

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

宇宙線観測による構造探査技術の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 新たな観測技術の開発

(3) 観測技術の継続的高度化

ア．地下状態モニタリング技術

(4) その他関連する建議の項目：

3. 新たな観測技術の開発

(3) 観測技術の継続的高度化

イ．地震活動や噴火活動の活発な地域における観測技術

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

宇宙線など透過力の強い素粒子を用いて火山体のラジオグラフィー(透過像撮影技術の技術開発を行い、火山体や活断層の密度構造の高空間分解能・実時間モニタリングを目指す。特に有珠山、北海道駒ヶ岳、浅間山、桜島、薩摩硫黄島等の火山で、開発機器を用いた試験観測を行い、技術の性能確認および問題点の把握を行う。同時にこの新技術によって得られる結果を、独立の手法である絶対重力連続観測によって検証する。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度は、FPGA(プログラマブルロジックデバイス)を用いたデータ取得システム等を完成させる。より深部の密度構造を明らかにするための S/N 比の向上を目指した試験観測を有珠山、桜島等で実施する。絶対重力観測は桜島で連続観測を実施し、連続観測を続けるためのノウハウを蓄積する。

平成 22 年度は、カロリメータ方式による、宇宙線雑音低減の試験観測のためのプロトタイプを製作し運用する。同時に必要となるソフト開発を実施する。同方式を大型化したときに想定される課題を洗い出す。絶対重力観測は桜島で連続観測を継続する。宇宙線による火山体のイメージ変化と、絶対重力変化とを照合し、整合性をチェックする。

平成 23 年度は、前年度試作したプロトタイプを大型したモデルを製作する。

平成 24～25 年度は、23 年度に製作した大型モデル、及び絶対重力計を用いて、活動的な火山の 1 ないし 2 を同時観測する。観測イメージの変動から、活動の推移予測を試みる。

(7) 平成 21 年度成果の概要：

平成 20 年度までに写真乾板を用いることで宇宙線ミュオンによる火山体内部などの浅部地殻の密度構造(密度の空間分布)が視覚化可能であることが分かってきた。しかし、写真乾板を用いた観測では市販のフィルムカメラと同様、設置・回収・現像・解析の一連の作業が必須である。そのため、本課題ではミュオンのオンライン観測を行う方策が講じられた。それにはシンチレータ・光電増倍管などのエレクトロニクス技術を用いる必要があるが、ミュオグラフィー観測に従来型技術をそのまま適用すると消費電力は数千ワットを超え、そのままでは野外観測に用いるには無理があった。この問題を解決するために取られた手法が本課題で提案された FPGA チップ技術である。FPGA とは集積回路の一種であるが、チップを購入したユーザーが自分で設計した回路を自由に実装することができ

る。この FPGA 内にウェブ・サーバを組み込むという新しいシステムを開発した。図 1 が開発した検出システムの概念図である。本課題により、開発したモジュールの消費電力は約 2.5 ワットと従来型のものと比べて 3 桁以上小さな値を実現でき、野外観測の道が大きく開けた。また、検出器は火山体付近の観測点に配置するのは当然とするものの、データ解析は火山体から遠く離れた大学の研究室内の PC で行うオンライン観測システムが実現できた。

上記システムを用いて、桜島におけるミュオン観測を開始した。目標は桜島浅部火道における配管系の視覚化である。桜島では上記 FPGA を用いたデータ取得システムを実装した省電力・可搬型宇宙線ミュオンテレスコープモジュールシステムが山頂からおよそ 3 km 南西にはなれた観測点に設置された(図 2)。ミュオンテレスコープの視野には A 火口、B 火口、昭和火口が入る。観測結果が図 3 に示されている。図はミュオン透過強度を方位角 - 仰角空間内にプロットした物である。図中の山体のミュオンの影上部で相対的にミュオン強度が大きくなっているところが、A、B、昭和火口(S)に相当するところである。A 火口と B 火口は浅いうちの一つの大きな火口になっているようで、その後 2 つに分かれている。図の中に入れた点線はそれぞれの火口の下において局所的にミュオン透過強度が多くなっている最大値を線でつないだものである。A、B ともまっすぐに伸びている。S も途中までまっすぐに伸びているが、標高 645 m 辺りからわずかに B の方向へ曲がっているようである。昭和火口の火道は標高マイナス 100 m 付近で B の直下に遭遇することが示唆される。図中の数字は密度減少部分が火口軸上に局所化していると仮定したときの昭和火口の火道の直径を表わしている。

桜島における絶対重力観測は 2009 年 4 月に再開した。本来は清浄な実験室仕様の精密機器である絶対重力計を、年間で 500 回を超える爆発を続ける活動中の火山の、しかも無人の観測施設において、1 年スケールで長期連続観測を安定的に行うのは極めて困難であり、世界的に見ても例がない。とくに無人観測点での長期観測では、欠測期間を可能な限り短縮することが求められる。この問題に対処するため、本課題では携帯電話端末と VNC ソフトとを利用して、絶対重力計の遠隔監視・遠隔制御システムを構築した。これにより、本期間中に生じた 3 回の大きなトラブル発生をいち早く察知し対応できた。経験したトラブルは、重力計レーザー出力低下や、干渉縞信号処理の動作不良などである。これらの原因は、火山灰粉塵や夏季の高温多湿によるカビがレーザーチューブや PC の基板に付着することであることを明らかにした。根本的な対策として、実験室に準じる清浄・密閉環境を実現し、効果をあげた。

以上をまとめると、

(1) 宇宙線ミュオン観測では、予定通り FPGA を用いたデータ取得システム等を完成させ、これを用いた試験観測を桜島で実施した。一方向からの透視画像が得られた。

(2) 絶対重力観測も、予定通り、安定的な長期連続観測のためのノウハウを習得した。

(8) 平成 21 年度の成果に関連の深いもので、平成 21 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Tanaka, H.K.M., Uchida, T., Tanaka, M., Shinohara H., 2009, Cosmic-ray muon imaging of magma in a conduit: Degassing process of Satsuma-Iwojima Volcano, Japan, Geophys. Res. Lett., 36 L01304.

田中宏幸, 2009, 宇宙線で地球・火山を透視する, 科学, 79, 5, 507-512.

田中宏幸, 2009, 高エネルギー素粒子を利用した巨大構造物の透かし撮り, 放射線と産業, 124, 4-8.

田中宏幸, 2009, 巨大物体のミュオグラフィ, Oplus, E31, 7, 781-787.

田中宏幸, 2009, 火山内部透かし噴火予測 検査技術, 14, 12, 44-48.

Tanaka, H.K.M., Uchida, T., Tanaka, M., Takeo, M., Oikawa, J., Ohminato, T., Aoki, Y., Koyama E., and Tsuji H., 2009, Detecting a mass change inside a volcano by cosmic-ray muon radiography (muography): First results from measurements at Asama volcano, Japan, Geophys. Res. Lett., 36, L17302.

Uchida, T.; Tanaka, H. K. M.; Tanaka, M., 2009, Space Saving and Power Efficient Readout System for Cosmic-Ray Muon Radiography, IEEE Transactions on Nuclear Science, 56, 448-452.

(9) 平成 22 年度実施計画の概要 :

平成 21 年度までに FPGA を用いた省電力・可搬型宇宙線ミュオンテレスコープモジュールシステムを完成させた。しかし、宇宙線軟成分などに起因する雑音レベルの高さのため、ある深度以上の状況をイメージングするためには膨大な時間がかかることがわかった。宇宙線雑音低減という課題を達成するため、平成 22 年度は、省電力・可搬型宇宙線ミュオンテレスコープモジュールを拡張したカリリメータを作成し、必要となるソフト開発をあわせて行うことを計画している。また、カリリメータ・

プロトタイプを用いた試験観測も予定している。結果として、深いところも比較的リーズナブルな時間でイメージング可能になることが期待される。

絶対重力観測は、桜島での観測を継続する。ミュオンが明らかにしつつあるマグマ配管系の幾何構造にもとづいて、重力変化からマグマ頭位の準リアルタイム予測を試行する。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学地震研究所 大久保修平・武尾実・田中宏幸

北海道大学大学院理学研究院 大島弘光

京都大学防災研究所 井口正人

産業技術総合研究所 篠原宏志

他機関との共同研究の有無：有

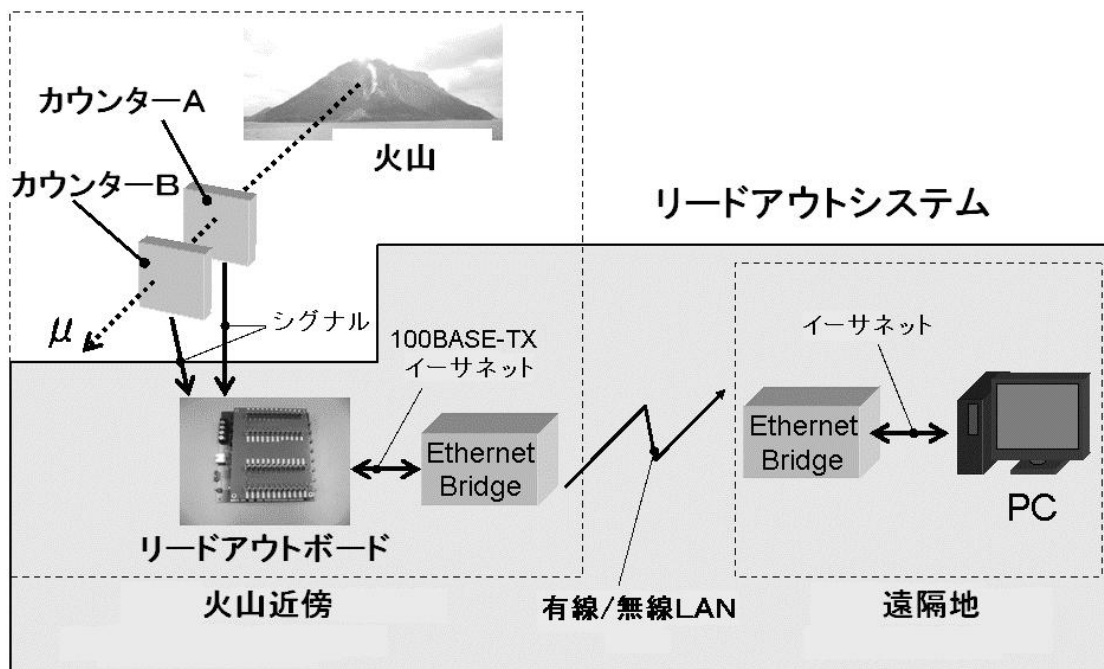
高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所 田中真伸

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

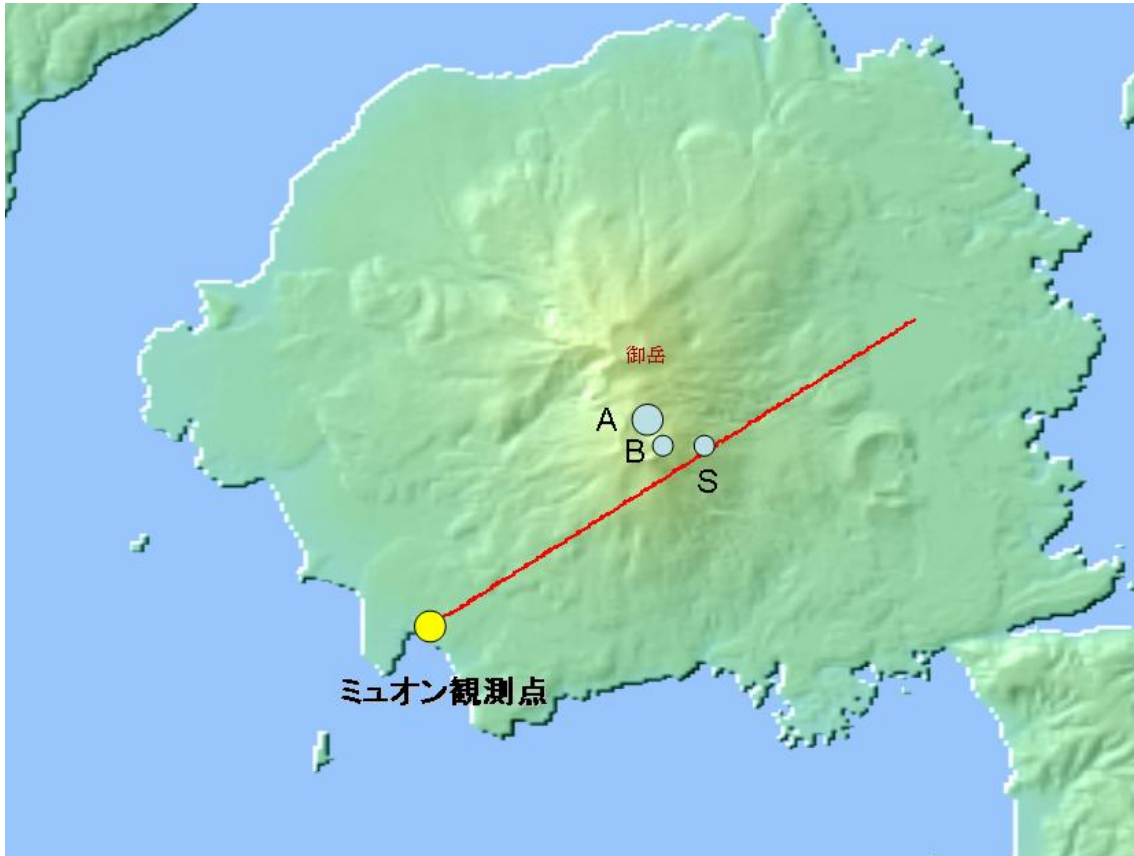
部署等名：東京大学地震研究所 地震火山噴火予知研究推進センター

電話：03-5841-5712

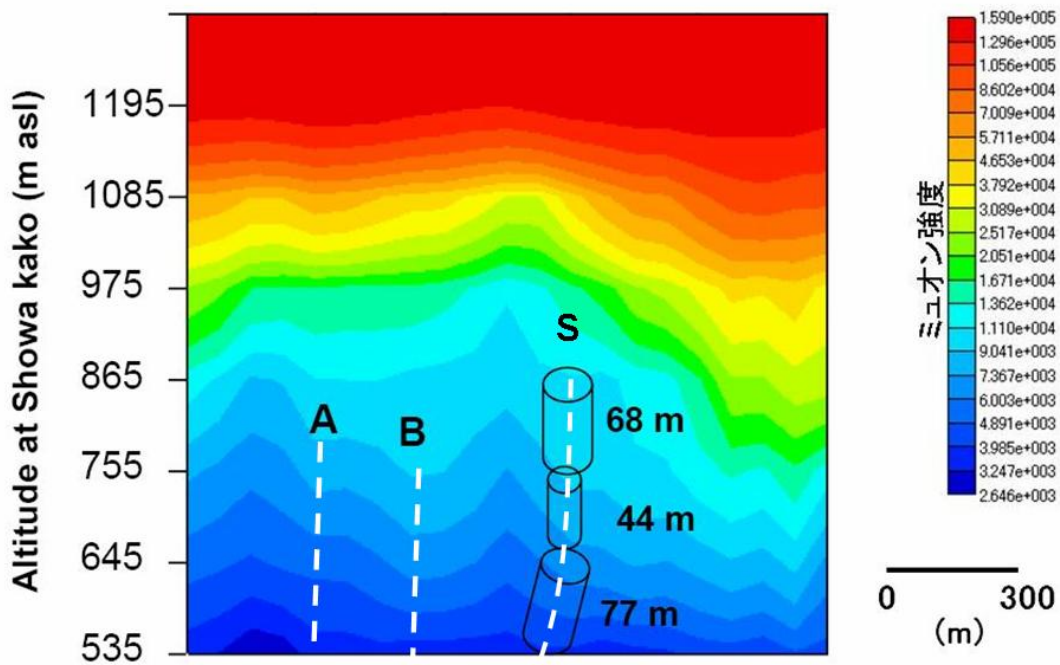
e-mail：yotik@eri.u-tokyo.ac.jp



FPGA を用いたミュオンデータ取得システム



桜島における省電力・可搬型宇宙線ミュオンテレスコープモジュールシステム観測点



桜島火山を透過するミュオン強度の方位角 - 仰角空間内プロット .

山体のミュオンの影上部で相対的にミュオン強度が大きくなっているところが、A、B、昭和火口 (S) . 点線はそれぞれの火口の下において局所的にミュオン透過強度が多くなっている最大値を線をつないだもの . 数字は密度減少部分が火口軸上に局所化していると仮定したときの昭和火口の火道の直径