

テレスコープアレイ実験による史上最大級のエネルギーをもつ宇宙線「アマテラス粒子」の検出

藤井俊博 〈大阪公立大学大学院理学研究科, 南部陽一郎物理学研究所 toshi@omu.ac.jp〉

木戸英治 〈理化学研究所 eiji.kido@riken.jp〉

樋口諒 〈理化学研究所 ryo.higuchi@riken.jp〉

藤田慧太郎 〈東京大学宇宙線研究所 kfujita@icrr.u-tokyo.ac.jp〉

2021年5月27日、244エクサ電子ボルト (=244 EeV=2.44×10²⁰ eV) という観測史上最大級のエネルギーをもつ宇宙線「アマテラス粒子」が米国ユタ州で検出された。この粒子はたったひとつの粒子であるにもかかわらず、40 Wの電球を1秒点灯できるという巨視的なエネルギーをもつ。仮に1グラムあれば日本全体の年間電気使用量(約1,000テラワット時)を約1,000万年もまかなうことができるという、とてつもないエネルギーである。宇宙にはこのような高いエネルギーをもつ粒子が存在し、地球に絶えず降り注いでいる。これまでの観測で、10⁸ eVから10²⁰ eVを超える幅広いエネルギーの宇宙線が地球で検出されている。あるエネルギー以上の宇宙線の到来頻度は、エネルギーが10倍になると約1/100に減少する。100 EeV以上の宇宙線は1 km²あたりに300年にたった1粒子しか到来しないため、検出には広大な検出面積と装置の長期運用が必要である。この100 EeVを超えるエネルギーをもつ**極高エネルギー宇宙線**は、地球でもっとも大きい粒子加速器で到達できるエネルギーより7桁以上も大きく、宇宙でもっとも高いエネルギーをもつ粒子である。極高エネルギー宇宙線がどこで生まれ、どのように地球にやってきたのかについては未だ明らかになっていない。

極高エネルギー宇宙線がどこからやってきたのかを明らかにするため、世界9か国/地域の国際共同宇宙線観測実験、テレスコープアレイ実験がはじまった。テレスコープアレイ実験は、面積3 m²のプラスチックシンチレーターを1.2 km間隔で507

台設置した**地表粒子検出器アレイ**であり、700 km²の面積にやってくる極高エネルギー宇宙線の観測を2008年から続けている。これまで15年以上の定常観測の中で、もっとも高いエネルギーをもつ宇宙線が冒頭で紹介したアマテラス粒子である。アマテラス粒子は、地球大気に入射したあと大気との相互作用によって二次粒子群(**空気シャワー**)を生成し、23台の地表粒子検出器でほぼ同時に信号が検出された。それぞれの検出器で記録された空気シャワーの到来時間差と粒子数密度から、アマテラス粒子の到来方向とエネルギーが推定された。

アマテラス粒子のような極めて高いエネルギーをもつ宇宙線は、宇宙磁場ではほとんど曲げられず、到来方向が発生源をさしめすことが期待されていた。しかし、驚くべきことにアマテラス粒子の到来方向には有力な候補天体が見あたらず、わたしたちのいる天の川銀河の近傍の大規模構造では局所的空洞(ローカルボイド)と呼ばれる方向から到来していた。極高エネルギー宇宙線が発生源としては、大質量ブラックホールをもつ、おとめ座銀河団にある楕円銀河(M87)や、星形成が非常に活動的な銀河(M82)が候補天体として考えられていたが、それらのどの方向とも異なっていたのである。このことの説明には、不定性の大きい宇宙磁場を仮定した天体起源シナリオの議論のほか、未知の天体現象、暗黒物質(ダークマター)の崩壊やモノポールといった新物理起源の可能性も提案されている。

用語解説

極高エネルギー宇宙線:

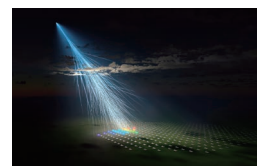
宇宙に存在する高エネルギーの放射線「宇宙線」のうち、極めて高いエネルギーをもつ宇宙線。本稿では10²⁰ eV以上のエネルギーをもつ宇宙線を意味する。

地表粒子検出器アレイ:

地表に放射線検出器等間隔で並べ、同時計数法を利用することで、ほぼ同時に到来する空気シャワーの粒子群をとらえる検出手法。

空気シャワー:

地球大気に入射した高エネルギー宇宙線が、大気原子核との相互作用を通してガンマ線や電子・陽電子・パイオン・ミュオンなどの二次粒子の生成を指数関数的に繰り返しながら地表に到達する現象。極高エネルギー宇宙線は到来頻度が著しく小さいため、地表粒子検出器による空気シャワーの観測が重要となる。



地球大気に入射した極高エネルギー宇宙線によって空気シャワーが生成され、地表粒子検出器アレイで検出されるイメージ図。本稿で述べるアマテラス粒子の信号情報をもとに作成した(Credit: 大阪公立大学/京都大学L-INSIGHT/武重隆之介)。