

29. 東伊豆地域の光波測量結果と 歪の蓄積・解放過程

地震研究所
加藤照之
松本滋夫
平田廣安
渡辺茂

(昭和 58 年 7 月 26 日受理)

要　旨

地震研究所の光波移動班は最近の伊豆半島の地殻活動による地殻歪の変化を監視する目的で 1976 年から光波測量を東伊豆地域において実施してきた。東伊豆基線網では 1983 年 2 月までに 8 回の測量が行われ、7 期間について辺長変化が求められた。この結果を用いて歪解析を行ったところ、以下に示すような、この地域の地殻活動との興味ある相関が認められた。

- (1) 歪変化から求められた歪の主軸は、各期間共、一方が伸び、他方が縮みを示す。このことは地震のメカニズムや活断層が横ずれ型であることと調和的である。
- (2) 期間毎の主歪のパターンは (a) 北西-南東縮み・北東-南西伸び、と (b) 北西-南東伸び・北東-南西縮み、の 2 種類に大別され、これらは地震活動の低い時期と高い時期にそれぞれ対応する。これは、フィリピン海プレートが北西進して本州と衝突していることを考え合わせ、地震活動の低い時期には地殻内に歪が蓄積し、ある限界値をこえて地震活動が活発化すると歪が解放され、主歪のパターンが反転すると考えればよく説明できる。

1. はじめに

伊豆半島東部では 1974 年 5 月 9 日に発生した伊豆半島沖地震 ($M=7.4$) を契機として地殻活動が活発化した（例えば、津村他, 1977, 津村, 1980）。この活動には河津付近の群発（1976 年 8 月、最大 $M=5.4$ ）、遠笠山、北川、川奈崎を中心とする群発地震活動、1978 年 1 月 14 日の伊豆大島近海地震 ($M=7.0$)、冷川峠を中心とする地殻異常隆起（国土地理院, 1976）などが含まれる。地震研究所の光波移動班は、これらの地殻活動による地殻歪の変化を調査する目的で、伊豆半島東部の遠笠山および東伊豆に光波測距用の基線網を設置した（第 1 図；地震研究所, 1977）。観測は 1976 年に始められ、遠笠山基線網は 1978 年 7 月の観測を最後に、基点の金属標と樁を亡失したため中断のやむなきに至っているが、東伊豆基線網はその後も観測が続行されている。本論文では 1983 年 2 月までに行われた東伊豆基線網における測量結果を報告する。また、歪解析を行い、地震活動を考慮しつつ、この地域の最近の地殻歪の変化過程について簡単な考察を行う。なお 1976 年 2 月から 1980 年 10 月までの 7 回の測量結果の詳細については既出の報告（地震研究所移動観測班, 1976, 1977a, 1977b, 1979; 松本他, 1980）を参照して頂きたい。

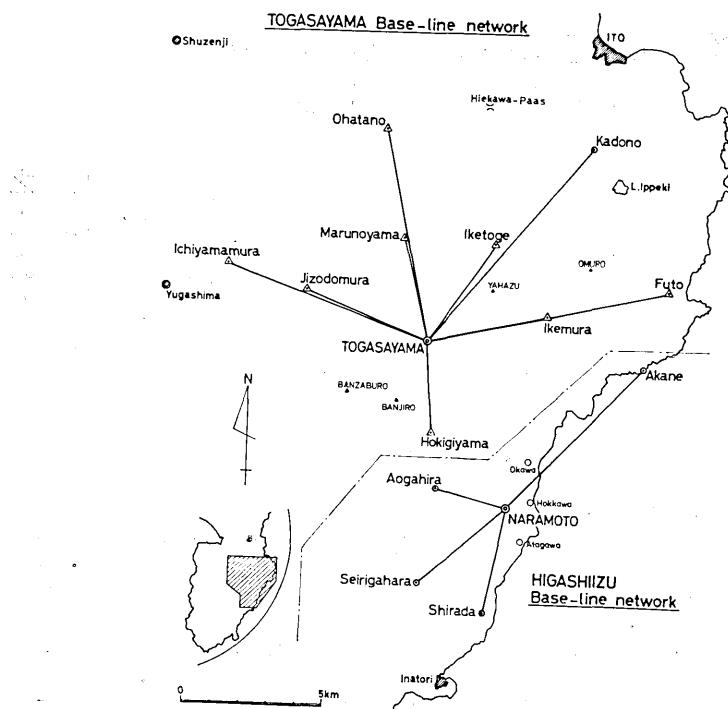


Fig. 1. Base line networks in the northeastern part of Izu peninsula.

Table 1. Changes in the base line length at the Higashi-Izu base line network.
HIGASHI-IZU Base-line

Date	AKANE			SHIRADA			SEIRIGAHARA			AOGAHIRA		
	D m	D1 mm	D2 mm	D m	D1 mm	D2 mm	D m	D1 mm	D2 mm	D m	D1 mm	D2 mm
1976. 2.	6882.907			3771.356			4222.852			2598.945		
1976. 5.	.918 +11	-7		.357 +1	+4		.863 +11 -2			.945 0		
1976. 9.	.911 +4	-7		.361 +5	+4		.861 +9 -2			.960 +15 +15		
1978. 1.	.936 +29 +25			.561 +205 +200			.898 +46 +37			.977 +32 +17		
1978. 6.	.945 +38 +9			.575 +219 +14			.911 +59 +13			.972 +27 -5		
1979. 1.	.926 +19 -19			.567 +211 -8			.905 +53 -6			.988 +43 +16		
1980.10.	.901 -6 -25			.572 +216 +5			.893 +41 -12			.980 +35 -8		
1983. 2.	.884 -23 -17			.552 +196 -20			.875 +23 -18			.980 +35 0		
(R/M-III)	6882.877			3771.547			4222.869			2598.971		

2. 観測経過及び結果

東伊豆基線網は奈良本を中心とする放射状 4 基線で構成されている(第 1 図)。反射点は北から時計廻りに赤根(N 43.5°E, 約 6.9 km), 白田(N 189.5°E, 約 3.8 km), 濱入ヶ原(N 226.3°E, 約 4.2 km), 青ヶ平(N 289.5°E, 約 2.6 km)である。観測計器は観測開始当初よりアガ(AGA)社製 700 型が用いられてきたが, 最近米国コイフェ

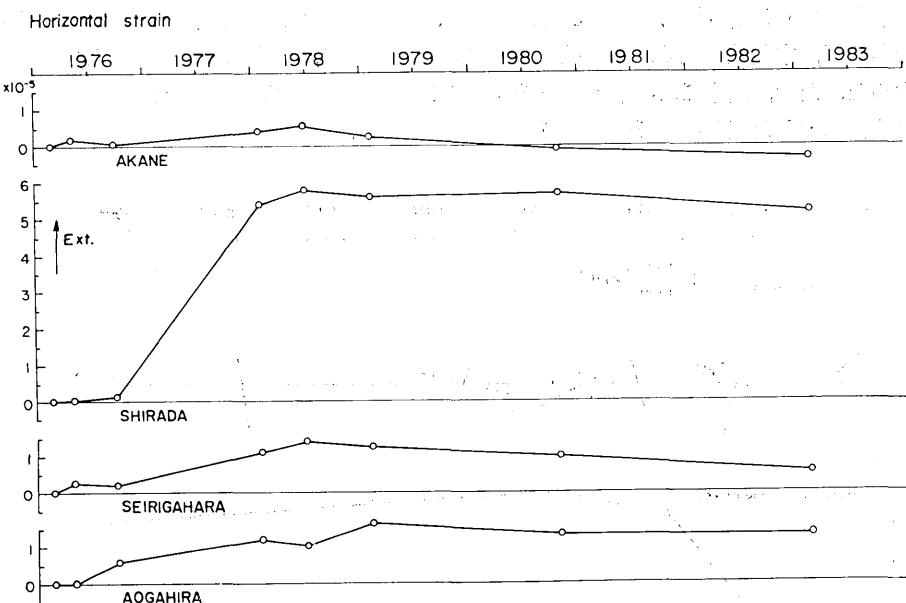


Fig. 2. Cumulative horizontal strains at the Higashi-Izu base line network.

ルアンドエッサー (K & E) 社製レンジマスター III 型が導入された為 1983 年 2 月には両機種を用いての並行観測が行われた。今後はレンジマスター III 型による観測へ移行する予定である。

第 1 表にこれまでの観測結果を示す。最下段にはレンジマスター III 型による測距結果をあわせて示してある。松本他 (1983) は、レンジマスター III 型は 700 型に比べ數 mm~十数 mm 短かくでると述べているが、ここでもその傾向があらわれている。しかし、その差は光波測距の際の許容誤差限界 (松本他, 1983,などを参照) よりはかなり小さく、長い基線の赤根 (約 7 km) でも約 7 mm であり、富士川河口基線網の帳ヶ塚基線 (約 6 km) で見られたような大きな差 (21 mm; 松本他, 1984) は今回の比較観測では見出されなかった。

得られた測距結果から各基線の累積歪変化を示したのが第 2 図である。1978 年 1 月、即ち伊豆大島近海地震直後の観測で白田に大きな伸びが見られるのは、この地震の際に発生した反射点近傍の地すべりによるもので (松本他, 1980), テクトニックな変動を反映しているのではないようである。この他には大きな歪変化は見られないが、1978 年頃までは全体として伸び、以後は縮みの傾向にある。この基線網近傍では、数多くの群発地震活動が発生しており (例えば、津村, 1980; 地震研究所, 1981, 1982a, 1982b, 1983), これらの活動による歪変化が測定結果にあらわれているようである。松本他 (1980) は第 6 回 (1979 年 1 月) と第 7 回 (1980 年 10 月) の測定結果を比較し、歪変化が、1980 年 6 月の群発地震の際の最大地震 ($M=6.7$) の震源メカニズムから期待されるものとよく調和することを示した。次節ではこの考え方をさらにすすめて歪変化とこの地域の地震活動の相関を考察する。

観測された基線距離の変化から主歪、面積歪、最大ずり歪を計算して、それぞれの変化

(面積歪については蓄積量)を第3図に示した。原理的には3基線で歪要素の解が求まるのであるが、本基線網は4本の基線で構成されているので、最小二乗法を適用して最適解を求めた。なお、図中1976年9月～1978年1月の期間の主歪は伊豆大島近海地震の影響で非常に大きな値なので10分の1に縮めて示した。

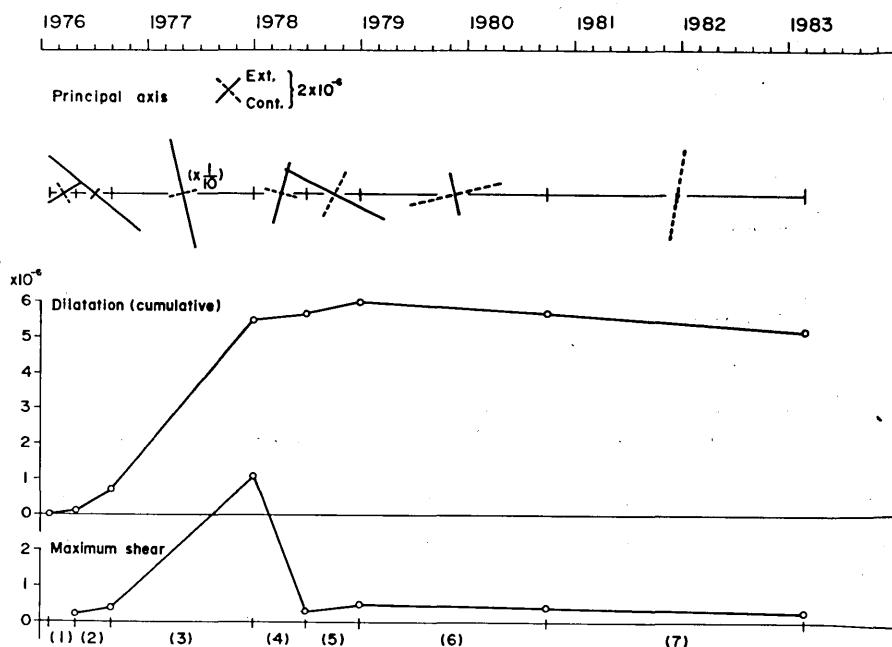


Fig. 3. Principal axes of horizontal strains, dilatation (cumulative) and maximum shear deduced from successive distance measurements at the Higashi-Izu base line network.

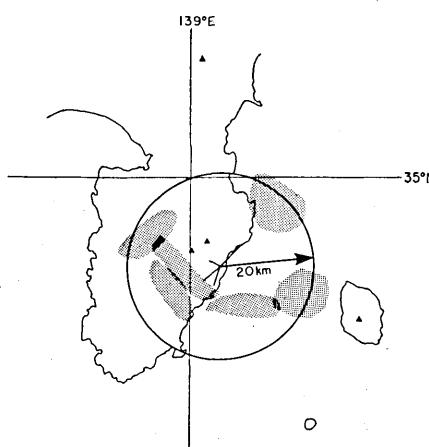


Fig. 4. A circle with a radius of 20 kilometers. The earthquakes in this area are used for accounting the cumulative energy release.

3. 考 察

第3図の主歪パターンから、この地域の歪変化を考察してみる。まず、この図で特徴的なことは、いずれの期間においても2本の主歪の符号が異なっていることである。いいかえると、一方の主軸が伸びを示す時、これと直交するもう一方の主軸は必ず縮みとなっている。このことは、中間主歪軸が鉛直になっていることを示唆する。このような歪状態からは横ずれ型の断層運動が予想され、伊豆半島の多くの活断層や地震のメカニズムが横ずれ型であるという事実と調和的である。さらに、これら主歪のパターンは次の2つに大別できる。即ち、(a) 北西-南東方向の縮みと北東-南西方向の伸び(期間(1), (4)), および(b) 北西-南東方向の伸びと北東-南西方向の縮み(期間(2), (3), (5), (6))である。このような歪パターンの変遷は地震活動と何らかの関係があるのだろうか。

各観測期間における地震活動の様子を次に調べてみた。基点である奈良本(34.8238°N , 139.0673°E)を中心に、最近の群発活動を含むように半径20km, 深さ0~20kmの範

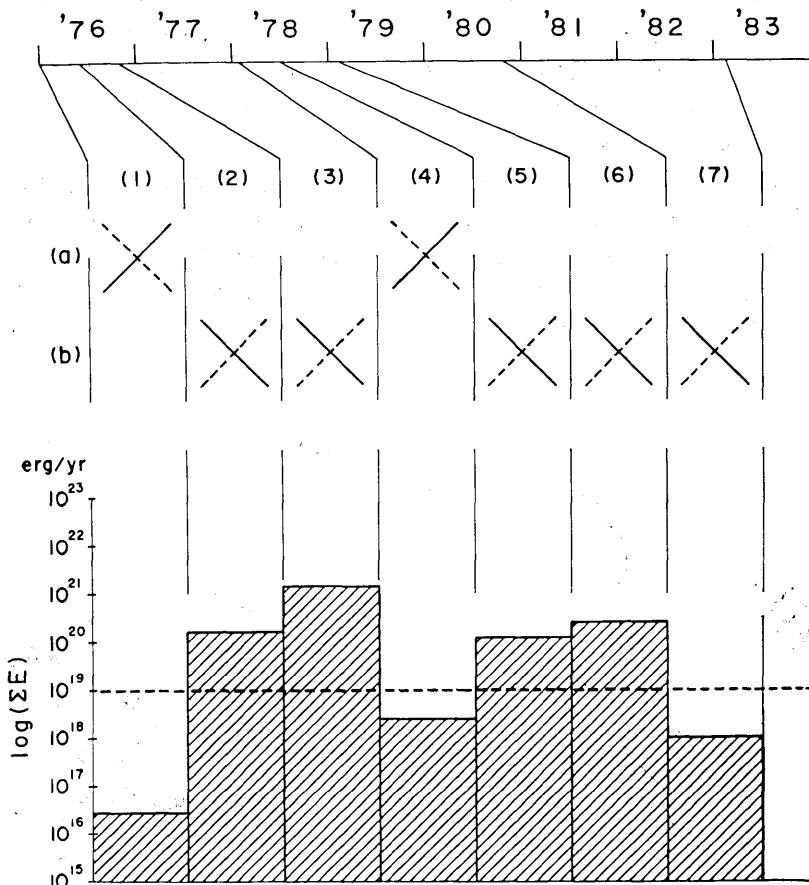


Fig. 5. Logarithm of cumulative energy released by earthquakes that occurred within 20 km from the base (Naramoto) of the Higashi-Izu network (see Fig. 4). Types of principal axes of strains are also shown; they are (a) NW-SE contraction, NE-SW extension, (b) NW-SE extension, NE-SW contraction.

囲をとり(第4図), 地震研究所の伊豆ネットによって, この地域内に震源とマグニチュードの求められた地震のエネルギー放出量を算出した. 但し, 半径 10 km 以上の地域は光波基線網の地域外なので, そこからの寄与は小さいと考えて 10 分の 1 の重みを与えた. 各期間における放出エネルギー積算率になおし, さらにその対数をとって, 第5図に棒グラフで示した. 同図には上述した主歪パターンを模式的に示してある.

この図から直ちにわかるることは, 地震エネルギーの放出速度が小さい時には, パターン(a)即ち北西-南東方向の縮み, 逆に地震エネルギーの放出速度が大きい時にはパターン(b)即ち北西-南東方向の伸び, となっていることである. これらの状況を模式的に示したのが第6図である. 伊豆半島東部はフィリピン海プレート上にあって常に北西-南東方向に圧縮応力を受けているとされている(例えば, SOMERVILLE, 1978; 中村, 1980; 中村・島崎, 1981). このような考え方方で従えば, 地震が発生していない時は弾性歪が蓄積しつつある時期であると考えられ, 最大主圧縮軸も北西-南東方向を向く(第6図(a)). 地殻内の歪が増加して弾性歪の限界値を越え, 地震が発生すると, 震源近傍の地殻内歪は解放される. このときの主歪はおおよそ逆のパターンとなる(第6図(b)). 我々の結果は, このような歪の蓄積・解放の過程を忠実に映し出していると言えよう. 第5図の点線は, 第4図の半径 20 km の円板(厚さ 20 km)が $1 \times 10^{-6}/\text{yr}$ の歪を受けた時に生ずる弾性歪エネルギーの蓄積速度である. つまり, 地震による歪エネルギーの解放がこのレベルを越えると主歪パターンが(a)から(b)に変わることが予想され, 期間(7)を除いてはこのような予測とよく一致する. これは, 上述した歪の蓄積・解放の過程についての我々の考え方方が妥当であることを示している. なお, 期間(7)では地震活動が低いにもかかわらず歪が解放されつつあるように見えるが, これについては非地震性地殻変動による歪の解放等, 別の機構を考える必要があるが, そのような可能性については今後の調査結果を待ちたい.

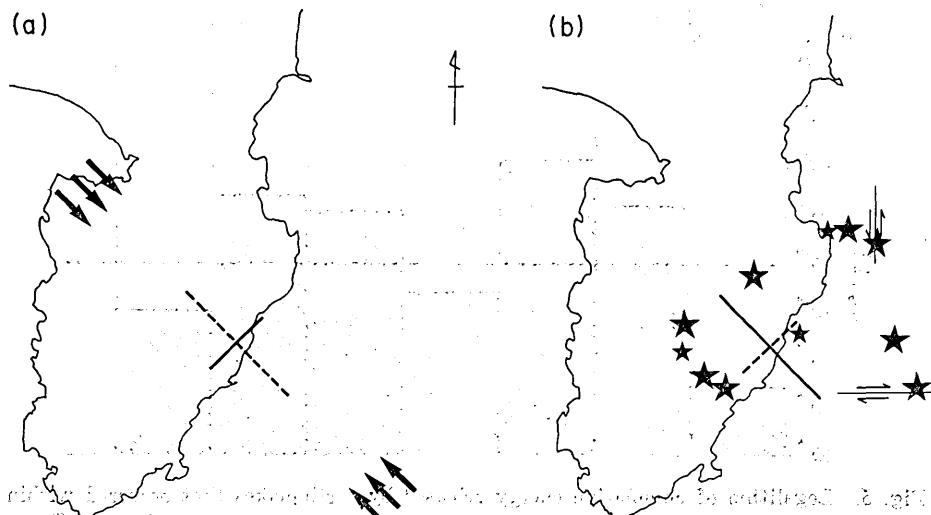


Fig. 6. Hypothetical mechanisms of strain accumulation (a) and release (b) process in the Izu peninsula.

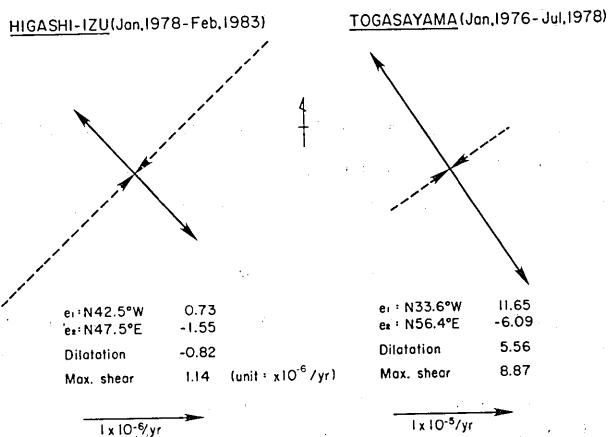


Fig. 7. Principal axes of horizontal strains at the Higashi-Izu network for the period Jan. 1978-Feb. 1983 and at the Togasayama network for the period Jan. 1976-July 1978.

最後に、第7図左に1978年1月、即ち伊豆大島近海地震直後から1983年2月までの期間の平均的な主歪のパターンを示した。この期間では約 $7 \times 10^{-7}/\text{yr}$ の北西-南東伸びとなっており、78年の地震以後も引き続きこの地域では全体として弾性歪解放のモード、言い換えば地震活動の活発な期間になっていることが推察される。又、同図右には遠笠山基線網の1976年～1978年における平均的な主歪を示した。計算には9基線のデータすべてを用いて最適解を求めた。ここでも東伊豆の結果と同じパターンが見られるが、その大きさ（歪解放速度）は一桁大きい。解析期間には伊豆大島近海地震が含まれているので、この地震による影響が大きいのかもしれない。

4. まとめ

本論文では1976年1月から1983年2月までの、東伊豆基線網において行われた光波測量の結果について報告し、歪解析を行って地殻歪の変遷の様子を明らかにした。さらに、得られた歪のパターンおよびその変化について若干の考察を行い次の2点が推察された。

- (1) 2本の主歪の符号が常に異なり、この地域の中間主歪の軸が鉛直方向を向いていることを示唆する。これは、伊豆半島の断層型や地震メカニズムから予想されるものと調和的である。
- (2) 主歪は、北西-南東の縮み、又は北西-南東の伸びの2つのパターンに分けられ、地震によるエネルギーの解放速度の小さな時期、大きな時期とそれぞれ対応する。言い換えれば、これらは弾性歪エネルギーの蓄積期と解放期にあたるものであると考えられ、これはより広域のテクトニック応力場と調和的である。

以上述べたように、我々の観測結果は東伊豆地域の地殻歪の変遷をかなりよくとらえていると思われる。地震活動が鎮静化するに従い再測間隔が長くなりつつあるが、加藤（未発表資料）によれば、伊東においては1983年2月現在もなお隆起が引き続き進行してい

るので、もうしばらくはこの地域の変化を監視してゆく必要性があると思われる。

謝 辞

伊豆の地震資料の整理に際しては地震研究所の津村建四朗助教授（現在、気象庁気象研究所）、唐鎌郁夫氏、並びに宮武隆氏に御世話になった。また、笠原慶一教授には観測当初より常に激励と助言を賜わった。これらの方々に深く感謝する次第である。

文 献

- 国土地理院地殻調査部, 1976, 伊豆半島中部の地殻変動, 地震予知連会報, **16**, 82-87.
 松本滋夫・平田安廣・加藤照之・渡辺 茂, 1980, 東伊豆基線網における光波測量, 震研彙報, **55**, 1091-1095.
 松本滋夫・平田安廣・加藤照之・渡辺 茂, 1983, 光波測距儀の同時比較観測 (AGA 8型, AGA 700型, および K & E レンジマスター III型), 震研彙報, **58**, 465-475.
 中村一明, 1980, 伊豆のテクトニクスとプレートの曲がり, 地球, **2**, 94-102.
 中村一明・島崎邦彦, 1981, 相模・駿河トラフとプレートの沈み込み, 科学, **51**, 490-498.
 SOMERVILLE, P. G., 1978, The accommodation of plate collision by deformation in the Izu block, Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **53**, 629-648.
 東京大学地震研究所地殻変動観測班, 1976, 伊豆半島北東部の光波測量 (1), 地震予知連会報, **16**, 99-100.
 ———, 1977a, 伊豆半島北東部の光波測量 (2), 同上誌, **17**, 37-39.
 ———, 1977b, 伊豆半島北東部における光波測量 (1), 震研彙報, **52**, 151-162.
 ———, 1979, 伊豆半島北東部の光波測量 (4), 地震予知連会報, **22**, 125-129.
 東京大学地震研究所地震移動班・堂平微小地震観測室, 1981, 伊豆半島付近の地震活動 (1980年5~10月), 同上誌, **25**, 162-168.
 東京大学地震研究所地震移動班・地震活動研究部門, 1982a, 伊豆半島付近の地震活動 (1980年11月~1981年5月), 同上誌, **26**, 164-168.
 ———, 1982b, 伊豆半島付近の地震活動 (1981年6月~1981年10月), 同上誌, **27**, 145-149.
 ———, 1983, 伊豆半島付近の地震活動 (1982年6月~10月), 同上誌, **29**, 133-140.
 津村建四郎, 1980, 最近の伊豆半島の地震活動と地震予知, 地震予知研究シンポジウム (1980), 47-51.
 津村建四郎・唐鎌郁夫・荻野 泉・酒井 良・高橋正義, 1977, 伊豆半島における群発地震の観測 (1975~1977), 震研彙報, **52**, 113-140.

29. Geodimeter Surveys at the Higashi-Izu Base Line Network and the Process of Strain Accumulation and Release in the Area.

By Teruyuki KATO, Shigeo MATSUMOTO, Yasuhiro HIRATA
and Shigeru WATANABE,

Earthquake Research Institute.

We have conducted geodimeter surveys eight times at the Higashi-Izu base line network, eastern part of Izu peninsula, from February, 1976 to February, 1983. By analysing the observed distance changes for four base lines (2.6-6.9 km), the following features are suggested;

- (1) The two principal strain axes have appeared with mutually opposite signs, suggesting that the axis of intermediate principal strain is vertical. From this we may expect the strike-slip mechanism for earthquakes in this area. This account is consistent with the observed mechanism of earthquakes and the strike-slip active faults.
- (2) Temporal reversal of pattern of principal axes, i.e. contraction to extension and vice versa, correlates well with the sequence of energy release rate by earthquakes in this area. That is, when a NW-SE extension is observed, the energy release rate is generally higher and vice versa. This is readily understood from consideration that this area is subject to the NW-SE contraction due to convergence of the Philippine Sea plate against the Honshu block, and that the reversal of patterns of principal strains is attributed to release of the accumulated strain energy by crustal activities.