

平成25年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：スーパーカミオカンデによる 10TeV 宇宙線強度の恒星時日周変動の観測 英文：Sidereal daily variation of ~10TeV galactic cosmic ray intensity observed by the Super-Kamiokande
研究代表者	信州大学理学部・教授・宗像一起
参加研究者	信州大学理学部・准教授・加藤 千尋 信州大学・特任教授・安江 新一 信州大学・大学院生 (D1)・小財正義 信州大学・大学院生 (M2)・宮崎高大 信州大学・大学院生 (M1)・中嶋隆明 信州大学・大学院生 (M1)・丹羽健徳 信州大学・大学院生 (M1)・中村佳昭
研究成果概要	<p>Tibet 空気シャワーアレイ及びSKで観測された恒星時異方性が示唆する銀河磁場の方向は、最近星光の偏光観測から導かれた局所銀河磁場方向と極めて良い一致を見せていることが判った (Frisch et al., ApJ, 760, 106, 2012 参照)。</p> <p>また、14年間にわたり Tibet 空気シャワーアレイで観測された「太陽の影」を解析し、太陽の強い磁場の影響で「太陽の影」が太陽活動極小期に濃く明瞭に、極大期に薄くなっていることをつきとめ、Physical Review Letter 誌に発表した。TeV 宇宙線強度の異方性に見られる太陽磁場の影響を調べることは、Tibet 空気シャワーアレイやSKで観測された恒星時異方性を理解する上でも重要である。実際、Tibet 空気シャワーアレイで観測された TeV 宇宙線強度の恒星時異方性には、太陽圏外圏の Heliotail 磁場が原因と考えられる強度分布が確認されている。今後、「太陽の影」と衛星観測による惑星間空間磁場との関係を詳しく解析して行く予定である。</p> <p>TeV 領域宇宙線の恒星時異方性は、主に Tibet と IceCube による両半球観測によって、少なくとも観測的には決着がついたと考えられる。これに対して、異方性の大規模構造の解釈では未だコンセンサスが得られているとは言い難い。Amenomori et al. (Astrophys. Space Sci. Trans., 6 49, 2010)は、大規模構造を1次と2次の異方性に分解し、2次異方性の軸が局所銀河磁場の方向に一致することを主張している。また、1次の異方性に磁場に垂直な成分が無視できない程度含まれることから、その起源を局所的な宇宙線密度勾配と磁場とのベクトル積で表現されるドリフト流に求めている。一方、最近 Schwadron et al. (Science, 343, 988, 2014)は、銀河中心に向かう大規模な密度勾配を起源とする、銀河磁場に沿う宇宙線流と垂直拡散流によって、Tibet と IceCube で観測</p>

された異方性を説明するモデルを提唱している。このモデルの特徴は、前者のモデルに比べて桁違いに大きな垂直拡散（おそらく磁力線のランダム・ウォークによる？）を仮定している点で、この垂直拡散によって磁場に垂直な流れを生成している。

観測された異方性を、銀河内宇宙線の局所的な密度分布と大規模分布で説明するこれらのモデルのどちらが正しいかは、今後の研究に待たねばならないが、我々は一桁高いエネルギー領域での異方性が、モデルを検証する鍵を握っていると考えている。もし、Schwadron et al.の言うように、銀河全体に及ぶ大規模分布が異方性の起源だとすると、エネルギーを上げてても大規模異方性の構造はあまり変化しないはずである。このような観点から、我々はTibetで観測された数 100 TeV領域の異方性を解析した。その結果、大規模異方性が、10 TeV領域での観測結果とは大きく異なる特徴を持つらしいことが判ってきた (Amenomori et al., Proc. 32nd ICRC ID0256, 2013)。同様の結果は、最近IceCubeも発表している (Abbasi et al., ApJL, **746**, 33, 2012)。この方向での研究を今後も進めて行きたい。

成果発表（論文）：

- M. Amenomori and The Tibet AS γ collaboration, “Modeling of the high-energy galactic cosmic-ray anisotropy”, *Astrophys. Space Sci. Trans.*, **6**, 49-52, 2010.
- K. Munakata, “Probing the heliosphere with the directional anisotropy of galactic cosmic –ray intensity”, *Proc. IAU Sympo.*, **286**, 185-194, 2011.
- M. Amenomori et al., “Is the large-scale sidereal anisotropy of the galactic cosmic-ray intensity really instable at TeV energies?”, *Astroparticle Physics.*, **36**, 237-241, 2012.
- M. Amenomori et al., “Observation of the large-scale sidereal anisotropy of the galactic cosmic ray intensity at 300 TeV with the Tibet Air Shower Array”, Proc. 32nd ICRC ID0256, 2013.
- M. Amenomori et al., “Probe of the Solar Magnetic Field Using the “Cosmic-Ray Shadow” of the Sun”, *Phys. Rev. Lett.*, **111**, 011101-1~011101-5, 2013.