

宇宙線ミュオンによる富士山透視の試み

○居島薫¹, 永嶺謙忠^{1,2}, 藤牧拓郎¹, 鳥養映子¹, 鈴木秀典¹, 鈴木美季¹, 小林拓¹, 白木一郎¹, 堀裕和¹, 後藤聡¹

1 山梨大学, 2 高エネルギー加速器研究機構

1. はじめに

本研究は宇宙線ミュオンを用いた富士山山頂近傍と表面構造内部の密度長計測を目標に掲げ、7月に太郎坊に設置した粒子線検出器を用いて観測をスタートした。

宇宙線ミュオンと言えば、ピラミッドなどの内部構造の透視実験が有名である。宇宙線ミュオンのフラックスは天頂方向が強く、これに対し水平方向では3桁程落ちる。水平方向のミュオンをラジオグラフィに利用することは困難という定説を覆し、永嶺らはこれまでに技術開発に続いて浅間山や西岩手山などの小規模火山(観測対象物の直径 ≤ 2 km)において、水平ミュオンを用いた透視観察に成功してきた^{1,2)}。田中宏幸らは大々的な火山研究を進めてきている。富士山は宇宙線ミュオンの通常のイオン化過程による飛程に比べてサイズが大きく、未開拓な領域である。当開発研究は防災のみならず、学術的意義にも富む。

7月から12月にかけて、検出器の方位角の微調整、角度分解能の最適化、ゲート時間幅の調整などを実施した。角度分解能の最適化に伴い、検出器はこれまでの他の山体観測例と異なる配置(間隔)となった。これに伴い、ミュオン以外の高エネルギー粒子検出によるバックグラウンドノイズが増加したため、1月末に鉄中間散乱体(おおよそ重量1 t)を挿入して長時間測定に入った。発表当日は3月中旬までに取得・積算した観測データを報告する。



図1 観測装置の構成(外観写真)

2. 観測原理および装置

宇宙線ミュオンとは、文字通り宇宙線に由来するミュオンである。宇宙から降り注ぐ主に高エネルギー陽子などが大気上層部の原子核と衝突し、原子核反応によって生成される2次粒子のうち荷電 π , K中間子が崩壊して生じる。ミュオンの寿命は $2.2 \mu\text{s}$ であるが、ほぼ光速で飛来するため相対論効果で寿命が伸び、地上まで到達できる。運動エネルギーは、GeV~TeVに分布し天頂角に依存したエネルギースペクトルを有する。

観測装置の外観写真を図1に示す。宇宙線ミュオンはシンチレーションカウンタ(縦横30個のプラスチックシンチレータ(30×30×1000 mm)と光電子増倍管で構成)で検出する。このカウンタを縦横それぞれ30本ずつ配置した30×30アレイを位置敏感検出器として、それぞれを2面設置してホドスコープを組み、同時イベントのみを抽出することで、飛来した1個のミュオンの角度情報を得る(図2)。角度ごとに飛来する宇宙線ミュオンの強度分布を測定して、富士山山体透過による減衰率の空間分布

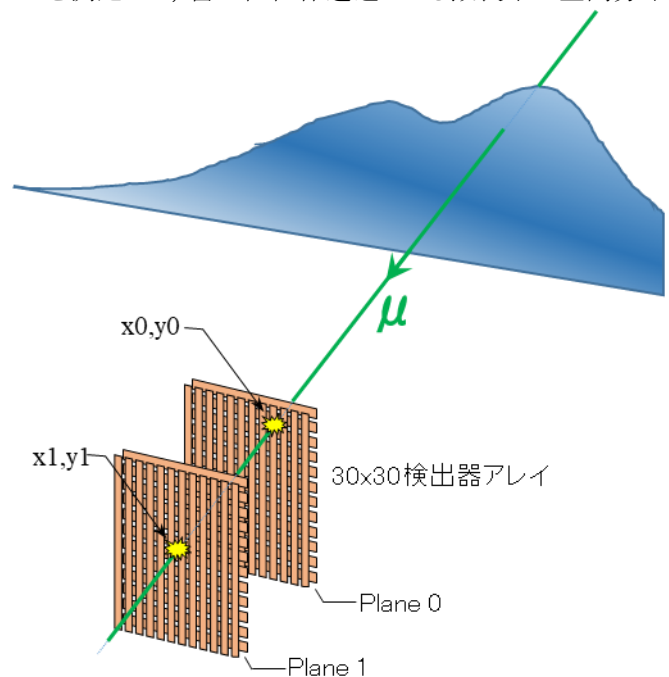


図2 宇宙線ミュオンによる富士山透過計測の概略図

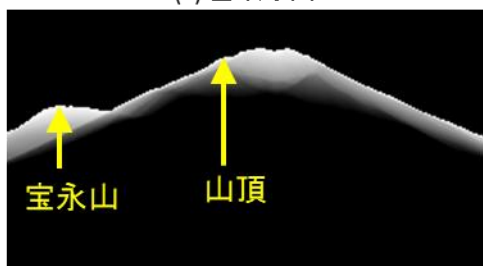
を算出する。この減衰率は密度長の関数であるため、地図データをもとに山体がすべて岩石で構成されている場合の減衰率と比較することで、例えば水などが存在すれば密度長の異常値として検出できると考えられる。富士山を透過する前の宇宙線ミュオンの強度は、富士山に対して逆側から飛来したものをを用いる。宇宙線ミュオン強度の角度依存性は天頂角のみに依存し、方角には%以下しか依存しないためである。

3. 観測領域のシミュレーション

図3に観測地点(太郎坊)から撮影した富士山山頂の写真(a)と、グレースケールで表現した観測地点からの山体透過距離(b)を示す。山体透過距離は国土地理院の標高データを用いて算出した。山頂火口や宝永火口および中腹における宇宙線ミュオンの透過距離が2 kmと見積もられ、この領域の密度異常検知の可能性が示唆される。例えば山頂直下に球状ボイド(直径1 km)を仮



(a) 山頂写真



(b) 山体透過距離
0~2kmをグレースケールで表示



(c) ボイドを仮定した山体透過距離
0~2kmをグレースケールで表示

図3 観測地点(太郎坊)におけるシミュレーション

定すると図3(c)の様に見える。今後はこれに天頂角・エネルギー分散を考慮した距離依存性を含め、シミュレーションの精度を向上し、観測データと比較する予定である。

4. 検出器の最適化

かかる巨大な山体を、山頂から7.6 kmも離れた観測地点から透視した例はまだない。7月に観測を開始して以来、約1か月ごとに検出器の配置を変えて観測し、2組のカウンターアレイの距離2.4 mを、この観測地点における最適配置と決めた。さらに1月末に、ミュオン以外の放射線バックグラウンドを低減するための鉄散乱体を挿入した所、山頂火口と宝永火口に対応する濃淡の兆候が見え始めた。発表では、観測データとシミュレーションを比較しながら、巨大火山の監視に関する宇宙線ミュオン直接透視法の応用可能性と課題について議論する。

5. まとめと今後の展望

7月に宇宙線ミュオン観測装置の富士山太郎坊への設置が叶い、装置を調整しながらの予備的観測を開始できた。検出器の角度や分解能を調整して、1月末から観測データを蓄積している。今後はさらにデータを蓄積し、統計誤差の軽減やさらなるバックグラウンド軽減対策を実施し、山頂火口や宝永火口および表面構造内部の水などの空間分布を可視化に挑戦する。

謝辞

観測装置の設置場所を提供していただいている NPO 法人富士山測候所を活用する会、ならびにイグラ様、装置の搬入にあたり、有益なご助言とご助力を頂きました三浦和彦先生、大河内宏先生、事務局の皆様に、感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 永嶺謙忠 (1995). 宇宙線ミュオンを用いたトモグラフィ. 地学雑誌第 104 巻第 7 号, 998-1007.
- [2] 田中宏幸, 永嶺謙忠 (2003). 宇宙線ミュオンによる火山体内部探索. 火山第 48 巻第 4 号, 345-366.