

News

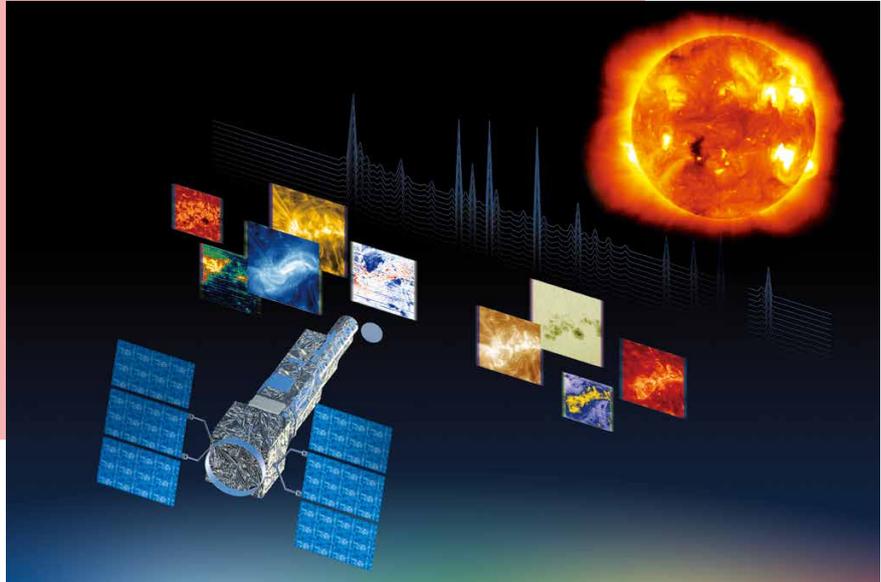
2021

4

No.481

Solar-C(EUVST)が目指す 太陽観測研究

紫外線・極端紫外線で観測した太陽の素顔。宇宙に如何に高温プラズマが作られ、太陽が如何にして地球や惑星に影響を及ぼしているのか？この命題に迫るために、エネルギーや質量の輸送やエネルギー解放の現場で何が起きているのかを診断することが有効です。次期太陽観測衛星Solar-C(EUVST)は、可視光よりも波長が短い極端紫外線域に多数存在するスペクトル線を観測することで、太陽プラズマ大気の物理診断を行い、太陽大気を構成する多様なプラズマの物理状態を2次元マップとして取得します。



The Forefront of Space Science

宇宙
科学
最前線

高感度太陽紫外線分光観測衛星 Solar-C (EUVST)

名古屋大学 宇宙地球環境研究所 講師 今田 晋亮(いまだしんすけ)
宇宙科学研究所 太陽系科学研究系 教授 清水 敏文(しみずとしふみ)

我々が生きる太陽系の宇宙空間は高温のプラズマで満たされています。そのほとんどは太陽が起源であり、太陽風として太陽から放出されたプラズマは太陽系の3倍以上の距離まで届き太陽圏と呼ばれる空間を造り上げています。これらのプラズマがどのように太陽で作られ周辺環境へ輸送されるかを理解することは、過去から未来の太陽と地球間の環境だけでなく、太陽系を構成する惑星に対する環境の理解としても重要です。さらに太陽以外の恒星における惑星環境においても非常に重要です。また、太陽はそのプラズマ大気を詳細に観測することが可能な唯一の恒星であり、プラズマ物理や原子物理など基礎過程を発見および検証する、実験場という意味でも非常に重要な存在です。

太陽プラズマ大気

太陽表面 - 光球 - の温度はおよそ6,000度であるのに対し、その上空には1万度の彩層、100万度を超える温度のコロナが広がっており、これらの高温大気をどのようにして形成しているかは太陽物理学における大問題です。加熱メカニズムとしてナノフレア加熱や波動加熱説などいくつかモデルが提唱されていますが、その観測的検証は不十分です。また、太陽大気では、太陽フレアと呼ばれる突発的な爆発現象がしばしば起こり、短時間でプラズマが数千万度に加熱されます。太陽

フレアは「磁気リコネクション」を通じ、コロナ中に蓄積された磁場のエネルギーが熱やプラズマの運動エネルギーに変換される現象だと考えられていますが、実際には太陽の数分の1にも達する広大な領域が爆発発生に関与しており、磁気リコネクション以外の物理プロセスも重要な役割を果たしていると考えられています。これまでの研究により、定常的な高温大気加熱にも突発的な爆発現象にも磁場が関与していると考えられています。太陽表面からコロナまでのそれぞれの領域は、磁場によって結合された複雑な構造をなしています(図1)。例えば、コロナ加熱は、このような複雑な大気の中で、密度の高い太陽光球が持つ運動エネルギーのごく一部を上空の希薄なコロナに磁場を介して輸送し、そして散逸することが想像されています。

「ひので」からSolar-Cへ

太陽大気のダイナミックな現象を理解するため、2006年に太陽観測衛星「ひので」(SOLAR-B)が打ち上げられました。可視光、極端紫外線、軟X線の3つ波長帯域で観測を行うことで、太陽表面の磁場にどんな変動が存在し、コロナでどのような加熱やダイナミックな現象が起きているのかが調べられ議論されてきました。また、フレアの発現、太陽風の起源などに関しても重要な研究成果が得られました。特に、口径50cmの

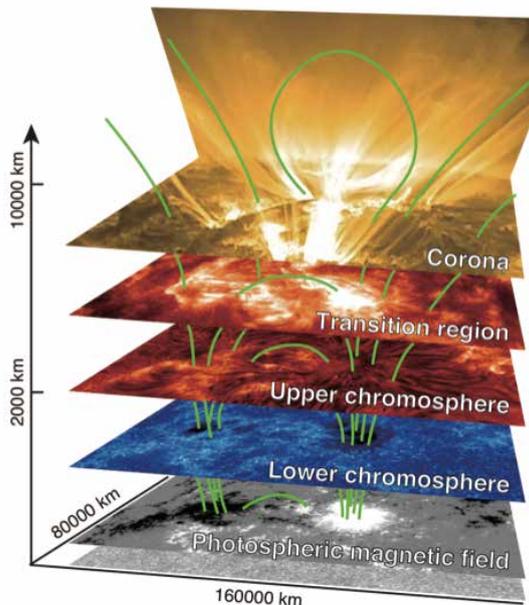


図1：磁的に結合された太陽大気構造

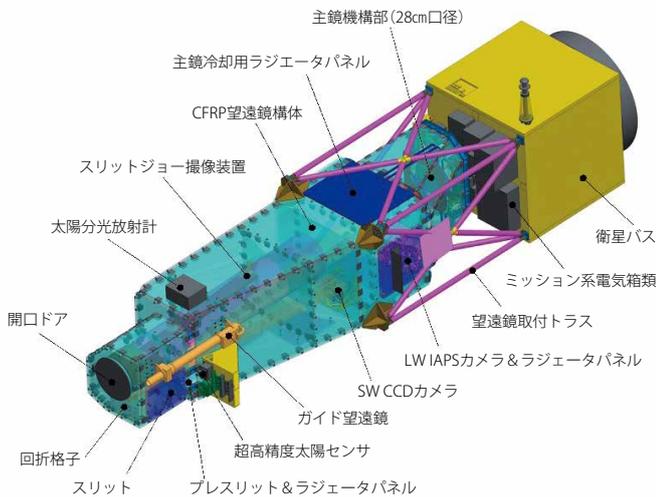


図2：高感度太陽紫外線分光望遠鏡 (EUVST)

可視光望遠鏡の観測は、太陽表面付近にある磁場構造を0.3秒角(太陽面で約200kmのサイズ)という高い解像度で分解して、太陽大気へのエネルギー注入に関する理解に大きな進展をもたらしました。また、極端紫外線や軟X線のコロナ観測により、解放されたエネルギーによるプラズマの応答が明らかになってきました。一方で、観測される太陽表面とコロナの間に存在する約2桁の温度ギャップや空間・時間分解能の大きな相違のため、エネルギー注入と解放の間で物理的に何が起こって、太陽大気のダイナミクスに至るかについては、観測的にブラックボックスな状態です。そこで、その鍵となる領域で働くブラックボックスな状態にある基礎的物理過程の解明を目的としたSolar-C(EUVST)ミッションを2020年代中盤に日本が先導する次期太陽観測衛星計画として立ち上げました。

ミッションの科学目的と観測戦略

Solar-C(EUVST)の科学目的として、I) 太陽大気(100万度超のコロナ)や太陽風の形成を導く基礎物理過程を解明すること、II) 太陽大気不安定化し、フレア・プラズマ噴出を引き起こす物理過程を解明すること、を掲げています。この2つの科学

目的の達成のために、以下の3つの観測を同時に可能にする紫外線分光観測を実現させます。まず、太陽大気の彩層からコロナにわたる温度領域を隙間なく観測できる性能です。彩層の1万度からコロナの100万度、さらにフレアで発生する超高温プラズマから発せられる1,500万度まで、3桁を超える温度領域を大きな温度ギャップなく観測します。第2に、この広い温度領域にわたって、今まで成し得なかった高空間・高時間分解能でプラズマのダイナミクスを追跡できる能力です。このために、今までの装置に比べ10～30倍のスループット性能を望遠鏡に持たせます。そして、これらの能力のもとで分光観測することで、温度・密度・速度といった物理量を診断します。これによってナノフレアや波動加熱の現場を直接とらえ、どんな物理機構がどの程度の割合で発生しているのか、また、太陽フレアにおける磁気リコネクション領域を空間分解しプラズマ診断することで、磁気リコネクションの高速化がどのように起きるのかを理解するなど、科学目的を達成するために設定された様々な観測課題に取り組みます。

高感度太陽紫外線分光望遠鏡 (EUVST)

このように広い温度・高感度・高分解能を同時に実現する世界初の極端紫外線分光望遠鏡が、EUVST (EUV high-throughput Spectroscopic Telescope) です(図2)。この望遠鏡を搭載するミッションとして、Solar-C(EUVST)は公募型小型衛星4号機に選定されています(ISASニュース2020年7月号)。現在の計画では、最も早く2026年末にイプシロンSロケットにより、太陽を連続的に長期間にわたって観測できる太陽同期極軌道に投入され、第25太陽極大期の終盤に観測を開始することを希望しています。

EUVSTの光学系は単純であり、口径28cmのオフセット主鏡により太陽の紫外線像をスリット面上に結像させ、スリットを通過した光を回折格子で波長方向に分散させて、高感度2次元カメラ(IAPSおよびCCD)でスペクトルを計測します。また、スリットジョー撮像装置は、スリット面上の太陽像を画像として撮影します。さらに、太陽からの極端紫外線量をモニターする放射計の搭載が予定されています。

EUVSTの開発は、日本が主導し、米国(NASA)および欧州諸国(ESAおよび各国宇宙機関)の参加を得て実施します。すでに、米国貢献については、NASAはMission of Opportunity 公募選考を経て実施されたPhase A検討の結果に基づき2020年12月末に参加を決定しました。欧州諸国からも参加表明レターが届き、ESAも欧州としての参加に向けた調整を進めています。日本は、3mを超える長さを持つ望遠鏡の全体構造と指向制御が可能な主鏡機構部を中心に開発します。これはEUVSTの性能を実現させる上でキー技術であり「ひので」望遠鏡開発の経験・実績も最大限に活かします。一方、米国や欧州諸国が開発したカメラなどの分光器コンポーネントを国際協力に基づき提供を受けます。このように、EUVSTは日本および世界から最高の技術を持ち寄って一丸となって作り上げる望遠鏡です。日本の推進体制は、宇宙科学研究所と国立天文台が中核となり、衛星および観測望遠鏡EUVSTを開発します。またデータ解析のためのサイエンスセンターを名古屋大学宇宙地球環境研究所が運営し、国内外の大学や研究機関もデータ解析・科学観測運用・地上観測・数値計算など多面で参加します。

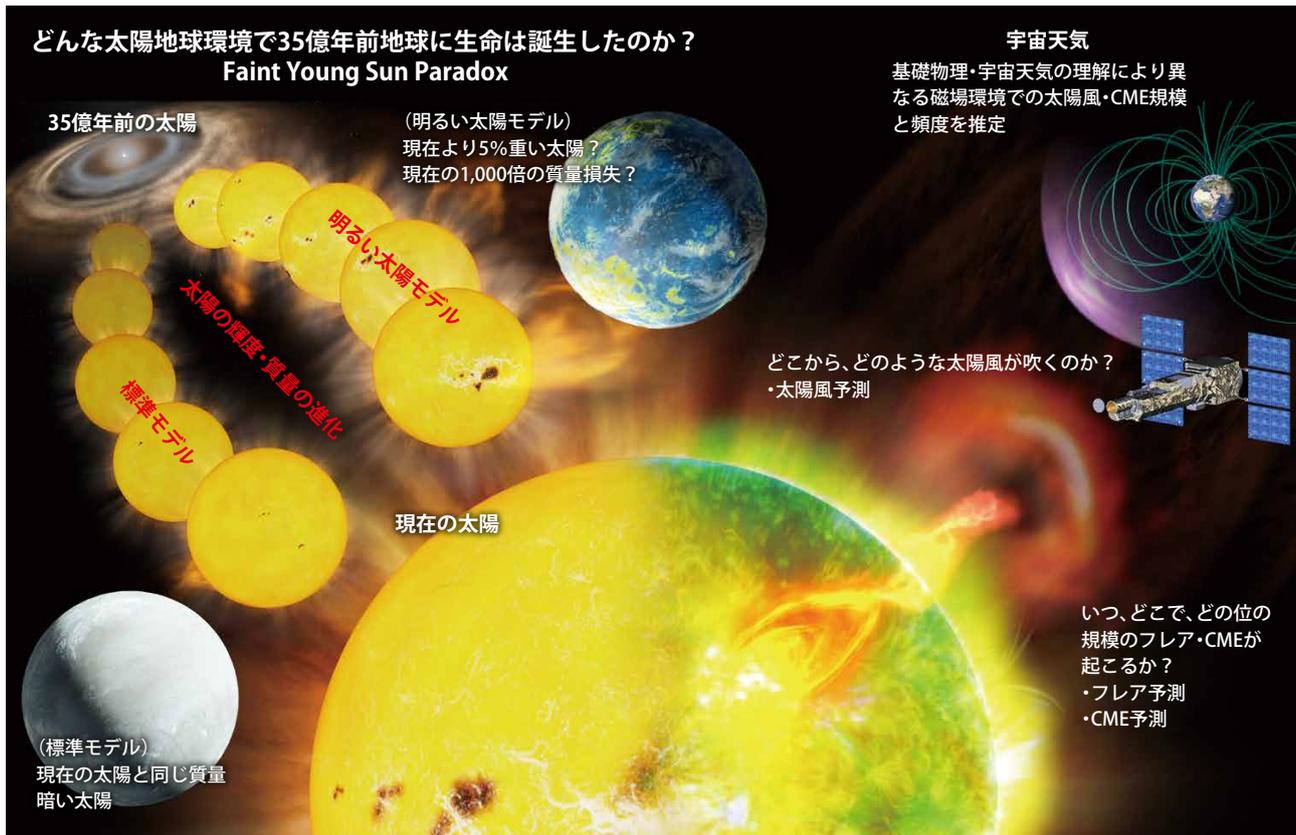


図3: Solar-C (EUVST)の波及効果: 35億年前の太陽地球環境と宇宙天気

ミッションがもたらす波及効果

Solar-C(EUVST)の科学目的達成を目指して推進することで、以下のように多様な分野への波及効果を期待できると私たちは考えています。

- 1) 太陽大気の形成を解明することは、太陽とは別の恒星大気がどのように作られるのかを理解することにつながります。
- 2) 太陽フレアの発生メカニズムおよび太陽風加速過程を理解することは、近い将来の宇宙天気予報(フレア予報、太陽風予報)につながります。
- 3) 地球上で再現実験のできない太陽の諸現象を分光観測・解明することは、プラズマ物理や原子物理など基礎過程の発見、理解、検証につながります。
- 4) 現在の太陽コロナや太陽風、そしてフレア活動を理解することは、生命が地球に誕生した当時の太陽地球環境を知ること、さらにはなぜ地球に生命が誕生したのかという謎の解明につながります。
- 5) さらに、工学的視点では、獲得する解像度の高い宇宙望遠鏡の技術や衛星の高精度指向安定技術は、我が国の高分解能を必要とする天文・地球観測衛星や実用衛星等の小型化・高度化に貢献します。

これらの多くはイメージしやすい波及効果ですが、4)は想像が難しいと思いますので、最後に図3を用いて少し詳しく説

明したいと思います。

地球に生命が誕生したとされるおよそ35億年前は、標準太陽モデルによると太陽の核融合は現在よりも低調で、そのため太陽は現在よりも暗かったと考えられています(図3左側: 標準モデル)。地球は全球凍結の状態にあり、生命が誕生する事が難しい状態にあったと考えられています(Faint Young Sun Paradox)。この問題は太陽と地球環境との関係に関する最大の未解決問題のひとつです。仮に35億年前の太陽質量が現在より5%程度重かったとしましょう。恒星の明るさは質量に強く依存するため、この場合、太陽は現在と同程度の明るさになり、温暖な地球環境が実現しパラドックスは解決します(図3左側: 明るい太陽モデル)。一方で、太陽は、35億年かけて5%の質量を損失する必要があります。このためには、太陽の質量損失率が現在のものより2~3桁大きい必要があります。当時の太陽は自転速度も速くダイナモが活発で、非常に活動的であったと考えられます。そのため、現在の太陽と比べて太陽風やコロナ質量放出(CME)等による質量損失は現在の太陽より数桁大きかった可能性があります。Solar-C(EUVST)では、どこからどのような太陽風が吹くか、さらにいつどこでどのくらいの規模のフレア・CMEが起こるか、質量損失に関わる物理量をこれまでにないレベルで定量的に評価できるようになります(図3: 右側宇宙天気)。初期太陽の電磁流体力学現象について、Solar-C(EUVST)で得られた知見に基づいて考察することで、どのようにして地球に生命が誕生したのかという問いに一石を投じる事ができると考えています。

このようにSolar-C(EUVST)による科学成果は太陽物理学だけでなく非常に広い範囲への波及効果が期待できます。周辺分野の方々との良い協力関係を築いて、Solar-C(EUVST)による科学成果をさらに拡大していきたいと私たちは考えています。

美笹深宇宙探査用地上局4月運用開始へ

これまで本誌にて建設の進捗を報告してきました新大型パラボラアンテナ(美笹局)の最終報告です。前回は2019年12月に「はやぶさ2」からのX帯電波の受信成功をお伝えしましたが、それ以降も美笹局では、はやぶさ2プロジェクトの協力の下、Ka帯電波の受信及び新規開発の大電力固体電力増幅器(SSPA)によるX帯電波の送信にも成功し、本年3月3日にISAS内のプロジェクト終了審査を完了致しました。今回の報告では、審査会でも報告した美笹局の性能の一部を披露したいと思います。

(1) G/T (利得対雑音温度比)

受信局の性能を表す代表的な指標であり、この値が大きい程多くのデータを受信できます。X帯の仕様は仰角15度でこのG/Tが53.35 dB/K以上でしたが、図1のとおり2dB程度もよい性能を達成できています。

(2) 強風時の指向精度

遙か遠くの探査機からの電波を受信するには、アンテナを探査機に精度よく向ける必要がありますが、その際地表で吹く風は大敵です。大型アンテナでは特に。

プロジェクト開始後に現地の風速データを改めて評価したところ、その累積確率85%を超える最大瞬間風速は9.7m/sでした。これは事前想定を大きく上回るものでしたので、プロジェクトでは急遽10m/s以下の風速でもアンテナが精度よく指向



新大型パラボラアンテナ(美笹局) 2020年11月撮影。

するよう仕様を見直しました。大変な作業でしたが、図2のとおり指定風速下で0.2dB以内のレベル変動に抑えることができています。

(3) 鏡面精度の解析(電波ホログラフィ)

最後は鏡面精度です。美笹局ではKa帯を取り扱うため、54mアンテナ主鏡の表面に高い精度が求められます。そこで、静止衛星からの電波を使ってその測定を試みました。これを電波ホログラフィと呼びます。

図3は主鏡表面の電界強度分布を表します。本アンテナ固有のフラットな特性を示しており、放射状に延びる3本のステイの影も判別しています。更なる精度向上が必要ですが、概ね期待したデータを得ることができました。

本号が発行される2021年4月からは、美笹局はいよいよ定常運用を開始します。美笹局の完成が宇宙科学・探査の更なる発展に貢献できることを祈念するとともに、これまでのご支援に心より感謝申し上げます。(沼田 健二)

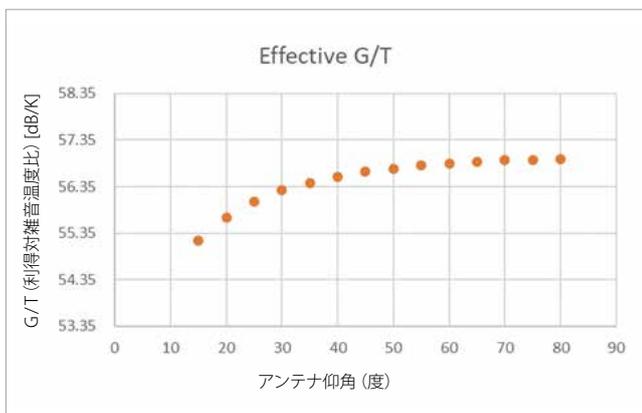


図1: 美笹局のアンテナ仰角に対するG/T特性

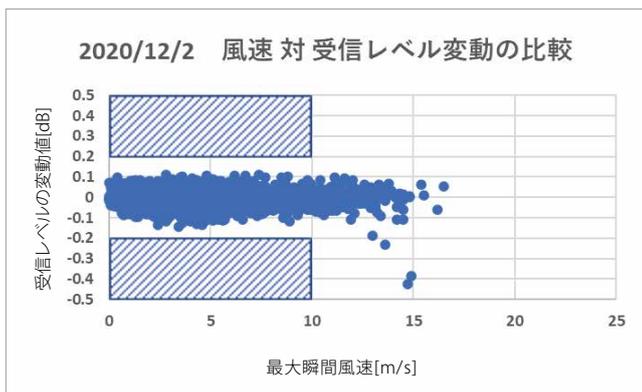


図2: 強風時の指向精度特性

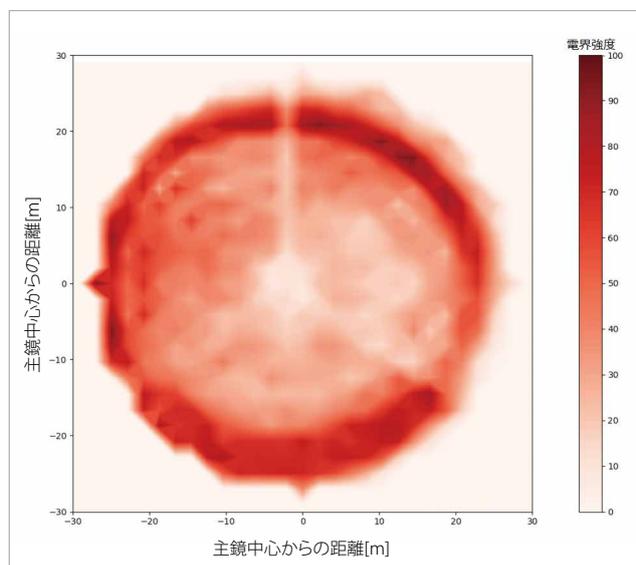
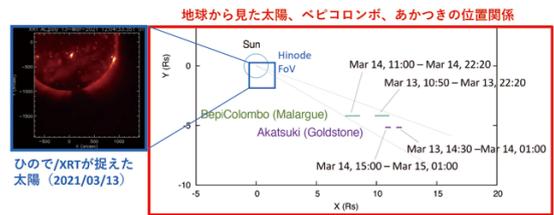


図3: 電波ホログラフィによって得られた、相対的な電界強度分布。アンテナの内側でほぼ同じ値を取ることから、十分な鏡面精度が得られていることが分かる。

ISAS深宇宙探査船団「太陽の陣」～「ベピコロンボ」「あかつき」「ひので」による太陽共同観測～

日欧共同水星探査計画「ベピコロンボ」は、2025年12月の水星到着を目指し順調に航行を続けています。2021年3月に探査機は地球から見て太陽の向こう側へ回る外合を打上げ後初めて迎えました。探査機との通信が制約されるためクリティカルな運用となりますが、一方で重要な観測機会にもなります。探査機と地球の間を行き来する電波が太陽近傍をかすめる際に太陽コロナや太陽風中のプラズマの影響を受けるため、逆に観測手段として利用することができるからです。これを電波掩蔽観測と呼び、通常探査機が近づけない太陽近傍領域の観測を可能とする貴重な手段です。「ベピコロンボ」の水星表面探査機(MPO)のミッションの1つにKa帯トランスポンダを用いた電波科学実験(MORE; Mercury Orbiter Radio-science Experiment)があり、外合時には太陽コロナや太陽風観測のほか一般相対性理論の検証実験も行います。しかも今回は「ベピコロンボ」だけでなく、金星探査機「あかつき」も同時期に外合を迎えました。「あかつき」にはすでに電波掩蔽による太陽観測の実績が何度もあり、今回は「ベピコロンボ」とタイミングを合わせて世界初の2機同時による共同観測キャンペーンを実施しました。太陽風加速機構の解明に向けた新たな観測データの取得が期待されます。

2機による太陽近傍の電波掩蔽観測に加えて、太陽観測衛星「ひので」が太陽表面の観測を行いました。特に「ひので」が得意とする偏光観測による太陽表面磁場の精密測定は、「ベピコロンボ」「あかつき」が観測した場所の磁場を推定するために重要な役



「ベピコロンボ」「あかつき」による電波掩蔽観測および「ひので」による太陽観測の概略図

割を果たします。「ひので」の観測結果をもとに、3次元太陽圏電磁流体シミュレーションSUSANOO*を用いてシミュレーションを行い、「ベピコロンボ」「あかつき」の観測結果との比較研究を行う予定です。

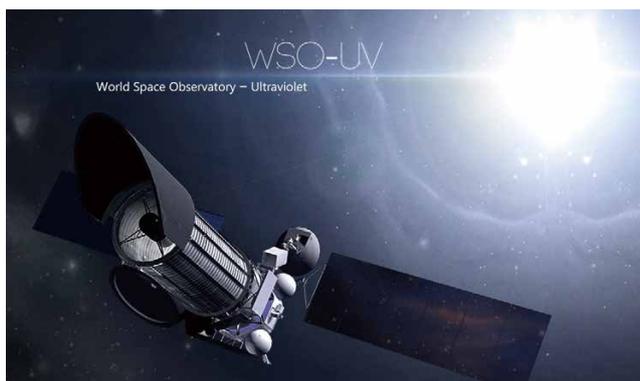
今回、ISASが配備した深宇宙探査船団の3機を用いた太陽観測キャンペーン「太陽の陣」は、「ベピコロンボ」「あかつき」「ひので」メンバーおよび内部太陽圏科学の研究者の横断チームの尽力により、2年以上にわたり計画・検討され実現したものです。観測運用は計画通りに行われ、現在取得したデータを各チームで鋭意解析中です。科学成果の報告を楽しみにお待ちください。(村上 豪)

* <https://cidas.isee.nagoya-u.ac.jp/susanoo/>

国際紫外線天文衛星WSO-UV —地球類似惑星の発見に向けて—

国際紫外線天文衛星 World Space Observatory Ultraviolet (WSO-UV)は、ロシアが2025年に打ち上げを予定している口径1.7mの宇宙望遠鏡です。2021年になり、WSO-UV所内プリプロジェクトチームが発足し、太陽系外惑星、特に地球型惑星の大気観測を行うために設計を最適化した分光器Ultraviolet Spectrograph for Exoplanets (UVSPEX) の設計開発を進めています。

これまでに発見された系外惑星の数は4,500を超えています。当初は木星程度の大型の惑星の検出が続きましたが、観測技術が進み小型の地球型惑星も検出されるようになり、地球半径の2倍までの惑星の数も1,000を超えています。太陽系には地球型惑星が4つ存在しますが、現在、地球は海洋を持ち、生命を有する



という点で他の3惑星とは大きく異なります。太陽系外にこれだけの数の地球型惑星が見つかっていますので、現在の太陽系にはない種類の惑星もあるかもしれません。しかし、太陽系外惑星は、太陽系内の惑星に比べて圧倒的に遠くにあり、その観測は極めて困難です。現在、系外惑星の検出に用いられている、惑星の公転による恒星のふらつきをとらえるドップラー法、恒星の前を惑星が通過する際の減光をとらえるトランジット法などでは、惑星の大きさや質量といった基本情報しか得られません。例えば、地球と金星は大きさや質量が近いものの、組成が全く異なる大気を持ちますが、これらの手法では地球と金星の大気を区別することも困難です。

本計画では、特に太陽より低温の星を周回する地球型惑星に海洋がある場合は、高層大気が広がっていくという予測から、その高層大気を観測することによって、惑星の表層環境を推定し、地球類似惑星候補を選別することを目標としています。高層大気の観測には紫外線トランジット分光観測が特に有効であり、ロシアの大口徑望遠鏡設備に加え、日本で開発を続けてきた高感度検出器を組み合わせることで、太陽系周辺に見つかった地球型惑星の観測を行います。地球の様な惑星があるのかどうか、また、惑星の表層環境の多様性を明らかにするため、この計画を成功させたいと考えております。既に多くの方々にご協力を頂き、着実に計画を進めることができています。引き続き、どうぞよろしくお願いたします。(亀田 真吾)

第13回宇宙科学奨励賞 異 瑛理氏と北村 憲司氏に授与

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13回目となる今年度は、カナリア天文物理学研究所研究員の異 瑛理氏（理学分野）と三菱電機（株）鎌倉製作所 衛星情報システム部技術第四課専任の北村 憲司氏（工学分野）に宇宙科学奨励賞が授与されました。

異氏への授賞の対象となった研究業績は「小惑星探査機の観測と室内実験によるC型小惑星の進化史の解明」です。異氏は、室内実験に基づくクレータスケール則の標準モデルの確立、「はやぶさ2」のリウグウ接近時における分光観測とそれに基づくリウグウ表面物質の起源に関する発見という科学成果をあげられました。これらの成果は異氏が「はやぶさ2」ONCチームに初期から参画し、そのクルージング期間でのONCの校正と運用の取りまとめへの貢献から生まれた成果と言えます。異氏は「はやぶさ2」チームはもとよりOSIRIS-RExの画像チームからも参画を要請され、両者の共同研究の要の役割も務めてこられたことが評価されました。

北村氏への授賞の対象となった研究業績は「低推力スラスタを用いた静止衛星の軌道遷移および軌道保持制御方式の開発」です。北村氏は、最小エネルギー軌道遷移に関しては平均化法による解析解を、また最短軌道遷移に関してはフィードバック制御則を導いています。さらに静止衛星の軌道保持においては

効率的な実践的フィードバック制御則を提案されるなど、優れた業績を挙げられました。平均化法を導入した数学的取扱いに、いくつもの卓越した点が見られるとともに、これらの成果は、実用的な制御手法の観点からも今後の静止衛星の軌道遷移・保持に対する工学的洞察を可能とするもので、宇宙科学に対する貢献が大きいと評価されました。

当振興会は今回受賞された異氏と北村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、オンラインでの表彰式を3月8日に開催しました。なお、本授賞の対象となった両氏の研究内容は、今後ISASニュースの「宇宙科学最前線」で紹介いただく予定です。

（公益財団法人 宇宙科学振興会 佐々木 進）



異 瑛理氏
（理学部門受賞者）



北村 憲司氏
（工学部門受賞者）

3月26・27日、初のオンライン特別公開開催

豪州での「はやぶさ2」カプセル回収オペ中、クイーン(Queen)の曲が頭の中で鳴り続けた。帰国しても隔離中は同様だった。隔離も新年も明けた頃、「2020年度内に特別公開はやるのだよね?」と所長が質問した。11月の豪州出発前に、やるのであれば



“探査探査”収録中



交流棟の特設スタジオの様子

オンラインであること、以前に学会の中高校生対象イベントで活躍した若手にリードしてもらうことまでは考えてあったので、その方向でのスタートを宣言した。即OKとなったのは、同じメンバーが豪州ウーメラとオンライン接続しての「カプセル回収・前後夜祭」を成功させた実績もあったのであろう。

若手に相談すると、「ESAメンバーが“ボヘミアン・ラプソディー”の替え歌によるESA紹介映像をYouTubeにアップしていますけど?」と言われた(“esa Space-Ody”で検索のこと)。頭の中で相変わらずクイーンが鳴っていたので「いいね」と答えた。その企画を実際にやってのけたことも含め、多くの関係者との調整を短期間に成し遂げたオンライン特別公開実行TF(タスクフォース)には感謝したい。また、短期間で番組コンテンツを準備くださった相模原キャンパス関係者にも感謝したい。初めての試みとはいえ、当日の視聴数は合計4,811回、アーカイブ*を含めると4月5日時点で約14,000回の視聴があったことも、我々にとって大きな励みになった。

様々な場面で指摘されることのひとつとして、ISASには「雑談機会」が不足しているということがある。ここで「雑談」とは「話の詳細は覚えていないが、誰が何に興味を持ち、どういう考え方をするのかを知る機会」であり、何であれ、共同して面白いことを開始する第一歩である。TFの働き振りをヒントに、今回を契機に部署を跨ぐテーマでのオンライン発信機会を作り、その準備を通じて雑談を促進できないかと考えている。

（宇宙科学広報・普及主幹 藤本 正樹）

* <https://www.isas.jaxa.jp/topics/002596.html>

連載

超小型探査機

EQUULEUS と OMOTENASHI

世界最大のロケットで
打ち上げる世界最小の探査機

第 5 回

ラグランジュ点から 月面衝突閃光を狙え!

2016年にEQUULEUSに搭載するオプション機器が、柳澤 正久(電気通信大学)、矢野 創(ISAS)、船瀬 龍(東京大学)と私で検討され、世界初の宇宙からの月面衝突閃光(Lunar Impact Flash、以下LIF)の観測は、「将来の有人探査を推進するのに役立つものであること」というNASAの要請*にも合致し、超小型で実証する意義は大きいと意見が一致しました。デルフィヌス(DELPHINUS: DEtection camera for Lunar impact PHenomena IN 6U Spacecraft)すなわち「いるか座」は、夏の夜空に「エクレウス(こうま座)」と並ぶ小さな星座から名を冠しています。

彗星や小惑星を起源とする直径 μm ~mの流星体(メテオロイド)が秒速数10kmで地球大気に入突する際の発光現象が「流星」です。一方、大気の無い月面にメテオロイドが直接衝突すると、LIFが可視光から近赤外波長域で発生します。地球から観測される一般的なLIFは、直径数cm~数10cmのメテオロイドの衝突に伴う、明るさ5~10等級、継続時間0.01~0.1秒の閃光で、1999年「しし座流星群」の際に初めて観測された現象です。

「火球」は、直径が数cm以上のメテオロイドによる稀な流星現象ですが、広大な月面を利用すると、火球サイズの衝突頻度とサイズ分布を約100倍効率良く調査することができます。NASA月周回衛星LROによる月面高解像度撮影から、新しいクレーターが多数発見されており、低重力下の月面では、衝突に伴うクレーター放出物が遠方まで飛ばされること

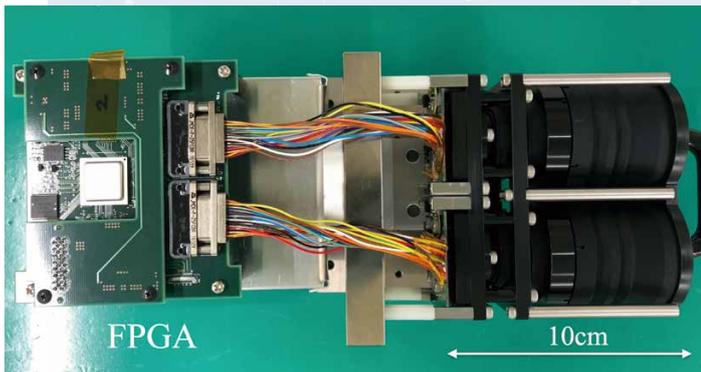


図1: DELPHINUSのフライトモデル

月の夜側の縁

日大の地上望遠鏡(口径40cm/F3.8)
により毎秒60フレームで撮影したLIF

2018年12月15日 17時29分34秒
ふたご座流星群・衝突速度~35km/s
観測R等級=7.3等級
メテオロイド推定直径5.7cm(質量240g)
形成クレーター推定直径~3m

衝突閃光模擬実験

衝突速度~7km/s
ターゲット: 石英砂
プロジェクトイル: ポリカ球(ϕ 4.8mm)
ISAS超高速衝突実験装置

いるか座

DELPHINUS

図2: LIF望遠鏡観測上、LIF模擬実験左下、DELPHINUSロゴマークと「いるか座」(右下)

もわかってきました。つまり継続的なLIF観測は、メテオロイドの衝突と飛散放出物による月面活動へのリスク評価に関わる、重要な月面環境モニターとも言えます。

DELPHINUSの開発では、まず、高感度CCDイメージセンサ搭載で宇宙実績のあるカメラモジュールを、北大と東北大から提供していただきました。次に、太陽離角45度までの観測を達成するため、月面の昼側からの迷光を低減する遮光板をセンサー前に設け、可視光の99.965%を吸収するカーボンナノチューブから構成される「ベンタブラック」を鏡筒内部のコーティングに採用した、焦点距離50mm/F1.4レンズ(設計波長380-750nm)を新規開発しました。カメラが2台あるのは、電気ノイズや宇宙線などの誤検出を除外するためです(図1)。毎秒60枚のVGA白黒画像を連続取得してLIF候補を機上でリアルタイム検出しながらクリップ画像を生成するための画像処理用FPGA基板も新規製作しました。DELPHINUSの各種試験・性能評価や専用画像処理アルゴリズム開発などは、日大、電通大、東大の学生らの研究テーマとしても取り組んできました。

NASA成層圏赤外線天文台「SOFIA」による航空機観測から、月面全体に水分子が存在することが示唆され、NASA月大気・塵探査機「LADEE」に搭載された質量分析器により、年間を通じた多数の流星群極大のタイミングで月面から水蒸気が放出されていることが発見されています。これらの現象を理解する上でも、メテオロイドの月面衝突現象のメカニズムを詳しく知る必要があります。我々のグループでは、地上観測や室内実験にも取り組んでいます(図2)。

米国NASAや欧州NELIOTAでは、これまで計約600イベントのLIFの観測に成功していますが、地上観測では、三日月から半月の限られた観測期間に加え、地球で反射した太陽光が月面夜側を照らす「地球照」という悪条件が重なり、統計的な議論を行う良質なデータが不足しています。超小型探査機EQUULEUSで向かうEML2ハロー軌道からLIF観測を実証し、将来の月周回有人拠点からの定常観測などにも繋げていきたいと考えています。

阿部 新助(あべしんすけ)

》宇宙インフレーションの証拠を 捉えたい

原始重力波の痕跡を検出する

——LiteBIRD(ライトバード)という衛星ミッションに参加しているそうですね。どういう衛星ですか。

LiteBIRDが見るのは、宇宙のはじまりです。宇宙はビッグバンからはじまった、と聞いたことがあると思います。ビッグバンは、確かにありました。天球の全方向からやってくる電波が観測されていて、「宇宙マイクロ波背景放射」と呼ばれています。それは、超高温だった宇宙が膨張しながら冷えて現在の姿になったとする標準理論(ΛCDMモデル)の決定的な証拠です。

一方で、熱いビッグバンは宇宙誕生の瞬間ではなく、その前に急激な加速膨張があったとするインフレーション理論が提唱されています。標準理論では説明できない課題を一挙に解決できるのですが、インフレーションがあったという証拠はまだ捉えられていません。LiteBIRDは、インフレーションの証拠の観測に挑みます。

——インフレーションの証拠とは？

宇宙が加速膨張すると、空間のゆがみが波として伝わる重力波が発生します。重力波は天体の衝突によっても生じますが、インフレーションによって発生するものはそれと区別して「原始重力波」と呼びます。原始重力波が発生していれば、その痕跡が宇宙マイクロ波背景放射に偏光として残っていると予測されています。

しかし、宇宙マイクロ波背景放射の偏光の信号はとても弱く、観測が難しいのです。LiteBIRDでは、望遠鏡全体を5K(0K=-273.15℃)、検出器を100mKまで冷却することで、ノイズを極限まで低減します。偏光観測感度は、これまでの衛星の約100倍です。LiteBIRDは、原始重力波の痕跡を2020年代に確認できる唯一のミッションです。

宇宙のはじまりに惹かれて

——なぜLiteBIRDミッションに参加することになったのですか。

私は以前、国立天文台でアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(ALMA)の観測装置の開発に携わっていました。1996年ごろから建設地を決めるサイト調査にも関わっていたので、ようやく2013年に本格観測が始まってきれいな画像が得られたときは、感無量でした。一方でALMAの受信機が開発が一区切りしたところから、有限の研究者人生でこれから何をやったら一番面白いだろうかと考えていました。

編集後記

宇宙研オンライン特別公開が3/26・27に開催されました。

Youtube JAXA 相模原チャンネルで、今でも視聴可能です。手前味噌ですが、見応えある動画がたくさんありますので、是非ご覧ください。対面で会う嬉しさもありますが、オンラインならではの良さも感じた特別公開でした。(坂東 信尚)

宇宙物理学研究系 教授

関本 裕太郎 (せきもと ゆうたろう)

東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。博士(理学)。東京大学大学院理学系研究科 助手、自然科学研究機構 国立天文台 准教授を経て、2017年より現職。



そのときに思い出したのが、大学院生だった1992年ごろ、NASAのCOBE衛星ミッションを率いたJohn C. Matherさんが来日して行った講演でした。後にノーベル物理学賞を受賞することになる宇宙マイクロ波背景放射の黒体輻射スペクトルの高精度観測の結果を生で聞き、とても感動しました。そして、自分も宇宙のはじまりや歴史を明らかにする研究ができれば、なんて素晴らしいのだらうと思ったのです。

高エネルギー加速器研究機構の羽澄 昌史さんが宇宙マイクロ波背景放射の偏光観測衛星の計画を提案していることを知って大きな魅力を感じ、ワーキンググループに入れていただきました。2017年に宇宙研に移り、今は日本が担当する低周波望遠鏡を含むミッション部の取りまとめをしています。

LiteBIRDは、ヨーロッパがもう1つの中高周波望遠鏡、アメリカが焦点面検出器、カナダが常温読み出し回路を担当しています。打上げは、2020年代後半を予定しています。

観測装置の開発から観測データを手にするまで、とても時間がかかります。しかし観測データの品質は、観測装置の性能で決まります。より高性能・高精度の観測装置を開発すれば、より品質の高いデータを取ることができ、それが宇宙の観測研究を進める上で非常に重要なポイントであり、私は観測装置の開発研究がとても好きです。

——大学院生のときは、気球を用いてガンマ線による宇宙観測を行っていたそうですね。

当時、宇宙研の気球グループには、大変お世話になりました。4～8月は宇宙研に通ってガンマ線観測装置の製作、9～12月はブラジルで実験、1～3月は大学でデータ解析。私の青春時代は、その繰り返しでした。ブラジルでの気球観測は大変でしたが、楽しい思い出です。そのときの経験は、いろいろな意味で今に役立っています。

好奇心と小さな着想と周到な準備

——研究をする上で大切にしていることは？

好奇心と小さな着想をたくさん持つことです。あと周到的な準備を大切にしています。何をやりたいのか、課題を明確にして、3日先、3ヶ月先、3年先までに何を優先すべきかを考え、行動するようにしています。

日常生活は、こだわりを少なくするようにしています。ですが研究では、大きな目標に向かって、石にかじりついてでも頑張っていく粘り強さを持つように心掛けています。



ISASニュース No.481 2021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 藤本 正樹
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