

( 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 23 年度成果の概要：

当初計画に従って開発研究を実施した。すなわち、従来よりも大きなサイズの物体をより短い時間で透視するために、カロリメータ方式センサーを開発し、有珠山(明治新山)にて試験観測を実施した(図 1)。新方式ではミュオン検出器を 2 層から 4 層に増やすことにより、バックグラウンド・ノイズ(BG)の大幅な低減を実現した。透過厚 800 m までは、BG の除算を行わずに精度良く密度を測

定できることも実証された。その結果、密度画像を得るまでの観測時間が大幅に短縮された。実例として、明治新山の仰角  $110 \pm 55$  mrad ( 70 % confidence level ) の角度領域における観測例を示す ( 図 2 )。3 枚の図は観測時間を 12 時間、24 時間及び 10 日間と変えた場合に対応するものである。現実の地形に対してさまざまな平均密度値を仮定したモデルをとって透過シミュレーションを行い、そのときに得られる相対ミュオン透過量 ( 基準厚の岩を透過するミュオン強度に対する相対量 ) を青線で示している。このシミュレーション曲線と実測値とを比較すれば、ミュオン到来方向の平均密度と推定誤差が得られる。それぞれの図に示す 3 本の水平直線は、観測された相対ミュオン透過量の最確値とその上下限值 ( 1 ) を表わす。例えば 12 時間の観測により、平均密度は精度 23 % で決定されている。従来方式では BG レベルがシグナルとなるミュオン数に比べて高いため、図と同じ精度を得るのに、約 3 倍 ( 38 時間、77 時間、32 日間 ) の時間を要していた。なお、本測定では本来 2.25 平米に設計されている検出器をスペックダウンして 1.21 平米で行っているため、約 60 % の性能しか出ていない。本来の仕様で密度測定を行えば、同じ精度が従来方式の 6 倍速で達成できる。

その一方で透過厚が 1 km を超える場合には、BG の除算を行わずに密度測定を行うと、結果が低い密度側にシフトするという課題が判明した。これは対象の厚さが増加すると共にミュオン強度が指数関数的に減少するために、取り除ききれっていない BG の影響が現れるためである。今後、位置敏感型検出器面の層数を増やすことで、総数対象の厚みに対する関係式を定量化させていく予定である。以上のことから、一部に新たな開発課題が生じたものの、23 年度計画は概ね達成された。

- ( 8 ) 平成 23 年度の成果に関連の深いもので、平成 23 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :  
Okubo, S. and H.K.M. Tanaka, 2012, Imaging the density profile of a volcano interior with cosmic-ray muon radiography combined with classical gravimetry, *MeasSciTechnology*, **23**, doi:10.1088/0957-0233/23/4/042001.  
Tanaka, H.K.M., H. Miyajima, T. Kusagaya, A. Taketa, T. Uchida, and M. Tanaka, 2011, Cosmic muon imaging of hidden seismic fault zones: Rainwater permeation into the mechanical fractured zones in Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, Japan, *EarthPlanetSciLett*, **306**, 156-162.

- ( 9 ) 平成 24 年度実施計画の概要 :

平成 24 年度は、23 年度に明らかになった課題に取り組み、ミュオン検出器の性能向上を優先する。そのため、当初予定されていた実際の活動的火山観測への応用 ( 当初予定は 24-25 年度 ) は、25 年度に繰り延べる。具体的には位置敏感型検出器面の層数を増やすことで更なる BG 削減を図り、1 km 以上の厚みに対してでも BG なしで測定できる検出器を実現する。これにより、これまで、ミュオンラジオグラフィで言われてきた 1 km の壁を破ることを目標とする。その試験観測を 23 年度に引き続き、典型的厚さが 1 km を越える有珠山本体 ( 上半分 ) を対象に実施する。

- ( 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  
URL :

(12) 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

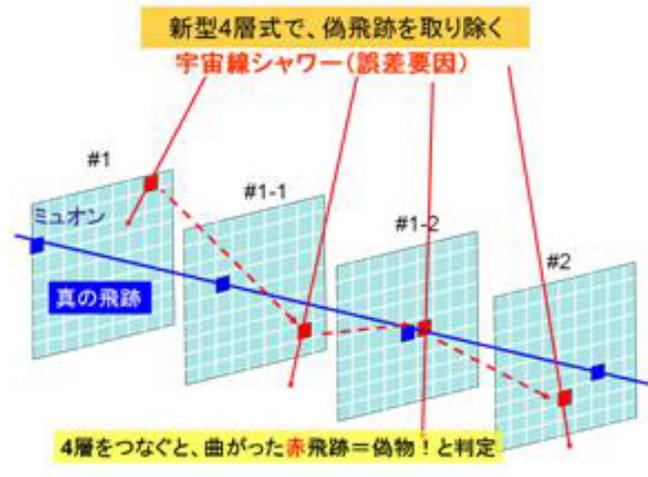


図 1a.

4層カロリメータ方式のミュオン・ラジオグラフィ装置の原理図。電磁シャワーは、従来の2層式装置(#1と#2を用いる)では、ミュオン飛跡と誤認されることがあり、観測誤差となっていた。4層式にすることで、それらは赤丸をつなぐ曲がった飛跡として認識され、直線性の良いミュオン飛跡(青線)とは明確に区別できるようになる。

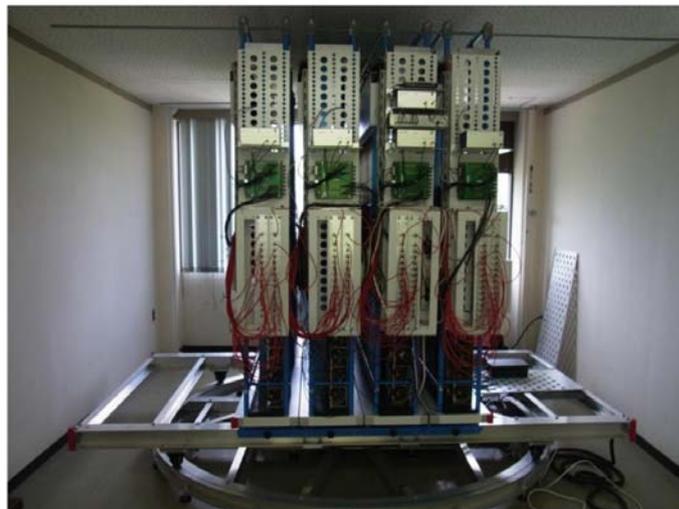


図 1b.

4層式カロリメータの写真(北海道大学有珠火山観測所分室に設置)。

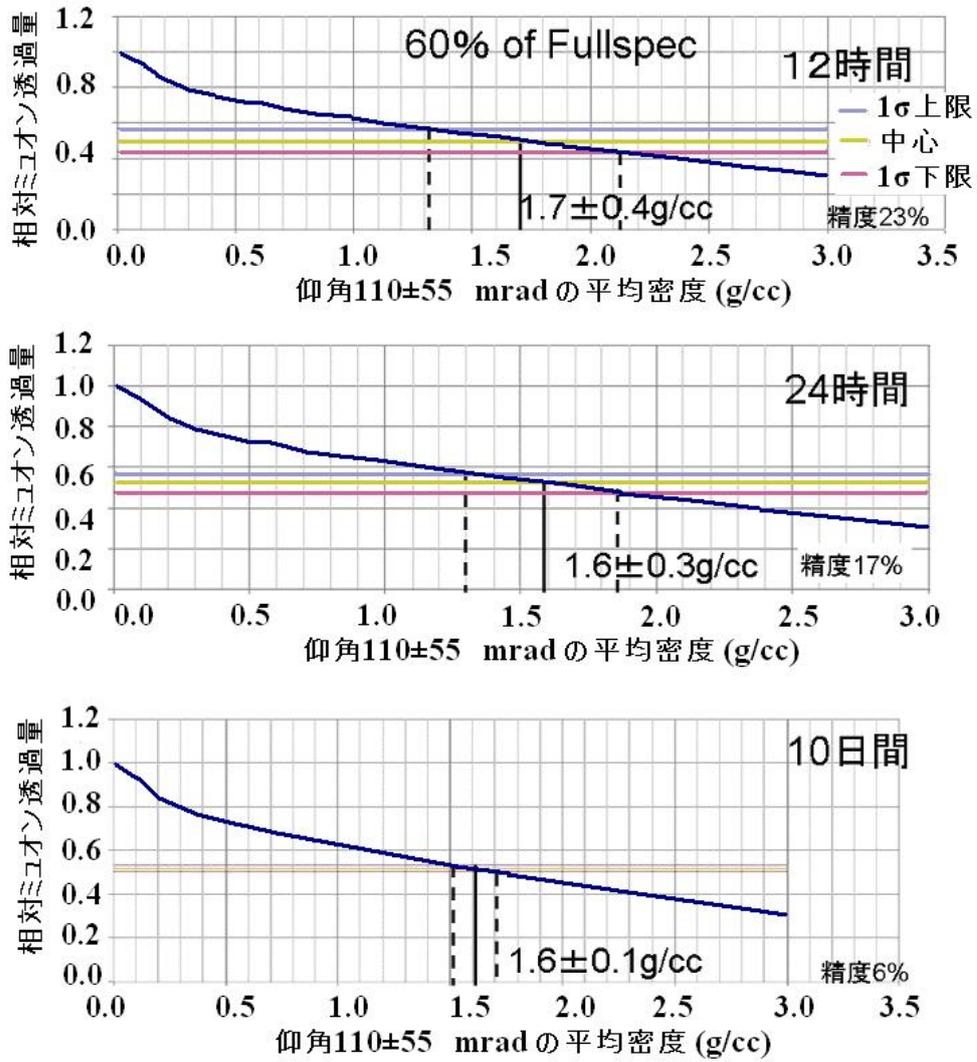


図 2.

4層式カロリメータで明治新山方向の仰角 110mrad(約 6 度) 方向からのミュオン到来数( 相対透過量 )。青線は、さまざまな密度に対して、シミュレーション計算して得られた期待値。水平な直線は、観測値( 最確値及び ± 1 の上下限值 )。