

極高エネルギー宇宙線国際共同観測実験(Global Cosmic Ray Observatory, GCOS)による次世代天文学の開拓と極限宇宙物理現象の解明

① ビジョンの概要

宇宙に存在する高エネルギーの放射線「宇宙線」は、激烈な極限宇宙物理現象との関わりはもちろんのこと、宇宙の成り立ちや物質創生・循環、太陽・惑星・銀河といった多様な天体の進化にも重要な役割を担っている。本ビジョンでは宇宙線の起源解明およびその応用分野を含む『宇宙線学』の飛躍的な発展を目指す。

② ビジョンの内容

宇宙線の研究は、その起源および加速機構が極限宇宙物理現象と密接に関わっているだけでなく、素粒子と物質とのあらゆる相互作用の標本を見せてくれることから原子核物理学とも関わりが深く、素粒子物理学においては加速器未到達エネルギーでの先駆的な新物理探査の役割を担っている。宇宙線観測を利用することで、過去 1000 年以上の太陽活動の履歴、銀河系内外の磁場強度および構造、雷雲に伴う物理現象も調べることができ、太陽・地球物理学においても有用な手段のひとつとなっている。また、宇宙線は、宇宙の成り立ちや物質創生・循環にも密接に関連し、太陽・惑星・銀河といった多様な大きさの天体の進化にも重要な役割を担っている。基礎学問としての宇宙線研究、幅広い文理融合の学際研究やその応用分野を、分野の垣根を越えた研究者間の有機的なつながりによって「宇宙線学」の飛躍的な発展を目指すことを本学術構想のビジョンとする。

③ 学術研究構想の名称

極高エネルギー宇宙線国際共同観測実験(Global Cosmic Ray Observatory, GCOS)による次世代天文学の開拓と極限宇宙物理現象の解明

④ 学術研究構想の概要

宇宙空間に存在する放射線は「宇宙線」と呼ばれ、これまでの観測で 10 の 20 乗電子ボルトを超える「極高エネルギー宇宙線」の存在が明らかになった。この極高エネルギー宇宙線は、その極めて高い運動エネルギーのために宇宙磁場で曲げられにくく、その到来方向は起源方向に集中することが期待される。そのため、宇宙線の起源・加速機構や宇宙での極高エネルギー物理現象を明らかにするための次世代の天文学『極高エネルギー宇宙線天文学』として注目されている(図 1)。これまで、南北半球それぞれで世界最高感度を誇るテレスコープアレイ実験とピエールオージェ観測所で 15 年以上の定常観測が続いているが、10 の 20 乗電子ボルト以上の宇宙線はわずか約 60 事象しかなく、起源について決定的な証拠は見つかっていない。

本研究戦略では、宇宙線の起源・加速機構の解明をめざし、極高エネルギー宇宙線への感度を一桁以上向上させる次世代の宇宙線国際共同観測実験(Global Cosmic Ray Observatory, GCOS)を建設する(図 2)。GCOS では、黎明期から発展段階に入った極高エネルギー宇宙線天文学を飛躍的に成長させ、極限宇宙の新しい姿を明らかにするための新たな天文学手法を完成させる。宇宙線の起源が特定できれば、電波・赤外線・可視光・紫外線・X 線・ガンマ線の多波長観測、そしてニュートリノ・重力波



図 1 次世代天文学として期待されている『極高エネルギー宇宙線天文学』



図 2 極高エネルギー宇宙線国際共同観測実験(Global Cosmic Ray Observatory, GCOS)の概念図。世界中の宇宙線観測装置の拡張・新設によって、現状より一桁以上高い感度で極高エネルギー宇宙線を検出し、極限宇宙物理現象を解明する

を加えたマルチメッセンジャー天文学により、極高エネルギーへの加速機構や極限宇宙物理現象を詳らかにする。さらには、起源天体と地球までの宇宙線の伝搬過程から宇宙磁場の構造・強度を検証でき、また加速器未到達エネルギーでの新物理探査など、近隣分野との相乗効果による新たな研究領域の創生も期待される。

⑤ 学術的な意義

1912年に飛翔体を用いた高度ごとの放射線量の測定により、宇宙空間に存在する高エネルギーの放射線「宇宙線」が発見された。これまでの観測で10の20乗電子ボルトを超える巨視的なエネルギーを持つ「極高エネルギー宇宙線」の存在が明らかになっている。このエネルギーは、地球最大の粒子加速器を使って到達できるエネルギーよりも1000万倍以上も大きく、宇宙空間に極高エネルギー宇宙線を生み出す極限的な宇宙物理現象の存在を示唆している。この巨視的なエネルギーを持つ宇宙線は、ガンマ線バーストや活動銀河核の中心にある超巨大ブラックホール、強磁場中性子星といった激烈な天体物理事象による加速か、もしくは初期宇宙にできた位相欠陥、暗黒物質候補の超重粒子の崩壊といった標準模型を超える新物理を起源に持つと考えられている。しかし、現在までの観測で極高エネルギー宇宙線の起源・加速機構については明らかになっておらず、現在の天文学、宇宙物理学、素粒子物理学において解明すべき最重要課題のひとつとなっている。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

GCOSは、これまで地上での極高エネルギー宇宙線研究を最前線で競ってきたテレスコープアレイ実験とピエールオージェ観測所の研究者が協力し、世界中の宇宙線観測装置の拡張・新設によって「世界でひとつ」の宇宙線国際共同観測実験を実現する計画である。そのため本研究構想は、現状よりも一桁以上も高い宇宙線への感度と高精度な極高エネルギー宇宙線観測を兼ね備えた唯一の計画となっている。

⑦ 社会的価値

宇宙でもっともエネルギーの高い宇宙物理現象の解明を目的とし、極高エネルギー宇宙線による次世代天文学に挑戦する本研究構想は、野心的であり学術的価値は非常に高い。黎明期にある極高エネルギー宇宙線天文学を飛躍的に成長させ、極限宇宙の新しい姿を観る次世代の天文学となることは、社会においても知的好奇心を刺激する研究内容となるだろう。

⑧ 実施計画等について

＜実施計画・スケジュール＞

【1～2年目：検出器デザインの決定】 現在よりも一桁以上大きい極高エネルギー宇宙線への感度を実現するために、粒子種の識別能力が高く、広い面積を安価でカバーする検出器を製作する。検出器の最終デザインの決定と、今後の量産体制を見据えた製造・試験システムを構築する。

【3～7年目：検出器の設置開始、初期解析】 その後の5年間で、検出器の量産と設置を進めていく。設置後は、検出器の較正データの取得や初期データ解析、日々のモニターシステムの構築を進め、定常観測へ向けた準備を進める。

【8～10年目：定常観測、物理解析結果の公表】 すべての検出器の建設完了後、3年間定常観測を実施する。極高エネルギー宇宙線観測において世界最高感度を達成し、得られた結果を学術論文として公表する。

＜実施機関と実施体制＞ GCOS全体の創始メンバーの共同研究者の13名は、日本、アメリカ、ドイツ、オランダ、スペイン、イタリア、ベルギーの研究機関からの研究者という、ダイバーシティに富んだ国際共同研究組織になっている。日本国内での現時点での参加機関は、大阪公立大学、東京大学、神奈川大学、信州大学、大阪電気通信大学、金沢大学、九州大学、東北大学、名古屋大学、中部大学、京都大学、千葉大学と12機関にわたる。日本国内では、2023年9月にGCOS-Japanコンソーシアムを結成し、現在の参加者は34名である。それぞれのタスクおよびタスクリーダーは、地表粒子検出器は東京大学宇宙線研究所の木戸英治氏、大気蛍光望遠鏡は大阪電気通信大学の多米田裕一郎氏、起源・加速・伝搬の理論は東京大学理学系研究科の大平豊氏、ハドロン相互作用は名古屋大学ISEEの毛受弘彰氏、アウトリーチ・教育は金沢大学の方井祐子氏が担当している。

＜総経費＞ 総経費 250 億円（うち日本国内負担額 100 億円）

⑨ 連絡先

藤井 俊博（大阪公立大学 大学院理学研究科 / 南部陽一郎物理学研究所）