

2000年三宅島噴火活動に関連する地殻変動の変動源モデルの推定*

Estimation of Source Model of Crustal Deformation Related with the 2000 Miyakejima Eruptive Activity

防災科学技術研究所**

国土地理院***

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

Geographical Survey Institute

1. 概要

三宅島では、2000年の噴火活動前から現在まで、地下のマグマの活動に関連する地殻変動がGPS、傾斜計、水準測量により観測されている。これまでにいくつかの変動源モデルが提案されているが、同じ期間の地殻変動であるにもかかわらず、使用したデータの違いにより、異なる結果が得られているものもあり、マグマ活動の理解に対する妨げとなっている。そこで、地殻変動データを出来るだけ多く収集し、統一的に説明する変動源モデルの検討を行った。

2000年噴火活動開始前から現在までを下記の期間1から8までの8期間にわけ、それぞれについて変動源モデルの検討を行った。第1図～第8図に各期間に観測された地殻変動と、推定した変動源モデルによる理論値の比較を示した。第1表～第3表に推定したモデルのパラメタを示した。

2. 各期間の変動源モデル

期間1. 噴火準備期間：1983年11月～1999年6月（第1図）

水準測量とGPSによって、北東側に対する南西側の相対的な隆起と島の膨張が観測されている¹⁾。この地殻変動は、島の南西側深さ約9.6kmの球状膨張源とその上に接する鉛直の板状膨張源で説明することができる。球状膨張源のみでも概ね説明することができるが、1つの球状膨張源のみを変動源として仮定した場合、計算値に比べて沈降量はやや大きい領域が島の南西部に存在する。板状膨張源を加えることによって、より良く地殻変動を説明することができる。

期間2. 2000年噴火岩脈貫入期：2000年6月26日～27日（第2図）

この期間の地殻変動²⁾は、第2図でDK1-3と示した3つの岩脈の貫入と、DK4と示した1つの板状の収縮源によって説明することができる。26日18時30分から山頂の南西側の深さ1-3kmでDK1の貫入がはじまり、21時頃に停止した。その頃に西海岸直下でDK2の貫入が新たにはじまり、27日1時頃に北西のDK3に拡大した。26日21時以降は、西海岸直下の貫入だけでは島の南東部の変動が説明できず、南西側の深さ3-6kmに板状の収縮源DK4が必要である。

期間3. 2000年噴火山体収縮期(1)：2000年6月28日～7月7日（第3図）

GPS観測によって三宅島の南側を中心とする収縮と沈降の地殻変動が観測されている³⁾。ただし、傾斜観測では島の外側が相対的に沈降する傾斜変動が観測されており、1つの球状収縮源のみでは傾斜・GPSデータを同時に説明できない。この期間の地殻変動は、島の南西側の深さ約8kmに中心を持つ球状の収縮源と、その上に接する鉛直で板状の収縮源の組み合わせ(板状+球状変動源)によって説明可能である。上端の深さは約5kmで山頂方向に向いている。この収縮源は、噴火準備期間の膨張源の位置・形状が似ており、同一の変動源であると考えられる。

* Received 29 March, 2004

上田英樹**・藤田英輔**・鵜川元雄**・西村卓也***・村上 亮***

Hideki Ueda, Eisuke Fujita, Motoo Ukawa, Takuya Nishimura and Makoto Murakami

期間4-5. 2000年噴火傾斜ステップ期:2000年7月10日~8月17日(第4図)および2000年噴火山体収縮期(2):
2000年8月24日~9月中旬(第5図)

この期間は、期間3と同じ傾向の地殻変動が継続しており、同じ板状+球状収縮源で概ね説明可能である。

期間6. 2000年噴火ガス放出期(1):2000年10月~2001年5月(第6図)

この期間の地殻変動は、板状+球状変動源と山頂直下深さ約2.4kmの球状収縮源で概ね説明することができる。なお、この期間は気象庁のGPSデータしか得られていないため、期間3で推定された板状+球状変動源と期間8で推定された山頂直下の球状変動源を仮定し、それらの体積変化のみをデータから推定した。

期間7-8. 2000年噴火ガス放出期(2):2001年6月~2001年10月(第7図)および2000年噴火ガス放出期(3):
2002年1月~2003年7月(第8図)

期間3-5と同様に、GPS観測によって三宅島が収縮する地殻変動が捉えられている。しかし、傾斜観測には山頂方向への傾斜変動、水準測量には島の東方への傾動が観測されており、期間3-5とは明らかに異なる地殻変動が観測されている。この期間は、期間3と同じ板状+球状変動源と山頂直下深さ約2.4kmの球状収縮源で概ね説明することができる。ただし、板状+球状変動源の体積変化は期間3-5に比べて小さく、期間8には深部の球状変動源が膨張している。その体積変化は約 $14 \times 10^6 \text{m}^3$ である。なお、この期間は期間3で推定された板状+球状変動源がそのまま存在すると仮定し、その変動源の位置と大きさを得られた値で固定して、体積変化のみをデータから推定した。

3. 三宅島周辺の変動源のまとめ

第9図に各期間の地殻変動から推定した変動源の分布を示す。各期間の解析結果を総合すると、三宅島周辺の変動源は、少なくとも4つの変動源にまとめることができる。三宅島の南西側にある板状+球状変動源と、山頂直下の球状の収縮源、岩脈貫入期に三宅島の南西斜面と西海岸直下に貫入した2つの岩脈である。期間2の板状の収縮源DK4は、板状+球状変動源の板状部分と位置が近いため、おそらく同一の変動源であると思われる。第10図に、板状+球状圧力源と、山頂直下の球状収縮源の体積変化を時系列で示した。板状+球状圧力源は、噴火準備期間に膨張し山体収縮期に大きく収縮しているのでマグマ溜りであると考えられる。マグマ溜りの1983年の噴火後から1999年までの膨張量は約 0.14km^3 であり、活動開始後の収縮量は約 0.4km^3 である。山頂直下の収縮源は、ガス放出期に収縮が続いているのでガスの放出に関連する変動源である可能性がある。

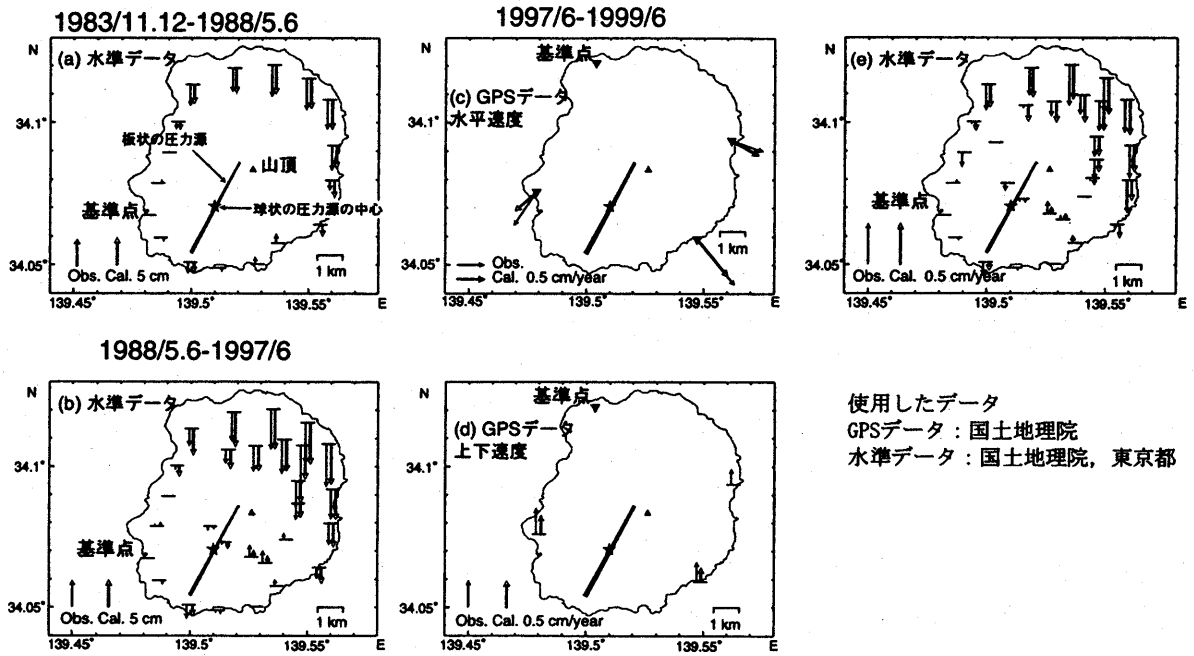
謝辞

気象庁からはGPSデータを提供していただきました。東京都からは水準測量結果を提供していただきました。記して感謝申し上げます。

参考文献

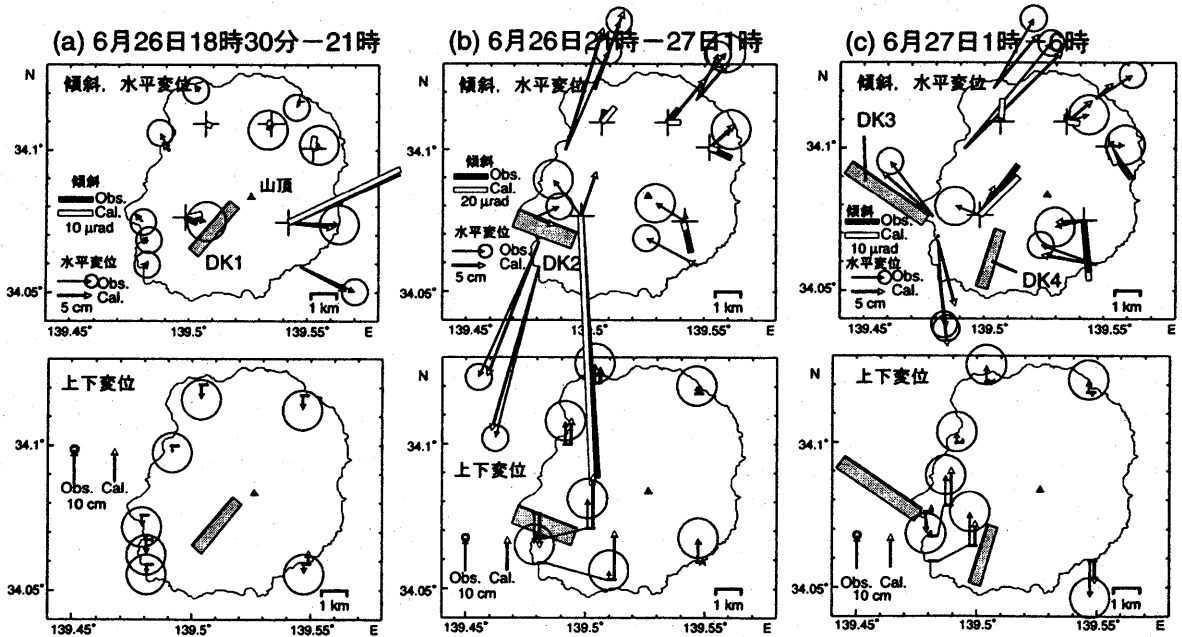
- 1) 西村卓也・村上 亮・小沢慎三郎・石本正芳・鷲谷 威・矢来博司・多田 堯・海津 優・鶴川元雄(2002): 三宅島2000年噴火前後の地殻変動と変動源の推定 -1983年噴火後から2001年5月までの収縮・膨張源-, 地震研究所彙報, 77, 55-65.
- 2) Irwan, M., Kimata, F., Fujii, N., Nakao, S., Watanabe, H., Ukawa, M., Fujita, E. & Kawai, K. (2003): Rapid crustal deformation caused by magma migration in the Miyakejima Volcano, Japan, *Earth Planets Space*, 54, e13-e16.
- 3) 中尾 茂・及川 純・渡辺秀文・仮屋新一・木股文昭・鶴川元雄・藤田英輔・中禮正明・村上 亮・河合晃司(2000): 三宅島における地殻変動 -大学, 国土地理院, 防災科学技術研究所, 気象庁, 水路部のGPSデータ統一解析-, 日本地震学会2000年秋季大会講演予稿集, A15.

期間1 噴火準備期間 1983/11-1999/6



第1図 噴火準備期間のモデルと地殻変動との比較。圧力源の位置と形状は1997/6-1996/6の変動レートから推定した。他の期間は、圧力源の位置と形状を得られた値で固定し、体積変化のみを推定した。
 Fig.1 Comparison between crustal deformation observed during the pre-eruption period and its source model. The location and configuration of the model are estimated from the deformation rate during Jun. 1997 to Jun. 1999.

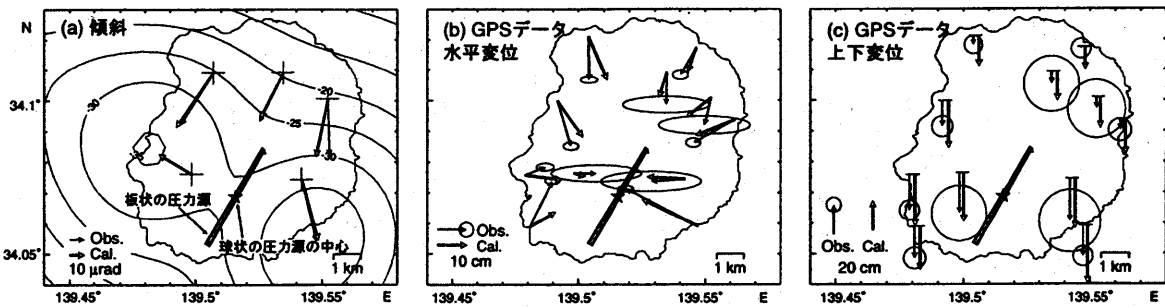
期間2 2000年噴火岩脈貫入期 2000年6月26日18時30分-27日6時



第2図 岩脈貫入期のモデル(DK1-4)と地殻変動との比較。DK1-DK3は貫入した岩脈、DK4は板状の収縮源。
 Fig.2 Comparison between crustal deformation observed during the dike intrusion period and its source model. DK1-3 are intrusive dikes and DK4 is a contracting dike.

使用したデータ
 GPSデータ：国土地理院、東京大学、海上保安庁、防災科研
 傾斜データ：防災科研

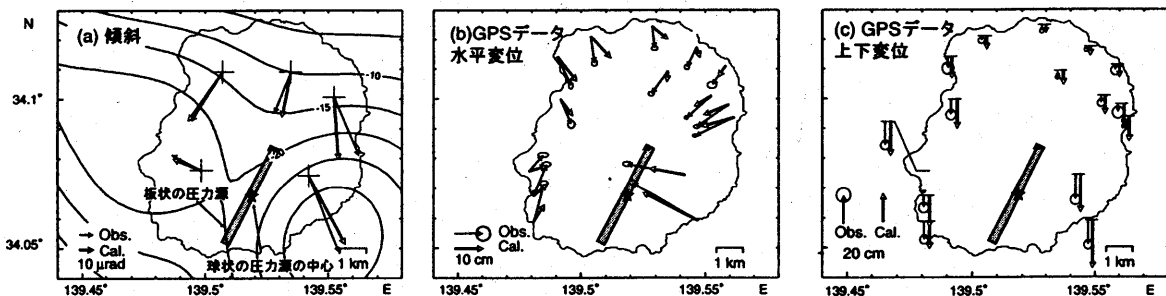
期間3 2000年噴火山体収縮期（1） 2000年6月28日－7月7日



第3図 山体収縮期1のモデルと地殻変動の比較（球状+板状の圧力源を仮定）。コンターはモデルから計算した上下変位（cm）。
 Fig. 3 Comparison between crustal deformation observed during the deflation period 1 and its source model. The model consists of a contracting spherical source and a contracting dike on it. Contour lines shows calculated vertical displacement from the model (cm).

使用したデータ
 GPSデータ：国土地理院，東京大学，
 防災科研
 傾斜データ：防災科研

期間4 2000年噴火傾斜ステップ期 2000年7月10日－8月17日

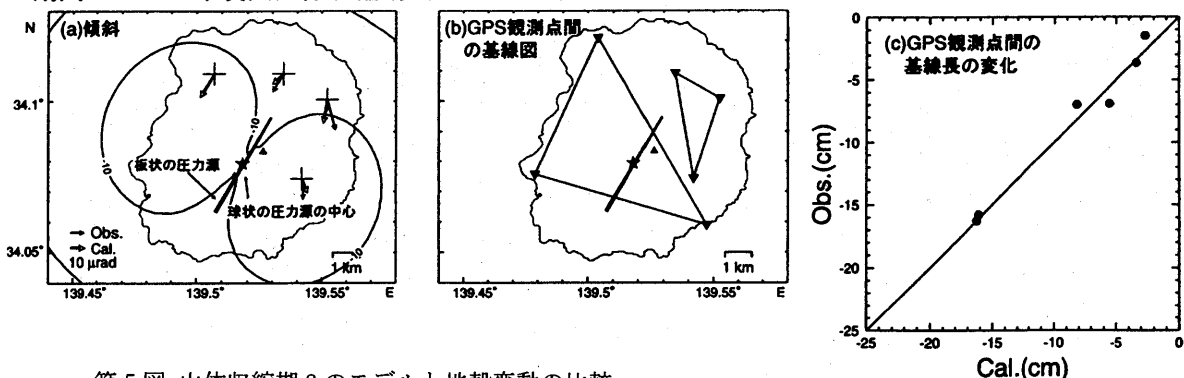


第4図 傾斜ステップ期のモデルと地殻変動の比較。傾斜ベクトルは観測された傾斜変化を1日のローパスフィルタを施して傾斜ステップの変動を除去した。GPSデータは7月30日の地震M6.4の影響を取り除いている。

使用したデータ
 GPSデータ：国土地理院，東京大学，
 海上保安庁，気象庁，防災科研
 傾斜データ：防災科研

Fig. 4 Comparison between crustal deformation observed during the tilt-step period and its source model. The tilt change are adopted a low-pass filter with a cut-off period of 1 day to remove the tilt steps, and the GPS data are corrected crustal deformation by the M6.4 earthquake on July 30.

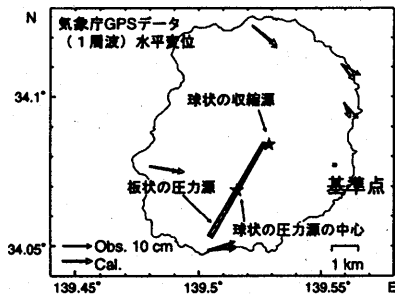
期間5 2000年噴火山体収縮期（2） 2000年8月24日－9月17日



第5図 山体収縮期2のモデルと地殻変動の比較。
 Fig. 5 Comparison between crustal deformation observed during the deflation period 2 and its source model.

使用したデータ
 GPSデータ：国土地理院，防災科研
 傾斜データ：防災科研

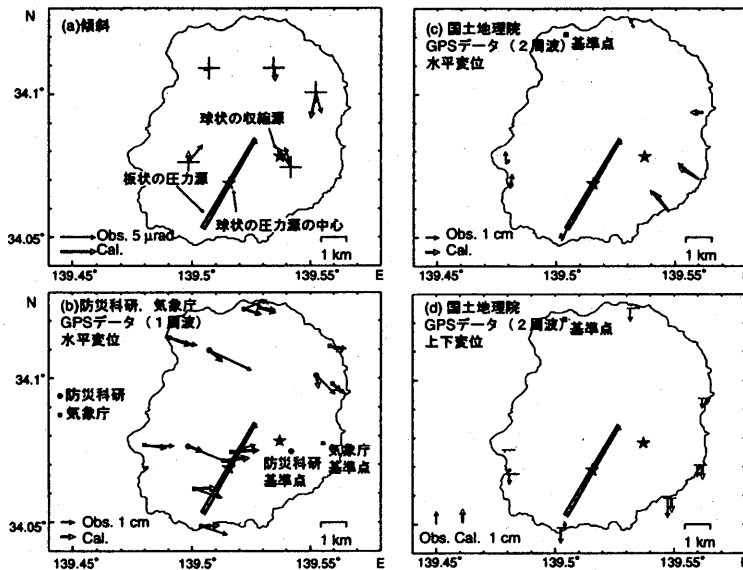
期間6 2000年噴火ガス放出期(1) : 2000/10-2001/5



第6図 ガス放出期1のモデルと地殻変動の比較。
Fig.6 Comparison between crustal deformation observed during the gas emission period 1 and its source model.

使用したデータ
GPSデータ : 気象庁

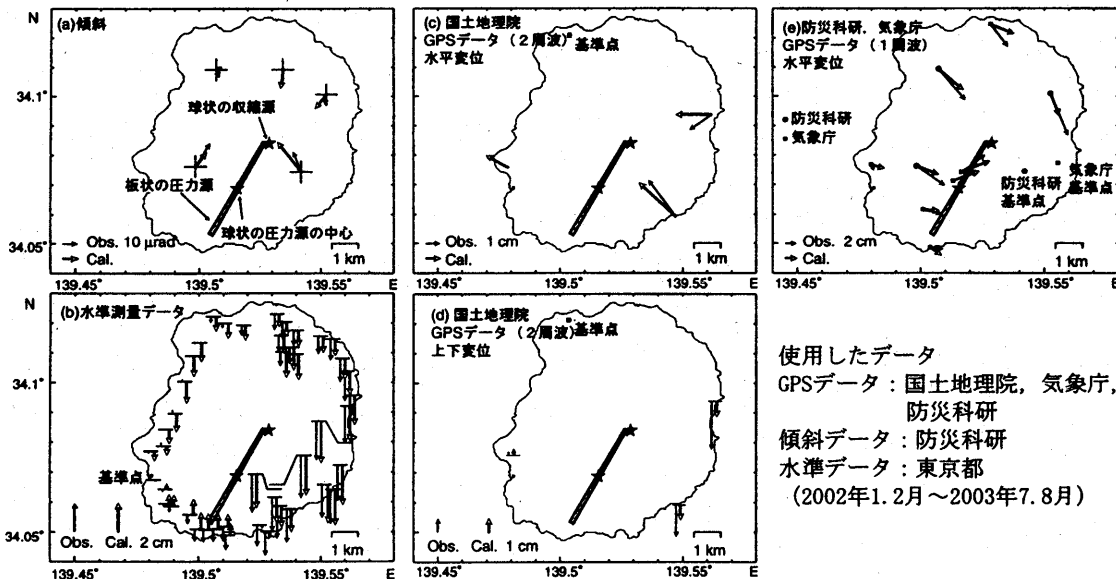
期間7 2000年噴火ガス放出期(2) : 2001/6-2001/10



第7図 ガス放出期2のモデルと地殻変動の比較。
Fig.7 Comparison between crustal deformation observed during the gas emission period 2 and its source model.

使用したデータ
GPSデータ : 国土地理院, 気象庁, 防災科研
傾斜データ : 防災科研

期間8 2000年噴火ガス放出期(3) : 2002/1-2003/7



使用したデータ
GPSデータ : 国土地理院, 気象庁, 防災科研
傾斜データ : 防災科研
水準データ : 東京都
(2002年1.2月~2003年7.8月)

第8図 ガス放出期3のモデルと地殻変動の比較。傾斜変動は、2002年5月-10月の変動レートから外挿した値を用いた。

Fig.8 Comparison between crustal deformation observed during the gas emission period 3 and its source model. The tilt change is extrapolated from the tilt change during May 2000 to Oct. 2002.

第1表 板状+球状圧力源モデル（三宅島南西部のマグマ溜り）のパラメタ。

Table1 Model parameters of a source model consisting of a dike-shaped source and a spherical source.

期間		緯度 (°)	経度 (°)	上端の 深さ (km)	走向 (°)	傾斜 角 (°)	長さ (km)	幅 (km)	開口 量 (m)	球状圧力 源の中心 の深さ (km)	球状圧力 源の体積 変化 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	総体積変 化 ($\times 10^6 \text{m}^3$)
1	1983/11.12-1988/5.6	34.071 †	139.510	1.9	28.2	90	4	0.9	0.67	9.6	51.4	53.8
	1988/5.6-1997/6	34.071 †	139.510	1.9	28.2	90	4	0.9	0.78	9.6	75.3	78.1
	1997/6-1999/7	34.071	139.510	1.9	28.2	90	4	0.9	0.08	9.6	9.0	12.6
3	2000/6/28-7/7	34.069	139.516	5.1	30.4	87.5	4	2.3	-8.07	8.2	-109.8	-184.0
4	2000/7/10-8/17	34.068	139.519	5.3	27.5	84.0	4	2.2	-9.29	7.7	-78.4	-160.2
5	2000/8/24-9/17	34.079	139.518	2.6	30.4	90	4	4.1	-0.9	7.2	-27.8	-42.6
6	2000/10-2001/5	34.069*	139.516	5.1	30.4	87.5	4	2.3	-1.0	8.2	5.1	-4.1
7	2001/6-2001/10	34.069*	139.516	5.1	30.4	87.5	4	2.3	-0.44	8.2	0.4	-3.6
8	2002/1.2-2003/7.8	34.069*	139.516	5.1	30.4	87.5	4	2.3	-1.0	8.2	13.7	4.5

†期間 1997/6-1999/7 の地殻変動から推定した値を仮定した。*期間 2000/6/28-7/7 の地殻変動から推定した値を仮定した。太字は固定したパラメタ。

第2表 球状圧力源（山頂直下の収縮源）のパラメタ。

Table2 Model parameters of a spherical deflation source beneath the summit.

期間		緯度 (°)	経度 (°)	中心の深さ (km)	体積変化 ($\times 10^6 \text{m}^3$)
6	2000/10-2001/5	34.084 †	139.529	2.4	-5.9
7	2001/6-2001/10	34.078	139.537	2.4*	-0.6
8	2002/1.2-2003/7.8	34.084	139.529	2.4	-2.7

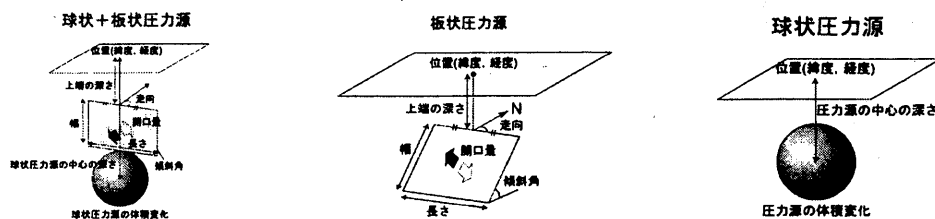
†期間 2002/1.2-2003/7.8 の地殻変動から推定した値を仮定した。*期間 2002/1.2-2003/7.8 の地殻変動から推定した値を仮定した。太字は固定したパラメタ。

第3表 板状圧力源のパラメタ。

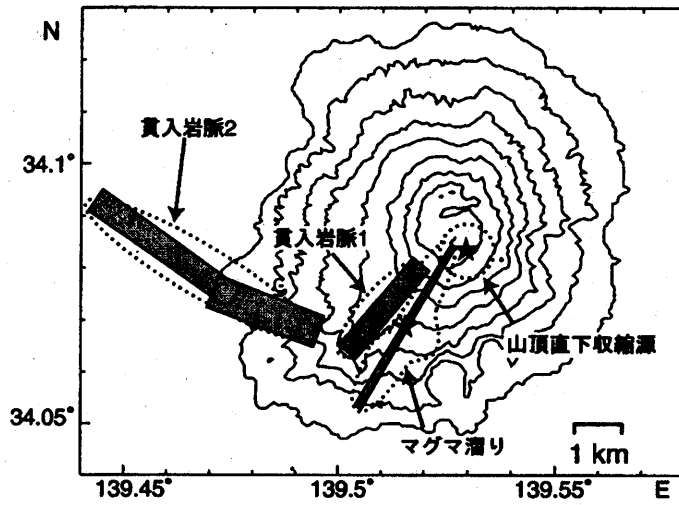
Table3 Model parameters of a dike-shaped source.

期間		緯度 (°)	経度 (°)	上端の深 さ (km)	走向 (°)	傾斜角 (°)	長さ (km)	幅 (km)	開口量 (m)	体積変化 ($\times 10^6 \text{m}^3$)
活動初期に貫入した岩脈と収縮した板状圧力源										
2	2000/6/26-6/27(DK1)	34.074	139.508	1.7	40.2	62.8	2.4	0.9	1.8	4.4
	(DK2)	34.075	139.484	0.5	110.7	86.8	2.4	12.2	1.3	38.1
	(DK3)	34.086	139.461	0.3	124.9	65.6	3.6	1.2	2.9	12.4
	(DK4)	34.062	139.500	3.2	17.0	80.5	2.3	2.4	-3.1	-17.0
三宅島一神津島間に貫入した岩脈の影響を補正するために使用したモデル										
3	2000/6/28-7/7	34.138 †	139.515	6.3	128	90	18	6.7	4.27	515.0
4	2000/7/10-8/17	34.138 †	139.515	6.3	128	90	18	6.7	8.24	993.7
7	2001/6-2001/10	34.184 †	139.316	6.3	128	90	14.5	6.7	0.0	0.0
8	2002/1.2-2003/7.8	34.184 †	139.316	6.3	128	90	14.5	6.7	2.35	228.3

†長さとは開口量とは以外は、Nishimura et al. (2001) の Tensile Fault B のパラメタと同じとし、長さは震央分布の広がりと同じとした。太字は固定したパラメタ。

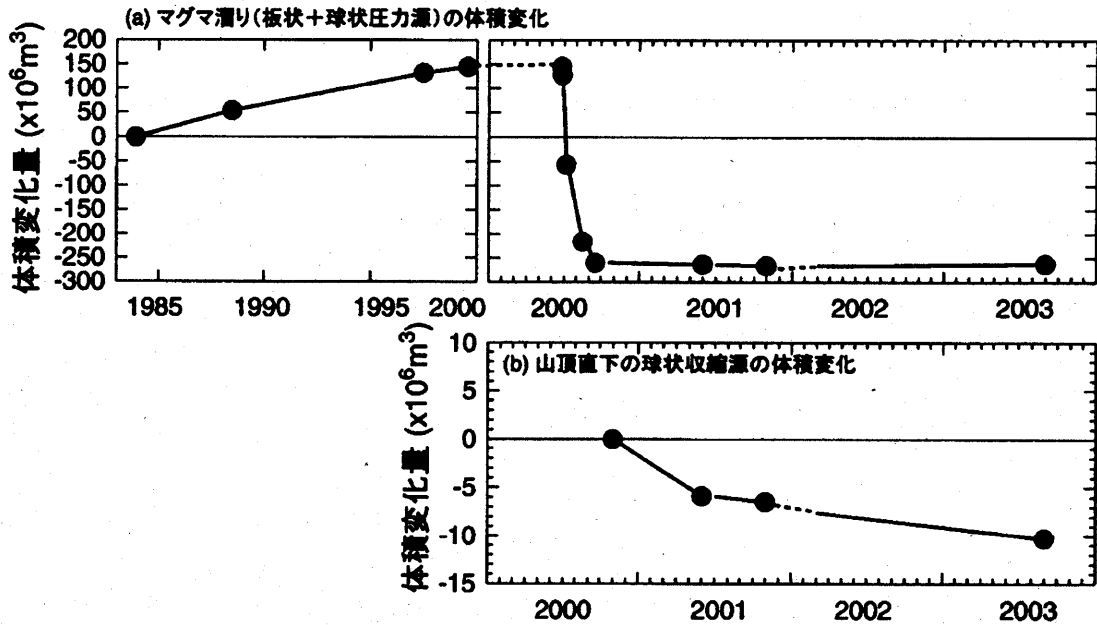


地殻変動データから推定した三宅島周辺の変動源のまとめ



第9図 変動源の分布。

Fig.9 Distribution of sources of crustal deformation around miyakejima.



第10図 変動源の体積変化。破線は、前後の変化レートに基づいて補間した部分を示す。

Fig.10 Time series of estimated volumetric changes of the magma chamber (a) and the spherical deflation source (b) beneath the summit. Broken lines shows interpolated part of the volumetric change.