

太陽 X 線・ガンマ線観測衛星 PhoENiX

① ビジョンの概要

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そのような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、宇宙・物質・空間は何故できたのか。太陽系と生命はどの様に生まれて来たか。という宇宙科学における根本的な問いに繋がるものである。即ち、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。

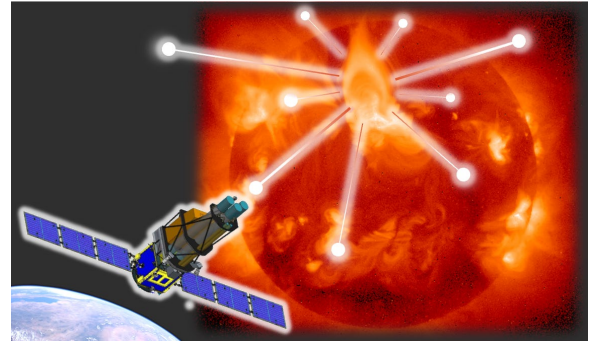


図1 PhoENiX 計画 イメージ図

② ビジョンの内容

本計画のビジョンは「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そのような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。」ことである。

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まっている。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の理解に挑む。これは、宇宙・物質・空間は何故できたのか、という問いへの答えに繋がっていくものである。

また、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、それによって生じた X 線やガンマ線といった高エネルギーの電磁波や、加速された粒子、プラズマの塊などが宇宙空間に放出される。これらは高いエネルギーを有しており、地球や衛星軌道に到達すると、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、本ビジョンの重要性を裏付けるものと言える。原始太陽は今よりも活動的であり、地球に対する影響は現在の比ではない。高いエネルギーを有する電磁波や粒子は、突然変異のきっかけともなりうるもので、その影響を調査することは、太陽系と生命はどの様に生まれて来たか、という問いにも関連する。

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。先に述べたビジョンの実現に向け、PhoENiX 計画では、

- ・ 太陽フレアにおいて、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。
- ・ 太陽フレアにおいて、粒子はどのようにして加速・輸送されるのか。
- ・ 太陽フレアにおいて、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フレア観測は、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 太陽活動周期の前半から極大期付近にかけて（2034 年頃以降）を目指している。本計画は、理学分野（太陽物理学、地球惑星磁気圏プラズマ物理学、高エネルギー宇宙物理学、実験室プラズマ物理学）の研究者らに加え、計画推進に必要な技術を持つ工学分野の研究者らも参加する分野間連携の体制で実施する。

⑤ 学術的な意義

本 PhoENiX 計画が観測・研究対象とするのは、太陽系最大の爆発現象である太陽フレアである。その理由は、太陽は地球からの距離が近く、太陽フレアは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。しかしながら、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 1 m～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（約 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、観測と数値計算の連携によって、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イクスルーをもたらすことができる。また、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フレア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、その波及効果として、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。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

近年、太陽フレアにおける高エネルギー現象、特に、粒子の加速を研究する流れが世界的に高まっているが、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

先に述べたように、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。つまり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、日本が育ててきた科学研究、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、今後も更なる工学・産業分野への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

打ち上げと観測開始は、太陽活動第 26 周期の活動上昇期である 2034 年頃を想定している。

本計画の実施体制は、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所（以下、ISAS/JAXA）の公募型小型計画の枠組みの中で構築する計画である。従って、実施機関としては、ISAS/JAXA を想定している（計画の採択後に ISAS/JAXA 内に体制が構築される予定）。所要経費は約 180 億円であるが、これは検討～2 年間の運用に必要な日本負担分の総経費である。運用を延長する場合は別途経費（年間 0.3～0.5 億円）が必要となる。

⑨ 連絡先

成影 典之（国立天文台）