

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20244071

研究課題名（和文） 宇宙線ラジオグラフィーと高品位化した重力連続観測で、マグマの火道内昇降を診る

研究課題名（英文） Diagnosing magma head height in a volcano conduit with cosmic ray radiography and high quality gravity observation

研究代表者

大久保 修平 (OKUBO SHUHEI)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：30152078

研究成果の概要（和文）：火山のマグマの通り道（＝火道）のどこに、マグマの上端があるのかを推定する手法の開発に取り組んだ。マグマ上端の位置によって山麓の重力が変動することに着目し、絶対重力の連続観測を行った。重力観測データに含まれる降雨等の環境変動起源の重力擾乱を補正し、火山起源の重力シグナルを抽出するために、地下水学的なシミュレーション手法を開発した。補正後のデータと宇宙線で透視した火道形状とを用いて、火道内のマグマ上端の高度が算出できるようになった。これにより、火山浅部のマグマの移動と火山活動の関係を議論する上で、極めて重要な成果を得た。

研究成果の概要（英文）： We developed a new method to estimate the location of a magma head in a volcano conduit. It utilizes that gravity should change as magma goes up and down in the conduit. The gravity data after eliminating groundwater disturbance enables us to determine the head height as geometrical parameters of the conduit is successfully estimated with the cosmic ray radiography. The result is essentially important to discuss how magma movement in the shallower part is related to the volcanic activity.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	16,500,000	4,950,000	21,450,000
2009年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2010年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
年度			
年度			
総計	29,200,000	8,760,000	37,960,000

研究分野：測地学・地球物理学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：宇宙線透視、重力、火山、地下水

## 1. 研究開始当初の背景

火山の噴火予測については成功例が積み重ねられていたのに対し、噴火後の推移予測については研究の進展が待ち望まれていた。そのなかで、推移予測にとって重要な火道（＝火山体内のマグマ通路）内のマグマ頭位の定量的推定については、代表者が2004年浅間山噴火の際に絶対重力の連続観測の有効性を示すことに成功していた。しかしなが

ら、2つの大きな課題も残っていた。すなわち、重力変動をモデル化する際に必要となる火道の幾何パラメータ推定（サイズ、位置等）及び、降雨等の環境起源の重力擾乱の補正である。前者については、宇宙線を用いて火山の浅部構造を明らかにする技術が開発されつつあった。後者については、経験的なモデルしかなく、物理的に妥当なモデリングの開発が待ち望まれていた。

## 2. 研究の目的

- (1) 火道内をマグマが上昇・下降する様子を、定量的に追跡する手法を開発する。
- (2) 開発した技術を、実際の活動的火山に適用し、火山学的知見を得るとともに火山活動の推移予測につなげる。

## 3. 研究の方法

- (1) 地下水による重力擾乱の数値的補正手法の開発。

土壌水分観測によって、重力観測地点近傍の土壌の陸水学的パラメータを決定する。得られた土壌パラメータと、実際の降雨及び日射等の気象データとを用いて、陸水物理学モデルに基づく数値シミュレーションを実行し、地下の水分布を数値計算する。計算結果から期待される重力擾乱を算出する。こうして見積もられた地下水起源の重力擾乱の予測値の妥当性を評価するために、火山活動のない地域において実際に得られる重力観測データとを比較して、両者が一致することを確かめる。

- (2) 火山起源の重力変動の抽出。

火山近傍に高精度絶対重力計を設置し、重力変動を連続的に観測する。

(1)で開発した手法を用いて、降雨・地下水流動による環境起源の重力擾乱を計算し、実測重力値からそれを差し引くことにより、火山活動起源の重力変動を抽出する。

- (3) 火道形状の決定。

宇宙線ラジオグラフィ（=宇宙線が物体を通過するときの透過率から、物体の密度構造を透視する技術）によって、対象火山の火道径や位置等の幾何形状を明らかにする。

- (4) マグマ頭位の数値的モデリング。

(2)で得られた火山起源の重力変動を説明するためのマグマ頭位を、(3)で導いた火道の形状に基づいて、定量的に計算する。マグマ頭位の変動と火山活動とを比較対照し、火山活動に関する知見を得る。

## 4. 研究成果

- (1) 地下水による重力擾乱の数値的補正手法の開発

地殻変動がほとんどなく、しかも降雨等の環境起源の重力擾乱が大きい場所として、岩手県奥州市の胆沢扇状地を選び、そこで、地下水位観測・土壌水分観測及び超伝導重力計による高精度重力観測を行った。

地下水流動方程式に基づく数値計算により、地下水分布の時間的・空間的な変動を求め、そこから生じる重力変化の期待値と、実際の観測値とを比較した(図1)。両者の一致は満足すべきものであり、本研究で開発した重力データの高品位化、すなわち環境起源の重力擾乱の適切な補正が達成できている

ことが確認された。

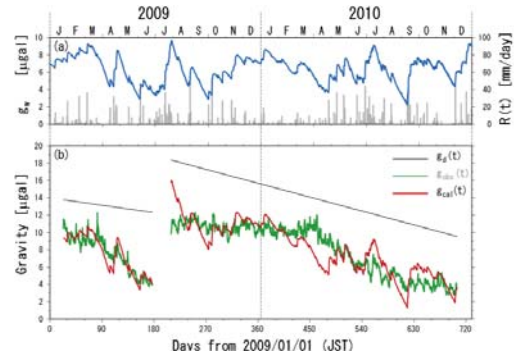


図1. (上); 日降水量(灰色縦棒)と期待される重力変化(青). (下); 重力観測値(緑)と、モデル計算値(赤). 両者は良く一致している。

- (2) 火山起源の重力変化の抽出

次に2009年4月～2011年1月にわたって、桜島火山において、絶対重力の連続観測及び土壌水分の連続観測を実施し、降雨による地下水擾乱を補正した高品位な重力データを取得した(図2)。2009年7月及び2009年10月の2回にわたって、10マイクロガルもの重力減少が10日間程度の短期間に生じていることを見いだした。

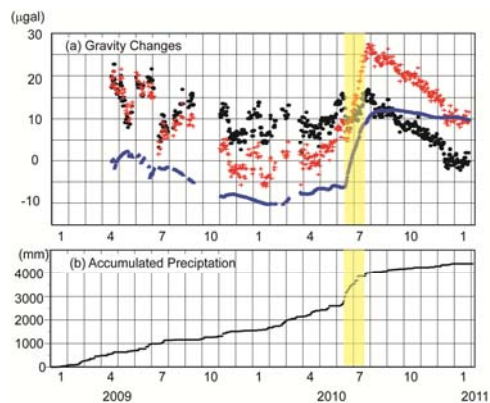


図2. (上); 桜島における重力値(赤)と地下水起源の重力擾乱(青)とから導いた火山活動起源の重力シグナル(黒). (下); 桜島における降雨量の積算値

- (3) 火道形状の決定。

桜島において宇宙線ミュオン観測を行い、桜島南岳昭和火口及びA・B火口からその直下200m程度までの透視画像を得ることができた。画像から読み取った火道径は160mであったので、半径80mの円柱で火道を近似

することができた。

(4)火山活動との対比.

(3)で得た火道の幾何モデルに基づき、前述の絶対重力変化をマグマの火道内昇降で説明することができた。それによると2009年7月には昭和火口最上部までマグマが上昇したことがわかり、この時期以後、昭和火口からの火山灰放出激増を説明することができる。また、2010年10月には南岳A火口最上部までマグマ頭位が上昇したことも分かった。これは10月3日の南岳爆発と符合している(図3)。

(5) 意義と展望

以上の成果は、火山浅部のマグマの移動と、火山活動の関係を議論する上で、極めて重要な成果として意義がある。また、火山防災にも大きく、貢献するものである。宇宙線による密度構造技術(ラジオグラフィ)をさらに高度化し、重力連続観測との連携を強化することが次の課題と言える。

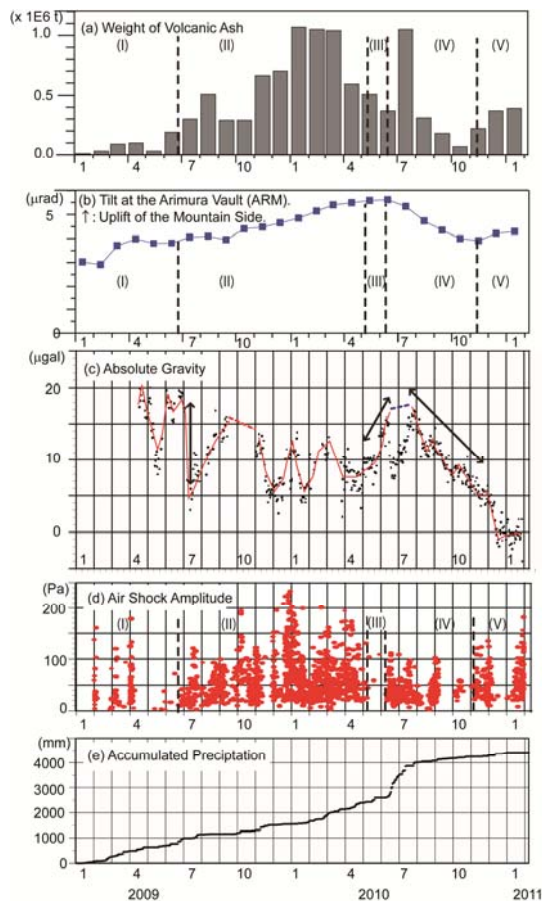


図3. 火山起源の重力シグナルと、火山活動の各種指標との対応。(a)放出火山灰量。(b)有村観測点の傾斜量。(c)重力シグナル。(d)爆発による空振振幅。(e)降雨量(積算値)。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計13件)

- ① Kazama, T., Y. Tamura, K. Asari, S. Manabe, and S. Okubo, 2012, Gravity changes associated with variations in local land water distributions: observations and hydrological modeling at Isawa Fan, northern Japan, Earth Planets Space, 査読有(印刷中)
- ② Okubo, S. and H.K.M. Tanaka, 2012, Imaging density profile of volcano interior with cosmic-ray muon radiography combined with classical gravimetry, Measurement, Science and Technology, 査読有, Vol. 23, doi: 10.1088/0957-0233/23/4/042001.
- ③ Tokunaga, T., J. Shimada, , Y. Kimura, ほか3名, 2011, A multiple-isotope ( $\delta$  Cl-37, C-14, H-3) approach to reveal the coastal hydrogeological system and its temporal changes in western Kyushu, Japan, Hydrogeology Journal, 査読有, Vol. 19 (1), 249-258
- ④ Tanaka, H.K.M., H. Taira, T. Uchida ほか7名, (2010), Three-dimensional computational axial tomography scan of a volcano with cosmic ray muon radiograph, Journal of Geophysical Research, 査読有, Vol. 115, doi:10.1029/2010JB007677
- ⑤ Tanaka, H.K.M., T. Uchida, M. Tanaka, H. Shinohara, and H. Taira, 2010, Development of a portable assembly type cosmic-ray muon module for measuring the density structure of a column of magma, Earth Planets Space, 査読有, Vol. 62, 119-130
- ⑥ Taira, H., and H.K.M. Tanaka, 2010, Possible space and power effective muon sensor module for imaging a volcano, Earth Planets Space, 査読有, Vol. 62, 179-186
- ⑦ Tanaka, H.K.M., T. Uchida, M. Tanaka, H. Shinohara, and H. Taira, 2010, Development of a portable assembly type cosmic-ray muon module for measuring the density structure of a column of magma, Earth Planets Space, 査読有, Vol. 62, 119-130
- ⑧ 大久保修平・菅野貴之・風間卓仁・山本圭吾・井口正人・田中愛幸・孫文科・高山鐵朗・坂守・松本滋夫, 2010, 桜島火山における絶対重力観測, 地震火山噴火予知研究計画報告書「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解

明のための研究」(京都大学防災研究所), 査読無, 65-71

- ⑨ 大久保修平, 2010, ハイパー・ハイブリッド重力測定—地殻内流体移動検出の高精度化を目指して, 地震ジャーナル, 査読無, 50 巻, 78-82
- ⑩ Kazama T. and S. Okubo, 2009, Hydrological modeling of groundwater disturbances to observed gravity: Theory and application to Asama Volcano, Central Japan, Journal of Geophysical Research, 査読有, 114, doi: 10.1029/2009JB006391
- ⑪ Tanaka, H.K.M., T. Uchida, M. Tanaka, ほか6名, 2009, Detecting a mass change inside a volcano by cosmic-ray muon radiography (muography): First results from measurements at Asama volcano, Japan, Geophysical Research Letters, 査読有, 36, doi: 10.1029/2009GL039448
- ⑫ 名和一成・杉原光彦・村田泰章・風間卓仁・西田究・菅野貴之・小山悦郎・大久保修平・奥田隆, 2008, シントレックス重力計連続観測による降雨・地下水流動に伴う重力変化の検出—2007年台風9号、浅間火山観測所の場合—測地学会誌, 査読有, 54, 59-67

[学会発表] (計12件)

- ① Okubo, S., H. Tanaka, T. Kazama, K. Yamamoto, Y. Tanaka, and M. Iguchi, Gravity monitoring supplemented with cosmic ray imaging measures rise and fall of magma head, 第25回 IUGG 学術総会, 2011年7月2日, メルボルン国際コンベンションセンター (オーストラリア)
- ② 大久保修平・風間卓仁, 山本圭吾・田中宏幸・田中愛幸・今西祐一・福田洋一・井口正人, ハイパーハイブリッド重力観測—浅間 2004 年・桜島 2010 年のケーススタディ, 日本地球惑星科学連合大会, 2011年5月23日, 幕張メッセ (千葉県)
- ③ 風間卓仁・田村良明・浅利一善・真鍋盛二・大久保修平, ローカルな陸水変動に伴う重力変化: 胆沢扇状地における観測およびモデリングを例に, 日本地球惑星科学連合大会, 2011年5月23日, 幕張メッセ (千葉県)
- ④ 大久保修平・風間卓仁・山本圭吾・田中宏幸・菅野貴之・田中愛幸ほか4名, 桜島火山における、ハイパー・ハイブリッド重力観測, 日本測地学会, 2010年11月10日, 京都大学きはだホール (京都府)
- ⑤ 風間卓仁・大久保修平・田村良明・浅利一善・真鍋盛二, 地下水流動に伴う重力変化の水文学的モデリング: 胆沢扇状地への適用例, 日本地球惑星科学連合大会, 2010年5月27日, 幕張メッセ (千葉県)

- ⑥ 大久保修平・田中宏幸, 高エネルギー素粒子地球物理学研究プロジェクト (ESPRIT エスプリ), 日本地球惑星科学連合大会, 2010年5月26日, 幕張メッセ (千葉県)
- ⑦ 田中宏幸, 火山の多検出器トモグラフィ観測へ向けた低消費電力可搬型ミュオグラフィ検出器の開発, 日本地球惑星科学連合大会, 2010年5月24日, 幕張メッセ (千葉県)
- ⑧ 風間卓仁・大久保修平・山本圭吾・井口正人・菅野貴之・田中愛幸・孫文科, 重力連続観測で明らかになった火山内部のマグマ移動プロセス, 日本地球惑星科学連合大会, 2010年5月24日, 幕張メッセ (千葉県)
- ⑨ 風間卓仁・菅野貴之・大久保修平・孫文科, 田中愛幸・山本圭吾・井口正人, 桜島 2008-2009 年噴火における絶対重力変化, 日本測地学会, 2009年11月4日, 産業技術総合研究所 (茨城県)
- ⑩ 風間卓仁・大久保修平・山本圭吾・井口正人・菅野貴之・田中愛幸・松本滋夫・孫文科, 重力データに含まれる地下水擾乱の水文学的補正: 桜島火山への適用例, 日本地球惑星科学連合大会, 2009年5月21日, 幕張メッセ (千葉県)
- ⑪ 田村良明・寺家孝明・浅利一善・真鍋盛二・大久保修平・風間卓仁, 国立天文台水沢における超伝導重力観測と測地コロケーション観測, 日本地球惑星科学連合大会, 2009年5月21日, 幕張メッセ (千葉県)
- ⑫ 風間卓仁・菅野貴之・田中愛幸・松本滋夫・孫文科・大久保修平ほか4名, 桜島火山における絶対重力連続観測, 日本測地学会, 2008年10月23日, 函館市民会館 (北海道)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)  
○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等 なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大久保 修平 (OKUBO SHUHEI)  
東京大学・地震研究所・教授  
研究者番号: 30152078

### (2) 研究分担者

孫 文科 (SUN WENKE)  
東京大学・地震研究所・准教授  
研究者番号: 10323651  
(H20 年度)  
田中 宏幸 (TANAKA HIROYUKI)  
東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：20503858

田中 愛幸 (TANAKA YOSHIYUKI)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：90508350

徳永 朋祥 (TOKUNAGA TOMOCHIKA)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・  
准教授

研究者番号：70237072

田村 良明 (TAMURA YOSHIAKI)

国立天文台・水沢 V E R A 観測所・助教

研究者番号：90150002

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：