

令和 3 年度 (2021) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：ポリビア・チャカルタヤ山宇宙線観測所における高エネルギー宇宙線異方性の研究 英文：Study of high-energy cosmic-ray anisotropy at the Chacaltaya Cosmic Ray Observatory
研究代表者	佐古崇志(東京大学)
参加研究者	瀧田正人(東京大学) 塔隆志(東京大学) 大西宗博(東京大学) 川田和正(東京大学) 中村佳昭(Institute of high energy physics, China) 宗像一起(信州大学)
研究成果概要	<p>2021 年度はチャカルタヤ山にプラスチックシンチレーション検出器 97 台からなる有効面積およそ 18,000 m² の ALPAQUITA 空気シャワーアレイを建設する予定であったが、新型コロナウイルスの影響により建設作業を予定通りに進めることができず、データ取得を開始できなかった。現時点では 20 台の検出器が設置されており、2022 年度には残りの 77 台を設置し、DAQ システムの構築を行い、データ取得を開始する予定である。さらに、空気シャワーアレイの超高エネルギー宇宙ガンマ線に対する感度を飛躍的に向上させる目的で、空気シャワーアレイの地下に水チェレンコフ型ミュオン検出器を建設する予定である。</p> <p>本研究課題では、電磁流体力学(MHD)シミュレーションにより導出された太陽圏磁場中で宇宙線粒子の軌道計算を行い、その結果をチベット空気シャワーアレイの 2000-2009 年にわたる宇宙線観測データに適用することで、太陽圏の外部境界における宇宙線異方性の様相と太陽圏磁場が異方性に与える変調の効果を調べている。</p> <p>昨年度から、先行研究(Zhang et al., ApJ, 889, 97 (2020))で使われていた太陽圏磁場モデルを使って宇宙線の軌道計算を行っている。その結果、太陽圏外部境界での宇宙線強度分布には 10 度以下の小規模構造が見られた。物理的な考察から、太陽圏磁場の影響を受けていない星間空間での宇宙線異方性はせいぜい 2-3 次程度の大規模構造しかないと考えられ、10 度の小規模構造が現れるのは不自然である。この原因として、宇宙線の軌道計算を行う際、ある特定の外部境界での宇宙線の運動量方向を記録するやり方を取っていることに問題があるかもしれないと考えた。外部境界付近では宇宙線粒子はほぼ一定の磁場に巻き付いてジャイロ運動をしているだけであり、これは 1 次の異方性を生むだけである。しかし、特定の外部境界を設定してしまうとそこでの特定の運動量方向がサンプルされてしまい、これが最終的に外部境界での小規模構造につながってしま</p>

うと予想される。この効果を避けるためには、外部境界を複数設定して解析を行えば良い。実際、太陽から 600 AU から 7000 AU までの間で境界を 4 つ設定し、全てを平均して解析を行ったところ、太陽圏外部での異方性に小規模構造は現れず、5 次までの構造におさまることがわかった。ただし、境界の数や太陽からの距離をどれくらいに設定するのが適切かさらに調べる必要がある。しかし、現在の CPU パワーでこの方法を追究するには非常に計算時間がかかるので、他に良いやり方が無いか検討中である。例えば、外部境界の数は 1 つにしておいて、そこで宇宙線粒子の運動量方向に対応する宇宙線強度を、粒子のジャイロ運動を考慮して平均した宇宙線強度に置き換えて解析を行う方法を考えている。

また、この磁場モデルでは太陽圏磁場が尾部方向 10 kAU にわたって尾を引く構造を持っている。一方で、太陽圏磁場は長い尾を持っておらず、特徴的なクロワッサン構造を持つとする磁場モデルも提唱されている(例えば Merav et al., Nature Astronomy, 4, 675, 2020)。そこで、Merav 氏に連絡を取ったところ、Merav 氏らの磁場モデルは、数値計算上の都合により、unipolar の太陽磁場を仮定して MHD シミュレーションを行なっていることが分かった。現実には太陽磁場は bipolar であるので、現在の彼らの磁場モデルで宇宙線の軌道計算を行なっても、チベット空気シャワーアレイのデータには適用することができない。Merav 氏には磁場モデルを bipolar に改良してもらえるように依頼しているところである。また、日本では鷲見氏らも詳細な観測データに基づく太陽圏磁場モデルの開発を行なっており(例えば Washimi et al., ApJL, 846, L9, 2017)、鷲見氏からも近々磁場モデルを提供していただける予定である。将来的には、これらの複数の太陽圏磁場モデルで宇宙線軌道計算を行い、その結果を実際に観測された宇宙線異方性のデータに適用し、どのモデルが観測データを最も良く説明できるかを調べることで、どの太陽圏磁場モデルが正しいのか判別することができる可能性がある。

また、2022 年度に建設およびデータ取得開始予定の ALPAQUITA 空気シャワーアレイの初期データ解析を行い、南天での TeV 領域宇宙線 異方性の初観測に挑む予定である。

[本研究課題に関する国内外の口頭発表。開催予定のものを含む]

- 1) Modeling of the TeV cosmic-ray anisotropy based on intensity mapping in an MHD-simulated heliosphere、2021 年 7 月、ICRC 2021 (オンライン)
- 2) チベット実験で観測された宇宙線異方性の太陽圏磁場による変調(3)、2022 年 3 月、物理学会(オンライン)
- 3) TeV 領域宇宙線異方性の太陽圏磁場による変調、2022 年 3 月、名古屋大学 ISEE 研究集会(オンライン)
- 4) Modeling of the Sidereal Anisotropy of TeV Galactic Cosmic Rays Based on an MHD-simulated Heliosphere、COSPAR 2022、July 2022、Athens、Greece