

大気圏における「空気シャワー」現象

塚崎天輝（高校3年 e-kagaku アカデミー）

1. 研究の概要

宇宙から大気圏に突入した宇宙線（放射線）は、空気の粒子との相互作用により増殖する。これを「空気シャワー」現象と呼ぶ。宮古島上空で高度と放射線量の関係を観測し、「空気シャワー」現象を可視化し、背後にある仕組みを分析した。

2. 実験方法や分析方法

2.1 データ観測の方法

観測器1号 Faraday に放射線測定器（SBM20）を搭載し、バーレーンを観測器に括り付けて上空に飛ばし、高度と放射線（対象は β 線と γ 線）の一分間あたりの検知個数の推移を観測した。放射線測定器のLCDに表示される検出個数をGoProで撮影し、MATLAB®のOCR機能でLCDの数字を読み取った。得たデータはグラフに起こし、最大値の位置やグラフの概形を確認した。

2.2 MATLAB を用いた空気シャワーのシミュレーション

観測データの正当性を確かめるため、宇宙線と空気層の相互作用をシミュレーションし、高度と放射線量の関係を再現した。

高度 85km を大気圏の境界とし、プログラム上で平面 $z=85$ 上の点からランダムな角度で宇宙線を入射させる。以下の一次宇宙線のエネルギーと到来頻度の関係式^[1]に基づいて宇宙線の入射頻度を定めた。

$$F(E) = KE^{-2.7}$$

(E はエネルギー、 K は比例定数、 $F(E)$ は宇宙線の到来頻度(単位はフラックス))

宇宙線の飛距離は、大気密度^[2]を高度で積分して求められる大気の厚さ $[g/cm^2]$ で表す。宇宙線がある大気の厚さを進んだ時の空気シャワーを構成する電子の数は、カスケード関数^[1]を用いて表す。

$$N_e = \frac{0.31}{\sqrt{y}} e^{t(1 - \frac{3}{2} \log_e s)}$$

$$y = \log_e \frac{E_0}{E_c}$$

$$s = \frac{3t}{t + 2y}$$

(E_0 は一次宇宙線のエネルギー、 E_c は臨界エネルギーという値で 84MeV、 t は大気中の輻射長 $38g/cm^2$ を単位とした大気の厚さ、 N_e は全電子・陽電子数) 電子の個数が β 線、 γ 線量と同様に増減すると仮定すると、この関数から空気シャワーの発達・減衰の様子が分かるはずである。入射した宇宙線全体が、それぞれ高度 $0, 1, \dots, 29, 30$ km 地点にて

どれくらいの粒子数の空気シャワーを成しているかを計算し、その増減をグラフに起こした。

3. 結果と考察

3.1 データ測定の結果

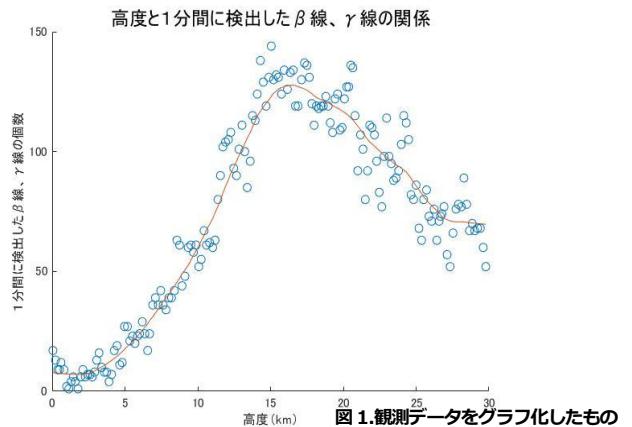


図1. 観測データをグラフ化したもの

測定の結果、高度と放射線量（一分間あたりのベータ線、ガンマ線の個数）のグラフは図1のようになった。シャワーが発達した後、高度 15km 附近から減衰が始まったように見える。この観測が空気シャワーの実態を正しく反映しているかをシミュレーションで確かめた。

3.2 シミュレーション結果

$10^3 eV \sim 10^4 eV$ の放射線が主に入射するよう設定した結果、以下のグラフが得られた。観測データと再現データの相関係数は 0.96 となり、カスケード関数の数理モデルが正当化できた。相互作用をするうちにエネルギーが失われ、放射線は空気に吸収されていくようであり、我々は大気の恩恵を受け、宇宙放射線から身を守ることができていると分かった。

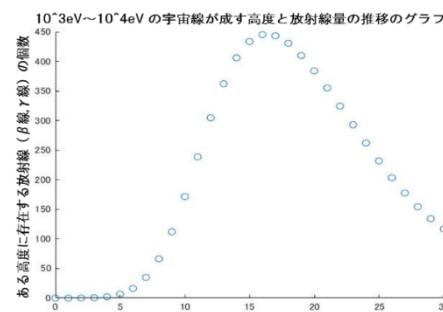


図2. シミュレーション結果

[1] 倉本和幸『宇宙線空気シャワーからのGHz帯電波法者の検出を目指した電波望遠鏡の基礎的研究』[http://cosmicray.ouc.jp/ocu_ta/PDF/kuramoto_B.pdf] (最終閲覧日 2020年8月29日)

[2] 標準大気 – 各高度における空気の温度・圧力・密度・音速・粘性係数・動粘性係数の計算式[<https://piconoppo.com/standard-atmosphere/>] (最終閲覧日 2020年8月29日)