

1.3 伊豆大島における地殻変動観測

1.3.1 はじめに

伊豆大島は日本でも有数の活動的火山であり、活動期間を通してほぼ玄武岩から玄武岩質安山岩溶岩を噴出している。中心には直径 3 km を越えるカルデラがあり、その南寄りに中央火口丘三原山が横たわる。過去およそ 1,500 年の間には噴出量 10^8 ton オーダーの噴火を繰り返し、100 年以上の歴史においても、 10^7 ton オーダーの規模の噴火を 36-38 年間隔で繰り返してきた (Nakamura, 1964; 一色, 1984a)。また、少なくとも過去 100 年以上山頂三原山が噴火活動の中心となってきたが (Tsuya et al., 1956; 一色, 1984b)、最後のマグマ噴火である 1986 年の活動では、三原山だけでなくカルデラ内外の割れ目から溶岩を噴出させた (例えば、遠藤・他, 1988)。

1986-87 年噴火以降、地下へのマグマの供給を示唆する山体膨張が続き、次期噴火に向けた準備が着実に進められていると考えられていること (渡辺, 1998)、2012 年現在で 1986 年のマグマ噴火からすでに 26 年経過しており、過去の噴火履歴に照らせば遠くない将来に噴火の発生が予想されることから、活動監視・評価の観点からも準備を進めていかなければならない。

気象研究所では、マグマ供給系の解明と火山活動監視・評価手法の開発を目指し、伊豆大島火山において地殻変動観測を実施し、本研究期間内で連続観測網の整備を行ってきた。ここでは、これら観測研究の背景となる過去の噴火活動について、特に溶岩噴出量 (噴出率) に関して取りまとめた上で、気象研究所で進めている伊豆大島における地殻変動観測について報告する。

1.3.1.1 背景

1.3.1.1.1 大島火山の噴火履歴

現在活動している火山は大島火山と呼ばれ、伊豆大島北岸から西岸にかけて局所的に露出する更新世の岡田火山、行者窟火山、筆島火山と、これより古い伏在火山岩類を基盤とする。伊豆大島の海面上に姿を現している大部分は大島火山の噴出物である。一色 (1984a) の分類に従えば、大島火山は山頂のカルデラ形成を境に先カルデラ期と後カルデラ期とに分類される。さらに先カルデラ期は岩相の違いから、上位の新时期山体と下位の古期山体とに区分される (Table 1.3.1.1)。後カルデラ期噴出物と先カルデラ期新时期山体は陸上堆積の主にスコリア、溶岩、火山灰の互層であるのに対し、先カルデラ期古期山体は主に爆発角礫岩や広義の火砕流堆積物の粗粒火砕岩からなり、マグマと海水との接触による爆発的噴火の産物とされる。以下の本文中に出てくる部層 (member) 名は Table 1.3.1.1 を参照されたい。また、噴火年代については後の研究により改訂が加えられている部分も多いが、ここでは引用した原著論文に従った。

1.3.1.1.2 溶岩噴出率

将来の噴火規模予測の上でも、非噴火時に観測される山体膨張から推定されるマグマ蓄積量 (蓄積率) を評価する上でも、過去の活動によるマグマ噴出量や貫入量を把握しておくことは重要である。このうち、貫入量の評価には困難を伴うが、噴出量についてはこれまでも多くの噴火について推定がなされている。ここでは、これまでの研究成果を参照しながら、時間スケールの異なるいくつかの活動期間での推定値について、年当たりの質量噴出量 (ton/yr) の次元にそろえてとりまとめる。

先カルデラ期新时期山体 (過去およそ 20,000 年)

先カルデラ期新时期山体については、露頭分布が限られていることから部層毎の噴出量の推定は困難であるが、Nakamura (1964) は先カルデラ期新时期山体全体を通しての噴出体積を $4 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 、平均密度を $2,100 \text{ kg/m}^3$ とした。この場合、総噴出質量は $8.2 \times 10^{10} \text{ ton}$ となる。

Table 1.3.1.1 Eruptive history of Oshima volcano and estimates of mass discharge rates.

Stratigraphy and Erupted Age of Oshima Volcano							Estimates of Mass Discharge Rate					
Isshiki (1984)				Nakamura (1964)		Member	Age (Year)	Source Location	All	All	Summit	
								Erupted Material	All	Tephra	Tephra	
				Group	Formation			Reference		Nakamura (1964)	Koyama & Hayakawa (1996)	
Oshima Volcano	Post-Caldera			Younger Oshima	Yuba	Y1 ¹⁾	(1777) ¹⁾	Mass Discharge Rate [ton/year] (Duration)	1.5×10 ^{6 5)} (1876-2012AD)		7.9×10 ⁵ (1057-1996AD)	
						Y2	(1684)		4.4×10 ^{6 6)} (500-1964AD)	1.9×10 ⁶ (500-1964AD)		1.5×10 ⁶ (550-1996AD)
						Y3	(1550)					
					Y4	(1420)						
					Y5	(1335)						
					Y6	(1200)						
	Nomashi	N1	(1100)	2.9×10 ⁶ (550-1057AD)								
		N2	(960)									
		N3	(860)									
	Caldera-Forming					N4	(750)					
S1						(650)						
Pre-Caldera	Pre-Caldera Strato-volcano	Younger Edifice	Older Oshima			S2	(500)	4.6×10 ^{6 7)} (19700-1719BP)	3.6×10 ⁶ (24900-1719BP)			
						O1 ²⁾	1,719BP ³⁾					
						O64	13,800BP ³⁾					
						O95	~19,700BP ³⁾					
						Osb96 ³⁾	~24,900BP ³⁾					
		Older Edifice	Senzu			Osb127	~24,900BP ³⁾					
							>41,600 BP ⁴⁾					

1): Nakamura (1964)
2): Tazawa (1981)
3): Uesugi et al. (1994)
4): Togashi & Isshiki (1983)

5) Nakamura (1964); Endo et al. (1988)
6) Nakamura (1964)
7) Nakamura (1964); Uesugi et al. (1994)

田沢 (1981a, b)が Nakamura (1964)と同様の手法により O1 から O95 の部層を認定し、さらに上杉・他 (1994)は O95 より下位の地層に対し Osb96～Osb127 と暫定的に部層名を与えた。これらの研究では ¹⁴C 法などにより年代値が推定されている。上杉・他 (1994)によれば、先カルデラ期新期山体のうち、最上位の O1 の年代は 1719 年前、¹⁴C 年代試料が得られた部層のうち最も下位のものは O64 で約 13,800 年前である。これより下位については、O1 から O64 の平均噴火間隔を 154 年として外挿により年代を推定しており、これによれば、O95 で 19,700 年前、Osb127 で約 24,900 年前である。先カルデラ期後期の活動期間を 18,000～23,000 年として噴出率を求めると、 $3.6 \times 10^6 \sim 4.6 \times 10^6$ ton/yr となる。

後カルデラ期（過去およそ 1,500 年）

およそ 1,500 年前以降のカルデラ形成期から後カルデラ期の活動については、Nakamura (1964)によって火山灰層序学的手法による部層の同定 (Y1～Y6, N1～N4, S1～S2) と、¹⁴C 法や古文書、土器などの発掘遺物による年代の推定、部層との対比により活動履歴が明らかにされた。テフラおよび溶岩を併せた噴火イベント毎の噴出量の履歴も推定されており、期間中の総噴出量は 6.40×10^9 ton、年率で 4.4×10^6 ton/yr である。このうち、噴火イベント毎の溶岩の噴出量については、表面に露出している 1777-92 年噴火 (Y1 噴火) 溶岩などの一部を除き実際には未知である。このため Nakamura (1964)ではカルデラを埋積した溶岩の総量について、カルデラ北部の孔井試料から推定されたカルデラ底の標高 (一色・他, 1963) とカルデラの面積から総量を 1.32×10^9 m³ (3.17×10^9 ton) と推定し、個々の噴火イベントに関しては、それぞれの噴火にほぼ 3×10^8 ton ずつ按分する形をとった。このため積算噴出量を示す階段ダイアグラムでは下記のテフラのみの見積もりに比べ、噴出率がより一定となるように表現されている (Fig. 1.3.1.1 の赤実線)。

一方、小山・早川 (1996)は同期間における新たな堆積ユニットの発見や、Nakamura (1964)による部層の細分を行うとともに、レスクロノメトリーの手法を導入して噴火年代を再構築している。彼らは、1) カルデラを埋積した溶岩の

噴出量の評価は困難なことから、カルデラ外の山麓地域で堆積物を追跡出来るテフラのみ扱うこと、2) 山腹割れ目噴火は地下に貫入岩があると考えられるがこの量を推定することは困難なため、山頂部からの噴出物のみ扱うこと、としてそれらの噴出量を評価した (Fig. 1.3.1.1 の青破線)。期間中の総噴出量は 2.21×10^9 ton, 噴出率は 1.5×10^6 ton/yr である。また、このようにテフラのみを取り出した場合、噴火イベント毎の違いが顕著となり、彼らは N1.0 前後での噴出率の変化を指摘し、それぞれの期間で 92 kg/s (2.9×10^6 ton/yr), 25 kg/s (7.9×10^5 ton/yr) と見積もっている。

Nakamura (1964)においても噴火毎の山頂テフラのみの体積や放出熱エネルギーのグラフは示されているが、換算密度の異なるスコリアと火山灰との分率が示されていないため、小山・早川 (1996)と同じ条件での質量噴出率のグラフを作成できない。ここでは、山頂および山腹を含めたテフラのみの噴出率を示す (Fig. 1.3.1.1 の赤破線)。これによると期間中の総噴出量は 2.85×10^9 ton, 噴出率は 1.9×10^6 ton/yr となり、小山・早川 (1996)に較べ若干多い。山腹噴火も含めていること以外に、小山・早川 (1996)によれば、Nakamura (1964)では風成堆積物も噴出物量に加えていることを指摘しており、これも一因と考えられる。

なお、これらにより推定されている最大規模の噴火は噴出量 10^8 ton のオーダーであり、大島火山の噴火史の中では、 10^8 ton オーダーの規模の噴火は慣例的に大 (規模) 噴火と呼ばれている。

19 世紀後期から現在 (過去 136 年)

1777-92 年の活動を最後に、噴出量 10^8 ton オーダーの噴火は発生していない。これ以降確認されている噴火は、1986 年の割れ目噴火を除きすべて山頂三原山で発生してきた。科学的な記載が残されている 1876 年以降の三原山での噴火活動は火砕丘の形成と溶岩の流出であり、カルデラ外にスコリア、火山灰の地層を残すような活動ではない。この点

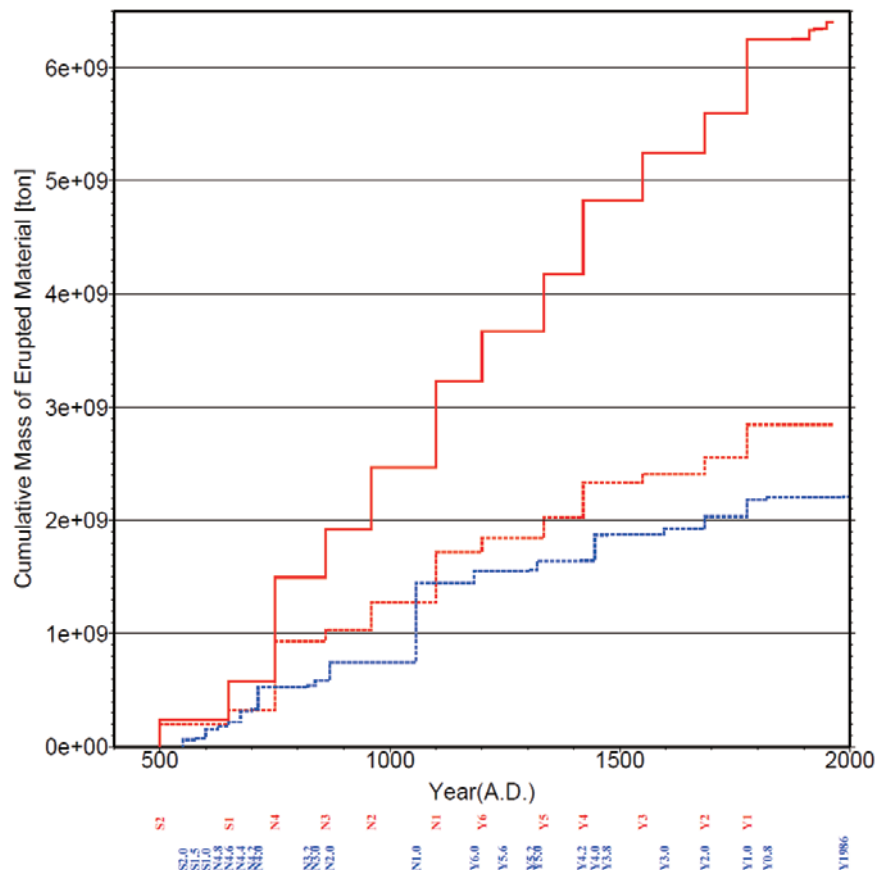


Fig. 1.3.1.1 Cumulative mass of erupted material at Oshima volcano since 500 AD. Solid red line shows all of the erupted material (after Nakamura, 1964); dotted red line shows tephra from the summit and flank areas (after Nakamura, 1964); dotted blue line shows tephra from the summit area (after Koyama and Hayakawa, 1996).

において、前節で記述した活動とは噴火様式が全く異なる。

1876 年以降の噴火について積算溶岩噴出量を Fig. 1.3.1.2 に示す。1954 年までは Nakamura (1964) によるコンパイル結果に、1986-87 年噴火については遠藤・他 (1988) に基づいた。なお三原山での噴火では、活動活発化に伴うマグマ頭位の上昇による中央火孔 (central pit) 底の上昇、外側火口 (outer crater) への溶岩の溢流、活動の減退による火孔底の低下、中央火孔の再生を繰り返しているため、一連の活動の終息後、中央火孔部を埋積していた溶岩は地下へ逆流し地表には残らない (例えば, Tsuya et al., 1956)。このため Tsuya et al. (1955) による 1950-51 年噴火の総噴出量評価ではこの中央火孔部を除いており、Nakamura (1964) のコンパイルでもこの値が採用されている。1986-87 年噴火についてもこれに従い、1986 年山頂噴火で噴出した 3.4×10^7 ton のうち、翌 1987 年の中央火孔再生時に地下へ逆流した量 (山頂噴火噴出物の約 8 割) は省いて図を作成している。

1876-77 年, 1912-14 年, 1950-51 年, 1986 年に比較的規模の大きい噴火活動を向かえ、その活動初年の間隔は 36-38 年である。また 1876-77 年噴火の噴出量は 1 桁小さいが、後者 3 つの活動はすべて 10^7 ton オーダーの噴火である。当期間中の総噴出量は 2.07×10^8 ton で、年率換算で 1.5×10^6 ton/yr となる。なお、 10^7 ton オーダーの噴火は中 (規模) 噴火と表現されている。

平均噴出率のまとめ

これら各時間スケールによる溶岩噴出率を Table 1.3.1.1 の右側にまとめた。時間スケールの違いや、個々の噴火のテフラ総量や未知の溶岩噴出量の評価法などの不確定性などを含むにも関わらず、1057 年以降の山頂テフラの推定値を除き、どの推定量についても年率に換算して 10^6 ton/yr のオーダーとなる。

テフラと溶岩を含めたすべての噴出物に関する見積りの場合、評価期間が 1,000 年以上の先カルデラ期新期山体および後カルデラ期では、それぞれ $3.6-4.6 \times 10^6$ ton/yr, 4.4×10^6 ton/yr とほぼ同様の値が得られた。一方、過去 136 年間の場合、 1.5×10^6 ton/yr とこれらに比べ 3-4 割程度である。

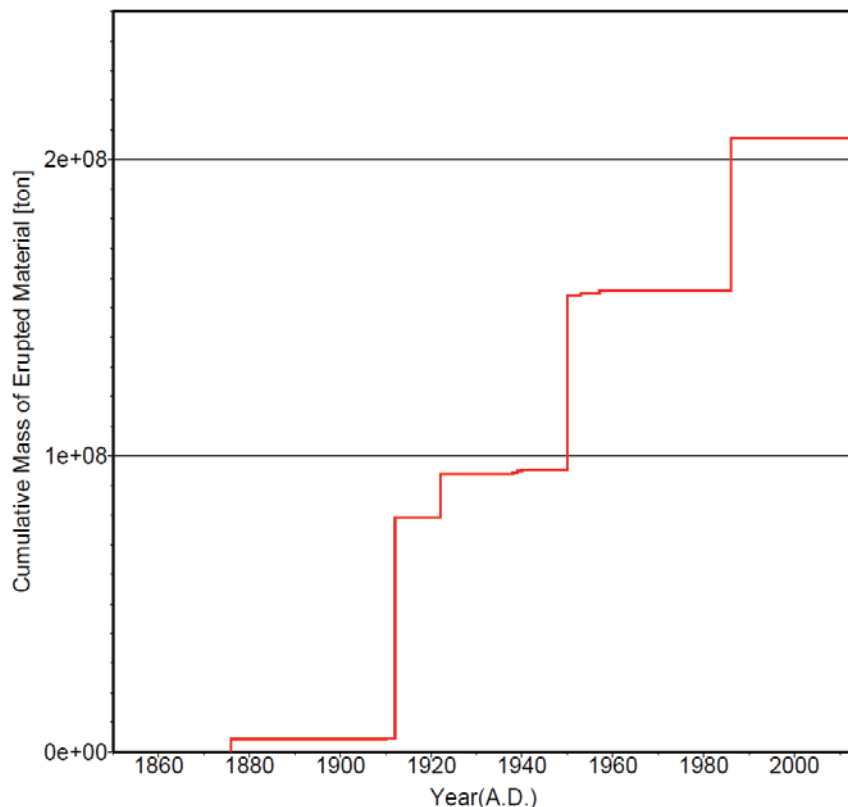


Fig. 1.3.1.2 Cumulative mass of erupted material at Oshima volcano from 1876 to 2012.

1.3.1.1.3 1986–87 年噴火

伊豆大島における最近のマグマ噴火は 1986 年に発生した。以下では主に遠藤・他 (1988) の記載に従う。11 月 15 日に山頂三原山から噴火を開始した。溶岩噴泉によりテフラを放出するとともに、20 世紀中の過去の噴火と同様に、噴出した溶岩は深さ約 230 m の中央火孔を埋積していった。溶岩は 18 日には外側の火口へ溢れ、19 日には三原山斜面を下りカルデラ床まで達した。この頃には溶岩の噴出は徐々に衰え、間欠的な噴火に移行していった。

11 月 21 日にカルデラ内外で割れ目噴火が発生した。16 時 15 分頃に北西カルデラ床で始まり、17 時 45 分頃にはカルデラ外の北西山腹でも噴火が始まった。これらは北西–南東方向への割れ目上に火口を形成した。カルデラ内での噴火は噴煙柱を高く上げる爆発的なものであり、同時に溶岩流がカルデラ床を埋積していった。またカルデラ外での噴火については、1420 年頃の Y4 噴火まで遡る。23 日には各火口とも静穏となっている。

これらの噴火による噴出物総量は 7.9×10^7 ton であり、このうち山頂噴火が 3.4×10^7 ton、カルデラ内外での割れ目噴火が 4.5×10^7 ton である。これらは噴火様式の違いを反映し、それぞれの総噴出量のうち、スコリア丘を含めたテフラの質量分率は山頂噴火が 5 %、割れ目噴火が 54 % である。

この後の約 1 年間、三原山の中央火孔には溶岩湖が形成され、この間、1986 年 12 月 18 日、翌 1987 年 11 月 16 日、18 日に山頂三原山にて小規模な噴火が発生した。これらはマグマ後退に伴う活動と解釈され、このうち 1987 年 11 月 18 日の噴火では深さ約 160 m の中央火孔を再生させた。千葉・他 (1988) によれば、1987 年 11 月 16 日、18 日の噴出量はそれぞれ約 3.3×10^4 ton、約 6.5×10^3 ton である。中央火孔を埋積していた溶岩は 2.8×10^7 ton であるから、表面の固結部を除き 11 月 18 日の噴火によってそのほとんどが地下へ戻ったことになる。この量は山頂噴火噴出物の約 8 割に達する。

Fig. 1.3.1.3a には山頂噴火、割れ目噴火の噴出量をマグマ後退により地下へ下降した量とともに時系列で示す。

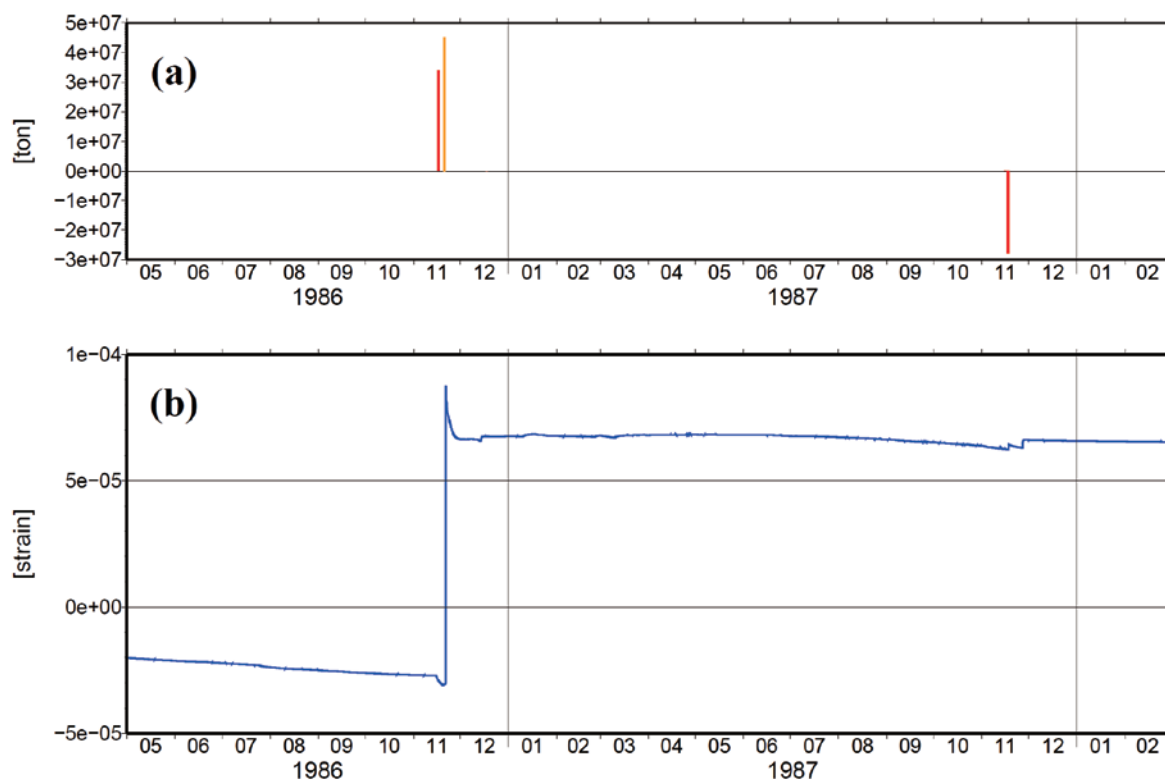


Fig. 1.3.1.3 Erupted materials and volumetric strainmeter record associated with the 1986–87 eruption of Oshima volcano. (a) Erupted mass of the summit (red) and flank (orange) eruptions. The negative value for 18 November 1987 indicates materials going down to subsurface by a drain-back event. (b) Volumetric strainmeter record from the northwestern flank of the volcano.

噴火に伴う変動

1986 年噴火当時の高感度地殻変動連続観測点として、気象庁の体積歪計（神定・他, 1987）と国立防災科学技術センターの傾斜計（山本・他, 1987; 山本・他, 1988）が設置されていた。これらの観測データや地震観測の力学観測量について、1986 年に発生したマグマ噴火では、山頂噴火と割れ目噴火とで全く違う様相を呈した。Fig. 1.3.1.3b に気圧・潮汐補正後の体積歪データを示す。11 月 15 日からの山頂噴火前には前兆と認識しうる変動は観測されていないが、17 時過ぎの噴火開始とほぼ同期して、体積歪や傾斜が捉えられ、溶岩噴出率の低下する 19 日 23 時頃まで続いた。この期間中体積歪で約 3.4×10^{-6} の縮みを記録している。これに対し、11 月 21 日に始まった割れ目噴火では、噴火開始およそ 2 時間前から島内に設置された傾斜計や体積歪計で変動が観測されるとともに、顕著な地震活動を伴った（山岡・他, 1988）。カルデラ北部およびカルデラ外北西山腹での割れ目噴火開始後、震源域が南東および北西方向に移動していった。噴火活動期間中、この割れ目噴火に伴う変動が最も大きく、体積歪の伸びは 1.2×10^{-4} に達する。噴火前後の水準測量の比較から、島を北西―南東方向に縦断する地溝状の変動が検出され、11 月 21 日の割れ目噴火開始以降の岩脈の貫入によるものと解釈された（橋本・多田, 1988）。この変動は長さ 15 km、高さ 10 km、厚さ 2 m の岩脈と減圧源でモデル化された。岩脈の体積は $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ （仮に密度を $2,700 \text{ kg/m}^3$ とすれば $8.1 \times 10^8 \text{ ton}$ ）となり、噴出物総量と較べ 1 桁大きい。

また、1987 年 11 月の山頂火口湖のマグマ後退時には歪計、傾斜計とも 1986 年山頂噴火時と逆センスの変動が捉えられ、多点傾斜観測により北西山腹下に膨張源が推定された（Oikawa et al., 1991）。

1.3.1.2 気象研究所による地殻変動観測

気象研究所では、マグマ供給系の解明と火山活動監視・評価手法の開発を目指し、伊豆大島火山において地殻変動観測を実施してきた。1997 年からカルデラ地域での繰り返し光波観測、1998 年から全島での繰り返し GPS 観測を実施し、GPS 観測に関しては順次連続化が図られてきた（高木, 2008）。

2006 年 4 月から 2011 年 3 月までの本研究期間内では、特にカルデラおよび山頂地域の観測網の整備と連続化に重点が置かれ、光波、GPS、傾斜観測装置の整備、更新などを行った。2007 年 3 月に新しく自動光波測距儀（APS）をカルデラ北縁および南東側二子山の 2 ヶ所に設置し、カルデラ内に設置した 16 ヶ所の反射点までの斜距離を自動的に測定するシステムを構築した。また、GPS 観測については本研究期間中も整備が進められ、特に 2009 年 2 月にはカルデラ地域に計 11 点から成る GPS 連続観測網を構築した。さらに、2007 年 12 月にはカルデラ北部に 3 ヶ所の傾斜観測点が整備された（Fig. 1.3.1.4）。これらの観測データはインターネットや携帯電話、衛星携帯電話通信を介して気象研究所まで伝送されている。

これら多項目の観測は、それぞれの利点を生かしながら相補的に活用することになる。面的な測量により地表面の変位を検出する GPS および光波については、ドリフトがなく長期的変動の把握に適しているとともに、地殻変動源の位置決定精度の向上が期待される。現在のマグマ蓄積期に観測されている山体膨張源はカルデラ北部下にあると考えられており、この変動源推定に有用であろう。また、三原山火口縁に設置された観測点は、1986 年山頂噴火では捉えられなかった前駆的な変動を、観測の連続化と変動源への接近により検出することを目的としている。GPS 観測と光波測距とを比較した場合、GPS 観測については、観測点間の見通しは必要ないこと、全天候型であること、変位 3 成分を測定することができることという利点がある反面、解析に時間を要するために即時的処理に遅れを取ること、各観測点に電力・伝送用機材を要すること、観測・解析システムそのものが大きく部内だけでは閉じられないこと、という難点がある。一方、光波測距については、器械点、反射点間の見通しが必要なこと、悪天候時にはデータが得られないこと、斜距離しか得られないことに関しては GPS 観測に劣る一方、煩雑な計算処理を伴わずほぼ即時的にデータを取り扱えること、反射点側に電力や伝送装置などの必要性がなく、仮に噴火活動により多項目観測網に障害が生じても反射点と活動域から離れた器械点とに障害が生じなければデータを所得できる、という利点がある。

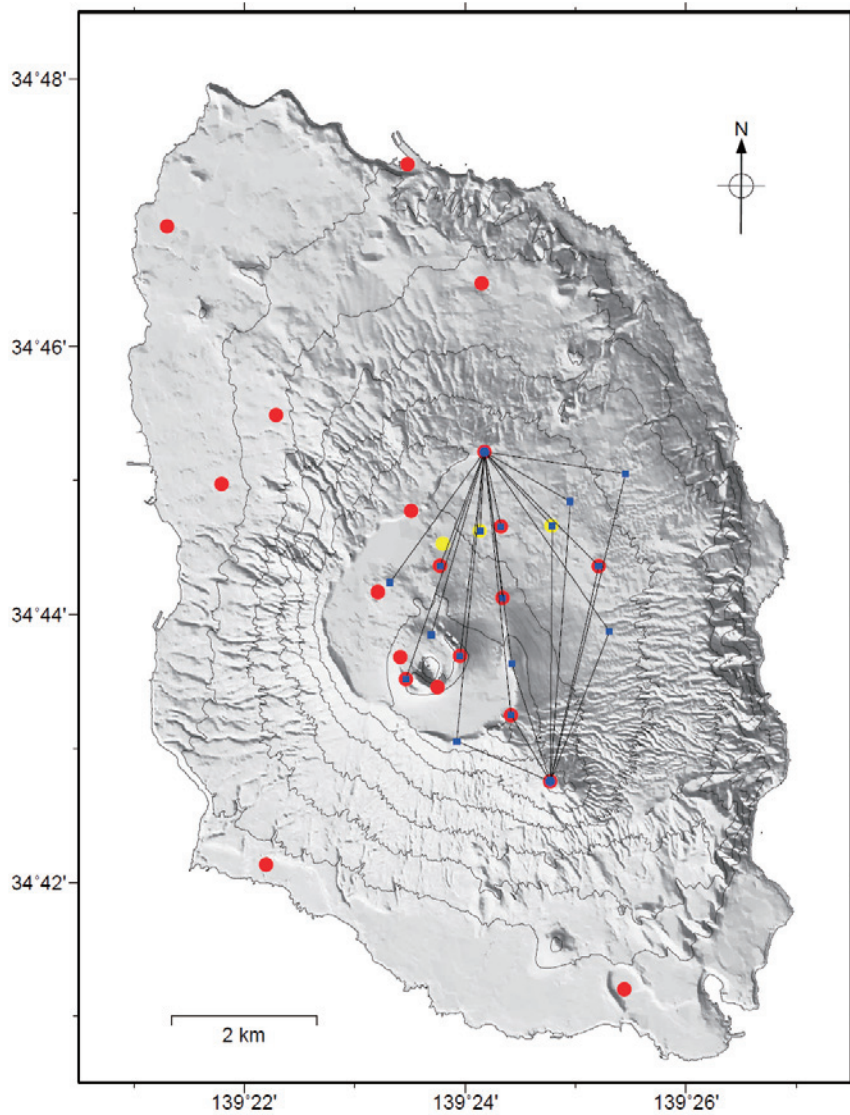


Fig. 1.3.1.4 Continuous observation sites operated by MRI on Izu-Oshima. Red circles are GPS sites, blue circles are APS sites, blue squares are mirror sites and yellow circles are tiltmeter sites. Thin lines between APS and mirror sites show baselines of slant distance measurement by APS. Contour interval is 100 m.

その場観測の一種である傾斜観測は、GPS、光波測量に較べて、ドリフトによる長期的変動の評価の難しさ、今回設置した傾斜観測網のみでの変動源位置決定の困難さがある一方、高感度、高時間分解能という利点がある。例えば、1986 年の割れ目噴火の際には前駆現象をとらえ始めてからおよそ 2 時間で噴火に至った。このような急激に進展する現象に関して威力を発揮すると考えられる。

以下の項では、これらの観測の概要と解析結果について、観測項目毎に記す。

(鬼澤真也)

謝辞

地図データとして国土地理院作成の「数値地図 50m メッシュ (標高)」を使用しました。伊豆大島における観測は全般にわたり大島測候所 (現伊豆大島火山防災連絡事務所) の皆様の全面的な協力の下行われているものです。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 千葉達朗・太刀川茂樹・遠藤邦彦, 1988: 1987 年 11 月の伊豆大島火山山頂噴火—経緯と噴出物の特徴—. 火山噴火予知連絡会会報, **41**, 49-52.
- 遠藤邦彦・千葉達朗・谷口英嗣・隅田まり・太刀川茂樹・宮原智哉・宇野リベカ・宮地直道, 1988: テフロクロロジーの手法に基づく 1986~1987 年伊豆大島噴火の経緯と噴出物の特徴. 火山, **33**, S32-S51.
- 橋本 学・多田 堯, 1988: 1986 年伊豆大島噴火前後の地殻変動. 火山, **33**, S136-S144.
- 一色直記・中村一明・早川正巳・平沢 清・行武 毅・荒井 綏・岩崎文嗣, 1963: 試錐結果らみた伊豆大島火山のカルデラ構造. 火山, **8**, 61-106.
- 一色直記, 1984: 大島地域の地質. 地域地質研究報告 5 万分の 1 図幅.
- 一色直記, 1984: 大島火山の歴史時代における活動記録. 地調月報, **35**, 477-499.
- 神定健二・佐藤 馨・上垣内 修, 1987: 体積歪計の変化からみた 1986 年伊豆大島火山噴火活動の推移. 月刊地球, **9**, 409-418.
- 小山真人・早川由紀夫, 1996: 伊豆大島火山カルデラ形成以降の噴火史. 地学雑誌, **105**, 133-162.
- Nakamura, K., 1964: Volcano-stratigraphic study of Oshima volcano. Izu. Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, **42**, 649-728.
- Oikawa, J., Y. Ida, K. Yamaoka, H. Watanabe, E. Fukuyama and K. Sato, 1991: Ground deformation associated with volcanic tremor at Izu-Oshima volcano, Geophys. Res. Lett., **18**, 443-446.
- 高木朗充, 2008: 火山活動評価手法の開発研究 2.3 伊豆大島. 気象研究所報告, **53**, 223-275.
- 田沢堅太郎, 1981: カルデラ形成までの 1 万年間における伊豆大島火山の活動. 火山, **3**, 137-170.
- 田沢堅太郎, 1981: カルデラ形成までの 1 万年間における伊豆大島火山の活動 II. 火山, **3**, 249-261.
- 富樫茂子・一色直記, 1983: 大島火山先カルデラ成層火山古期山体火砕流堆積物中の樹幹の ^{14}C 年代. 火山, **28**, 409-410.
- Tsuya, H., H., R. Morimoto and J. Osaka, 1955: The 1950-1951 Eruptions of Mt. Mihara, Oshima Volcano, Seven Izu Islands, Japan. Part II. The 1951 eruption B. Activity of the third period. Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, **32**, 289-312.
- Tsuya, H., A. Okada and T. Watanabe, 1956: Evolution of Mihara crater, volcano Oshima, Izu, in the course of its activities since 1874. Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, **34**, 33-59.
- 上杉 陽・新川和範・木越邦彦, 1994: 伊豆大島火山千波崎の地層切断面露頭群のテフラ標準柱状図—. 第四紀研究, **33**, 165-187.
- 渡辺秀文, 1998: 伊豆大島火山 1986 年噴火の前兆過程とマグマ供給システム. 火山, **43**, 271-282.
- 山本英二・熊谷貞治・島田誠一・福山英一, 1987: 1986 年伊豆大島噴火前後の地殻傾斜変動. 月刊地球, **9**, S404-S409.
- 山本英二・熊谷貞治・島田誠一・福山英一, 1988: 伊豆大島の火山活動 (1986-1987 年) に伴う傾斜変動—御神火及び波浮における地殻傾斜連続観測結果—. 火山, **33**, S170-S178.
- 山岡耕春・渡辺秀文・坂下至功, 1988: 1986 年伊豆大島噴火前後の地震活動. 火山, **33**, S91-S101.

1.3.2 GPS 観測

1.3.2.1 観測・データ収録

気象研究所による伊豆大島での GPS 観測は、南関東地域の地殻活動研究（特別研究「南関東地域における応力場と地震活動予測に関する研究」）のために、1996 年に岡田港の検潮施設屋上に設置されたのが最初である（山本, 2005）。火山活動監視・評価を目的としたものは 1998 年からの全 25 点から成る繰り返し観測に始まり、その後、本庁火山課へ引き継がれた 3 観測点も含め順次連続化が進められるとともに、一部、観測点の新設も行われた。本特別研究の前身にあたる「火山活動評価手法の開発研究」が終了する 2006 年 3 月の時点で、計 10 観測点で連続化されている。観測機材は岡田検潮所および火山課の北西外輪が Trimble 社製 2 周波受信機を使用し、これら以外はすべて古野電気社製 MG21 型 1 周波受信機である。これらの経緯については高木 (2008) に詳しく述べられているので、ここではそれ以降の本特別研究期間中の経緯について記すことにする。

本研究期間中に観測点の移設、新設などが増えてきたため、これを機に観測点名・観測点コードを再整理した。基本的には高木 (2008) の Table 2.3.1.1 を踏襲しているが、同一観測点コードを使用しているものの実際には近接場所に移設された場合もあるため、G01A, G01B のようにコードの末尾にアルファベットを付し、区別するようにした。アルファベットはアンテナを設置する標柱あるいはボルト毎に与えることとしており、同一コードでありながらアンテナ更新によるオフセットが生じている場合もある。観測点コードと座標、高木 (2008) との対応については Table 1.3.2.1 に、各観測点の詳細な履歴を Table 1.3.2.2 にまとめた。またこれらの観測点位置を Fig. 1.3.2.1 に示した。

本期間中の連続観測網変遷は以下の通りである。G02（新郷開拓）は 2005 年 3 月より連続化（G02B）されたが開空率が充分でなかったため、2009 年 1 月に移設を行った（G02C）。大島測候所（2009 年 9 月廃止）露場に設置されていた G06A（元町）は 2006 年 4 月より連続化され、さらに 2010 年 3 月に露場内で移設している（G06B）。また、1.3.3 で記す APS 観測用に建設された日の出および二子山観測局舎屋上にそれぞれ G27A を新設、繰り返し観測点 G14A を移設した（G14B）。このうち、G27A は後述の新システムの集約局として引き継がれ（G27B）、G14B は 2011 年 3 月に現地収録から FTP による自動伝送へ切り替えた。また気象研究所で唯一の 2 周波観測を実施している G26A（岡田検潮所）では 2008 年 11 月に受信機を Trimble 4000SSE から 5700 へ更新した。また、火山課の G03B, G07B は 2010 年 1 月、G11B は 2010 年 8 月に Trimble 社製 2 周波受信機 NetRS に更新されている。一方、2005 年 3 月より現地収録による連続観測を実施していた G19B（表砂漠）および G28A（元町大清水）は、観測環境の悪化からそれぞれ 2010 年 3 月、2008 年 11 月に観測を終了している。

本期間中の最も大きな変更点は、2009 年 2 月に行われた山頂三原山を含むカルデラ地域での計 11 点から成る連続 GPS 観測網の構築である。これは既存の繰り返しおよび連続観測点を更新する形で行っている。受信機は、消費電力を下げる目的で 1 周波型を採用し、古野電気社製 MG31 型 GPS 観測装置を設置した。観測網は 10 点の観測局と 1 点の集約局から構成され、各観測点は GPS 受信機、データ収録機能以外に、400 MHz 帯の無線テレメータ装置（FLCS）を有している。カルデラ内 10 点の観測データは、カルデラ北縁の APS 観測用局舎である G27B（日の出）へ無線で伝送され集約される。観測局における電源系の基本構成は 26 W 型太陽電池パネル 1 枚、42 Ah の鉛蓄電池 1 台であり、これにより 30 秒サンプリングでの観測、データ保存、1 時間に 1 回の無線伝送を担っている。集約局 G27B に集約された観測ファイルは、自局のデータと併せてインターネット回線により気象研究所データ交換サーバへ自動伝送されている。

また、2003 年 2 月以来 G22B（三原火孔南）に設置されていた連続観測用機材は、上述の更新に伴い、北西麓で繰り返し観測を行っていた G01A（北の山）を移設する形で設置した（G01B）。この機材は NTT docomo の MOVA 端末を有し、気象研究所からのダイヤルアップによりデータの取得を行っている。

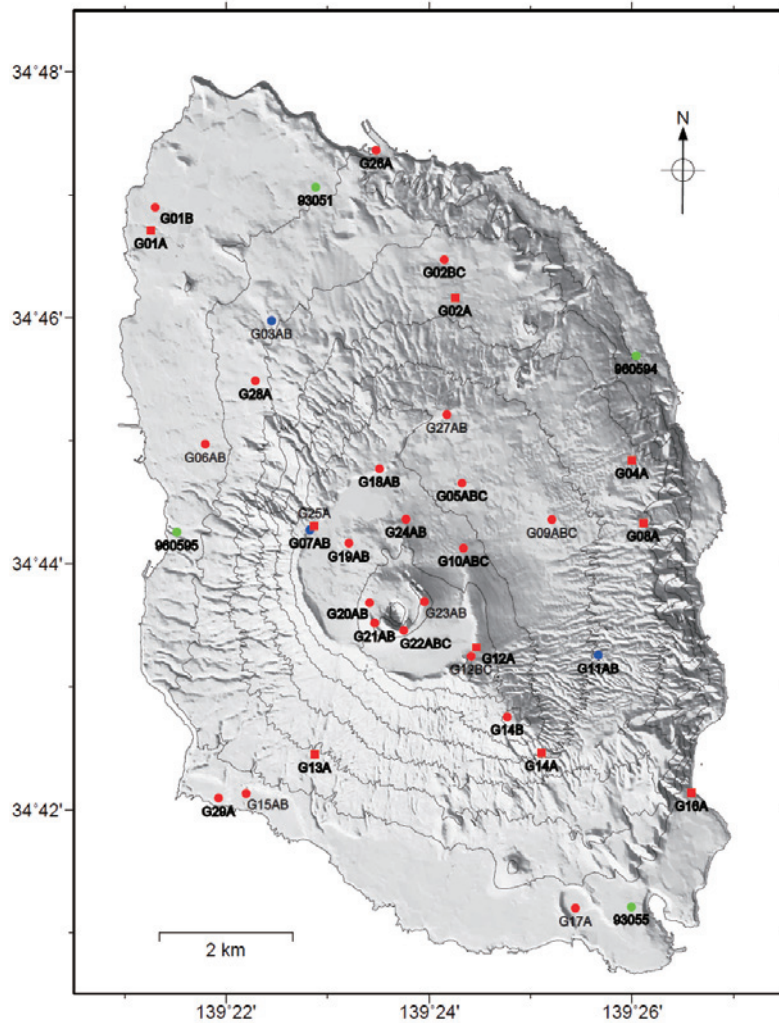


Fig. 1.3.2.1 Locations of GPS observation sites on Izu-Oshima. Red circles are MRI continuous sites, red squares are MRI campaign sites, blue circles are JMA continuous sites and green circles are GSI continuous sites. Contour interval is 100 m.

なお、本研究機関が終了した 2011 年 3 月以降も以下の変更がなされている。

- (1) 2011 年 12 月： 東京管区気象台の局舎に設置し現地収録により連続観測を行っていた G02B, G15B, G17A は、局舎の撤去に伴い観測を終了した。
- (2) 2012 年 3 月： G15B の撤去に伴い島の南西部が観測の空白域になることを避けるために代替観測点 G29A を整備した。これは Leica 社製 2 周波 GNSS 観測装置である。
- (3) 2012 年 3 月： NTT docomo MOVA 通信によりデータ伝送を行っていた G01B は、同サービスの終了に伴い FOMA 通信を用いた電子メール添付によるデータ伝送に切り替えた。同時にアンテナを MG21 型から MG31 型へ更新している。

1.3.2.2 基線解析

伊豆大島で進行している地殻変動を捉えるために、気象研究所の観測点とともに、気象庁（3 観測点）および国土地理院電子基準点（4 観測点）の GPS 観測点を併用し (Fig. 1.3.2.1), 1997 年以降のデータについて基線解析を行った。基線解析には Bernese GPS Software Ver. 5.0 (Dach et al., 2007) を用い、IGS 精密暦、IGS 地球回転パラメータを使用して 1 日毎の座標値を求めている。

Table 1.3.2.1 GPS observation sites on Izu-Oshima operated by MRI and JMA.

Location	Marker Number	Takagi (2008)	Institute	Latitude [deg]	Longitude [deg]	Altitude [m]
Kitanoyama	G01A	G1	MRI	34.778553	139.354322	20.8
	G01B	-	MRI	34.781653	139.355050	24.7
Shingo-Kaitaku	G02A	G2	MRI	34.769399	139.404287	274.8
	G02B	G28	MRI	34.774548	139.402499	227.0
	G02C	-	MRI	34.774556	139.402483	240.0
Tsubaitsuki	G03A	G3	MRI	34.766269	139.374127	191.6
	G03B		JMA	34.766269	139.374127	193.5
Okuyama Sabaku	G04A	G4	MRI	34.747374	139.433311	326.3
Northern Caldera	G05A	G5	MRI	34.744375	139.405302	479.9
	G05B	-	MRI	34.744243	139.405435	482.8
	G05C	-	MRI	34.744244	139.405435	483.3
Motomachi	G06A	G6	MRI	34.749602	139.363276	74.7
	G06B	-	MRI	34.749554	139.363284	76.2
Gojinka-Chaya	G07A	G7	MRI	34.737949	139.380478	566.9
	G07B	G7	JMA	34.737938	139.380459	567.6
Furusatomura	G08A	G8	MRI	34.738898	139.435144	351.4
Ura-Sabaku E	G09A	G9	MRI	34.739576	139.419448	439.2
	G09B	-	MRI	34.739347	139.420189	441.1
	G09C	-	MRI	34.739348	139.420189	442.3
Kushigatayama N	G10A	G10	MRI	34.735425	139.405638	539.1
	G10B	-	MRI	34.735422	139.405651	539.8
	G10C	-	MRI	34.735424	139.405651	541.1
Sashikiji Okuyama	G11A	G11	MRI	34.720563	139.427252	406.3
	G11B	G11	JMA	34.720928	139.427813	412.4
Shiroishi Yama	G12A	G12	MRI	34.722016	139.407841	674.8
	G12B	-	MRI	34.720798	139.406941	709.3
	G12C	-	MRI	34.720800	139.406941	709.7
Mabushi Path	G13A	G13	MRI	34.707531	139.381239	179.2
Futagoyama	G14A	G14	MRI	34.707730	139.418493	422.4
	G14B	-	MRI	34.712548	139.412874	628.7
Nomashi Semba	G15A	G15	MRI	34.702165	139.369974	33.3
	G15B	G15	MRI	34.702162	139.369974	33.3
Fudeshima	G16A	G16	MRI	34.702284	139.443092	35.9
Sashikiji Shikubo	G17A	G17	MRI	34.686647	139.424061	45.2
Yoroibata	G18A	G18	MRI	34.746225	139.391876	559.7
	G18B	-	MRI	34.746227	139.391876	560.8
Omote-Sabaku	G19A	G19	MRI	34.736638	139.386331	555.1
	G19B	G27	MRI	34.736113	139.386840	557.9
Mihara Crater W	G20A	G20	MRI	34.728039	139.390208	681.3
	G20B	-	MRI	34.728041	139.390208	682.4
Mihara-Shinzan	G21A	G21	MRI	34.725309	139.391063	715.1
	G21B	-	MRI	34.725310	139.391063	716.5
Mihara Crater S	G22A	G22	MRI	34.724317	139.395858	745.0
	G22B	G22	MRI	34.724308	139.395839	745.9
	G22C	-	MRI	34.724309	139.395840	746.4
Kengamine	G23A	G23	MRI	34.728220	139.399263	750.8
	G23B	-	MRI	34.728213	139.399264	751.8
B-Crater E	G24A	G24	MRI	34.739385	139.396230	548.6
	G24B	-	MRI	34.739386	139.396230	549.5
Gojinka View	G25A	G25	MRI	34.738444	139.381128	572.0
Okata Tide Gauge	G26A	G26	MRI	34.789398	139.391309	7.0
Hinode	G27A	-	MRI	34.753578	139.402915	501.3
	G27B	-	MRI	34.753560	139.402923	503.4
Motomachi Oshimizu	G28A	G29	MRI	34.758128	139.371469	171.1
Semba	G29A	-	MRI	34.701557	139.365426	24.5

Table 1.3.2.2 History of GPS observation sites on Izu-Oshima.

Site Name	Code (4-char.)	Marker Number	Institute	場所	設置方法		1996	1998	2001/03	2003/02	2005/03	2006/04	2006/09	2007/03	2007/12	2008/11	2009/02	2009/12	2010/01	2010/03	2010/08	2011/12	2012/03	2012/06
北の山 Kitanoyama	KTNV	G01A	MRI	護岸堤防南側	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ						繰り返し 1998/11 - 2009/03							撤去					
		G01B	MRI	消防団機具置場 屋上	鉄製支柱	期間 新設・移設 受信機 アンテナ												継続 2008/11/28 - 2012/03/09				継続 2012/03/10 -		
新郷開拓 Shingo-Kaitaku	SNKT	G02A	MRI	峠配水池	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																
		G02B	MRI	BT局舎上		期間 新設・移設 受信機 アンテナ						継続 (BT局舎屋根) MG-2110 0791 MG-2110 0791 FEC2										撤去		
		G02C	MRI	防災無線電柱		期間 新設・移設 受信機 アンテナ												継続 2009/01/16 - 2011/12/19				撤去		
津倍付 Tsubaitsuki	TBIT	G03A	MRI	旧測候所 露場	標柱1	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		繰り返し 1998/11 - 2000/12 新設		撤去														
		G03B	JMA (0458) (J562)	旧測候所 露場	鉄製支柱	期間 新設・移設 受信機 アンテナ					移設 MG-2110 0458 MG-2110 0458 FEC1									継続 2010/01/27 -				
奥山砂漠 Okuyama Sabaku	OKSB	G04A	MRI	砂防ダム	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設								繰り返し 1998/11 -								
カルデラ北部 Northern Caldera	NCLD	G05A	MRI		ボルト1	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設				繰り返し 1998/11 - 2007/12						繰り返し 2009/03 - 2009/05						
		G05B	MRI	溶岩流上	標柱2(塩ビ) +基台	期間 新設・移設 受信機 アンテナ										繰り返し 2007/12 - 2008/11		現FLCS基座						
		G05C	MRI	溶岩流上	FLCS	期間 新設・移設 受信機 アンテナ												継続 2009/02/07 -						
元町 Motomachi	MTMC	G06A	MRI	合同庁舎 露場	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設				継続化(レドーム付) MG-2110 0795 MG-2110 0795 FEC2							撤去					
		G06B	MRI	合同庁舎 露場	2m鉄製支柱	期間 新設・移設 受信機 アンテナ														継続 2010/03/19 -		移設 MG-2110 0795 MG-2110 0795 FEC3		
御神火茶屋 Gojinka-Chaya	GJNK	G07A	MRI	A点中継局舎 屋上	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設				繰り返し 1998/11 - 2007/06											繰り返し 2012/06 -	
		G07B	JMA (9003) (J560)	A点中継局舎 屋上		期間 新設・移設 受信機 アンテナ					継続 2001/03/07 - 2005/03/30					継続 2005/04/18 - 2010/01/20				継続 2010/01/27 -		交換(560) NETRS 48014008 TRM41249.00		
ふる里村 Furusatomura	FRST	G08A	MRI	道路堰堤上	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設								繰り返し 1998/11 -								
裏砂漠東 Ura-Sabaku E	URSE	G09A	MRI		ボルト1	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設				繰り返し 1998/11 - 2007/12						繰り返し 2009/03 - 2009/05						
		G09B	MRI	標柱2(塩ビ) +基台		期間 新設・移設 受信機 アンテナ										繰り返し 2007/12 - 2008/11		現FLCS基座						
		G09C	MRI	FLCS		期間 新設・移設 受信機 アンテナ												継続 2009/02/07 -						
棚形山北 Kushigatayama N	KSGN	G10A	MRI		ボルト1	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設				繰り返し 1998/11 - 2007/12						繰り返し 2009/03 - 2009/05						
		G10B	MRI	標柱2(塩ビ) +基台		期間 新設・移設 受信機 アンテナ										繰り返し 2007/12 - 2008/11		現FLCS基座						
		G10C	MRI	FLCS		期間 新設・移設 受信機 アンテナ												継続 2009/02/07 -						
差木地奥山 Sashikiji Okuyama	SSOK	G11A	MRI	道路堰堤上	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設				繰り返し 1999/01 - 2003/05												
		G11B	JMA (0459) (J561)	津波検知網	電柱	期間 新設・移設 受信機 アンテナ						継続 2001/03/09 - 2009/12/16						継続 2009/12/25 - 2010/08/01			継続 2010/08/02 -		2周設置 NETRS 4614207106 TRM41249.00	
白石山 Shiroishiyama	SRIS	G12A	MRI	白石山(下)	ボルト1	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設				繰り返し 1998/11 - 2007/12						繰り返し 2009/03 - 2009/05						
		G12B	MRI	白石山(上)	標柱2(塩ビ) +基台	期間 新設・移設 受信機 アンテナ										繰り返し 2007/12 - 2008/11		現FLCS基座						
		G12C	MRI	白石山(上)	FLCS	期間 新設・移設 受信機 アンテナ												継続 2009/02/07 -						
間伏林道 Mabushi Path	MBSP	G13A	MRI	砂防ダム	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設								繰り返し 1998/11 -								

Table 1.3.2.2 (Continued)

Site Name	Code (4-char.)	Marker Number	Institute	場所	設置方法		1996	1998	2001/03	2003/02	2005/03	2006/04	2006/09	2007/03	2007/12	2008/11	2009/02	2009/12	2010/01	2010/03	2010/08	2011/12	2012/03	2012/06
二子山 Futagoyama	FTGY	G14A	MRI	林道脇	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																道路幅員防失
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ								繰り返し 2007/03 - 2007/08				連続 2007/12/10 -						
		G14B	MRI	APS局舎 屋上	局舎屋根 ボルト1	期間 新設・移設 受信機 アンテナ								新設	連続化 MG-2110 0796 MG-2110 0796 NONE									
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
野増(千波) Nomashi Semba	NMSM	G15A	MRI	D点局舎 屋上	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
		G15B	MRI	D点局舎 屋上	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
紫島 Fudeshima	FDSM	G16A	MRI	シェルター上	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
差木地(シクボ) Sashikiji Shikubo	SSSK	G17A	MRI	E点局舎 屋上	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
雄鳩 Yoroihata	YRIB	G18A	MRI	雄鳩展望台	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
		G18B	MRI	雄鳩展望台	FLCS	期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
表砂浜 Omote-Sabaku	OMTS	G19A	MRI		標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
		G19B	MRI	A点ソーラー	単管	期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
三原火孔西 Mihara Crater W	MHCW	G20A	MRI		標柱1	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
		G20B	MRI		FLCS	期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
三原新山 Mihara-Shinzan	MHSN	G21A	MRI		標柱1	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
		G21B	MRI		FLCS	期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
三原火孔南 Mihara Crater S	MHCS	G22A	MRI		標柱1	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
		G22B	MRI	ステンレス標柱		期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
		G22C	MRI		FLCS	期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
剣ヶ峰 Kengamine	KNGM	G23A	MRI		標柱1	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
		G23B	MRI		FLCS	期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
B火口東 B-Crater E	BCRE	G24A	MRI		標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
		G24B	MRI		FLCS	期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
御神火展望台 Gojinka View	GJNV	G25A	MRI	御神火展望台	標柱1 (塩ビ)	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
岡田検潮所 Okata Tide Gauge	OKTG	G26A (2003)	MRI	検潮所 屋上	ステンレス 四脚	期間 新設・移設 受信機 アンテナ		新設																
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
日の出 Hinode	HNDE	G27A	MRI	APS局舎 屋上	ボルト	期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
		G27B	MRI	APS局舎 屋上	FLCS	期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
元町大清水 Motomachi Oshimizu	MTOS	G28A	MRI	C点局舎 屋上	ボルト	期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
千波 Semba	SMBA	G29A	MRI		ステンレス 支柱	期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		
						期間 新設・移設 受信機 アンテナ																		

標柱1: 1998年繰り返し観測開始時の標柱
標柱2: 2007年光線ミラー用標柱

1.3.2.2.1 全島の変動

1997 年 12 月 1 日から 2012 年 6 月 2 日までの国土地理院, 気象庁観測点データによる基線長変化を Fig. 1.3.2.2 に示す。山麓間, 北西カルデラ縁ー山麓間の基線とともに, 期間を通した伸長が認められ, これに 1~2 年程度の周期を持つ短期的な短縮, 伸長が重乗していることがわかる。なお, 2000 年には三宅島噴火およびマグマ貫入現象に伴う変動が, また 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震に伴う変動が含まれている。

Fig. 1.3.2.3 には気象研究所がカルデラ域に整備した GPS 観測網のデータも含めた 2009 年 3 月 1 日から 2012 年 6 月 2 日までの基線長変化を示す。山麓間だけでなく, カルデラ域内の基線でも短期的な変動が捉えられている。

1.3.2.2.2 三原山における局所的沈降・収縮

三原山においては, 全島的な変動によらず局所的な沈降・収縮が継続している。2009 年 3 月 1 日から 2012 年 6 月 2 日までの三原山北東麓の G10 を基準とした水平変位, 上下変位を Fig. 1.3.2.4 に示す。G10 に対して三原山火口縁の 4 観測点 (G20~G23) は年率約 8~12 mm で沈降しており, 火口が収縮するセンスの水平変位が認められる。また, Fig. 1.3.2.5 は同期間の三原山火口西縁 G20 に対する三原山の他の観測点の基線長変化を示す。比較のために 1.3.2.3 で記す短期的収縮・膨張源を挟む基線 (G20-G27) についても掲載した。G20-G27 では短期的収縮・膨張に応じて 15 mm を超える基線長変化が認められるが, 三原山観測点間の基線はほぼ定常的に短縮していることがわかる。基線長短縮率は基線が長いほど大きい, 線歪に換算すると基線によらず年率 $0.9 \sim 1.0 \times 10^{-5}$ でほぼ一定している。

1.3.2.3 全島の地殻変動の変動源推定

1.3.2.3.1 全島の変動

以下ではまず高密度な観測データを利用できる 2009 年以降の短期的収縮・膨張に関してその変動源の推定を行う。さらに長期的変動についても, 変動源に関する予察的な解析結果を示す。

短期的収縮・膨張

Fig. 1.3.2.2 および Fig. 1.3.2.3 に示した基線長変化から, 2009 年 10 月以降を収縮期, 膨張期の 5 つの時期に分け, それぞれについての主歪, 面積歪を年率で表したものが Fig. 1.3.2.6 である。なお, 1.3.2.2.2 で記した局所的沈降・収縮が続く三原山のデータは除いた。これらから収縮, 膨張はカルデラ北部を中心に起こっていること, 歪分布はほぼ等方的なパターンを示していることがわかる。変動が等方的なパターンであることから, Mogi (1958) による球状圧力源を仮定し各期間の変動源の推定を行った。相対変位 3 成分を用いて推定した変動源位置が Fig. 1.3.2.7 である。歪分布から予想されるようにどの期間もその変動源の水平位置はカルデラ北部であり, 深さは海水準下 3.7 km から 5.1 km の範囲に推定された。

これら各期間の変動源位置が有意に異なるかを確かめるために, 変動源位置のグリッドサーチによる残差 RMS 分布を調べたところ, 変動量の大きい期間(2)膨張期を除き位置の制約は弱かった。このため時期毎の位置の分離は困難と考え, 変動源位置を期間(2)の膨張源位置に固定して各期間の体積変化量を推定した (Fig. 1.3.2.8)。この結果, 各期間ともに変動量は 10^6 m^3 のオーダーに達するが, 積算体積変化量は収縮, 膨張の繰り返しによりほぼ相殺される。すなわち, 次期噴火に向けたマグマ蓄積量を見積もる上で, 少なくとも本期間中に短期的収縮, 膨張をもたらした変動源はほとんど寄与しないと推定される。また収縮期と膨張期の平均体積変化率はそれぞれ $-2.6 \sim -3.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$, $5.1 \sim 5.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$ であり, それぞれ概ね一定の大きさであるが, 絶対値で見ても, 収縮期は徐々に大きく, 膨張期は小さくなっているようにも見える。

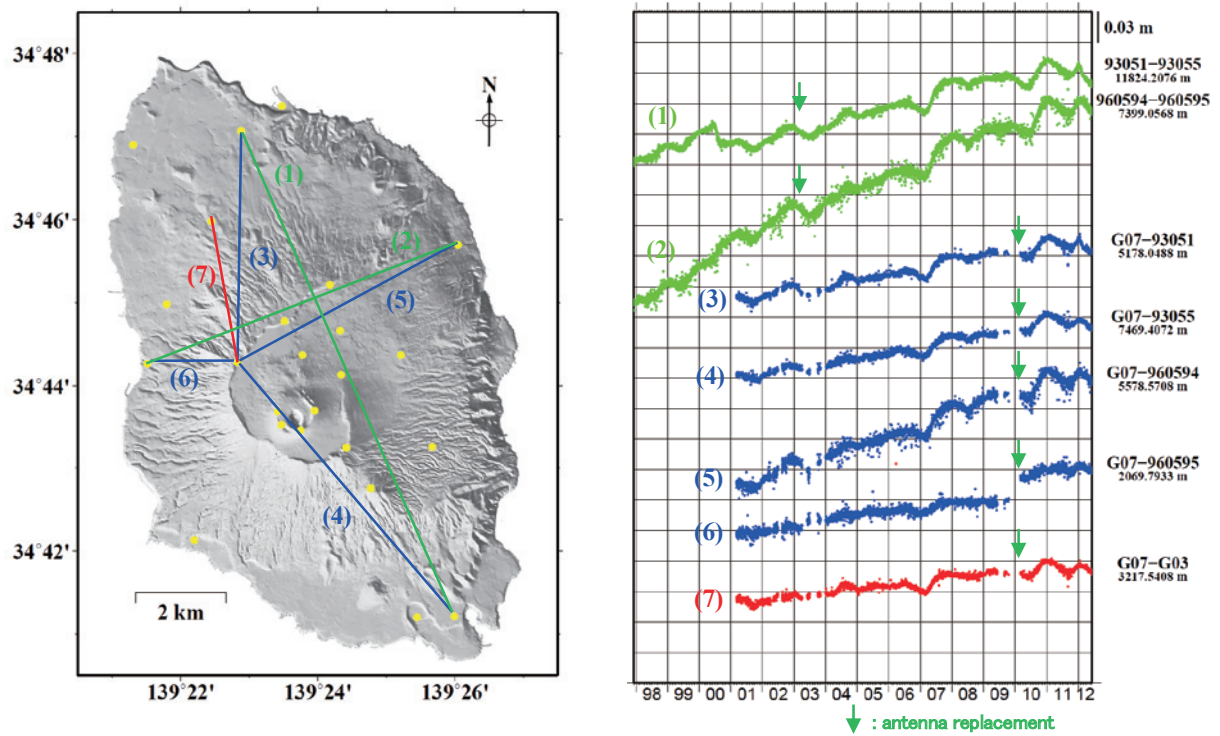


Fig. 1.3.2.2 Changes in baseline lengths on Izu-Oshima from 1 December 1997 to 2 June 2012.

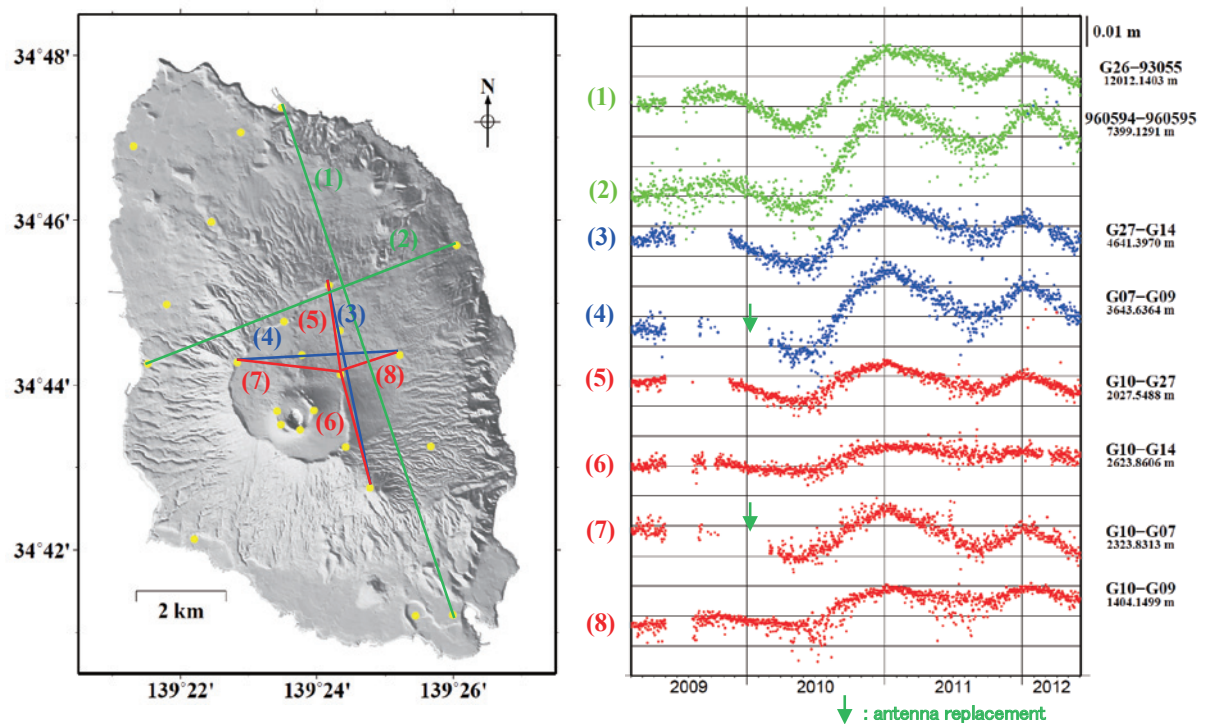


Fig. 1.3.2.3 Changes in baseline lengths on Izu-Oshima from 1 March 2009 to 2 June 2012.

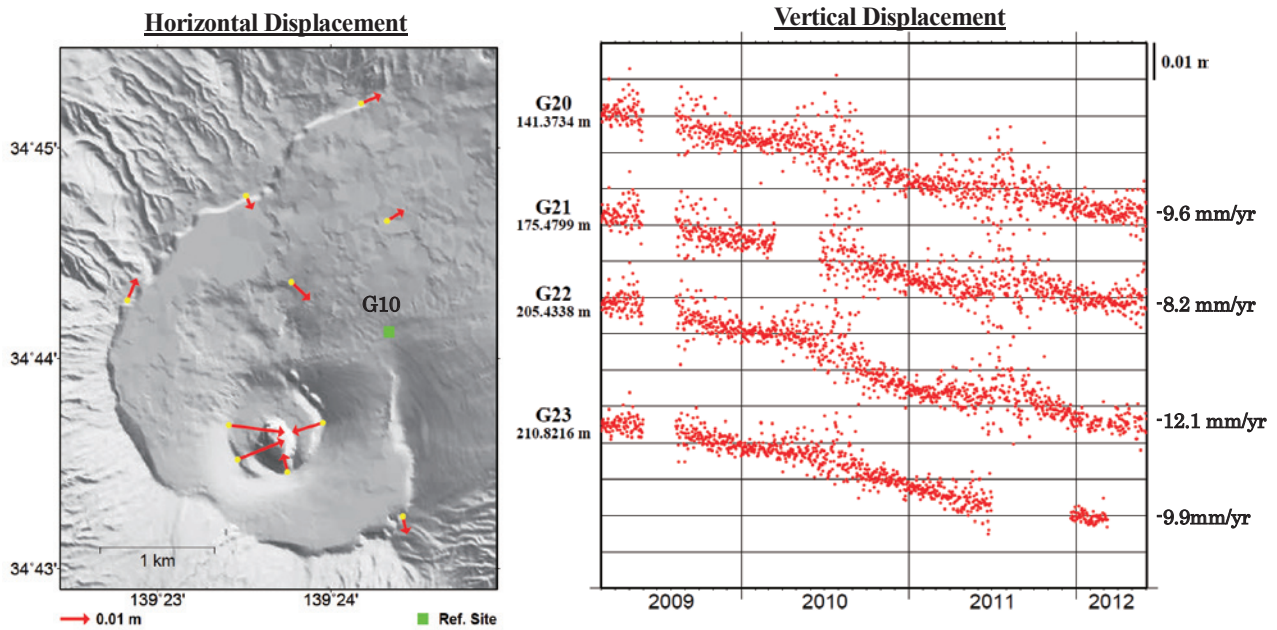


Fig. 1.3.2.4 Displacements of stations on the central cone Mt. Mihara relative to station G10 from 1 March 2009 to 2 June 2012.

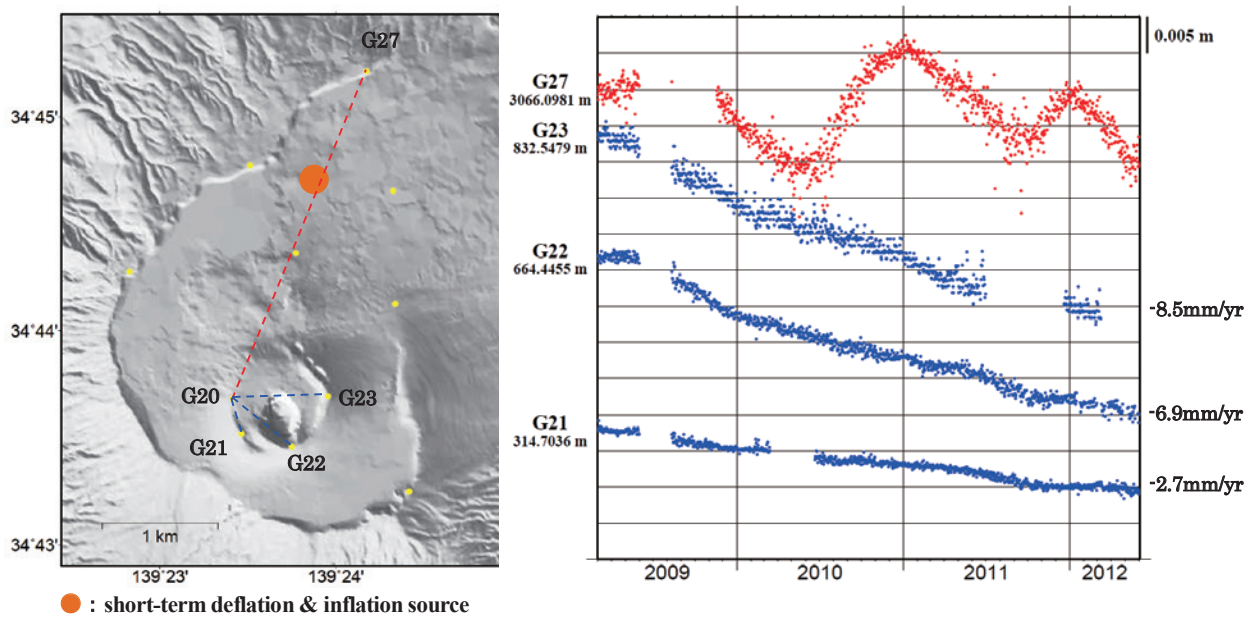
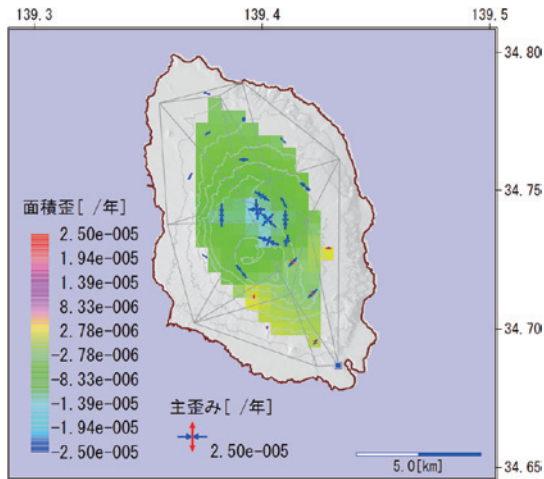
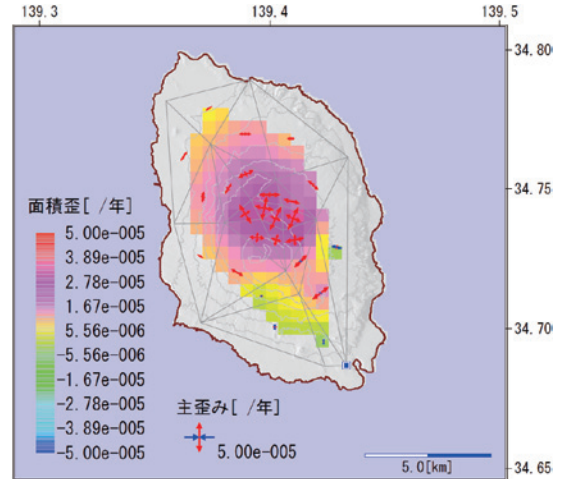


Fig. 1.3.2.5 Changes of baseline lengths relative to station G20 from 1 March 2009 to 2 June 2012.

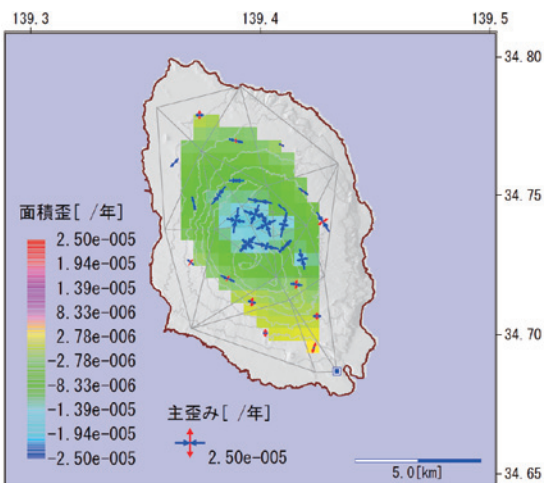
(1) Deflation (Oct. 1, 2009 - Apr. 30, 2010)



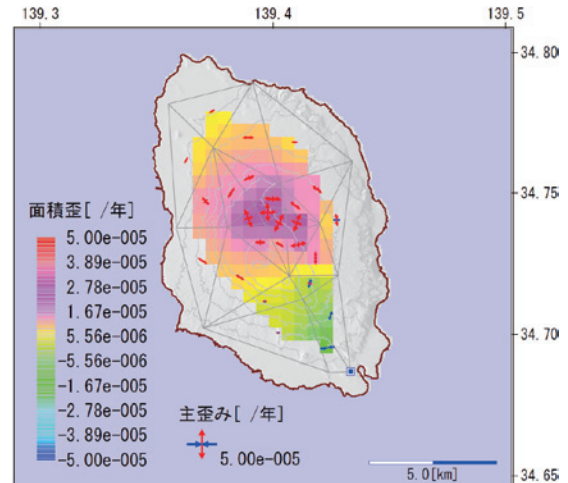
(2) Inflation (May 1, 2010 - Dec. 31, 2010)



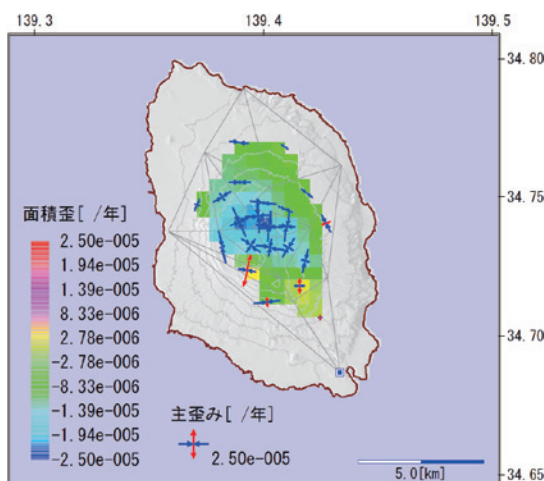
(3) Deflation (Jan. 1, 2011 - Sept. 30, 2011)



(4) Inflation (Oct. 1, 2011 - Dec. 31, 2011)



(5) Deflation (Jan. 1, 2012 - Jun. 2, 2012)



G26-93055

BL: 12012.140 m

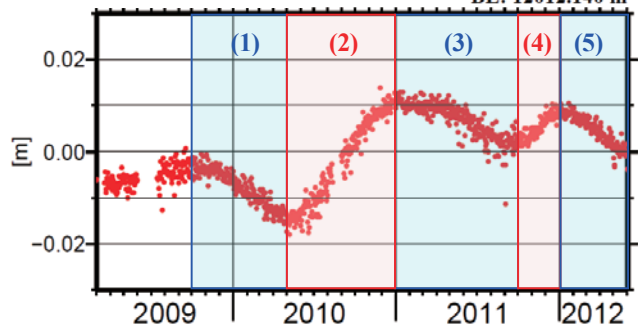


Fig. 1.3.2.6 Strain rates per year from GPS data during short-term periods of inflation and deflation. Note that scales are different for inflation and deflation periods. Graph at lower right shows the changes in baseline length between the stations G26 and 93055 (location shown in Fig. 1.3.2.1).

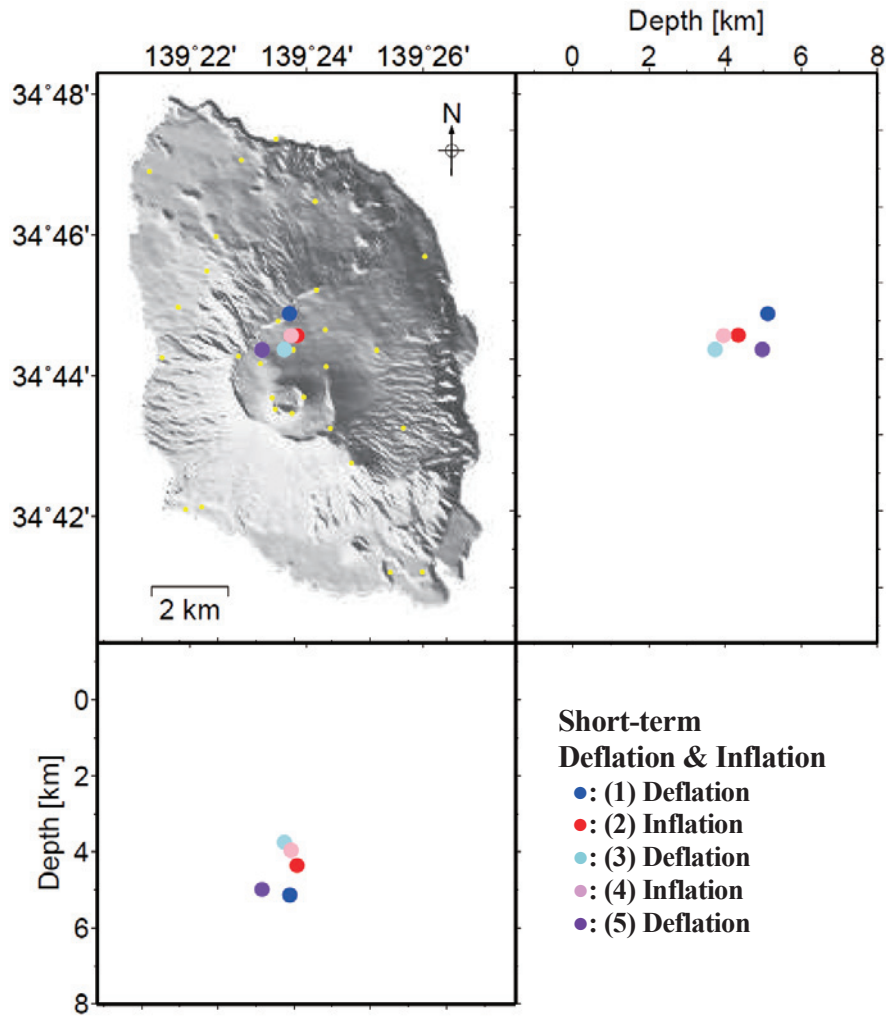


Fig. 1.3.2.7 Locations of the sources of inflation and deflation for the five periods shown in Fig. 1.3.2.6, determined from the Mogi model.

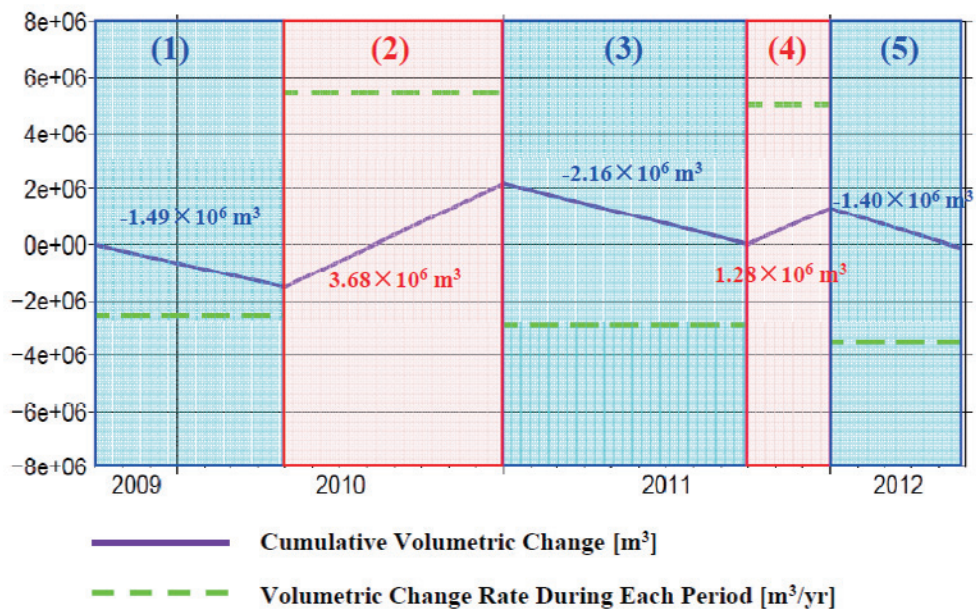


Fig. 1.3.2.8 Cumulative volume change from October 2009 to May 2012 and average volumetric changes during the five subperiods shown in Fig. 1.3.2.6.

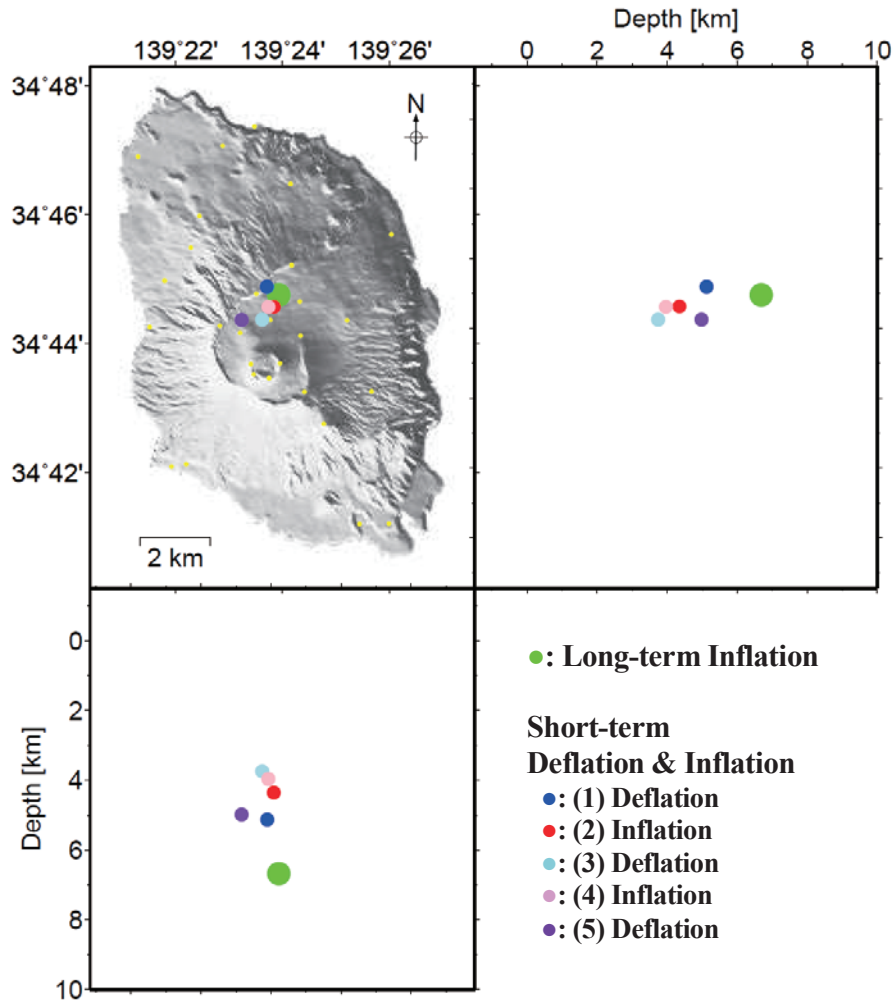


Fig. 1.3.2.9 Location of long-term inflation from March 2001 to January 2010 inferred from the Mogi model using continuous and campaign GPS data, along with locations of short-term inflation and deflation from Fig. 1.3.2.7.

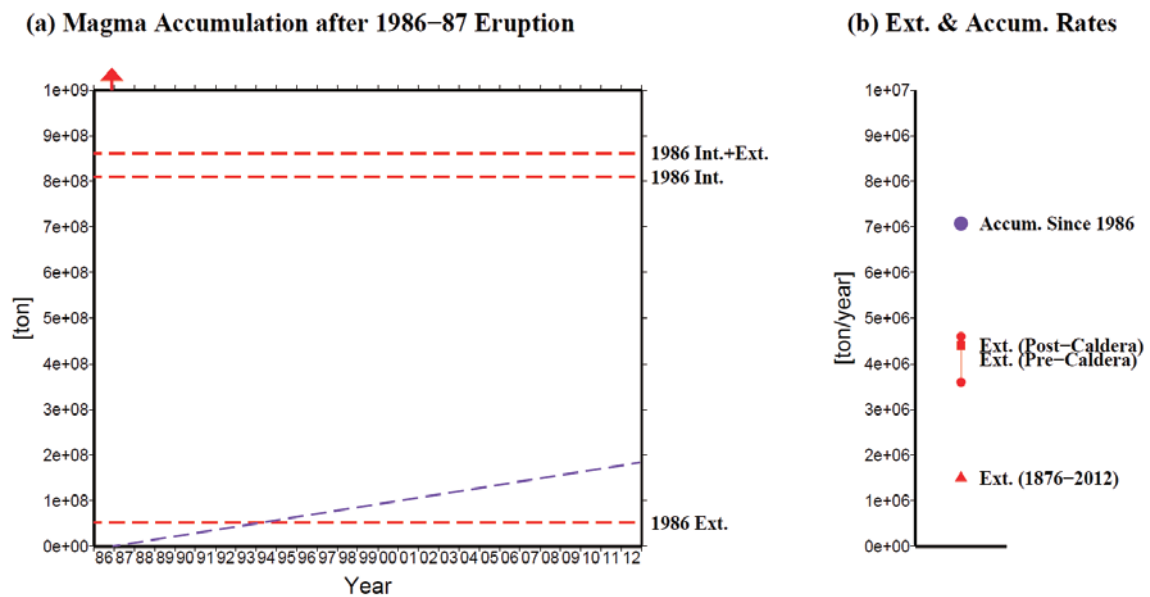


Fig. 1.3.2.10 (a) Magma accumulation after the 1986–87 eruption inferred from GPS data using a single spherical inflation source. Masses of magma intrusion and extrusion during the 1986–87 eruption are also shown. (b) Rates of magma accumulation and discharge from Table 1.3.1.1.

長期的膨張

伊豆大島では 10 年以上にわたる長期的な膨張が継続しており (Fig. 1.3.2.2), マグマの蓄積を反映していると考えられる。観測点移設やアンテナ更新などによるオフセットのないデータを用いるために、繰り返し GPS 観測データも併せて、2001 年 3 月から 2010 年 1 月までのデータを用い変動源の推定を行った。Mogi(1958)による単一の球状圧力源モデルを適用した場合、短期的収縮、膨張と同様にカルデラ北部下であるが、それらより深い海水準下 6.7 km に推定された (Fig. 1.3.2.9)。このモデルを用いた場合、8 年 10 か月間の体積増加量は $2.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ となる。仮にマグマの密度を $2,500 \text{ kg/m}^3$ とした場合、マグマ蓄積増加量は $6.25 \times 10^7 \text{ ton}$ 、年率にして $7.1 \times 10^6 \text{ ton/yr}$ と見積もられる。

Fig. 1.3.2.10a に、推定したマグマ蓄積率が 1986 年噴火後一定であると仮定した場合のマグマ蓄積増加量時間変化を、1986-87 年噴火に伴う溶岩噴出量 (遠藤・他, 1988), 貫入量 (橋本・多田, 1988) とを併せて示す。1.3.1.1.3 に従い、噴出量は総噴出量からドレインバックにより地下へ戻った分を差し引いた量 ($5.1 \times 10^7 \text{ ton}$), 貫入量は推定岩脈体積に密度 $2,700 \text{ kg/m}^3$ を掛けて算出した量 ($8.1 \times 10^8 \text{ ton}$) を用いている。推定された蓄積率を採用した場合、図からわかるとおり、マグマ蓄積量は噴火から 7 年強ですでに 1986 年噴出量に達し、2012 年でその 3.5 倍と見積もられる。一方、貫入量も含めた総量に到達するには噴火後約 120 年を要することになり、現時点ではそのまだ 2 割程度である。また Fig. 1.3.2.10b には、ここで推定したマグマ蓄積率を 1.3.1.1.2 で評価した長期的溶岩噴出率と重ねて示した。マグマ蓄積率は 1876 年以降の噴出率の 4.7 倍、より長期的な先カルデラ期、後カルデラ期と較べても 1.5~2.0 倍と大きい。このことは、長期的なマグマ収支を考える上での地下貫入量評価の重要性を示しているのかもしれない。

なお、ここでは体積増加量の見積もりの際、マグマの圧縮性を考慮していない。また、Fig. 1.3.2.2 で示す長期的な基線の伸長は鈍化しているように見え、これは 1986 年噴火直後に比べ、マグマ蓄積率が徐々に減少していることを示しているのかもしれない。これらを考慮した場合、噴火後のマグマ蓄積増加量の評価について、より増加させる方向に働くと考えられる。一方、今回の変動源推定には単一の球状圧力源モデルを用いたが、変位の水平成分、上下成分ともに誤差範囲を越える残差が認められ、単純なモデルでは説明し難い。仮に推定される変動源が浅くなれば、逆に推定マグマ蓄積増加量を減少させるセンスとなる。長期的活動評価の精度を向上させていく上で、今後は等方圧力源以外の、形状なども考慮した膨張源位置・膨張量の推定が必要である。

謝辞

地図データとして国土地理院作成の「数値地図 50m メッシュ (標高)」を使用しました。GPS 解析には国土地理院電子基準点、気象庁地震火山部火山課観測点のデータを利用させて頂きました。ここに記して感謝致します。

(鬼澤真也)

参考文献

- Dach, R., U. Hugentobler, P. Fridez and M. Meindl (ed.), 2007: Bernese GPS Software Version 5.0. Astronomical Institute, University of Bern, 612pp.
- 遠藤邦彦・千葉達朗・谷口英嗣・隅田まり・太刀川茂樹・宮原智哉・宇野リベカ・宮地直道, 1988: テフクロロジーの手法に基づく 1986~1987 年伊豆大島噴火の経緯と噴出物の特徴. 火山, **33**, S32-S51.
- 橋本 学・多田 堯, 1988: 1986 年伊豆大島噴火前後の地殻変動. 火山, **33**, S136-S144.
- Mogi, K., 1958: Relation between the eruptions of various volcanoes and the deformations of ground surfaces around them. Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, **36**, 99-134.
- 高木朗充, 2008: 火山活動評価手法の開発研究 2.3 伊豆大島. 気象研究所報告, **53**, 223-275.
- 山本剛靖, 2005: 地殻変動解析手法の高度化 2.3 東海地域の検潮所における GPS 観測. 気象研究所報告, **46**, 87-96.

1.3.3 光波測距

1.3.3.1 はじめに

伊豆大島では、1997 年以降、年に 3 回程度の繰り返し光波測距観測を大島測候所と共同で実施している（気象研究所、2008）。この観測により、カルデラ内では経年的に斜距離が増大する伸張場であり、三原山山頂火口縁については局所的に顕著な収縮場であることが確認されている。

三原山山頂火口周辺及びカルデラ内のひずみ場を時空間的にさらに高密度で測定することで、伊豆大島火山のマグマ供給系を解明するために、カルデラの南部と北部に自動視準自動追尾式光波距離計を設置し、観測を実施した。

1.3.3.2 観測点

観測点は 2 点の機械点及び 16 点の反射点から構成される。機械点はカルデラを俯瞰できるよう、1 点を北部カルデラ縁の日の出展望台（HND、標高 498m）に、もう 1 点をカルデラ南部の二子山山頂部（FTG、631m）に設営した。機械点の測距儀は、いずれもライカ社製で、HND 観測点は TCRA1201、FTG 観測点は TCA1201M である。反射点（M1～16）は SOKKIA 社製 APS01 をカルデラ内に設置し、素子数は斜距離により 1～3 素子と異なる。HND 観測点からは 15 点、FTG 観測点からは 8 点を測距する。観測点の位置及を Table 1.3.3.1 及び Fig 1.3.3.1 に示す。機械点の写真を Photo1.3.3.1 に、反射点の写真を Photo1.3.3.2 示す。

光波距離計は制御装置（パーソナルコンピューター）にインストールされた計測ネットサービス社製の DAMSYS ver.5.0 によって制御されており、30 分間隔で測距を行い、データは制御部に蓄積され処理される。自動視準ができない場合のリトライ回数は 1 回としている。制御装置はブロードバンド回線（光ケーブル）に接続されサーバーの機能を持たせており、そこで処理結果を図化し、インターネット経由でウェブブラウザで閲覧できるシステムにしている。DAMSYS により、対話式に任意の期間や観測点の測距データをダウンロードできるほか、測距データを FTP により気象研究所の FTP サーバーに送る設定にもなっている。

Table 1.3.3.1 Description of EDM and reflector sites on and around Mt. Mihara.

SITE	Latitude			Longitude			Altitude	Number of mirror		Distance(m)	
	deg.	min.	sec.	deg.	min.	sec.	m	HND	FTG	HND	FTG
EDM											
HND	34	45	13.0	139	24	10.5	498				
FTG	34	42	45.2	139	24	46.4	631				
Reflector site											
M1	34	44	15.4	139	23	20.8	551	1		2175	
M2	34	44	21.7	139	23	46.5	544	2		1688	
M3	34	44	36.6	139	24	7.8	485	3		1101	
M4	34	44	39.8	139	24	19.1	486	3		1060	
M5	34	44	38.7	139	24	44.1	467	3	3	1358	3498
M6	34	44	52.0	139	24	56.6	442	3	3	1341	3918
M7	34	45	3.1	139	25	27.2	387	1	2	1977	4378
M8	34	44	22.0	139	25	12.2	438	3	3	2208	3058
M9	34	44	7.6	139	24	20.3	533	3		2028	
M10	34	43	51.0	139	23	41.6	681	3		2635	
M11	34	43	27.6	139	23	41.0	752	3		3340	
M12	34	43	41.6	139	23	57.3	747	3		2842	
M13	34	43	37.8	139	24	25.4	668	3	3	2958	1706
M14	34	43	52.8	139	25	18.6	443	3	3	3021	2235
M15	34	43	15.0	139	24	25.0	711	3	1	3658	1063
M16	34	43	3.7	139	23	54.2	643		1		1450

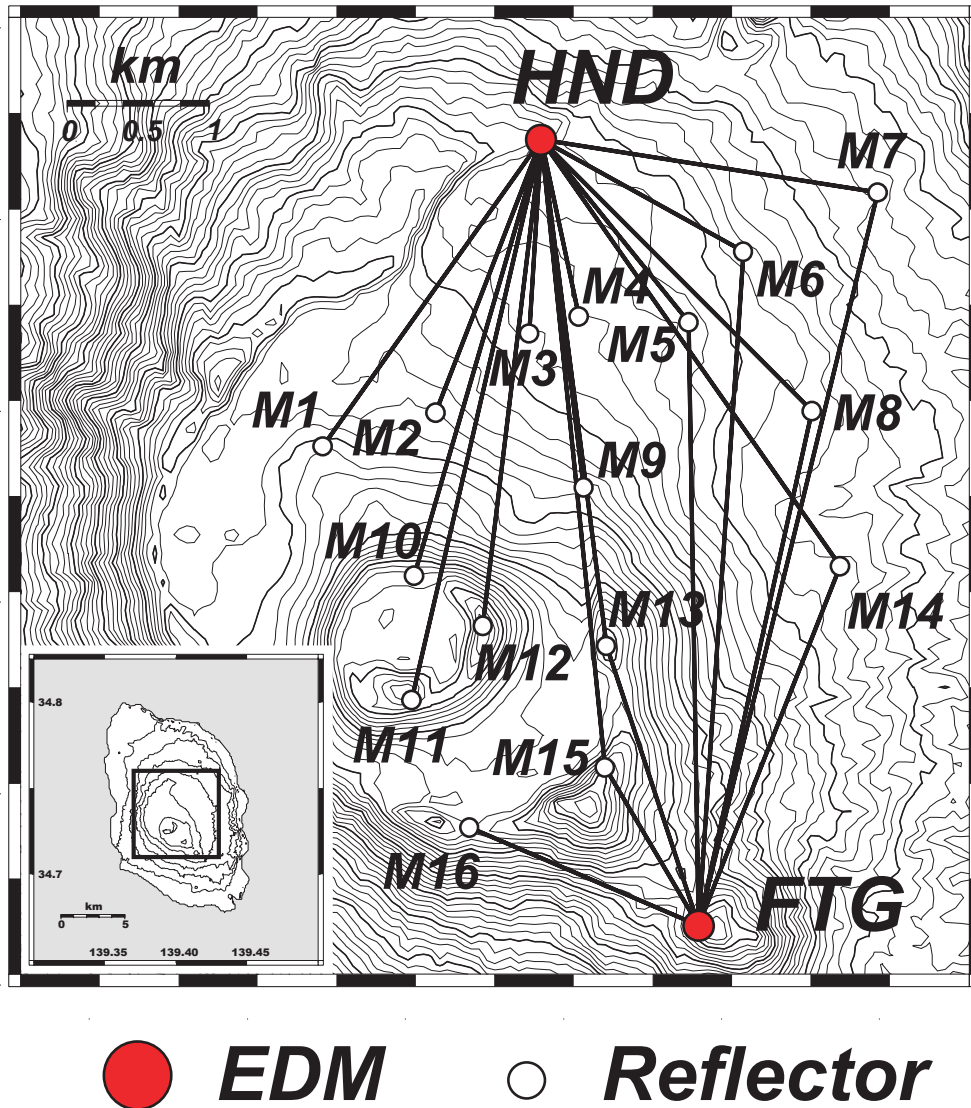


Fig. 1.3.3.1 Distribution of EDM and reflector sites in the caldera of Izu-Oshima.



Photo1.3.3.1 EDM stations (a) HND on the northern caldera rim and (b) FTG on the top of Mt. Futago.



Ptoto1.3.3.2 Reflector at site M5 with the temporal GPS system.

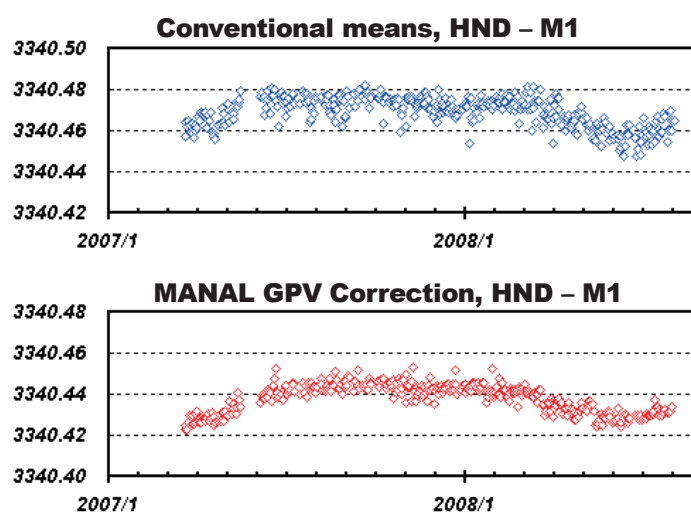


Fig. 1.3.3.2 Comparison of distances between station HND and reflector M1 corrected by conventional means (top) and by GPV (bottom)

1.3.3.3 観測結果

観測データの補正は、現地の気象データを用いず、気象庁の数値予報で用いるための水平格子点間隔 5km のメソ客観解析値 (MANAL) の格子点値 (GPV) を用いた。浅間山で使用した、高木他 (2010) の手法を適用したものである。浅間山の機械点-反射点の標高差は約 1500m と大きいので、機械点の気象データを光路全体の代表値として補正する従来手法と比べ、GPV による補正は効果的であった。伊豆大島の観測網では最大の標高差でも 250m 程度であるが、従来の補正手法と比べると、効果的に補正されていることがわかった。Fig. 1.3.3.2 は斜距離 3340m、標高差 254m の HND-M11 間の斜距離の変化を示し、Fig. 1.3.3.2A が従来手法による結果、Fig. 1.3.3.2B が GPV による補正結果である。いずれも日平均したものである。この手法により、計算された 2007 年 3 月から 2012 年 9 月までの斜距離変化を Fig.1.3.3.3 に示す。

伊豆大島では、GPS 観測等により全島的な収縮-膨張活動があることが知られている (1.3.2) が、2007 年から開始したカルデラ内の光波測距観測の測線網においても、その傾向が見られた。伊豆大島は長期的には膨張しているが、間欠的に短期的な収縮・膨張の地殻変動を示し、本観測の期間では、観測を開始した 2007 年 3 月に膨張期に入っており同年 8 月頃まで継続した。また、2009 年 10 月頃に収縮期に入り 2010 年 4 月頃まで収縮が継続し、その後反転して膨張が継続し、同年 12 月頃まで継続した。

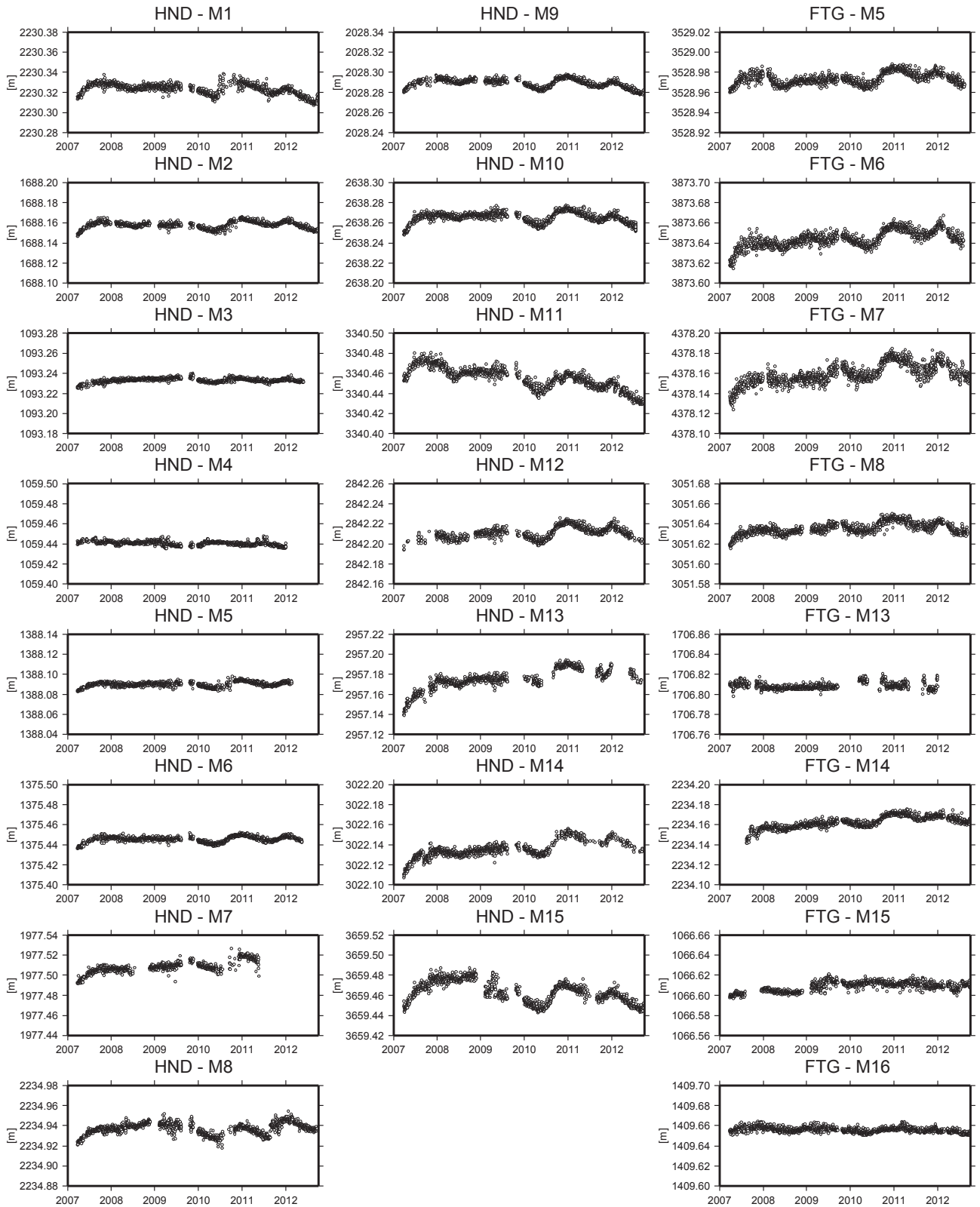


Fig. 1.3.3.3 Slope distances from stations HND and FTG to reflectors in the caldera, March 2007 to September 2012.

Table 1.3.3.2 Estimated pressure source parameters from EDM observations in the caldera of Izu-Oshima.

Period	Longitude	Latitude	Depth	Volume change	Note
March, 2007 - August, 2008	139.40723	34.73810	2100m	$+0.79 \times 10^6 \text{ m}^3$	Inflation
October, 2009 - April, 2010	139.39303	34.73630	2400m	$-0.85 \times 10^6 \text{ m}^3$	Deflation
April, 2010 - January, 2010	139.40395	34.73630	2300m	$+0.99 \times 10^6 \text{ m}^3$	Inflation

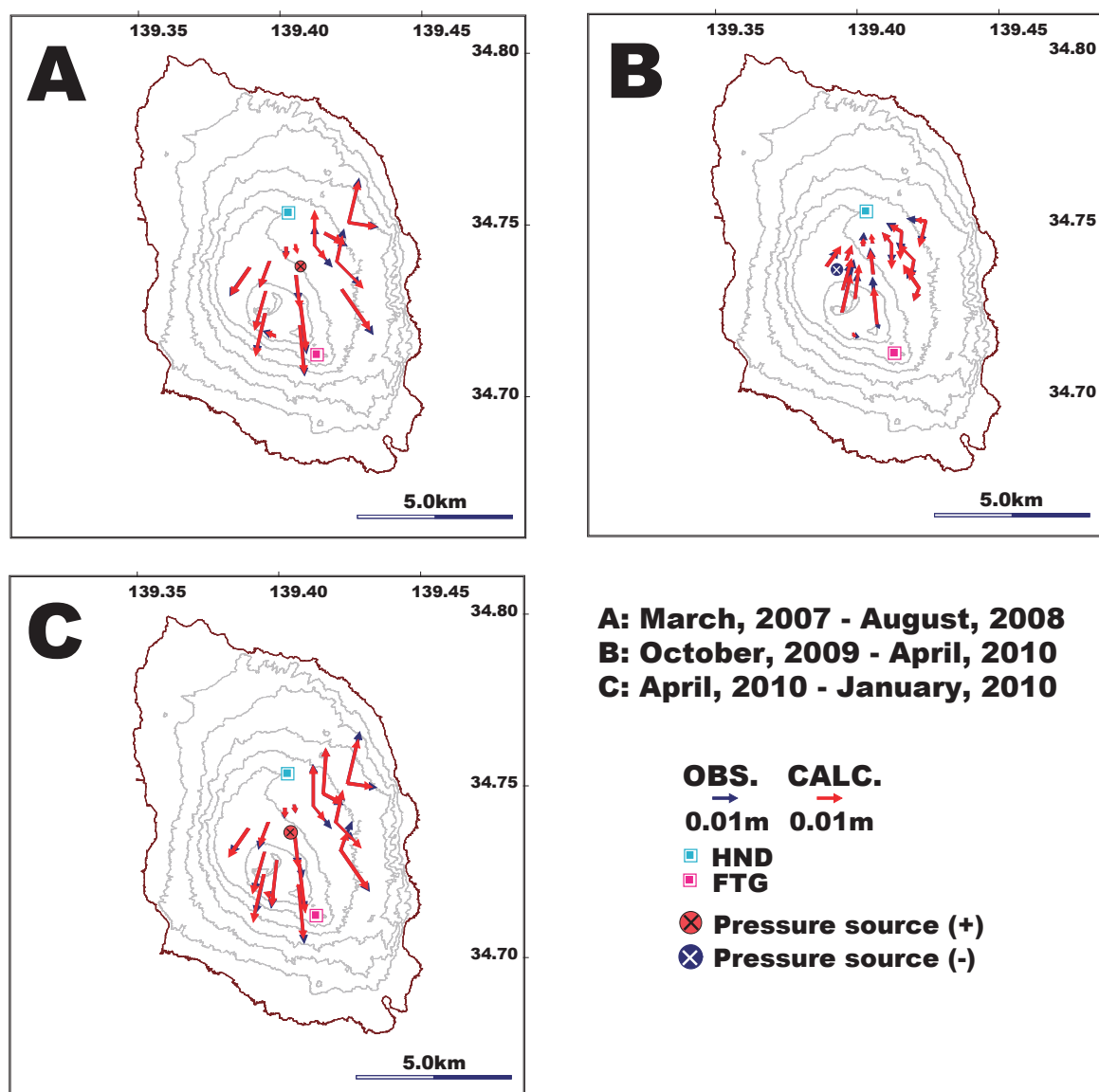


Fig. 1.3.3.4 Estimated pressure sources for three time periods derived from EDM observations.

1.3.3.4 圧力源の推定

1.3.3.3 で示した 3 つの地殻変動期において、本観測で得られた斜距離変化量を用い、単一の茂木モデル (Mogi, 1958) を適用して圧力源をグリッドサーチ手法で推定した。計算には、火山地殻変動用解析ソフトウェア MaGCAP-V (福井他, 2010) を使用した。このソフトウェアには、光波測距等で得られた斜距離の変化量分布から、圧力源の推定を行う機能を持ち、これを使用した (詳細は 2.4 を参照)。圧力源中心の経度、緯度、深さ及び体積変化量を未知数とし、探索分解能を経度、緯度、深さについては 100m、体積変化量については 10^4 m^3 とした。

その推定結果を Fig.1.3.3.4 及び Table 1.3.3.2 に示す。圧力源の位置はいずれもカルデラ北部に見積もられ、GPS による推定位置と同様の傾向であった。深さは海拔下 2100~2500m の間に推定されるが、これは GPS による推定位置よりもやや浅い傾向がある。

1.3.3.5 まとめ

2 点の自動視準自動追尾式光波距離計により伊豆大島カルデラ内に設置した 16 箇所の反射点からなる 23 の測線により、火山性地殻変動の把握及び圧力源の推定を行った。

伊豆大島火山では、収縮―膨張の間欠的な火山性地殻変動が観測される。光波測距観測は GPS 観測と比べ三次元的な把握はできないものの、反射点側の電力が不要という利点を生かして多くの反射点を設置し、自動視準自動追尾式光波距離計で測線を増やすことにより、圧力源を推定することが可能であることを示した。

これらの仕組みの基礎は浅間山 (機械点 1 点、反射点 5 点) でも経験を積んでおり、気象庁火山センターは 2009 年から同様の光波測距システムを導入している。また、GPV を用いた補正手法もこれに導入されている。

(高木朗充)

謝辞

地図データとして国土地理院作成の「数値地図 50mメッシュ (標高)」を使用しました。

参考文献

気象研究所, 2008: 火山活動評価手法の開発研究, 気象研究所技術報告, **53**, 228-232.

Mogi, K., 1958: Relations between the eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them. Bull. Earthq. Res. Inst., **36**, 99-134.

福井敬一・安藤 忍・高木朗充・鬼澤真也・新堀敏基・山里平・大須賀 弘 (2010) 火山用地殻活動解析支援ソフトウェアの開発(3)―EDM, InSAR データ解析機能, 簡易版動的解析機能の組み込み. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 予稿 CD-ROM, SSS014-P02.

高木朗充・福井敬一・新堀敏基・飯島 聖 (2010) 光波測距の数値気象モデルに基づく大気補正―浅間山への適用―. 火山, **55**, 41-51.

1.3.4 伊豆大島における傾斜観測

1.3.4.1 はじめに

埋設型傾斜計は地中に埋設したことの影響などによる長期的な変動（ドリフト）や、降水に対する非線形で不規則な応答、地震の際にステップ変化が生じるなど、長期的な地殻変動を見るにはあまり適していない。しかしながら、GPS を用いた地殻変動観測と比較し、連続データが得られること、感度が 3 桁以上高いという特徴があり、短い時間スケールの変動を見ることに適しており、噴火活動や火山性微動に対応した変動も数多く報告されている（例えば、島田・他, 1988, 福山, 1988 ; Oikawa *et al.*, 1991 ; 北川・他, 1995 ; 中禮・潟山, 2006 ; 気象研究所, 2010 ; 加藤・他, 2011）。

伊豆大島における多項目地殻変動観測のひとつとして 2007 年 12 月に伊豆大島のカルデラ内北部 3 箇所において Pinnacle Technologies Inc. 製孔内設置型高精度傾斜計 5000 型による連続観測を開始した。ここでは、観測システムと観測結果の概要、ダイク貫入に伴い観測されることが期待される傾斜変動の様子について述べる。

1.3.4.2 伊豆大島における傾斜観測システム

1) 観測点と設置方法

伊豆大島においては、1986 年に山頂噴火と割れ目噴火、翌年に小規模な山頂噴火が発生した以降、噴火活動は発生していない。しかし、現在もカルデラ北部を中心として山体の膨張収縮を繰り返している（たとえば、鬼澤（本技術報告 1.3.2 節）、高木（本技術報告 1.3.3 節））。1986 年の割れ目噴火時のダイク（例えば、橋本・多田, 1988）や Takagi (2004) によって推定されたダイクの位置を考慮し、Takagi (2004) が推定したダイクに直交する方向の 3 地点 (Fig. 1.3.4.1, Table 1.3.4.1) を選定し、これらのダイクの伸展によって生じる地殻変動を検出するのに適した配置とした (TBCN と

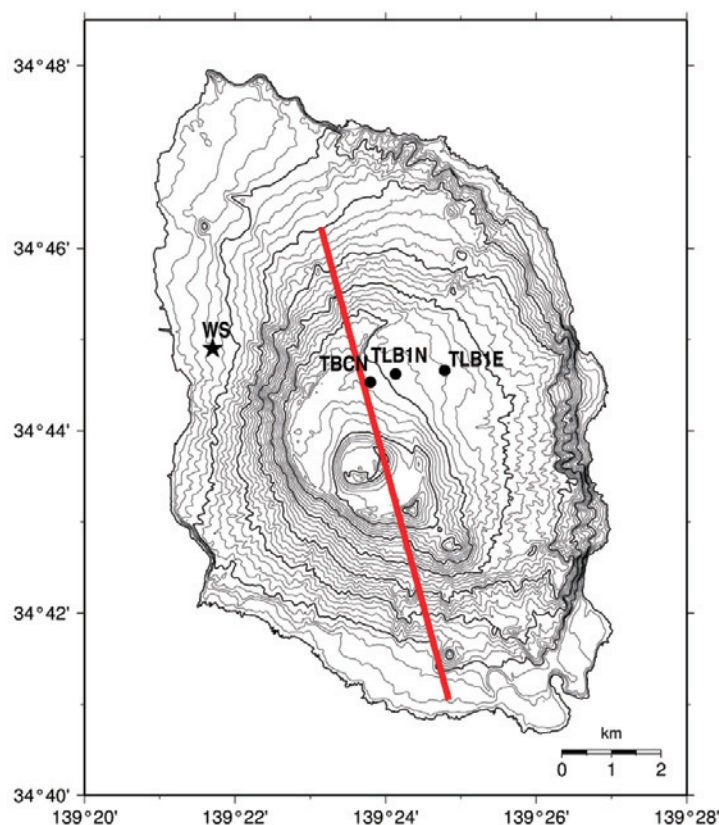


Fig. 1.3.4.1 Location map of tiltmeter sites on Izu-Oshima volcano (circles) and the Oshima AMEDAS station (star). The heavy line indicates the dike inferred by Takagi (2004).

Table 1.3.4.1 Locations of tiltmeter sites on Izu-Oshima volcano.

Station Name	Station code	Latitude	Longitude	Height	Depth	Installation Date
		[deg N]	[deg E]	[m]	[m]	
B火口北（西観測点）	TBCN	34.74217	139.39664	512	12.0	15 Dec., 2007
LB I 溶岩北（中央観測点）	TLB1N	34.74369	139.40217	488	12.0	13 Dec., 2007
LB I 溶岩東（東観測点）	TLB1E	34.74433	139.41397	459	12.0	14 Dec., 2007

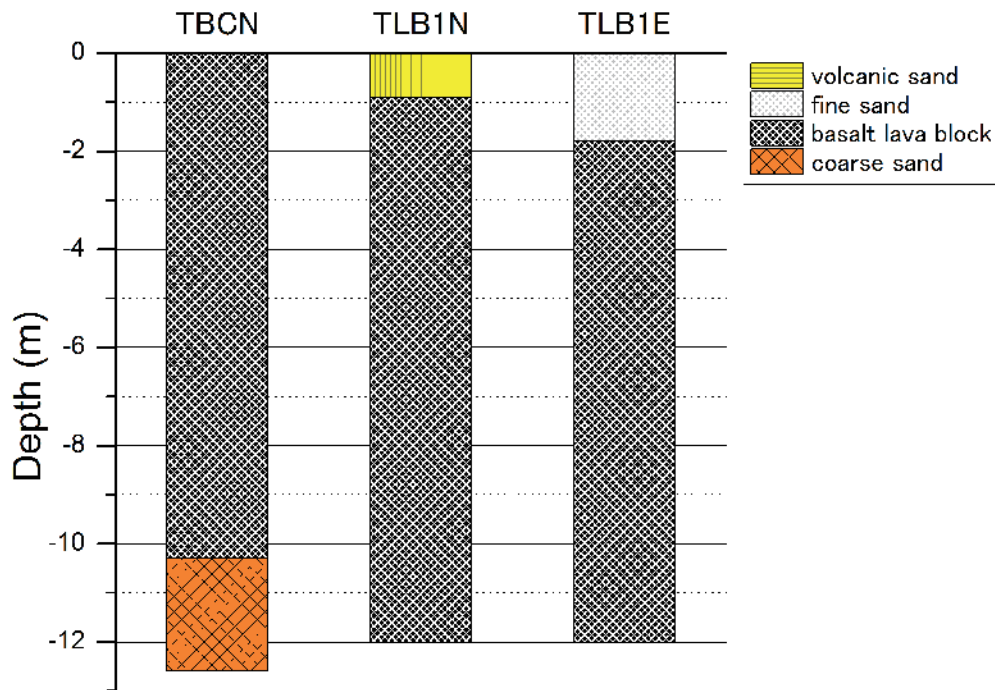


Fig. 1.3.4.2 Soil boring logs at the tiltmeter stations.

ダイクとの距離は約150 m, TLB1Nは約690 m, TLB1Eは約1.7 km)。観測井の掘削、観測装置の設置工事は2007年11月27日～12月17日に実施した。

観測井の構造は霧島山に設置したもの（気象研究所地震火山研究部，2008）と同じで，直径 15 cm，深さ約 12 m の掘削孔に，底部に蓋をした内径 7.5 cm の塩化ビニル管（以下 PV 管と記す）を挿入し，この PV 管の底部に粒径のそろった珪砂を数 cm 程度敷き，ワイヤーで吊り下げた傾斜計を設置し，傾斜計と PV 管の間にも珪砂を詰め固定している。観測井の 1.8 m 以深はコンクリートで固め，その上部は内径 15 cm の PV 管で孔壁の崩落を保護している。表層部をコンクリートで固定していないのは地表面からの振動の影響を避けるためであり，観測井への雨水の進入を防止するため PV 管は地表面から約 80cm 立ち上げている。なお，傾斜計は内蔵電子コンパスを利用し，伊豆大島における偏角（7° 西偏）を補正した上で，真北に合わせて設置した。

観測点の土質柱状図を Fig. 1.3.4.2 に示す。各観測点とも，表層がスコリアで覆われた，厚い溶岩地帯に位置しており，中央観測点 TLB1N，東観測点 TBCN の設置深度では硬質の玄武岩溶岩層，西観測点 TLB1E では溶岩屑が混入した粗砂の層であった。孔内には地下水位は認められなかった。また，西，中央，東各観測井底部の標準貫入試験結果は，50 回/23 cm，50 回/0 cm，50 回/2 cm であった。

2) 観測システム

使用した傾斜計は米国Pinnacle Technologies Inc. 製孔内設置型高精度傾斜計5000型である。本傾斜計の仕様をTable 1.3.4.2に示す。この傾斜計は直交するように組み立てられた2個の気泡式センサーを利用し、1 nrad という高い分解能と、自動レベリング機構によって $\pm 8^\circ$ という広いダイナミックレンジを有し、RS-232C ポートを介して各種パラメータ設定が可能なデータロガーも内蔵されている（容量は88,000 データ）。直径6.4 cm、長さ107 cm、重量7 kg（ステンレス筐体。中央観測点については重量4kgのアルミ筐体タイプを使用）と小型軽量で、12 Vで動作し、消費電力は280 mWと小型のバッテリーと太陽電池のみでも連続観測を行える仕様となっている。出力データは内蔵24bit A/D変換器でデジタルデータに変換された傾斜X、Y成分、傾斜計内部温度、供給電圧であり、1～255秒サンプリングで収録できる、内蔵コンパス（精度 $\pm 2^\circ$ ）の方位についても記録されており、設置方位に変化がないかモニタできる。この傾斜計は日本国内では岩手山における火山観測に初めて利用され（松岡・他, 1999）、2004年の浅間山噴火活動においては、個々の爆発的噴火に前駆した傾斜変動を捉え、噴火に先立ち事前に情報を発表することに役立てられた（中禮・湯山, 2006）。

観測システムは傾斜計本体、CONTEC社製のWindows OSが動作するBOX型PC（CPU-SB22/256（FIT））、衛星携帯電話、太陽電池、バッテリーで構成されている（Fig. 1.3.4.3, Photo 1.3.4.1）。システムは1時間に1回GPS時計で、時刻合わせを行っている。BOX-PCとバッテリーなどが収納された筐体（寸法：W50×H30×D50 cm。計測ユニット）と衛星携帯電話とバッテリーなどが収納された筐体（寸法：W40×H30×D40 cm。通信ユニット）、太陽電池パネルは、各々、20×20×70 cmのコンクリートブロック2個にボルトで取り付け、アンカーで固定した。伊豆大島のカルデラ内では強風のためにスコリアなどが吹き飛ばされ、機器に擦り傷や時にもっと重大な損傷を与えることがある。このため、太陽電池パネルを保護するためのカバーを装着した。当初、強化ガラスで作成した保護具を取り付けたが、発電能力の低下が激しく、保護具や装着方法の改良を重ね、ポリカーボネイト製のカバーとした。なお、事前に行われた試験によると、この保護具の装着によって発電効率は88～93%に低下する。さらに、BOX-PCの消費電力が当初想定したよりも大きく、計測ユニット部の太陽電池パネルを1枚追加したり、筐体内面への結露により、筐体内部に水が溜

Table 1.3.4.2 Specifications of Pinnacle Tiltmeter model 5000.

Resolution	1 nrad
Range	$\pm 8^\circ$ from vertical
Max gain	1000 mV/ μ rad
Gain levels	3
Leveling ability	Self leveling
Data storage	internal A/D and 88,000 data storage
Sampling interval	1～255 sec
A/D resolution	24 bit
Azimuth detection	internal magnetic compass ($\pm 2^\circ$)
Borehole diameter	Min 7 cm
Dimension	6.4 cm diameter×107 cm
Weight	7 kg (4kg for TLB1N)
Operating range	-25～85 $^\circ$ C
Average power consumption	280 mW
Analog output	tilt data available

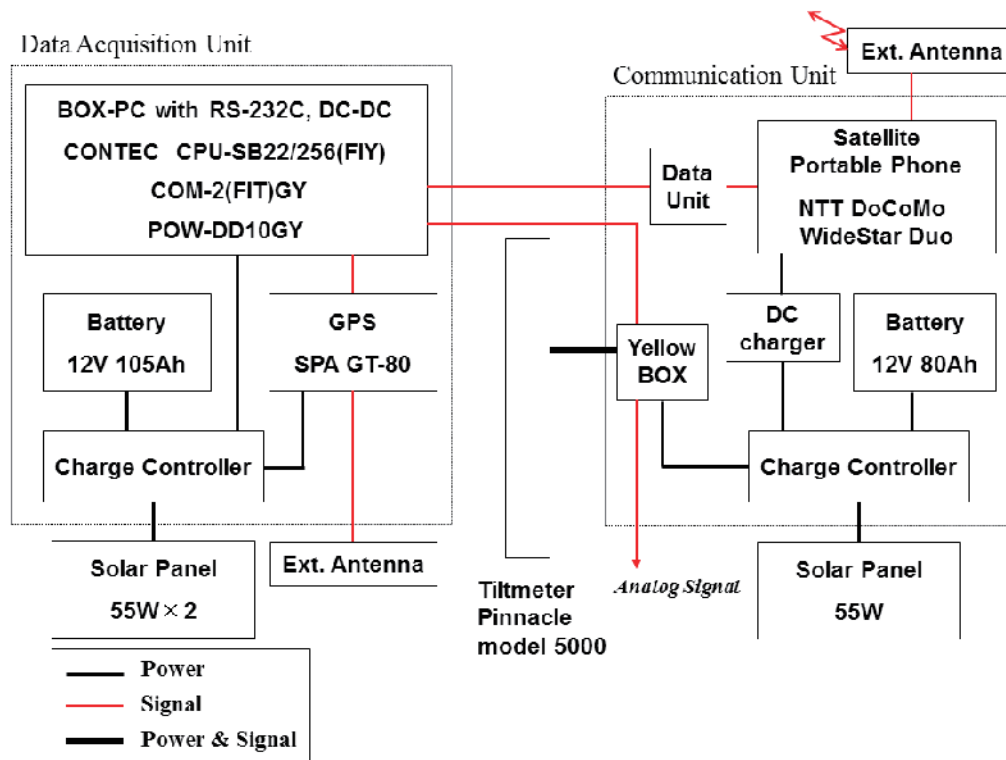


Fig. 1.3.4.3 Block diagram of the tilt observation system.

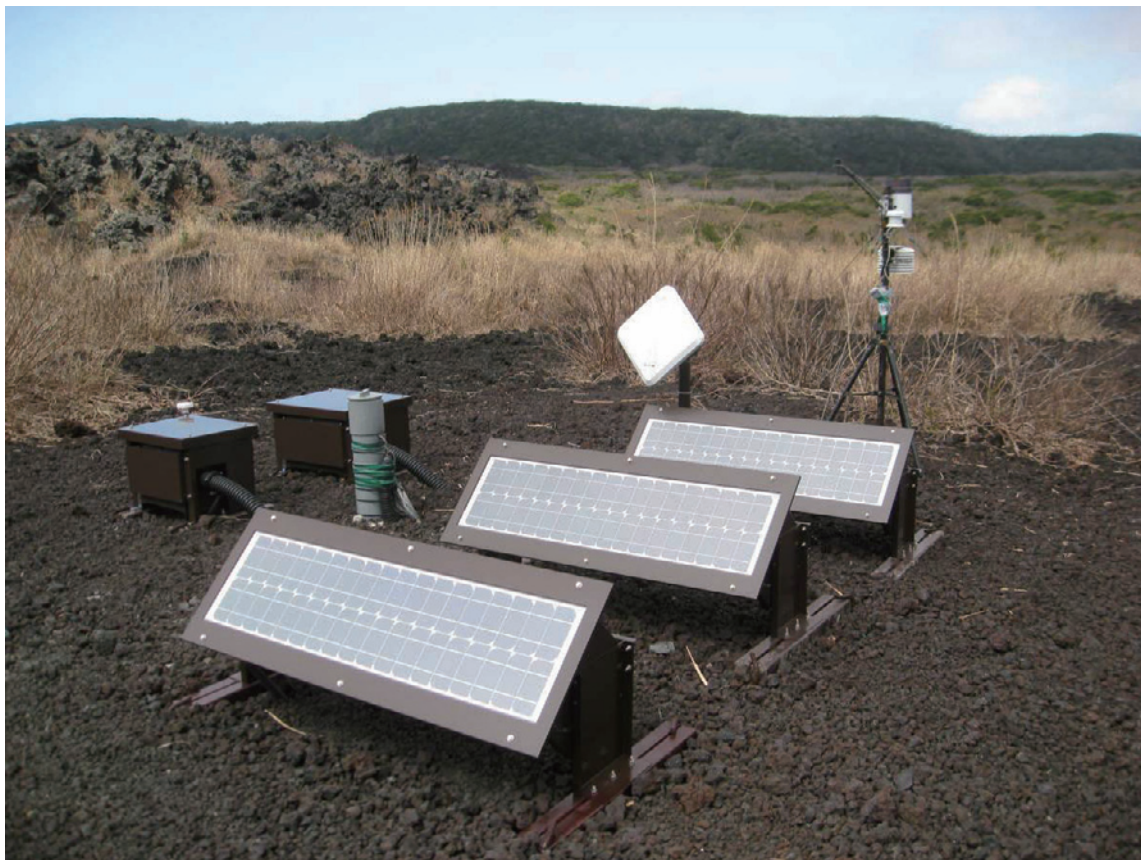


Photo 1.3.4.1 Tilt observation system at station TBCN.

まるることがあり、吸水シートを装着したり、熱暴走の対策のため、筐体外部に覆いを取り付けるなどの改良、現地収録ソフトウェアの改修などを重ね、最終的な構成となったのは 2010 年 3 月であった。

データ収集はパーソナルコンピュータ上で動作する専用ソフトウェアによった。Fig. 1.3.4.4 に気象研究所に設置したデータ収集システムの構成を示す。サンプリング間隔は 10 秒で、データ回収は 1 日 1 回観測点側システムを呼び出すダイヤルアップ方式で行った。霧島山で用いていた衛星携帯電話を用いた収集システム（気象研究所地震火山研究部，2008）は、待ち受け時の消費電力が大きく、定期的に待ち受け状態としていたが、今回のシステムでは衛星携帯電話などの消費電力が小さくなったことにより、常時待ち受け状態になっており、必要に応じ臨時的にデータ収集を行うことも可能となっている。Fig. 1.3.4.5 に本ソフトウェアで通常表示されている監視画面を示す。左下のシ

ステムログ画面に通信異常や傾斜計異常などの情報が表示される。ログ画面や観測データ表示画面を随時モニタし、異常があった際には、手動により観測点側システムにアクセスし、パラメータ設定や計測再開作業を行った。

1 日 1 回、傾斜 2 成分、温度、電圧値のテキストファイルを生成させ、このテキストファイルを整形、1 分値にリサンプリングしてセンター宛てに自動的に電子メールによって気象庁火山課火山監視・情報センターに転送するようにした。センターではこのメールを火山監視・情報センターシステム（VOIS）に取り込まれている。

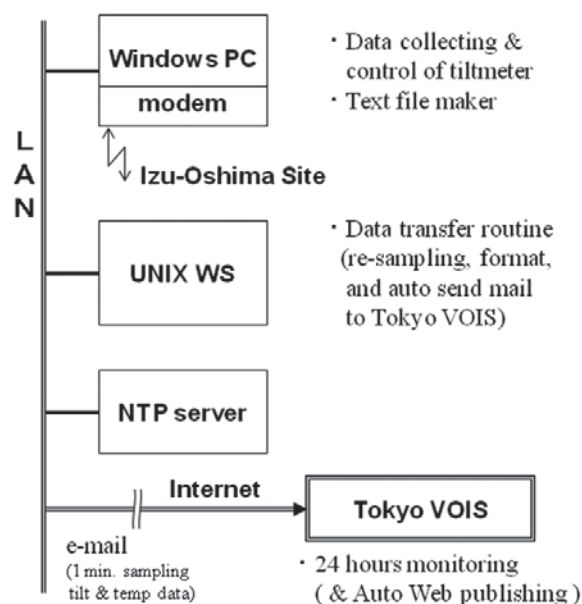


Fig. 1.3.4.4 Block diagram of the tilt data collection system at MRI.

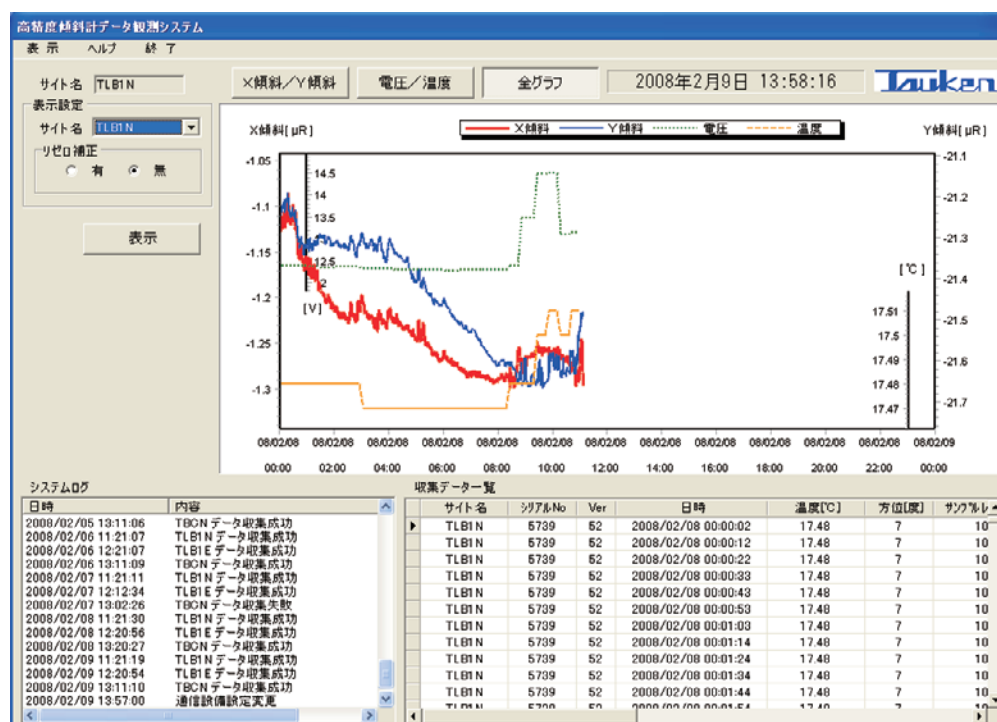


Fig. 1.3.4.5 Monitoring screen image of the tilt data collection system. The red line is the x-component (EW) of tilt, the blue line is the y-component (NS) of tilt, the orange line is the temperature in the tiltmeter and the green line is input voltage.

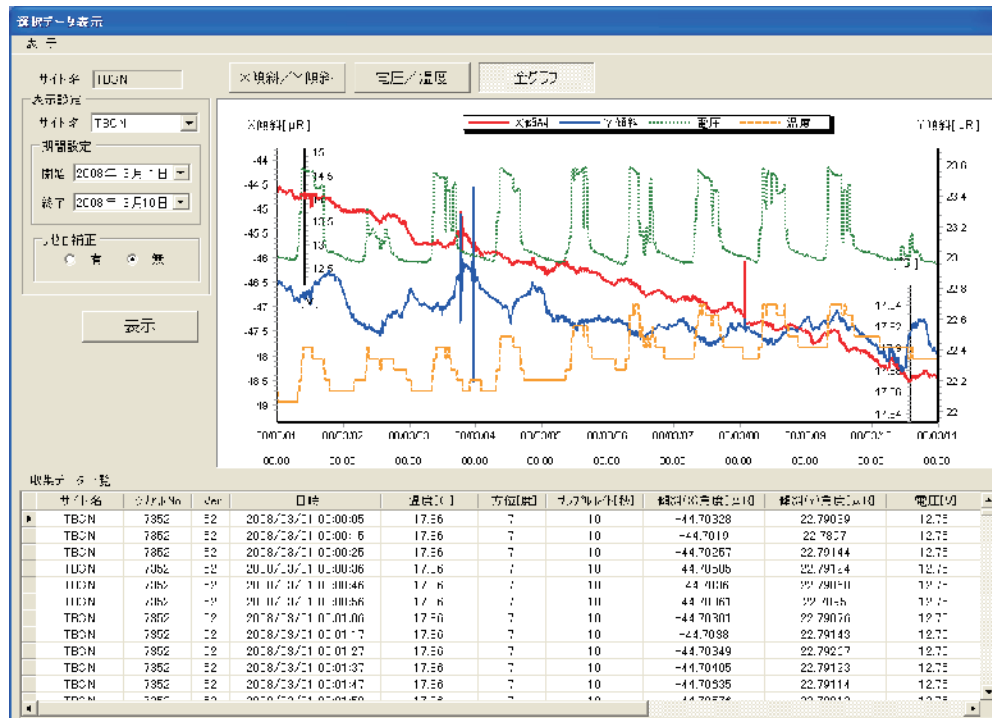


Fig. 1.3.4.6 Data display screen image of the tilt data collection system.

1.3.4.3 傾斜観測結果

1) 長期変動

Fig. 1.3.4.7 の上段に各観測点の傾斜 2 成分の時間値を示す。傾斜は北下がり、東下がりの方向を上向きにプロットしている。また、地震などによって生じたステップ変化は補正している。落雷の影響や、電源の不調などにより、しばしば欠測が生じている。中央観測点における 2010 年春の特異な変動は、太陽電池電源の増強工事の後、BOX-PC、傾斜計をリセットした後に発生しているが、原因は不明である。

Fig. 1.3.4.7 の下段には傾斜計に内蔵された温度計で観測された温度時値、大島アメダス観測点（北緯 $34^{\circ} 44.9'$ ，東経 $139^{\circ} 21.7'$ ，標高 74 m）における日平均気温（橙色線）、気圧（水色線）、日降水量（棒グラフ）の変動を示す。地下 10 m における地中温度は通常年平均気温程度で一定している（例えば檀原・友田，1969）。期間の平均気温は約 16°C であり標高差を勘案すると傾斜観測点の平均気温は 14°C 程度と推定される。観測された傾斜計内部温度はこれらより $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 高くなっている。また、季節変化の様相も 10 m 深で通常見られる、冬に温度が高くなる変化とは異なり、3 月頃に最高温度となっている。これらのことは、この傾斜計が埋め戻しではなく、設置深度も浅いことから、観測井内部の空気が外気温の影響を受けているためと考えられる。

東観測点 TLB1E、中央観測点 TLB1N のトレンドは一部の期間を除き、比較的直線的（TLB1E は南西下がり、TLB1N は北西下がり）に変化しているが、西観測点 TBCN は異なった様相を示している。これは他の観測点が硬い溶岩層に設置できたことに対し、やや設置環境が悪かったことによっている、可能性もある。

2) 環境要素に対する応答

電源に太陽電池とバッテリーを用いた本システムでは太陽電池から給電される日中 8~20h 頃の間電源電圧が高くなり、約 0.05 度傾斜計内部温度が高くなる日変化（Fig. 1.3.4.6 参照）が見られたが、傾斜データにはこれに対応した変動は認められない。

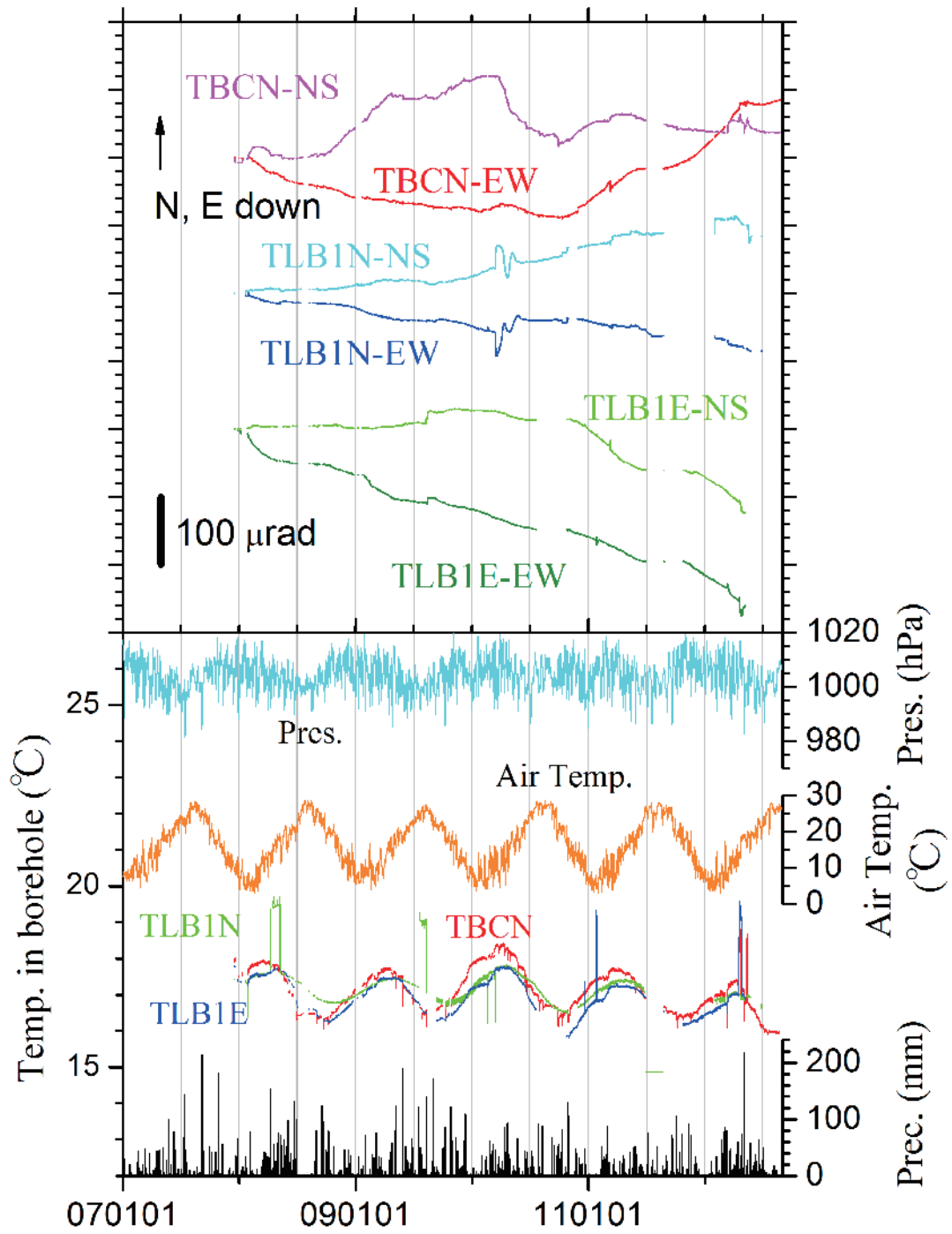


Fig. 1.3.4.7 (top) Variation of tiltmeter data from December 2007 to August 2012. Tilt data are plotted at intervals of 1 hour and offsets due to earthquakes were removed. (bottom) Temperature in tiltmeters, daily mean atmospheric pressure, daily mean air temperature and daily precipitation at the Oshima AMeDAS station from December 2007 to August 2012.

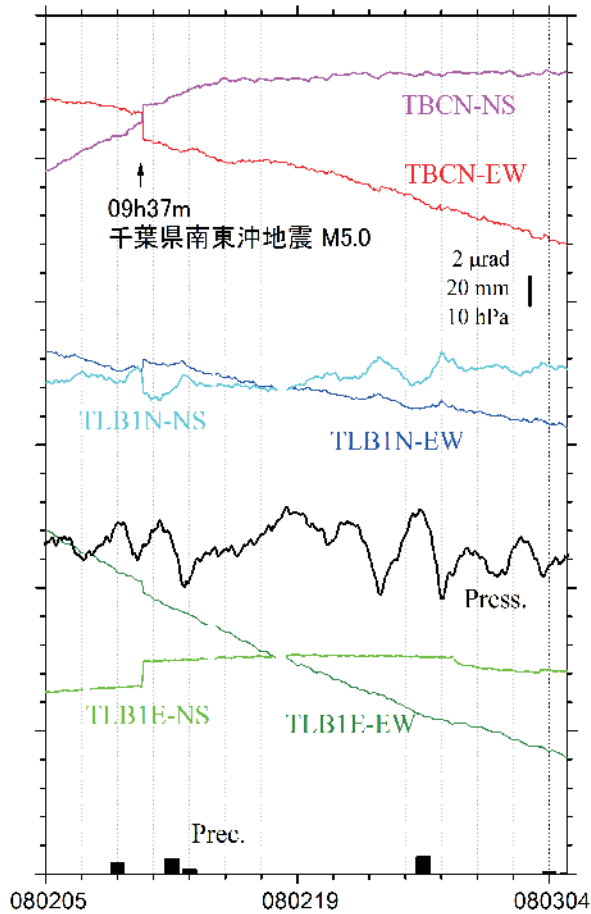


Fig. 1.3.4.8 Variations of tiltmeter data, hourly atmospheric pressure and daily precipitation from 5 February to 4 March 2008.

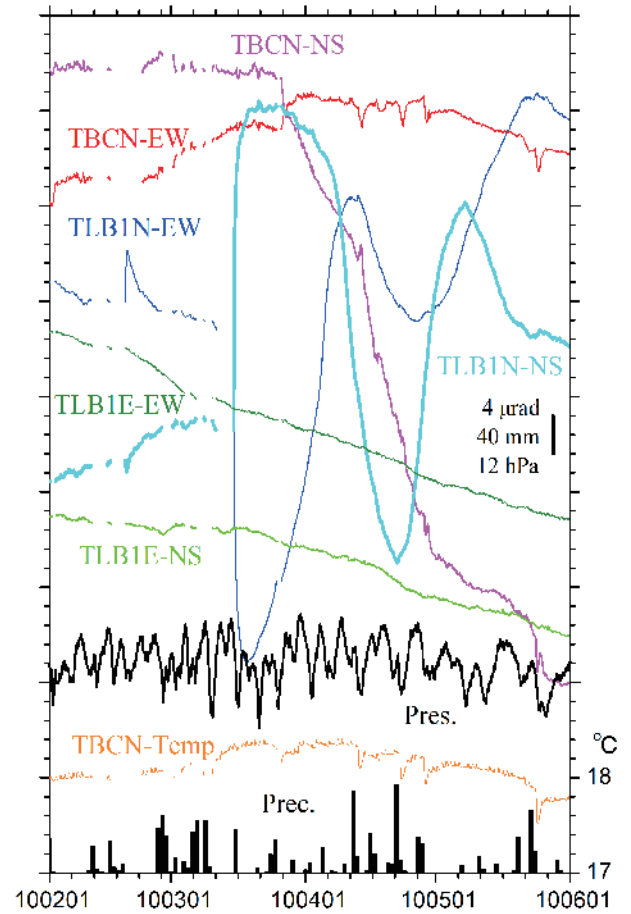


Fig. 1.3.4.9 Variations of tiltmeter data, borehole temperature at station TBCN, hourly atmospheric pressure and daily precipitation from 10 February to 5 May 2008.

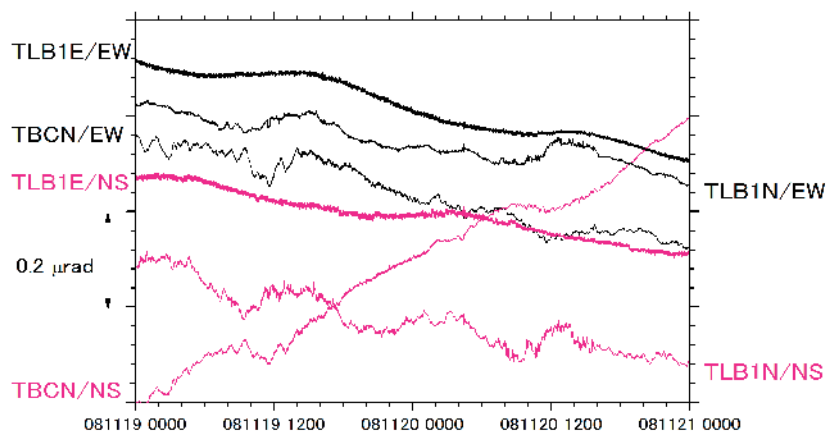


Fig. 1.3.4.10 Variations of tiltmeter data from 19 to 20 November 2008. These plots show as the original ten-second data.

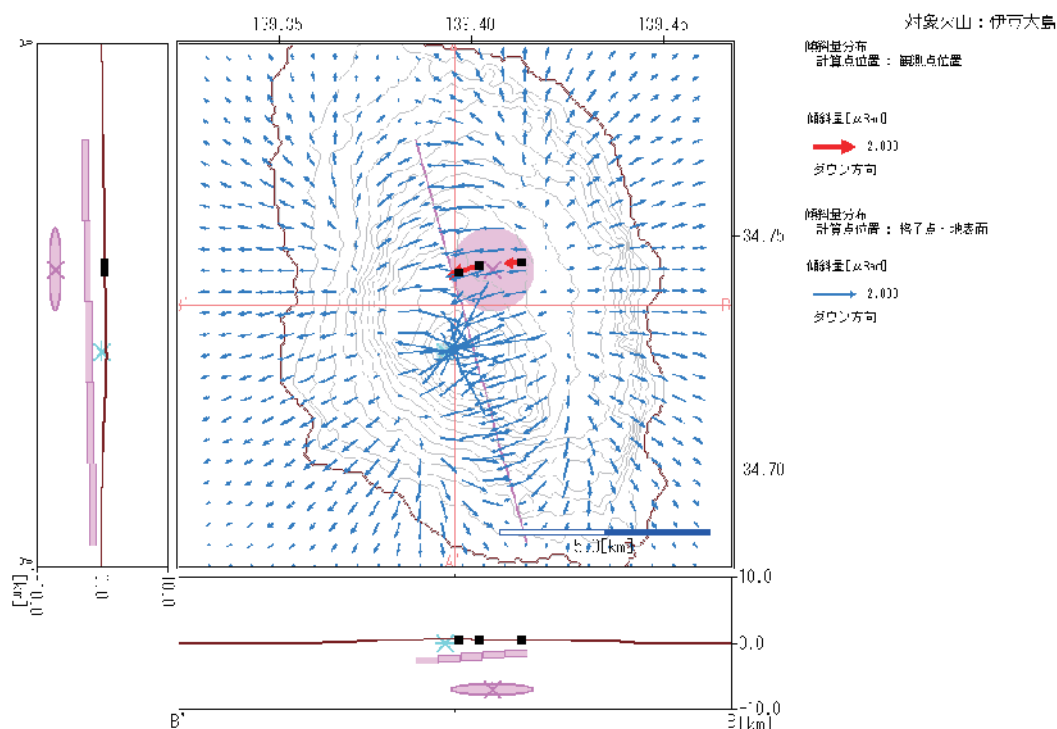


Fig. 1.3.4.11 Tilt vectors (red arrows) at the tiltmeter sites and spatial distribution of tilt vectors (blue arrows), calculated from the magma supply system estimated by Takagi (2004) using campaign and continuous GPS observation data from 1994 to 2003. This system is the combination of an inflation Mogi source (pink circle), a deflation Mogi source (blue cross), and an open dike (pink boxes) approximated as five segments.

Fig. 1.3.4.8 に 2008 年 2 月 5 日～3 月 4 日の 1 ヶ月間の傾斜，気圧（毎時値），降水量データを示す。TLB1N の NS 成分において，気圧に対する応答が大きく見えるが，他の観測点では気圧にたいする応答成分はほとんど見えない。

Fig. 1.3.4.9 に 2010 年 2～5 月の傾斜，TBCN 点の傾斜計温度，気圧（毎時値），降水量データを示す。降水の傾斜への影響の様子は観測点によって異なっており，TBCN 点への降水の影響が最も大きく，傾斜計の温度が降水によって低下するとともに，傾斜にも影響を与えている。TLB1N 点にも降水の影響が認められるが，TLB1E 点にはこの図で示したスケールでは降水の影響は認められない。

Fig. 1.3.4.10 には 2008 年 11 月 19～20 日の傾斜計 10 秒サンプリング生データの時系列図を示す。東観測点 TLB1E は線の幅が広がっているように，短周期のノイズが含まれているが，潮汐変化が明瞭に見えている。中央観測点 TLB1N，西観測点 TBCN では周期 20 分程度の変動が重なっている。

1.3.4.4 ダイク貫入によって観測される傾斜変動

Fig. 1.3.4.11 に Takagi (2004) で提案されたマグマ供給系によって，もたらされる傾斜変動量の分布を示す。このマグマ供給系の変動源とそのパラメータは次の通りである。

カルデラ北部における膨張圧力源：圧力 16.2MPa，緯度 34.7427° N，経度 139.4054° E，標高 7000m

三原山山頂直下の収縮源：圧力 -0.188MPa，緯度 34.7253° N，経度 139.3932° E，標高 0m

ダイク：圧力 6.7MPa，中心緯度 34.7273° N，経度 139.4000° E，

クラック上端標高 -2000m，長さ 10000m，上下方向の幅 1000m，

走向 N15° W，上端の水平面からの傾き 8°（北向き方向の軸が下がる方向）

開口量 60mm

三原山山頂火口付近の局所的な変動は山頂直下の収縮源によってもたらされる変動であり、この他の変動は主にダイクによって生じている。傾斜観測点では南西方向が沈降する変動となり、観測された長期的な変動の方向と一致しているが、量的には2桁小さな量となっており、観測された傾斜のトレンドは見かけのものである。

Fig. 1.3.4.12(a) はこのダイクが伸展していく際に各傾斜観測点で観測される傾斜量の変化の様子をダイクの長さを横軸にとって示している。この傾斜量は中心位置、走向、開口量を Takagi (2004) が求めた値を用い、上面は水平になっているとして、南北両方向に同じ量だけ長くなった開口ダイクについて MaGCAP-V で求めたものである。また、(d) 図にはダイクの上面が浅くなっていった場合についてダイク上面の深さと傾斜量との関係を示した。この場合はダイク下端の標高は-3000m と固定した。(b), (c)図はダイクが伸展していく際の2地点間の傾斜量の比を、(e), (f)図はダイクが伸展していく際の2地点間の傾斜量の比を、(e), (f)

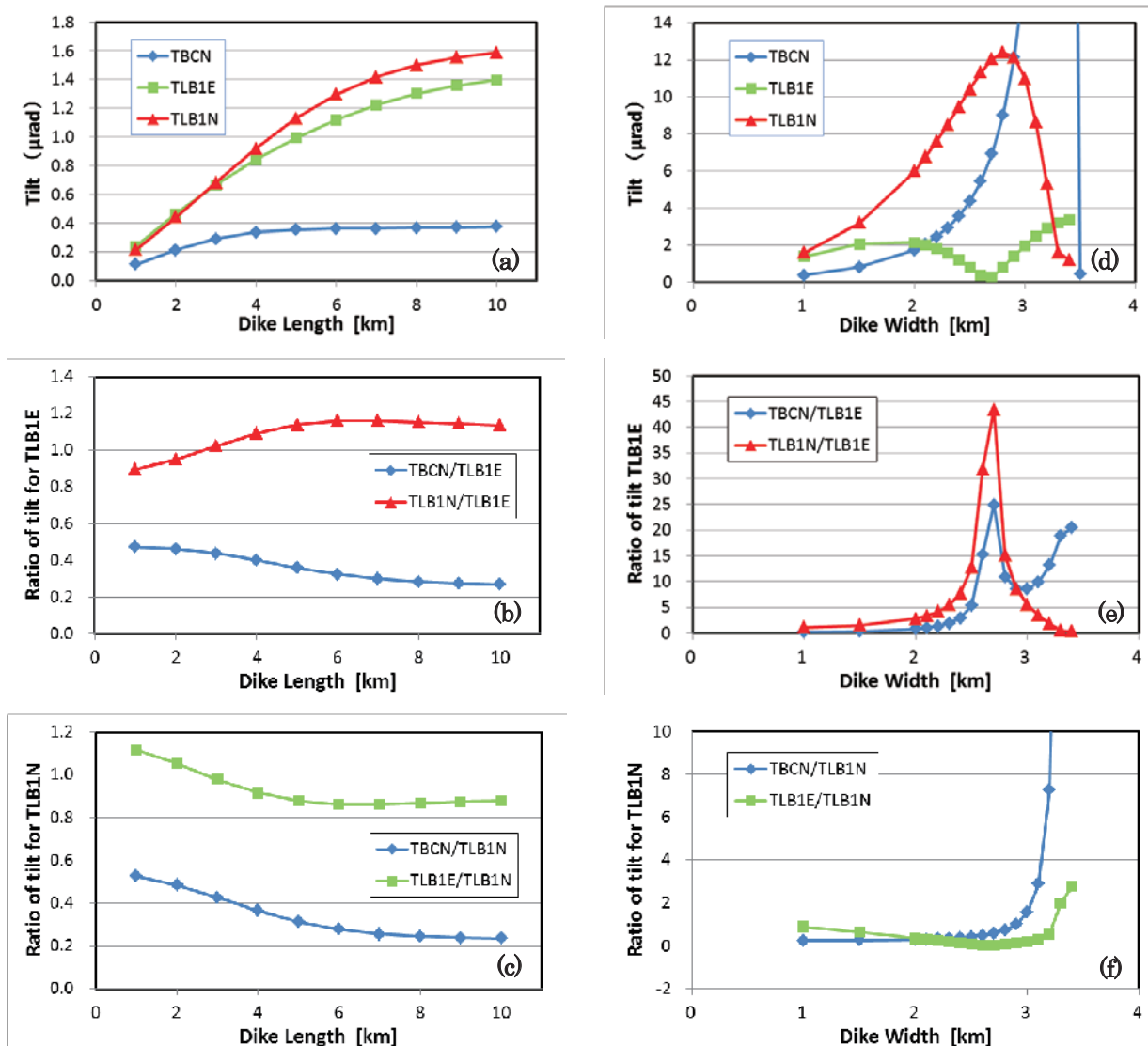


Fig. 1.3.4.12 Tilt changes accompanying the extension of a dike. (a) Tilt changes are plotted against the length of dike. The dike of 10km length shown in Fig. 1.3.4.1. The center of dike is a fixed point and the width of dike is 1km. The dike extends at the direction of length. (b), (c) Ratio of the tilt changes at two stations against dike length. (d) Tilt changes are plotted against the width of dike. The length of the dike is 10km and horizontal position shows in Fig. 1.3.4.1. The elevation of bottom of dike is 3km b.s.l. and the top of dike ascend. (e), (f) Ratio of the tilt changes at two stations against dike width.

図はダイク上端が浅くなっていった場合の 2 地点間の傾斜量の比を示している。(b), (e)図は東観測点 TLB1E に対する, TBC, TLB1N 観測点の比, (c), (f)図は中央観測点 TLB1N に対する比である。(b), (c)図に示すように, 長さ 6km 程度よりも長くなる, すなわちダイクの北端が観測点付近より北側まで伸びると, 2 地点間の傾斜比の長さに対する変化は小さくなっている。このことは, ダイクが傾斜観測点付近にまで伸長した場合, 傾斜変化量の増加がさらなるダイクの伸展によるものか開口量の増大によるものかの区別が困難になってしまうことを意味している。一方, マグマの上昇などに伴い, ダイク上端が浅くなってくる場合は, 傾斜比は大きく変化し, 傾斜データによって, その上昇の様子を知ることができることを意味している。さらに, TLB1E 観測点ではダイク上端が海面下 300~400m 付近に上昇してくると, 傾斜の方向が反転し, マグマ上昇の様子を詳しく知ることができる。

1.3.4.5 最後に

1.3.4.3 節に示したように, 傾斜計は種々の要因によって長期的な変化の様子を捉えることは困難であるが, ダイクが短時間に伸長したり, 浅くなったりした場合, 今回展開した傾斜計で, その変化の様子を捉えることができるであろう。スコリアや火山弾の直撃を受け, 観測機器に障害をこうむることや火山灰により衛星携帯電話が使用できなくなる恐れも予想されるものの, ダイク貫入活動や山頂噴火に対する情報発表に活用されることを願っている。

(福井敬一)

謝辞

地図データとして国土地理院作成の「数値地図 50mメッシュ (標高)」を使用しました。

参考文献

- 中禮正明・潟山弘明, 2006: 2004 年浅間山噴火活動に伴う傾斜変動について. 火山, **51**, 91-101.
- 壇原毅・友田好文, 1969: 測地・地球物理学. 地球科学講座第 5 巻, 共立出版, pp. 240-243.
- 福山英一, 1988: 伊豆大島の火山性微動と同期したノコギリ歯型傾斜変動. 火山, **23**, S128-S135.
- 橋本学, 多田堯, 1988: 1986 年伊豆大島噴火前後の地殻変動, 火山, **33**, 伊豆大島噴火特集号, S136-S144.
- 加藤幸司, 小久保一哉, 藤原善明, 松末伸一, 2011, 新燃岳噴火に前駆する傾斜変動について. 地球惑星科学連合 2011 年連合大会, SVC070-P36.
- 気象研究所, 2010: 2006 年 2 月 1 日 07 時 44 分霧島山新燃岳で発生した火山性微動に対応した傾斜変動, 火山噴火予知連絡会会報第 100 号, 122-125.
- 気象研究所地震火山研究部, 2008: 火山活動評価手法の開発研究, 気象研究所技術報告, **53**, 228-232.
- 北川貞之・山里平・緒方誠, 1995: 雲仙岳で観測された傾斜変化を伴う微動について. 日本火山学会講演予稿集, 1995 No. 2, 102.
- 松岡俊文・芦田護・深森広英・桑野恭・黒墨秀行・中禮正明・原田智史・鈴木巖・向井正三郎・荒井文明・高杉真司・館野正之・高橋昌宏・C. Wright, 1999: 岩手山の火山活動に伴う地殻変動観測への高精度傾斜計の応用. 物理探査, **52**, 583-593.
- Oikawa, J., Y. Ida, K. Yamaoka, H. Watanabe, E. Fukuyama, K. Sato, 1991: Ground deformation associated with volcanic tremor at Izu-Oshima volcano. *Geophys. Res. Lett.*, **18**, 443-446.
- 島田誠一・渡辺秀文・福井敬一・福山英一, 1988: 伊豆大島火山 1986 年噴火前後の傾斜変動. 火山, **33**, S161-169.
- Takagi, A., 2004: A geodetic study of the magma supply system at Izu-Oshima Volcano by using high-density GPS observation network, Doctoral thesis, p.112.