

概 要

本報告は、特別研究「マグマ活動の定量的把握技術の開発とそれに基づく火山活動度判定の高度化に関する研究」（平成18年～平成22年度）においてえられた成果を、火山における詳細な地殻変動観測からマグマの状態を定量的把握するための研究と、マグマの蓄積・上昇に伴う地殻変動の推移から火山活動を評価する手法についての研究という2つのテーマのもとにまとめたものである。

第1章では、活動的火山を対象として地殻変動の詳細な観測を行い地下のマグマの状態を定量的把握するための研究について報告する。

火山の地殻変動は地下のマグマの状態を知る有力な手がかりとなる。実在する地下構造や特定の圧力源の形状を考慮した上で地殻変動の定量的な解析を行うためには、有限要素法（FEM）などの数値的な手法を用いる必要がある。地下構造が存在するため地下の弾性定数（剛性率）は場所や深さによって異なっており、それは地表の地殻変動の様子にも大きな影響を与える。ここでは、伊豆大島において地下の3次元構造を考慮した場合に予想される地殻変動の振る舞いを調べた。また、圧力源の形状が鉛直方向もしくは水平方向につぶれた球（回転楕円体）の場合を扱い、どのような場合に観測によって圧力源の形状のずれが検出できるかの評価を行った。

伊豆大島における詳細な地殻変動観測として、特に山頂部に重点をおいた観測網でGPS、光波測距、傾斜観測を実施した。それによって、伊豆大島は、長期的に膨張する中で、短期的な収縮と膨張を繰り返していることを明らかにし、地殻変動をもたらす圧力源の位置や深さ、体積増加量がどの程度であるかを定量的に明らかにした。また、精密重力観測によって伊豆大島の各点の重力の経年変化を明らかにした。経年変化が最大の点はカルデラ北部に位置し、推定される圧力源は地殻変動観測によるものと水平位置に近いが、単純なマグマ蓄積による体積膨張では重力変化の大きさを説明できなかった。

全国を対象として陸域観測技術衛星「だいち」のSARデータを用いた干渉画像解析から火山性地殻変動の検出を行った。また海外の火山でも同様の試みを行った。その結果約10火山で火山活動に伴う地殻変動を検出することに成功した。また2011年1月の霧島山新燃岳の活動において、「だいち」のSARデータの解析により、新燃岳山頂火口における溶岩の出現、蓄積などの状況変化を捉えた。

浅間山ではGPS連続観測及び光波測距観測を行い、火山活動の消長に伴う西山麓深部、および山頂火口直下浅部での膨張と収縮を明らかにした。

第2章では、マグマの蓄積・上昇とそれに伴う地殻変動の時間変化から火山活動を評価する手法を開発するための研究について報告する。

マグマの上昇ではマグマと周辺の地殻の密度差による浮力が大きな役割を果たす。マグマ内の揮発性物質の気泡成長に起因する浮力に着目した理論的なマグマ上昇の計算を行ったところ、マグマ上昇速度は揮発性物質の濃度、粘性などのマグマの物理的性質、ダイクの厚みなどの上昇形態によって、きわめて多様に変化することが明らかになった。

マグマ上昇シナリオの作成に向け、国内で近年観測された様々な火山性地殻変動について、その膨張量や深さ等について系統的に整理したところ、膨張量や膨張レートには大きなものから小さなものまであり、膨張レートの大きい事象のほとんどがマグマ貫入によると考えられる現象であること、膨張レートは同時に発生する地震活動度とよい相関があることなどがわかった。また、異常未経験火山の活動評価に資するため、火山活動が進行していく中で観測される地殻変動について、一般的な地殻変動に関するシナリオを作成し、それぞれの段階でどのような観測によりどの程度の異常が検出できるかについてとりまとめた。

霧島山ではGPS観測により2011年1月の新燃岳噴火に先行した地殻変動やその時間変化がとらえられた。それらについて地殻変動源のモデリングを行い、火口直下および新燃岳の北西に位置する変動源を推定した。

地下の密度構造はマグマ上昇に大きな影響を持つと考えられる。新燃岳を含む霧島火山群において重力探査を実施し、その結果を解析することで地下密度構造を明らかにした。

火山活動評価を支援するツールとして、火山用地殻活動支援ソフトウェア (MaGCAP-V) の機能強化を行い、楕円体モデルの推定機能、マグマ蓄積による重力変化の解析機能、光波測距データ及び干渉 SAR データの解析機能、モデルの時間変化の自動解析および表示機能を取り入れた。

Summary

This document reports the results from a comprehensive five-year research study entitled “Development of quantitative detection techniques of magma activity and improvement of evaluation of volcanic activity level,” conducted from April 2006 to March 2011. The results are divided into two chapters.

Chapter 1, “Evaluation of volcanic activity level from geodetic observations,” reports on a study of quantitative monitoring of magma based on precise geodetic observations around active volcanoes.

Deformation of a volcanic edifice provides a good indication of the state of the underlying magma body. Quantitative modeling of the deformation, using an underground structure or a pressure source of not simple shape, requires numerical methods like the finite element method (FEM). Elastic constants such as rigidity vary from place to place in the earth, strongly affecting the surface deformation of a volcano. We investigated the deformation expected given the underground structure of Izu-Oshima volcano. We also modeled the case in which the pressure source was not a sphere but an ellipsoid flattened vertically or horizontally, and estimated the possibility of detecting the resulting differences in volcanic deformation from geodetic data. We carried out geodetic observations using GPS, electronic distance measuring (EDM) instruments, and tilt measurements in a network on the summit area of Izu-Oshima. Our results showed that the volcano displayed continuous long-term inflation modulated by repeated short-term cycles of deflation and inflation. The data enabled us to make quantitative estimates of the pressure source for this deformation including its position, depth and volume change. We also conducted a precise gravity survey and evaluated the secular variation of gravity at each measurement site. The maximum variation was found at a site on the north side of the caldera, and the source of the gravity variation appeared to be near the source of the volcanic deformation, although the volumes of magma accumulation estimated from deformation data and from gravity data were not identical.

We also sought to measure deformation of a large number of Japanese volcanoes, as well as a few volcanoes outside Japan, using synthetic aperture radar (SAR) interferometry from data collected by the ALOS satellite. We successfully detected the deformation caused by volcanic activity in about 10 of these volcanoes. Analysis of SAR data revealed the appearance and accumulation of lava in the summit crater during the January 2011 eruption of Shinmoedake, in the Kirishimayama volcano group.

At Asamayama we conducted GPS observations and EDM measurements, demonstrating that the volcano had inflated and then deflated, coinciding with volcanic activity at a deep location beneath the western flank and a shallow location just beneath the summit crater.

Chapter 2, “Evaluation of volcanic activity based on scenarios of magma ascent,” reports on a study on evaluating volcanic activity based on the time history of deformation caused by the accumulation and ascent of magma.

Buoyancy, derived from the density difference between magma and the surrounding crust, is the

primary driver of the ascent of magma. In a theoretical calculation of magma ascent by buoyancy resulting from a growth of gas bubbles in magma, we found that the speed of ascent could range widely depending on the volatile concentration in magma, physical properties of magma such as viscosity and boundary conditions such as the width of dikes.

To construct magma ascent scenarios, we used geodetic data from various volcanoes in Japan and summarized their respective pressure sources in terms of depth, volume change and other features. The volume changes and the rates of volume change both had a very wide range. Events with high volume change rates appeared to be magma intrusion events in many cases. Rates of volume change were strongly correlated with seismicity of volcano. To aid in evaluating activity in volcanoes for which few historical data are available, we created general scenarios about how volcanic deformation would develop during the progress of typical eruption cycles, summarizing what anomalies could be detected during each stage of activity.

In the Kirishimayama group, GPS observations revealed the sequence of ground deformation preceding the 2011 Shinmoedake eruption. We used these data to model pressure sources just below the summit crater and in an area northwest of Shinmoedake.

In addition to being influenced by magmatic factors and boundary conditions, magma ascent is also greatly affected by the density structure of the surrounding crust. We determined the density structure under the volcanoes in the Kirishimayama group, including Shinmoedake, on the basis of a gravity survey.

The software package MaGCAP-V was enhanced and improved as a tool supporting evaluation of volcano activity. MaGCAP-V can now estimate pressure sources with ellipsoidal shapes, analyze gravity changes caused by magma accumulation, conduct analyses of EDM and SAR data, and automatically analyze and display the temporal variation of pressure sources.