

太陽 X 線・ガンマ線観測衛星 PhoENiX

① ビジョンの概要

宇宙・物質・空間は何故できたのか？太陽系と生命はどのように生まれて来たか？これらは宇宙科学における根本的な問いである。この非常に大きな問いに挑むために、我々は「高いエネルギーにまで達するプラズマ加速現象の普遍性と、太陽や恒星におけるプラズマ加速現象が惑星の環境と居住可能性に与える影響を理解する。」というビジョンを設定した。これは、科学の観点だけでなく、宇宙に生きる我々の活動にも関わるビジョンである。

② ビジョンの内容

このビジョンの前半は、宇宙・物質・空間は何故できたのか？という問いに直結するものである。宇宙を満たす物質は、そのほとんど (99%以上) がプラズマ状態にあると考えられており、宇宙の至る所で超高温状態や加速状態 (温度という指標では測れない高エネルギー状態) になったプラズマが見つっている。これはプラズマがエネルギーを獲得して加速されていることの査証であり、これらの現象の普遍性を理解することは、宇宙の活動を理解する上で不可欠である。そして、この普遍性の理解において鍵となるのが、磁気再結合と呼ばれるプラズマ中のプロセスである。磁気再結合は、磁場中に蓄えられた磁気エネルギーを爆発的に解放し、そのエネルギーを熱や運動エネルギーに変換することができるため、プラズマの効率的な加熱・加速機構として注目されている。さらにこのプロセスは、様々なプラズマ環境で発動することが可能で、宇宙における様々な規模の爆発現象に関係していることがわかってきている。我々は、この磁気再結合を手がかりとし、エネルギーの解放・変換・輸送を理解することで、宇宙の活動の普遍性に挑む。

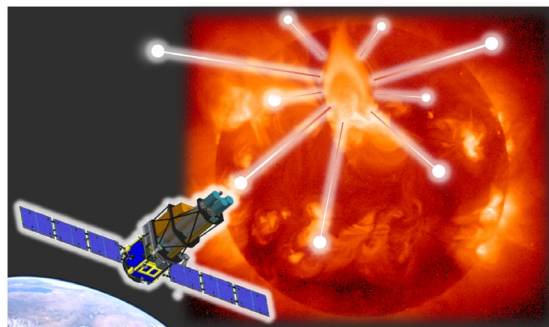


図 1 PhoENiX 計画イメージ図

一方、このような高エネルギー現象は、太陽や地球磁気圏においても発生しており、その影響は時に甚大なものとなる可能性がある。例えば、太陽でフレアが発生すると、通信障害、GPS 測位精度の低下、電子機器障害、高高度にいる人体への放射線障害、大気膨張による衛星軌道の変化 (衛星の落下)、高緯度地域での停電などを引き起こす可能性がある。GPS や衛星通信といった人工衛星を用いたインフラが社会生活に不可欠となり、月への進出など人類の宇宙活動が今後益々盛んになる昨今、太陽フレアの発生およびその影響範囲を調査・予測することが急務となっている。これは宇宙天気予報と呼ばれ、一般にも報道される機会が増えている。このような動きは、本ビジョンの後半の重要性を裏付けるものと言える。

一方、このような高エネルギー現象は、太陽や地球磁気圏においても発生しており、その影響は時に甚大なものとなる可能性がある。例えば、太陽でフレアが発生すると、通信障害、GPS 測位精度の低下、電子機器障害、高高度にいる人体への放射線障害、大気膨張による衛星軌道の変化 (衛星の落下)、高緯度地域での停電などを引き起こす可能性がある。GPS や衛星通信といった人工衛星を用いたインフラが社会生活に不可欠となり、月への進出など人類の宇宙活動が今後益々盛んになる昨今、太陽フレアの発生およびその影響範囲を調査・予測することが急務となっている。これは宇宙天気予報と呼ばれ、一般にも報道される機会が増えている。このような動きは、本ビジョンの後半の重要性を裏付けるものと言える。

③ 学術研究構想の名称

太陽 X 線・ガンマ線観測衛星 PhoENiX (Physics of Energetic and Non-thermal plasmas in the X-region)

④ 学術研究構想の概要

本 PhoENiX 計画は、太陽フレアをはじめとする、太陽での高エネルギープラズマ現象を観測・研究対象とし、人工衛星を用いて X 線とガンマ線を観測する計画である。そしてビジョンの実現に向け、

- ・太陽において、プラズマはどのようにして超高温にまで加熱されるのか？
- ・太陽において、粒子はどのようにして加速・輸送されるのか？
- ・太陽において、粒子のエネルギーはどのように熱的・非熱的成分に分配されるのか？

という 3 つの科学目標を設定した。そのために、高いダイナミックレンジ (明るい場所も暗い場所も同時に観測できる能力) を確保した軟 X 線～硬 X 線の 2 次元集光撮像分光観測 (空間、時間、エネルギー分解能を同時に有する観測) と、高精度の硬 X 線～軟ガンマ線の偏光分光観測 (時間、エネルギー分解能と偏光診断能力を同時に有する観測) を行う。これらの観測手法を用いた太陽の観測は、世界初の試みであり、高精度ミラーと高速度カメラ・高精度検出器といった日本が持つ最先端国産技術を用いて実現する。衛星の打ち上げは、第 26 太陽活動周期の極大期付近 (2036 年頃) を目指している。

⑤ 学術的な意義

PhoENiX 計画が観測・研究対象のひとつに据えるのが、太陽フレアである。その理由は、地球からの距離が

近く、磁気再結合が生み出す構造群を空間分解して観測できる唯一の宇宙プラズマ現象という極めてユニークな特徴を持つからである。しかし、この様に観測対象として恵まれた特徴を持つ太陽であっても、太陽フレアにおける高エネルギー現象、特に粒子の加速機構は、その理解に至っていない。その理由は、粒子の加速にはマイクロからマクロなスケールの物理が介在しているが、太陽フレアの場合、そこに 1m~1 万 km という 7 桁ものギャップが存在するためである。加えて、観測手法・技術の限界から、既存の高エネルギープラズマの観測は、グローバルスケール (10 万 km) に留まっているのも理由である。本計画は、この状況を打ち破り、太陽フレア粒子の加熱・加速・輸送・エネルギー分配を理解することを目的とし、プラズモイドや衝撃波といったマクロスケールの加速源候補を空間・時間・エネルギー分解し、定量的な評価を行う。加えて数値計算も活用し、観測情報から物理 (マクロスケール以下の物理を含む) を引き出す。このように本計画が実現すれば、粒子の加速機構解明のために埋めるべき 7 桁のスケール間ギャップのうち、2 桁以上を埋めることが可能となり、粒子の加速を含めた太陽フレアの理解に大きなブレークスルーをもたらすことができる。

一方、宇宙プラズマにおけるギャップはさらに大きく 15 桁以上に及ぶものもある。本計画によって太陽における高エネルギー粒子の物理の理解を進めることは、様々な宇宙プラズマ環境での高エネルギー現象の理解の足掛かりとなり、宇宙の活動を統一的に理解する上で極めて重要な第一歩となると期待される。

また、この様な基礎学問的な価値に加えて、太陽フレアの発生およびその影響範囲を調査・予測することが宇宙天気観測から急務となっている。太陽フレアが生み出す高エネルギー粒子の詳細な観測を行う本計画は、この観点からも極めて重要な役割を果たす。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

近年、太陽における高エネルギー現象、特に、太陽フレアにおける粒子の加速を研究する流れが世界的に高まっている。本 PhoENiX 計画を主導する日本チームも参加する観測ロケット実験 FOXSI の大成功を受け、太陽フレア硬 X 線観測衛星のコンセプトが欧米で検討され始めている。また、科学検討においては、粒子加速研究のためのサイエンスセンターが NASA の予算で設立されるなど、ホットな研究トピックとなっている。

国内においては、太陽フレアも観測対象とする高感度太陽紫外線分光観測衛星 SOLAR-C が 2020 年代後半の打ち上げ予定で推進されている。この衛星では、加速された粒子の情報を得ることは困難であるが、加速を生み出す背景場の情報を詳細に診断することが可能であり、本計画実現時には大きな相乗効果が期待できる。

このように太陽研究の黄金期を迎えようとしている状況の中、本計画は、唯一、軟 X 線帯域からの集光撮像分光観測と軟ガンマ線帯域での偏光分光観測を行えるユニークな装置を備えており、他の計画と相補的であると同時に、その独自性の価値が高く評価されている。

⑦ 社会的価値

太陽は最も身近な天体であり、そこで起きる現象の理解は知的価値だけに留まらない。例えば、太陽フレアによって生成される高エネルギー粒子や X 線などの電磁波は、地球周辺の宇宙環境に大きな影響を及ぼす。本計画が目指す太陽フレア粒子の加熱・加速・輸送・エネルギー分配の理解は、フレアによる宇宙天気変動の理解や社会環境への影響の把握を通じて社会へ貢献し得る (SDGs 目標 11「住み続けられるまちづくりを」への貢献)。また、日本は 1980 年代から世界の X 線観測をリードし第一級の科学成果を創出してきたが、本計画は、X 線観測を発展させてきた高エネルギー宇宙物理分野と太陽物理分野の連携の系譜を汲んだ計画であり、日本が育んできた科学研究、高等教育、観測技術を継続、発展させていく上でも重要である (目標 4「質の高い教育をみんなに」)。加えて本計画は、高精度ミラー、半導体検出器、金属 3D プリンターなどの最先端技術を活用しており、工学・産業分野との連携で成り立っている。本計画を通じて新たな技術の獲得が進んでおり、今後も更なる波及効果が期待できる (目標 9「産業と技術革新の基盤をつくろう」)。

⑧ 実施計画等について

＜実施計画＞ 打ち上げと観測開始は、第 26 太陽活動周期の極大期付近である 2036 年頃を想定。

＜実施機関＞ 本計画は、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所 (ISAS/JAXA) の公募型小型計画の枠組みの中で構築する計画で、実施機関は ISAS/JAXA を想定している (計画採択後に ISAS/JAXA 内に体制構築予定)。

＜所要経費＞ 約 180 億円 (概算) ※ 検討～2 年間の運用に必要な経費。運用延長の場合は別途経費が必要。

⑨ 連絡先

成影 典之 (国立天文台・太陽観測科学プロジェクト)