

POEMMA 超高エネルギー粒子 (ν ・宇宙線) の衛星軌道からのステレオ観測

① ビジョンの概要

超高エネルギー宇宙線の起源は、宇宙物理学上の謎の一つとなっている。地上からの観測でヒントが見えてきたが統計不足で解明に至っていない。衛星軌道から高感度・高精度・高統計で全天観測しこれを解明する。そして、この手法は、マルチメッセンジャー天文学に荷電粒子天文学と超高エネルギーニュートリノ観測のチャンネルを加える。

② ビジョンの内容

宇宙線は、宇宙空間を飛び交う超高エネルギーの粒子(陽子や原子核など)で、地球にも到来している。1912年に発見されて以来、宇宙線の研究により様々な新粒子やニュートリノ振動現象の発見などがなされた。超高エネルギー宇宙線(UHECR: Ultra-High Energy Cosmic Rays、 5×10^{19} 電子ボルト以上のエネルギー)の研究は、素粒子物理学、天体物理学、宇宙論の分野にブレークスルーを起こす可能性を秘めている。その起源と加速機構は謎となっている。地上での観測からヒントが見えてきたが統計不足のため特定に至っていない。これを解決する有力な方法の一つは、衛星軌道から全天を監視し、UHECRが大気中で作るカスケードシャワー粒子(主に電子)を高感度・高精度・高統計で撮像観測することである。空気シャワー粒子は、大気中に紫外線

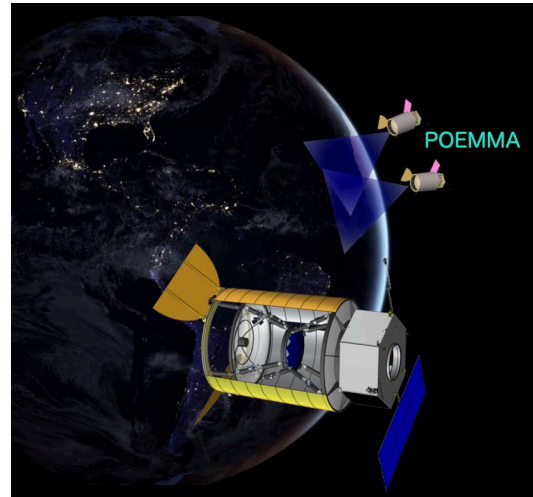


図1 衛星2機(POEMMA)のステレオ観測の様子

蛍光の軌跡やシャワー前方に発生するチェレンコフ光を生成する。この手法は、荷電粒子による天文学という新しいフィールドをつくる。さらに、広大な大気をターゲットに用いるため地上観測より高いエネルギーのニュートリノの観測を実現する。この手法により、マルチメッセンジャー天文学に2つのチャンネルを加え、超高エネルギー宇宙の理解を加速させる。また、これまでの観測で、宇宙線が作る空気シャワーからのミュー粒子の量とLHC等の加速器実験から推定する量に差異があることが知られている。軌道からの詳細な観測は、素粒子物理・超高エネルギー物理にヒントを与える可能性がある。今後の10年で、軌道投入と観測開始を目指している。この観測で、起源天体と加速機構の解明がなされると考えている。以後の10~20年は、後継衛星による国際宇宙天文台としてマルチメッセンジャー天文学に貢献することを目指す。以上が、本提案の今後20~30年先を見通したビジョンである。

③ 学術研究構想の名称

POEMMA 超高エネルギー粒子 (ν ・宇宙線) の衛星軌道からのステレオ観測

④ 学術研究構想の概要

UHECRの起源と加速機構を解明するため、軌道上から全天を広視野・高感度・高精度で観測する。POEMMA(Probe Of Extreme Multi-Messenger Astrophysics)は、衛星2機のステレオ観測でUHECRと超高エネルギーニュートリノを観測し、その起源を探索する国際ミッションである(図1)。2030年初頭の打ち上げを目指している。シカゴ大学のAngela V. Olinto教授が推進し、米国、日本、フランス、イタリアなど16カ国の研究者が参加する。POEMMAは、Auger、Telescope Arrayの研究者も参加する超高エネルギー粒子の国際宇宙天文台となる。観測露出量は、地上最大のAugerの20倍以上(図2)となり、10個程度の点源検出を期待している。さらに、超高エネルギーニュートリノの初検出と測定が可能で、特にタウニュートリノがつくる上向きに発達する空気シャワーの観測によりCosmogenicなニュートリノの直接検出が可能である。POEMMAは、マルチメッセンジャー天文学の装置として連動が可能である。POEMMAは、米国のAstro2020の候補の一つとして審査を受け、今後推進すべき計画の一つと評価を得ている。

⑤ 学術的な意義

対象にしている宇宙線のエネルギー領域は、 10^{20} 電子ボルトという極限的なエネルギーを持つ領域である。天体での加速の理論的境界は天体サイズと磁場の強さの積で決まるとされている。超強磁場中性子星、活動銀河中心核ジェット、ガンマ線バースト、電波銀河、銀河団などが条件を満たすが、まだ起源天体は特定されていない。宇宙線の発見から 110 年が経つが、起源は大きな謎の一つである。POEMMA による軌道から南天・北天の全天を高感度・高精度で観測し起源探査を行う。起源天体が特定されると、マルチメッセンジャー天文学を構成する様々な観測から総合的な研究が進み、高エネルギー宇宙の理解が加速的に進むと期待される。その後、次世代の衛星による継続観測が行える環境を構築し恒常的な国際宇宙天文台としてマルチメッセンジャー天文学に貢献することを目指している。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付

UHECR の起源探査は、POEMMA の宇宙からの観測の他に、地上で観測面積を大幅に拡大する GCOS (The Global Cosmic Ray Observatory) の提案がある。10 年かけて観測面積を $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ (Auger の約 13 倍) に拡大する。土地確保と大量の検出装置の較正・管理・維持に課題があり、全天観測を行うには南半球と北半球に分割が必要となる。POEMMA は、このような困難さはなく、全天の観測が可能である。一方、GCOS のメリットは、衛星と違い長期間の観測が可能である点である。POEMMA のメリットは、軌道から広大な大気をターゲットにするため高エネルギーニュートリノの観測能力も有する点である。

⑦ 社会的価値

宇宙物理学上の謎である UHECR の起源の解明は、宇宙を理解したいという人々の知的好奇心を満たしうる。観測に用いる高度な各種技術は、精密測定・制御が必要な工業分野へ利用でき、経済的・産業的価値の創出に寄与する。また、近年、宇宙デブリの増加により、宇宙インフラや人類の宇宙活動に支障が出る懸念されている。望遠鏡技術は、宇宙デブリ除去へ利用できる。小さな宇宙デブリ (直径 1~10cm) は、検出が困難で危険とされ、数は 10 万個にもおよぶ。POEMMA は、これを検出・追跡が可能である。別途レーザー装置を用意すれば、その情報を用いレーザーを照射しデブリ表面にプラズマアブレーションを発生させ反力で大気圏突入に導き除去することができる (doi:10.1016/j.actaastro.2015.03.004)。POEMMA は、人類の宇宙活動の安全に貢献できる。

⑧ 実施計画等について

実施計画・スケジュール POEMMA は、2030 年初頭の打ち上げ・観測開始を目指している。実施の承認を得た年を X 年とし、X 年から 5 年間で設計と製造を行う。X+5 年に軌道投入し、X+5 年から 1 年間、初期観測を行う。X+8 年までの 2 年間、定常観測を行う。その後の 2 年間、エキストラ観測を行う。以後は、衛星の状態に応じて運用を決定する。並行して、POEMMA の後継衛星を X+8 年頃から検討を開始する。

実施機関と実施体制 シカゴ大学の Angela V. Olinto 教授が推進し、米国、日本、フランス、イタリア、スイスなど 16 カ国の国際 JEM-EUSO コラボレーションの研究機関・研究者が参加する。これまで、必要な技術開発を国際 JEM-EUSO コラボレーションの枠組みで行ってきた。米国は、ミッション立案、望遠鏡・衛星の設計・製造、軌道投入、衛星運用、データ運用の全般を担う。欧州では、焦点面検出器の製造の分担、解析ソフトウェアの開発、米国チームの作業への協力を行う。日本は、補正レンズの製造と評価、焦点面検出器の製造の分担、解析ソフトウェアの開発、米国チームの作業への協力を行う。

総経費は、1,000 億円である。衛星 2 機の打上費用、運用と観測データの管理も含んでいる。日本は、補正レンズ製造と焦点面検出器製造の一部を担当する。焦点面検出器は、国際 JEM-EUSO コラボレーションで、それぞれ分担する予定である。日本における予算は、総額 4.03 億円である。

⑨ 連絡先

滝澤 慶之 (理化学研究所・光量子工学研究センター)

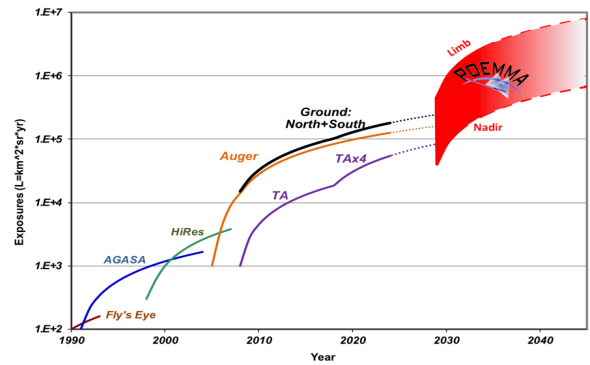


図 2 POEMMA の観測露出量と他の観測実験の比較