

GPS繰り返し観測により捉えられた硫黄島の地殻変動 Crustal deformation of Iwojima volcano detected by GPS campaign observations

地理地殻活動研究センター 矢来博司・村上 亮・森 克浩

Geography and Crustal Dynamics Research Center

Hiroshi YARAI, Makoto MURAKAMI and Katsuhiko MORI

企画部 宮本純一

Planning Department Junichi MIYAMOTO

要 旨

火山活動が活発な硫黄島において、GPSによる繰り返し観測を実施した。観測は2002年8月から開始し、2004年6月までに7回実施した。これまでの観測の結果、硫黄島全体の隆起、島東部の元山を中心とする収縮変動、南西部の千鳥ヶ原を中心とする拡大が捉えられた。また、これらの変動の時間変化についても明らかにすることができた。得られた地殻変動の特徴から、変動源が複数存在すると考えられる。

1. はじめに

硫黄島は、本州から南方約1200kmの太平洋上に浮かぶ火山島である(図-1)。

硫黄島の東部にはほぼ円形をした台地状の元山があり(図-2)、点在する高台を除けば全体として中心部が周辺に比べてやや低くなっている。この中心部には硫黄ヶ丘と呼ばれる噴気地帯が存在する。この硫黄ヶ丘以外にも島の各地に地熱地帯や噴気孔が点在し、硫黄島の火山活動の活発さを示している。

南西端には火砕丘である摺鉢山があり、元山との間には未固結の堆積層からなるなだらかな千鳥ヶ原が広

がっている(図-2)。

島の周辺には監獄岩、東岩が存在する。海底地形などから、これらと釜岩などを外輪山とする直径約10kmのカルデラであると考えられ、元山はカルデラ内の中央火口丘、摺鉢山が側火山であると考えられる(貝塚ほか、1985)。カルデラを含めた硫黄島火山は底面の直径が約40km、海底から約1.5~2kmの高さの山を形成している。

この硫黄島では1889年以来小規模な水蒸気爆発が15回以上発生している。最近では2001年9月と10月に小規模な水蒸気噴火が発生するなど、火山活動が非常に活発である。

硫黄島には海上自衛隊の基地が存在し、約500名の関係者が在島している。火山活動はこれらの人々の安全にかかわる問題であり、火山活動の状況把握が重要である。

2. 硫黄島の地殻変動

硫黄島では激しい地殻変動が継続していることが知られている。この島では海岸段丘が非常に良く発達し、海岸段丘の高度および堆積物の年代から推定された最

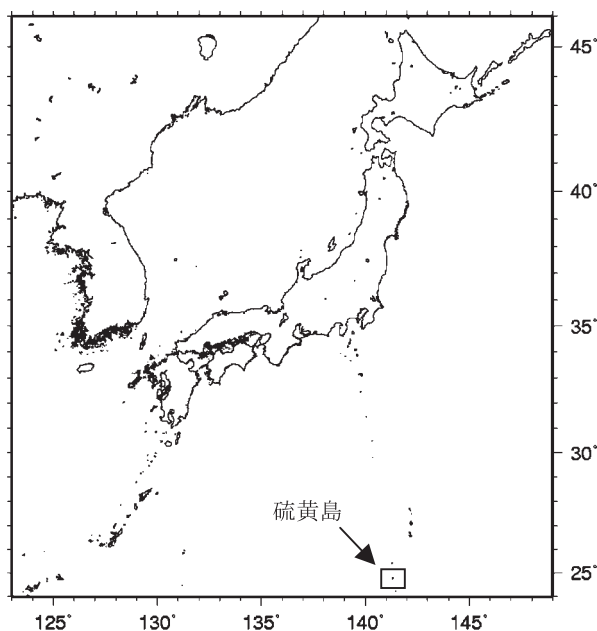


図-1 硫黄島の位置。

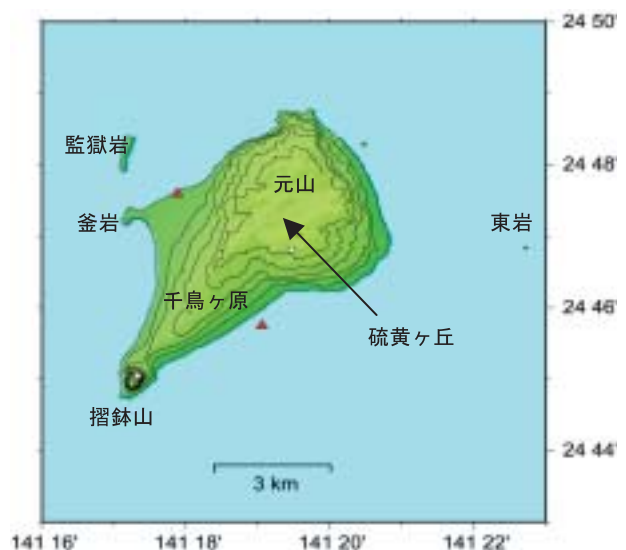


図-2 硫黄島の地形。等高線は20m間隔。白丸はGEONET観測点の位置、赤三角は2001年9月及び10月の噴火地点を示す。

近700年間の平均隆起速度は元山付近で15~25cm/年(貝塚ほか, 1985)であり, 急激な隆起が起こっていることが分かる。また, 航空写真や三角測量から求められた1952年~1968年の間の隆起量は最大で約9m(辻ほか, 1969)であり, この期間の平均隆起速度は約56cm/年と段丘年代から得られた値と比較して非常に大きい。辺長測量, 水準測量などの測地測量でも非常に大きな地殻変動が観測されている(小坂ほか, 1985, 熊谷ほか, 1985)。

また, JERS-1/SARデータを用いた干渉SAR解析の結果(矢来ほか, 2002)から, 硫黄島内の地殻変動は空間的に非常に複雑であることがわかっている。地殻変動は地下での流体の移動など火山活動と密接に関連していると考えられ, 硫黄島の火山活動を考える上で重要である。

1997年4月に国土地理院が全国に展開しているGPS連続観測網(GEONET)の観測点が2点設置された。この観測開始以来, 非常に大きな地殻変動が捉えられている(図-3)。2001年9月に発生した噴火の際には, 噴火に伴う地殻変動が明瞭に捉えられている。

現在, 硫黄島ではこの2点のGEONET観測点により連続観測が行われているが, 地殻変動が空間的に非常に複雑であるために, 地殻変動の変動源を推定するためには観測点密度が十分ではない。そこで, 地殻変動を詳細に明らかにすることを目的として, 観測点を高密度に配置し, 繰り返し観測を行った。

3. GPSキャンペーン観測

硫黄島島内においてGPSによる繰り返し観測を2002年8月より開始した。観測点は現存する二等多角点や防災科学技術研究所の地殻変動観測点を主に利用し

た。観測点が空間的に均等に分布するように観測点を選び, 既存の観測点を用いることができない場合には観測点を新規に設置することにより, 島内の17箇所に観測点を設定した。

観測は2003年12月までは3カ月おきに行い, 2003年12月以降は6カ月おきに実施している。観測はこれまでに7回実施した(2004年6月まで)。観測時間は12時間(2002年8月の観測のみ6時間), サンプル間隔は30秒である。

GPSデータの解析にはTrimble Total Controlを用い, GEONET観測点のデータを含めて解析した。2点のGEONET観測点の座標値を繰り返し観測の観測実施日前後10日間のF2解(Hatanaka et al., 2003)の平均値に固定し, 他のキャンペーン観測点の座標値を求めた。2時期の座標値を比較することにより, その期間の変動ベクトルを得た。以下では, 2003年12月までの観測結果について述べる。

4. 観測結果

硫黄島はフィリピン海プレートの運動に伴い西北西に移動している。したがって, 硫黄島の火山としての地殻変動を明らかにするためには, 得られた変動ベクトルからフィリピン海プレートの移動に伴う変動分を補正する必要がある。そこで, 二時期の座標値の比較により得られた各観測点の変位ベクトルについて, Sella et al. (2002)のプレート運動モデル(REVEL)を用いてフィリピン海プレートの移動量分を補正し, 各観測点の変動ベクトルを求めた(図-4)。

観測を開始した2002年8月~11月(図-4a, b)は硫黄島東部の元山を中心とする収縮と, 南西部の千鳥ヶ原を中心とする拡大が明瞭である。島全体が隆起して

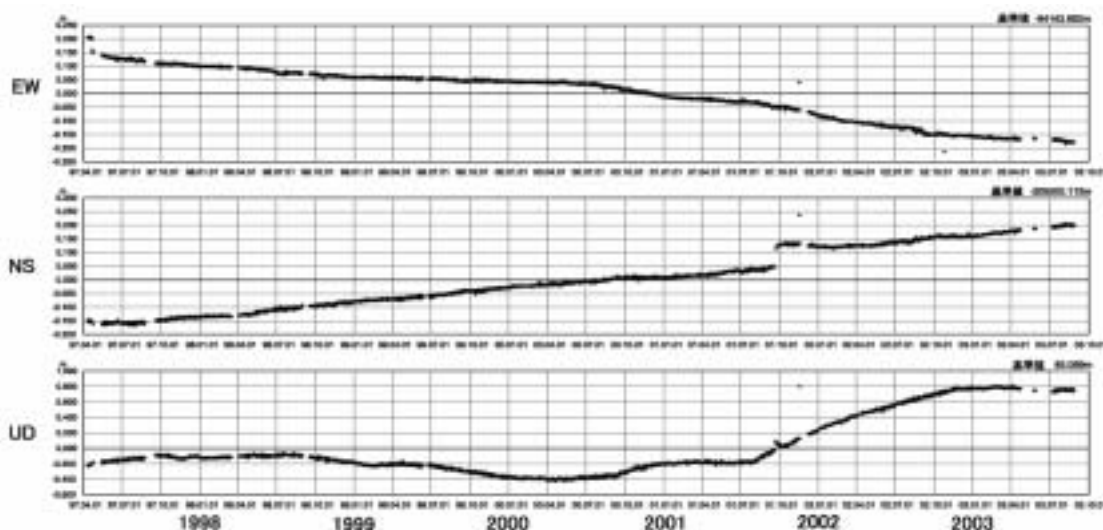


図-3 GEONET連続観測より得られた硫黄島の地殻変動。母島を基準とした硫黄島1の座標変化の時系列グラフ。上から東西, 南北, 上下方向の変動を示す。東西, 南北については一目盛り5cm, 上下については一目盛り20cm。2001年7月末から隆起が始まり, 1年間でほぼ1m隆起したことがわかる。2001年9月21日の噴火に伴う変動は明瞭であるが, 10月19日の噴火ではほとんど変動は見られない。

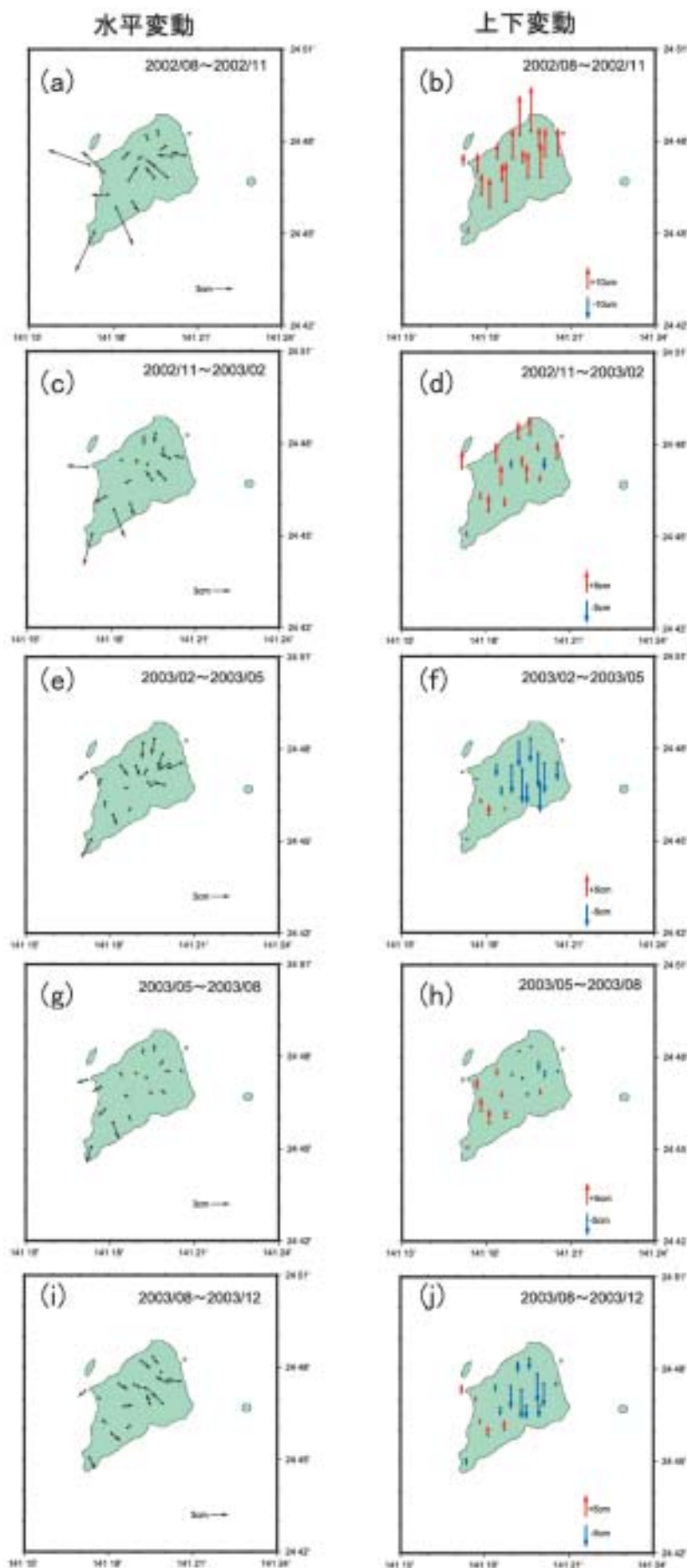


図-4 GPSキャンペーン観測より得られた硫黄島の地殻変動。フィリピン海プレートの移動量をSella et al. (2002) のプレート運動モデル (REVEL) を用いて補正し、フィリピン海プレートに対する相対変位ベクトルを求めた。

(a)(b) 2002年8月～11月

(c)(d) 2002年11月

～2003年2月

(e)(f) 2003年2月～5月

(g)(h) 2003年5月～8月

(i)(j) 2003年8月～12月

おり、特に島の東部で隆起が顕著である。変動量は非常に大きく、わずか3ヶ月間で水平変動では約7cm、上下変動では約20cmもの隆起が観測されている。

2002年11月～2003年2月(図-4c, d)では、水平変動の傾向はその前の期間とほぼ同様である。ただし、元山の収縮変動は変動量がほぼ同程度で継続しているのに対し、千鳥ヶ原での拡大は変動量が減少している。上下変動については全島で隆起量が小さくなっている。

2003年2月～5月(図-4e, f)では、元山を中心とする収縮、沈降が顕著である。千鳥ヶ原の変動はさらに小さくなっている。

2003年5月～8月(図-4g, h)は、これまで続いていた元山での収縮はほとんど見られず、千鳥ヶ原でわずかに変動が見られるだけであった。上下変動については千鳥ヶ原では隆起が見られるが、それ以外の場所ではほとんど変動が見られなかった。

2003年8月～12月(図-4i, j)には元山での収縮、沈降が再び見られた。変動の傾向は2003年2月～5月の変動と類似している。

以上のように、千鳥ヶ原の隆起・拡大は時間と共に変動量が減少していること、元山の収縮、沈降は一定速度で変動しているのではなく、時期により変動速度が変化していることが明らかとなった。

5. 考察

繰り返し観測の開始初期では、硫黄島東部の元山での水平変動は収縮の変動を示すのに対し、上下変動は沈降ではなく隆起を示している。また、島南西部の千鳥ヶ原を中心とした拡大が見られる。これは変動源が複数存在する可能性を示している。

定性的には、元山の収縮は変動範囲が元山に限られることから比較的浅い位置にある力源の体積減少、島全体の隆起は収縮源よりも深い位置にある力源での体積増加によると考えたと説明が可能である。また、千鳥ヶ原で見られる拡大は水平変動については矩形断層の開口で説明が可能であるが、上下変動では観測値と計算値が合わず、検討が必要である。

これらのうち、元山の収縮変動は硫黄ヶ丘地下の点状圧力源の減圧でほぼ説明可能である。変動の中心は時期により多少異なるものの、硫黄ヶ丘周辺に位置している。

硫黄島における重力測定から、元山地域の地下に高密度の貫入岩体が存在すると考えられている(江原, 1985)。また、航空磁気測定の結果から、硫黄島の中心部の深さ約2kmまで非磁性領域が広がっており、この領域が高温の領域であると考えられており(大島ほか, 1985)、この貫入岩体が熱源とも考えられる(江原, 1985)。

元山の中心部では相対的に隆起量が小さい領域がみ

られ(辻ほか, 1969)、高重力異常を示す地域と一致している(江原, 1985)。今回の繰り返し観測によって得られた硫黄島東部の収縮・沈降の中心もこれとほぼ一致する。繰り返し観測の開始以来、収縮変動の中心がほとんど変化しないことから、上記の高温の貫入岩体の冷却に伴った体積減少による地殻変動である可能性が考えられる。しかし、収縮速度が増減し、変動がほぼ停止することもあることから、冷却に伴う体積減少のような定常的な減圧源では得られた地殻変動を説明することができない。このような非定常的な収縮がどのようなモデルで説明できるのかについては今後さらに調査・観測を行い、検討することが必要である。

地殻変動観測について空間的、時間的に観測密度を上げることにより、変動源についてより詳細に理解することが可能になる。2005年に打ち上げ予定の陸域観測技術衛星(ALOS)にはL-bandのSARセンサ(PALSAR)が搭載されている。このデータを用いて干渉SAR解析を行えば、空間分解能の高い地殻変動データを得ることができる。また、回帰周期が46日であり、これまでの観測間隔(3ヶ月間)と比較して時間分解能も向上する。ALOSの運用開始以降は、これまでの繰り返し観測に加え、PALSARデータも利用して硫黄島の地殻変動について明らかにしていく予定である。

6. まとめ

硫黄島においてGPSによる繰り返し観測を実施した。観測は2002年8月から開始し、2004年6月までに7回実施した。観測の結果、硫黄島全体の隆起、島東部の元山を中心とする収縮変動、南西部の千鳥ヶ原を中心とする拡大が捉えられている。

捉えられた地殻変動の特徴からは、変動源が複数存在すると考えられる。時間的・空間的に複雑な硫黄島の地殻変動のモデル化のためには、さらに調査・観測が必要であり、2005年打ち上げ予定のALOS/PALSARデータによる干渉SAR解析なども利用して硫黄島の地殻変動を詳細に明らかにしていく予定である。

謝 辞

本研究の実施にあたっては多くの方の協力を得ている。観測では防災科学技術研究所の地殻変動観測点及び海上保安庁海洋情報部の基準点を使用させていただいた。観測作業では石川典彦、伊藤純一、大井信三、小澤拓、柴原充、関口辰夫、西村卓也、野尻琢也、長谷川裕之、根本悟、宗包浩志、森田和幸、山口和典、山口智也の各氏に多大なる協力をいただいた。また、海上自衛隊硫黄島基地運用班、気象班の方々には、硫黄島島内での観測の際の移動などに便宜を図っていただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 江原幸雄 (1985) : 硫黄島島内の重力, 地学雑誌, 94, No.6, 86-95.
- Hatanaka, Y., T. Iizuka, M. Sawada, A. Yamagiwa, Y. Kikuta, J. M. Johnson and C. Rocken (2003): Improvement of the analysis strategy of GEONET, Bull. GSI, 49, 11-35.
- 貝塚爽平・加藤 茂・長岡信治・宮内崇祐 (1985) : 硫黄島と周辺海域の地形, 地学雑誌, 94, No.6, 22-33.
- 熊谷貞治・高橋 博 (1985) : 硫黄島の地殻変動 (II), 地学雑誌, 94, No.6, 77-85.
- 大島章一・兼子俊朗・小野寺健英・中川久穂・登崎隆志・三品正明・小坂丈予 (1985) : 硫黄島の地磁気異常分布, 地学雑誌, 94, No.6, 100-113.
- 小坂丈予・辻昭治郎・小椋英明 (1985) : 硫黄島の地殻変動 (I), 地学雑誌, 94, No.6, 72-77.
- Sella, G. F., T.H.Dixon and A.Mao (2002): REVEL: A model for Recent plate velocities from space geodesy, J. Geophys. Res., 107(B4), 10.1029/2000JB000033.
- 辻昭治郎・栗山 稔・鶴見英策 (1969) : 小笠原諸島調査報告, 国土地理院時報, 37, 1-18.
- 矢来博司・小澤 拓・村上 亮・飛田幹男・中川弘之・藤原 智 (2002) : 硫黄島の地殻変動の時間変化—JERS-1の干渉SAR解析より—, 日本測地学会第98回講演会要旨, 131-132