

## 10. 伊豆半島北東部における光波測量 (1)

地震研究所 { 地殻変動移動観測班  
富士川地殻変動観測所

(昭和 52 年 7 月 19 日受理)

### 1. はじめに

1975 年 8 月から始った伊豆半島北東部の微小地震活動は、同年 10 月末から一段と活発化した。その中の最大地震が  $M=3.7$  (JMA) に過ぎないことからわかるように、このグループはエネルギー的にみれば微小な地震活動である。しかし地震数の増減を繰返しながら、その活動が比較的長期間継続している (地震研究所\*, 1976 a) ことから、われわれは、震源が特に集中している遠笠山周辺地域の地殻水平歪の蓄積状態を知るため、1976 年 1 月に遠笠山を基点として、第 1 図のような放射状 9 基線の光波測量基線網 (遠笠山基線網) を設置した。 (\*東京大学地震研究所各観測班を略記)。

その後、1976 年 2 月 8 日から東伊豆町北川地区を中心に、有感地震を含む群発地震活動が始り、翌 9 日には  $M=3.6$  (東伊豆町熱川周辺で震度 III) の地震があった (地震研究所, 1976 b)。この地震活動が前記の遠笠山周辺の地震活動に関連したものかどうかを知るために、同町奈良本地区内に基点を設け、第 1 図のような放射状 4 基線の基線網 (東伊豆基線網) を設置した。

この遠笠山・東伊豆両基線網の第 1 回の測量は、前者は 1976 年 1 月、後者は 1976 年 2 月に行い、以後 1977 年 2 月までそれぞれ 3 回の繰返測量を行った。このうち本報告では主に遠笠山基線網について、1977 年 2 月に行った第 4 回目までの測量結果とその検討・考察を簡単にまとめてみた。なお、この間の結果の概略は、地震

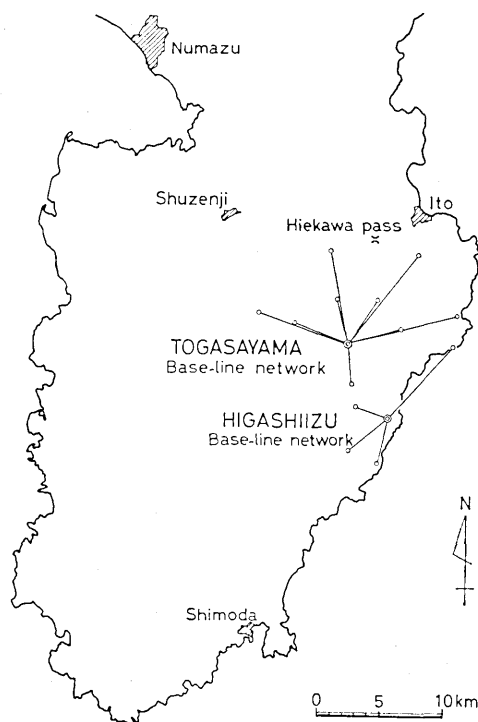


Fig. 1. Location of base-line networks in Izu Peninsula.

予知連絡会会報（地震研究所，1976d，1977a）に報告されている。

## 2. 遠笠山基線網

### 2.1. 基準点選点と基線配置

基線網の設置に先立って，1976 年 1 月 7 日から，遠笠山周辺地域の予備調査で，基点および反射点の選点を行った。

この作業に際しては，第 1 回の測量の実施が急がれることと，また，なるべく他の測地測量等の成果と比較しやすいよう考慮して，可能な限り国土地理院の三角点を使用することにした。その際基線長と方向についても，水平歪の蓄積範囲を効率よく検出できるよう放射状基線網を採用し，それぞれの方向に中距離（7～9 km）・短距離（3～5 km）の基線の組合せを作った。第 2 図はこのようにして選定した基線配置である。

しかし，この 10 点の予定基準点のうち，次に述べる地点は周囲の状況と視通の関係などの事情から，三角点そのものの使用が不可能であったため，止むを得ずその付近に基準点新設を行った。そのひとつは，この基線網の基点（器械点）に予定していた遠笠山々頂の三角点（標高，1196.9 m）である。ここは周辺の構造物に視野が妨げられるため，三角点の南方約 25 m の位置にある地上高約 6 m の丸太組の櫓（伊豆観光開発株式会社所有）

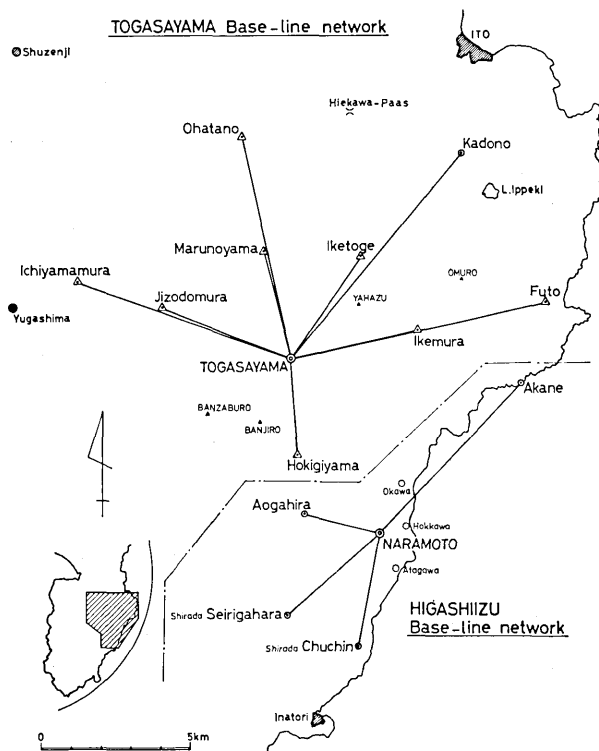


Fig. 2. Base-line networks in the northeastern part of Izu Peninsula.

上に測量器を設置することにし (第 3 図), 標識をこの櫓のほぼ中心直下の地中に埋設した. 他の 1 点は中距離基線網の反射点にあたる伊東市荻地区の三角点であって, 遠笠山の視通不能のため, 隣接した門野地区に 金属標識を埋設して, 門野 (Kadono) 反射点とした.

## 2.2. 測量と測量結果

遠笠山基線網においては, 1976 年 1 月 23, 24 日に短距離・中距離両基線網の 9 基線について第 1 回目の測量を行った. この測量に使用した光波測距儀は AGA Geodimeter で, 短距離基線 (池村, 池峠, 丸野山, 地藏堂村, 簗木山) に model 700 (第 4 図) を, 中距離基線 (富戸, 門野, 大幡野, 市山村) は model 8 (第 5 図) を使用した. 反射鏡は基線長に応じてそれぞれ 6 素子, 7 素子, 9 素子に合成した AGA プリズム (第 6 図) を使用した.

気象観測 (気温, 湿度, 気圧) は, 基点と中距離基線の各反射点で, 測量作業中 5~15 分間隔で同時測定を行うようにした. 以後 4 回目の測量まで作業はこれと同一方式で行った.

今回のような異常隆起域における測量には, 常に高精度の測量結果が要求されるところから, 次のような点に特に留意した.

i) Geodimeter の変調周波数の較正.

ii) Geodimeter の測距検定 [震研地下 55 m 基線] (笠原, 他, 1968)

以上の調整, 検定は, 可能な限り測量の出発前と帰着後に実施した.

次の第 1 表は, 測量に使用した光波測距儀の特性・定数等の諸要素 (AGA Geodimeter Operating Manual による) の抜萃と, 短距離基線の比較測距検定を行った結果の中から, その一部を記したものである.

この表中, 震研地下および村山基線場 (国土地理院) における測距結果から, それぞれの光波測距儀の, 測距特性 (器差) が読取られる.

又, 現地においては,

i) 反射点, 器械点における三脚据付の精度を器械, 反射鏡の地上高については  $\pm 10$  mm 以内におさめること (各測量回の間).

ii) 測量時刻は可能な限り一定に保ち, 日没約 1 時間前より測定を開始すること.

iii) 基線ごとの測定回数は, model 8, model 700, とともに 5 セット以上とすること. を心がけた.

測定結果の整理は従来と同様, 現地で暫定値を計算するほか, 帰着後あらためて器械定数, 気象, 器高差などの補正を行い, 平均斜距離, 標準偏差, 及び歪量, 歪主軸, 剪断歪, 面積膨張等を 計算機 (IBM System/360) により最終計算 (笠原他, 1969) した. その結果を次の第 2 表, 及び各図に表してみた.

第 2 表 (測距結果) は, 遠笠山基線網における測距 (平均斜距離) 結果である. 上段の 4 基線は中距離基線網, 下段の 5 基線は短距離基線網に対応する. 同表中  $4D_1$  は 1 回目からの累積距離差を表し,  $4D_2$  は各測量回毎の距離差である. なお, 1977 年 2 月の第 4 回測量では強風のため遠笠山々頂 (櫓上) の作業が途中から困難となり, 短距離基線網の測量は中止した. 従って中距離基線網の結果のみ記してある.



Fig. 3. Instrument station of the Togasayama base-line network (top of Mt. Togasayama).



Fig. 4. AGA Geodimeter model 700.



Fig. 5. AGA Geodimeter model 8.

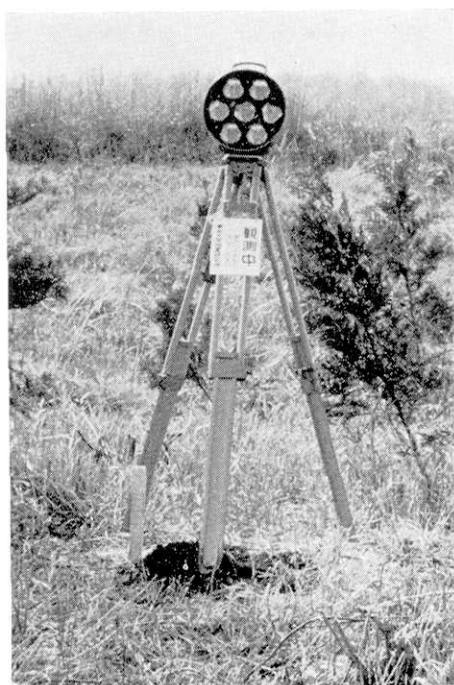


Fig. 6. Reflector with 7 AGA prisms.

Table 1(a). Instrument specification of AGA geodimeter model 8 and model 700 (AGA Geodimeter Operating Manual).

Technical specification	Model 8	Model 700
Accuracy	$\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ mm/km}$	$\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ mm/km}$
Modulation frequencies	F <sub>1</sub> 29970.000 kHz F <sub>2</sub> 30044.922 kHz F <sub>3</sub> 31468.500 kHz F <sub>4</sub> 31465.500 kHz	F <sub>1</sub> 299.700 kHz F <sub>2</sub> 29970.000 kHz F <sub>3</sub> 30000.000 kHz
Frequency accuracy	$\pm 0.5 \times 10^{-6}$	$\pm 0.5 \times 10^{-6}$

Table 1(b). Calibration of AGA geodimeter model 8 and model 700 at the Murayama base-line (G. S. I.) and E. R. I. basement base-line.

Date	Model 8	Model 700	Base-line length
1975. 6	m 55.007	m 55.012	m 55.000 $\pm 10 \text{ mm}$ (E. R. I.) *
" 10	—	55.010	
1976. 3	55.004	55.010	
" 4	55.008	55.011	
" 9	55.007	55.012	
1977. 2	55.005	55.010	
1977. 6	m 1100.805 $\pm 2 \text{ mm}$	m 1100.820 $\pm 3 \text{ mm}$	m 1100.813 (G. S. I.) **

\* Measurement by steel tape.

\*\* Measurement by invar wire.

第7図は、第2表の結果から得られた累積歪量の時間的变化を図示したものである。前述の観測誤差を歪量に換算したものを各回の変化量に付記してある。又、同図中 1977 年 2 月 (4 回目) の際の中距離基線 T-K, T-Iy 2 基線につけてある斜線の巾は、測定時の強風により機器設置の偏心誤差を最大に見積った場合の相当歪量を表すものである。

第8図は、第7図の累積歪量の方位分布を分布のパターンとして図示したものである。第1回 (1976 年 1 月) から第2回 (1976 年 4 月) までの3ヵ月間の変動傾向が、短・中距離基線網相互間で相似していること、さらに詳しく見れば特に短距離基線網において縮み傾向が顕著であることが認められよう。

第9図は、中距離基線を3本ずつ4通りに組合せて、歪主軸の向きと大きさ、剪断歪及び面積膨張を計算した結果である。(なお、1977 年 2 月第4回測量の結果は、前述の理由により測定誤差が大きいので、この計算に使用するの是不適当と思われるので除外してある)。

### 2.3. 測量結果の検討

以上の測量結果についての簡単なまとめとして考察と検討を以下に述べる。なお、この



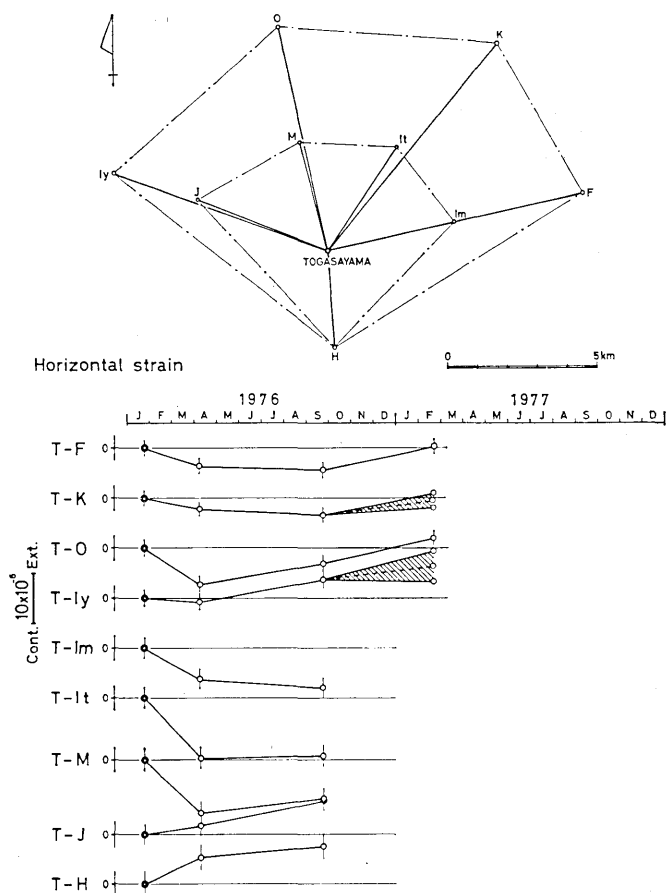


Fig. 7. Accumulation of horizontal strains at the Togasayama base-line network (Jan. 1976~Feb. 1977).

Shadowed area represents observational error (Feb. 1977).

光波測量成果を含めた伊豆半島の異常隆起に関する総合的なまとめが、津村 (1976) により 1976 年 12 月の地震予知シンポジウムに報告されている。

遠笠山基線網について見れば、短・中距離基線網ともに 1 回目と 2 回目の約 3 カ月という短期間に、北・北東側に約  $1 \times 10^{-5}$  の顕著な縮みがみられ、それに比して南・西側の基線では若干の伸びがみられることがまず注目される。しかし第 3 回 (1976 年 9 月) の結果では、短・中距離基線網ともに北・北東側の縮みの量が減少するか、又は伸びに転じたのに対して、南西側では有意な伸びが続いている。その後第 4 回 (1977 年 2 月、ただし中距離基線網のみ) の結果からみると、前述の偏心誤差を見込んだとしても、4 基線ともにはほぼ第 1 回 (1976 年 1 月) 当時の数値に戻るか、又は第 3 回 (1976 年 9 月) 以降横ばいとなっており、いずれにせよ変動進行が鈍化した傾向は明らかである。

このような水平変動の空間的分布や時間的経過は、他種の観測結果、すなわち、地震研

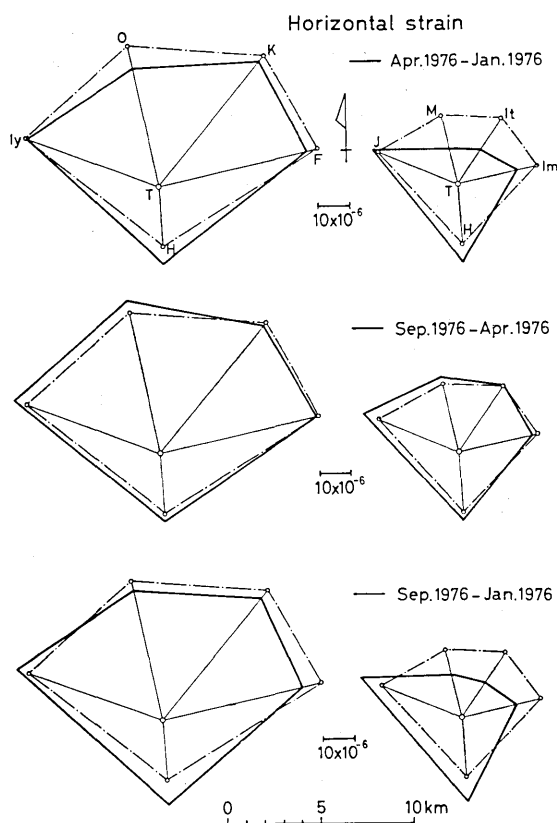


Fig. 8. Schematic view of horizontal strains at the Togasayama base-line network.

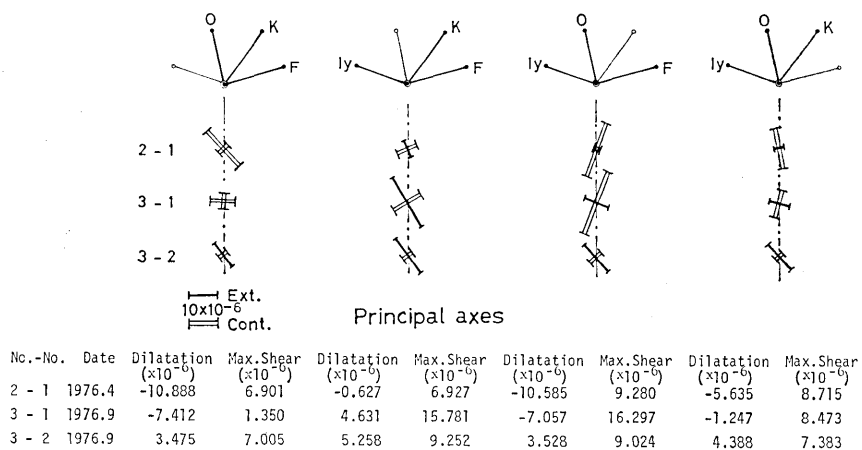


Fig. 9. Principal axes, dilatation and maximum shear of horizontal strain derived from the four intermediate length base-lines of the Togasayama base-line network.



究所地震移動観測班の地震観測による、遠笠山周辺における群発地震の発生状況の推移 (地震研究所, 1977 c) や、国土地理院による水準測量及び光波測量 (徳永基線網) の結果 (国土地理院, 1976, 1977), さらには、1974 年以降の地震研究所測地移動観測班による精密重力測定の結果 (地震研究所, 1977 b) 等からも推定される。異常隆起域の発達過程

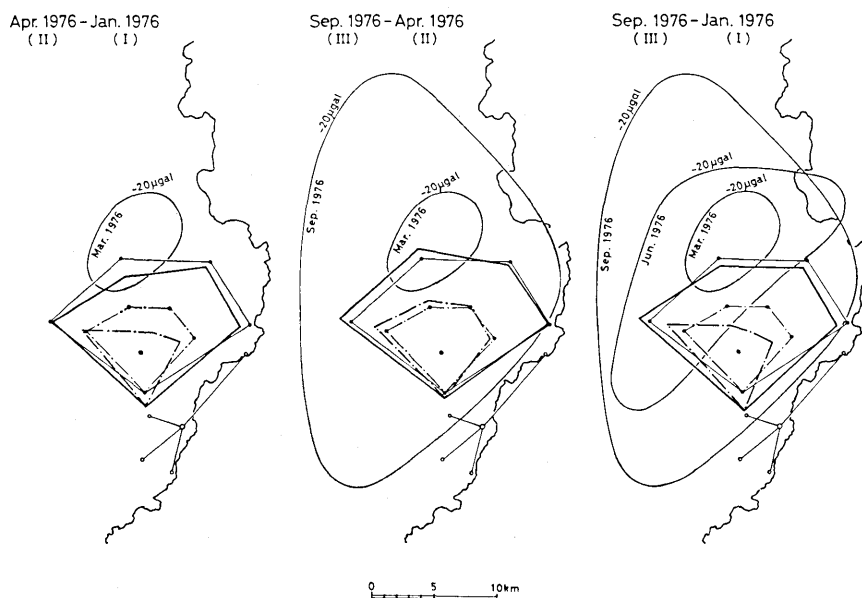


Fig. 10. Horizontal strains as compared with gravity changes (after the E. R. I. Geodetic Survey Party).

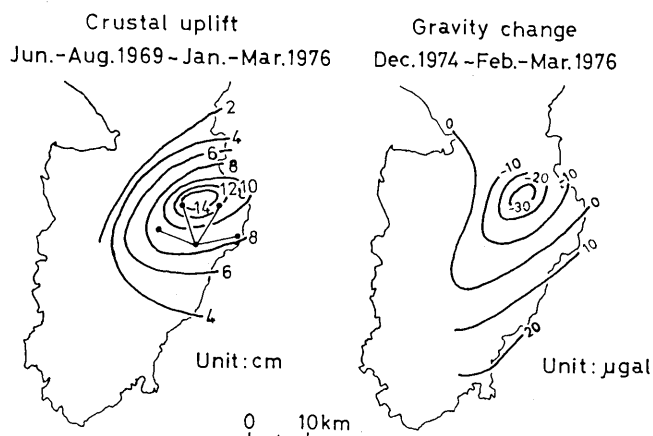


Fig. 11. Crustal uplift (data obtained by the G. S. I.) and gravity change (data obtained by the E. R. I.).

(隆起中心部の移動と、隆起域の南西側への広がり)と定性的に良く調和しているように思われる(第10図)。これらのことから、今回の異常隆起を説明するために、萩原等(1976c)は精密重力測定の結果から、茂木モデル(MOGI, 1958)による一つの解釈を試みている。われわれの光波測量結果のうち、初期(1976年1月~4月)の基線網北・北東側の顕著な縮みは、この萩原の解釈によって比較的よく説明できるように思われる(第11図、第12図)。

### 3. 東伊豆基線網

この基線網は、Geodimeter model 700により放射状4基線について、1976年2月、5月、9月・1977年2月と4回の測量を行った。さきに述べた通り、そ

の目的は北川地区の地震活動と遠笠山周辺の地震活動との関連を知ることであるが、設置時期が有感地震( $M=3.6$ )の発生後であったことと、この地域の群発地震活動が比較的短期間かつ小規模(地震研究所, 1976b)であったためか、全般としてその水平歪の変化量は小さく、特に顕著な変動を検出することができなかった(第3表)。

ただ、西方向の青ヶ平(Aogahira)基線には、第2回(1976年5月)から第3回(1976年9月)までの4ヵ月間に、約 $6 \times 10^{-8}$ の有意と思われる伸びが見られる。これは、青ヶ平基線の反射点が、遠笠山基線の筈木山(Hokigi-yama)反射点と同一山体に設置されていることから、異常隆起域の南への広がりの影響によるものではないかと思われる。

### 4. おわりに

今回の伊豆半島における異常隆起現象については、水準測量・精密重力測定等による上下変動の観測結果から、前述の萩原の解釈の他に、石橋(1977)、藤井(1977)等によっても別の説明が試みられている。

今後、われわれとしては、今年秋に予定された観測を行うことにより、これまでに得られた光波測量結果を更に補足して、他の諸観測とともに異常現象の総合的解明に資するつもりである。

なお、この遠笠山東伊豆両基線網の予備調査・測量に従事したメンバーは次の通りであ

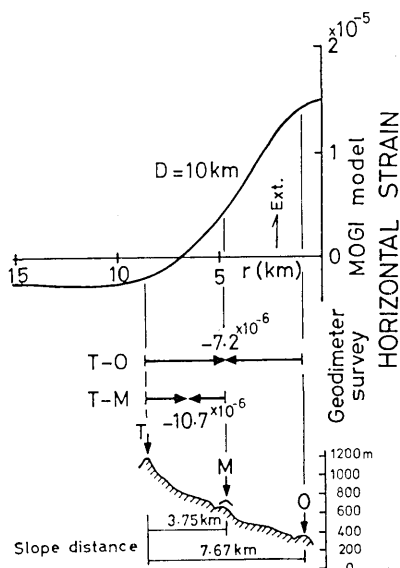


Fig. 12. Horizontal strain calculated from the Mogi model (by Y. Hagiwara), and observed at the Togasayama-Ohatano (T-O) and Togasayama-Marunoyama (T-M) base-line by geodimeter surveys. (bottom: topographical cross-section)

る。

地殻変動移動観測班。

柴野睦郎・松本滋夫・平田安広、

富士川地殻変動観測所。

岡田義光・渡辺 茂。

## 5. 謝 辞

現地では、測量の実施に際して下記の各機関に大変お世話になった。その御協力に対して厚くお礼申し上げる次第である。

遠笠山基線網。

1. 伊豆観光開発株式会社、

同 天城高原管理センター、

2. 日本電信電話公社伊東統制無線中継所、

3. 国土地理院地殻調査部地殻活動調査室。

東伊豆基線網。

1. 三菱地所住宅販売株式会社、

三菱地所住宅販売株式会社あたがわ温泉別荘地管理事務所、

2. 東伊豆町役場、同熱川支所、

3. 伊東市役所観光経済部観光課。

また、地震研究所火山物理研究部 竹田豊太郎技官には測量で、地殻変動研究室 平井正代助手には計算処理で、それぞれ御援助を戴いた。なお、測量結果の整理・検討については、萩原幸男助教授に貴重な資料の参照などたびたび御教示を戴き、笠原慶一教授には本報告の通読、検討等もあわせていろいろ御指導を戴きました。ここに併せて感謝の意を表したい。

今回の測量実施の費用の一部は、各務財団の研究奨励金および、昭和 51 年度文部省科学研究費「関東地方における 群発地震活動地域の総合的研究 (代表者: 浅田 敏)」によってまかなわれた。関係当局に謝意を表する。

## 文 献

- 藤井陽一郎, 1977, 伊豆半島地殻隆起のクリープモデル, 地震予知連絡会会報, 17, 68-70.  
 萩原幸男・田島広一・井筒屋貞勝・花田英夫, 1976, 1975~1976 年における伊豆半島東部の重力変化, 測地学会誌, 22.4, 201-209.  
 石橋克彦, 1977, 伊豆半島異常隆起のクリープ・モデル —伊豆東方線スラスト深部の非地震性断層運動—, 地震予知連絡会会報, 17, 65-67.  
 笠原慶一・岡田 惇・柴野睦郎・佐々木幸一・松本滋夫・平井正代, 1968, 光波測量による地殻変動の観測, 第 2 報, 関東・中部地方における基線網の増設と観測結果 (昭和 41・42 年度), 地震研究所彙報, 46, 741-758.  
 笠原慶一・岡田 惇・柴野睦郎・佐々木幸一・松本滋夫・平井正代, 1969, 光波測量による地殻変動の観測, 第 3 報, 既設基線網の再測ならびに中型基線網の設定 (昭和 43 年度), 地震研究所彙報, 47, 803-818.  
 国土地理院地殻調査部, 1976, 伊豆半島中部の地殻変動, (1), 地震予知連絡会会報, 16, 82-87.  
 国土地理院地殻調査部, 1977, 伊豆半島中部の地殻変動, (2), 地震予知連絡会会報, 17, 59-64.

- Mogi, K., 1958, Relation between the eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **36**, 99-134.
- 東京大学地震研究所地震移動観測室・地震活動研究部門, 1976a, 伊豆半島北東部の群発地震 (1), 地震予知連絡会会報, **15**, 91-93.
- 東京大学地震研究所地震移動観測室・地震活動研究部門, 1976b, 伊豆半島北東部の群発地震 (2), 地震予知連絡会会報, **16**, 77-81.
- 東京大学地震研究所測地移動観測班, 1976c, 伊豆半島の重力変化 (I), 地震予知連絡会会報, **16**, 95-98.
- 東京大学地震研究所地殻変動観測班, 1976d, 伊豆半島北東部の光波測量 (1), 地震予知連絡会会報, **16**, 99-100.
- 東京大学地震研究所地殻変動移動観測班, 1977a, 伊豆半島北東部の光波測量 (2), 地震予知連絡会会報, **17**, 37-39.
- 東京大学地震研究所測地移動観測班, 1977b, 伊豆半島の重力変化 (II), 地震予知連絡会会報, **17**, 45-47.
- 東京大学地震研究所地震移動観測室・地震活動研究部門, 1977c, 伊豆半島東部の群発地震 (1976 年 5 月—10 月), 地震予知連絡会会報, **17**, 71-75.
- 津村建四朗, 1976, 伊豆半島の異常地殻活動と地震予知, 地震予知研究シンポジウム, 46-55.

# 10. *Geodimeter Surveys in the Northeastern Part of the Izu Peninsula. (Part 1)*

By the CRUSTAL MOVEMENT SURVEY PARTY and the  
FUJIGAWA CRUSTAL MOVEMENT OBSERVATORY,  
Earthquake Research Institute.

An earthquake swarm has been active since October, 1975, in the region around Mt. Togasa, in the northeastern part of Izu Peninsula. In order to monitor accumulation of horizontal strain in this region, we constructed a base-line network for electro-optical distance measurements and repeated surveys for three times since January, 1976, using two AGA geodimeters of model 700 and model 8. Two of the base-lines registered significant contraction, which amounted to  $1 \times 10^{-5}$  in the period, January—April, 1976.

Leveling work in the period, January—March, 1976 by the Geographical Survey Institute, has revealed anomalous land uplift between 1969 and 1976 in a region with Hiekawa Pass as its center. The uplift amounted to 15 cm, and the area of recognizable uplift (3 cm or more) extended to about 30 km in diameter. In addition to that, the results of precise gravity surveys repeated by the Earthquake Research Institute for several times in the 1974—1977 period indicated significant gravity changes in the sense consistent with the leveling results as stated above.

Distribution and temporal changes of horizontal strain deduced from our geodimeter surveys in this period are well explained as the surface extension and contraction due to the accumulation of conforcal uplift as deduced from the leveling and gravity data.