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

富士山太郎坊に観測用コンテナを設置し宇宙線ミュオグラフィを開始してから約 1 年半が経過した. 昨年度の成果報告会では, 検出器の方向や観測範囲(倍率)などを調整し, バックグランドノイズ低減のために鉄散乱体を挿入したことを報告した. 今年度はさらなるバックグランドノイズ低減対策を実施した.

山体の内部探索を宇宙線ミュオンの透過強度減衰法で観測する試みに於いて, 山体透過距離が 1km を越える測定が正しく出来た例は無い. 富士山の山頂から標高が 500m 下るだけで直径が 2km を超える. 極わずかに透過して飛来するミュオンを統計処理するため, 単に長時間を要するだけでなく, バックグランドノイズの量が真のミュオンの量を上回ることが判明した. これを除去することにより, 富士山体内部構造に起因するミュオン透過強度の極わずかな差を検出することが出来る. 以下の対策を実施した.

2. 高エネルギー電子線などの除去(1 月, 7 月)

観測装置内のミュオン経路内に鉄板(合計厚さ 10cm x2 相当, 重量 1.3t)を設置した(図1). 主なバックグランドの正体は, 高エネルギー電子線・ガンマ線などであることが知られている. 図2に電子線除去の概略図を示す. 設置した鉄板をミュオンはそのまま透過するが, ミュオン以外の高エネルギー粒子は, 前方に多荷電粒子線のシャワーを発生する確率が高い. 測定回路のロジックは, 多点同時検出を区別するように設計されているため, ミュオン以外のシグナルを除外できる. 図3に鉄散乱体を設置したことによる効果を示す. 楕円で示された部分では, 山体の厚さが 2km を超えており, 本来は宇宙線ミュオンが透過する確率が僅少の領域であるため, 黒くなるはずである. 図1(b)よりバックグランドノイズが軽減できたことが確認できるが, さらにバックグランドノイズを軽減す

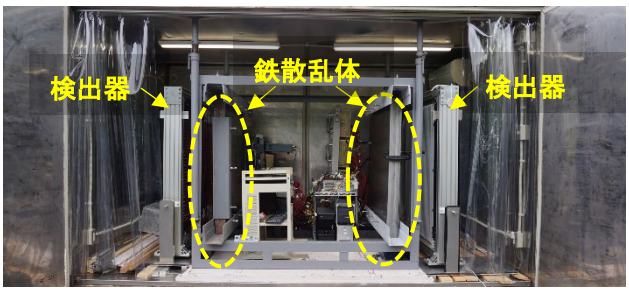


図 1 鉄散乱体を設置した観測コンテナの内部

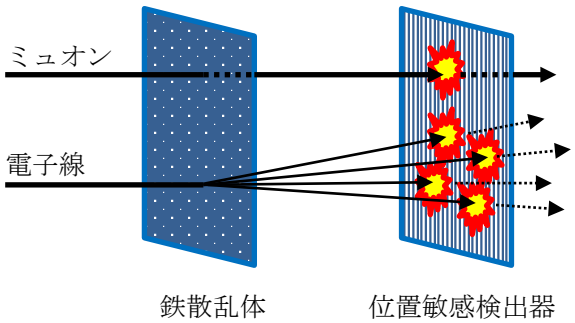
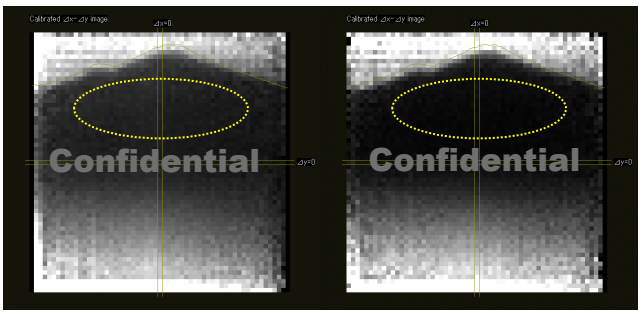
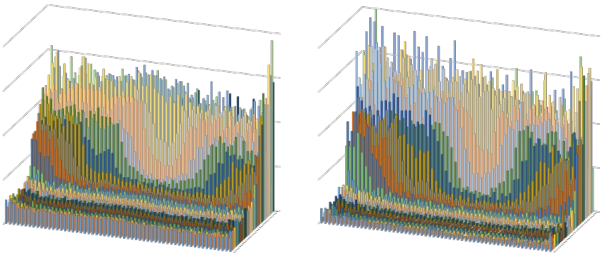


図 2 電子線除去の概略図



(a) 鉄散乱体なし (b) 鉄散乱体× 2 体



(c) 透過強度 鉄散乱体なし (d) 透過強度 鉄散乱体× 2 体

図 3 鉄散乱体によるバックグランドノイズ除去効果：測定器でのミュオン強度（z 軸）の水平方向（x 軸）の依存性を富士山方向の高さで色分けして示す.

ることにより，山肌などの薄い部分の鮮明化が期待できる．

3. ミュオンなどの飛来方向の検出

図４に示すように，上方に散乱したミュオンが存在するとバックグランドノイズを形成する．これまでは，常識的にミュオンは必ず下方を向いて飛来するとしていたが，山体や空気を透過したミュオンが上方に散乱したものを，空からきたミュオンと取り違える事である（図５）．山肌に張り付くような対象物に近接した位置で観測する富士山固有の問題点で，これまでに報告例がない．ホドスコープを構成する２枚の位置敏感カウンター間を通過する際の，信号の時間差より，これらの問題を処理出来るはずである．

ミュオン検出器からの信号は，計測回路（FPGA）でタイミング処理している．２面の位置敏感検出器がある時間幅Δt 以内に信号を発生する場合を計数（同時計数）する．２面の位置敏感検出器の間隔は 2.4m に設定しているため，ほぼ光速で飛来するミュオンを検出すると，面間で 8ns 程度時間差を生ずる．これを時間分解することで飛来方向を特定できる．10 月から１月にかけて FPGA の改良と，劣化した検出器の改修を実施して，現在は新しい実験体系で観測しながら信号強度の調整作業をしている．

5. まとめと今後の展望

2019 年度はバックグランドノイズの軽減対策に終始した．前半に実施した鉄散乱体の設置により透視画像の鮮明化に成功した．10 月から 1 月にかけて実施した FPGA の改良により，バックグランドノイズを形成する粒子線の起源を特定出来，ノイズを狙い撃ちして除去できると考えられる．この結果は，統計データの蓄積とともに数カ月で得られる予定である．山体内部の密度長の違いの可視化を目指したい．

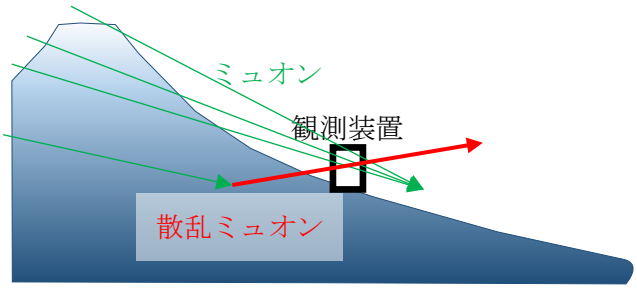


図４　富士山透過ミュオンの中で散乱ミュオンによるバックグランドノイズ

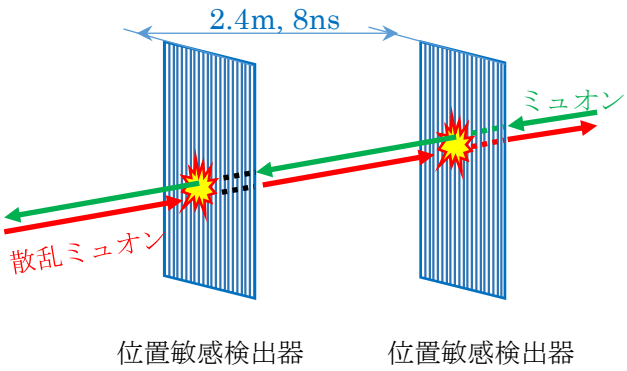


図５　２面の位置敏感検出器による方向決定

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，装置重量物の搬入にあたり，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．