

政務活動費 活動実績報告書

八女市議会議員 橋本正敏

件名 グレーター東大塾 「宇宙開発利用が何を社会にもたらすか？」
使途 研修費
金額 55,550円
期日 令和3年4月14日(水)～令和3年6月30日(水)
場所 ZOOMによるオンライン開催
目的 八女市星野村には星野文化館があり、早くから「宇宙」に関心を持ち、「宇宙」を観光資源として活用してきた。近年、「はやぶさ2」が、リュウグウからサンプルリターンするなど、世界的に「宇宙」は、現実的ビジネスとして、急激に拡大するものと予想されている。新しい産業の開拓、導入は地方に活気をもたらすきっかけとなるのではないかと研究するものである。
参加者 橋本正敏 他 塾生約100名

概要

第1回 4月14日 「人類の宇宙進出とロケットの将来」

稲谷芳文 宇宙航空研究開発機構 参与

第2回 4月21日 「深宇宙探査」～はやぶさ2の奮闘～

津田雄一 宇宙航空研究開発機構 教授／はやぶさ2プロジェクトマネージャー

第3回 4月28日 「通信放送衛星と測位衛星」～技術の進展と利用の拡大～

小山浩 三菱電機(株)電子システム事業本部 主席技監

第4回 5月12日 「宇宙ビジネスの新潮流と日本の勝機」

石田真康 A.T.カーニー(株)ディレクター／(一社)SPACETIDE 代表理事

第5回 5月19日 「宇宙から見る宇宙」～衛星利用による宇宙科学～

郷田直輝 国立天文台 教授／JASMINEプロジェクト

第6回-1 6月2日 「地球観測がもたらす情報と社会問題解決」

岩崎晃 東京大学大学院教授 航空宇宙工学科専攻

第6回-2 6月2日 「JAXAの地球観測衛星」～ALOSシリーズを中心として～

祖父江真一 宇宙航空研究開発機構 ALOS-2プロジェクトマネージャー

第7回 6月9日 「ロケットの技術と今後の展開」～液体ロケットを中心に～

瀧美正博 三菱重工業 防衛・宇宙セグメント フェローアドバイザー

第8回 6月16日 「国際宇宙ステーションと国際協力による宇宙探査の将来」

山崎直子 元JAXA宇宙飛行士／(一社)SpacePort Japan 代表理事

第9回 6月23日 「超小型衛星による新しい宇宙開発利用の潮流」

中須賀真一 東京大学大学院教授 航空宇宙工学科専攻

第10回 6月30日 「宇宙における国際連携と宇宙現状と課題」

青木節子 慶応義塾大学大学院 法務研究科教授

人類の宇宙進出とロケットの将来

副題：宇宙開発利用が何を社会にもたらすか

稲谷 芳文 宇宙航空研究開発機構参与 宇宙科学研究所

宇宙開発の歴史

1950年代、米ソ冷戦と宇宙戦争が始まった。1961年4月に旧ソ連は人類初の有人宇宙飛行を達成した。アメリカは、1969年7月にアポロ11号で人類初の月面着陸を達成し、その後4年間、アポロ17号までに合計12名の宇宙飛行士を月面に送った。スペースシャトル計画で宇宙へのアクセスを一般化しようとしたが米ソの冷戦が終わると宇宙開発は失速し、代わって中国による宇宙開発が目まぐるしく発展した。宇宙ステーションは、1998年に宇宙での建設が始まり、2011年7月に完成した。アメリカ、ロシア、カナダ、日本等15か国の共同開発している。2017年にトランプ大統領が有人月面探査と続く火星探査の実施を決定し、「アルテミス計画」と名付けられた。

宇宙輸送をめぐる世界の状況

地球と月、火星を目指すプロジェクトは、単なる人や物の輸送だけではなく宇宙での持続的有人滞在、月・火星の上に人間社会を作ること目標にしている。

民間では、一般大衆の宇宙旅行、2地点間的高速輸送などマーケットの創出と輸送体系の構築が進められている。

一般大衆の宇宙旅行

年間旅客数 = 100万人 切符1枚 = 1～200万円 乗客数 = 50人
ワンフライト経費 = 1億円 運行 = 60機のフリートを毎日運航
年間売り上げ = 1.3兆円（日本国内）世界で10兆円規模

P2P大陸間高速輸送

10時間以上の航路の航空旅客数 = 1.5億人／年
このうち1～10%の旅客が高速輸送を選択 = 年間100～1000万人が利用
切符1枚ファーストクラス並み = 100～200万円
年間売り上げ = 1兆～20兆円規模の市場

政務活動研修報告書

グレーダー東大塾 第2回

2021.4.21

深宇宙探査

～はやぶさ2の奮闘～

津田 雄一 JAXA 宇宙科学研究所 教授 / はやぶさ2 プロジェクトマネージャー

「はやぶさ2」に至る日本の宇宙探査の取り組み

1957年にソ連が世界初の人工衛星スプートニク1号を打ち上げたのに対し、日本は1970年に初の人工衛星おおすみを打ち上げた。

1985年に日本初の深宇宙探査衛星さきがけ・すいせいを打ち上げ、1990年に、ひてん・はごろもが日本初、月に到達し、2015年にあかつきが日本初の金星探査をしているが、アメリカ・ソ連に比べ数十年の遅れがある。しかし、2010年にははやぶさが世界初の小惑星探査、サンプルリターンを達成し、続くはやぶさ2が2回のタッチダウンと小惑星内部のサンプルを持ち帰るという偉業を2020年に達成した。

「はやぶさ2」のリュウグウ探査の奮闘

2000年までは世界が重量天体を対象探査としてきたが、2000年以降は小天体探査、準惑星のミッション（周回、フライバイ）、サンプルリターンなど探査の形態が多様化してきた。

はやぶさに続きはやぶさ2は、さらに惑星探査の自在性を発揮した。惑星間往復運航における高効率推進機関（イオンエンジン）の開発、軌道制御技術（スイングバイ、小惑星到達等）向上、高速大気突入技術の確立などがある。

4つのロボット（JAXAがつくったミネルバⅡ-1、ドイツとフランスがつくったマスコット、東北大他がつくったミネルバⅡ-2）が小惑星の地表を動き回って探査をし、様々なデータを送ってきた。

タッチダウンの方式がはやぶさではターゲットマーカーを落としながら追尾し、着陸したのに対しはやぶさ2では、あらかじめ落とししたターゲットマーカーを捕捉して指定した相対位置に着陸した。着陸制度は、60センチだった。

2度のタッチダウンで5.4gを持ち帰ることができた。これからの分析で、太陽系が生まれた約46億年前の水や有機物があるのか、地球の水や生命を構成する有機物がどこから来たのかが解明されるかもしれない。

宇宙探査の価値と日本の果たしうる役割を考える

世界の深宇宙探査の流れは、重力天体(火星)のサンプルリターン、生命天体探査、有人火星探査、惑星防衛、宇宙資源開発などあるが日本は、宇宙科学予算が10年で小型クラス(150億円規模)が5機、中型クラス(300億円規模)が2機分しかない。小型クラスは、イプシロンロケットでしか打ち上げられないというルールがあるので月より遠くへ飛ばすことができない。日本は、世界とは違う惑星探査の道を選び、小型衛星を太陽系のより遠くに、より自在の道を進むべきではないか。

政務活動研修報告書

グレーダー東大塾 第3回

2021.4.28

通信放送衛星と測位衛星

～技術の進展と利用の拡大～

小山 浩 三菱電機(株) 電子システム事業本部 主席技監

三菱電機の宇宙ビジネス

衛星システム主契約者として約70機の開発実績。開発機器は、海外衛星メーカーにも輸出し、500機以上の衛星に搭載されている。東京と大阪に宇宙関連の製作所・研究所を持ち太陽電池パドル、リチウムバッテリー等、高い市場シェアを獲得している。

1960年代から通信衛星、測位衛星などの衛星システムと、それを追跡する地上の管制局、大型望遠鏡をグローバルに展開している。また、衛星製造のためのインフラ整備を進め、2020年には衛星18機の並行生産能力を持つまでに拡大した。

通信放送衛星の世界

通信放送衛星の市場動向と取り組み

宇宙ビジネス市場の約4割は衛星を利用したサービス産業であり、その大半は商用通信サービスである。これまでの通信衛星は、固定的な特定地域への1対多の通信方式が主流であったが、今後データ通信を主体としたHTS衛星（フレキシブル型の衛星）に替わっていく。

1980年代、我が国がKa帯衛星通信技術をけん引してきたが、1989年の日米英調達合意（スーパー301条）により、実用通信衛星、放送衛星、気象衛星は米国企業が受注することとなり、国内の実用通信衛星の開発、軌道上実績の面で、大幅な遅れとなった。三菱電機は、DS2000を戦略機種として商用衛星市場に参入し、現在23機の衛星が国内外で運用されている。

通信放送衛星の技術トレンド

従来の通信衛星は、ベントパイプ方式（スルーリピータ方式）で衛星で受信した信号を周波数変換して折り返し地上に送信していたため、ビームが複数ある場合は中継器内の経路切り替えスイッチでそれぞれのダウンリンク先に切り替え、経路を制御していた。切り替えのタイミングや周波数の対応は事前に計画され、変更は難しかった。

周波数とビームの割り当てを変更可能とし、自由な経路制御を実現するためチャネライザの技術が開発された。当初はアナログ方式で機械式のRFスイッチを多用し、非常に多くの機械が構成され高コストであったが、今はデジタルパイロード（フルデジタル方式）となり、装置の標準機器化、大幅な小型・軽量化がなされ、ソフトウェアを書き換えることによりサービス内容に応じて機能を変更することも可能となった。

衛星通信・観測分野において小型衛星コンソーレーション計画が世界的になされている。One Webは、グローバル通信ネットワークを構築するためAirbusが900機の衛星を開発製造し、SpaceX社は高速インターネットサービ

スを提供するため、インハウスで1日6機を製造し、総数約1万2千機を打ち上げ予定など、ブロードバンド通信用コンステレーションは、2020年から2029年の間に合計6,243機になる。

衛星通信技術の開発施策

米国は国防ミッションにおいて、欧州はALTESプログラムにおいて技術開発、競争力強化を図り民間への事業展開を支援している。日本においては、2020年6月に閣議決定された宇宙基本計画に基づいた日本版ALTESの実施体制で、国内外の技術・市場・政策動向に対応したプロジェクト戦略を決定している。

衛星測位の世界

衛星測位の概要

宇宙から測位信号を配信し、測距技術の応用によりカーナビゲーション、地殻変動監視等の位置情報を提供するサービス。GPS衛星は、4面の軌道に6機ずつ計24機以上の配備が必要となる。

準天頂衛星の概要と歴史

準天頂衛星システムは、日本を中心とした地域測位システムで、GPSを補完しcmレベルの高精度3次元位置情報を提供することができる。2018年度に4機体制、2023年度には準天頂衛星システムのみで測位が可能となる7機体制となる。

高精度測位への取り組み

測位衛星からの情報には、様々な誤差（衛星軌道誤差、衛星クロック誤差、電離層遅延誤差、対流圏遅延誤差など）があり、補正する必要がある。国内約1300か所ある電子基準点網を活用し大気遅延（電離層、対流圏）誤差を高精度に推定し、別途決定した衛星軌道／クロック／バイアス誤差とともに、準天頂衛星に送信、ユーザ端末で補正することでcm制度の高精度測位を実現できる。

さらなる利用拡大に向けて

準天頂衛星の提供する高精度位置情報サービスは、測量・情報化施工分野への適用の他、車・鉄道等の移動体分野への適応が期待されている。特に、自動運転支援、高精度3次元ナビゲーション、鉄道等の公共インフラの高度情報化支援については今後利用拡大が期待されるマーケットである。

政務活動研修報告書

グレーダー東大塾 第4回

2021.5.12

宇宙ビジネスの新潮流と日本の勝機

石田 真康 A.T.カーニー株式会社ディレクター 一般社団法人 SPACETIDE 代表理事兼 CEO

世界の宇宙ビジネスの潮流

かつて宇宙は「夢」であり、「ロマン」であった。現在宇宙は産業となり、現代社会生活の基盤となっている。仮に衛星システムが機能不全になると、世界で数百兆円／年の経済・社会損失となる試算がある。

世界の宇宙産業は、2018年の規模で約40兆円だが、2040年には、波及効果も含めて160兆円市場になりうる成長産業である。宇宙ビジネスには6つの分野がある。

①宇宙データ・技術利活用

人工衛星からのデータや各種宇宙技術を利活用し、主に地球上で実施されるビジネス活動及びその関連事業
画像や位置情報の販売やソリューションの提供、衛星通信サービスなど

②衛星インフラ構築・運用

宇宙空間に人工衛星のインフラを構築・運用するビジネス活動及び関連事業
静止衛星の開発製造、低中起動衛星コンのステーションの開発・製造・配備、地上の設備や端末など

③輸送

宇宙空間に人または物を輸送するビジネス活動及びその関連事業。
大型・小型ロケットなど輸送船の開発・製造、人工衛星や有人の打ち上げサービスなど

④軌道上サービス

地球周辺・周回軌道の宇宙空間上の人工物に対するビジネス活動及びその関連事業
衛星の寿命延長、宇宙空間での研究開発・製造、デブリ除去など

⑤宇宙旅行・滞在・移住

宇宙に行くまたは滞在(移住を含む)を目的としたビジネス活動及びその関連事業
宇宙旅行の企画・運営、宇宙ホテルの設計・開発・運営、関連する衣食住企業

⑥探査・資源開発

地球周辺・周回軌道以外の宇宙空間で行われるビジネス活動及びその関連事業
宇宙探査機・探査車の開発製造、月や火星における基地やインフラの企画・設計・運営

観測・通信衛星の分野では、「GoogleAppleFacebookAmazonMicrosoft」がクラウドを起点に衛星データ利用に参入するなど民間主体の取り組みが進み、技術進化と低コスト化が加速している。また、アルテミス計画やビル・オネアによる活動が起点となり、2040年代には月に1000人が滞在し、年間1万人の観光客が訪れるなど長期的・定常的に宇宙空間にいる人類の増加する可能性がある。

日本の取り組みと勝機

宇宙産業において日本には、自動車産業他製造業等で培われてきたモノづくり力・サプライチェーンの活用、宇宙の魅力にひかれた人たちの宇宙産業コミュニティ、打ち上げビジネスに有意な地理的環境、国際社会における政治的中立性などがあり世界の中でも勝てる潜在能力がある。すでに、異業種や中小企業を含めた独自のコミュニティが形成されつつある。国も2020年に宇宙基本計画を改定し、宇宙開発戦略本部を通じて策定される基本方針の中で、スタートアップを積極支援し国のプロジェクトにおける民間調達拡大を進めている。

スタートアップの起業支援の具体的なものとして、人口流れ星と高層大気研究、宇宙ゴミの除去と持続可能性への貢献、地域と一体となったロケットや射場開発、衛星データ活用したスマートシティ実現や防災対策、宇宙食の未来と地上の食糧課題解決などがある。

企業の宇宙産業への取り組みとして、TOYOTAの月面有人ローバー、ソフトバンクグループの衛星IoT、さくらインターネットの衛星データプラットフォーム、SUBARUの準天頂衛星を利用した高度運転支援システム、楽天の準天頂衛星を利用したドローン配送、クボタの準天頂衛星を利用した自動農業トラクター、コマツの衛星通信を利用したスマートコンストラクション、日東製網の衛星通信を利用した定置網の漁獲量の把握、ANAの高高度大気モニタリングによる飛行経路最適化などがある。

日本の成長戦略の柱として宇宙ビジネスを見据え、2040年に世界シェアの25%、国内外で20~40兆円の市場を獲得することを目標として挙げるために、宇宙ビジネス各分野において世界をリードする「メガスタートアップ」の創出、大手企業とスタートアップの連携から新たな経済価値連鎖を産むための「宇宙ビジネスエコシステム」の創出、「地域や自治体」とも連携した宇宙ビジネスの裾野拡大などがカギとなる。

宇宙から見る宇宙

～衛星利用による宇宙科学～

副題：宇宙の謎を解き明かす天文観測衛星の必要性和重要性について

郷田直輝 国立天文台 教授 JASMINE プロジェクト

宇宙とは

誕生は約138億年前で、今も加速度的に膨張している。時間と空間がその時できた。

1光年は約9兆5000億キロメートルである。太陽系など星の固まりを星団（約10～100光年）と呼びその塊を矮小銀河（約100～1千光年）、その塊を銀河（約1千～1万光年）、その塊を銀河群（約1万～10万光年）、その塊を銀河団（約10万～1千万光年）、その全体を宇宙の大構造（約1億光年）と呼ぶ。現在、地球からは138億光年までは見えるがそれ以上はわからない。

どうやって宇宙のことが分かってきたか

地上からの観測では、より大きな望遠鏡を用いることにより星や銀河の像を細かく見ることができる。また、さまざまな波長の電磁波を用いることによりブラックホールや銀河、星の爆発などの高エネルギー現象をとらえることができる。新たな天文観測として、重力波をつかったブラックホール同士の合体などの証明、ニュートリノの解明による宇宙論の新たな展開がある。

宇宙軌道からの観測は、大気による天体像への歪みがない、地球重力による装置変動がない、天候や季節に左右されにくい、放射冷却により望遠鏡をより極低温に冷却できるなど地上より高分解能、高感度の観測ができる利点がある。

残されている多くの謎

宇宙はどうやって生まれたのか？ダークマターとダークエネルギーとは？銀河や大構造の形成？巨大ブラックホールの形成？宇宙人はいるか？そして、人類はなぜここにいるか？これらを解明するため、重要な研究対象の一つが天の川銀河である。

人類の住処である天の川銀河の探求

天の川銀河は、1610年ガリレオによって星の集まりであることが発見される。構成が約2000億個以上集まった集団で銀河面（ディスク）、バルジ、バー、ハローの成分に分かれる。一番身近な銀河である。個々の星に分解でき、星の距離、運動速度、年齢、元素組成などが詳細かつ精密にわかる銀河である。この銀河を調べることによ

り宇宙初期における銀河の形成と深化を解明する糸口になる。また、生命の誕生、それを維持できるための条件を見つけることができる。

位置天文学について

星の3次元地図と運動をつかむことで様々な天体の謎が解ける。例えば見えないブラックホールが、過去に落ち込んできたことが現在の星の位置分布や速度からわかる。また、恒星は一般的にらせん運動をしているが、ずれを見つけることで連星や系外惑星があったり、対象星の手前をブラックホールなどのコンパクト天体が通過したことが分かったりする。

位置天文観測衛星：Hipparcos, Gaia そして JASMINE へ

地上観測では、大気の影響で0.03秒角が観測精度の限界であったが衛星を打ち上げることにより、より精度の高い観測ができるようになった。

1989年打ち上げのヒッパルコス衛星により、太陽系の範囲を1ミリ秒角の制度で見ることができるようになった。さらに、2013年打ち上げのガイアでは、半径2万6千光年の範囲を1マイクロ秒角の制度で観測することができるようになった。ヒッパルコスが12万個の星しか見れなかったがガイアは15億個以上が見れるようになった。ガイアの打ち上げによる成果として、高速度星の発見、隠された星団の発見、バー構造の実現、太陽系近傍の運動星団の精密測定、銀画面振動の発見など5000本以上の論文が発表されている。

ガイアは、2等級より明るい星の観測が苦手であるため、小さい望遠鏡を持つ超小型衛星ナノジャスミン計画が進められている。打ち上げ機は2010年に完成しているが、様々な事情で打ち上げが遅れている。単独では、ヒッパルコスと同程度の精度ながら、ヒッパルコスカタログと組み合わせると、固有運動制度は0.1ミリ秒角程度、年周視差も0.75ミリ秒角の精度となる。長周期（10年～40年）連星の判別と、軌道要素の決定など太陽系付近の星、（50万個）の観測が期待されている。

小型ジャスミン計画

近赤外線でガイアが苦手な天の川銀河中心部（中心核バルジ）の位置観測を行う。

科学目標1 距離2万6千光年先の星の距離と運動を測定し、中心核構造と形成史を明らかにする。

科学目標2 銀河構造の進化過程を明らかにし、人類誕生や天の川銀河全体の形成史を探る。

科学目標3 高精度な時間軸天文観測により、生命居住可能領域にある地球に似た惑星を探索する。

小型科学衛星はガイアなどの比べ小さく汎用性はないが、得意な観測を専門的、集地的により速いタイムスケジュールで観測することができ、世界に先駆け画期的な成果が期待できる。

地球観測がもたらす情報と社会問題解決

岩崎 晃 東京大学大学院教授 航空宇宙工学専攻

宇宙からの地球観測

衛星による地球観測は、光や電波を用いて地球の陸域・水域・大気などの情報を得るもので、資源探査、環境監視、災害のモニタリング等に用いられる。衛星の軌道は、極軌道（特に太陽同期軌道、高度400～1000km、1週に約100分）や静止軌道（高度約3万6000km）が用いられる。

観測に用いられるセンサには2種類ある。光学センサは、約0.3μm～約30μm範囲の可視光から赤外線域を可視放射計、中間赤外放射計、熱赤外放射計で観測し、視覚画像に近い画像が得られる。電波センサは、0.5GHzから40GHzのマイクロ波を、ミリ波放射計、合成開口レーダ、降雨レーダ、高度計、マイクロ波放射計で観測し、雲や雨にも関係なく画像が得られる。

オープン＆フリーの流れとサイバー空間

米国のLandsatは、1972年打ち上げの1号機から2013年打ち上げの8号機まで40年以上にわたり陸域の継続観測を行っているが、2008年から納税者へ無償化サービスを始めている。これは、民間利用の促進と研究の加速に大きく寄与している。（Google Earth, TerraMetrics など）

欧州連合によるコペルニクス計画では、2014年打ち上げのSentineru 1から2020年打ち上げのSentineru 6までの衛星データをオープン＆フリーで提供している。これは、環境の把握、気候変動の対策、農業経営、災害対策など実用的な活動に役立てられている。

災害における地球観測の役割

毎年のように発生する自然災害（2018年7月豪雨、2018年胆振地震、2019年九州北部豪雨、2019年台風15号・19号など）発生時、素早く的確な情報提供を行うため、平常時から災害を予測した衛星観測が大切である。SIP 国家レジリエンスでは、防災科学技術研究所が取りまとめを行い、予測シミュレーションに基づき各国の衛星を用いて、発生後2時間以内に衛星データの解析情報を提供し、政府対策本部が稼働するタイミングで被害状況の俯瞰的把握を可能としている。

政務活動研修報告書

グレーダー東大塾 第6回－2

2021.6.2

JAXAの地球観測衛星

～ALOS シリーズを中心として～

祖父江 真一 宇宙航空研究開発機構 ALOS-2 プロジェクトマネージャー

JAXAが運用・開発中の地球観測衛星

いぶき (GOSAT) 2009年打ち上げ 高度約666 km

二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガス濃度を観測する。

いぶき2号 (GOSAT-2) 2018年打ち上げ 高度約613 km

二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガス濃度をいぶきより高精度に観測し、一酸化炭素濃度の観測が可能。

しずく (GCOM-W) 2012年打ち上げ 高度約700 km

地球規模の水循環を調べることで気候変動メカニズムの解明や気象予報・漁業に貢献。

しきさい (GCON-C) 2017年打ち上げ 高度約800 km

炭素循環やエアロゾルなど気温上昇量の正確な予測に人養豚る様々な気象を観測する。

つばめ (SLATS) 2009年打ち上げ 高度268 km～180 km

高効率イオンエンジンにより、高度300 km以下の超低高度での継続飛行を実現して、将来の超低高度衛星の開発・利用に向けた技術実証を行う。

EarthCARE/CPR 開発中 高度約393 km

雲粒の大きさや大気中のエアロゾルの分布を調べ、気候変動の予測精度向上に貢献する。CPR以外の衛星各部の開発並びに打ち上げ・運用は、ESAが担当。

GOSAT-GW 開発中 高度約666 km

温室効果ガス濃度の継続把握、パリ協定に基づく各国の温室効果ガスインベントリ報告の透明性確保、並びに大規模排出源監視を目指す。また、「しずく」後継機として台風進路予測向上や沿岸漁場利用等の新たな利用ニーズにこたえる。

SDGsとCOVID-19での衛星利用

衛星観測のSDGsへの貢献

- ① JICA-JAXA 熱帯林早期警戒システム (JJ-FAST) により、77 か国で違法伐採監視等のため利用されている。
- ② 全球降水マップ (GSMaP) を用いて世界の雨分布速報を出している。特にアジアの洪水予報システムに利用。
- ③ センチネルアジアで、アジア太平洋の災害を衛星で監視し、情報をインターネットで配信している。
- ④ JAXA ひまわりモニタを利用して、黄砂・PM2.5等の大気微粒子 (エアロゾル) を監視している。
- ⑤ 衛星データを活用して、水稻などの食糧収獲予測に利用している。

COVID-19に対する取り組み

- ①流行前後における地球環境や社会経済活動などの変化を NASA,ESA,JAXA の協力で解析。
- ②COVID-19 をテーマにハッカソンを JAXA,NASA,ESA,CNES,CSA ASC の 5 機関で開催。
- ③合計 66 種類の JAXA 衛星データが一覧できるWeb サイトを構築、公開した。

陸域観測技術衛星 ALOS（だいち）シリーズ

ALOS シリーズの広域・高分解能データは、国土保全・管理、食料・資源・エネルギーの確保、気球規模の環境問題の解決等、様々な分野で汎用的に活用が可能となっている。

ALOS（だいち）は、2011年3月の東日本大震災時、緊急観測を行い強震地域全域を撮影し国土技術政策総合研究所に画像を提供した。

ALOS-2（だいち2号）は、2020年7月の令和2年7月豪雨の時、緊急観測を行い熊本の侵水域の推定結果を防災関係機関等に提供した。レーダ観測のため、夜中でも観測し明け方までに情報提供可能。

ALOS-2プロジェクト管理

衛星は宇宙にあるため、エネルギーは自前、無重力のため部品はすべて固定、寒暖差が激しいため宇宙版エアコンが必要、放射線・宇宙船が飛んでくるため対応の部品が必要、また、修理に行けないため部品や組み立ては慎重に確実に行うことが必要である。

だいち2号の地上システムは、筑波宇宙センターで管理され、衛星の軌道が半径500メートルの範囲にあるか監視している。また、電力・燃料等の監視など故障なく動いていることを常時確認し、災害等必要時に即時観測ができるようにしている。

政務活動研修報告書

グレーダー東大塾 第7回

2021.6.9

ロケットの技術と今後の展開

～液体ロケットを中心に・帝国重工の実態にせまる～

渥美 正博 三菱重工業 防衛・宇宙セグメント フェローアドバイザー

知ってほしいロケットの原理

ロケットの役目は、人工衛星／探査機を宇宙空間の所定の軌道まで運搬することと、軌道での速度を与えることである。ロケットが宇宙に飛び出すには、 8 km/s 以上の速度を出さなければならない。そのために、機体の軽量化、排気速度の高い燃料が必要とされる。

ロケットの大きさはペイロードの大きさで決まる。ペイロードが 1 kg 重くなると、2段目ロケットの燃料が $4\sim 5\text{ kg}$ 必要となり $5\sim 6\text{ kg}$ 重くなる。さらに、1段目ロケット燃料が 20 kg 必要となり、総計 $25\sim 26\text{ kg}$ 重くなる。つまりロケットは、ペイロードの重量の $2.5\sim 2.6$ 倍の総重量となる。

輸送サービスにとって大切なもの

信頼性が第一というけれど

ロケットの求められる第一要件は、信頼性であり、顧客の安心感をいかに得られるかである。ロケットの速度エネルギーは、車のありわずかな見落としでも致命傷になる。

ガラスのエンジンと揶揄されて

「下町ロケットで、バルブを制するもの、ロケットを制す。」という言葉があったが、ロケットの品質を左右するものにエンジン、バルブの信頼性がある。ガラスのエンジンと揶揄されたLH-7エンジンがあった。続くH-II Aロケットも、6号機まではトラブルの嵐だった。ロケットエンジン内部の熱伝達率は一般的な焼き入れ・焼き純しより大きく、圧力は 200 atm と高い。始動時には、 0.4 秒間に $-173\rightarrow +427^{\circ}\text{C}$ になるため、想像を超える熱応力が発生するため、これに耐える強度の部品が必要だった。SV100作戦で、スペースバルブの 100% 良品化に成功し、7号機以降は打ち上げに影響を与える問題の発生はない。

信頼性と転ばぬ先の杖

先例を確認しないまま先送りしたり、自分の仕事のことだけ考え周りを見ない等が、不適合事象を引き起こす原因となっている。全体への積極的なかわり、コミュニケーションの充実が、商品品質を作っていく。変化をつかみ、原因や全体への影響を定量的に分析、評価する不断の活動が信頼性を支える。

なくてはならないチーム力

ロケット生産は、単なる知識教育では役立たない。現場で限られた情報、限られた時間内にチームで解決する訓練を日常的に行うことが重要である。そのために、情報伝達、基礎知識、ツール、隊員の意識の変革が必要である。

H 3 ロケットでやっていること

2021年度の打ち上げを目指して、新型の基幹ロケット（H 3）の開発を進めている。H 3 ロケットは、価格がH-2 Aの約半額で、注文から打ち上げまで1年に短縮され、衝撃加速度がこれまでの1 / 4となっており乗り心地の良い機体となっている。H 3 ロケットには、新型1段エンジン（LE-9）が搭載されていて、これは150 tonのエキスパンドブリードサイクルエンジンで高い信頼性と安全性を持ち、世界中から高い評価を得ている。ロケットビジネスは、多角的に常に変化するものであり、今まで商業衛星打ち上げ市場をターゲットにしていたが、今後はスターリンクによる衛星通信事業にシフトしつつある。

さらなる将来に向けて

ロケットの将来像として、コストを削減のため、第1段の再使用、軌道高度を変えた2機の衛星投入、第2段によるコンステレーション衛星の配置（同一軌道面）、また、デブリ対策として、ミッション終了後第2段を逆噴射して大気圏に再突入させるなどがある。

政務活動研修報告書

グレーダー東大塾 第8回

2021.6.16

国際宇宙ステーションと国際協力による宇宙探査の将来

山崎 直子 元 JAXA 宇宙飛行士 (一社) Space Port Japan 代表理事

有人宇宙活動・宇宙探査の動向

1961年、ソ連の宇宙飛行士ガガーリンが世界初の人類宇宙飛行の成功した。宇宙飛行者は、世界38か国、約570名で、日本人は12名である。国際宇宙ステーション（ISS）は、1984年に計画が始まり、1998年に組み立て開始、2000年に宇宙飛行士滞在開始、2011年に組み立てが完了し、2024年まで運用予定である。2022年には、中国の宇宙ステーション「天宮」が完成予定である。

アルテミス計画は、日本・米国・欧州・カナダが2024年に有人月面着陸、2028年までに月面基地の建設を開始するというプロジェクトで、日本人初の月面着陸が期待されています。

民間による有人宇宙飛行技術が発展し、①月・火星への移住、②宇宙を経由した旅行、③宇宙に滞在する旅行、④無重力を体験できる小宇宙旅行が進められている。Virgin GalacticとBlue Originが無重力を体験できる小宇宙旅行に成功している。

日本の方向性

1952年、日本は連合国軍占領終了とともに航空宇宙の研究を再開した。

1955年、糸川英夫が戦後日本初のロケット実験（長さ30cmのペンシルロケットの水平発射実験）を行う。

1960年、総理府に「宇宙開発審議会」が設置され、①平和的利用、②自主性の尊重、③公開の原則、④国際協力の重視が謳われる。

1969年、日米宇宙協力交換公文で液体ロケット技術が導入され、また、宇宙開発事業団が設立される。

1970年、日本初の人工衛星「おおすみ」が打ち上げられる。

2020年、第4次宇宙基本計画において、日本が自立した宇宙利用大国になることを目指すことを掲げる。

宇宙基本計画から

- ・完全資源循環型食糧供給システム及び閉鎖空間での「QOL(生活の質向上)」を飛躍的に高める食の実現
- ・射場整備・スペースポート整備
- ・民間企業の月探査活動への参加促進
- ・宇宙輸送システムの研究開発
- ・有人宇宙活動の在り方の検討

何を社会にもたらすか

人類・生命への理解の深化

宇宙船内環境における人体の変化—身長が2～5 cm伸びる、体重は減少傾向、筋肉が寝たきりの人の2倍の速さで弱る、骨密度が骨粗しょう症患者の10倍の速さで減少する、免疫力低下、視力への影響

環境（重力）が変わると遺伝子の発がんの仕方が変わってくることがある。

地球への理解の深化

地球や火星には水・氷がある。2019年にははやぶさ2が持ち帰った「リュウグウ」に含水鉱物を発見した。しかし、木星の衛星「ガニメデ」や土星の衛星「タイタン」の方が地球より多くの水を保有している。

地球の空気層は、地球自体からすれば極めて薄い層である。地球自身が生きている。人類がこの地球を守らなければならない。

超小型衛星による新しい宇宙開発利用の潮流

中須賀 真一 東京大学大学院 教授 航空宇宙工学科専攻

超小型衛星の意義と世界の潮流

1975年から始まった人工衛星は、1機数トン、数百億円のコストと、5～10年の長期開発が必要だった。（放送衛星3.5t、地球観測・災害監視2～4t、ひまわり気象衛星3.5t、準天頂衛星4トン）このため、失敗が許されず超保守的設計、広がらない宇宙利用、技術革新スピードが極めて乏しかった。

2000年頃から、大学・ベンチャーがプレーヤーとなり、ビジネス化のため官民ファンドが投資（欧・米・中などは国も大型投資）し、いっせいに技術開発し100Kgまでの超小型衛星による宇宙開発革命が始まった。これまで100億円以上のコストが数千万～5億円以下となり、新規宇宙プレイヤーの参入や新しいビジネス・利用法を生み、挑戦的ミッションが可能となった。また、開発期間が1～2年以下に短縮されたことにより、大学生が研究室内で1サイクルを経験できるようになったり、投資回収が短期化しビジネスにもかなり有効となった。

小型衛星ベンチャーの参入例として SKYBOX Imagin 社は、質量100Kg、1m分解能（80秒間の動画像の撮影が可能）の小型衛星を20機以上のコンステレーションで地上のあらゆる場所を1日3～4回観測するシステムの構築を目指している。政府からの支援はなく、すべてシリコンバレーのベンチャーキャピタルから約91億円を調達している。

Planet 社は、180機以上の超小型衛星(3U：10cm×10cm×30cm)を打ち上げ、3m分解能で1日100万枚以上の画像を配信するサービスを計画中である。

日本での「大学衛星」の夜明け（1998年～）

1998年、日米の大学で1年かけて実プロジェクトを検討（CanSatの誕生）。

1999年、AEROPACの協力で、3機のCanSatを約4kmの高度（サブオービタル）まで打ち上げた（ARLISSの誕生）。その後、アメリカのネバダ州で毎年開催されていて、現在はロケットから放出された350ml缶サイズの超小型衛星やローバが砂漠中の目的地まで自律的に降りる／走ることを競うカムバックコンペティションも開催されている。Flybackの歴代1位は、2002年の東京大学チームで45m、ローバーの歴代は、2016年東京大学、2019年の東京理科大学と湘南工科大学記録の0mである。

CanSatは、小さいながらも通信、計算機、制御系、構造・メカ、ミッション系など「衛星」いっせいとしてそのシステム設計、プロジェクト管理など一通りの経験ができ、安価（1機約10万円）で、大学教材に手ごろなものとなっている。

2003年、東京大学・東京工業大学のCubuSat（1kgで世界最小衛星）が世界初打ち上げ運用される。

これは、開発期間2年、部品費約300万円（部品のほとんどは秋葉原などで調達）で、地上局での運用、周波数取得、ロケット調達まですべて大学・学生で実施した。このようにCan Satは、学生が衛星プロジェクトのすべてを経験することができ、4つの管理(時間、人間、コスト、リスク)をチームワークで乗り越える大切さを学ぶ事ができるものである。

実用化技術へのステップアップ（2008年～）

2009年、3号機リモセン衛星「PRISM」（質量8.5 kg、大きさ20 cm×20 cm×40 cm）が打ちあげられた。これは、分解能20～30 mで超小型衛星の実用化に向けた標準バスとなった。

2010年～2014年の「ほどよしプロジェクト」で、それまでのような大型衛星で高性能・高信頼性を追及するのではなく、コストや製作時間などを低く抑え、ほどほどの設計で全体最適の衛星を作り、その利用法・新規利用者の開拓を図ることを目指すようになった。

2014年、JAXAとの共同プロジェクトでPROCYONを打ち上げた。これは、世界初の50 kg級深宇宙探査機で、ほどよしPの成果を生かし14ヶ月で開発されたものだった。

現在、地球観測、宇宙科学、探査、教育等に適用できる汎用的6Uバス（質量8～12 kg、大きさ10 cm×20 cm×30 cm）をArkEdge Spaceと連携して開発中で、多数機によるコンステレーションを目指している。

実用化・ビジネス化が進む：超小型衛星の将来

超小型衛星で何ができるか

コスト・開発期間を下げることで、宇宙利用・ビジネスの「しきい」を根本的に下げることができる。

- ①地球規模で衛星を分散配置し、頻繁に見ることができる。(コンステレーション)
- ②近くに飛ぶ複数機による共同ミッション（フォーメーションフライト）
- ③パーソナル衛星、マイ衛星の概念
- ④本格的ミッション前の試行実験・実証がしやすい
- ⑤海外新興国への衛星開発支援に適切なサイズ

防災・情報分野として衛星利用するには、1m程度の分解能で東西10 km～30 kmの規模感が必要であり、できるだけ短い間隔（3～6時間）での観測が必要である。また、サイズの異なる複数機のコンステレーションが必要である。夜間・水蒸気がある時でも観測できるSAR衛星の活用は、さらに重要である。

今後、超小型衛星は大量生産時代に入るが、ベンチャー企業などのビジネスベースの衛星数では全く足りなくなる。政府資金による開発、政府が顧客になるなど政府が積極的な資金投入を念頭に入れながら、相当数の衛星開発ができる仕組みづくりをする必要がある。

「宇宙」が、本当の意味での産業化するチャンスである。宇宙×〇〇の「〇〇の拡大・向上」で儲けることを考える。世界的には、日本がリーダーシップを発揮できる分野の一つである。

宇宙における国際連携と宇宙現状と課題

青木 節子 慶應義塾大学大学院 教授 法務研究科

(宇宙法を考えるうえで関係する) 世界の宇宙利用の現状

世界全体の運用衛星数を見ると、2016年12月末で1738機、2020年12月末で3372機である、特に米国と中国の増加が目覚ましく、増加率が米国2.37、中国2.01である。

ロケットの打ち上げ回数も、米中が多く、2020年世界合計116回のうち、米国35回、中国37回であった。日本は、4回であった。

近年新たに衛星を取得する国が増えてきている。2013年ボリビア、15年ラオス、16年ペルー、17年モンゴル・ガーナ・アンゴラ、18年ニュージーランド・ケニア、19年スリランカ・スーダン・ルワンダ・エチオピア。

国際宇宙ステーション(ISS)からの衛星放出とその法的意味

これまで、地上からロケットを使って軌道上に衛星を打ち上げていたが、近年宇宙ステーションから衛星を放出するものが出てきた。日本は、「こうのとり」でISSへ運び、「Kibo」から放出している。また、米国がISSへ運び、「Kibo」から放出することもある。この場合、放出された衛星がどこの国で登録されるかが今のところ明確に定まっておらず、喫緊の課題となっている。

打ち上げ国の定義

- ①宇宙物体の打ち上げを行う国
- ②宇宙物体の打ち上げを行わせる国
- ③自国の領域内から宇宙物体が打ち上げられる国
- ④自国の施設から宇宙物体が打ち上げられる国

宇宙物体とは、地球から宇宙空間に導入された人工物のことで、デブリもこれに含まれる。

打ち上げ国責任(損害責任条約)

- ①宇宙物体が引き起こした「損害」に対して「打ち上げ国」が責任を負う。
- ②被害国は「打ち上げ国」のうち1国に全額賠償を求めてもよい。
- ③地上損害の場合は無過失完全賠償、宇宙空間での損害の場合は、過失責任。
- ④打ち上げ国の責任は無期限。(デブリになっても責任がある。)

宇宙空間は、国家管轄圏外の地域である。「物体」には国籍がないので登録する必要がある。(国内登録と国連登録)国内登録に基づいて管轄権が生じる。ISSから放出された衛星は未登録衛星が多く、衛星に対して国家管轄権を持つ国がないため責任を負う国がないという状態で、今後の大きな課題である。

軌道上の衛星売買・取引の問題

宇宙ビジネスの発展とともに軌道上での各種物体の所有権移転が行われるようになり、様々な問題が起きてき

- ①物体登録条約には、登録移転が可能かどうかの規定はない。
- ②打ち上げ国間の管轄権・管理の移転は可能。（宇宙条約2条2項）
- ③衛星の軌道上の管轄権・所有権移転の過半数は非登録国（または非打ち上げ国）である。

現在、宇宙物体の国連登録率は、76%と低くその理由として、宇宙物体登録条約非加盟国があるということ、多国籍企業・国連機関の衛星が増えていること、重要な諜報衛星は登録しないことなどがある。

積極的デブリ除去（ADR）の法的課題

積極的なデブリ除去は、軌道上の衛星修理・燃料補給サービス、対衛星攻撃(ADR)と外形的行為は類似しており、明確には区別できない。デブリ除去作業中に他国の衛星を破壊する事故があった時、除去を依頼した企業もしくはその所属国が責任を取るのか、壊した企業もしくはその所属する国が賠償するのか不明確である。破壊した衛星、破壊された衛星が無登録衛星であった場合、さらに複雑となる。

宇宙資源開発・採掘・取得をめぐる国際宇宙法

宇宙条約2条「月その他の天体を含む宇宙空間は、主権の主張、使用もしくは占拠またはその他のいかなる手段によっても国家による取得の対象とはならない。」

私人による土地所有は可能か、という問題があるがこれはできないが正解。もう一つ、土地ではなく資源の取得は可能かという問題は、いまだ未解決である。

月協定では自由競争による資源開発は禁止されている。（ただし、適量の鉱物その他の物質は利用可能）国連海洋法(LOS)条約第XI部「深海底」において、第136条「海底およびその資源は、人類の協働の財産である。」とうたわれている。海底資源の所有権は主張できないが、国際海底機構（ISA）の定める許可、監督に従えば採掘・所有が可能となっている。

現在、新たな国際法として、すべての国と人類の利益を考慮し、宇宙資源活動の実施が可能な環境を整備するため国際枠組みを作成中である。その規定は、

- ①現行国際法と宇宙資源活動の関係
- ②国が国内枠組みを適用し、または整備することを勧告
- ③国際組織が期間内枠組みを適用しまたは整備することを勧告
- ④国、国際組織、非政府団体がベストプラクティス（最善策）を認識するよう促す

また、アルテミス合意（平和的目的の月、火星、彗星、小惑星の民政探査・利用における協力原則）が2020年10月になされ、現在日本、米国、カナダ、豪州、英国、イタリアなど12か国が参加している。

この中で、安全区域（関連活動の通常の運用または異常な事象が有害な干渉を当然に及ぼしえる区域）を規定、スペースデブリについては通常の運用、ミッション終了後の新たなデブリ発生を制限している。

所管

世界の宇宙ビジネス規模は、現在約 4 兆円で、30 年後には約 200 兆円になると予想されている。新型コロナウイルスの世界的感染拡大により、経済は混頓としているなか宇宙ビジネスは急速に発展することが予想されているのは、それだけ伸びしろのある分野だということである。

宇宙ビジネスには、①宇宙旅行や 2 地点間の高速輸送などの輸送系産業、②測位衛星（準天頂衛星：GPS など）を利用した産業、③地球観測衛星（光学、レーダー：ALOS シリーズ）を利用した産業、④通信放送衛星（日本では ETS-9 を計画中）を利用した産業、⑤宇宙を調査する宇宙科学衛星利用、⑥宇宙探査衛星（はやぶさ 2 など）の開発・利用、⑦国際宇宙ステーション参加からアルテミス計画（月の Gateway、月面探索など）へ参加。など幅広くあるが、それに使用される製品・技術の開発は、私たちの日常生活の発展に大きくかかわっているものばかりである。

測位衛星の利用は、水田のトラクター・コンバイン、果樹類のスピードブレイヤー、茶の摘採機等の自動運転に大きくかかわってくるものである。地球観測衛星は、農作物の生育状況・病害虫診断、収穫適期の判断等に活用され、八女市の基幹産業である農業の作業の効率向上、農作物の品質向上に大きく寄与するものであり、鳥獣害に対する利用にも大きな可能性を持っている。また、近年多発している台風や大雨などによる災害に対して、事前予測、災害時の現場特定・状況の把握を迅速かつ正確に行うことで対応をより早くと確に行えるなどその利用価値は多大である。

福岡県では、令和 2 年度から産学官による「福岡県宇宙ビジネス研究会」を発足し、9 月には国から「宇宙ビジネス創出推進自治体」に選定されている。県内民間では、QPS 研究所が SAR 衛星コンステレーションにより、同一地点を約 10 分おきに観測することを目指している。この衛星は福岡県を中心に、九州約 20 社の地場企業が協力制作し、雨雲があっても夜間であつても観測が可能で、2025 年までに 36 機を打ち上げる予定である。すでに、人工衛星関連産業は県内に存在しているのである。

現在、ドローンの活用が注目されているが、その先にはさらに広域的で天候に左右されない人工衛星利用の産業発展の可能性は大きい。宇宙ビジネス（特に超小型人工衛星）にかかわるハード・ソフト両面の産業は、今後急速に伸びていくものである。本市においても、県との連携を図り県内の大学（久留米大学、久留米工業大学、九州大学、九州工業大学等）や、企業（QPS 研究所、オーレック、中島田鉄工所等）と協働・連携し、新しい事業の創設、企業の誘致、起業家の援助を模索してはどうか。また、観光面では本市星野村に星野文化館があり、宇宙ビジネスの足掛かりとなるのではないかとと思われる。世界的な視野で、これまでの産業にこだわらず、新しい産業の創設を踏まえた企業誘致、起業家の育成を目指すのも八女市の人口減少対策の一つではないだろうか。