平成 25 年度年次報告

課題番号：1438

（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，北海道駒ケ岳，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）計画期間中（平成 21 年度～25 年度）の成果の概要：

ミューオン透視装置を，前年度の 4 層型から 7 層型カロリメータ方式に改良した． 併せて，宇宙線ミューオンスペクトルの高エネルギー成分だけを用いる自動解析アルゴリズムも開発した．この 7 層式検出器を用いて，2012 年 10 月から 2 か月間，有珠山の観測を行った．その結果，厚さ 1500 m までの山体において，現実的な観測時間（～2 か月）で密度構造を精度良く求めることが出来ることが確

認された．有珠新山の隆起，およびその地域での断層形成につながる貫入マグマをイメージングできた．透視限界が従来の 2 層式では 400m 程度，4 層式でも 800m だったものが，この新型検出器（7 層式＋新解析アルゴリズム）で 1500m まで延伸できたことから，活動的火山への応用が広がった．平成 25 年度は平成 24 年度に開発したカロリメータ検出器の高度化を行い、超低雑音ミュオグラフィ検出器が完成した。活動中の薩摩硫黄島を観測することで、火道中のマグマダイナミクスに伴う観測イメージの変動をとらえることに成功した。噴火に伴うマグマ頭位の変動を捉えることで 活動の推移予測に使えることを確認した。以上のことより，当初計画の目標は達成された．

（８）平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Kedar, S., H. K. M. Tanaka, C. J. Naudet, C. E. Jones, J. P. Plaut, and F. H. Webb, Muon radiography for exploration of Mars geology, *Geosci. Instrum.Method. Data Syst.*, **2**, 157-164, 2013.

Tanaka, H. K. M., Development of stroboscopic muography, *Geosci. Instrum.Method. Data Syst.*, **2**, 41-45, 2013.

Tanaka, H. K. M., Evaluation of positioning and density profiling accuracy of muon radiography by utilizing a 15-ton steel block, *Geosci. Instrum.Method. Data Syst.*, **2**, 79-83, 2013.

Tanaka, H.K.M. and H. Muraoka, Interpreting muon radiographic data in a fault zone: possible application to geothermal reservoir detection and monitoring, *Geosci. Instrum.Method. Data Syst*, **2**, 145-150, 2013.

Tanaka, H. K. M., and A. Sannomiya, Development and operation of a muon detection system under extremely high humidity environment for monitoring underground water table, *Geosci. Instrum.Method. Data Syst* , **2**, 29-34, 2013.

Tanaka, H. K. M., and I. Yokoyama, Possible application of compact electronics for multilayer muon high-speed radiography to volcanic cones, *Geosci. Instrum.Method. Data Syst.* , **2**, 263-273, 2013.

Tanaka, H. K. M., Subsurface density mapping of the earth with cosmic ray muons, *Nucl. Phys. B* , **243-244**, 239-248, 2013.

Anastasio, A., A. Taketa, H.K.M. Tanaka, *et al.* The MU-RAY detector for muon radiography of volcanoes, *Nucl. Instr. Meth. A* , **732**, 423-426, 2013.

Anastasio, A., A. Taketa, H.K.M. Tanaka, *et al.* The MU-RAY experiment. An application of SiPM technology to the understanding of volcanic phenomena, *Nucl. Instr. Meth. A* , **718**, 134-137, 2013.

井上邦雄、田中宏幸, 素粒子地球物理学, パリティ, **1**, 56- 58, 2014.

Nishiyama, R., Y. Tanaka, S. Okubo, H. Oshima, H. K. M. Tanaka, T. Maekawa, Integrated processing of muon radiography and gravity anomaly data toward the realization of high-resolution 3D density structural analysis of volcanoes: case study of Showa-Shinzan lava dome, Usu, Japan, *J. Geophys. Res.* , 2014, *in press*, DOI: 10.1002/2013JB010234.

（9）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

（10）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

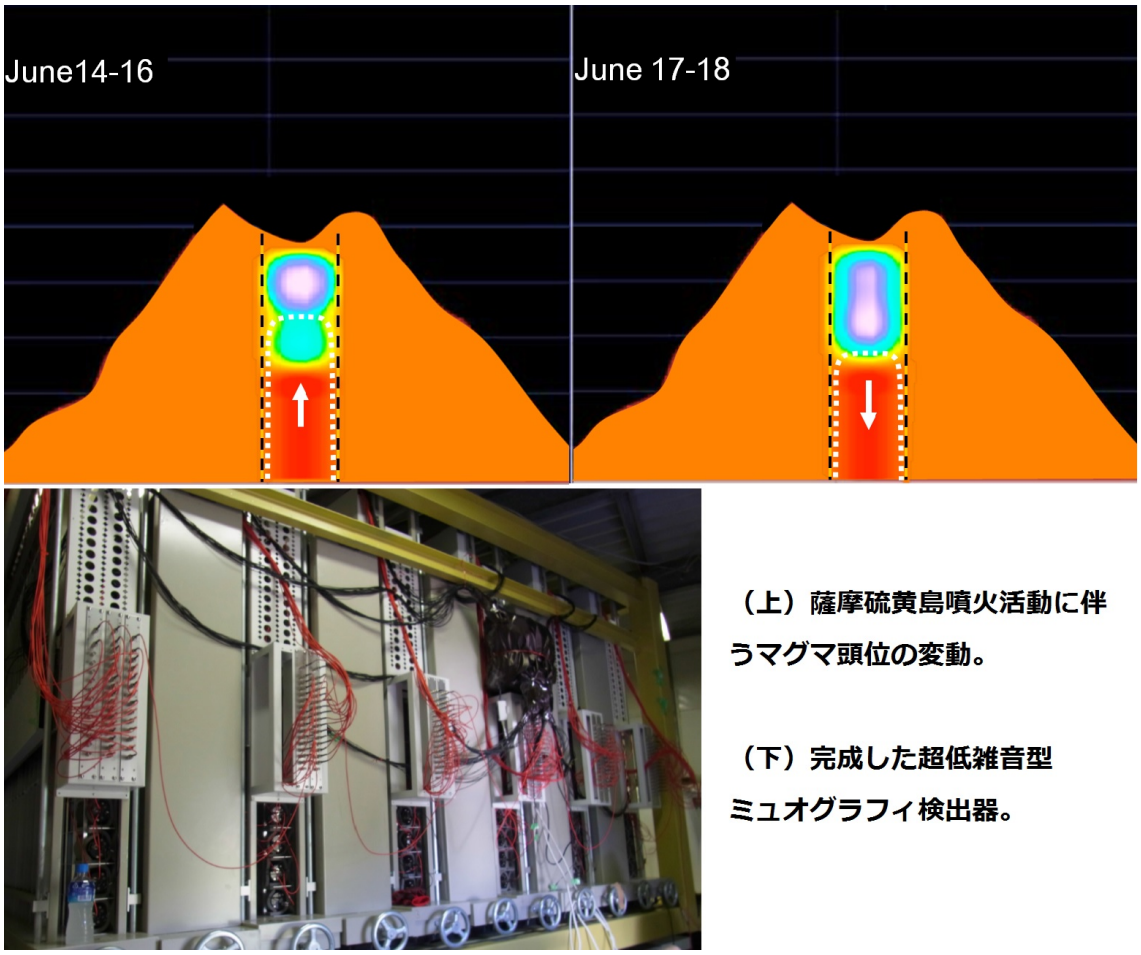
電話：03-5841-5712

e-mail：yotik@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

（11）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大久保修平
所属：東京大学地震研究所　地球計測部門



（上）薩摩硫黄島噴火活動に伴うマグマ頭位の変動。

（下）完成した超低雑音型ミュオグラフィ検出器。

図１
超低雑音ミュオグラフィ検出器を用いた薩摩硫黄島の観測結果

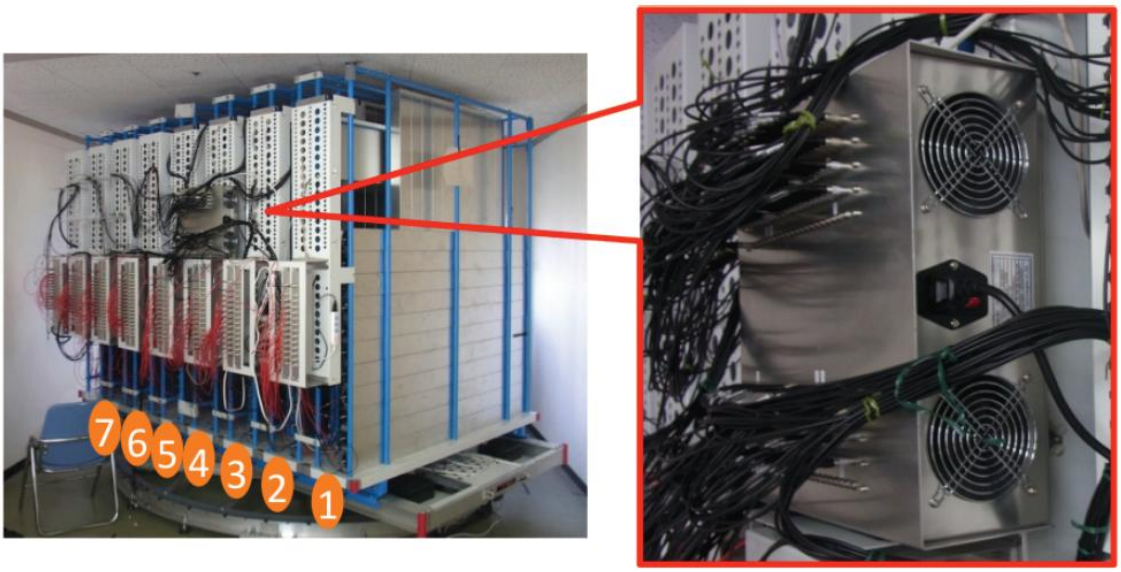


図２
７層式カロリメータの外観

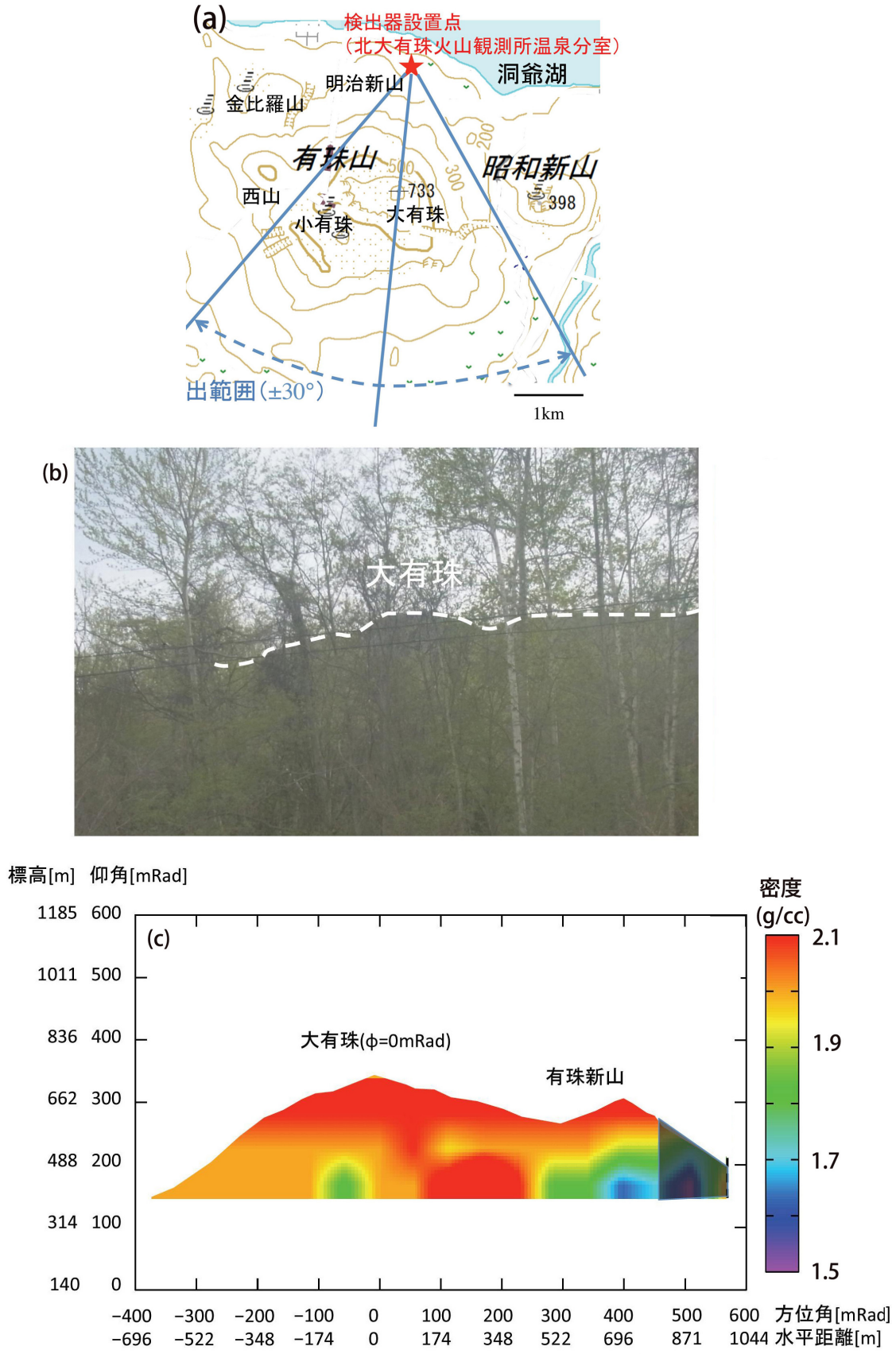


図３

（上）７層式カロリメータの配置点（北大有珠火山観測所温泉分室）．(中）カロリメータ設置点から望む、大有珠の外観．(下）平均密度の透視画像．