

平成 30 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文:チベット空気シャワーアレイによる 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 Tibet air shower array
研究代表者	加藤千尋 (信州大・理)
参加研究者	宗像一起 (信州大・理)、瀧田正人 (東大・宇宙線研)、内田 悟 (信州大・理)、海見 走 (信州大・理)
研究成果概要	<p>TeV 領域宇宙線の恒星時異方性は、世界に先駆けて SK や Tibet 空気シャワー実験により観測されたが、最近では HAWC-IceCube による高統計な南北両半球観測が行われるなど、観測的にはほぼ確立されたと考えられる (ApJ, <u>871</u>, 2019)。他方、観測された異方性の様相が、およそ 100 TeV を境として劇的に変化しているらしいことが認知されつつある (Amenomori+, ApJ, <u>836</u>, 2017)。</p> <p>一方でその起源に関する検討が進められており、本研究もその方向での研究に舵を切って進められた。最近の起源に関する研究で最も注目されるのが、M. Zhang 等による”heliospheric distortion model”である。上記観測結果は、いずれも恒星時異方性には比較的局所的な強度超過や強度欠損が混在して含まれることを明らかにしたが、M. Zhang 等はそれらが宇宙線が太陽圏内を伝播する際に生じたものであると主張する (Zhang+, ApJ, <u>790</u>, 2014)。</p> <p>TeV 領域宇宙線が受けるピッチ角散乱の平均自由行程は、太陽圏のスケールサイズを上回ると考えられるため、宇宙線は太陽圏内で平均磁場中を滑らかに運動し、その位相空間分布関数は Liouville の定理に従う。すなわち、運動量\mathbf{p}の宇宙線の位置\mathbf{r}における定常的な分布関数を$f(\mathbf{r}, \mathbf{p})$とすると、地球 ($\mathbf{r} = \mathbf{r}_E$) で観測される強度分布$f^E(\mathbf{r}_E, \mathbf{p}_E)$は太陽圏外 ($\mathbf{r} = \mathbf{r}_B$) での強度分布と等しい ($f^E(\mathbf{r}_E, \mathbf{p}_E) = f^B(\mathbf{r}_B, \mathbf{p}_B)$)。したがって、$\mathbf{p}_B$と$\mathbf{p}_E$の間に一対一の対応がつけられれば、観測された$f^E$を$f^B$と関連付けて議論できる。地球から$\mathbf{p}_E$で打ち出された粒子軌道を、太陽圏内平均電磁場 ($\mathbf{E}, \mathbf{B}$) 中の運動方程式$d\mathbf{p}/dt = -q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) = -q(\mathbf{v} - \mathbf{V}) \times \mathbf{B}$を解いて$\mathbf{r}_B$まで計算すれば、$\mathbf{p}_B$と$\mathbf{p}_E$の間の対応関係がつけられる。ここで、$q$は宇宙線粒子の電荷、$\mathbf{v}$は速度、$\mathbf{V}$は太陽風速度で、平均電場として太陽風による誘導電場 ($\mathbf{E} = -\mathbf{V} \times \mathbf{B}$) のみを考えた。</p> <p>M. Zhang 等は、太陽風-恒星間風間相互作用の MHD シミュレーションから得られた\mathbf{B}, \mathbf{V}を用いて上記計算を行い、その結果、Tibet 空気シャワー実験で観測された 5 TeV 宇宙線の恒星時異方性は、銀河磁場に沿う dipole 異方性を主成分とするシンプルなf^Bで再現でき、観測された Tail-in 強度過剰や Loss-cone 強度欠損等の局所的様相は、ほぼすべて太陽圏内の宇宙線伝播の結果生じたものであることを主張した (Zhang+, J. Phys.</p>

Conf. Ser., 767, 2016)。

本研究では Washimi 等による MHD 計算結果を用いて、我が国でも同様の解析を行うことを目指して準備を進め、2019 年 2 月には ISEE symposium に来日した M. Zhang と face-to-face の議論も行った (Washimi+, ApJ, 809, 2015)。すでに計算メッシュ上で与えられた \mathbf{B}, \mathbf{V} を用いた軌道計算に着手してる。M. Zhang 等の主張する”heliospheric distortion”が、どの程度のエネルギーの異方性にまで影響しているかは今のところ不明であるが、高エネルギー側でやがては効かなくなるはずである。したがって、前述した異方性の観測結果が 100 TeV 付近で変化しているらしい様相も、”heliospheric distortion model”によって説明可能かも知れない。或いは異方性の観測結果から heliosphere の大規模構造に関して従来の描像に変更を迫ることができるかも知れない。今後観測された f^E を f^B と関連付けるやり方で、これらの点についても検討していく予定である。