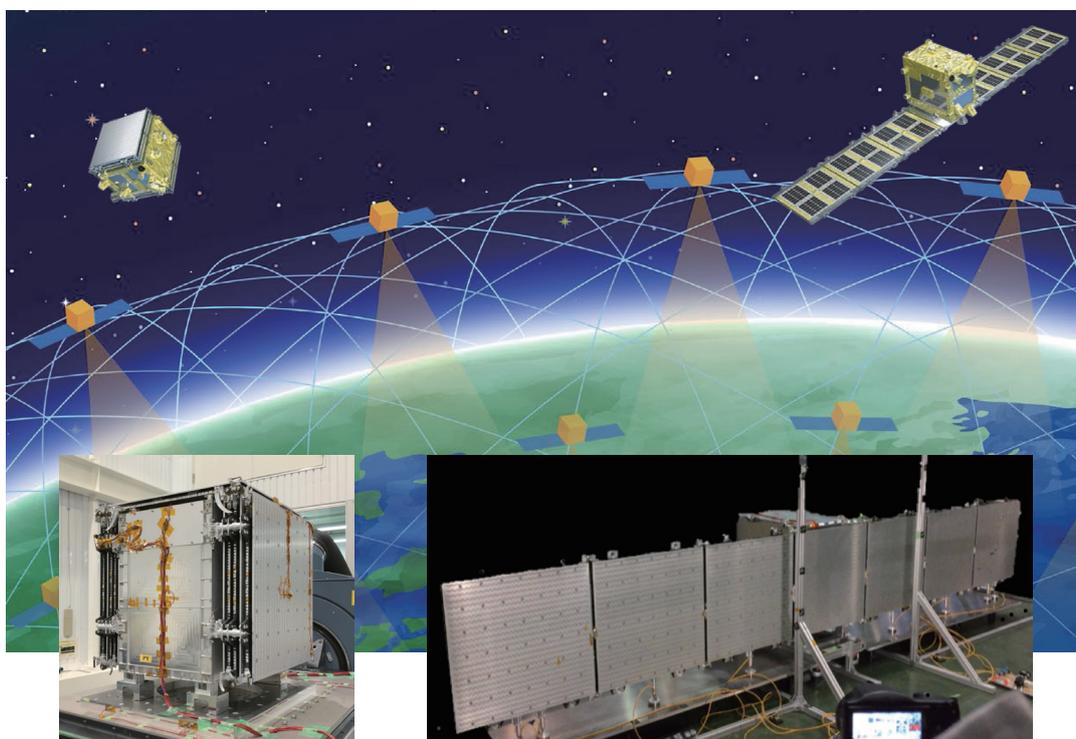


### 小型レーダ衛星の 編隊飛行を目指して

宇宙研では、内閣府の革新的研究開発推進プログラムの支援を受け、合成開口レーダ (SAR) を小型衛星に搭載させる技術開発に成功した。表紙写真(下段右)は、0.7m × 0.7m × 0.7mの小型衛星構体から展開された SAR アンテナである。この技術を用いて全天候型の地球観測が可能な小型 SAR 衛星を多数機打ち上げて人工衛星の星座 (コンステレーション) を構築し、「いつでもどこでも地球観測」をビジネスにする準備がベンチャー企業によって進められている (表紙イラスト©科学技術振興機構)。



## 宇宙科学最前線

### 宇宙開発、小型レーダ衛星の 多数機コンステレーション

宇宙機応用工学研究室 特任教授  
齋藤 宏文 (さいとうひろぶみ)

#### はじめに

地球周回軌道から撮像された地表の画像は、インターネット上でも自由に見られるようになってきており、人々の生活に親しみのあるものになってきている。特に近年では、100 kg 以下の小型衛星が数億円で開発できるようになったため、これを多数機打ち上げて、数時間以内に、地球上のあらゆる場所の光学画像を低コストに提供できるサービスやビジネスが米国で進んでいる。しかし光学画像は、昼間の晴天時での撮像に限られており、東南アジアのような多湿の地域では鮮明な画像が得られる機会は少なくなる。

今回ご紹介する衛星搭載の合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar, SAR) は、降雨や雲によって大きな減衰を受けずに透過できるマイクロ波を利用した地球観測手法である。衛星搭載 SAR では、500 km 以上の高度からマイクロ波 (その中でも X 帯という帯域に含まれる 10 ギガヘルツ付近の周波数) を放射して、地表から反射されてくる微弱な信号を受信するために、kW (キロワット) 級の送信高周波電力と、撮像感度を上げる上で面積数平方メートル以上のアンテナが必要となる。このため、SAR 搭載の地球観測衛星は、質量 1t 以上の大型衛星に

限られ、開発コストは 100 億円以上かかっていた。

しかし、この状況が変わりつつある。昨年には、欧米で小型衛星による SAR 観測が試験的に行われた。SAR が安価な小型衛星に搭載できるようになれば、これを多数機打ち上げ、世界中を「いつでも、どこでも」常時観測が可能な小型 SAR 衛星の多数機コンステレーションが現実のものとなる。コンステレーションとは、もともと「星座」を意味する言葉であるが、人工衛星の分野では全地球規模で人工衛星を多数機配置したシステムを指す。

筆者らは、100 kg 程度の小型衛星に搭載できる SAR を開発することを目標として、東京工業大学の研究者と共に、宇宙科学研究所内研究費や科研費を足がかりに研究開発を行ってきた。幸いなことに、内閣府の革新的研究開発推進プログラム ImPACT の支援も 2016 ~ 2018 年度に受けることができ、この度、一定の成果を達成した。本稿では、小型レーダ衛星の多数機コンステレーション (表紙イラスト) へと発展しつつある、宇宙開発の技術開発を紹介する。

#### 小型レーダ衛星システム基本設計

従来は重量 1t 以上、開発費は 100 億円以上であった

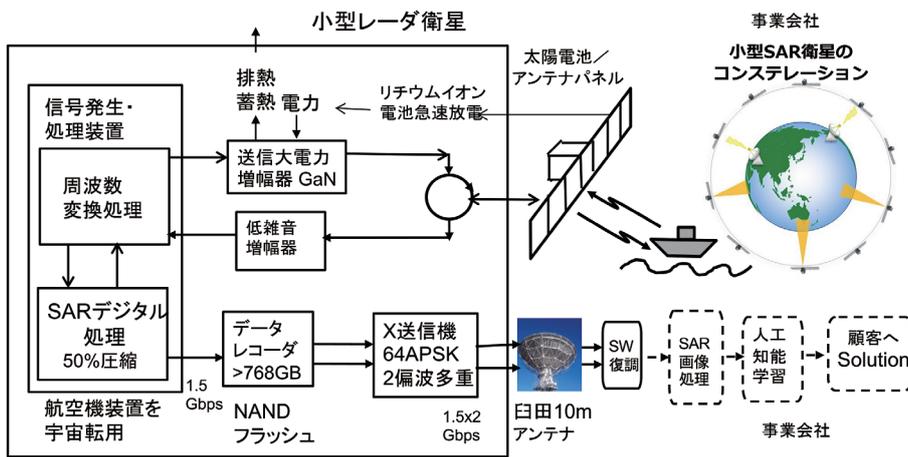


図1 小型SAR衛星システムと多数機コンステレーションのブロック図。

SAR衛星を、重量100kg級、量産コスト数億円にするには、使用部品、信頼性の考え方などに加えて、SARミッション機器の小型軽量化が必要である<sup>\*1</sup>。図1には、小型SAR衛星システムのブロック図を示す。考慮すべき点は、①数平方メートルの面積のSARアンテナを小さいロケットフェアリングに収納するアンテナ技術、②kW級の大電力、高発熱を伴う送信信号電力増幅器の電氣的、熱的な技術、③大電力を太陽電池パドルで発生して蓄電池に蓄積し、SAR観測時に短時間に放電する衛星電源系の技術、④毎秒ギガビット以上のデータ伝送速度、データ蓄積量が数百ギガバイトのデータ蓄積技術、など多岐に及ぶ。

これらの技術は、従来の小型衛星の技術レベルを凌駕するものであるが、筆者は1990年代に宇宙研のM-Vロケットによる深宇宙探査機の開発を経験してきた。ここでは、電気通信分野のみならず、構造・熱系技術を含めた包括的な衛星技術開発を行ってきたが、その経験を小型SAR衛星の開発に有効に活かせたと感じている。また、これらの開発で、大学院生2名が工学博士の学位を取得し、IEEEなどの査読論文6件、特許3件を出願できた。

## SARアンテナ

合成開口レーダ衛星には面積数平方メートル以上の送受信アンテナが必要になる。小型衛星搭載には、収納時

にはコンパクトになり、低コスト化も図れる方式のアンテナでなければならない。筆者らは平面アンテナを軌道上で展開し、必要なサイズのアンテナを形成する新たな手法を開発した<sup>\*2-4</sup>。

筆者らはこのためのアンテナとして、東京工業大学のグループが長年にわたって開発してきたハニカム構造スロットアレイアンテナ(図2左)に着目し、矩形形状のアンテナパネルを、展開方式の大型アンテナに適用した。提案する

アンテナは、一辺が70cmの正方形の誘電体ハニカム材の表裏にアルミ薄板を貼ったパネルを複数枚展開して実現する。パネルには、その上面の中央部にマイクロ波を給電する導波管が装着され、下面からマイクロ波が入放射してアンテナとして機能する。導波管を通じてマイクロ波を伝送する仕掛けで、全パネルが1つのアンテナとして有効に働くためには、各パネルへの給電が同位相で均一の電力である必要があり、そのための導波管回路(トーナメント回路<sup>\*</sup>という)も有している。

このような組み合わせパネルがアンテナとして機能する原理は次のように説明できる。パネルに装着した導波管にはマイクロ波の波長に関して規則的に窓(結合スロットという)が開いていて、パネル内部に波面位相の揃ったマイクロ波を供給する。マイクロ波はそこからパネルの端まで拡がって伝搬していき、パネル全体へ行き渡る。パネル下面には、放射用のスロットがやはり開いており(表紙写真下段右のアンテナ表面に周期的に細かいスロットが見える)、そこを通じてマイクロ波はパネル全面から空間に放射されていく。この放射スロットの配置間隔もマイクロ波の波長に関して定まる。パネルの全面から位相の揃ったマイクロ波が放射されるように、また、マイクロ波強度がバラツキを持たないように、電磁界解析を行って設計してある。

著者らが提案してきたこのアンテナには、パネル展開

<sup>\*</sup>高校野球の対戦トーナメント表のような分岐合流の構造をもった回路。

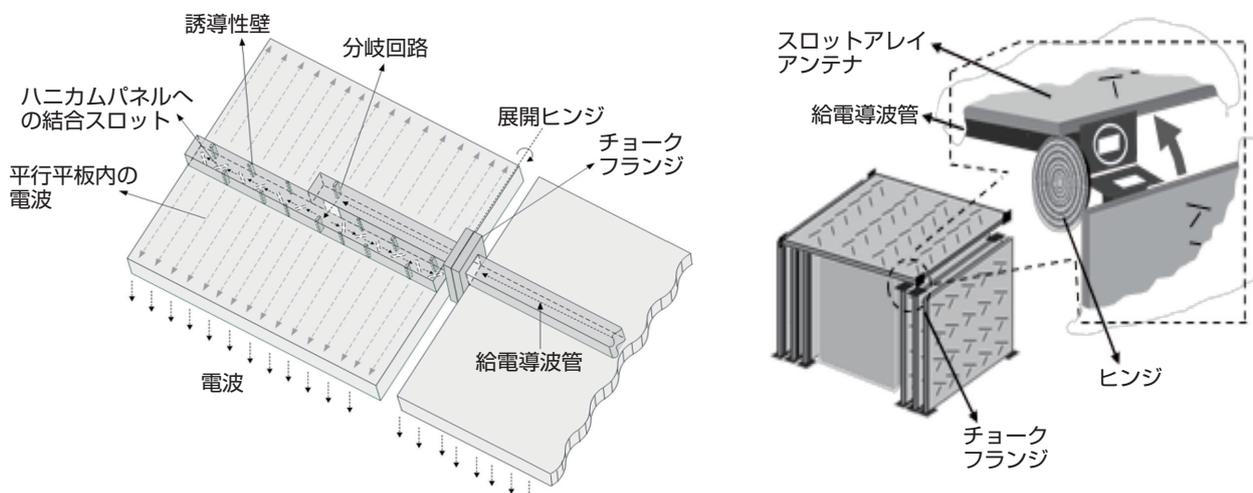


図2 左: ハニカムパネルと導波管を一体化したアンテナパネルの構造。右: 展開ヒンジ部のチョークフランジによる導波管非接触給電。

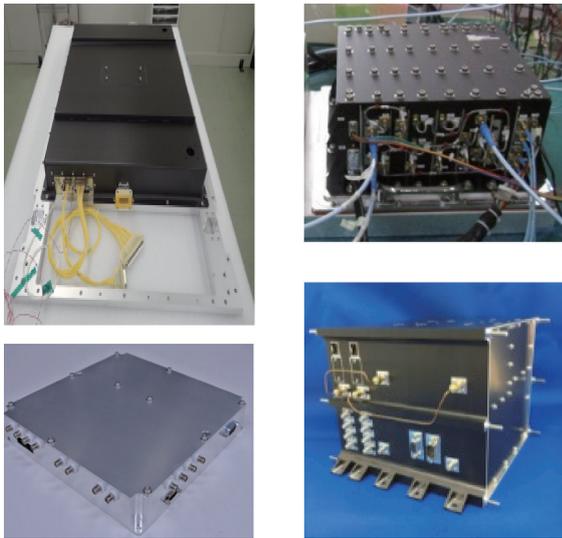


図3 上段左：蓄熱板を兼ねた衛星構体に実装されたX帯1kW電力増幅器。  
上段右：航空機搭載装置を改修したSAR信号発生処理装置。  
下段左：NANDフラッシュメモリを搭載した768ギガバイト、速度毎秒2ギガビットのデータレコーダ。  
下段右：毎秒1.3ギガビット×2チャンネルのX帯高速送信機。

に伴ってパネル間にマイクロ波を効率的に給電するための特長がある。図2右のチョークフランジという機構がそれである。隣り合うパネルの導波管でマイクロ波を受け渡しする際に、向き合う導波管の間で隙間ができると、そこからマイクロ波が漏れてしまっ損失になる。展開機構には遊びが必要のため、このような隙間は避けられないが、そのような状況であっても導波管同士でマイクロ波を効率よく受け渡し可能とする必要があった。仕組みとしては、導波管から1/4波長離れたフランジ上の位置に1/4波長の深さの溝を掘ることで、漏れ出るマイクロ波からは短絡しているように見せることで漏れを防ぐ。このようにして導波管同士を非接触としてもマイクロ波が漏れにくいようにできる。電磁界解析の結果、溝の形状を円ではなく卵型にすると、より広い周波数範囲にわたって損失を極めて小さくできることが分かった<sup>※5</sup>。

### X帯大電力増幅器

SARには、衛星軌道から地表に送信信号を放射して、地表から反射してくる信号を検出するために、kW級の大電力なマイクロ波増幅器が必要である。従来は進行波管とよばれる電子管が用いられていたが、本開発では高効率な半導体デバイスの窒化ガリウムHEMT (High Electron Mobility Transistor) 素子を用いて装置を開発した。平面回路上に実装された半導体増幅器の出力を、導波管共振器に導いて共振器内で合成を行う電力合成器を、東京工業大学の協力で開発した<sup>※6</sup>。

発熱量も大きいため、熱設計も重要な課題である。例えば日本列島主要部上空を人工衛星が通過する時間は5分程度であるので、5分間のSAR観測に耐えられるように、伝熱・蓄熱・放熱を組み合わせた設計とした。熱容量の大きいアルミ合金製の衛星パネルにほぼ直接発熱部を装着する構造として5分間の発生熱を蓄熱する。SAR観測終了後には、衛星構体放熱面から熱冷却が行われていき、100分程度後の次の軌道周回までに冷却されるようにする。衛星構体に装着されたX帯電力増幅器の写真を図3上段左に示す。

### 大容量、高速なミッションデータの発生・処理・蓄積・伝送装置

SARの観測データのデータ発生速度は毎秒ギガビットに及ぶ。図1の右側に示すように、大容量のデータは高速で地上にダウンリンクされて、地上でSAR画像生成の演算処理が行われる。このため搭載のSARミッションデータの発生・処理・蓄積・伝送装置は、その速度が毎秒数ギガビット、容量は数百ギガバイトというオーダーである。ハイエンドの地上装置に比較すれば驚くような数字ではないが、制約の多い衛星搭載電子装置としては難易度が高い技術である。民生の高速デバイスを新規に利用するため、電子回路基板の振動、衝撃、熱サイクル耐性や、真空下で駆動した時のデバイスからの排熱の課題など、地道に技術的な開発を実施してきた。

図3には、このようにして開発されたデータ処理装置の外観を示す。上段右はSAR信号発生処理装置であり、三菱電機製の航空機搭載装置を衛星用に改修した物である。下段左は、NANDフラッシュメモリを搭載したデータ容量768ギガバイトのデータレコーダである。下段右は、X帯高速送信機であり、64APSK変調、シンボルレートは毎秒300メガシンボル、右旋円偏波と左旋円偏波の偏波多重により、毎秒1.3ギガビット×2チャンネルの通信速度を有する。

### 宇宙開発、小型SAR衛星のコンステレーション

2016～2018年度のImPACTプログラムでは、いままで紹介してきた技術開発を行ってきたわけであるが、これらはハイリスク、ハイリターンを狙った技術開発であり、いくつかの課題が残されているものもある。しかし、幸いなことには、この技術による小型SAR衛星の多数機コンステレーションを社会実装する事業会社Synspective社<sup>※7</sup>が設立された。事業会社には投資機関のご支援が得られ、2019、2020年度に実証1、2号機を打ち上げ、その後、小型SAR衛星の多数機コンステレーションを実現する計画がある。この事業会社は、図1の右側に描いたように、合成開口レーダによる「いつでも、どこでも地表撮像」の情報を他のセンサ情報と組み合わせるソリューションビジネスをすることを特徴としている。いわば、従来の宇宙ビジネスがハードウェアを販売するものであったのに対して、ハードウェア技術の優位性を武器に情報ソリューションを販売するものである。

筆者は本年3月をもって38年間お世話になった宇宙研を退職することになっている。長きにわたる宇宙研での科学衛星の技術開発やプロジェクト実践経験は、本稿で紹介した小型SAR開発の源であった。退職間近の身ながら、事業会社による小型SAR衛星の多数機コンステレーションを牽引できることは、社会に貢献すべき工学研究者として誇りでもある。そのような機会を与えてくださった宇宙研の皆様、メーカ、大学、内閣府の皆様に感謝して、結びといたします。

※1 H.Saito, et al. IEICE Trans.Electron. vol.E100-B, no.9, pp.1653-1660,Dec.2017

※2 P. R. Akbar, et al IEEE Trans. Antennas and Propag., vol. 64, no. 5, pp. 1661-1671, May 2016.

※3 V. Ravindra et al. ibid. vol. 65, no. 5, pp. 2144-2156, May 2017.

※4 B. Pyne, et al. ibid. vol.66, no.7, pp.3463-3474, July 2018.

※5 B. Pyne, et al. IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8580401>

※6 V. Ravindra et al. IEICE Trans.Electron. vol.E100-C, no.12,pp.1087-1096, Dec.2017

※7 <https://synspective.com/>

## 第19回宇宙科学シンポジウム開催

2019年1月9日～10日に、JAXA 相模原キャンパスにおいて、宇宙理学委員会および宇宙工学委員会の主催により「宇宙科学シンポジウム」が開催されました。本シンポジウムは、宇宙科学コミュニティの会合として毎年年初に開催されています。2日間ののべ参加人数は約240名で、研究機関、大学、行政、産業界、マスコミなどから多くの参加がありました。35件の口頭発表、153件のポスター発表があり、例年通りの盛況な会合となりました。

特別セッションでは、宇宙科学プログラムの最新トピックスとして、小惑星探査機「はやぶさ2」およびジオスペース探査衛星「あらせ」の最新運用成果報告や、2018年10月に打ち上げられた国際水星探査計画BepiColomboの現状報告、火星衛星探査計画MMX、深宇宙探査技術実証機DESTINY<sup>+</sup>、彗星サンプリングミッションCAESAR、X線分光撮像衛星XRISM、小型月着陸実証機SLIM、次世代赤外線天文衛星SPICAのプロジェクト進捗状況が報告されました。

一般セッション「公募型小型計画検討グループ報告」では、公募型小型計画の候補となっている数々の計画の進捗が報告され、「国際宇宙探査」では、国際宇宙探査に関連した各ミッションの検討状況やコミュニティの最新状況などについて発表がありました。

企画セッション「戦略的中型計画への提案グループの



シンポジウムの様子。

活動報告」では、戦略的中型計画の候補となっているソーラー電力セイル探査機OKEANOSおよびCMB（宇宙マイクロ波背景放射）偏光観測小型科学衛星LiteBIRDの進捗状況および科学的意義について発表がなされました。

また、企画セッション「工程表の先のミッション」とパネルディスカッション「宇宙科学の将来ビジョン」が行われ、2030年代を見据えた今後の宇宙科学の進め方に関して意見交換を行いました。

松井 孝典宇宙政策委員会委員長代理からは、宇宙科学のプログラム化・フロントローディングという新しい考え方について、また中須賀 真一宇宙政策委員会委員からは、超小型探査機による宇宙科学探査のビジョンについて講演があり、参加者と活発な議論が交わされました。

（第19回宇宙科学シンポジウム世話人 大山 聖、安部 正真、国分 紀秀、松崎 恵一）

## 第5回宇宙科学研究所賞

JAXA宇宙科学研究所は、宇宙科学・探査プロジェクトの実施にあたり顕著な功績又は貢献のあった外部機関所属の方々から「宇宙科学研究所賞」を授与しています。第5回宇宙科学研究所賞は、特別賞を含む以下3名の方々に授与されました。

JAXA宇宙科学研究所はこのような機構外からの協力・支援に心から感謝するとともに、この3名の方々の今後ますますのご活躍を期待します。（科学推進部）



●（特別賞）**鳥居 祥二**氏（早稲田大学）

【受賞件名】CALETによる高エネルギー宇宙線電子の観測

【受賞理由】同氏は長年にわたり我が国における飛翔体を用いた宇宙電子の精密観測を牽引され、多大な功績を残されており。特にISSへ搭載したCALETによる高エネルギー宇宙線電子の観測では、日本初の本格的な宇宙観測ミッションとして、日・米・伊の国際共同研究チームを統率し同ミッションをフルサクセスに導きました。この最新の成果により、宇宙物理学の発展に大きく貢献されました。

参考：ISAS ニュース 2018年3月号「宇宙科学最前線」



●**永田 靖典**氏（岡山大学）

【受賞件名】宇宙飛翔体への民間衛星通信網の活用と海外大気球実験への貢献

【受賞理由】同氏は既存の民間の衛星通信網を活用した、宇宙飛翔体に適用可能な位置特定システムとテレメトリ・コマンドシステムの開発に貢献されました。この開発成果は、海外での大気球実験、観測ロケット実験、さらには超小型衛星EGGに搭載され、機能実証のみならず、実運用にも利用されており、今後も更なる発展が期待されています。

参考：ISAS ニュース 2016年5月号「宇宙科学最前線」



●**大塚 浩仁**氏（株式会社IHIエアロスペース）

【受賞件名】超小型衛星打上げロケットSS-520-5号機におけるラムライン制御システムの実用化

【受賞理由】同氏はM-Vやイプシロンロケットをはじめとする様々なロケット開発の経験を踏まえて、SS-520-5号機開発における設計基準作りに取り組みました。小型ロケットという、設計に特別な配慮が必要な中、わずか1年程度で基本思想の立案から、現場実務までを精力的に牽引されました。特にラムライン制御システムは今後ニーズの増大が見込まれ、その実用化は宇宙科学の進化と発展に直接貢献するエポックメイキングなものとなりました。

## 第3回月極域探査ワークショップ開催

JAXAでは、国際協働で月極域の水氷等の揮発性成分探査を行い、資源としての利用可能性を調査する、月極域探査ミッションの概念検討を、昨年7月に設立された国際宇宙探査センターを中心に進めています。2018年12月19日には御茶ノ水ソラシティカンファレンスセンターにて、第3回月極域探査ワークショップ(WS)を、宇宙理学委員会/宇宙工学委員会の国際宇宙探査専門委員会、神戸大学惑星科学研究センターと共同で開催いたしました。本WSは、最新の検討状況を共有するとともに、本ミッションを利用して行われる科学観測などについて、幅広い分野のコミュニティからご意見をいただき、ミッション定義に反映することを目的としています。

WSは3部構成とし、まず第1部は、月極域探査ミッションの紹介を中心に、JAXAにおける国際宇宙探査シナリオやミッションの検討状況を報告したのち、國中均宇宙研所長が国際宇宙探査と宇宙科学の連携について講演を行いました。その後、総合討論で、インドとの連携の状況や意義、資源利用の観点での国際競争や着陸地点選定、資源利用シナリオ検討の今後の展開等について活発な意見交換がなされました。

第2部では、探査技術を中心にショートプレゼンテーション+ポスターセッションを行い、昨年11月に発出した「極域探査のための観測機器の検討提案および搭載希望調査」へ提案された水氷観測機器の紹介、およびJAXAの月極域探査技術の研究開発状況の報告が行われました。



ワークショップの様子。200名近い参加があり、活発な意見交換が行われた。

第3部では、藤本正樹宇宙研副所長をモデレータとして、パネルディスカッション「月極域を利用したサイエンスの重要性」を行い、国際宇宙探査専門委員会の月極域探査タスクフォースからの報告を含め、月極域を利用した科学観測の紹介、それを実現する技術やツールなど、国際宇宙探査ミッションと宇宙科学の連携についての議論が行われました。また、民間企業の活動、科学探査、国際宇宙探査の連携や役割分担について、会場も交えて意見交換がなされました。

今回は、我々の想定を上回る200名前後の参加者があり、月極域探査ミッションへの関心が高まっていることを実感いたしました。今回のWSで議論・指摘された点の検討を進め、ミッション定義に反映したいと考えております。また、今後も、継続的に議論・検討を深めるため、本年も第4回のWS開催を予定しております。多くの皆様のご参加をお願いいたします。(星野 健)

## 「はやぶさ2」タッチダウン場所の絞り込み

「はやぶさ2」は、いよいよミッションの最大の山場とも言ってもよいタッチダウンに挑みます。現時点(2019年2月初め)では、タッチダウンは2月22日の予定です。当初の予定よりもかなり遅れた理由は、リュウグウ表面に安全にタッチダウンできる広い領域がなかったため、リュウグウ表面の解析や新しい手法を含む運用の検討をより詳細に行う必要があったためです。

リュウグウについては、詳しく観測すればするほど、その表面がでこぼこしていることが見えてきました。2018年8月にタッチダウンの候補地として選定したL08は、1辺が100mほどの正方形の領域でした。その後の降下運用でこの領域をより詳しく調べてみると、やはりたくさんボルダー(岩塊)があります。そこで、さらに絞り込んで直径が20mほどのL08-Bという領域を選びました。ですが、この領域にも危険な大きさのボルダーが存在しています。

詳しく調べた結果、L08-Bの中のL08-B1という領域ならばタッチダウンにとってじゃまになるボルダーが無いことが分かりました。図に示しますようにこの領域は最も狭いところで幅が約12mになります。ただ、L08-Bは降ろしたターゲットマーカの位置から15mほど離れています。ターゲットマーカの近くを調べてみると、

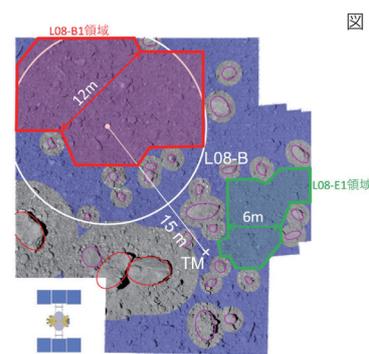


図 ターゲットマーカの位置とタッチダウン可能領域。TMと書かれた×印のところにターゲットマーカがある。ボルダー(岩塊)に探査機が衝突せずにサンプラーホーンが着地できる領域が青色で染めた部分である。左下の探査機のイラストは地図と同じスケールで描いたものであり、L08-E1とほぼ同じ大きさであることが分かる。サンプラーホーンがL08-E1の中に接地しないと、探査機の本体ないしソーラーパドルが周囲の岩にぶつかってしまうことになる。

L08-E1と名付けた領域も安全に着陸できることが分かりました。ただしここは幅が6mくらいしかありません。

ターゲットマーカからは少し離れているけれども広いL08-B1にするか、ターゲットマーカに近いけれども狭いL08-E1にするか。プロジェクトではいろいろな観点から検討しましたが、現時点での判断はL08-E1となりました。

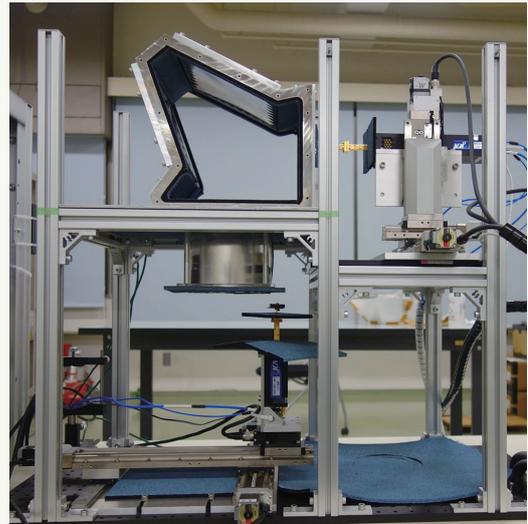
2019年2月22日に、「はやぶさ2」はL08-E1へのタッチダウンを試みます。「はやぶさ」のときにはタッチダウンを2回試みて、2回とも想定通りにはできませんでした。今回は「三度目の正直」ということで、是非とも成功させたいと、プロジェクト一同全力を尽くして準備を進めています。(吉川 真)

## LiteBIRDの最新事情と開発のトピックス

2020年代戦略的中型ミッション第2号機の候補である熱いビッグバン以前の宇宙を探索する宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星 LiteBIRD は、JAXA pre-phase A2 にて2年間の概念検討をおこなった。終了審査は2018年11月から12月にかけて、ミッション部審査2回、技術マネジメント審査2回、本審査2回の計6回の審査会を開いておこなわれた。LiteBIRD チームが2年間かけて検討した結果は、英語の文書約900ページにまとめられている。審査会では100件近くの指摘がなされ、チームメンバーは、その返答を2カ月かけておこなった。本稿では、LiteBIRD の概要および最近の設計開発における2つのトピックを紹介する。

LiteBIRD は、宇宙インフレーションからの原始重力波によって生じる宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の渦巻きの偏光パターンを検出することを目的としている。138億年前の宇宙誕生時におこった物理現象が、宇宙誕生後38万年後のCMBに偏光パターンとして刻印され、その大きさからインフレーションのエネルギースケール  $10^{16}$  GeV を検出するという壮大な実験である。LiteBIRD は2020年代に実現可能な唯一のCMB偏光観測衛星計画として、世界的な注目を集めており、米国・カナダ・ヨーロッパの研究者も本格的に参入している。日本の担当する低周波望遠鏡 LFT (34-161 GHz) とヨーロッパの担当する高周波望遠鏡 HFT (89-448 GHz) の2つの望遠鏡がそれぞれ、シンクロトロン放射 + CMB、およびダスト放射 + CMB の強度分布を観測する。焦点面検出器は米国、常温読み出し回路はカナダが担当する。周波数 34-448 GHz を15バンドにて高感度で観測することにより、我々の銀河からの前景放射を精度良く取り去る。高感度で観測するために、2つの望遠鏡を極低温 (5K) まで冷却し、熱放射による雑音を減らす。検出器は、雑音を下げのために100 mK に冷却する。JAXA の担当は、打上げ、バスシステム、冷却システム、LFT と多岐にわたる。1K以下のサブケルビン冷凍機はフランスの担当であるが、それを含めた冷却システムはJAXAの担当である。幸いなことに、次世代赤外線天文衛星 SPICA において、同様な冷却システムの先行研究が行われており、その冷凍機システムをベースとする。つくばの研究開発部門、X線天文衛星 Athena、CC-CTP\*グループとも協力して冷却系の開発が進められている。国内においても、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 素粒子原子核研究所が地上較正試験装置や要求フローを、東京大学 Kavli IPMU が偏光変調器とデータ解析、岡山大学が系統誤差解析を担当するなど、多くの大学・研究機関の参加によって研究開発が進められている。

トピック1つめは、ESA Concurrent Design Facility (CDF) による検討である。CDF は、衛星の初期の開発フェーズにて、衛星システム実現性の検討をする時、構造、熱、通信、姿勢などを同時にかつ集中的に検討し、



LiteBIRD低周波望遠鏡 (LFT) 1/4スケールモデルとミリ波アンテナパターン測定システム。

時間を短縮しつつ検討の精度をあげるための施設である。今回 ESA は、LiteBIRD の HFT やサブケルビン冷凍機を担当する可能性を探るため、ミッション部に特化した検討を、CDF により2018年3月から6月にかけておこなった。ミリ波光学系、極低温、機械構造、システムエンジニアリングの専門家が4カ月間 LiteBIRD の検討に集中し、過去の衛星のコストを含めた技術的な知見を共有することにより、検討の精度を格段に高めている。今後 JAXA においても同様の仕組みの必要性を感じた。HFT については、成立性の検討をおこない、反射式望遠鏡と屈折式望遠鏡2つの解が示された。冷却システムについては、プロジェクト研究員の長谷部 孝氏が設計した放射冷却装置 (V-groove) と機械式冷凍機を組み合わせた基本設計について、妥当とのお墨付きをもらった。

2つめは、この1年間で大きく前進した LFT の設計である。光線追跡により、視野角  $20 \times 10$  度の広視野反射型オフセット光学設計のトレードオフをおこない、光学パラメータを最適化し、物理光学シミュレーションによって、迷光やサイドローブなどのミリ波アンテナ性能を検討してきた。一方で、常温部から5Kの望遠鏡を支える断熱構造についても設計をおこなった。その結果をもとに、1/4サイズのLFTスケールモデルの設計・試作を、ISAS先端工作技術グループが手がけた。製作は、ワイヤー放電加工機でフレーム構造を作り、反射鏡面やアライメント面は5軸マシニングセンタにて仕上げをおこない、3次元形状測定器にてアンテナ形状の計測をおこなった。図に示すように、LFTスケールモデルが製作された。さらに、研開部門の加速資金の支援を得て、東京大学大学院天文専攻の高倉 隼人氏がLFTスケールモデルのミリ波アンテナパターン測定システムを開発した。このシステムを用い、70 dB以上の高ダイナミックレンジで広視野角のミリ波放射パターンの計測に成功している。他にも多くの研究開発がおこなわれており、それらはまた別の機会に紹介したい。(関本 裕太郎)

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

乙姫殿、お宝をいただきます。

参上

「はやぶさ2」

HAYABUSA2

乙姫殿、お宝をいただきます。

参上

「はやぶさ2」

HAYABUSA2

## DCAM3見参！

私が開発を担当した機器のなかで最後に登場することになるのが分離カメラ「DCAM3」です。(なぜ「3」かは他記事を参照ください※) IKAROS で開発された分離カメラの技術が、「はやぶさ2」へのDCAM3搭載を実現させました。

DCAM3は小型衝突装置「SCI」の実験を直接観測する唯一の機器で、その分、期待が大きく開発時はかなりのプレッシャーでした。開発時の苦労話はここでは割愛しますが、理学的な要求に苦労しながらも、新しく、より挑戦的なミッションに挑むということにやりがいと楽しみを感じながら、ようやく産み出した機器です。理工学一体となって挑戦する機器の良いモデルケースになったのではと思っています。

さて、本題のDCAM3ミッションです。SCIを分離した後、「はやぶさ2」はリュウグウの横1kmくらいのところを通りながらリュウグウの影に隠れるよう退避します。退避中、「はやぶさ2」がリュウグウを真横から見るようなタイミングでDCAM3を分離し、慣性空間でゆっくり上昇するようにDCAM3だけを残してきます。

SCIが作動する5分前からDCAM3内に搭載されている2種類のカメラで観測を開始し、低解像度の画像を1秒に1枚、高解像度の画像を数秒に1枚の頻度で、「はやぶさ2」本体までデータを無線伝送します。DCAM3は1次電池しか積んでいないので、電池が尽きるまでがミッション期間で、設計上は3時間以上動作できます。

低解像度のカメラはアナログ系と呼ばれていて、カ

メラ自身の技術はIKAROSのDCAMとほぼ同一ですが、デジタル系と呼んでいる高解像度カメラは、理学観測のために新規に開発したシステムで画質の良い画像が期待できます。素晴らしい画像を撮ってくれること

を、私自身も楽しみにしています。

リュウグウにクレータができる瞬間をDCAM3で撮れたら、それで某有名学術誌の表紙を飾れる！と理学メンバーが意気込むくらい、工学的に面白いだけでなく理学的にも非常に期待のかかったミッションです。この期待に応え、一緒に開発したチームのみなさんの夢を叶えられるよう、残り期間はわずかですが、しっかりと準備を進めたいと思います。

私自身は、DCAM3の成功によって、DCAMシリーズがどんどん発展し、将来のミッションで楽しく素晴らしい成果を出せることを夢見ています。勝負の年となる今年、まずはDCAM3を必ず成功させます。

「はやぶさ2」DCAM3担当 澤田 弘崇 (さわだ ひろたか)

※ <http://www.isas.jaxa.jp/missions/spacecraft/current/ikaros.html>



図 完成したDCAM3を前に記念撮影。向かって左が筆者、右は神戸大学 小川和律氏。

## 乙姫様からの玉手箱の受け入れ設備

来年のことを言うと鬼が笑うといいますが、来年の暮れの話をしてします。

「はやぶさ2」探査機は2020年の暮れには小惑星リュウグウのサンプルが入った玉手箱を地球に持ち帰る予定です。玉手箱をむやみに開けてしまうと良くないので、相模原キャンパスに専用の受け入れ設備を準備しており、その施設をキュレーション設備と呼んでいます。クリーンルームとクリーンチャンパー(図)からなる「はやぶさ2」用のキュレーション設備が、昨年完成しました。

何故そんなものを準備しているかですが、リュウグウのサンプルを調べる際に地球の物質による汚染(コンタミネーションと言っています)を避ける必要があります。リュウグウのサンプルには水や有機物や鉱物が含まれていると考えられており、地球の水や有機物や鉱物と比較して調べることで、我々の地球や生命の起源や進化について新しい知見が得られます。その分析の精度や確度を高めるためには、極力地球の物質によるコンタミネーションを防ぐことが重要なのです。

JAXAでは「はやぶさ」による小惑星イトカワのサンプルの受け入れ実績がありますが、「はやぶさ」用のキュレーション設備は現在も稼働中で分析研究も続いており、「はやぶさ2」用に独立した設備を新

しく準備する必要がありました。新しい設備は、「はやぶさ」の経験を活かして、より使い勝手の良いものを構築することができました。現在はサンプルのハンドリングツールや初期観察用の装置の開発を行っており、来年度から設備の運用リハーサルを行い本番に備えていく予定です。

リュウグウの乙姫様からの玉手箱を必ず地球に持ち帰り、来年の暮れには笑顔で玉手箱が開けられることを願っています。

「はやぶさ2」キュレーション担当 安部 正真 (あべ まさなお)

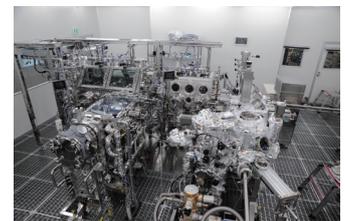


図 「はやぶさ2」用新クリーンルームに設置された新クリーンチャンパー。

## 宇宙研の方向性を国際的に発信



宇宙科学国際調整主幹(国際宇宙探査センター併任)

**東覚 芳夫** (とうかく よしお)

1968年生まれ(長崎生まれの福岡育ち)。1993年 NASDA 入社。追跡管制部で2年間の衛星運用を経て、以降20年近くISSプログラムに専従。日本実験棟「きぼう」の通信系、地上管制システム開発に従事後、初代 JAXA フライトディレクターの一人として「きぼう」建設、その後のISS運用管制を指揮。若田飛行士のISS船長就任期間を最後に運用現場を離れ、2014年11月よりパリ駐在員事務所長。2017年7月より現職。

### ▶▶ 初代フライトディレクターとして「きぼう」建設に参加 ——ずっと国際宇宙ステーション(ISS)に携わってこられました。

宇宙研に来てからまだ1年半くらいです。NASDAに入社したのが1993年。最初の2年ほど人工衛星の運用を担当し、それ以降は20年近くずっとISSに関わってきました。当時はまだ日本実験棟「きぼう」を造っている段階でした。電気系出身の私は、まず通信系の開発をやり、その後はつくばの管制室立ち上げに参加しました。打上げ後は初代フライトディレクターの一人として、「きぼう」建設やその後のISS運用管制の指揮を執りました。フライトディレクターといっても日本では初めてのことなので、その役割や定義にしても明確なものはなく、まずはNASAの現場を見てみようという半年ほどヒューストンに滞在し勉強しました。宇宙ステーションはその当時まだ無人運用でしたが、有人スペースシャトルが日本の運用チーム立ち上げの参考になると考えたのです。

#### ——どんなことに苦労されましたか。

打上げまでの助走期間がすごく長く、いよいよという段階で延期になったことが何度もありました。その間、チームのモチベーションを維持することに一番神経を使いました。フライトディレクターはオーケストラでいえば指揮者です。電気系、熱制御系、地上システム、実験装置など、総勢100人くらいからなる管制チームをとりまとめていく。宇宙ステーション建設はロシアやほかの国でもやっているのだから、あまりに進展が遅いとプロジェクトを離れていく人も出てくるからです。打上げ準備中にNASAのチームとの間で細かい課題が見つかり、それを1つずつつぶしていく作業も大変でした。「きぼう」はスペースシャトルで3回に分けて打ち上げましたが、中でも印象が強いのは、第2便で最大モジュールの船内実験室を打ち上げたときのこと。そのミッションを日本側としてまとめるという大仕事で、無事完了したときの感動もまたひとしおでした。

### ▶▶ 国際的にも評価が高い宇宙研の実力

#### ——国際調整主幹として宇宙研での役割は。

ISSプロジェクトを離れてからパリに3年近く駐在しました。そのころからドイツやフランスとか、ヨーロッパ宇宙機関(ESA)とJAXAの橋渡しをするような業務を通じて、国際間の情報交流や人的なパイプづくりなど、現在の職のベースとなるものを構築してきたような思いがあります。当時から「宇宙研は国際協力についても活発だ」という印象がありました。いうまでもなく、宇宙研のプログラムはほとんどのものが国際調整で成り立っています。「はやぶさ2」にしてもメインは日本でやっていますが、ドイツ・フランスが造った小型着陸機を載せたように、国際協力が不可欠です。宇宙研においては、研究者自身が各自国際的なネットワークを持っています。それはすごく大事なチャンネルで最大限に活用していくべきだと思いますが、一方で、宇宙研全体としてこういう方向に進んでいくんだというベクトルを国際的に発信していく必要もあるのではないかと思います。バラバラで動いてはいけませんので、ベクトル合わせというおかしな言い方になりますが、宇宙開発におけるJAXAの役割や国際情勢などを俯瞰しつつ、研究所としての方向性を示していくことも国際調整の役割ではないかと考えます。

#### ——宇宙研の今後に期待することは。

予算規模でいえばJAXAはNASAの十分の一以下です。とはいいいながら、宇宙ステーション建設もそうですし、「はやぶさ」を含めた探査実績は国際的なネームバリューを確立しています。こじんまりしたチームながら、個々のプロジェクト成果をこつこつと積み上げてきた、やることをきっちりやる信頼感を世界は私たちに抱いていると思います。つい最近も火星衛星探査計画を立ち上げるなど、小ぶりながらも光るミッションはヨーロッパでもかなり注目を集めています。宇宙開発のトレンドは、今、月や火星探査に向かっていますが、我々にはいろんなミッションで積み上げてきた探査の能力があり、有人の宇宙活動をサポートしてきた実績もあります。今後、それらの技術やノウハウを活用する場面が出てくることは十分期待されます。また、これまで実用衛星に目を向けていた東南アジア諸国も、最近では宇宙科学に次第に興味を示しつつあります。アジアの中では先行している日本の技術やノウハウを示し、各国のレベルアップに寄与することも我々に課せられた課題だと思います。

#### ——ところで、休日はどのように過ごされていますか。

相模原には単身赴任で来ていて、週末につくばの自宅に帰る生活です。子どもも、上の息子は大学に行って家にいないし、娘も高校生になって会話もそれほど続かなくなってきました。帰っても相手をしてくれるのは柴犬くらいで、ほぼ犬と戯れていますね(笑)。



ISASニュース No.455 2019年2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/>)でもご覧いただけます。

デザイン制作協力/株式会社アドマス

### 編集後記

ついこの間に正月を迎えたと思っていいたらあっという間に2月ですね。28日間の2月もあっという間に過ぎるのでしょうか、大きなイベントが待ち受けていますね。10年越しの「三度目の正直」がうまく行くことを祈っています。(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。



古紙/パルプ配合率70%再生紙を使用

