

特定火山(阿蘇山)取りまとめ案

1. 火山活動の状況

阿蘇山は、有史以来頻繁に噴火している我が国有数の活火山である。近年は中岳第1火口での活動が中心で、1958年、1979年には爆発的噴火によって犠牲者を出している。1989～1991年のストロンボリ式噴火の後も、土砂噴出等のやや活発な火山活動が時折見られていた。

中岳第1火口では最近約10年間湯溜まり状態が続いているが、2003年前半から湯溜まりの温度が次第に上昇し、6月からその量の減少が見られるようになる中、7月に小噴火が発生した。この噴火による降下火山灰は、中岳から東北東14kmの地点まで到達し、その総量は約130トンであった。その後も、降水による一時的な湯溜まり量の増加はあるものの、その量は徐々に減少していった。2004年1月にもごく小さい噴火が発生して火口外に火山灰を噴出、2005年4月にも同様の噴火が発生した。さらに、2005年5月には、火口底に赤熱が見られるようになった。赤熱現象は、その後台風による降水によって2005年9月には見えなくなった。

2. 火山活動に対する対応

(1) 実施状況

気象庁は、阿蘇山の火山活動を24時間監視するとともに、定期的に火口の状況の現地調査を繰り返し行って、火山活動の推移の把握に努めた。一方、大学、国土地理院、産業技術総合研究所等も各種の観測・調査を実施した。

地震については、気象庁と大学が常設の地震観測網による常時観測を実施し、火山性微動の発生状況や微動振幅の変動を計測した。また、大学は広帯域地震計を火口周辺に設置して、微動の臨時観測を行った。

地殻変動については、国土地理院が電子基準点によるGPS連続観測を継続するとともに、国土地理院と気象庁がGPSの繰り返し観測を実施した。また、大学もGPS観測点を火口周辺に増設して観測を強化した。さらに、国土地理院は、2003年と2004年に水準測量を実施した。

電磁気・熱についても、観測の強化が図られた。気象庁は、従来の2地点に加え2002年から新たに火口縁西側に2点の全磁力連続観測点を追加した。2003年からは、地下の熱源を推定する目的で空間的な地磁気変化分布を把握するために、火口縁及びその周辺に新たに19点の全磁力の繰り返し観測点を設置し、既設点3点を合わせ計22点で年2回程度の頻度で観測を開始した。一方、大学は、これまでの火口周辺における全磁力観測に加えて、全磁力変化を空間的に高精度で把握するために、2000年以降5回の繰り返し空中磁気測定を行った。これらの観測の他に、大学は、火口内における熱活動の活発化を把握する目的で、熱水対流の強さを自然電位変化によって推定するためゼータ電位に関する基礎的研究を実施した。また、火口における赤熱現象を正確に捉えるために、ビデオカメラのナイトショットモードを利用して近赤外領域において地表面温度を正確に測定する方法を開発して測定した。

地球化学観測については、大学により火山ガス及び温泉観測が実施された。火山ガスに

については、相関スペクトロメータ（COSPEC）及び小型放出量測定装置（DOAS）を用いて二酸化イオウ（ SO_2 ）の遠隔測定を実施したほか、中岳第1火口の南側壁面にある噴気地帯の地面を赤外光の光源として利用し、赤外分光放射計（FT-IR）を用いて火山ガス化学組成比の測定を行った。また、2005年7月と11月には、開発中の紫外分光計を用いた SO_2 と硫化水素（ H_2S ）濃度同時測定装置のテストを行った。温泉観測については、2003年7月の小噴火以降、温泉水の温度・PH・主成分濃度・溶存炭酸ガス濃度等の繰り返し観測を開始した。

地質・噴出物については、産業技術総合研究所が野外調査を実施し噴出物の把握に努めるとともに、採取試料の形態観察、EPMA分析を行った。

これらの観測結果は、火山情報等で定期的に発表するとともに、火山灰の噴出等の噴火に際しては、臨時火山情報等で注意を呼びかけた（気象庁）。また、2003年11月からは、火山活動度レベルの提供を開始した。阿蘇山のレベルは本期間、概ね2（やや活発な火山活動）であったが、小噴火の発生に際して一時的にレベル3（小規模噴火の発生）に引き上げた（気象庁）。

火山噴火予知連絡会は、阿蘇山について、定例会議において、適宜、重点討議火山として取り上げ、各機関の観測データの取りまとめを行い、火山活動の総合評価結果を公表した。

(2) 具体的成果

中岳第1火口内の湯溜まりの湯量の減少、温度上昇、土砂噴出等の表面活動の監視観測や火山性微動の発生状況、全磁力変化、火山ガス放出量、噴出物の分析等から、阿蘇山の火山活動の高まりを確実に捉えることができた。全磁力連続観測では、中岳第1火口の熱的活動の高まりを示す全磁力変化を観測することができた。また、1998年から継続している熱消磁は次第に頭打ちになりつつも継続し、火口の地下およそ400mにおいて温度が上昇していることが明らかになった。火山ガス観測では、小噴火に伴って、 SO_2 の放出量が増加しその後減少することが観測され、 SO_2 放出量の観測が火山活動レベルの把握に有効であることが再確認された。また、噴出物の分析からは、2003年7月の小噴火の火山灰は新鮮なガラスを少量含み、これらは本質物である可能性が高いことが分かった。さらに、ガラスの水含有量の分析から、マグマがかなり浅いところまで上昇している可能性が示唆された。

地殻変動観測や火山ガス観測からは、阿蘇山のマグマ供給系に関する知見が得られた。GPS連続観測データを用いた解析により、2003年と2005年にカルデラ中央部が盛り上がる地殻変動が発生しており、力源は深部にある可能性の高いことが分かった。一方、水準測量やGPS連続観測結果の長期的変動に注目した解析から、阿蘇カルデラは全体として沈降していることが明らかとなった。一酸化炭素と二酸化炭素の濃度比（ CO/CO_2 ）からは、地下での平衡温度が少なくとも 650°C 以上であると推定された。また、塩化水素と二酸化イオウの濃度比（ HCl/SO_2 ）変化から、 HCl が湯溜まりの水または地下水に選択的に取り込まれていることが示唆された。

観測システムや解析手法の改良においても成果が得られた。全磁力観測では、全磁力変化に含まれる電離圏・磁気圏を起源とする変動除去のために、全磁力成分の他に地磁気3成分を使用した確率差分法を適用することで、火山活動を起源とする地磁気変化の検出能

力の向上を図ることができた。空中磁気測定についても、良好なデータ再現性が確認され、10nT を越える変化があった場合には高精度に変化を捉えることが可能になった。また、SO₂ 放出量観測では開発中のDOASの試験観測を行ない、この経験が2004年9月の浅間山の噴火に活かされた。

火山活動の一時的な活発化に際して、気象庁は臨時火山情報を発表して、同時に火山活動度レベルを3に引き上げ、地元自治体による火口周辺の規制を促した。また、地元自治体は、レベルの引き下げにより規制を解除しており、レベルと防災対応がスムーズにリンクして運用された。

火山噴火予知連絡会は、阿蘇山について、適宜観測データを取りまとめ火山活動の総合的評価を行い、「熱的活動の活発な状態が続き、さらに活発化すれば噴石等を火口外へ放出する噴火の可能性がある」との評価結果を公表した。

3. 今後の課題と展望

従来からの地震観測や火口観測、測地測量等に加えて、GPSや全磁力観測が強化されるとともに、多種の火山ガス観測や噴出物調査・分析が精力的に実施され、阿蘇山の火山活動をよりの確に把握できるようになったことは評価できるが、なお多くの課題が残されている。阿蘇山は、1989～1991年の噴火以降は比較的静穏な状態が続いていたが、最近になって小噴火が発生する等、将来の活動活発化も予想されるので、今後も引き続き観測調査の充実と観測体制の強化が必要である。

全磁力連続観測は、中岳第1火口の熱的活動の高まりを示す全磁力変化を捉えており火山活動の把握に有効であるが、より安定した全磁力観測のためには地下埋設可能な観測装置の開発が必要である。その上で、その観測装置を火口周辺に多数展開すれば、高い時間空間分解能で地下温度の昇降の規模と分布を推定できると考えられる。また、空中磁気測定による地下の温度変化の推定も、対地高度50m～100mにおいて10nT以上の変化があれば可能であり、今後多くの火山において実験を繰り返すことでこの推定法が実用化できる可能性がある。また、火山ガスの観測については、火山ガス放出量だけでなく、火山ガス組成の連続測定も視野に入れた、新しい火山ガス観測体制の確立が必要である。最近では、分光学的方法や化学センサーを用いた火山噴煙中のガス成分の測定法が開発されており、この新技術を導入すればガス組成の連続測定が可能になると考えられる。噴出物については、新たな噴火で放出された火山灰が、新しいマグマに由来するものか否かを判断するためには、近年の噴火による火山灰の形態的特徴や化学組成、揮発性物質の量、水和層の有無等の情報が不可欠であるが、データは少ない。今後過去の噴出物についてもデータを蓄積し、今後の噴火に備える必要がある。

観測結果の解釈についても課題が残されている。阿蘇カルデラの長期的沈降の意味、時々発生する山体の膨張と火山活動の関連性は明らかでなく、その解明が必要である。また、阿蘇山においては、火口の噴気温度が数100℃以上となっても噴火にいたるとは限らない。このような現象で火山流体がどのように上昇し放出されているかを定量的に研究する必要がある。さらに、2005年まで熱的には活発な状態が続いたが、SO₂放出量は2003年7月の噴火以降減少傾向にある。火山活動の予測の確度を上げるためには、このような観測事実を整合的に説明する物理化学モデルの構築が必要である。

火山情報の発信に関しては、火山活動度レベル3と火口周辺の規制がリンクしスムーズな防災対応が行われているが、レベルの判断基準については、この間火山活動の進行を見ながら適宜見直しながら運用してきた。今後も火山活動度レベルの判断基準等は改善していく必要がある。

注) 図については、「1996-2006年の各種観測量（気象庁観測データ、京大全磁力、九大SO₂）の比較」を作成する予定である。

< 特定火山論文リスト >

(査読論文)

- 村上亮・小沢慎三郎 (2004) GPS 連続観測による日本列島上下地殻変動とその意義, 地震, 57, 209-231.
- Hase, H., Hashimoto, T., Sakanaka, S., Kanda, W., Tanaka, Y. (2005) Hydrothermal system beneath Aso volcano as inferred from self-potential mapping and resistivity structure. *J. Volcano. Geotherm. Res.*, 143, 259-277
- Hase H., Ishido, T., Takakura, S., Hashimoto, T., Sato, K., Tanaka, Y. (2003) Zeta potential measurement of volcanic rocks from Aso caldera. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 2210, doi:10.1029/2003GL018694
- Saito, T., Sakai, S., Iizawa, I., Suda, E., Umetani, K., Katsuya Kaneko, K., Furukawa, Y., Ohkura, T. (2004) A new technique of radiation thermometry using a consumer digital camcorder: Observations of red glow at Aso volcano, Japan. *Earth Planets Space*, 57, e5-e8
- 筒井智樹・須藤靖明・森 健彦・勝俣 啓・田中 聡・及川 純・戸松稔貴・松尾のり道・松島 健・宮町宏樹・西 潔・藤原善明・平松秀行 (2003) 阿蘇火山中央火口丘山体の3次元地震波速度構造. *火山*, 48, 293-307
- 宮縁育夫・星住英夫・高田英樹・渡辺一徳・徐 勝 (2003) 阿蘇火山における過去約9万年間の降下軽石堆積物. *火山*, vol. 48, p. 195-214.
- 宮縁育夫・星住英夫・渡辺一徳 (2004) 阿蘇火山における更新世末期、AT火山灰以降のテフラ層序. *火山*, vol. 49, p. 51-64.

(査読なし報告書類)

- 藤井郁子 (2004) 確率差分法を用いた火山性全磁力変動の抽出方法. *地磁気観測所テクニカルレポート*, 2, 1-17.
- 気象庁地磁気観測所・福岡管区气象台 (2005) 阿蘇山における地磁気全磁力変化, *火山噴火予知連絡会会報*, 90, 115-117.
- 国土地理院 (2004) 阿蘇山周辺の地殻変動, *火山噴火予知連絡会会報*, 86, 120-122.
- 長谷英彰・高倉伸一・石戸経士・佐藤佳子・橋本武志・田中良和・大倉敬宏 (2002) 阿蘇山における岩石のゼータ電位測定, *京都大学防災研究所年報*, 45B, 645-656
- Hashimoto, T., Ikebe, S., Yoshikawa, S. (2002) Water level of the crater lake (Yudamari) of Nakadake, Aso Volcano. *Ann. Rep. FY 2002 Inst. Geotherm. Sci., Grad. Sch. Sci. Kyoto Univ.*, 11-12
- 橋本武志・田中良和・宇津木充 (2001) 阿蘇火山における地磁気変化について(1991-2000年). *京都大防災研年報*, 44, B-1, 333-343
- 九州大学地震火山観測研究センター (2004) 阿蘇火山における地球化学的観測 (~2004年1月). *噴火予知連会報*, 87, 83-87
- 九州大学地震火山観測研究センター (2004) 阿蘇火山における地球化学的観測 (~2004年5月). *噴火予知連会報*, 88, 102-105

- 九州大学地震火山観測研究センター (2005) 阿蘇火山における地球化学的観測 (～2004年10月). 噴火予知連会報, 89, 89-90
- 大沢信二・須藤靖明・馬渡秀夫・下田 玄・宇津木充・網田和宏・吉川 慎・山田 誠・岩倉一敏・恩田裕二 (2003) 阿蘇火山の火口湖「湯溜まり」の地球化学的性質. 九大地熱・火山研究報告, 12, 62-65.
- 田中良和 (2003) 繰り返し観測を思考した空中磁気測量について. 科学研究費特定領域研究「火山爆発のダイナミクス」平成14年度成果報告書, 35-38
- Utsugi, M., Tanaka, Y., Kitada, N. (2003) High Density Helicopter-Borne Aeromagnetic Survey in Aso Volcano. Ann. Rep. FY 2003 Inst. Geotherm. Sci., Grad. Sch. Sci. Kyoto Univ., 39-40.
- 吉川慎・須藤靖明 (2004) 阿蘇火山中岳第1火口の温度変化と火山活動. 京都大防災研年報, 47 B, 803-807
- Yoshikawa, M., Sudo, Y., Londono, J.M., Masuda, H. (2002) Three-dimensional seismic velocity structure of the Hoho Volcanic Zone in central Kyushu, Japan. Ann. Rep. FY 2002 Inst. Geotherm. Sci., Grad. Sch. Sci. Kyoto Univ., 38-39