

平成 22 年 6 月 8 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19403003

研究課題名 (和文) 北マリアナ諸島の火山活動に関する研究

研究課題名 (英文) RESEARCH ON VOLCANIC ACTIVITY IN THE NORTHERN MARIANAS

研究代表者

中田 節也 (NAKADA, SETSUYA)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：60128056

研究成果の概要 (和文)：

北マリアナ・アナタハン火山において 2008～9 年に総合観測を実施し活動評価を行った。期間中に発生した水蒸気爆発では、火口直下を震源とし振幅が次第に増大する連続微動が捉えられた。GPS 観測からは西方にある圧力源の収縮が記録されマグマが斜めに上昇する経路が捉えられた。噴出物からはマグマ噴火が 2003～4 年までであり、以降は水蒸気爆発であることが示された。これまで一連の火山活動はほぼ終息したと考えられる。

研究成果の概要 (英文)：

Comprehensive observation was carried out at Anatahan volcano, Northern Marianas during 2008-2009. A continuous volcanic tremor of phreatic eruption, sourced just beneath the crater and with the amplitude increased by the time of eruption, was recorded. Following the eruption, deflation of the magma source on the conduit inclined to the west was analyzed by the GPS observation. Eruption products indicate magma eruption limited during 2003-2004. Those may suggest that the eruptive activity almost ends.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	8,600,000	2,580,000	11,180,000
2008 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：火山活動，マグマ水蒸気爆発，北マリアナ諸島，火山性微動，マグマ供給系

1. 研究開始当初の背景

北マリアナ諸島は伊豆・小笠原島弧の南方延長にあり，南北約 1500km に連なる 10 数個の島々からなる火山弧である。陸上の

火山弧は前兆 500km に及ぶ。北マリアナ弧の背弧に当たるマリアナトラフでは急速な拡大が起きており，その拡大速度の変化は我々の研究グループの GPS 観測等からも明らかになってきている。一方，北マリ

アナ弧の火山活動の特徴はこれまでにほとんど明らかになっていない。

2003年5月11日には、この火山弧南限にあるアナタハン火山において有史以来始めて噴火が起こり、上空10km以上噴き上げられた火山灰の影響により、成田-グアム線など航空路に長期にわたって大きな影響を及ぼした。この噴火は2003年7月に我々の研究グループが調査し、噴火の特徴をいち早く把握するとともに、これまで北マリアナ諸島を中心に実施していたGPS観測との比較を行った(Nakada et al., 2005, J. Volcanol. Geotherm. Res.)。2004年夏までのGPS観測の結果、マグマ溜まりは島の西方に存在する可能性が高いこと、噴火後に山体が一旦収縮したが2004年初頭から膨張に転じたことなどを明らかにした(Watanabe et al., 2005, J. Volcanol. Geotherm. Res.)。噴火活動は2005年9月には一旦沈静化したものの、火山性地震は依然として起こり続けていた。北マリアナ火山の監視観測はUSGSがサイパンの危機管理局と協力して実施している。我々の研究グループも危機管理局と連携をとり、地殻変動と地形地質観測の結果を提供し、噴火災害の防止に協力をして来た。一方、USGSは監視を優先し地震観測を多点で実施していたが、2005年の噴火の活発化後は、1点の観測点すら維持できておらず、震源移動や地殻変動等、アナタハンの地下の情報が噴火開始以後ほとんど取得されていないのが現状であった。噴火予測研究の立場から、活動中のアナタハンを対象に火山学的に研究することが急務であった。

2. 研究の目的

本研究では、アナタハン島の地震・地殻変動・地質の総合観測調査を複数年に渡って行い、今回の噴火を引き起こしたマグマ供給系を理解するとともに、噴火の状態と将来の噴火ポテンシャルを評価することを第1の目的とした。すなわち、現地記録型の地震観測を実施し震源決定とその移動を理解すること。また、繰り返し多点GPS観測により圧力源位置推定及びその移動を理解すること。さらに、地形や噴出物の解析から噴火の推移と現状を把握する。これらのデータを総合的に解釈する。第2の目的としては、アナタハンの造構場とマグマ活動の関係を理解するために、これまで継続して来たGPSの広域的観測を実施するとともに、北マリアナ弧の北端に位置するウラカス火山岩試料を採取し、北マリアナ弧の岩石化学的な変化を検討することにした。

3. 研究の方法

火山活動に伴う地震の震源決定ができるように島内全域をカバーし適度に散らばる5観測点(図1)に、現地収録型の3成分地震計を設置した。島内の移動はヘリコプターでのみ可能であるため、ヘリコプターでのアクセスが可能な場所を観測点として選んだ。さらに、機材重量は軽量・高性能の長期無人観測用に1観測点当たりの総重量を10kg以下でかつ約400日連続記録が可能ないように、1Hzの3成分地震計、24ビット分解能で16Gbのメモ리카ードを持つ記録計、エアアルカリ電池を2個並列に使用した。地震観測は2008年6月末から2009年7月始めまで実施した。この5地震観測点にはGPS観測用のピラーも併設した。そのうち1点(北西端のANNW)はこれまでGPSを観測していたピラーを使用した。GPSは設置時、途中、回収時の3回のキャンペーン観測を実施した。地形・地質観測は観測点設置時と地震データの回収などに一緒に実施した。

観測点の設置時における島内移動・データ回収・撤収・地質調査はサイパンに会社があるヘリコプターを使用し、観測点設置時の重量機材の運搬と作業者の移動、および、アナタハン以北の火山島への移動はサイパンを港に持つ釣り船を使用した。そのため本研究費の多くはヘリコプター借料と傭船代に費やされた。

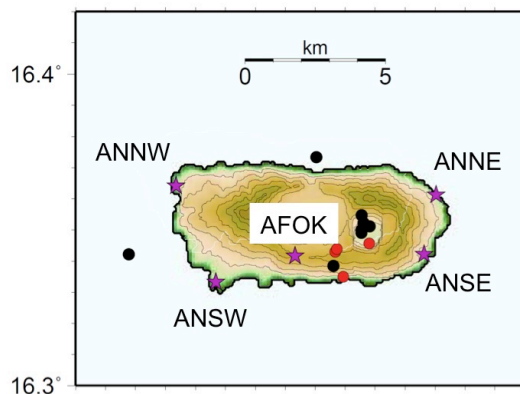


図1 アナタハン島で2008年6月~2009年7月にかけて実施した地震・地殻変動の5観測点および震源位置。黒丸は構造性地震。赤丸は長周期地震。

4. 研究成果

(1) 地震・地殻変動観測

地震活動は2008年の夏を除き観測期間中は極めて低調であった。観測された地震には構造性と長周期の2種類がある。観測さ

れた地震のマグニチュードは最大で1程度である。構造性地震は観測期間中ほぼ一定の頻度で発生したのに対して、長周期地震は2008年7～8月の水蒸気爆発の発生前後のみ観測された。深さ3kmまで $V_p=3\text{km/s}$ 、3-10kmを 4.5km/s 、それ以深を 6km/s 、 V_p/V_s 比を1.73と仮定した。構造性地震は深さ1～3kmのものは火口の南縁に集中するが、5km以深のものは島の北や西方でも発生した。長周期地震の書道の立ち上がりは悪い。上記の期間中に長周期振動は時間とともに増大した。卓越周期はAFOKで2～6Hz、他の点では1～2Hz。この長周期地震は水蒸気爆発の前後に発生していることから火山性微動であると判断される。ここでは22日間継続したものを連続微動、3時間以下のものを孤立型微動とした。AFOKに対する各観測点で観測された微動の振幅比を図2に示した。連続微動発生期間中の振幅比はほぼ一定であり、強度は時間とともに変化したが、発生源位置は変化しなかったことを強く示唆する。微動の発生源を観測点の微動の振幅比から推定すると、火口の南縁に近くに求まる。観測点における微動波形のパーティクルモーションを解析すると典型的な表面波の特徴が示され、微動源が地表に近い浅所であったことが示唆される。地動が新家位置でどれくらいであったかを示す値（換算地動変位 Reduced Ground Displacement）を McNutt (1992) の式から求めると 1cm^2 以下であった。ブルカノ式噴火は20～50、ストロンボリ式噴火は2～30、水蒸気噴火は0.05～5程度の値をとるとされているので、今回の微動を発生した噴火は水蒸気爆発の領域であったことが推定される。

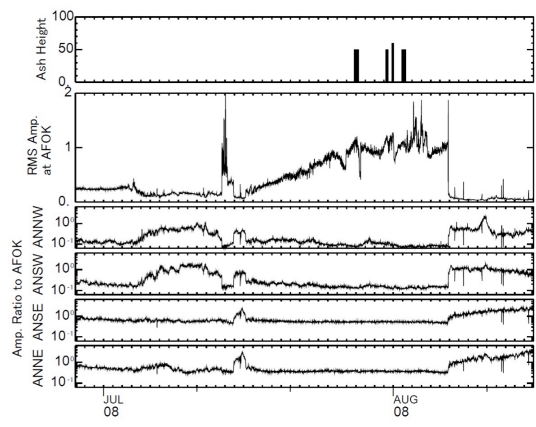


図2 2008年7月～8月に発生した連続微動。最上段はVAACによる噴煙高度。上から2段目がAFOKにおける連続微動の振幅変化。以下4段は他4観測点に置けるAFOK波形に対する振動比を示す。

期間中繰り返し行われたGPSのキャンペーン観測の結果からは、島の東部は変形が

小さく西側で西向きの変位と沈降が続いており、このことから島西方約2km沖の地下約5km付近に圧力源（マグマ溜まり？）が推定され、この圧力源が火山活動の低下にもなって収縮していると推定された（図3）。また2008年8月噴火に先立って東西性の開口割れ目が推定され、この割れ目や圧力源は西に傾くマグマ供給系が存在することを物語っている。

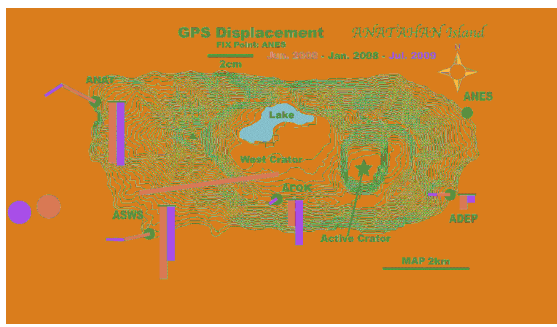


図3 2008～2009年のGPS観測で得られた圧力源変化。赤色は2008年6月～2009年1月の変化。青色は2009年1～7月の変化。収縮源（丸印）、観測点の沈降量およびベクトル変化も示した。中央やや下に斜めの赤線は2008年8月噴火に先立っての変動を説明する開口割れ目（幅40cmで $2 \times 10^6 \text{m}^3$ ）。

(2) 噴火のモデルと活動評価

2003年5月11日以来大きく5つの噴火時期が認識される（図4）。その間火口底は次第に深くなり径は大きくなった。噴火の目撃や噴出物から判断すると2003年5月噴火と2004年3月からの噴火はマグマ噴火であり、2003年6月、2004年夏、それ以降の噴火は水蒸気爆発と判断できる。2003年6月の水蒸気爆発の堆積物には発泡した新鮮な軽石も認められるが、それ以外の噴出物では円磨された溶岩粒子や結晶片がほとんどである。このような水蒸気爆発の堆積物は中心粒径がやや異なる細粒の火山灰（厚さ数cm）が何層にも繰り返してできており、2004年8月に目撃された低温の火砕サーージ噴火の噴煙から堆積したものと考えられる。

水蒸気爆発によって堆積した噴出物総量を、2003年の6月の水蒸気爆発と類似アイソパックを持って堆積したと大胆に仮定すると、カルデラ縁南西部の厚さの割合から約 10^8m^3 と見積もられる。この量は火口が最も拡大した時点で欠損したと考えられる旧山体構成物の量 $9 \times 10^7 \text{m}^3$ とほぼ同等である。すなわち、水蒸気爆発によって、マグマ自身はほとんど放出されず、火口の周囲の岩石が水蒸気爆発で噴き飛ばされたと考えれば、噴出物の構成物の観測事実とも合い、量的にもバランスすることになる。マグマは火口の地

下に存在しており、そこに海水が流入し、マグマ分が少ないマグマ水蒸気爆発を起こしていたと考えられ、地震学的な考察とも一致するように思える。

2008年8月に起きた連続微動が hydrothermal イベントのものに近く、震源が火口直下に決まること。その噴出物の特徴は主に水蒸気爆発で2004年以降の堆積物と類似していること。2004年8月の低温火砕の連続発生時に起きていた地震の特徴も2008年8月の連続微動に酷似していること。以上のことは水蒸気爆発（マグマ分の少ないマグマ水蒸気爆発）が2004年以来継続しており、その頻度と規模が小さくなって来ていたことを示している。2009年に入って直ぐに小さな水蒸気爆発が短期間認められたのを除き、明瞭な地震活動もそれ以降ほとんど起こっていない。これらのことを総合すると、2003年5月から始まった噴火活動はほぼ終息したものと考えられることができる。

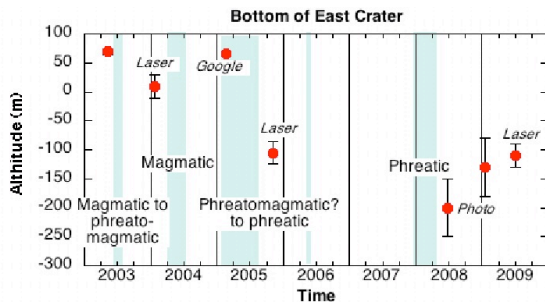


図4 2003年以降の噴火活動時期と東火口底の標高変化。LaserとPhotoはそれぞれレーザー測距儀と写真により計測した値を示す。

(3) 広域的テクトニクスとマグマ発達史

今回までのGPSの観測によると、ウラカスの北を固定点として北マリアナ弧が扇状に拡大しており、アナタハンの付近で最も拡大速度が大きいことが明らかになった(図5)。これまで沈み込む堆積物の関与が最もアナタハンで高いとされている。ウラカスの岩石はSiO₂量が53~60%であり、古い山体溶岩はカルクアルカリ岩的である(図6)。アナタハンの岩石はSiO₂量が49~66%まで幅広い変化を示し、玄武岩が他とはやや異なるトレンドを示す。安山岩組成ではアナタハンの岩石がSiO₂量に対して高いTiO₂, Na₂O, K₂O量を持ち、両火山で若干異なる組成トレンドを示す。Zr, K, Rbなどの液相濃集元素どうし比は両火山でほとんど一定であり、類似した起源物質から由来したと考えることができる。Sr/Ca-Ba/Ca図やPearce図においては、両火山はやや異なるトレンドを示すものの、似た部分熔融度のマグマが、ウラカスにおいて高い斜長石/輝石の分別を被ったためと考

えると説明可能である。アナタハンで爆発的噴火が発生したのは、マグマが分化しより珪長質のマグマが形成されたことと、マグマと水の接触が起こりやすい火山体構造であることによると考えられる。マグマの分化の仕方や構造発達に広域テクトニクスが関連するかどうかは今後の課題である。

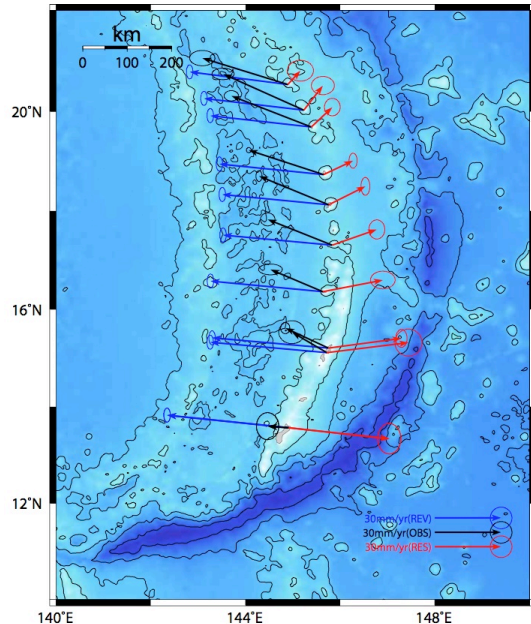


図5 今回のGPS観測によって明らかになった北マリアナ背弧海盆の拡大様式。黒→は観測結果。青と赤はそれぞれ推定される沈み込み速度と拡大速度。

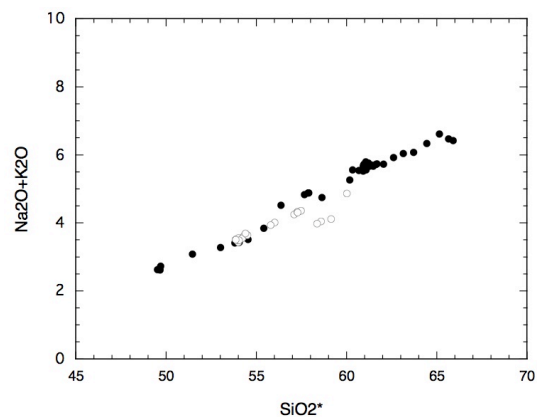


図6 アナタハンとウラカス火山の全岩化学組成。黒丸はアナタハン、白丸はウラカス。

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3件)

① 渡邊篤志・森田裕二, アナタハン島での

長期オフライン地震観測-回収編-。東大地震研技術報告，査読無，no. 15，2009，20-26.

- ② 渡邊篤志・森田裕一，アナタハン島での長期間オフライン地震観測点の設置。東大地震研技術研究報告，査読無，no. 14，2008，53-57.
- ③ 中田節也，噴火予知はどこまで可能か。岩波科学，査読無，vol. 77，2007，1250-1255.

[学会発表] (計9件)

- ① Nakada, S. et al., Recent activity of Anatahan volcano, Northern Mariana Islands, and its magma plumbing system. 2009 AGU Fall Meeting, Dec. 14, 2009, Moscone Convention Center, San Francisco, USA.
- ② 松島 健・中田節也・他，北マリアナ諸島アナタハン火山における測地観測(2)。日本火山学会2009年秋季大会，2009年10月10日，神奈川県立生命の星博物館，小田原市。
- ③ 中田節也 他，北マリアナ諸島アナタハン火山の噴火活動と2008-9年調査研究の概要。地球惑星科学関連学会2009年合同大会，2009年5月16日，幕張国際会議場，千葉市。
- ④ 森田裕一・渡邊篤志 他，アナタハン火山で観測された地震活動，火山性微動。地球惑星科学関連学会2009年合同大会，2009年5月16日，幕張国際会議場，千葉市。
- ⑤ 渡邊篤志・森田裕一 他，北マリアナ諸島アナタハン島での地震観測。地球惑星科学関連学会2009年合同大会，2009年5月16日，幕張国際会議場，千葉市。
- ⑥ 松島 健・田部井隆雄・他，北マリアナ諸島・アナタハン火山における測地観測。地球惑星科学関連学会2009年合同大会，2009年5月16日，幕張国際会議場，千葉市。
- ⑦ Nakada, S. et al., Phreatomagmatic eruption in Anatahan Volcano, Northern Marianas. 3rd Maar International Conference, Apr. 13, 2009, Malargue Convention Center, Argentina.
- ⑧ T. Tabei, T. Watanabe, T. Matsushima, K. Nakada, S. et al., Geodetic constraints for back-arc spreading across the Mariana Trough, The 2008 Fall Meeting of the American Geophysical Union, Dec. 16, 2008, Moscone Convention Center, San Francisco USA.
- ⑨ 松島 健・田部井隆雄 他，北マリアナ諸島アナタハン火山における測地観測。日本火山学会2008年秋季大会，2008年10月11日，岩手大学，盛岡市。

[図書] (計1件)

下鶴大輔・荒牧重雄・井田喜明・中田節也編，朝倉書店，火山の事典。2008，575p.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中田 節也 (NAKADA, SETSUYA)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：60128056

(2) 研究分担者

森田 裕一 (MORITA, YUICHI)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：30220073

(3) 研究分担者

前野 深 (MAENO, FUKAHI)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号：20444078

(4) 連携研究者

加藤 照之 (KATO, TERUYUKI)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：80134633

(5) 連携研究者

松島 健 (MATSUSHIMA, TAKESHI)
九州大学・理学研究院・准教授
研究者番号：40222301

(6) 連携研究者

田部井 隆雄 (Tabei, TAKAO)
高知大学・理学部・教授
研究者番号：40207220