

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 20 日現在

機関番号：82116

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21510193

研究課題名（和文） 小笠原硫黄島の詳細な段丘編年と地殻変動観測による火山活動の解明

研究課題名（英文） Explanation of volcanic activity by detailed terrace chronology and crustal deformation observation in Ito Island in Ogasawara Archipelago

研究代表者

今給黎 哲郎（IMAKI IRE TETSURO）

国土地理院・地理地殻活動研究センター・総括研究官

研究者番号：60370805

研究成果の概要（和文）：小笠原硫黄島の多くの段丘において、サンゴ化石や炭化木片の  $^{14}\text{C}$  年代測定により詳細な段丘編年を行うことにより、硫黄島の隆起活動は等速隆起（貝塚ほか、1985）ではなく、断続的な隆起であると推定された。また、GPS 観測により確認された近年の顕著な隆起速度は、約 500 年前の摺鉢山噴火に伴う元山上位段丘が形成された急激な隆起時に匹敵するものであり、今後の火山活動との関連が示唆される。「火山活動の前にはマグマの貫入によると思われる活発な隆起活動が発生する」という硫黄島の火山活動モデルが明らかになりつつある。

研究成果の概要（英文）：We carried out detailed chronological study on the coastal terraces in Ito island, in Ogasawara Archipelago. By means of  $^{14}\text{C}$  radiocarbon dating on the fossils of coral and carbonized wood, we estimated the history of the terrace formation, which shows the uplift of Ito Island should be intermittent, not be constant as suggested in the former study (Kaizuka et al, 1985). Recent uplift observed by GPS survey is so rapid that it could be comparable to the remarkable uplift about 500 years ago, when Mt. Motoyama upper terrace was formed, accompanied by the eruption of Mt. Suribachi-yama. This notable crustal deformation suggests following volcanic activities. We can propose a model that notable uplift by the possible magma intrusion would occur before the remarkable volcanic activity of Ito islands, from this study.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：総合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：火山噴火

## 1. 研究開始当初の背景

小笠原硫黄島（以下、「硫黄島」と略記）は、活発な隆起や地熱活動、時折起こる水蒸気爆発など活発な火山活動で知られている

火山島である。日本に返還された 1968 年以降は様々な地学的研究が行われ（小坂ほか、1985）、島内に発達する段丘の研究から、最近の数百年間の隆起速度が世界的にも例を

見ないほどの速さであることが明らかになっている（貝塚ほか，1985；大八木・井口，1985）．また，国土地理院および防災科学技術研究所により GPS 観測，SAR 干渉解析による地殻変動観測が継続して行われており，40cm/年を超えるような隆起が観測されるなど，現在も地殻変動が非常に活発であることが分かっている（矢来ほか，2005；鶴川ほか，2007；小澤ほか，2007）．このように地殻変動が活発であるにもかかわらず，噴火活動では小規模な水蒸気爆発が数十回発生しているのみで，マグマを噴出するような噴火活動は最近の数百年間には確認されていない．このことは，現在，地下にマグマが蓄積されつつあり，近い将来大きな噴火活動につながる可能性があることを示唆している．しかしながら，硫黄島の火山活動史や火山活動モデルについては十分明らかになっているとは言えず，現在の活発な隆起活動が火山活動ステージのどの段階に対応し，どのように将来の火山噴火に結びつくのかは全くわかっていない．

## 2. 研究の目的

本研究では，硫黄島の火山活動史と隆起活動史を明らかにするとともに，現在の地殻変動を詳細に把握し，過去からの活動史の中で現在の火山活動を理解することを目的とする．そのために，詳細な隆起活動史と火山編年，詳細な地殻変動観測，火山活動のモデル構築の3項目について研究を実施する．

## 3. 研究の方法

### (1) 詳細な隆起活動史と火山編年

島を取り巻く海岸段丘が多数発達しており，段丘面上に化石サンゴが存在することから，化石サンゴの<sup>14</sup>C年代測定により段丘の精密な形成年代を決定する．予察的調査で，十数点のサンゴの<sup>14</sup>C年代試料が得られており（大井・矢来，2007），さらなる調査によりより多くの段丘の年代を決定する．

また，近年国土地理院が GPS 観測と同時に行った火山地形・地質調査により，摺鉢山の火山活動が隆起活動と密接に関連していることがわかってきており（大井・矢来，2007），元山の海岸段丘上に載る摺鉢山起源のサージ堆積物と摺鉢山を構成する火山砕屑物との対比により，サンゴの<sup>14</sup>C年代から求めた段丘の年代を通して摺鉢山火山の活動年代を特定する．対比は，火山岩の全岩分析，火山ガラスの主成分分析などの化学分析を主に行う．その他，<sup>14</sup>C年代測定試料が得られない層準については，古地磁気測定により堆積時期の相対的な前後関係を調べる．

### (2) 詳細な地殻変動観測

現在の火山活動状況を把握する上で，マグマだまりの位置や変化量に関する情報が重

要であり，それらを推定するために，地殻変動を三次元的にミリメートルオーダーで得られる GPS を用いた繰り返し観測や地殻変動を数十 m の空間分解能で得られる SAR 干渉解析を適用し，硫黄島の現在の地殻変動を詳細に把握する．

### (3) 火山活動のモデル構築

詳細な地殻変動観測により得られた地殻変動を基に，現在の地殻変動源の推定を行う．また，地形・地質調査から得られた過去の地殻変動から，過去の変動源を推定し，その位置や形状の変化等について明らかにする．

## 4. 研究成果

まず，硫黄島の地形図を図1に示す．以下，研究の目的・方法別に成果を記す．

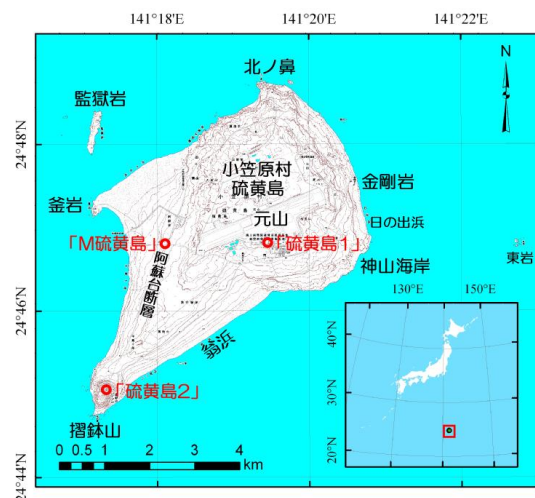


図1 硫黄島の地形図（国土地理院の数値地図25000（地図画像）を使用）．図中赤丸は電子基準点の位置．

### (1) 詳細な隆起活動史と火山編年に関する成果

火山編年については，地形・火山地質調査に加えて，採取試料および関係機関から提供を受けた試料の分析とそれらに基づく過去の噴火時期の検討を行った．現地調査で採取したサンゴ化石礫や炭化木片，火山噴出物（溶岩，軽石等）の試料について，<sup>14</sup>C年代測定や全岩分析，火山ガラスや斑晶鉱物の主成分分析，炭化木材の樹種同定を行うとともに，堆積物の磁化方位（堆積残留磁化）測定を実施した．その結果，以下のような考察を得た．

①元山層活動期の下限に相当する，東海岸で見られる元山層最下部の炭化木材の年代と元山層上部の北ノ鼻の炭化木材の年代がともに2,600～2,700cal.BPを示した．また，北ノ鼻の海岸段丘基部の元山層（凝灰角礫岩）中に大きな径の材が多数見いだされ，これも同様の年代を示した．これらの年代は，現在海上に現れている元山の火山活動開始

期の年代を示すと思われる。なお、北ノ鼻の海岸段丘基部の元山凝灰岩層中から採取した大きな径の炭化木材は、トウダイグサ科に似た散孔材の道管配列を持つ熱帯性の広葉樹であることがわかったが、樹種までは同定できなかった。

②監獄岩のペペライト中のサンゴ化石は釜岩のペペライトと同様な年代（約 1,600～2,000cal.BP）を示し、2つの島（カルデラのリムに相当）の火山活動は同時期であったことが示された。

③摺鉢山海浜円礫層に付着しているサンゴ化石や摺鉢山周辺に発達する段丘の段丘礫層中に見られるサンゴ化石礫の年代は、大井・矢来（2007）による従来のデータと整合的な値（約 200～400cal.BP）となった。また、監獄岩の海浜円礫層中のサンゴ化石の年代も同様な年代（約 140～550cal.BP）を示し、摺鉢山活動期に監獄岩も海面近くまで隆起していたことが示された。

④東海岸で最も広く発達した H 段丘面上の段丘礫層中のサンゴ化石礫の  $^{14}\text{C}$  年代は、大井・矢来（2007）によるこれまでの年代値と整合的であり、H 段丘面の発達時期が 450～500cal.BP 頃であると推定された。

⑤年代推定試料が得られていない釜岩海浜堆積層、東海岸金剛岩下最下位の海浜砂層、摺鉢山山頂南西部および西岸の細粒砂層について過去の地磁気の方向を示す自然残留磁化（NRM）を測定し、西日本の過去 2,000 年間の地磁気永年変化曲線を硫黄島の緯度に補正したものと重ね合わせた。NRM 測定であるため、絶対的な年代値は正確でない可能性があるが、次のような結果が得られた（図 2）。i）類似した環境で堆積したと考えられている釜岩海浜堆積層と東海岸金剛岩下最下位の海浜砂層は異なる磁化方位を示し、異なる時期（前者は 350 または 650 または 1,600 年前頃に対して後者は 2,000 年前以前）に堆積、ii）摺鉢山の堆積物は非常に綺麗な縞模様状に成層しているにもかかわらず測定誤差が大きいことから、縞模様を構成する各層の堆積時期に時間間隙があり堆積速度が遅い（堆積年代は誤差が大きい）が、摺鉢山山頂南西部の堆積物が約 300 または 600 年前、摺鉢山西岸の細粒砂層（ベースサージ堆積物）が約 650 年前と推定された。ii）については、堆積環境が静水域であるという従来の考え方と調和的な結果と言える。なお、この堆積物からは貝形虫、有孔虫、放散虫、珪藻などが全く検出されない点から、通常の湖成・海成堆積物ではなく、火口底堆積物の可能性が高い。

⑥元山西側の X 段丘面上あるいは堆積物中で確認された外来と思われる漂着軽石と、海上保安庁提供の硫黄島南方の海底火山（福岡ノ場）の軽石試料について成分分析を実施

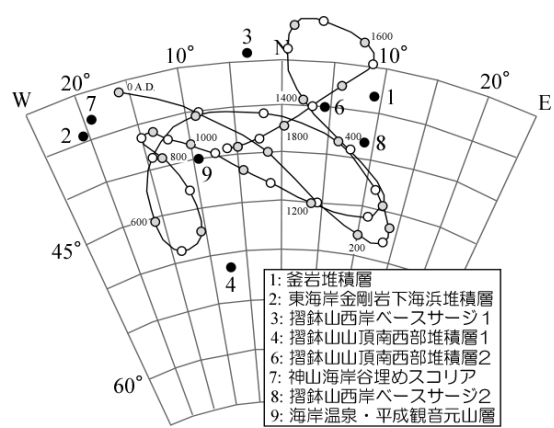


図 2 補正した地磁気永年変化曲線と NRM 測定結果

した結果、漂着軽石は硫黄島起源の軽石に成分の系列が近いことが判明した（図 3 黒破線丸）。このことから、この漂着軽石は、硫黄島と火道を同じくする未知の海底火山から噴出されたものである可能性が示唆された。

⑦沖縄の遺跡で見いだされる漂着軽石（BL スコリア）について火山ガラス主成分分析及び全岩分析を行った結果、この漂着軽石は摺鉢山起源の火山岩組成グループに属することがわかった（図 3 赤破線丸）。BL スコリアは、付着しているサンゴ化石の  $^{14}\text{C}$  年代から 1,400 年前より古い時代に漂流した軽石と考えられている（加藤，2009）。これはその当時に、摺鉢山付近から沖縄まで到達するような多量の軽石を噴出する大規模な火山活動があったことを示している。

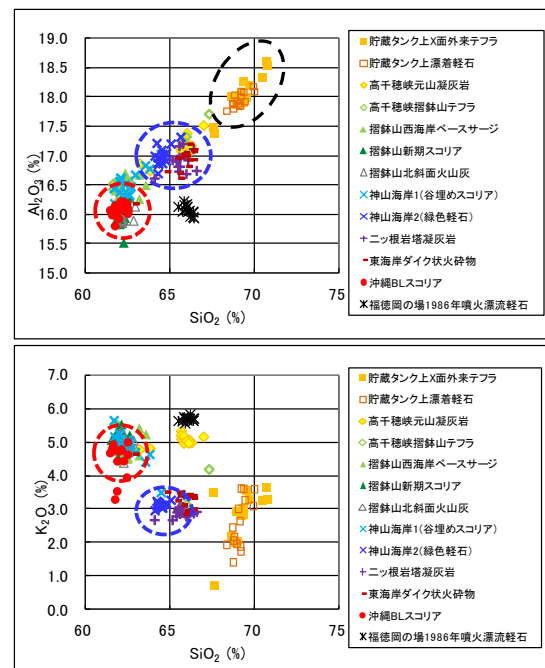


図 3 火山ガラスの化学分析結果（ハーカー図）。上が  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、下が  $\text{K}_2\text{O}$ 。

⑧元山南部の神山海岸の漂着軽石（緑色軽石）は戦後の段丘面上に漂着しており、現世の火山噴出物と考えられる。火山ガラス主成分分析及び全岩分析の結果、この緑色漂着軽石が、翁浜にあるニッ根の岩塔を構成する軽石に対比出来ることがわかり（図3青破線丸）、南海岸（翁浜）沖で起きた1982年および2001年の海底噴火のいずれかに起源がある可能性が示唆される。

以上の結果と大井・矢来（2007）等の先行研究結果から推定される硫黄島の過去3,000年間の火山活動史は次のとおりである。

1) 約2,700年前に大規模な火山活動で大量の溶岩と火砕物（元山凝灰岩）が噴出し、それ以前から陸化していたと考えられる硫黄島を被覆し、その後海中に沈下。2) 約1,600-2,000年前に監獄岩周辺の海底で火山活動が生じ、ペペライト（サンゴや貝殻を巻き込んだ溶岩）を生成。3) 約1,400年前に摺鉢山周辺で沖縄まで軽石を漂着させるような大規模な噴火が発生。4) 約500年前に元山を急激に隆起させながら摺鉢山が噴火し、大量の軽石によって元山と接続し、現在の硫黄島の原型を形成。5) 約200-400年前に摺鉢山で小規模な噴火があり、現在摺鉢山火口南縁に見られるスコリア丘を形成。6) 100年前から現在にかけて、北ノ鼻から東海岸にかけてと阿蘇台断層沿い、元山南海岸沖を中心に小規模噴火や水蒸気爆発が生じ、元山南海岸沖の海底では戦後、マグマ噴出を伴う噴火が発生。

この火山活動史のうち、1)で示した硫黄島の海中沈下の根拠は、この時大量に噴出した元山凝灰岩の上部層が水中での堆積構造を示すためである。その後しばらくは海中に没したままで、4)で示した約500年前の隆起に伴って再度陸化（離水）したと考えられるが、これは元山最上位のW段丘面上で採取された着生のサンゴ化石の<sup>14</sup>C年代が500-600年前を示すためである。また、摺鉢山起源の噴出物（スコリア等）がW段丘面の一段下のX段丘面以下の段丘面にしか堆積（漂着）していないことから、摺鉢山はW段丘面が離水した直後に海中で噴火した可能性が高い。

この火山活動史と段丘編年の結果から、過去の硫黄島（元山）の隆起速度は一定ではなく間欠的で、約500年前の摺鉢山噴火時の隆起速度が最も大きい（約50cm/yr）ことが明らかになった。

#### (2) 詳細な地殻変動観測に関する成果

GPS繰り返し観測により得られた2008年から2011年にかけての地殻変動分布を図4に、電子基準点「硫黄島1」の2006年から2011年末までの比高変動量を図5に示す。図5を見ると、1) 2006年後半から2007年

初頭にかけての急激な隆起期間、2) 2007年初頭から2008年半ばにかけての隆起期間、3) 2008年半ばから2010年半ばにかけての停滞期、4) 2010年半ばから2011年初頭にかけての隆起期間、5) 2011年初頭以降の急激な隆起期間、の5つの期間に分けることができる。図4の右列の上下変動図では、先述の1)から2)にかけての隆起が、2008年8月頃まで硫黄島全体（南端の摺鉢山を除く）に及んでいる傾向が確認できるが、それ以降、隆起は停滞し、島東部の元山の中心部にあたる硫黄ヶ丘付近ではわずかではあるが沈降傾向が見られる。その後、2009年8月から2010年12月の間に島西部の阿蘇台断層周辺で大きく隆起し、その後2011年12月にかけて島全体が急激に隆起していることがわかる。一方、図4左列の水平変動を見ると、変動量に違いはあるものの、硫黄ヶ丘を中心とする収縮性の変動と、阿蘇台断層を中心とする膨張性の変動が継続して確認できる。硫黄ヶ丘を中心とする収縮性の変動は、隆起が停滞している時期に相対的に大きく、隆起量が大きい時期には小さい傾向が見取れる。阿蘇台断層に沿った膨張性の変動は、隆起量が大きい時期に大きい傾向が顕著である。なお、2009年8月以降は、2008年に新設した北西沖合にある監獄岩の測点でもGPS観測を実施し、本島西端の釜岩測点とほぼ同じ西向きの変動をしていることが確認できた。先述5)の急激な隆起傾向は、2012年3月時点でも継続しており、2011年1年間の隆起量は電子基準点「硫黄島1」で約1.8m（図5）、「M硫黄島」では2mを超え、隆起量が相対的に小さい「硫黄島2」でも0.4m近い隆起となっていた。

これまでの地殻変動観測結果とも併せて、島全体の隆起は一定速度で進んでいないことが確認されたが、地殻変動の向きや空間分布の特徴には変化が見られないことから、同じ変動源による変動が時間変化しながら継続していると考えられる。ただし、硫黄ヶ丘（元山）を中心とした収縮性の水平変動の変動速度はほぼ定常的である。

地殻変動の面的な把握のために、「だいち」PALSARデータの干渉解析も実施し、元山付近では、ほぼすべての時期において相対的に衛星から遠ざかる向きの変位が確認されるなど、GPS観測で得られている変動（島東部の隆起と元山を中心とする収縮・相対的な沈降）と調和的な結果が得られた（図6）。2010年11月と顕著な隆起開始後2011年2月データによる「だいち」PALSARデータの干渉解析では、地殻変動の空間分布の特徴にはそれ以前と変化が見られないことから、同じ変動源による変動が継続していると考えられる。なお、衛星SARによる解析は、2011年4月まででALOS（だいち）の機能

が停止したため実効的な結果は得られなかった。

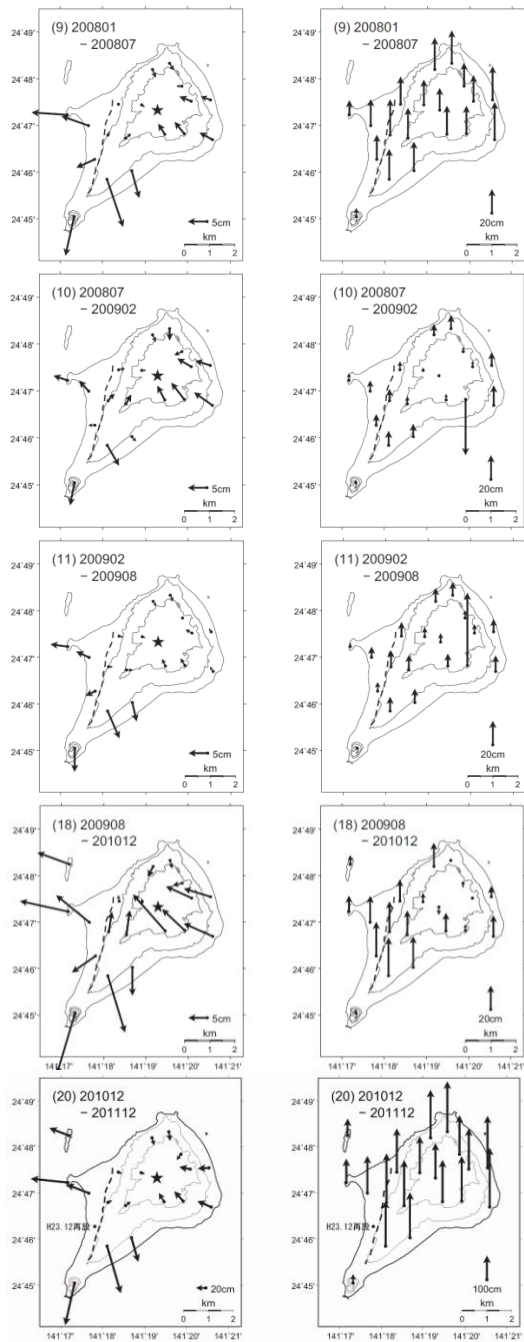


図 4 GPS 繰り返し観測により得られた 2008~2011 年にかけての地殻変動分布。左列が水平変動，右列が上下変動。

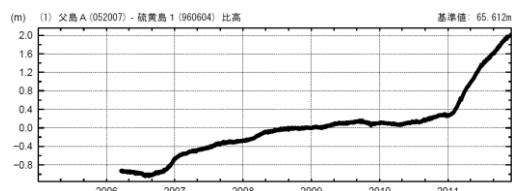


図 5 電子基準点「硫黄島 1」の 2006 年以降の比高変動量

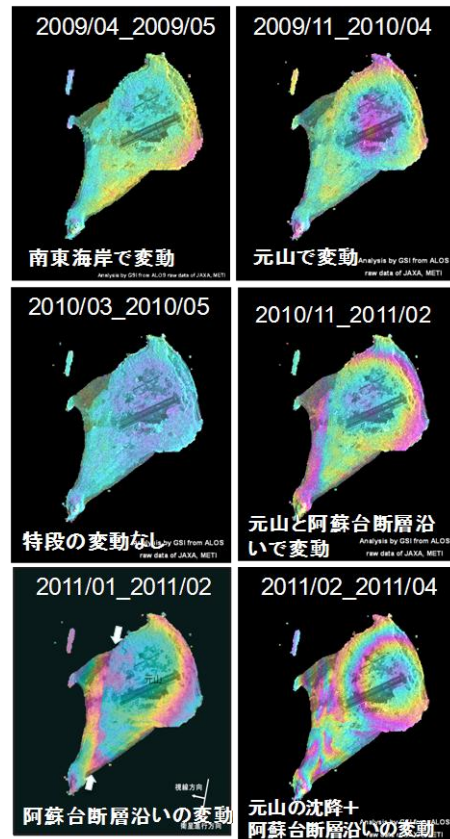


図 6 PALSAR データによる 2009 年 4 月から 2011 年 4 月までの干渉 SAR 解析結果

これらの観測結果や過去の基準点観測の結果から、過去 100 年間の平均隆起速度は約 15cm/yr (平岡ほか, 2009) で、この間の最大隆起速度は、1950~1960 年代の約 56cm/yr (辻ほか, 1969), 2006 年後半~2011 年の約 50cm/yr (国土地理院, 2012) となっている。

以上、(1) (2) の結果から、近年の隆起速度は、約 500 年前の摺鉢山噴火時の隆起速度と類似しており、火山活動との関連が示唆される。

### (3) 火山活動モデル

先述した成果から、過去 500 年間の硫黄島においては「火山活動の前にはマグマの貫入によるとと思われる活発な隆起活動が発生する」という特徴がある。

約 2,700 年前の大規模な噴火により、元山中央付近にあったと考えられる火道は大量の火砕物によって蓋をされ、それ以降の噴火は主に山体側部で発生したものと考えられるが、その際にはマグマの上昇に伴って硫黄島全体が急激に隆起し、その後も間欠的に隆起していることが段丘の発達状況から推定できる。

近年の GPS 観測による地殻変動は、先述

したように、その変動量にはばらつきがあるものの、元山（硫黄ヶ丘）を中心とする収縮変動と、阿蘇台断層を中心とする膨張傾向の変動といったパターンは同じであり、変動源は継続していると考えられる。この変動パターンは、定性的には次のような地下のマグマ分布（モデル）で説明できる（図7）。①硫黄島の地下深部には島全体を隆起させるような大規模なマグマ溜まりがあり、②元山（硫黄ヶ丘）直下のごく浅い部分には、マグマの増減を伴うような小規模なマグマ溜まりまたは火道が深部マグマ溜まりから派生する形で存在し、③阿蘇台断層の地下には深部マグマ溜まりから派生するシート状のマグマが存在している。

①については、島全体に及ぶ隆起活動はマグマの活動（上昇）によるものと考えられることからの推定であり、②については、元山周辺の隆起変動量が比較的小さい時に、元山中心部に向かう相対的な沈降を伴う収縮性の水平変動が生じていることから、隆起が活発な時期に深部のマグマ溜まりからマグマが供給された浅部の小規模なマグマ溜まりが、静穏時にマグマの減量に伴って収縮していると推定したことによる。③については、阿蘇台断層に沿った膨張性の地殻変動とこの断層に沿って過去100年間に噴火や水蒸気爆発が多発していることから推定したものである。

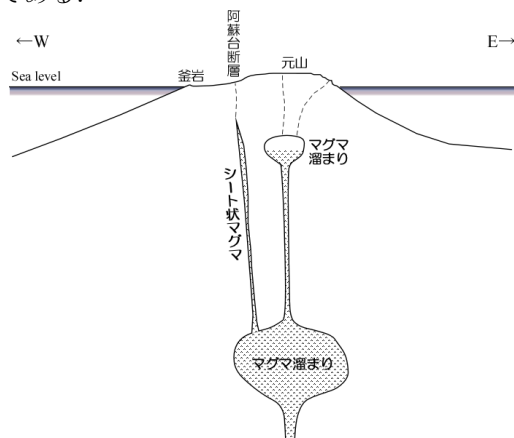


図7 硫黄島東西断面のマグマ分布モデル

## 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1件)

- ① Takayuki NAKANO, Tetsuro IMAKIIRE, Hideo SAKAI and Keiko MINAMI, Preliminary Study of Sedimentary Period of Layer by Using Natural Remanent Magnetization in Ito To Island in Ogasawara Archipelago, Bulletin of GSI, 査読無, Vol.59, 2011, pp.15-20.

[学会発表] (計2件)

- ① 今給黎哲郎, 小荒井衛, 中埜貴元, 大井信三, 矢来博司, 佐藤浩, 佐々木圭一, 小笠原硫黄島の火山活動と隆起活動, 日本火山学会2010年秋季大会, 京都大学, 2010.10.9
- ② 中埜貴元, 今給黎哲郎, 小荒井衛, 乙井康成, 大井信三, 佐々木圭一, 小笠原硫黄島の詳細な段丘編年と地殻変動観測による火山活動史の推定, 日本地球惑星科学連合2012年大会, 幕張メッセ, 2012.5.24

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

今給黎 哲郎 (IMAKIIRE TETSURO)  
 国土地理院・地理地殻活動研究センター・  
 総括研究官  
 研究者番号: 60370805

### (2) 研究分担者

中埜 貴元 (NAKANO TAKAYUKI)  
 国土地理院・地理地殻活動研究センター・  
 研究官  
 研究者番号: 60511962

佐々木 圭一 (SASAKI KEIICHI)  
 金沢学院大学・美術文化学部・准教授  
 研究者番号: 50340021

### (3) 連携研究者

小荒井 衛 (KOARAI MAMORU)  
 国土地理院・地理地殻活動研究センター・  
 室長  
 研究者番号: 50419876

佐藤 浩 (SATO HIROSHI)  
 国土地理院・地理地殻活動研究センター・  
 主任研究官  
 研究者番号: 60360468  
 (H21 まで)

乙井 康成 (OTOI KOSEI)  
 国土地理院・地理地殻活動研究センター・  
 主任研究官  
 研究者番号: 60581684  
 (H22 から)

### (4) 研究協力者

大井 信三 (OOI SHINZO)  
 国土地理院・総務部・係員  
 研究者番号: 無し

矢来 博司 (YARAI HIROSHI)  
 国土地理院・測地観測センター・地震調査  
 官  
 研究者番号: 無し