

令和 6 年度（2024） 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)、宗像一起(信州大学)
研究成果概要	チャカルタヤ山中腹(標高 4,740m)に設置した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用いて、2022 年度から順調に TeV 以上のエネルギーにおいて宇宙線のデータを取得している。2025 年度には、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ーオン検出器を建設する予定である。 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。先行研究[1]で使われた MHD シミュレーションに基づく太陽圏磁場モデルを Pogolerov 氏から提供していただき、この磁場モデルを使って研究を行っている。この磁場モデルでは、特に太陽圏尾部方向には 10 kAU まで磁場データがあり、現存する太陽圏磁場モデルの中では最も広範囲にわたってデータを再現しているモデルとなっている。また、実験データ解析において天球をピクセル切りする際には HEALPix[2]を採用し、各ピクセルの立体角が等しくなるように解析手法を改良している。 本研究課題の最大の課題は、太陽圏外部境界での宇宙線強度分布に 10 度以下程度の小規模構造が現れるということであった。太陽圏の外での宇宙線強度分布にそのような小規模構造が存在するということは物理的に考えにくく、これはおそらく、地球での宇宙線強度分布を太陽圏外部境界に Liouville の定理に基づいてマッピングする際に、観測データと太陽圏磁場モデルの間で、太陽活動の時期を揃えていないためではないかと考えた。観測データは太陽活動の negative polarity phase に当たる。Pogolerov 氏の太陽圏磁場モデルを観測データに正しく適用できるようにするため、太陽活動の negative polarity phase に当たる時期の太陽圏磁場のスナップショットを約 1 年刻みで 12 枚作成し、それらの各々について宇宙線粒子の軌道計算を行い、結果を平均して観測データ

に適用した。その結果、太陽圏外部境界での宇宙線強度分布に現れる構造のスケールはせいぜい 20 度程度となり、10 度以下の小規模構造は見られなくなった。

2025 年度は、次の課題に順次取り組む予定である。

- ・太陽圏磁場のスナップショットの数をさらに増やす。この作業は、太陽圏磁場の擾乱による宇宙線粒子の散乱効果[3][4]を考慮することに相当する。これにより、太陽圏外部境界での宇宙線強度分布に現れる構造がさらに現実に近いものになると期待される。

- ・現在我々が使用している Pogorelov 氏の太陽圏 MHD 磁場モデル以外にも、鷲見[5]や Opher[6]による磁場モデルがある。これらの磁場モデルを用いた場合に太陽圏外部境界での宇宙線異方性がどのようになるかを導出し、比較を行う。

- ・100 TeV を超えるエネルギー領域での宇宙線異方性は、TeV 領域のものと大きく異なることが知られている[7]。我々が開発した Liouville マッピングの手法を用いて、100 TeV 以上での宇宙線異方性の物理的原因を調べる。

- ・2022 年度からデータ取得を行っている ALPAQUITA 空気シャワーアレイのデータ解析を行い、南天での TeV 領域宇宙線異方性の初観測を行う。

[1] Zhang et al., ApJ, 889, 97 (2020)

[2] Górski et al., ApJ, 622, 759 (2005)

[3] Yasue et al., Planet Space Sci. 33, 1057 (1985)

[4] Moskalenko et al., ApJ, 565, 280 (2002)

[5] Washimi et al., ApJL, 846, L9 (2017)

[6] Opher et al., Nat. Astron., 4, 675 (2020)

[7] Amenomori et al., ApJ, 836, 153 (2017)

[本研究課題に関する国内外の口頭発表]

- ・ Modeling of the sidereal cosmic-ray anisotropy at TeV energies with data from the Tibet ASgamma experiment, 2024 年 7 月, ASTRONUM 2024, La Rochelle, France

- ・ Sidereal cosmic-ray anisotropy at TeV energies modeled with data from the Tibet ASgamma experiment, 2025 年 4 月, AIAC 2025, Santiago de Compostela, Spain

整理番号 F15