



Title	体積歪変化量から推定した伊豆東部火山群のマグマ貫入量と火山活動評価の試み
Author(s)	宮村, 淳一; MIYAMURA, Jun'ichi; 上野, 寛 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 73, 239-255
Issue Date	2010-03-19
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.73.239">https://doi.org/10.14943/gbhu.73.239</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/44478">https://hdl.handle.net/2115/44478</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	73_22_p239-255.pdf



## 体積歪変化量から推定した伊豆東部火山群の マグマ貫入量と火山活動評価の試み

宮村 淳一

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

上野 寛・横田 崇

気象庁地震火山部地震予知情報課

(2009年12月22日受理)

## Estimation of Amount of Intrusive Magma by Using Volumetric Strain Data and Attempt of Evaluation of Volcanic Activity in Izu-Tobu Volcanoes

Jun'ichi MIYAMURA

Institute of Seismology and Volcanology,  
Graduate School of Science, Hokkaido University

Hiroshi UENO and Takashi YOKOTA

Earthquake Prediction Information Division,  
Seismological and Volcanological Department,

Japan Meteorological Agency

(Received December 22, 2009)

Many dyke intrusion events have repeatedly occurred at Izu-Tobu Volcanoes since 1978. In order to evaluate volcanic activity of Izu-Tobu Volcanoes and to forecast the volcanic eruption, we investigate relationship between the amount of intrusive magma estimated from dyke parameters obtained by previous studies and the amount of volumetric strain change observed at Higashi-Izu. As a result, we find that there is an obvious correlation between the volume of dyke intrusions and the maximum amount of volumetric strain changes in 24 hours. In addition, we notice that large magma intrusion causes a remarkable seismic activity more than expected from the amount of volumetric strain changes.

We propose a new technique for estimating the volume of dyke intrusion by using volumetric strain data observed at Higashi-Izu and introduce a new alert criteria based on the potential of volcanic eruption at Izu-Tobu Volcanoes. If our alert criteria is introduced, it is possible that volcanic warning is issued in an earlier stage of dyke intrusion event compared with the past.

## I. はじめに

伊豆半島は日本列島に向かって北西進するフィリピン海プレートがユーラシアプレートに衝突する現場に位置しており、北東-南西方向の引張場が卓越するダイク貫入活動の活発な地域である。このため、伊豆半島東部から東方海域にかけての領域には、玄武岩質～流紋岩質マグマの噴出により生成された単成火山が多数分布しており、伊豆東部火山群を形成している (Fig. 1)。伊豆東部火山群における3万2000年前以降の噴火履歴に関しては早川・小山 (1992) に詳しく、層序学的研究から2000年前の岩ノ山-伊雄山列の噴火以降、テフラを残すような規模の大きな噴火活動は皆無だったと推論しているほか、文献記録から見て少なくとも最近300年間、噴火活動はなかったと述べている。

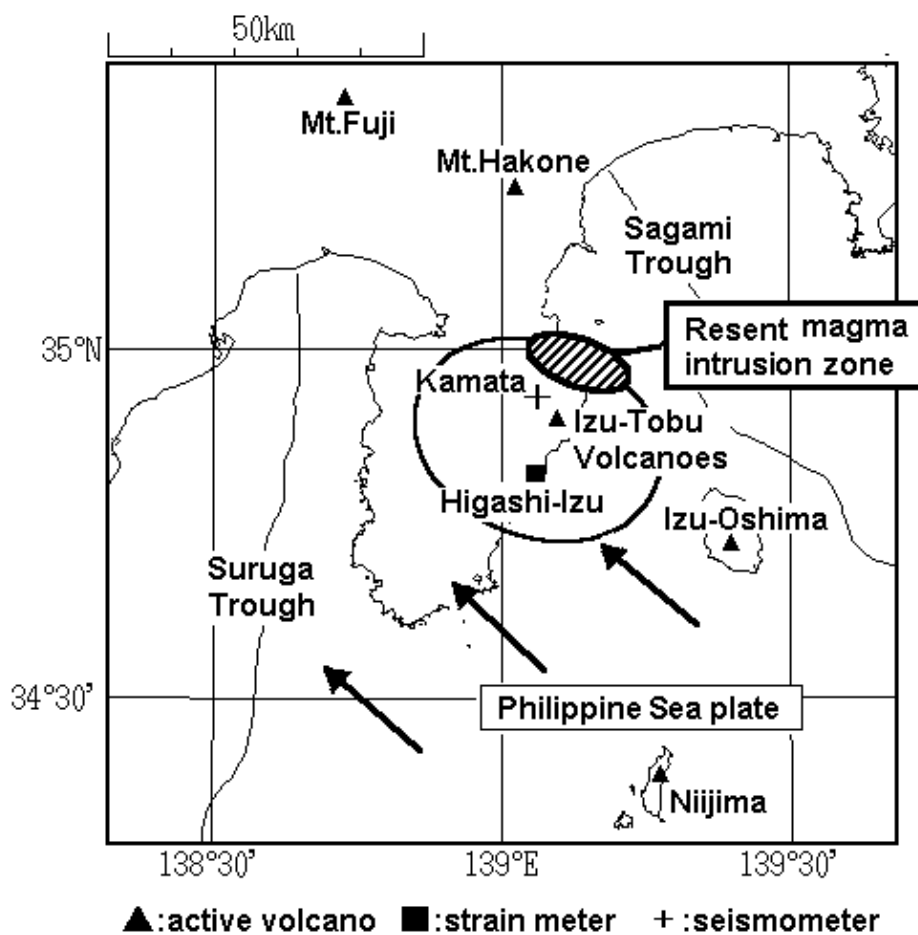


Fig. 1. Map showing tectonic settings around Izu peninsula. The ellipse with slash pattern denotes the resent magma intrusion zone. The location of Izu-Tobu Volcanoes is indicated by large ellipse. Solid triangle, solid square and cross denote active volcano, volumetric strain station at Higashi-Izu and seismic station at Kamata, respectively. Thick arrows show the direction of motion of Philippine Sea plate.

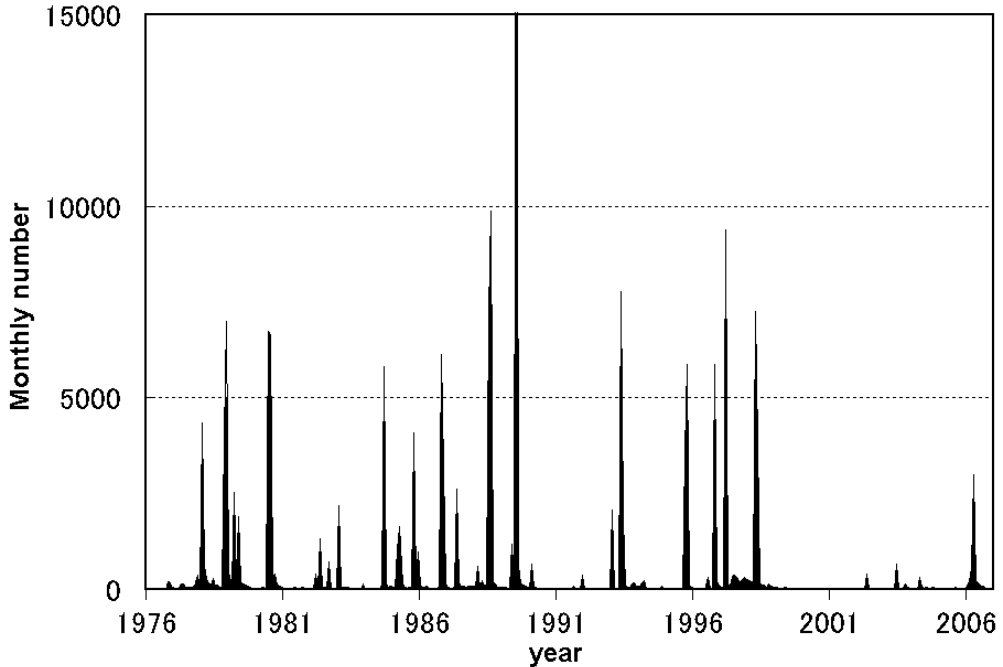


Fig. 2. Monthly number of earthquakes observed at Kamata from 1976 to 2006.

伊豆東部火山群の北端部にあたる伊東市川奈崎の沖合（以下、伊東沖と呼ぶ）では、1978年6月から群発地震活動が繰り返されるようになった。Fig. 2には気象庁が鎌田に設置した高感度地震観測点で計数した1976年以降における地震回数の推移を示す。その後、気象庁が東海地震常時監視網の一つとして1980年に東伊豆に設置した埋設式体積歪計により、1985年10月の群発地震活動に伴う明瞭な縮みの歪変化が初めてとらえられ、それ以降、群発地震に伴う歪変化がしばしば観測されるようになった（気象庁地震予知情報課，1987）。同地域では1930年にも有感地震を伴う顕著な群発地震が発生しており、当時、Kuno（1954）はその原因がマグマ貫入であることを指摘していた。しかし、1978年以降、毎年のように繰り返された群発地震活動において、噴火などの火山性の現象が観測されることはなく、群発地震の原因がマグマ貫入であることを裏付ける観測事実が得られないまま経過していた。

ところが、1989年7月の群発地震活動では、地震活動の低下が始まった直後から火山活動として特徴的な低周波地震や火山性微動が観測され始め、その約4日後の7月13日に伊東沖にある手石島付近の海底（手石海丘）から伊豆東部火山群としては有史以来初めてとなる噴火が発生した。この噴火発生的事实により、これまで同地域で繰り返されてきた群発地震の原因がマグマ貫入であったことが明らかとなった。

Okada and Yamamoto（1991）は、傾斜計、GPS、水準測量などの各種地殻変動データを解析した結果、群発地震に伴う地殻変動は線状に分布する震源域に沿う開口断層モデルにより説明できることを明らかにした上で、深部から上昇したマグマの浅部ダイク貫入モデルを提案した。

Table 1. Dyke model parameters obtained by previous studies by the use of geodetic data.

Period of activity	Strike (degree)	Dip (degree)	Depth (km)	Length (km)	Width (km)	Open dislocation (m)	Volume of dyke intrusion (km <sup>3</sup> )	Analysis data	Reference
1989/5/21~6/3	125	85	3.0	1.5	6.0	0.25	0.0023	Tilt, GPS, EDM, Leveling	[1]
1989/7/1~9/6	125	85	1.0	3.0	6.0	1.45 (max)	0.0213	Tilt, GPS, EDM, Leveling	[1]
1993/5/26~6/15			2.0	3.0	5.0	0.90	0.0116	Tilt	[2]
1995/9/11~9/23	118	76	6.7	1.3	3.3	0.81	0.0035	GPS, Leveling	[3]
1995/9/29~10/28	117	74	2.0	2.2	7.7	0.87	0.0147	GPS, Leveling	[3]
1996/10/15~11/10	123	60	4.3	1.2	8.4	1.15	0.0116	GPS, Leveling	[3]
1997/3/3~3/26	126	76	0.5	1.9	5.8	1.11	0.0122	GPS, Leveling	[3]
1998/4/20~6/2	126	80	0.3	2.3	5.7	1.19	0.0156	GPS, Leveling	[3]
2002/5/8~5/15	116	75	10.0	2.0	2.0	1.80	0.0072	Tilt, GPS	[4]
2006/4/17~5/12	112	70	5.0	7.1	1.5	0.90	0.0096	GPS	[5]

[1] Okada and Yamamoto (1991) ; [2] National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (1994) ; [3] Nishimura(2002) ; [4] Ueda et al (2003) ; [5] Geographical Survey Institute (2006 a)

東伊豆の体積歪計で観測される歪変化もこの浅部ダイク貫入モデルにより説明することができた。その後、同地域では各観測研究機関が地殻変動観測網を整備充実させたことにより、繰り返し発生する浅部ダイク貫入イベントに伴う地殻変動データが得られ、これまでに多くの研究者によってイベント毎の浅部ダイク貫入モデルパラメータが推定された (Table 1)。

将来、噴火発生が予想される伊東沖は伊豆半島東部沿岸部にきわめて接近した位置にあり、噴火の発生地点や規模によっては重大な火山災害をもたらす危険性がある。住民避難などの防災対策を実施する上で必要となるリードタイムを確保するためには、できる限り早い防災情報の発表が期待される。しかし、従来の気象庁による火山監視手法は、これまでに唯一経験した1989年7月噴火事例に基づき、震源の浅部移動、低周波地震や火山性微動等の火山性異常現象に注目して噴火発生の可能性を経験的に判断するというものである。

迅速かつ確かな防災情報の発信を実現するためには、これまでに蓄積された伊豆東部火山群のダイク貫入イベントに関するデータを活用して、定量的・客観的な火山監視手法を検討する必要がある。今回はその第一歩として、浅部ダイク貫入モデルに基づき群発地震活動に伴う歪変化量からマグマ貫入量を簡便に推定する方法を提案するとともに、新しい火山活動評価の試みとしてマグマ貫入量の推定に基づくアラート基準の導入を検討したので報告する。

## II. 体積歪変化量によるマグマ貫入量の推定

Fig.3に2001年10月から5年間の伊豆東部火山群周辺における震源分布を示す。東西断面図で見ると、近年、浅部ダイク貫入に伴う群発地震活動を繰り返している伊東沖では深さ10 km以浅に震源が集中しているが、その直下にあたる深さ30~40 kmには深部低周波地震がややまとまって分布している。これまで繰り返されたマグマ貫入活動を踏まえると、伊豆半島東部の深さ30~40 km付近には深部マグマ溜まりが存在している可能性があり、そこからマグマが上昇して伊東沖の浅部にダイク貫入が生じていると推定される。

深部マグマ溜まりからマグマが上昇する場合、浅部へのマグマ貫入量が多いほど最終的に噴火発生に至る可能性が高いと考えられる。したがって、噴火発生の可能性を判断するためには、浅部へのダイク貫入に伴い観測される地殻変動データからマグマ貫入量を推定することが有効である。ここでは、これまで群発地震活動に対応する明瞭な歪変化を捉えた多数の実績がある東伊豆の体積歪計データを用いて浅部へのマグマ貫入量を簡便に推定する方法を提案する。

まず、東伊豆の体積歪計がなぜ伊東沖の浅部ダイク貫入に伴う地殻変動を明瞭に捉えることができるのかを示しておく。Fig.4は、過去約30年間に繰り返されてきた毎回の浅部へのダイク貫入イベントの幾何学的形状および開口量に関するパラメータの平均的な値 (ダイクの走向 $120^{\circ}$ , 傾斜角 $75^{\circ}$ , 長さ3 km, 幅4 km, 開口量1 m) を用い、ダイク貫入の水平位置として群発地震の震源域を参考に伊東沖に北西~南東の方向に3通り、ダイク上端の深さとして8 km, 5 km, 2 kmの3通りをそれぞれ設定して、合計9通りのダイク貫入モデルに対して期待される体積歪変化量

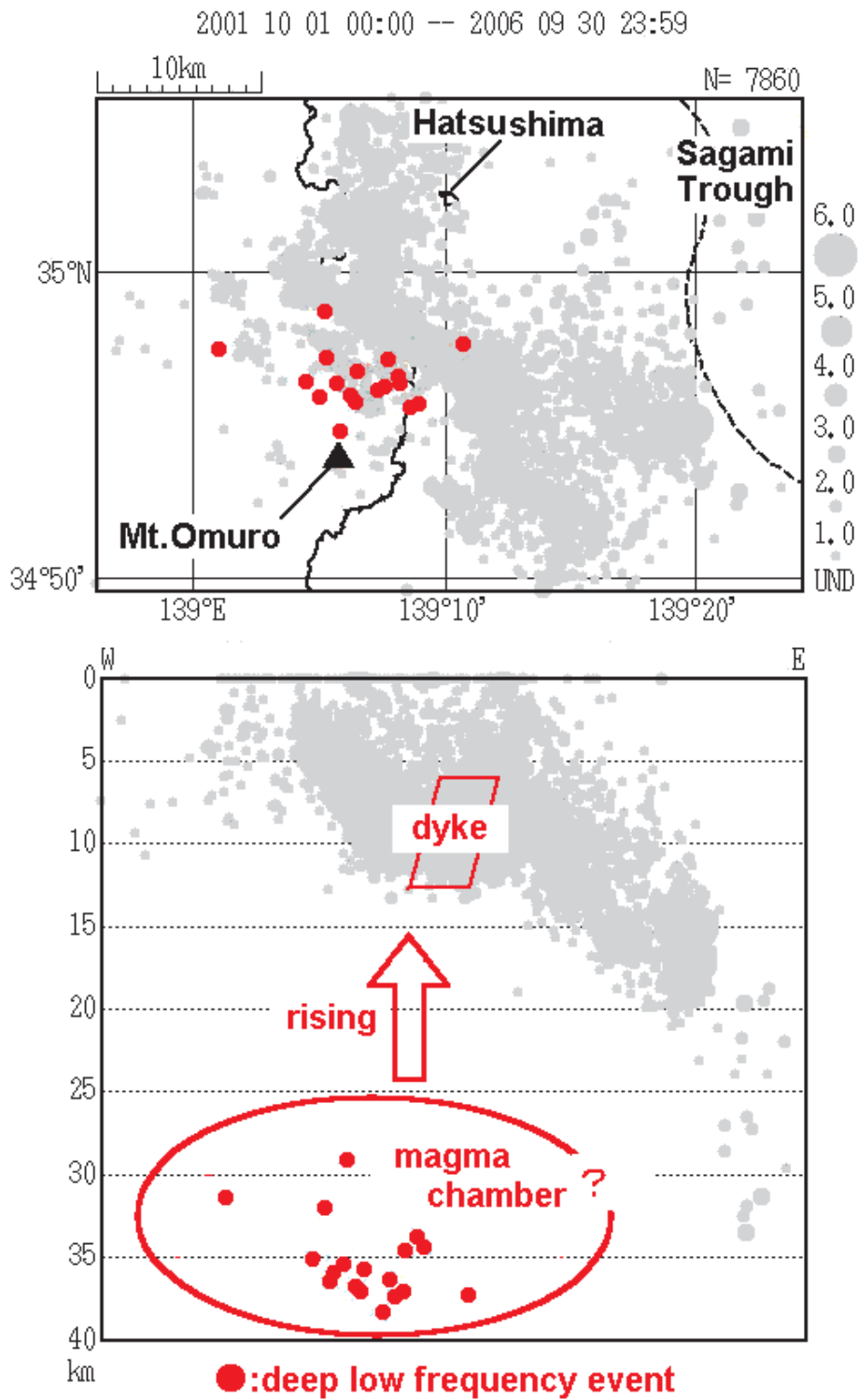


Fig. 3. Recent hypocentral distribution around Izu-Tobu Volcanoes and expected image of magma supply system.

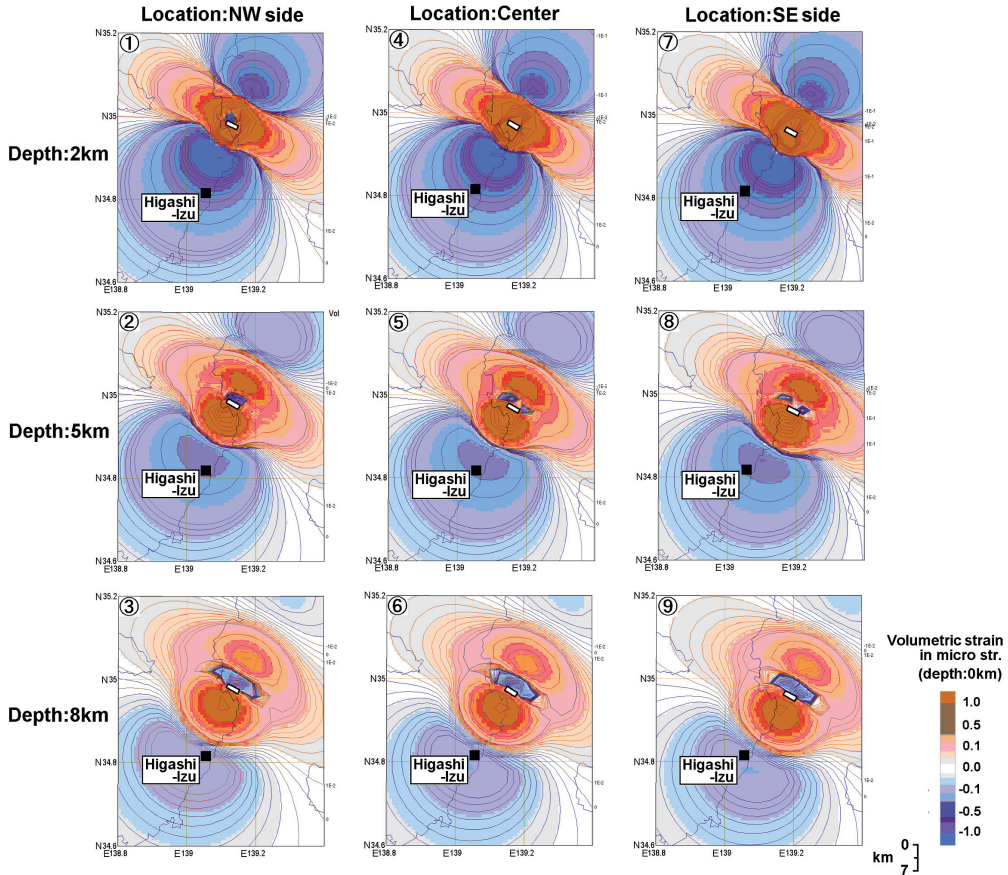


Fig. 4. Distribution of volumetric strain change expected by dyke intrusion in Ito offshore for 9 cases of the combination of 3 depths with 3 locations. Assumed parameters of dyke model as follows : strike  $N 120^{\circ} E$ , dip angle  $75^{\circ}$ , length 3 km, width 4 km and open dislocation 1 m.

の分布を示したものである。計算には MICAP-G (内藤・吉川, 1999) を使用した。その結果、東伊豆の体積歪計はいずれの場合においても縮み領域の極大付近に位置しており、歪変化を監視する上できわめて有効な観測点であることが確認された。

次に、これまで多くの研究者により推定された浅部ダイク貫入モデルのパラメータ (Table 1) から求めた体積増加量 (マグマ貫入量に相当する) と東伊豆の体積歪計で観測された歪変化量との関係を調べる。調査に使用したのは、観測データからトレンド及びステップを除去した後の体積歪データから読み取った 24 時間体積歪変化量の最大値及び体積歪変化全体量である。Fig. 5 に体積歪変化の例を示す。Fig. 5(b) には、貫入イベントが連続して発生したために体積歪が 2 段階に変化した複雑な例を示す。この場合は、24 時間体積歪変化量は各期間について読み取り、体積歪変化全体量は 2 期間全体について読み取り、各期間あるいは全期間に対応する体積増加量との比較を行った。

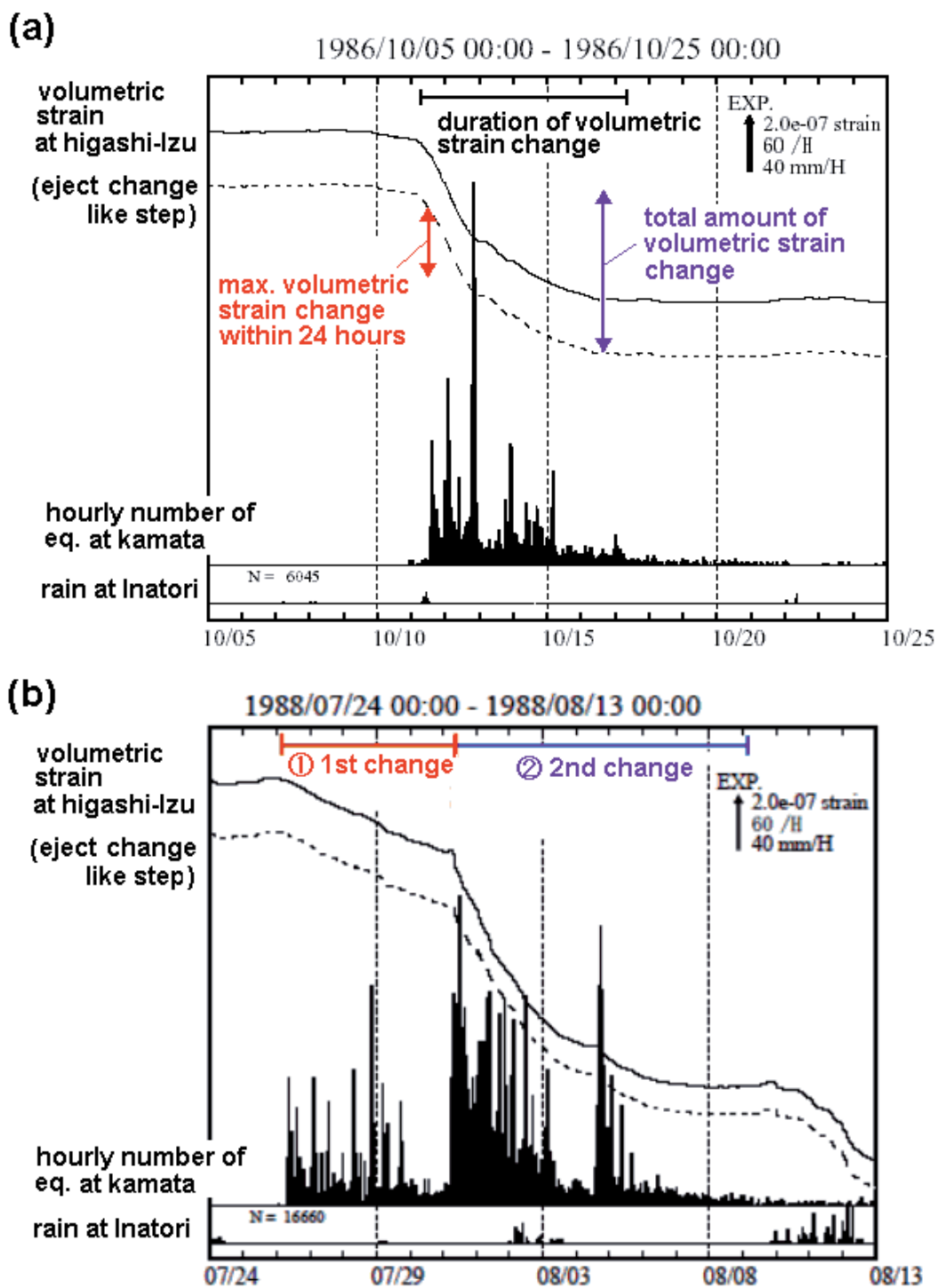


Fig. 5. Example of volumetric strain change accompanied by dyke intrusion event. (a) shows the case for single event in 1986 and (b) shows the case of multiple events in 1988.

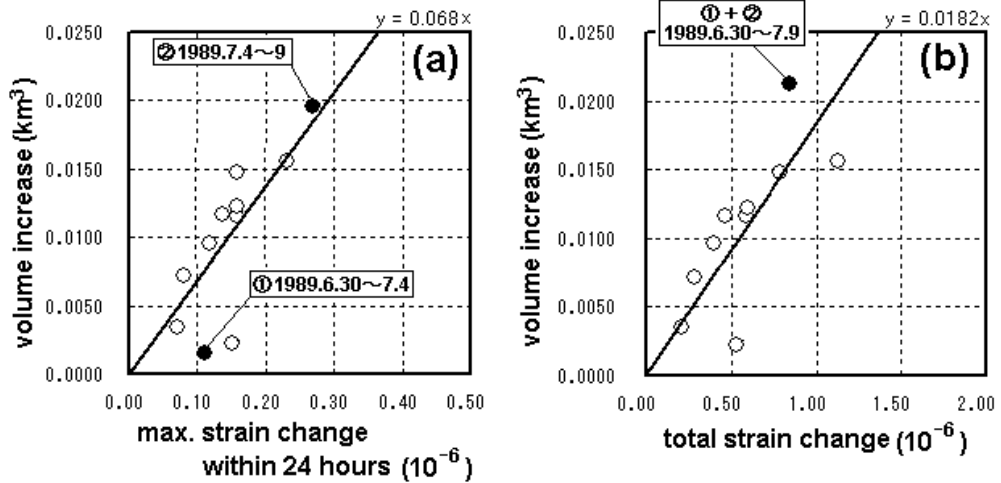


Fig. 6. Comparison of the volume of dyke intrusion ( $V_{intr}$ ) and the maximum volumetric strain change within 24 hours ( $V_{24}$ ) shown in (a) and total volumetric strain change ( $V_{total}$ ) shown in (b) observed at Higashi-Izu. Solid lines in each graph denote the regression line of  $V_{intr}$  on  $V_{24}$  for (a) and  $V_{total}$  for (b). Solid circle denotes the dyke intrusion event occurred from June to July, 1989.

ダイク貫入モデルパラメータから求めた体積増加量と東伊豆で観測された体積歪変化量の関係を Fig.6 に示す. 両者には高い相関が認められることから, 体積歪変化量によりおおよそのマグマ貫入量を推定することが可能であると考え. 両者の関係から得られるマグマ貫入による体積増加量 ( $V_{intr}$ , 単位は  $\text{km}^3$ ) の推定式は

$$V_{intr} = 0.0680 \times V_{24} \quad (1)$$

$$V_{intr} = 0.0182 \times V_{total} \quad (2)$$

となる. ここで,  $V_{24}$  は 24 時間体積歪変化量の最大値 (単位は micro-strain),  $V_{total}$  は体積歪変化全体量 (単位は micro-strain) である.

過去約 30 年間に伊東沖で繰り返されてきたマグマ貫入イベントの中でマグマ貫入量が最大だったのは, 唯一噴火発生があった 1989 年 7 月のイベントである. 噴火事例が 1 例しかないため確実なことは言えないが, ここでは 1989 年 7 月のイベントと同じオーダーの量 ( $0.02 \text{ km}^3$  程度) のマグマが貫入した場合には, 噴火が発生する可能性があるかと判断する. (1)式及び(2)式により, マグマ貫入量 (ここでは誤差も考慮に入れて  $0.015 \text{ km}^3$  とした場合) に相当する体積歪変化量は, 24 時間体積歪変化量の最大値が約  $0.22 \text{ micro-strain}$ , 体積歪変化全体量が約  $0.82 \text{ micro-strain}$  となる.

24 時間体積歪変化量の最大値はいずれのイベントの場合においても活動の初期段階に出現している. 一方, 体積歪変化全体量は活動が終了した時点で初めて求まる値であり, 活動途中では知ることができない. 防災上の観点から言えば, できるだけ早い段階で噴火の可能性を判断する必要のあることから, 火山活動の評価には 24 時間体積歪変化量の最大値を活用する方がより

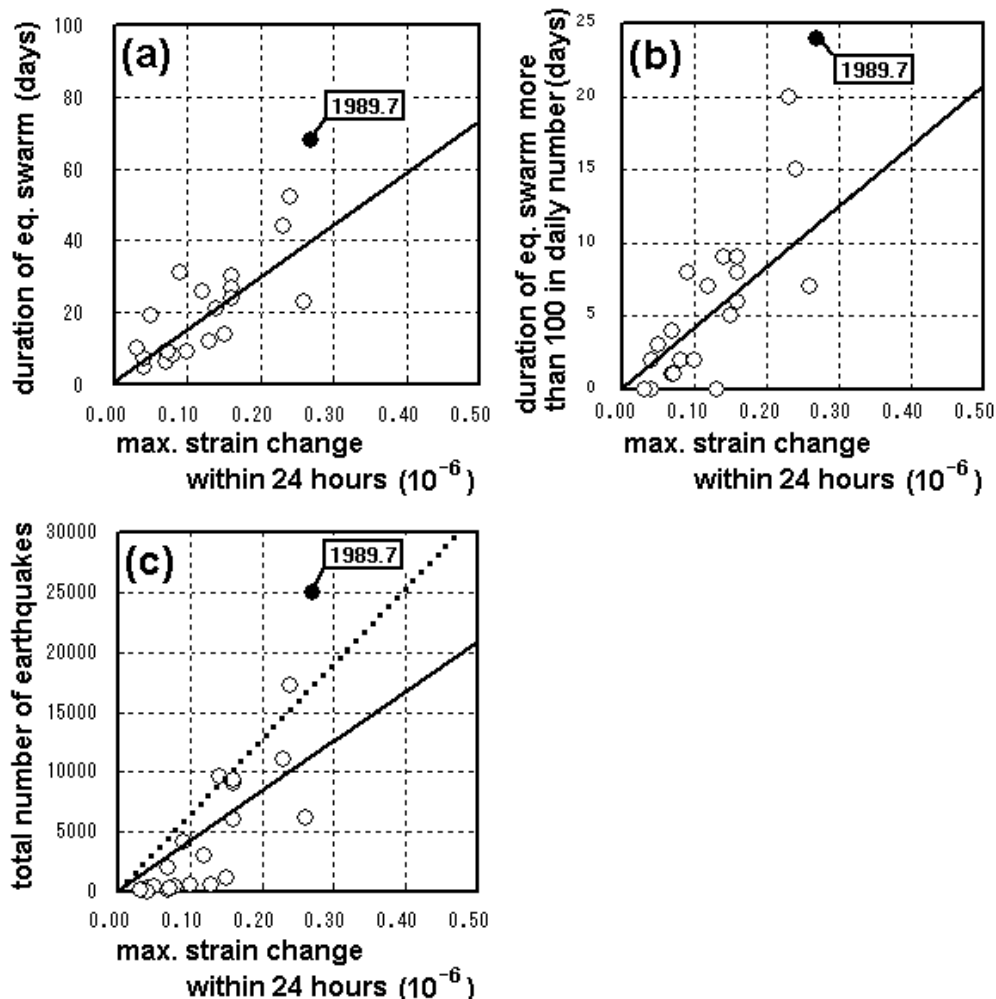


Fig. 7. Comparison of seismic data (duration of whole earthquake swarm activity in daily number (a), duration of earthquake swarm more than 100 in daily number (b) and total number of earthquakes (c)) and maximum volumetric strain change within 24 hours. Solid lines denote the relationship (equations (3), (4) and (5)) proposed by Earthquake Research Institute and Japan Meteorological Agency (1998). Dotted line in (c) denotes the relationship (equation (6)) with number that is 1.5 times more than solid line. Solid circle denotes the dyke intrusion event occurred in July, 1989.

効果的である。

一方、東京大学地震研究所・気象庁地震予知情報課（1998）は、東伊豆体積歪計および鎌田地震観測点のデータを用いて、24時間体積歪変化量の最大値から群発地震活動（群発地震活動期間全体の日数  $T$ 、1日の地震回数が100回以上となる日数  $T_a$ 、期間中の総地震回数  $N$ ）を予測する以下の経験式を提案している。

$$T = 144 \times V_{24} \quad (3)$$

$$T_a = 41.6 \times V_{24} \quad (4)$$

$$N = 41400 \times V_{24} \quad (5)$$

Fig. 7には地震回数データと24時間体積歪変化量の関係を示す。両者の間には高い相関が認められるが、マグマ貫入量が最大だった1989年7月イベントは予測式から大きく逸脱しており、実際の群発地震活動の規模は体積歪変化量から予測した規模に比べてはるかに大きかったことが分かる。このことは、噴火発生の可能性を判断する上で地震活動度（地震回数）が重要な情報であることを示唆している。Fig. 7中の実線で描かれた予測式とデータが最もよく一致しているFig. 7(c)の総地震回数に注目すると、3例が予測式(5)から大きく外れていることが分かる。これら3例の総地震回数は体積歪変化量から予測される総地震回数の1.5倍以上に達している。予測式(5)の1.5倍の総地震回数 $N_{1.5}$ を与える関係式は

$$N_{1.5} = 62100 \times V_{24} \quad (6)$$

で表される。(6)式をFig. 7(c)中に点線で示す。今回は(6)式で得られる総地震回数を用いて噴火発生の可能性を判定する基準の検討を行うこととする。

### III. 火山活動評価の試み

#### 1. アラート基準の導入

IIでの議論を踏まえ、東伊豆の体積歪変化量から推定したマグマ貫入量と東京大学地震研究所・気象庁地震予知情報課(1998)による地震回数予測を活用することにより、伊豆東部火山群の火山活動の評価を試みる。具体的には以下に示す3段階のアラート基準の導入を提案する。

【アラート1】：群発地震開始から体積歪変化量（マグマ貫入量）のリアルタイム監視を行い、24時間体積歪変化量の最大値が基準値（0.22 micro-strain）に達した時点で、噴火の可能性があると判断する

【アラート2】：鎌田観測点での地震回数のリアルタイム監視を継続し、地震回数が24時間体積歪変化量の最大値から予測される総地震回数に比べて1.5倍以上に達した時点で、噴火の可能性が高まったと判断する

【アラート3】：その後、震源の浅部移動や低周波地震多発、火山性微動発生が確認された時点で、噴火が切迫していると判断する

この3段階のアラート基準に従い、噴火発生に至った1989年7月のマグマ貫入イベントについて、Fig. 8及びTable 2を参照しながら、以下に活動経過に沿ってアラート基準の有効性を検証する。

東伊豆の体積歪計では6月28日からわずかな体積歪変化が見え始め、6月30日の群発地震活動が始まった段階で、貫入イベントの開始を明確に認識する。その後、リアルタイムモニタの監視を強化して地震活動と24時間体積歪変化量の最大値の推移を追跡する。7月4日に群発地震

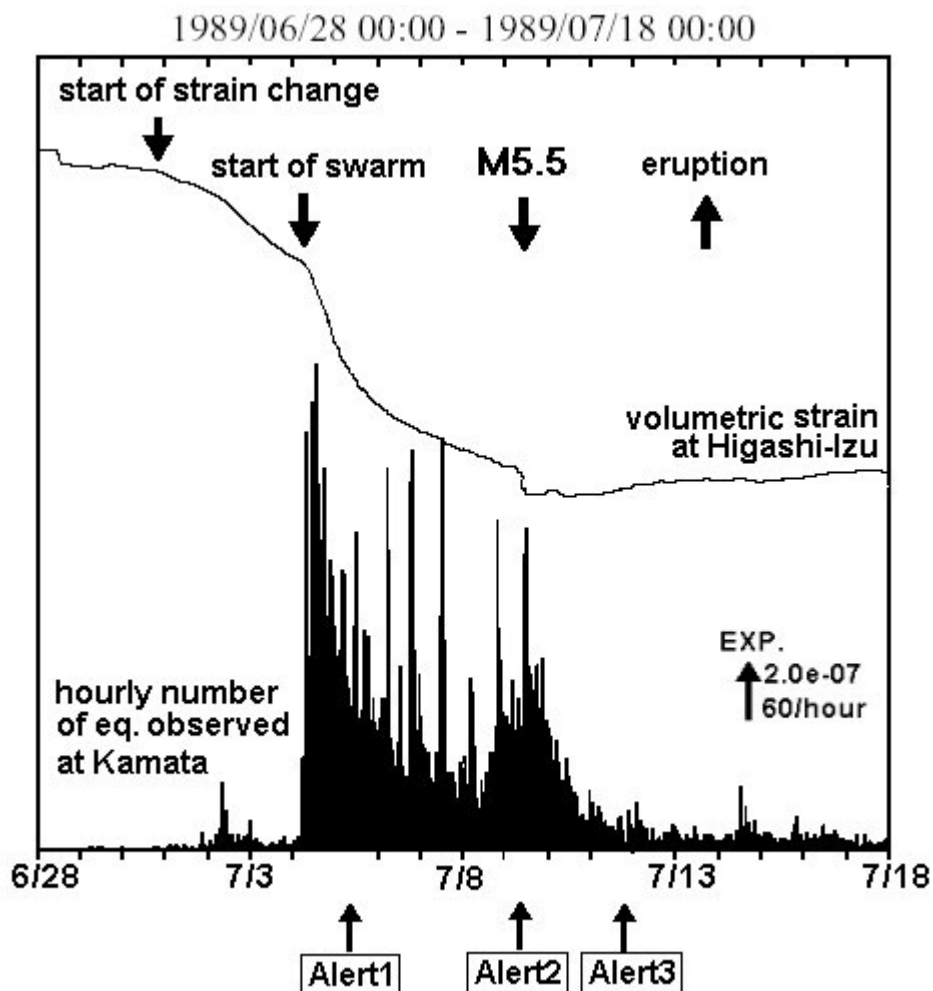


Fig. 8. Time series of the dyke intrusion event in July 1989. Timing in which each alert should be issued is indicated by arrows in the bottom of figure.

が活発化し、時間経過とともに24時間体積歪変化量の最大値が更新される。地震活動の活発化から1日後の5日07時の時点で、24時間体積歪変化量の最大値が基準値に達したため、今後噴火が発生する可能性があるとして【アラート1】を発表するとともに、(6)式により総地震回数の監視基準  $N_{1.5}$  を求める (16767回)。その後も地震活動と24時間体積歪変化量の最大値の監視を継続する。6日21時には総地震回数が(5)式による予測回数11178回を上回る。8日以降、地震回数がさらに増加する傾向を示す。9日07時の時点で総地震回数が監視基準回数16767回に達したことを確認し、噴火が発生する可能性が高まったと判断して【アラート2】を発表する。その直後の9日11時には最大地震 (M5.5) が発生するが、火山性の現象は認められず、メカニズム解も横ずれ断層型 (Takeo, 1992) であり、急激なマグマ上昇を促進すると考えられる正断層型ではないことも考慮して、この時点では噴火発生が切迫しているとの判断には至らない。

**Table 2.** Sequence of dyke intrusion event in June to July 1989 and alert level defined by this study.

Time	Observed phenomenon	Alert level
6/30 17:00	Volumetric strain change and seismic activity start	
7/ 4	Seismic activity obviously increase	
7/ 5 07:00	Volumetric strain change within 24 hours observed at Higashi-Izu reaches the threshold value	1
7/ 6 21:00	Total number of earthquakes observed at Kamata is over the total number of earthquakes expected by equation (5)	
7/ 9 07:00	Total number of earthquakes is greatly exceed the threshold value obtained by equation (6)	2
7/ 9 11:00	M5.5 seismic event occur and seismic activity decrease	
7/10	Low frequency earthquake activity increase	3
7/11	Large volcanic tremors occur	
7/13 18:35	Submarine eruption occur	

その後、地震活動や体積歪変化は低下傾向を示し貫入イベントの終息を期待させるが、10日に入り低周波地震の増加や火山性微動の発生が確認される。伊東沖付近の基盤層 ( $V_p = 5 \text{ km/s}$ ) の上面は海面下深さ 2 km 付近にあり、表層は厚さ 600~900m の新しい火山噴出物で構成された未固結の堆積層 ( $V_p = 1.9 \text{ km/s}$ ) とその直下に厚さ 1 km 前後の湯が島層 ( $V_p = 2.6 \text{ km/s}$ ) が成層していることから、低周波地震や火山性微動の発生は貫入マグマが基盤層を突き抜けて深さ 2 km 以浅の表層まで到達したことを示していると考えられる (浜口・植木, 1993)。より浅部へのマグマ到達を裏付けるこれら火山性の現象を明確に認識できたことを受け、噴火発生が切迫していると判断して【アラート 3】を発表する。最終的には 13 日 18 時 35 分に手石島付近で海底噴火の発生に至る。

以上の検証の結果、今回提案した 3 段階のアラート基準を導入することによって、従来に比べて 1 週間程度早い時点で噴火発生の可能性を伝える防災情報の発表が可能であることが分かった。

1978 年以降、現在までに伊東沖で発生した群発地震活動は 44 事例を数える。それらのうち、1985 年以降、東伊豆の体積歪計で歪変化が観測された 21 事例について、上記の 3 段階のアラート基準に従って火山活動評価を行った。その結果を Table 3 にまとめる。21 事例のうち【アラート 1】に達したのが 4 事例、その後【アラート 2】まで達したのが 2 事例となった。さらに【アラート 3】に達したのは唯一噴火発生があった 1989 年 7 月の事例のみであった。

## 2. 長期的なマグマ活動の推移

Fig. 9(a) に 1985 年以降に東伊豆で観測されたダイク貫入イベントに伴う体積歪変化量の積算曲線と鎌田で観測された地震回数の積算曲線を示す。両者の間には良い相関が認められることから、1985 年以前のマグマ貫入量は鎌田の地震回数積算データから算出できると考えられる。

Table 3. Evaluation of the dyke intrusion events occurred in Izu-Tobu volcanoes since 1985.

Period of activity	Max. volumetric strain change in micro-strain within 24 hours	Total Number of earthquakes observed at Kamata and the threshold value in parentheses obtained by equation (6)	Volcanic phenomena
1985/10/13~11/12	0.09		
1986/10/10~11/ 1	0.26 → Alert 1	6125 (16146)	
1988/ 7/26~ 9/15	0.24 → Alert 1	17171 (14904) → Alert 2	
1989/ 5/21~ 6/ 3	0.15		
1989/ 6/30~ 9/ 6	0.27 → Alert 1	24989 (16767) → Alert 2	LF events, Tremors → Alert 3
1993/ 1/10~ 1/18	0.07		
1993/ 5/26~ 6/15	0.14		
1995/ 9/11~ 9/15	0.04		
1995/ 9/18~ 9/23	0.07		
1995/ 9/29~10/28	0.16		
1996/10/15~11/10	0.16		
1997/ 3/ 3~ 3/26	0.16		
1997/ 6/27~ 7/15	0.05		
1998/ 4/20~ 6/ 2	0.23 → Alert 1	11033 (14283)	
2002/ 5/ 8~ 5/15	0.08		
2003/ 6/13~ 6/21	0.10		
2004/ 4/24~ 5/ 2	0.07		
2006/ 1/25~ 1/31	0.04		
2006/ 2/21~ 3/ 2	0.03		
2006/ 3/30~ 4/10	0.13		
2006/ 4/17~ 5/12	0.12		

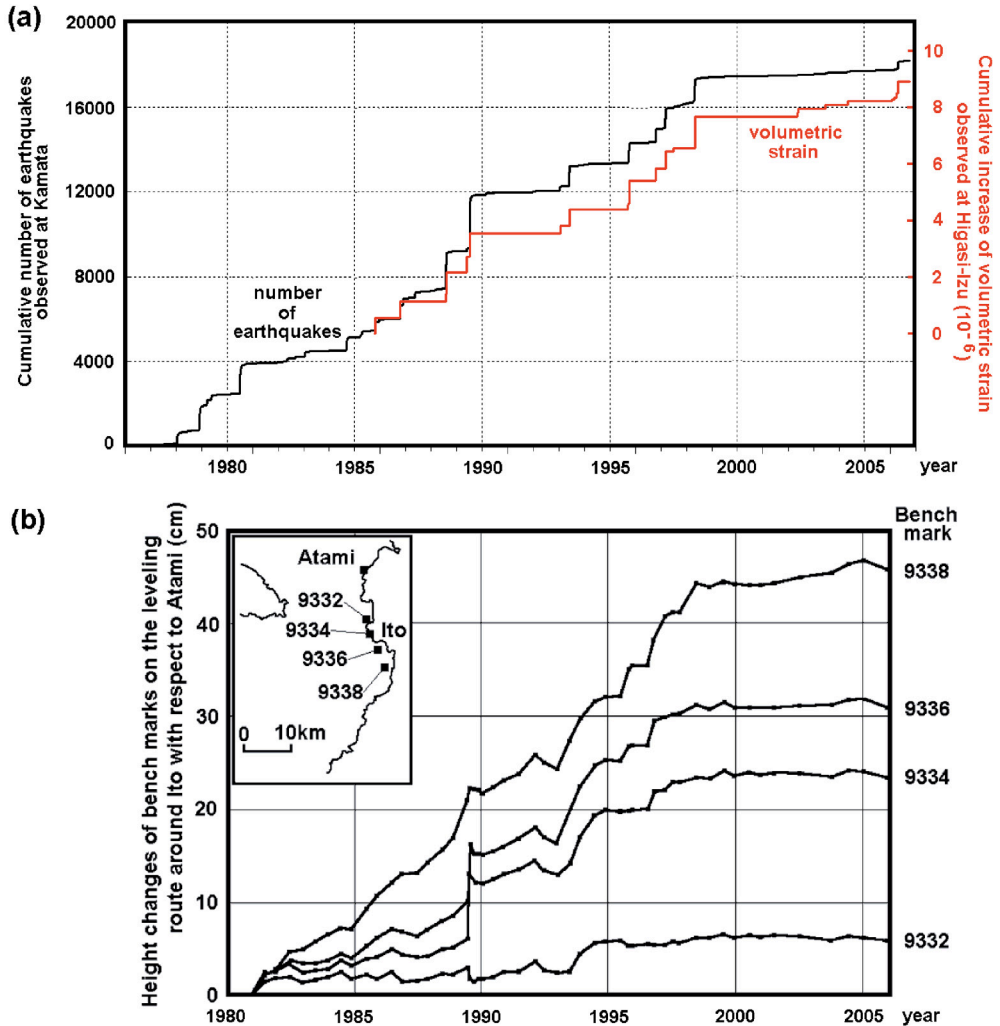


Fig. 9. (a) Cumulative curves of earthquake number observed at Kamata and volumetric strain change observed at Higashi-Izu since 1978. Black line and Red line denote earthquake number and volumetric strain change, respectively.  
 (b) Time series of height changes of bench marks on the leveling route along the eastern coast of Izu peninsula since 1980 (Modified from Geographical Survey of Institute, 2006 b).

Fig. 9(b)には国土地理院 (2006 b) による伊豆半島東部沿岸における上下変動の時系列変化を示してある。過去約 30 年間における上下変動パターンは体積歪変化量や地震回数の変動パターンとほぼ一致しており、3 つのデータはいずれも深部マグマ溜まりから浅部へのマグマ貫入量の時間変化を示していると考えられる。Fig. 9 により過去約 30 年間のマグマ貫入活動は、1998 年までの活動期と 1999 年以降の静穏期に大別することができる。また、鎌田の地震回数積算データにより算出した過去約 30 年間のマグマ貫入累積量は  $0.24 \text{ km}^3$  程度と推定される。

伊東沖では 1978 年の群発地震活動開始から 1998 年までの約 20 年間、静穏な時期と活発な

時期を繰り返しながらダイク貫入活動を継続してきた。特に、1988年～1989年と1996年～1998年の時期には一時的な活動の高まりが認められた。その後、1999年以降は比較的静穏に経過していたが、2006年に再び活発なダイク貫入活動が見られた。この活動では、M5クラスの最大地震が発生したが、体積歪変化は特に大きなものではなく、噴火発生の可能性はないと判断された。しかし、これからマグマ上昇レートが高まりを見せる場合には、1998年頃のようなダイク貫入活動が頻繁に繰り返されることは確実であり、今後の伊東沖の活動推移には十分注目する必要がある。

#### IV. ま と め

伊豆東部火山群の北端部で1978年以来過去約30年間繰り返されてきた浅部マグマ貫入イベントについて、東伊豆の体積歪計により観測された体積歪変化量からマグマ貫入量を推定する方法を検討した。さらに、火山活動を評価する試みとして、体積歪変化量と地震活動状況から噴火発生の可能性を3段階で判定するアラート基準を提案した。1989年の事例を検証した結果、従来よりも早い段階で噴火警報を発表することができる可能性があることが分かった。また、地震活動と体積歪変化量の関係から過去30年間の累積マグマ貫入量を0.24 km<sup>3</sup>程度と推定した。

伊豆東部火山群の迅速かつ的確な火山活動評価を実現するためには、今後噴火事例の経験を積み重ねながら今回提案した体積歪変化量による判断基準の改善を図っていく必要がある。さらに、同地域に展開されている多数の傾斜計および体積歪計のリアルタイムデータを活用することによりさらに確度の高い判断基準に発展させることや、浅部へのマグマ貫入に伴う地震活動の定量的評価に関する検討を進める必要がある。特に、同地域の詳細な地下構造情報に基づくマグマ上昇位置のリアルタイム監視手法の開発は急務である。また、深部マグマ溜まりのマグマ蓄積状態や浅部へのマグマ上昇に伴うマグマ溜まりの収縮など、マグマ供給系全体の監視をどのように具体化するかについても今後の課題として意識しなければならない。

**謝辞** Fig. 3で使用した一元化震源は、国立大学、独立行政法人防災科学技術研究所等の地震観測データを気象庁が収集し一元的に処理して得られた結果です。これらの関係機関およびデータ処理を担当された方々に記して感謝致します。

#### 文 献

- 防災科学技術研究所, 1994. 1993年5～6月の伊豆半島東方沖の群発地震活動とそれに伴う傾斜変動, 地震予知連絡会会報, **51**, 336-340.
- 浜口博之・植木貞人, 1993. 火山の構造と噴火予知, 月刊地球, **BFX No.7**, 106-111.
- 早川由起夫・小山真人, 1992. 東伊豆単成火山地域の噴火史1: 0～32 ka, 火山, **37**, 167-181.
- 気象庁地震予知情報課, 1987. 伊豆半島東方沖の群発地震と東伊豆で観測された歪変化の関連について, 地震予知連絡会会報, **37**, 220-223.

- 国土地理院, 2006 a. 伊豆地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, **76**, 215-245.
- 国土地理院, 2006 b. 地殻変動観測データで見る伊豆東部火山群のマグマシステムについて, 地震予知連絡会会報, **76**, 272-284.
- Kuno, H., 1954. Geology and petrology of omuro-yama volcano group, North Izu, *J. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, Sect. 2, **9**, 241-265.
- 内藤宏人・吉川澄夫, 1999. 地殻変動解析支援プログラム MICAP-G の開発, 地震Ⅱ, **52**, 101-103.
- 西村卓也, 2002. 伊東沖と岩手山における火山性力源による地震のトリガリング, 地学雑誌, **111(2)**, 166-174.
- Okada, Y. and E. Yamamoto, 1991. Dyke intrusion model for the 1989 seismovolcanic activity off Ito, Central Japan, *J. Geophys. Res.*, **96**, 10362-10376.
- Takeo, M., 1992. The rupture of the 1989 Offshore Ito earthquakes preceding a submarine volcanic eruption, *J. Geophys. Res.*, **97**, 6613-6627.
- 東京大学地震研究所・気象庁地震予知情報課, 1998. 伊豆半島東方沖群発地震活動の直後予測, 地震予知連絡会会報, **59**, 223-227.
- 上田英樹・山本英二・大久保正・村上 亮・上野 寛・宇平幸一, 2003. 2002年5月伊豆半島東部群発地震活動に伴った地殻変動の開口断層モデル, 火山, **48**, 471-477.