

2019 (令和元) 年度 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：宇宙線による太陽の影を用いた太陽周辺磁場の時間変動の研究 英文：A study on variation of interplanetary magnetic field with the cosmic-ray shadow by the sun.		
研究代表者	国立情報学研究所	准教授	西澤 正己
参加研究者	甲南大学	名誉教授	山本 嘉昭
	甲南大学 理工学部	教授	梶野 文義
	信州大学 理学部	特任教授	宗像 一起
	日本大学 生産工学部	准教授	塩見 昌司
	横浜国立大学 工学部	研究員	佐古 崇志
	東京大学 宇宙線研究所	教授	瀧田 正人
	東京大学 宇宙線研究所	特任助教	川田 和正
研究成果概要	<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>1991年の実験開始後（サイクル22の最盛期の後半、91-93年）のデータでは、“太陽の影”が見かけの位置から太陽半径の3倍近く西南西にずれていた。その位置も年毎にかなり動いた。最静穏期（96-97年）には太陽双極子磁場と地磁気の極性が逆で安定していたため、宇宙線による“影”のずれが相殺して見かけの太陽中心に静止していたことが10TeV領域で確認された。これは簡単なモデルを用いたシミュレーションでも再現された。1999年に拡張された7.5m間隔のTibet-IIIアレイで観測した2000年のデータでは3~15TeVのエネルギー領域で“太陽の影”は全く掻き消えていた。これは、黒点数の増加による局所磁場に太陽双極子磁場が乱されて宇宙線粒子が散乱されたためと思われるが、全く予想しなかった新しい知見である。2006~2009年には太陽活動は最静穏期を迎えたが、われわれの予想通り、太陽双極子磁場と地磁気の極性がそろって、“太陽の影”が地磁気だけのずれの2倍になるかどうか確認することに大きな興味があった。2008年から2009年の解析の結果、ほぼ予想通りの結果になっていることが確認できた。この実験は、太陽活動の移り変わりに伴う“影”の時間的な変動を観測しているので、太陽活動の極大、極小の時期だけを観測すればよいと言うものではなく、常時観測を続けていかねばならないのが特徴である。2014年からのデータについてはまだ分析が終わっていないが、2013年には、1996年から2009年までの「太陽の影」の変化を利用して、太陽コロナ磁場を予測する2つの理論モデルを検証した。その結果、太陽近傍の電流は磁場構造に影響しないと仮定したPFSSモデルよりも、太陽近傍の電流が磁場構造に与える影響を考慮したCSSSモデルが「太陽の影」の実験結果をよく再現することが分かった。これは、銀河宇宙線を用いて太陽コロナ磁場の検証を行った世界で初めての成果である。この結果はPRLに掲載され、“Editor’s Suggestions”としてのハイライト論文や米国物理学会（APS）の運営するウェブサイト Physics (Synopsis) でも紹介文付きの記事で取り上げられている。また、3TeVから100TeVの領域で、太陽の影のエネルギー依存性や太陽の自転による太陽地球間磁場のセクター構造に対する依存性に関する結果は2018年1月にPRL採録されており[1]、この論文で当時大学院生の中村君は2019年3月に日本物理学会の若手奨励賞を受賞している[3]。さらに低エネルギー領域ではCMEの影響を受けていることを示唆する結果が得られており、この結果は2018年6月にAPJに採録されている[2]。2019年度は日本物理学会やICRCで結果を報告しており、特に太陽の影の東西方向のずれとIMFのBz成分との関連の詳細な分析結果で、シミュレーションに含めていないIMFのBz成分が太陽の影に影響を与えていることを示唆する結果が得られ、地磁気嵐の予報等に貢献できる可能性が出てきている。[4, 5]</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p style="font-size: small;">10TeVでのズレ α の Bz 依存性</p> <p style="font-size: x-small;">Black: Observed, Red: MC $\times 1.5$</p> <p style="font-size: x-small;">ズレの差 2.1 σ (統計誤差のみ)</p> <p style="font-size: x-small;">二次関数でフィッティング</p> <p style="font-size: x-small;">$\alpha_{MC} = (-0.09 \pm 0.04) \times B_z^{IMF} + (-0.20 \pm 0.02)$</p> <p style="font-size: x-small;">$\alpha_{Obs} = (-0.00 \pm 0.01) \times B_z^{IMF} + (-0.226 \pm 0.007)$</p> <p style="font-size: x-small;">MCに含まれない(突発的な)IMF Bz変動によって太陽の影の東西のズレが変化することを示唆</p> </div> </div>		
	<ol style="list-style-type: none"> 1) “Evaluation of the Interplanetary Magnetic Field Strength Using the “Cosmic-Ray Shadow” of the Sun”, M. Amenomori, et al., Physical Review Letters, 120, 031101 (2018. 01) 2) Influence of Earth-directed Coronal Mass Ejections on the Sun’s Shadow Observed by the Tibet-III Air Shower Array, M. Amenomori et al., The Tibet ASy Collaboration, The Astrophysical Journal, 860, 13 (2018. 06) 3) 中村佳昭, 「高エネルギー宇宙線の太陽の影と太陽磁場の研究 (日本物理学会若手奨励賞記念講演)」日本物理学会2019年春季大会 (九州大学) 4) “Can we estimate the variation of the z-component of the interplanetary magnetic field from the sun shadow?”, Y. Nakamura et al. PoS(ICRC 2019)1132 5) 中村佳昭, 他The Tibet ASy Collaboration, 「チベット空気シャワーアレイで観測された太陽の影による太陽磁場構造の研究11」, 日本物理学会2018年秋季大会 (山形大学), 19aT13-9(2019) 		
整理番号	E28		