

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。また、宇宙線を応用することで、ピラミッド内の透視や文化財の非破壊分析が実現できるなど考古学分野でも活躍している。そのようなことから、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

宇宙線の研究は起源および加速機構の解明や、宇宙での極限的天体現象との関連から宇宙物理学と密接に関わっているが、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。また、宇宙線観測を利用することで、過去1,000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。加えて、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うことが明らかになっている。近年では、火山やピラミッドの透視、文化財の非破壊分析といった宇宙線の応用分野も発展しており、考古学分野に新たな知見を提供している。さらには、原子炉の摩耗状態の把握、断層の存否や堤防の劣化状態の確認といった防災学にまで活躍の場を広げている。そのため、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繋がりによって『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。

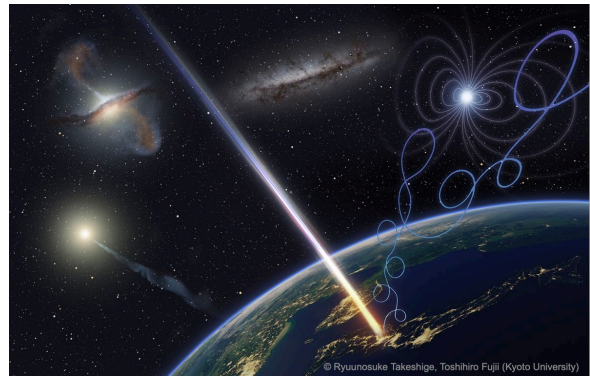


図1 GCOSで開拓する極高エネルギー宇宙線天文学の概念図。極高エネルギー宇宙線は宇宙磁場中をほぼ直進するため、到来方向が起源方向を指し示すと期待されている。背景には宇宙線起源の候補天体である活動銀河核や星形成が非常に活発な銀河、強磁場星といった極限宇宙物理現象の天体を拡大して表示している

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高エネルギーの放射線は宇宙線と呼ばれ、これまでの観測から10の20乗電子ボルトを超える宇宙最大のエネルギーを持つ「極高エネルギー宇宙線」の存在が明らかになった。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。これまでに、南北半球それぞれで世界最高感度を誇る望遠鏡アレイ実験とピエールオージェ観測所で10年以上の定常観測が続けられているが、10の20乗電子ボルト以上の宇宙線は約50事象しかなく、極高エネルギー宇宙線の起源についての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・加速機構を解明するために、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国際共同観測実験(GCOS)を建設する。GCOSはこれまで“TA2”と呼ばれていた計画に相当し、望遠鏡アレイ実験とピエールオージェ観測所の枠組みを越えて新たに組織された国際共同観測実験である。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次世代天文学を開拓する。

⑤ 学術的な意義

【背景、学術的重要性】 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乗電子ボルトすなわち10ジュール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7桁以上も大きく、宇宙空間に極高エネルギー宇宙線を生み出す極高宇宙物理現象が存在することを示している。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的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、そして素粒子物理学において解明される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一致団結し、次世代の宇宙線観測実験を建設する計画である。そのため、極高エネルギー宇宙線観測の叡智を集結した唯一無二の国際共同実験となっている。さらに、地上実験であるために不具合検出器の修理・修繕・改良が容易という利点があり、予期していない問題が発覚した際にも迅速な対応ができ、確実な研究遂行が期待される。他の検出手法としては、宇宙線から発する電波を検出する手法が提案されているが、極高エネルギー宇宙線の観測における自己トリガーの実現や系統誤差の大きさなど自明ではない点が多い。そのため、本研究構想は、経験豊富な研究者たちによって高精度な宇宙線観測を確実に遂行でき、現状よりも一桁以上高い感度を実現できる唯一の計画となっている。

⑦ 社会的価値

宇宙で最もエネルギーの高い宇宙物理現象の解明を目的としており、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、野心的であり知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“眼”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

1～2年目には、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の検出器案への決定と、量産体制へ向けた準備を進める。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年目には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。並行して、測定データの解析手法を開発し、シミュレーションから期待される結果との比較を通じて解析を高精度化し、物理解析結果の早期公表を目指して準備する。8～10年目には3年間定常観測を実施し、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、得られた物理解析結果を学術論文として公表する。さらには、極高エネルギー宇宙線天文学を推進するため、20年という長期間の安定稼働に向けた準備を進めていく。

【実施機関と実施体制】 日本国内での現時点での参加機関は、大阪公立大学、東京大学宇宙線研究所、神奈川大学、信州大学、大阪電気通信大学である。GCOSの創始メンバーの共同研究者の13名で構成されており、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。

【人材育成（若手育成）】 GCOSの検出器開発は、地上に設置する実験装置であるため、実機による宇宙線観測を通じたトライアンドエラーを繰り返し、検出器案を最適化していく。そのため、開発事項や検討項目の多さから、大学院生も即戦力として検出器の重要な部分を担当することになる。大学院生のうちから装置の主要部分の開発に携わり、国際共同研究の環境で研鑽を積む機会を増やすことで、若手研究者の育成および今後のキャリアパスに繋げ、次世代の研究者の育成に貢献していく。

【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（大阪公立大学理学研究科）