

次期太陽観測衛星計画：SOLAR-C(高感度太陽紫外線分光観測衛星)

① ビジョンの概要

宇宙に如何にして高温プラズマが作られ、そのプラズマで満たされた宇宙空間が過去から現在までどのように発展してきたか、特に「太陽」がこの宇宙空間を通じて太陽系の地球や他の惑星にどのように影響を与えるのかの解明は、太陽系における生命と居住性の条件を確立する上で最も根源的な問いである。

② ビジョンの内容

太陽大気をはじめ、惑星磁気圏、惑星間空間、さらには宇宙空間のほとんどの領域はプラズマで満たされる。これらプラズマが過去から現在までどう作られ発展してきたかを理解すること、特に太陽が宇宙空間を通じて太陽系の地球や惑星にどのように影響を与えるのかは、生命居住可能環境の成立過程と持続条件を明らかにする上で今後数 10 年における最重要の科学課題に位置付けられる。

太陽研究は、地球や惑星に影響を与える源としての太陽を理解するため、太陽プラズマ現象を解明し、太陽と太陽圏環境を一つのシステムとして捉える「太陽圏システム科学」の構築を目指している。

太陽は、超高温太陽大気の形成と太陽風の流出(課題Ⅰ)、太陽フレア・コロナ質量放出の発生(課題Ⅱ)、によって絶えず地球や惑星に多大な影響を及ぼしている。また、これら太陽活動の源になる磁場は約 11 年周期で変動し、それに伴って太陽からの放射強度も変動する。太陽周期活動と放射強度の変動を駆動するメカニズム(課題Ⅲ)は、太陽からの地球や惑星への長期的影響を考える上で重要な研究課題である。

Ⅰについて、太陽表面の上空は 100 万度以上に達する高温プラズマに満たされ、高速の太陽風として流出する。地球などの惑星はこの太陽風の勢力圏内に存在し影響を受ける。しかし、高温大気がどのように形成され、どのように太陽風が加速されているのかは明らかではない。Ⅱについて、太陽表面の磁場に蓄積されたエネルギーが突発的に解放される太陽フレアは、紫外線やX線が通常期よりも数桁強くなると共に、コロナ質量放出や太陽高エネルギー粒子等、地上・宇宙空間の人類活動に脅威を与える。今後人類活動はこれまで以上に宇宙空間へと拡大し、月面有人探査プログラム「アルテミス」計画では、月軌道上や月面、さらには火星圏への進出が予定され、太陽フレア発生の事前予測(宇宙天気予報)へのニーズが増大している。

ⅠおよびⅡは、いずれも磁場とプラズマとが密接に相互作用することで生じる現象であるが、従来の望遠鏡では観測限界のために、その理解に迫ることができていない。本計画「SOLAR-C」は、その理解に迫るために、先導的な観測性能を持つ紫外線分光望遠鏡による太陽観測を 2020 年代後半に開始し、その観測によりプラズマ物理学や原子核物理などに関連した普遍的な宇宙プラズマの理解を推し進め、2030 年代に発展する太陽圏システム科学の物理的基礎とする。さらに、生命誕生時(約 40 億年前)にさかのぼった太陽地球環境の理解も目指すべく、Ⅲにも寄与する。太陽は、解像して観測できる唯一の天体であり、本計画で得られる普遍的な宇宙プラズマの理解を縦横に展開することで、天文学が目指す宇宙の理解に対して波及効果が期待される。

③ 学術研究構想の名称

次期太陽観測衛星計画：SOLAR-C(高感度太陽紫外線分光観測衛星)

④ 学術研究構想の概要

本計画は、太陽表面から太陽コロナ・惑星間空間までのエネルギーと質量の輸送を理解し、宇宙プラズマの中で普遍的に起きている基礎物理過程を検証する。太陽の磁気活動は、基本となる微細な構造間で受け渡される磁気エネルギーを源泉とし、彩層やコロナという高温大気を形成し、太陽面の大規模爆発現象から惑星間空間を乱す擾乱を生み出す。これらの成因を理解するため、基本となる磁気構造を広範な温度領域で追跡し、それらの運動や相互作用を通して、磁気エネルギーの輸送過程や散逸過程を定量化することを目的としている。観測装置として極端紫外線域の高分散撮像分光器を用い、太陽大気の彩層から太陽コロナに至る温度領域を隙間なく観測する。太陽大気全体にわたり、プラズマのダイナミックな現象に追従するため、観測装置は以前に飛翔したものに較べておよそ 1 桁以上の性能(空間・時間分解能、波長範囲)向上を見込む。



図 1 SOLAR-C のビジョン

⑤ 学術的な意義

本計画には太陽研究の優先度を示す2つの側面がある。一つは、太陽で起きる物理現象が宇宙で起きる物理現象に敷衍することができる点である。多様な太陽活動現象は宇宙に普遍的に見られるダイナミクスの雛形である。本計画で、天体プラズマで起きる物理現象の理解に重要な基礎物理過程の洞察や知見が得られ、それらは天体物理学の幅広い分野へ応用することができる。二つ目は、太陽の磁場構造やそこで起きる大規模な活動が、太陽系空間や地球磁気圏を介して地球周辺の宇宙空間環境（宇宙天気）を支配する点である。人工衛星や測位技術（GPS）など宇宙に基盤をおく先進的な技術への依存度が増え続けている現在、この宇宙空間環境の変動が直接、我々の日常生活にも結びついている。本計画は、地球環境、社会環境に直接影響を及ぼし得る、太陽からの大規模噴出や太陽風の起源と動力学に関する知見を大きく発展させるものである。突發現象の発生を物理的により確度をもって予測できるようになると、それらが社会インフラに及ぼすダメージを軽減することができるだろう。さらに、宇宙プラズマの基礎物理及び太陽の地球環境への影響の理解は、約40億年前に地球に生命が誕生した際の太陽地球環境の理解に発展させることができる。本計画はどのようにして地球に生命が誕生したかの理解にもつながる。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

本計画は、彩層からコロナの隙間ない同時分光観測を行う衛星に国際的に位置付けられる。太陽光球～彩層の磁場計測は大型地上望遠鏡 DKIST（NSF：2022 年運用開始）により、コロナ高解像度撮像は MUSE 衛星（NASA：2020 年代後半）により実現され、本計画はこれらとの戦略的・相補的な連携観測を実現する。また、2020 年代後半には Solar Orbiter（ESA）が太陽に接近し内部太陽圏の観測や太陽極地方の撮影を行う。



図2 SOLAR-C 衛星の外観

本計画は DKIST の太陽表面観測と、探査機による内部太陽圏観測とを物理的に結びつける観測を行い、太陽表面からコロナ・惑星間空間へのエネルギー・質量輸送の理解において中心的役割を果たす。その観点から、本計画は国内外の太陽・太陽圏コミュニティにて最優先で実現すべき計画として位置付けられている。

⑦ 社会的価値

天文学分野の中で、国民が実社会との関わりを感じやすいのが太陽の研究である。太陽フレア爆発・噴出により社会インフラである気象・通信衛星や発電システム等が影響を受けるほか、太陽磁気活動が弱まった時期に地球が寒冷化したという事実があり、太陽活動が実社会に与える影響は大きい。輻射や太陽風・コロナ質量放出を通じて、太陽圏に広がる太陽大気の物理特性を理解することは、生命誕生時の太陽地球環境の推定に貢献し、太陽系の生命や生命居住可能環境に関する条件を確定するにも重要である。これらの研究に大きく寄与する本計画は、単に知的な好奇心に基づく価値に留まらず、国民生活になくてはならない高度化した社会的基盤の安全性確保にとって必要な学術的な知見を得ることができ、国民に理解されやすいものとなっていると考えられる。また、本計画における開発によって獲得される技術は、科学衛星のみならず、我が国の地球観測衛星や官需実用衛星等の高度化にも貢献することが見込まれる。

⑧ 実施計画等について

＜実施計画・スケジュール＞ 打上げ目標を 2028 年度（2028 年 11 月）に置く。JAXA プロジェクトチームが 2024 年 3 月に発足、衛星システムおよび EUVST 望遠鏡の開発を進め、2028 年度中の完成を目指す。打上げ後、軌道上での性能評価後に、2 年間のノミナル観測を行う。観測データは速やかに公開される。

＜実施機関と実施体制＞ 実施主体は JAXA 宇宙科学研究所で、国立天文台が EUVST 望遠鏡開発において主導的な役割を担う。名古屋大学宇宙地球環境研究所（ISEE）は、観測データ校正等を行うサイエンスセンターを運営する。また、JAXA 主導の国際協力ミッションとして米国および欧州の宇宙機関が参加する。

＜所要経費＞ 235 億円。内訳は、衛星システムおよび EUVST 望遠鏡開発等の建設費 232 億円（予備費 22 億円を含む）、ノミナル2ヵ年の軌道上運用を行う運営費約 3 億円である。他に、米国および欧州各国が分担製作する分光器コンポーネントの開発費やデータ受信経費を負担する。

⑨ 連絡先

清水 敏文（JAXA 宇宙科学研究所）