

# 1989年伊東沖の地震・火山活動に対する断層モデル\*

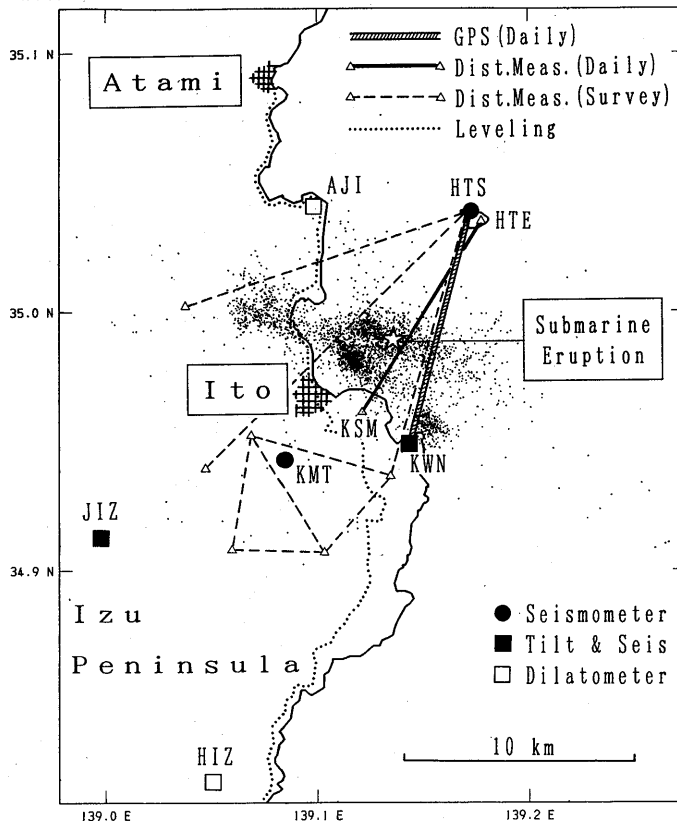
防災科学技術研究所

## 1. はじめに

1989年5月から7月にかけて静岡県伊東市沖で発生した群発地震及び火山活動に関しては、主として伊東市川奈における地殻傾斜連続記録および群発地震の震源分布に基づいて、ひとつの速報的な断層モデルを提出した<sup>1)</sup>。その後、諸機関よりこの活動に関するより詳細なデータが報告され、とくに豊富な地殻変動データをより良く説明する改訂モデルが得られたので報告する。

## 2 データ

第1図に、今回の活動域の周辺でなされていた主な地殻活動観測体制を示す。点および星印は、群発地

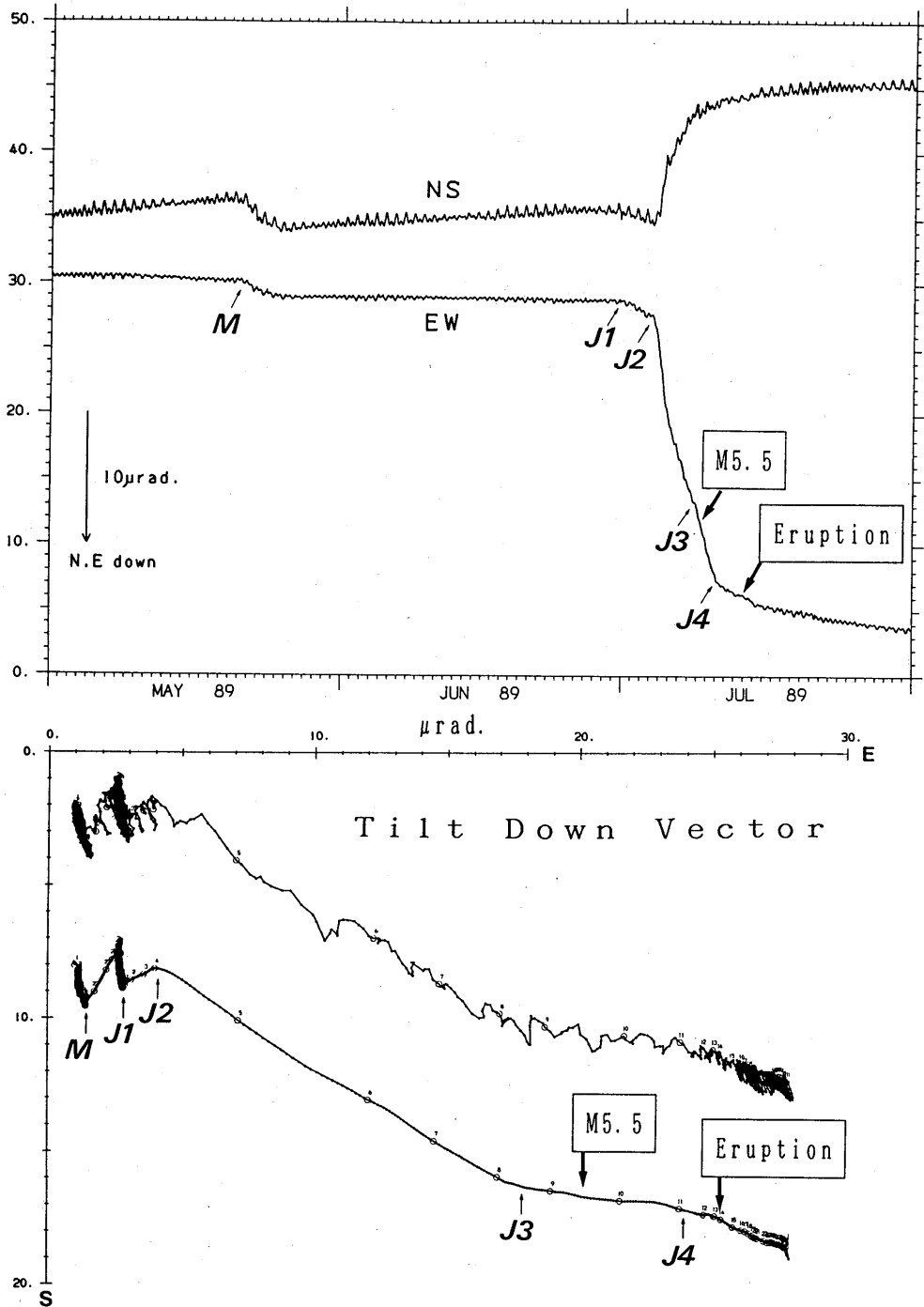


第1図 1989年伊東沖の地震・火山活動域周辺における観測体制。点及び星印は群発地震の震央及び海底噴火発生地点を示す。

Fig. 1 Observations which were carrying out around Ito. Dots and an asterisk represent swarm hypocenters and the point of submarine eruption, respectively.

\* Received 15 July, 1990

# GROUND TILT AT KWN



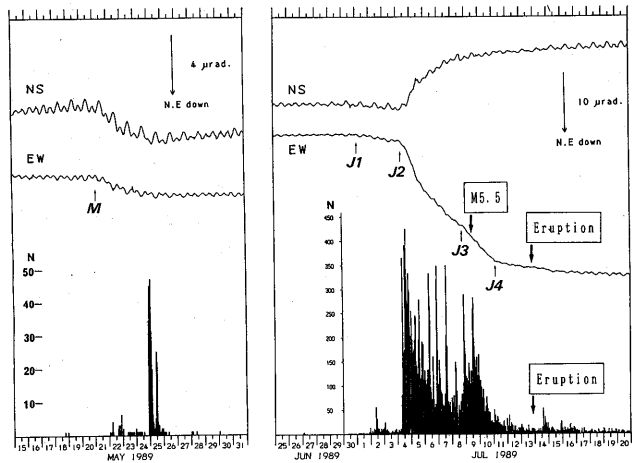
第 2 図 川奈における傾斜記録及びそのベクトル傾動図(原データ及び移動平均)とモデル計算結果。

Fig. 2 Tilt record at KWN station and its vector diagrams for the original and the smoothed data. Simulated tilt is also shown.

震の震央および海底噴火の発生日点である。第2図は、伊東市川奈 (KWN) に設置された約100m深度の坑井型傾斜計による1989年5月から7月の傾斜記録およびそのベクトル傾動図(原データ及び移動平均)である。7月4日から11日にかけて $20 \mu\text{rad}$  を超す東南東下がりの大きな傾斜が観測されている。第3図は、5月下旬および7月上旬における群発地震活動と傾斜変動との関連を示したものである。5月については防災科技研で決定された震源数が、7月については鎌田 (KMT, 気象庁) でカウントされた地震数が比較されている。

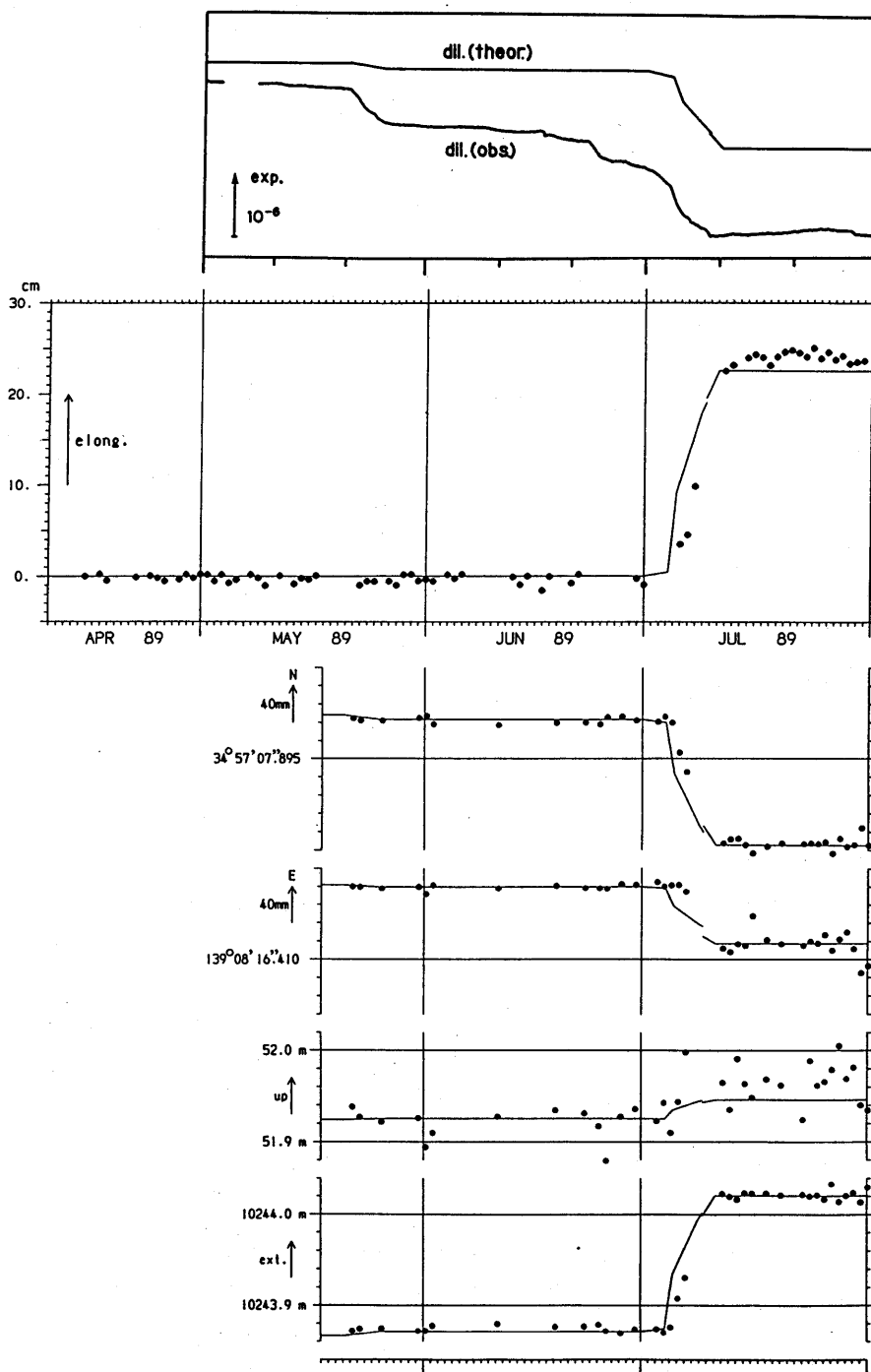
この他の主な地殻変動観測データとしては、東伊豆 (HIZ) における体積歪観測<sup>2)</sup>, 伊東-初島 (KSM-HTE) 間の自動光波測距<sup>3)</sup> および連日GPS観測 (KWN-HTS)<sup>4)</sup>, 伊東市周辺の辺長測量および水準測量<sup>5)</sup> の結果があり、それぞれ第4図~第6図に、後述するモデルによる計算結果と比較して示す。また、第7図には、各時期における群発地震の震央分布の推移を示した。このうち、第7図(f)では、最大地震 (M 5.5) の発震機構解およびその発生後2時間内の震源分布が示されている。

これらの諸データを見ると、主要な地震活動および地殻変動は7月4日からの1週間で終了し、海底噴火はその後に発生しているが、噴火に伴う地殻変動は一切検出されていないことが特徴的である。



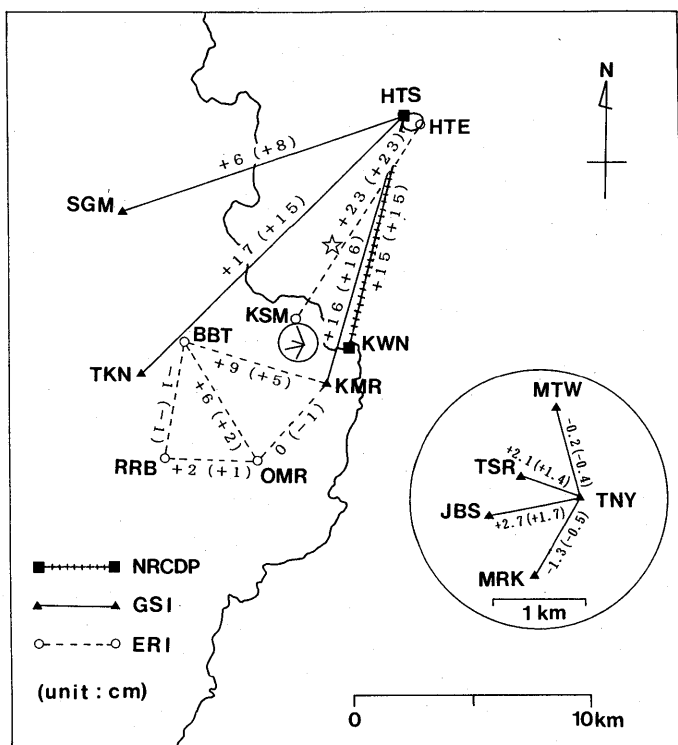
第3図 1989年5月下旬及び7月上旬における群発地震活動と川奈における傾斜変動の比較。5月については地震個数，7月については鎌田 (気象庁) における地震回数を示す。

Fig. 3 Comparison between seismic activities and the tilt at KWN in late May and early July, 1989. Located earthquake numbers are counted for May activity, while earthquake numbers detected at KMT (JMA) are displayed for July activity.



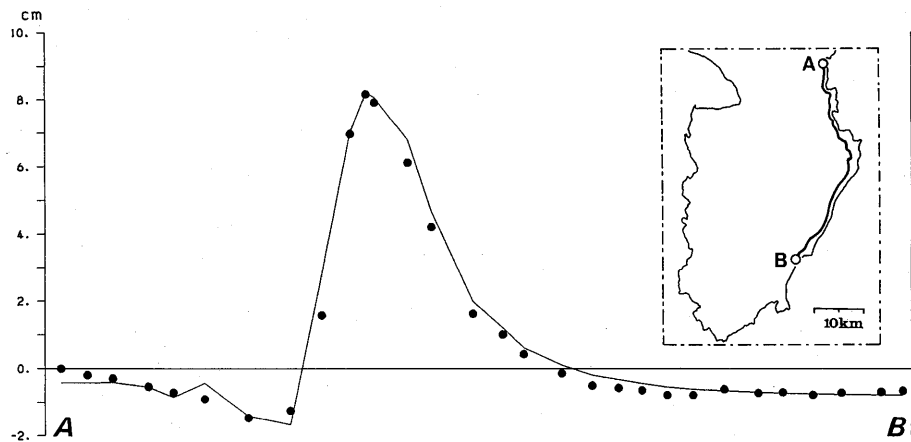
第 4 図 上段：東伊豆における体積歪計の変化（気象庁）。中段：伊東一初島間の自動光波測距結果（東大震研）。下段：GPSによる川奈の初島に対する位置変化を、南北、東西、上下及び辺長の変化として示す。各々に対するモデル計算結果も示す。

Fig. 4 Top : observed and theoretical dilatations at HIZ (JMA). Middle : observed and theoretical changes in the baseline length between KSM and HTE (ERI). Bottom : observed and theoretical position changes between KWN and HTS displayed by N-S, E-W, altitude and base-line length changes (NRCDP).

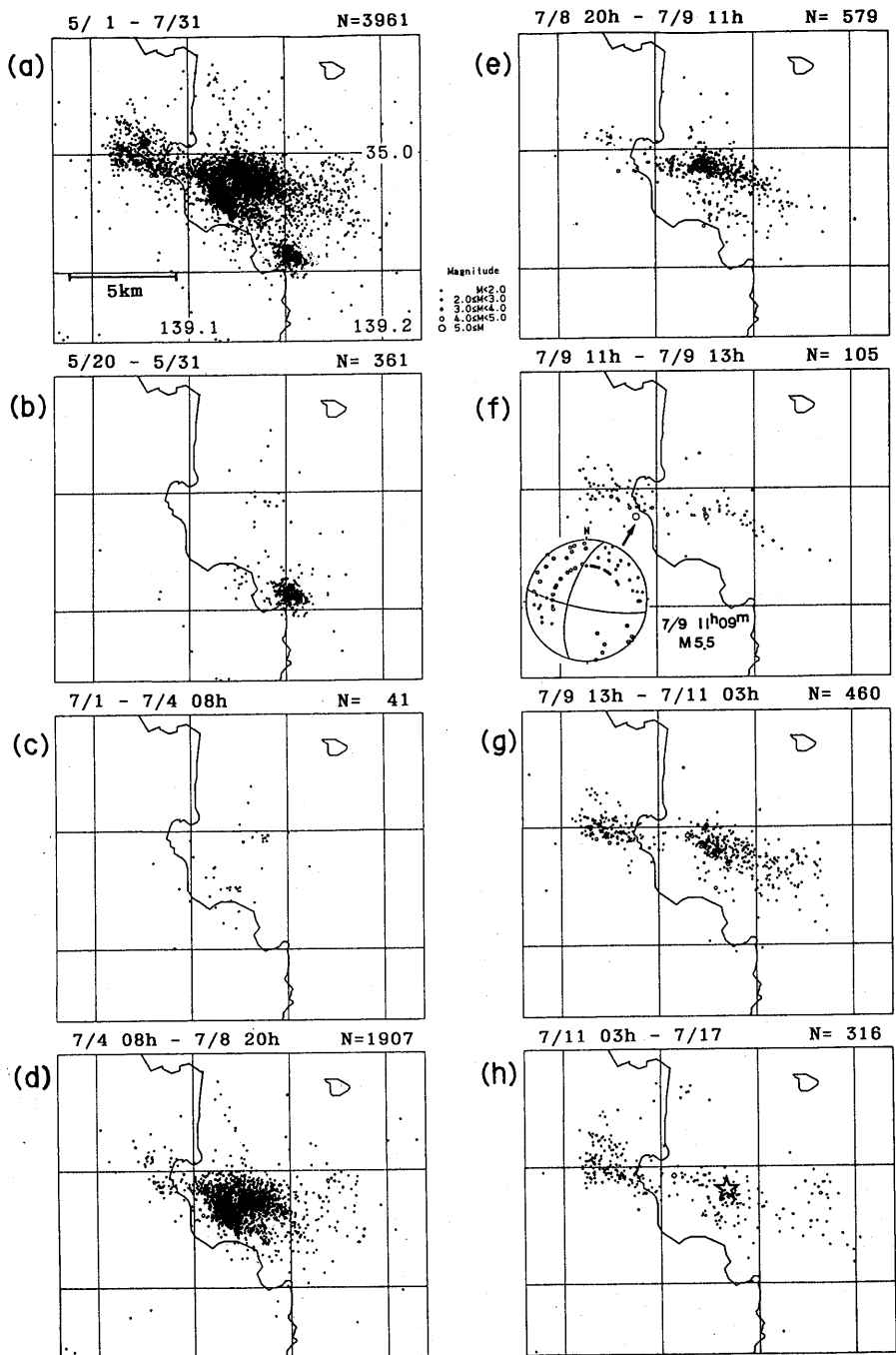


第 5 図 伊東市周辺の辺長測量結果 (国土地理院, 東大震研)。  
括弧内はモデル計算値を示す。

Fig. 5 Observed baseline length changes (GSI, ERI) compared to the theoretical ones (numerals in parenthesis). A star denotes the position of the submarine eruption.



第 6 図 伊豆半島東岸に沿う水準測量結果 (国土地理院) とモデル計算結果  
Fig. 6 Results of leveling survey (GSI) and theoretical vertical displacement.



第 7 図 1989 年伊東沖の群発地震活動の推移。(a)は5月から7月にかけての全体分布を示す。(a)と(d)では、7月4日18時～7月6日12時のデータが未処理のため省かれている。(f)には、最大地震の発震機構解(下半球投影)と本震後2時間内の余震分布が示され、また、(h)の星印は海底噴火発生地点を示す。

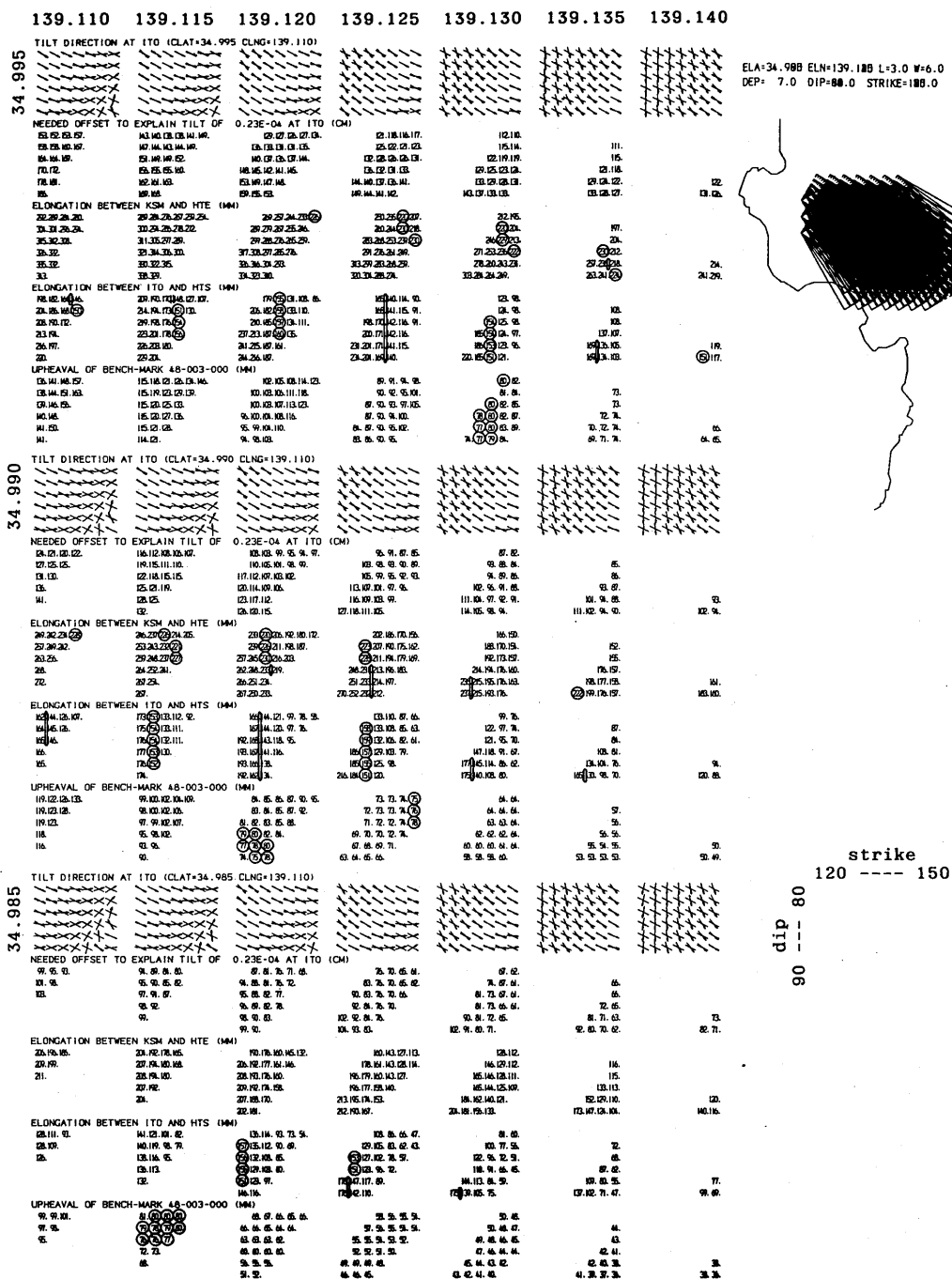
Fig. 7 The change in the epicentral distribution of the swarm activities. In (a), total distribution in the period from May to July is displayed. In (a) and (d), the data from 18h, July 4 to 12h, July 6 are not included. In (f), the focal mechanism of the largest event projected to a lower hemisphere is given, together with first 2 hour aftershock distribution. An asterisk in (h) shows the position of the submarine eruption.

### 3. モデリング

前節の第3図で地震活動と地殻変動が非常に良い相関を示すこと、及び地震の規模の割に地殻変動が大きいことから、この活動の主たる原因は群発地震域におけるマグマ貫入であると予想し、5月及び7月の活動に対応する開口型断層F1、F2、並びに7月9日11時09分の最大地震(M5.5)に対応する右横ずれ逆断層F3からなるモデルを設定した。

モデルの定量化にあたっては、まず最大地震の発震機構及び直後の震源分布よりF3のパラメータを定め、次に川奈の傾斜変化、伊東-初島間の伸び、伊東市の隆起の各データをコントロール値としてグリッドサーチ方式により主要断層F2のパラメータを求めた。第8図は、断層面の大きさと深さを固定し、水平位置と走向及び傾斜角を変えた際の上記各量の変化を表わしており、丸印で囲った部分が、観測値との良好な一致が得られる範囲を示す。これより、上記3量の理論値と観測値との一致が共に満たされる組合せとして、走向N125°E、断層面傾斜角85°、大きさ3km×6km、上端の深さ1km、開口量110cmが得られた。なお、この場合、断層面の水平位置を500mずらすと、いずれかの観測値が説明困難になることが分かる。最後に、断層F1のパラメータについては、F2と同じ値を一部仮定することにより求めている。第9図に、得られたモデルの平面図を、各時期の群発地震の震央域および東北大学<sup>7)</sup>による精密余震観測結果(ハッチ部)と共に示した。

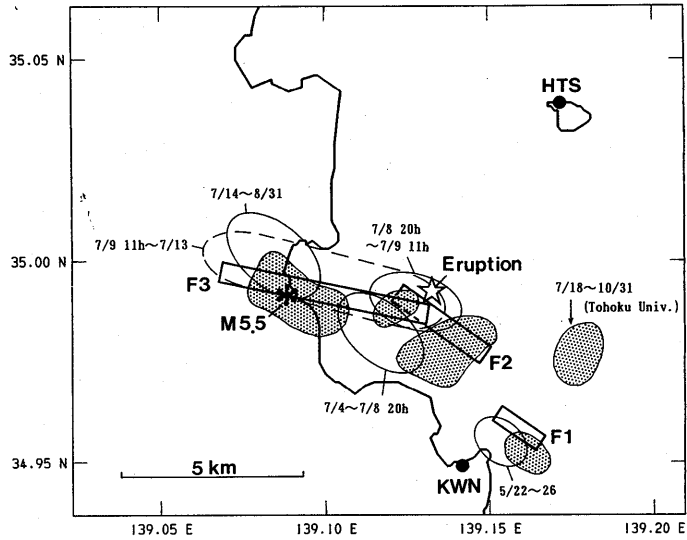
次に、川奈における傾斜ベクトルの明瞭な方向変化(第2図)を説明するため、断層F2の更なる精密化を図った。第10図は、断層の位置と幅及び開口量を固定して垂直方向の長さを変えた場合に川奈で期待される傾斜変化を示す。この図を第2図と較べることにより、断層F2の深部、中間部、浅部をA、B、Cとして、第11図に示すような開口量集積及びその時間経過が推察される。ここで、試みに、最終段階におけるC部の欠損体積を $3\text{km} \times 2\text{km} \times 30\text{cm} = 1.8 \times 10^6 \text{m}^3$ と見積ると、これは水路部<sup>8)</sup>によって発見された手石海丘のおよその体積 $4\pi/3 \times (150\text{m})^2 \times 25\text{m}/2 = 1.2 \times 10^6 \text{m}^3$ とほぼ一致することが分かる。噴火発生地点が断層面F2とF3の交点に近いことを考え併せると、マグマは断層F3の衝突により上昇し、固体部分から海底の未固結層底部に流出して手石海丘を作り、固体部分には何も地殻変動を及ぼさないまま、なんらかの不安定性によって小規模なマグマ水蒸気爆発を行ったものと想像することが可能であろう。第12図に最終的なモデルの見取図を示した。



第 8 図 断層面 F2 に関するパラメータのグリッドサーチ。断層面の大きさと深さを固定し、水平位置と走向及び傾斜角を変えている。川奈の傾斜方位が 20°以内で一致するものについて、必要な開口量、伊東-初島間の距離変化、伊東の隆起量が計算されており、ある許容範囲内で観測値と一致するものには丸印が付されている。

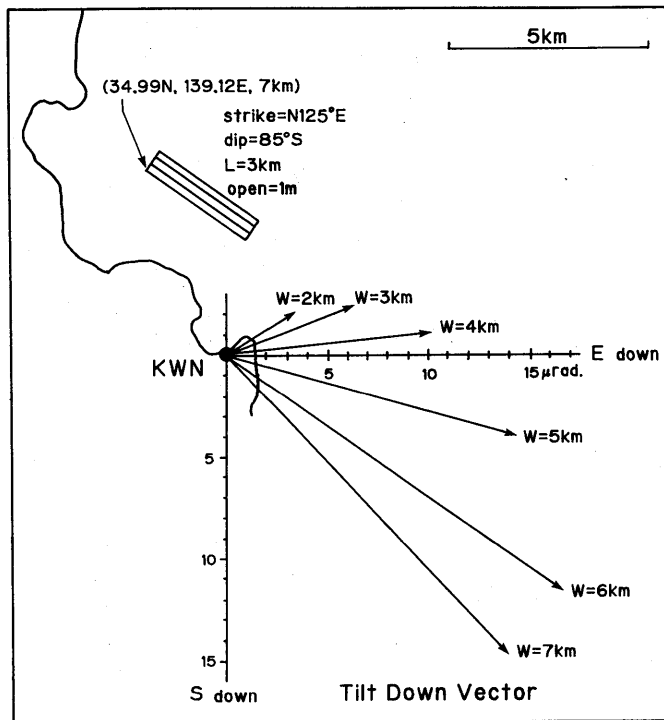
Fig. 8 Simultaneous grid search of the fault position, dip-angle and strike-angle, while the fault size and depth are fixed. Only for the elements giving correct tilt direction at KWN, the needed offset, the elongation between KSM and HTE, the one between KWN and HTS, and the upheaval of the Ito city, are calculated. Circled elements indicate that the calculated value coincides to the observed one within an allowable range.





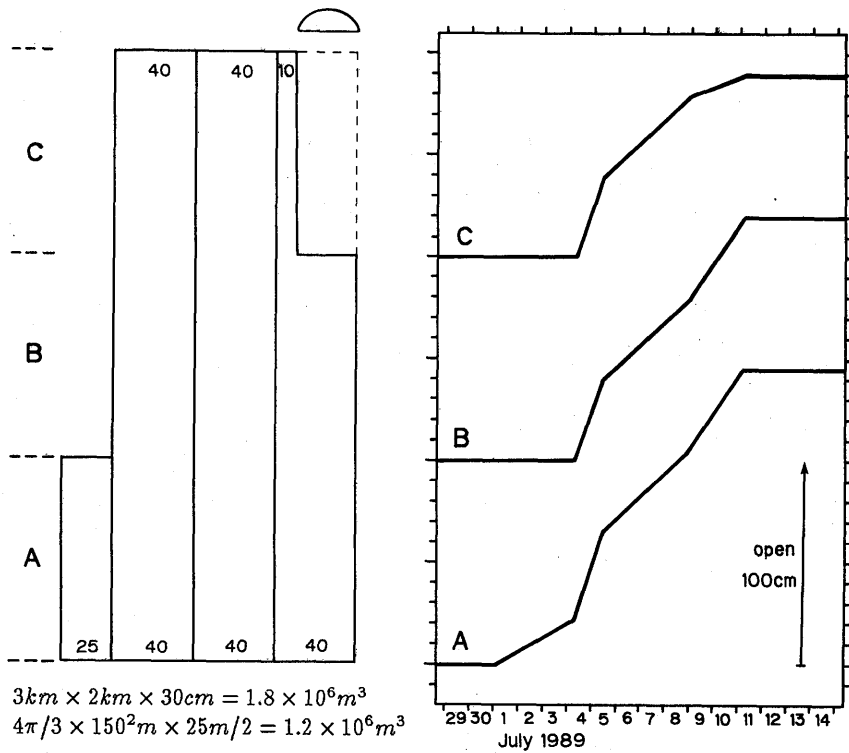
第 9 図 断層モデルの平面図と各時期の群発地震の震央域。  
ハッチ部は東北大学による精密余震観測結果を示す。

Fig. 9 Location of the obtained fault model and the swarm areas in several periods. Hatched parts show the precise after-shock distribution determined by Tohoku Univ (1989).



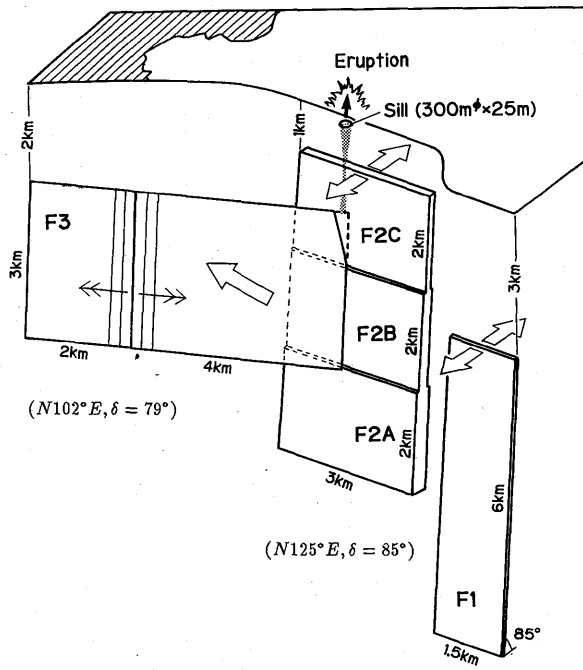
第 10 図 開口断層の垂直方向の長さを変えた場合に川奈で期待される傾斜変動ベクトル。

Fig. 10 Variation of the tilt vector at KWN due to the change in the vertical length of an open-type fault.



第11図 断層F2の深部(A), 中間部(B), 浅部(C)における開口量集積及びその時間経過。

Fig. 11 Accumulation chart and time sequence of the opening of the fault F2. A, B and C denote the deep, the middle and the shallow one third of the fault F2, respectively.



Period		Open Dislocation (cm)				Shear Disl. (cm)
		F 1	F 2 A	F 2 B	F 2 C	F 3
M	May 21 - May 25	2.5	-	-	-	
J 1	Jul. 1 - 08h Jul. 4	-	2.5	-	-	
J 2	08h Jul. 4 - 11h Jul. 5	-	4.0	4.0	4.0	
	11h Jul. 5 - 20h Jul. 8	-	4.0	4.0	4.0	
J 3	20h Jul. 8 - 03h Jul. 11	-	4.0	4.0	1.0	
	11h09m Jul. 9 (M5.5)					3.0 ( $\lambda = 155^\circ$ )

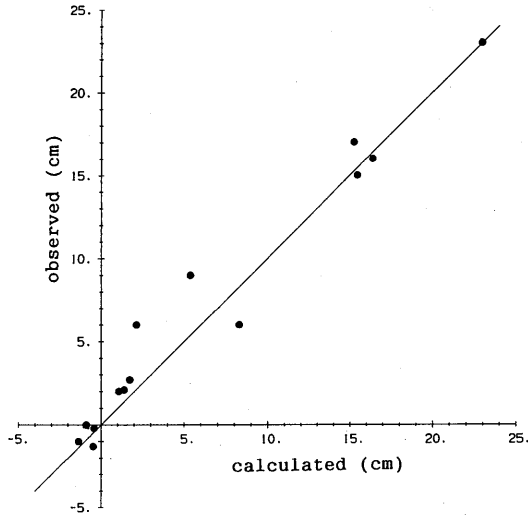
第12図 1989年伊東沖の地震・火山活動に対する断層モデル。

Fig.12 A fault model for the seismo-volcanic activity off Ito in 1989.

#### 4. 結 果

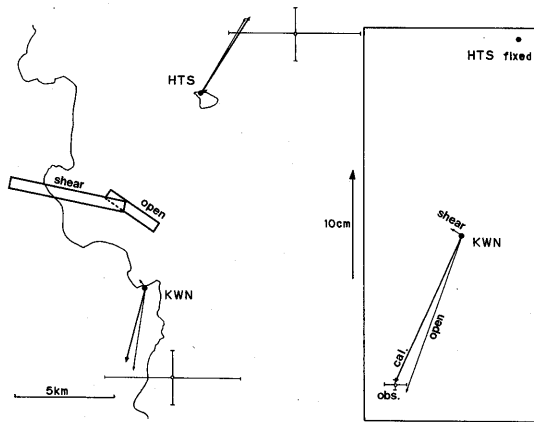
前節で得られたモデルより計算された理論地殻変動と観測値との比較は、第2図～第6図に既に示されているが、第13図は第5図の各基線長変化に関する理論値と観測値とを比較したものである。また、第14図は、川奈と初島の理論水平変動を開口断層とずり断層との寄与分に分けて表示し、十字の誤差範囲で示す下田に対するGPS観測値<sup>4)</sup>と比較したものである。同図の枠内には、川奈と初島との相対位置変化に関する理論値と観測値との比較が示されている。ずり断層の寄与分は量的には小さいものの、これを加えることによって両者の一致はさらに完全なものとなっている。

(岡田義光・山本英二)



第13図 第5図における各基線の辺長変化とモデル計算値の比較。

Fig.13 Comparison between observed and theoretical baseline length changes in Fig.5.



第14図 モデルから期待される地殻水平変動(太矢印)における開口断層の寄与分(長ベクトル)と横ずれ断層の寄与分(短ベクトル)。十字印はGPSにより検知された下田に対する初島・川奈の位置変化とその誤差範囲を示す。囲み内は初島に対する川奈の相対変化である。

Fig.14 Contributions of open-type fault (long vectors) and shear fault (short vectors) to horizontal displacements (thick arrows). Cross marks show the position changes and their errors detected by GPS at KWN and HTS relative to SMD. Inset shows the displacement of KWN relative to HTS.

## 参 考 文 献

- 1) 国立防災科学技術センター(1989) : 1989年7月の伊東沖の海底噴火に先行した傾斜変動(速報), 噴火予知連絡会会報, **44**, 78-84.
- 2) 気象庁地震火山部(1989) : 伊豆半島東方沖の地震及び噴火, 噴火予知連絡会会報, **44**, 23-44.
- 3) 東京大学地震研究所地質移動班(1990) : 自動光波観測による伊東-初島測線と伊東-宇佐美測線の変位, 地震予知連絡会会報, **43**, 253-257.
- 4) 国立防災科学技術センター(1989) : GPS 観測網による伊東周辺の地殻変動の観測, 噴火予知連絡会会報, **45**, 95-102.
- 5) 国土地理院(1989) : 伊豆半島東部における測地測量結果について, 噴火予知連絡会会報, **44**, 68-77.
- 6) 平田安廣ほか(1989) : 伊東群発・噴火活動における光波測量結果, 地震学会講演予稿集, **2**, 113.
- 7) 東北大学理学部地震予知・噴火予知観測センター(1989) : 伊豆半島東方沖海底火山活動に伴う地震活動及び火山性微動, 噴火予知連絡会会報, **45**, 63-74.
- 8) 海上保安庁水路部(1989) : 伊東沖海底火山(手石海丘)の噴火(1989.7.13)前後の海底地形変化 噴火予知連絡会会報, **44**, 57-65.