皆様、お世話になりました。お元気で。今号が発行される頃には少し落ち着いていると良いのですが。とりえず手洗い、うがい励行。(石川 毅彦)



ISASニュース No.469 2020年4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
デザイン制作協力/株式会社アズディップ
〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1 TEL: 042-759-8008