

## 第2章 地殻変動

地殻変動の観測は、地震観測と並んで地震予知のための必要不可欠な観測として位置づけられている。

首都圏においても、平常時の地殻変動の時間的空間的挙動を、長期的予知に有効な測地測量等の観測により把握するとともに、短期的予知に有効な直前異常現象の検出を目指し、各種観測項目の高密度テレメータ観測が続けられている。

### 測地測量

測地測量による地殻変動の観測は主として国土地理院が実施している。明治以来実施されてきた一等三角測量にかわり、光波測距儀による精密測地網測量が従来の一、二等三角点を使って実施されている。その第1回目の測量は昭和48年(1973年)から始まり、昭和54年(1979年)にかけ、都心部を除いて実施された。都心部の測量は、新しい技術上の問題点も多く、高層ビル建設による視通障害や既設三角点の亡失、移転改埋等、非常な困難を伴ったが、これらを克服して、昭和57年(1982年)から昭和62年(1987年)に行われた第2回目の測量時に終了させた。現在、第3回目の測量を昭和63年(1988年)、房総半島南部から実施中である。

一方、この全国的な定期的測量に加えて、昭和45年(1970年)から昭和48年(1973年)にかけて相模湾を中心とした南関東地域の第1回目の精密変歪測量を実施して以来、ほぼ2年毎に同地域で実施している。また、東京都とその周辺地域では、高層ビルを利用した首都圏精密変歪測量を昭和48年(1973年)以来実施している。

水準測量については、首都圏では、ほぼ5年周期を別途とした全国的定期的改測が実施され、最近では第7回〔昭和59年(1984年)～昭和60年(1985年)〕が終了した。

一方、この全国的な定期的測量に加えて、首都圏では水準測量が地盤沈下調査を含め、たびたび繰り返されているが、地盤沈下によるノイズを軽減させた首都圏精密基盤傾動測量が、昭和51年(1976年)以来繰り返し実施されている。さらに、関東地震(1923年、 $M=7.9$ )以降、油壺験潮場と日本水準原点間の一等水準測量は、頻繁に繰り返され、最近では毎年実施されており、三浦半島の変動を監視している。また房総半島南部の精密基盤傾動測量も昭和54年(1979年)からほぼ2年毎に繰り返し実施されている。

高密度短周期反復測地測量を用いた地殻変動の観測が、昭和62年(1987年)より、神奈川県西部地方において実施されている。

東京大学地震研究所では東京湾南部の浦賀水道～鋸山光波基線網の観測を、昭和40年代から実施しており、昭和58年(1983年)からは毎年実施している。

### 検潮

海岸昇降検知センターに現在登録されている関東地方の検潮所は銚子、東京、布良、岡田

(以上気象庁所属)、芝浦、千葉、横須賀、南伊豆(以上海上保安庁水路部所属)、勝浦、油壺、伊東、初島(以上国土地理院所属)の12ヶ所あり、他に潮位差観測場として真鶴(国土地理院所属)がある。これらの各潮位はテレメータにより常時監視下にある。

#### 地殻変動連続観測

首都圏における地殻変動連続観測については、各種の観測システムが整備されつつある。

国立防災科学技術センターは、深さ3000m前後の深層観測井を3ヶ所〔昭和48年(1973年)岩槻、昭和53年(1978年)下総、昭和55年(1980年)府中〕建設し、孔井式傾斜計による観測を行っている。また昭和53年(1978年)以降、関東・東海地域に孔井式傾斜計のテレメータ観測網を建設し、上記の深層観測井ほかの既設点を含め、現在23点が稼働中である。さらに、地殻内における歪の3成分観測を実現させるため、孔井式3成分歪計を開発し、現在4ヶ所でテレメータ観測を実施している。昭和58年(1983年)8月8日の山梨県東部の地震(M=6.0)に際して前兆的な傾斜変動を観測したほか、3成分歪計による信頼性の高い歪ステップ記録を得ている。

東京大学地震研究所では、昭和22年(1947年)に油壺地殻変動観測所が開設され、昭和52年(1977年)に新観測壕に移転し、現在に至っている。また鋸山観測所は昭和34年(1959年)に開設され、現在に至っている。両観測所とも横坑式で、水管傾斜計、水晶管伸縮計による標準観測を行うとともに多測点伸縮計を始め、種々の新しい計器のテスト及び開発に利用されている。データはすべて東京の地震研究所にテレメータされ、地殻活動総合観測線のデータと共に処理されている。筑波地震観測所では、水管傾斜計、水平振子傾斜計による観測を行っている。

気象庁では、南関東5ヶ所(網代、横須賀、館山、勝浦、銚子)で昭和52年(1977年)4月から埋めこみ式体積歪計による観測を始めた。その後、昭和56年(1981年)5月に湯河原、秦野、三浦、横浜、日野、鴨川、富津、大多喜、長柄、八日市場、伊豆大島の11地点において観測を開始した。これらのデータはすべて気象庁へテレメータされている。昭和61年(1986年)11月の伊豆大島噴火や昭和62年11月の再噴火の際には、周辺の観測点も含めて体積歪計の歪変化を記録した。

国土地理院では、昭和46年(1971年)に館山地殻活動観測場を開設し、現在、水晶管伸縮計、気泡型傾斜計による観測を実施している。これらのデータは筑波庁舎へテレメータされている。また筑波構内では深さ800mの深井戸観測井で傾斜観測を行っている。

#### 宇宙技術利用による地殻変動観測

首都圏では、高ノイズ地域のうえ、高層ビルの建設による視通障害等により、データを継続して取得することは困難になってきている。

このため、最近の宇宙技術を利用したGPS(汎地球測位システム)を用いた高精度地殻変動観測の新技术が開発されつつあり、実施可能なところから早急に整備されている。

国立防災科学技術センターでは、昭和63年(1988年)、関東・東海地域に10点よりなる固

定GPS観測網を整備し、テレメータによる連続観測を行っている。また平成元年（1989年）以降、首都圏を中心とする15ヶ所に固定GPS観測点を増強する計画である。

国立大学におけるGPS観測は、GPS大学連合を中心に実施されている。昭和63年（1988年）には、相模トラフ北西部に8大学が参加して大規模な合同観測を行った。

海上保安庁水路部では、西相模湾地域の地殻変動を監視するため、昭和63年（1988年）には、伊豆大島と真鶴の2点でGPS観測を実施した。平成元年（1989年）には、これらに加えて、城ヶ島及び伊豆白浜において観測を実施する計画である。

国土地理院では、関東・東海地域の精密変歪測量を実施した地域においてGPS試験観測を多数、繰り返し実施するとともに、衛星の精密軌道決定のための態勢を整備しつつある。又今後は、その主要地点においてテレメータ化を順次進める計画である。また、通信総合研究所の協力を得て筑波-鹿島間ではVLBI（超長基線電波干渉計）による距離観測を実施している。

GPSによる相対測位精度は、 $\sim 10^{-6}$ の精度が得られており、衛星配置の改善に伴い、測位精度は更に向上することが見込まれている。

## 地殻応力

昭和53年（1978年）以来、関東・東海地域で水圧破壊法による地殻応力測定を実施、得られた最大水平圧縮応力方位の分布より、応力区等に関する研究を行っている。測定結果は、応力解放法による応力測定や浅発地震の発震機構解より推定される応力方位とよく一致し、大局的にはプレート間の運動に調和的である。しかし、関東平野中央部や山間部を支配している応力の状態は、単純にプレート運動だけでは説明しきれず、今後データの追加を図りつつ、解明していく必要がある。

## 参 考 文 献

- 藤田尚美・海津 俊：測地学会誌，**31**（1985），333-339.  
田中 稜・五味武彦：測地学会誌，**35**（1989），印刷中  
神定健二・ほか：鹿児島国際火山会議論文集，（1988），286-289.  
気象庁地震予知情報課：地震予知連絡会会報，**40**（1988a），237-242.  
気象庁地震予知情報課：地震予知連絡会会報，**40**（1988b），291-301.  
国土地理院：地震予知連絡会会報各巻  
国土地理院：日本の地殻水平歪，（1987）.  
佐藤春夫・ほか：地震2，**37**（1984），197-205.  
Shimada, S. et al: Tectonophysics, **144**（1987），207-214.  
塚原弘昭・池田隆司：応用地質，**29**（1989），印刷中  
山田尚幸：地震学会講演予稿集，（1988），No 1，66.

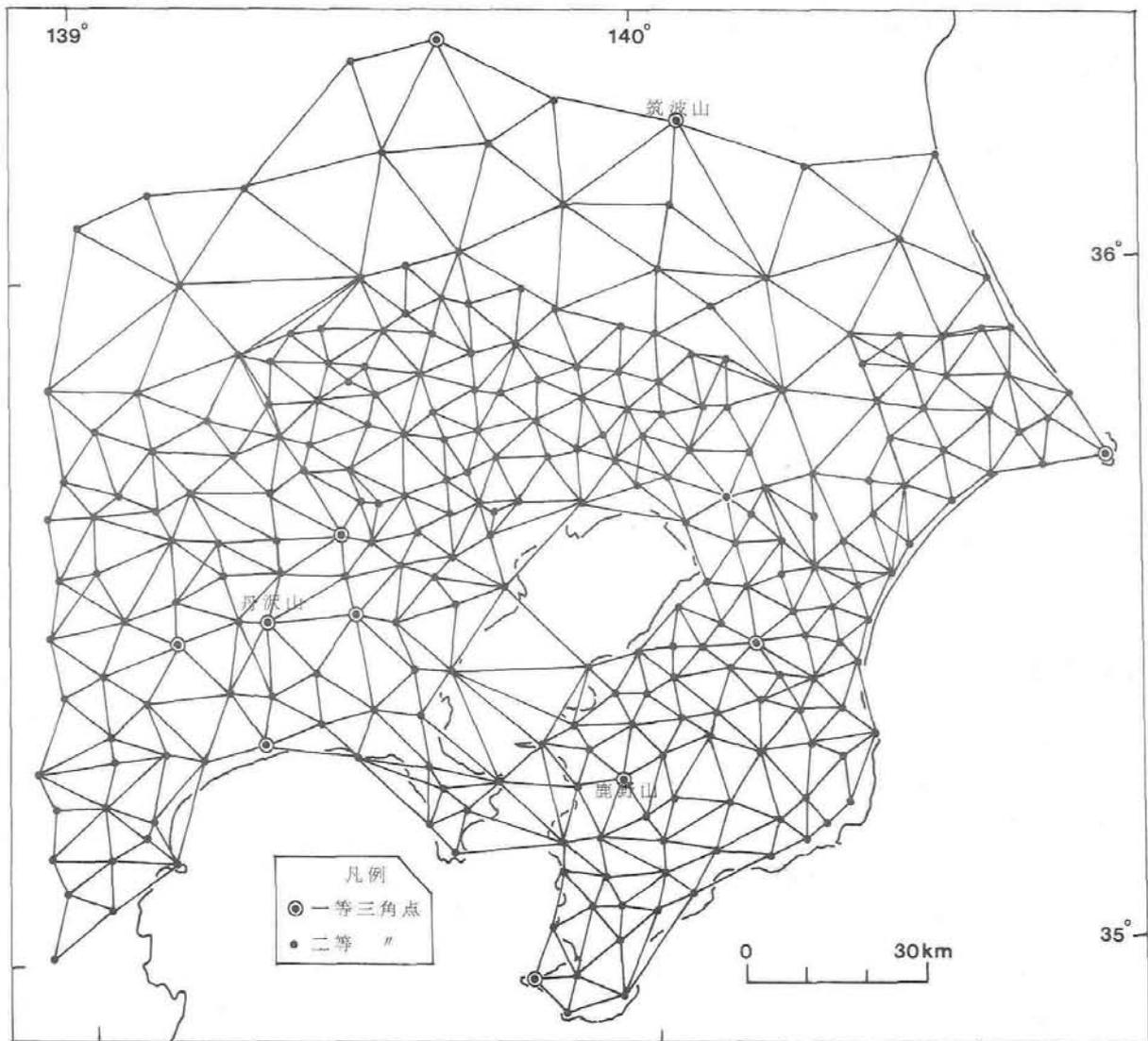


図 2 - 1 関東地方における精密測地網測量一次基準点（従来の一、二等三角点を統合した呼称）測量網図。精密測地網測量は全国を 5 年周期で改測し、地殻変動を監視している。細かい目の三角網を標準網（平均三角点間距離 = 8 km）、粗い目の三角網を中距離網（平均三角点間距離 = 20 km）という。

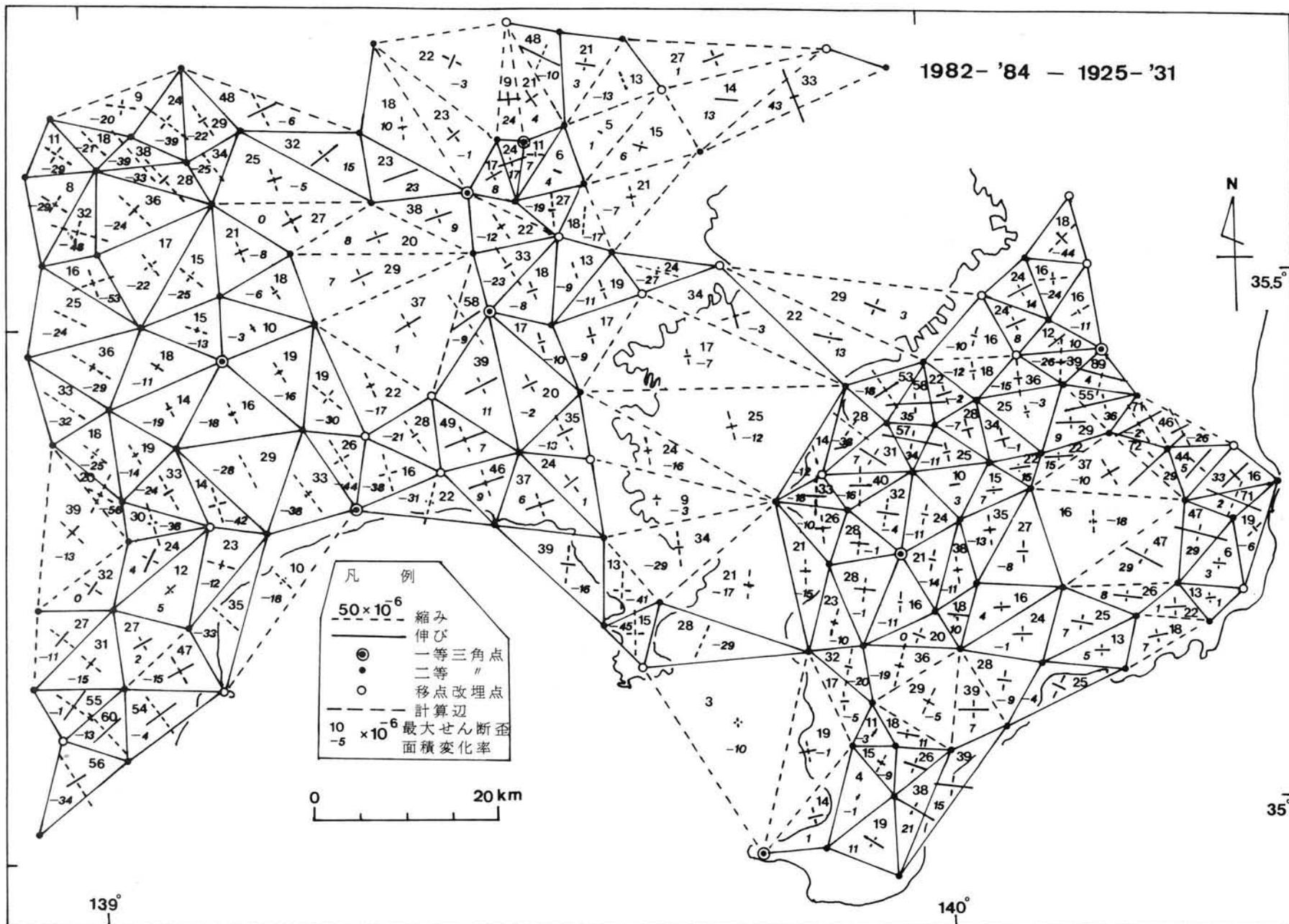


図2-2 南関東地方の地殻水平歪 1982-'84 (第2回一次基準点測量) ~ 1925-'31 (関東震災・北伊豆震災復旧測量)。最近50~60年間の水平歪。東京湾西岸一房総半島地域では南北方向の、それ以外の地域では北西-南東方向の圧縮歪になっている。フィリピン海プレートのもぐり込みと衝突によるものと考えられる。



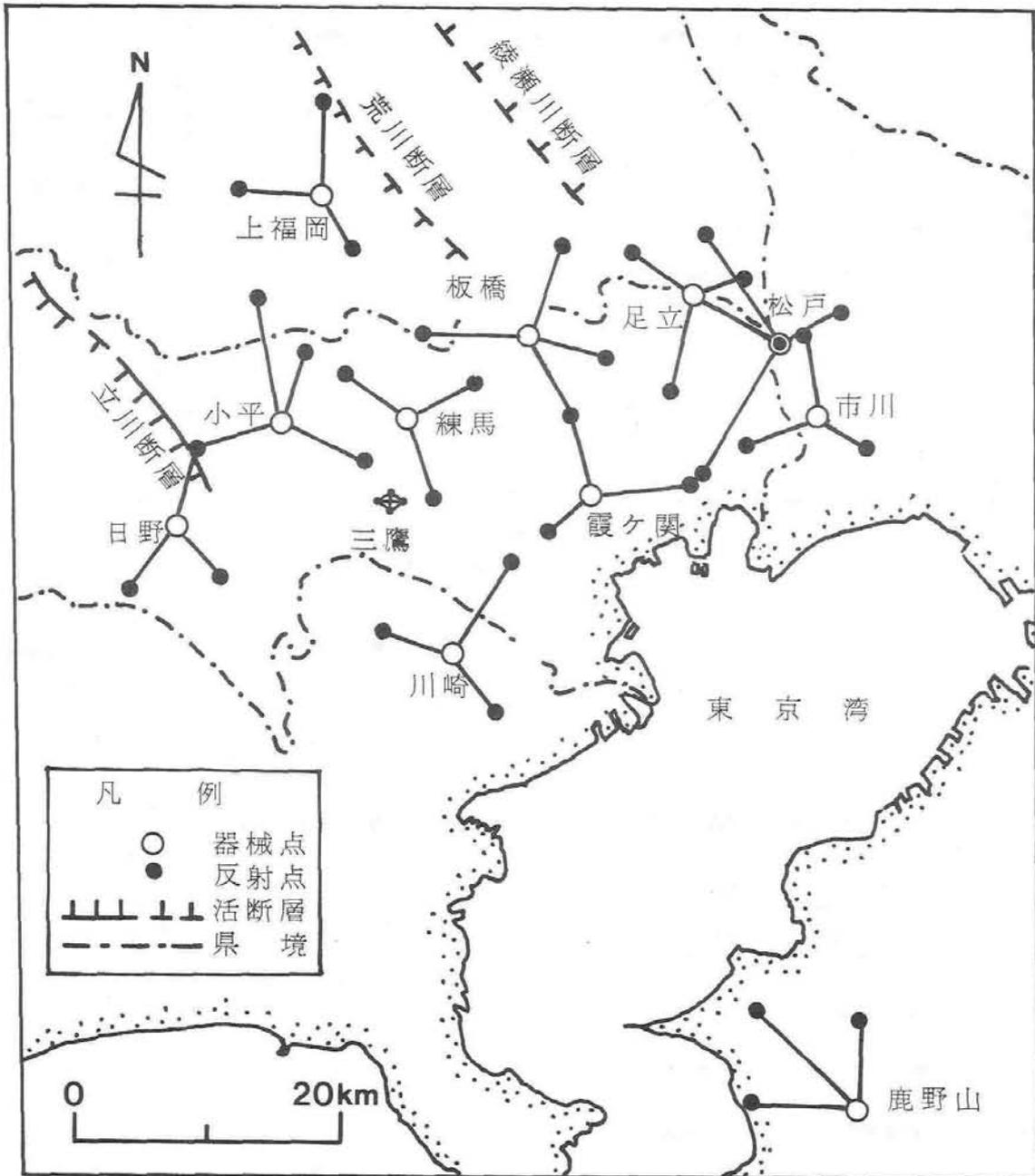
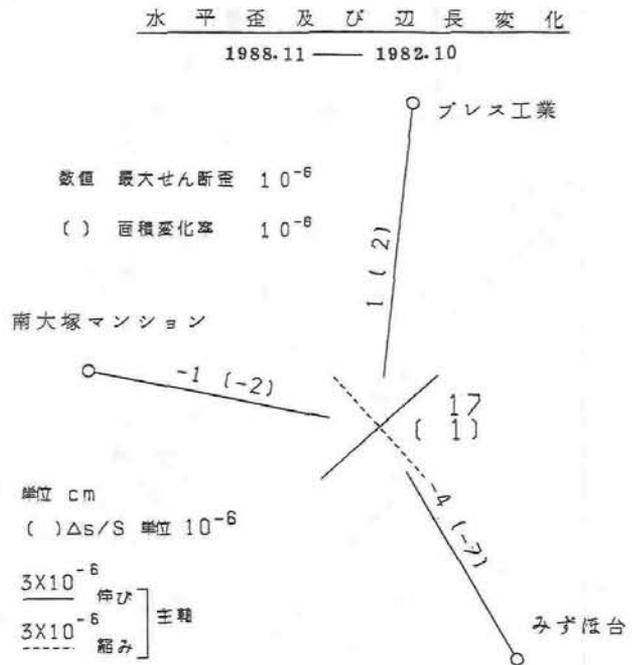
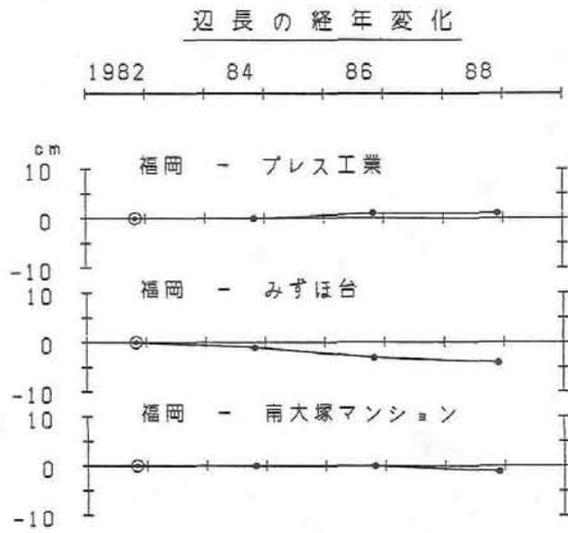


図 2-3 首都圏精密変歪測量網図。ビルの屋上に基準点を設置し，放射基線網を構成している。近年高層ビル建築により視通障害が多くなっており，GPS 測量に切り替える予定である。

## 上 福 岡 精 密 変 歪 測 量 結 果



## 小 平 精 密 変 歪 測 量 結 果

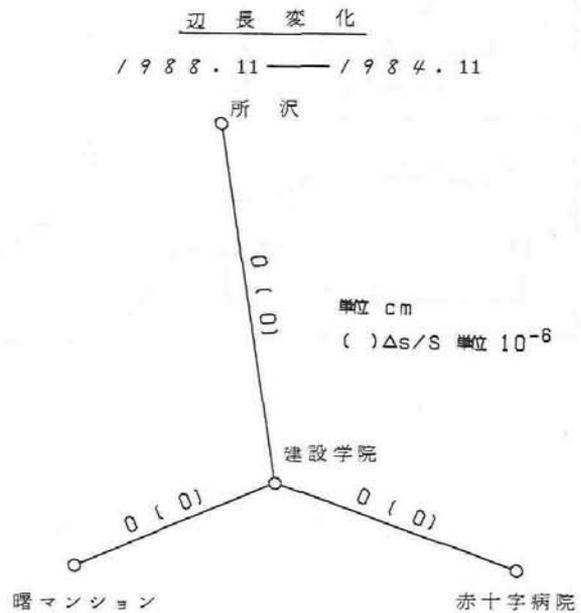
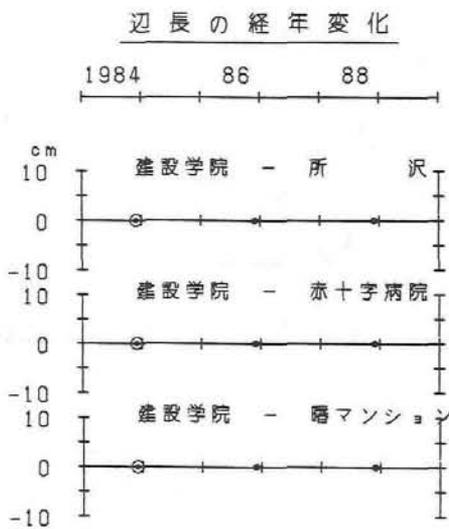
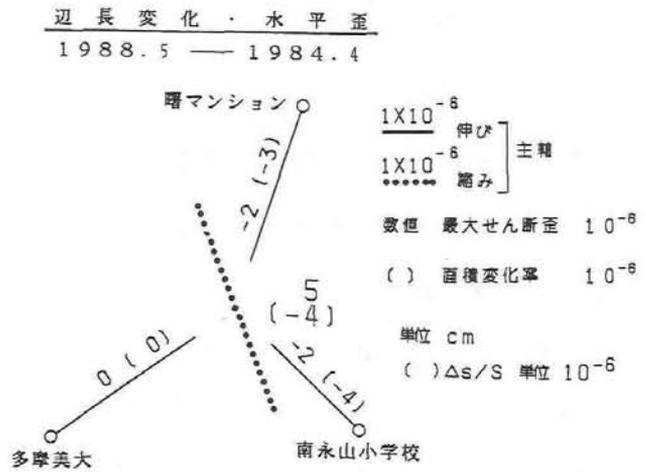
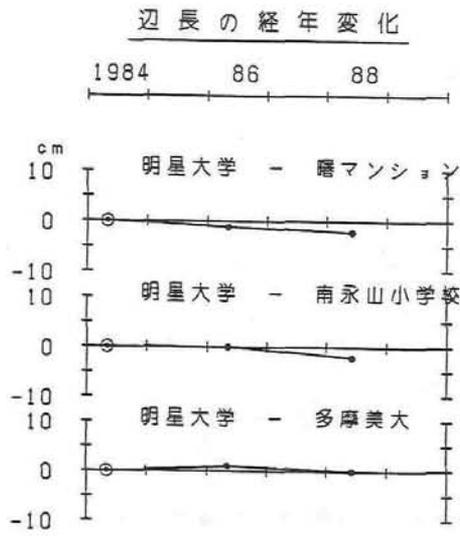


図 2 - 4 首都圏精密変歪測量結果。何れの放射基線も測量誤差をうわまわる変動はみられない。辺長のスケールは図 2 - 3 参照 (以下同じ)。

## 日野精密変歪測量結果



## 練馬精密変歪測量結果

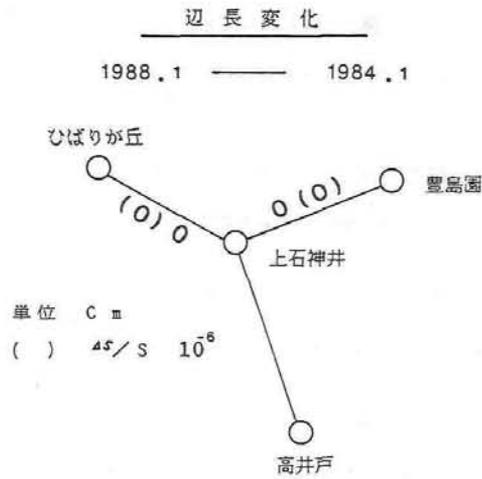
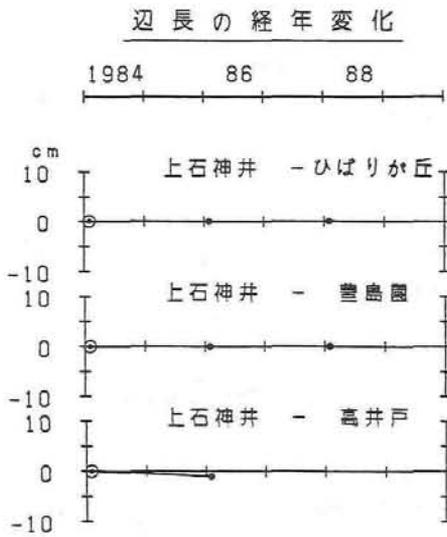
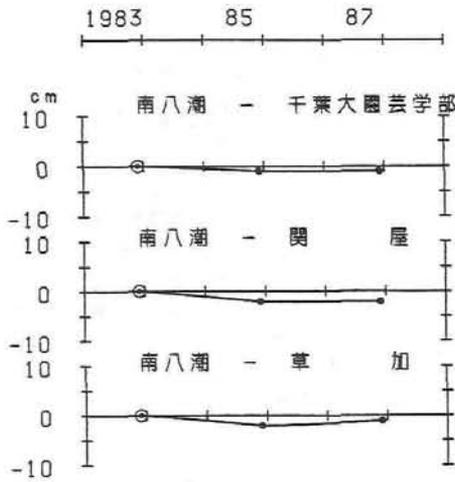


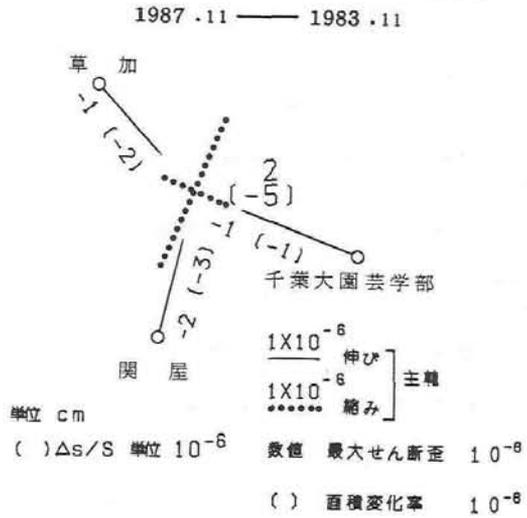
図 2-4 (つづき) 首都圏精密変歪測量結果。

# 足立精密変歪測量結果

## 辺長の経年変化

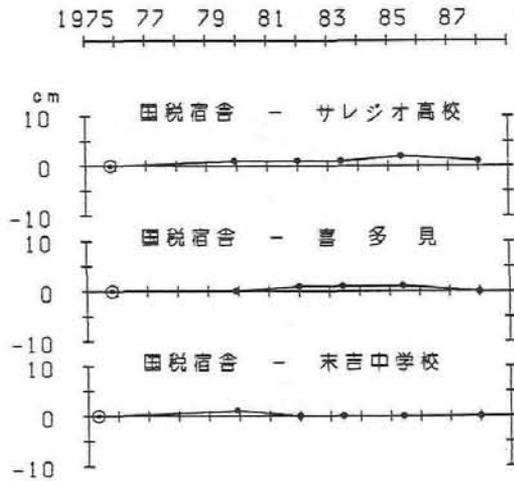


## 水平歪辺長変化



# 川崎精密変歪測量結果

## 辺長の経年変化



## 辺長変化

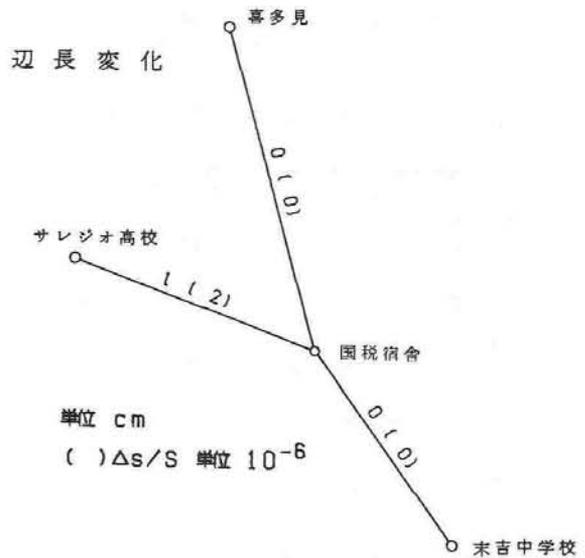
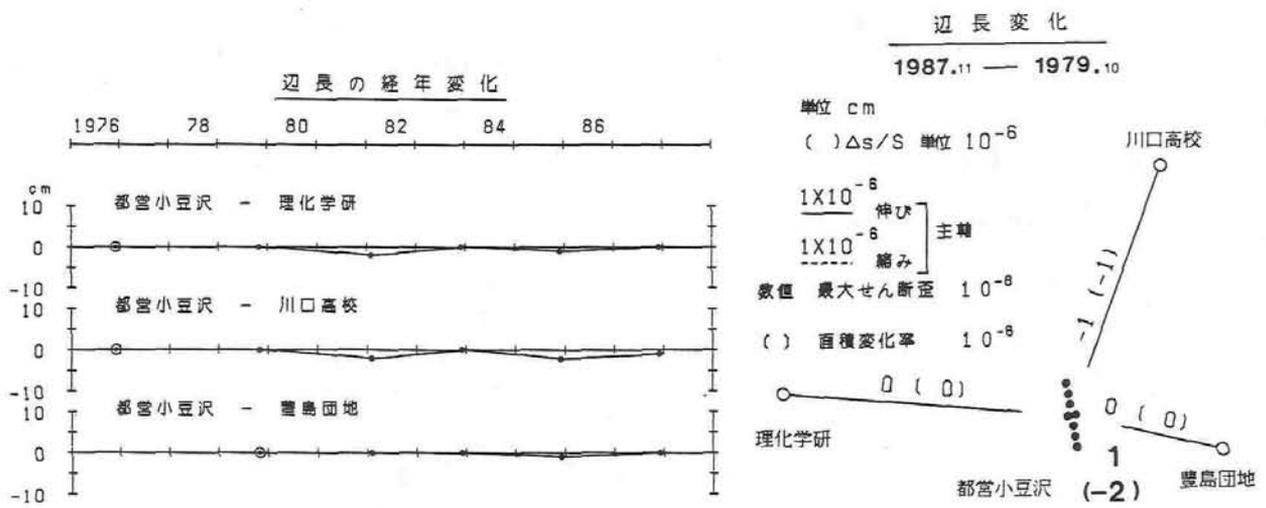


図 2-4 (つづき) 首都圏精密変歪測量結果。

# 板橋精密変歪測量結果



# 霞ヶ関精密変歪測量結果

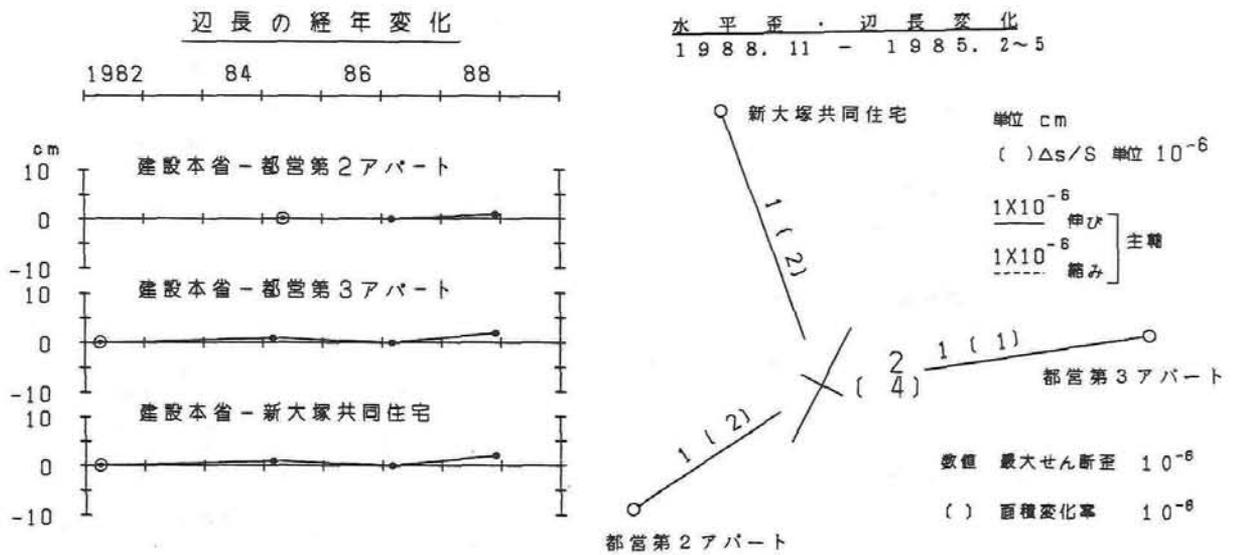
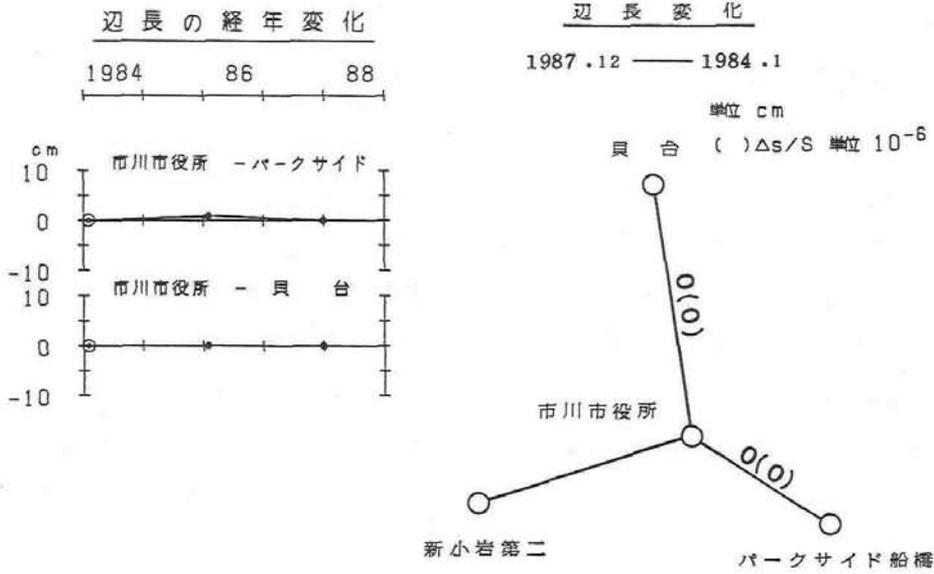


図 2-4 (つづき) 首都圏精密変歪測量結果。

## 市川精密変歪測量結果



## 松戸精密変歪測量結果

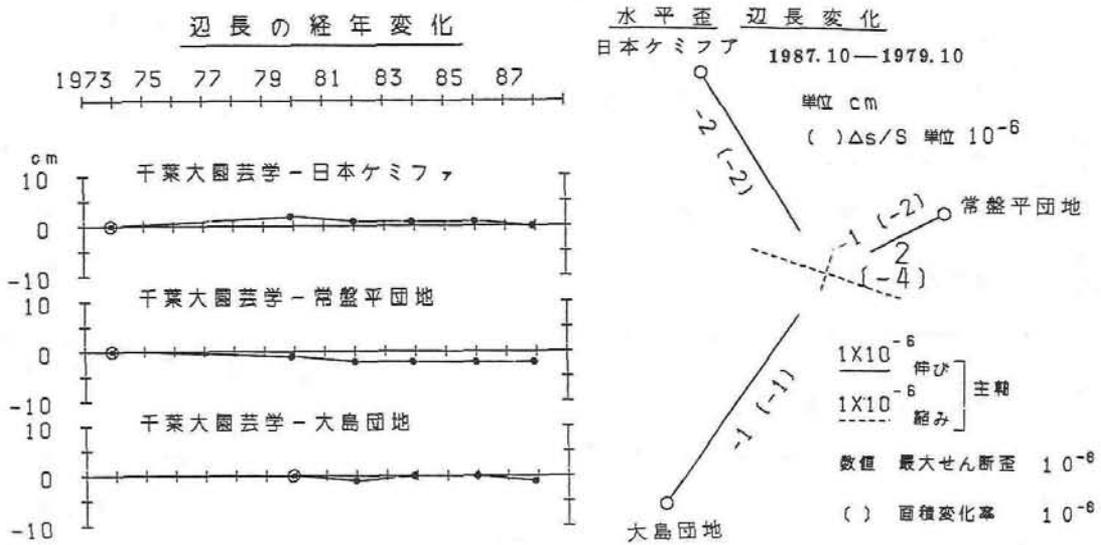
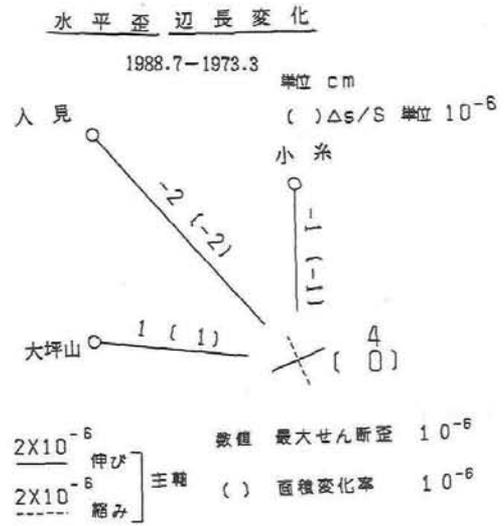
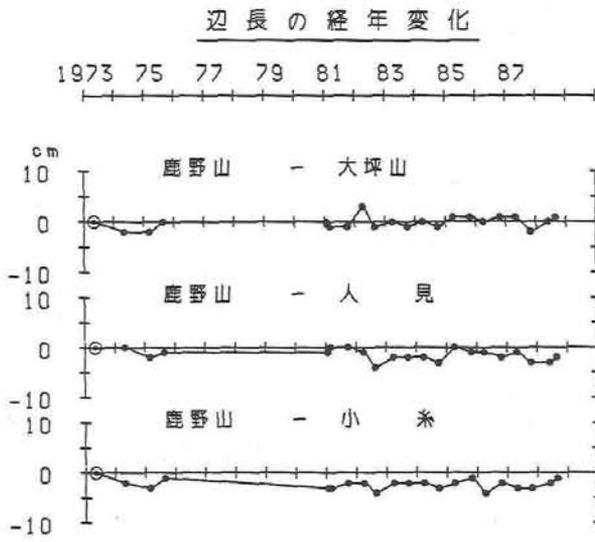


図 2-4 (つづき) 首都圏精密変歪測量結果。

# 鹿野山精密変歪測量結果



# 三鷹菱形基線測量結果

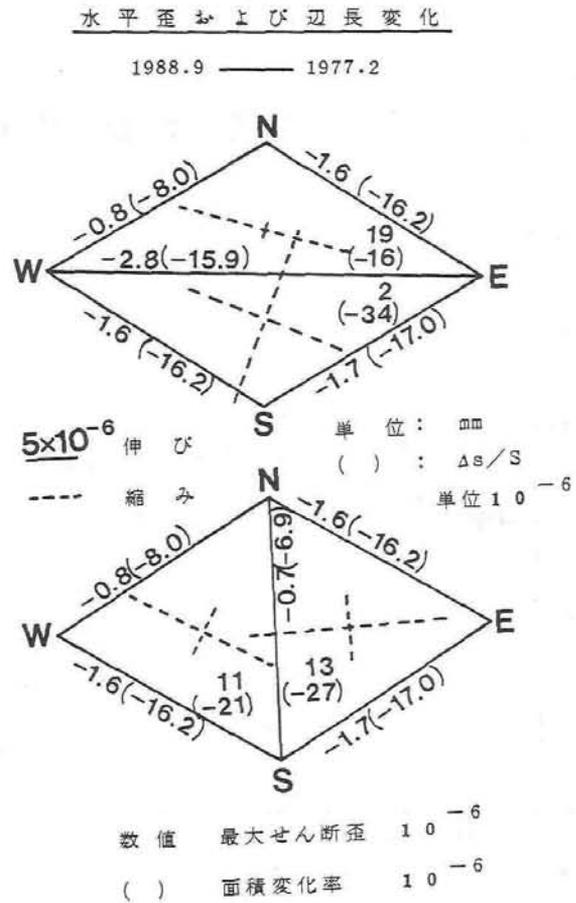
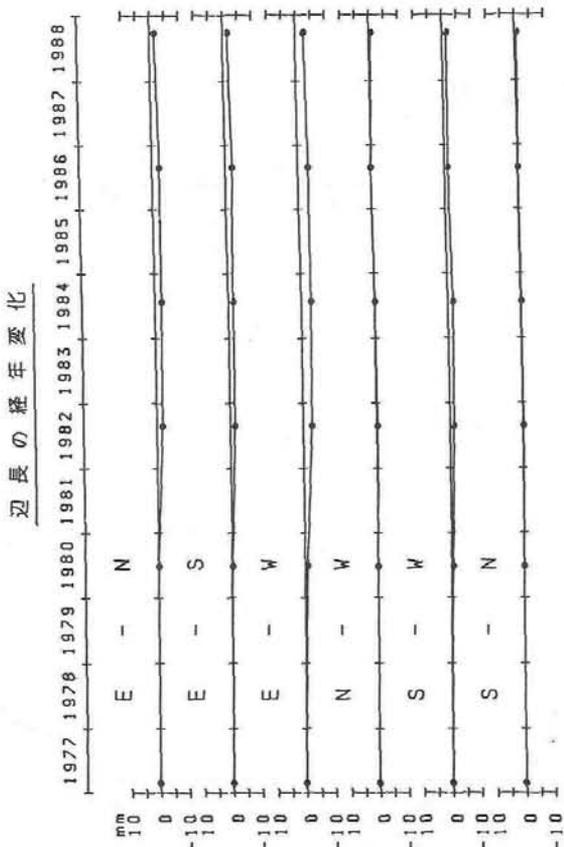
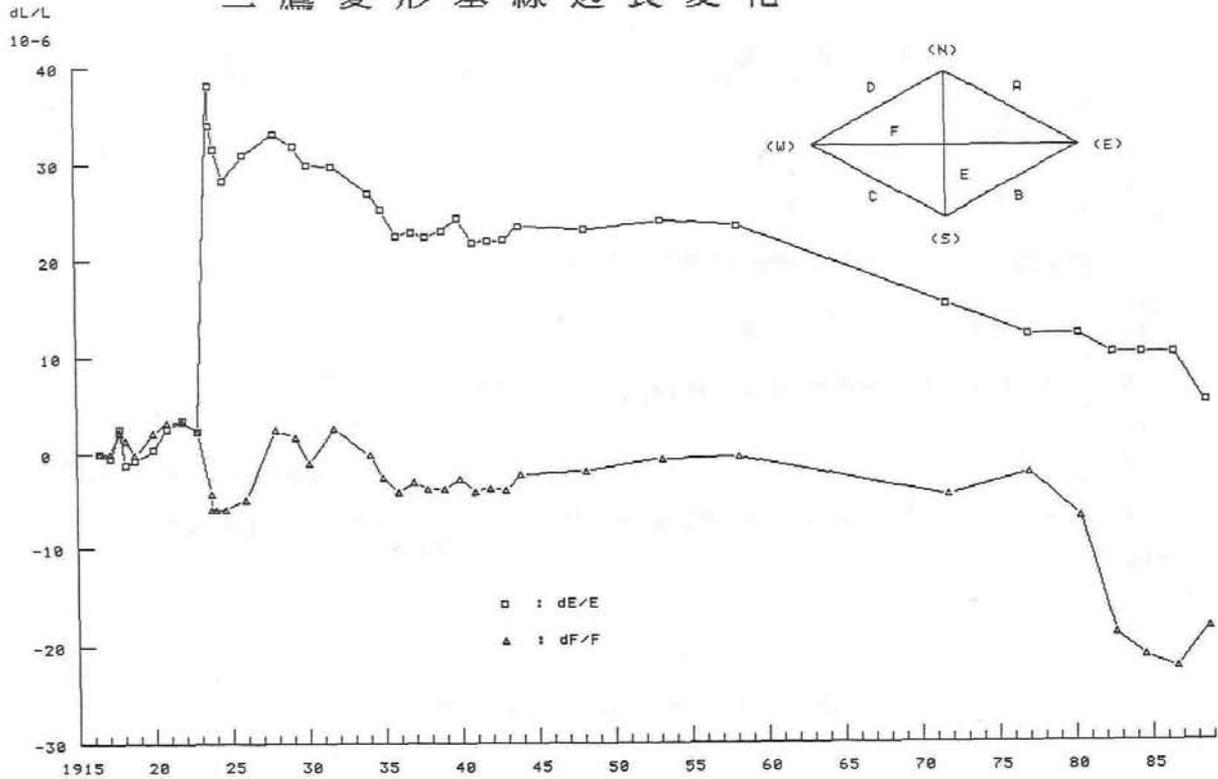


図 2-4 (つづき) 首都圏精密変歪測量結果。

### 三鷹菱形基線辺長変化



### 三鷹菱形基線辺長変化

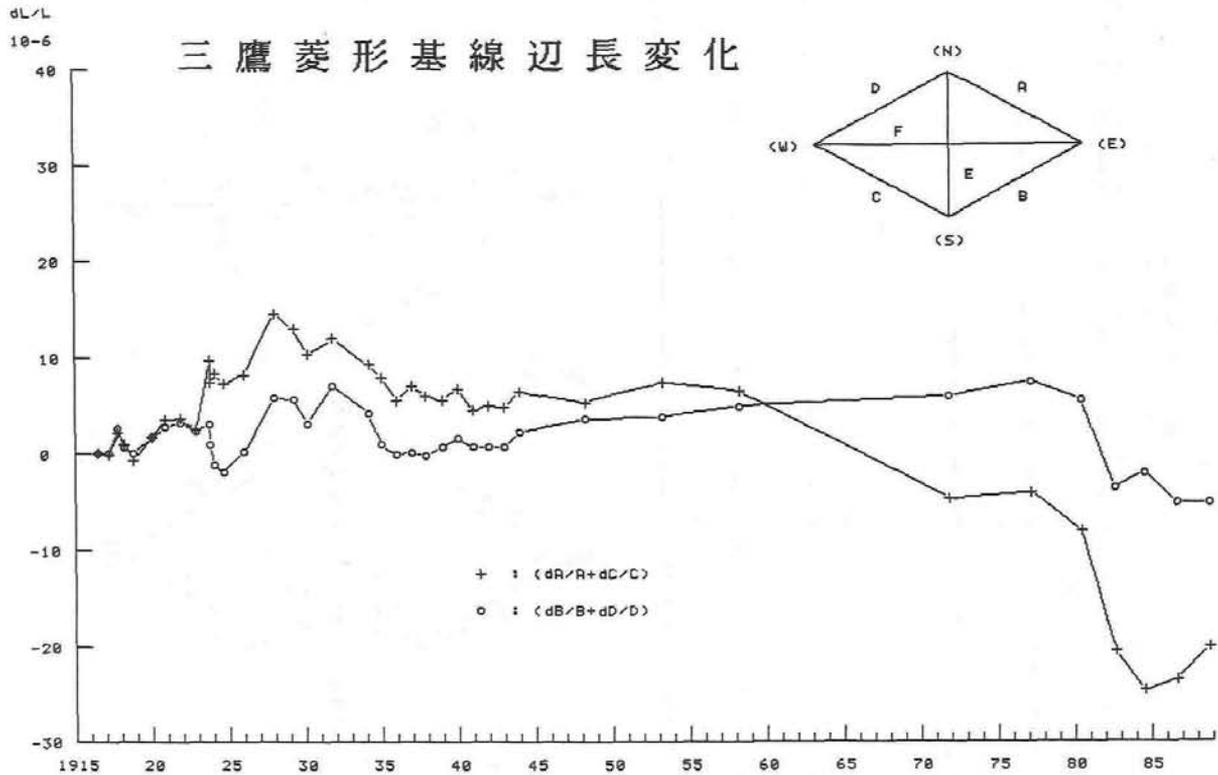


図 2-5 三鷹菱形基線辺長経年変化。一辺 200m の菱形基線で 1916 年に設置された。1923 年から 10 年間ぐらいの大きな変動は 1923 年関東地震に伴う変動とその余効である。1972 年までの測定はインバルテープ、1977 年以降の測定はメコメータを用いている。1982 年の大きな変化は E 点の故障によるものと思われる。

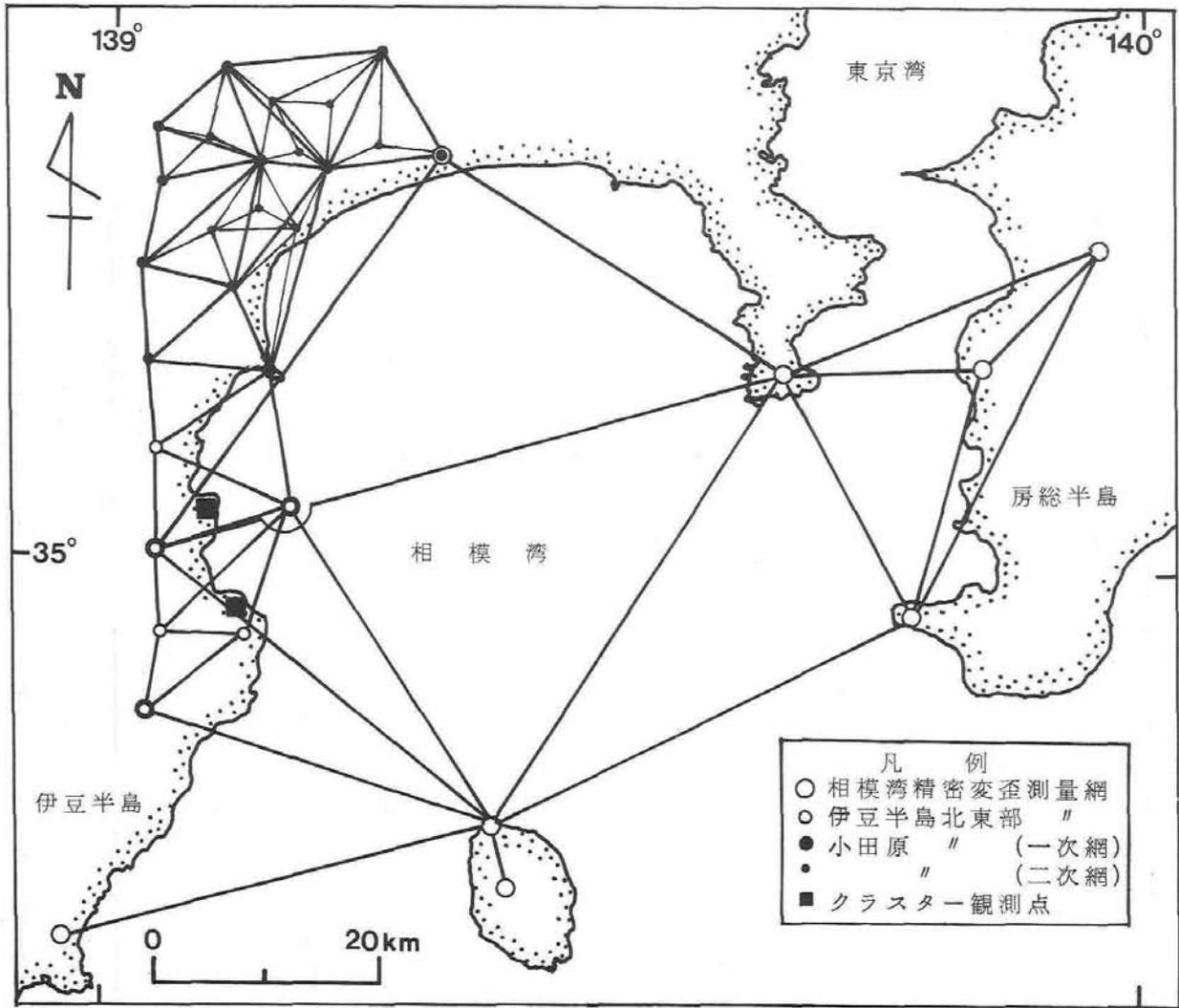


図 2 - 6 相模湾精密変歪測量網図。1970年以来相模湾とその周辺地域の水平変動を監視するため設置されており、近年では2年毎に測量している。

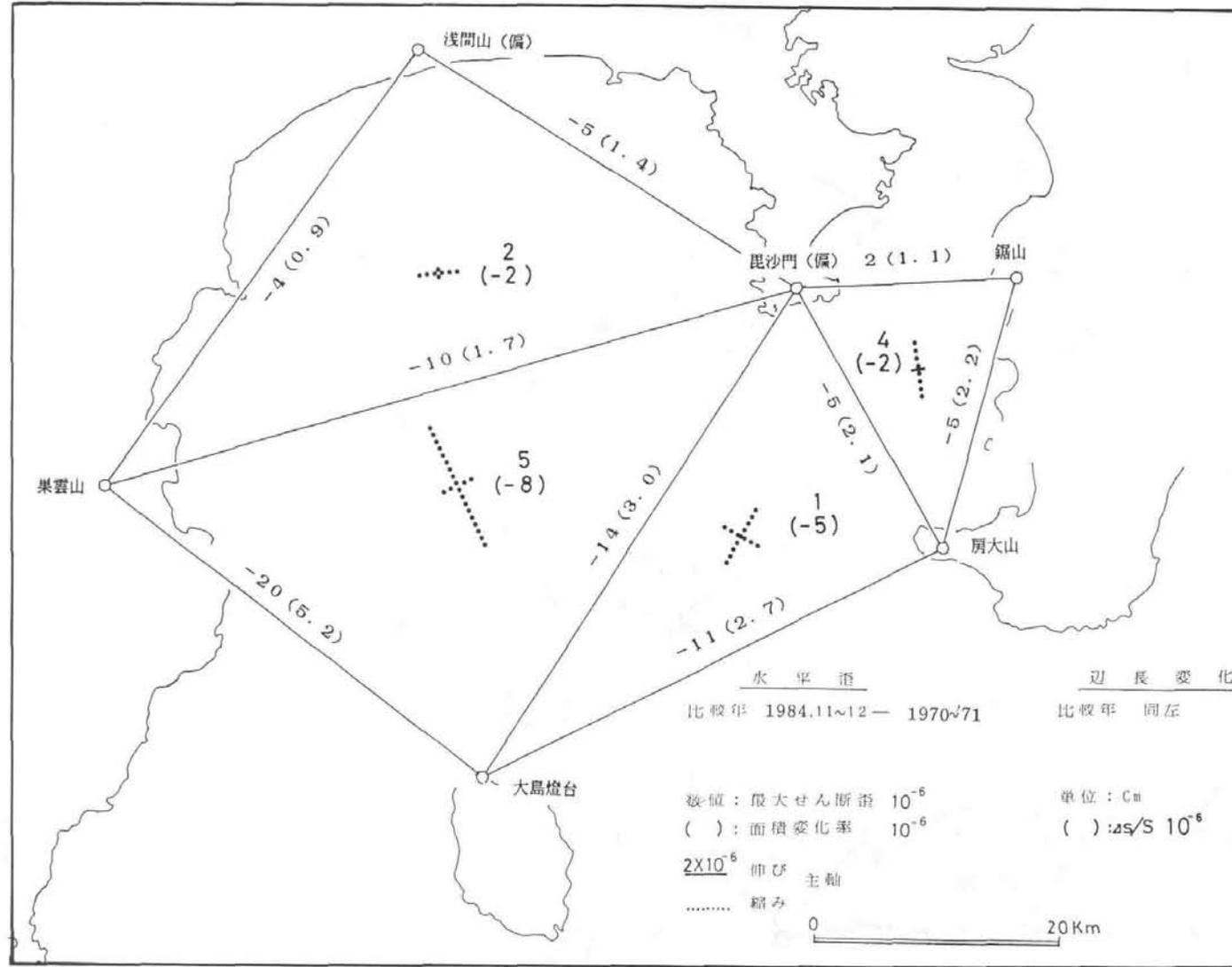


図 2-7 相模湾精密測量結果。1984-1970~'71。フィリピン海プレートの北西進による水平歪と、この期間内に発生した 1978 年伊豆大島近海地震，1980 年伊豆東方沖地震による地殻変動が含まれている。

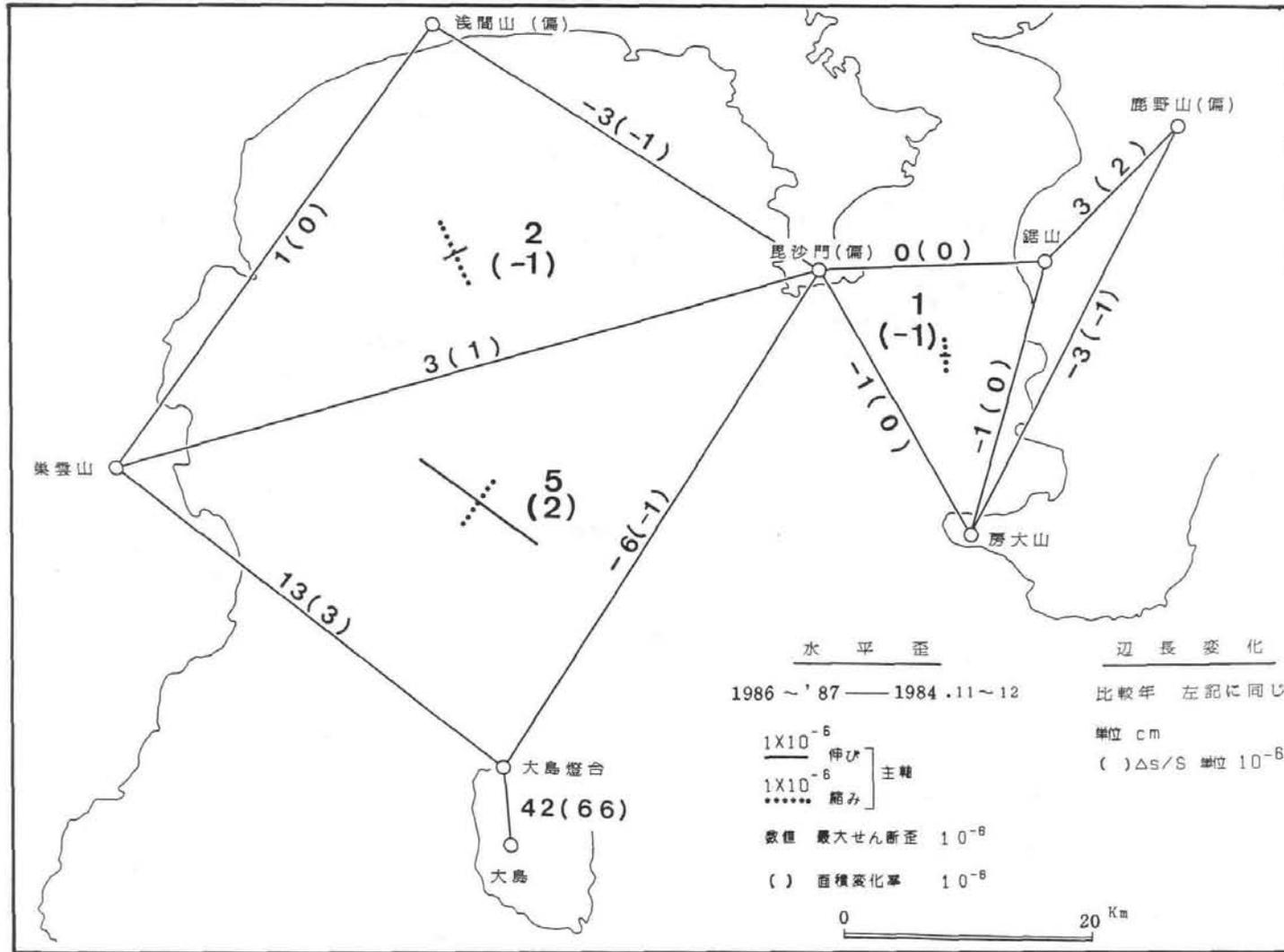


図 2-7 (つづき) 1986~'87 - 1984。大きな変動は 1986 年 11 月の伊豆大島火山の割れ目噴火に伴う地殻変動である。

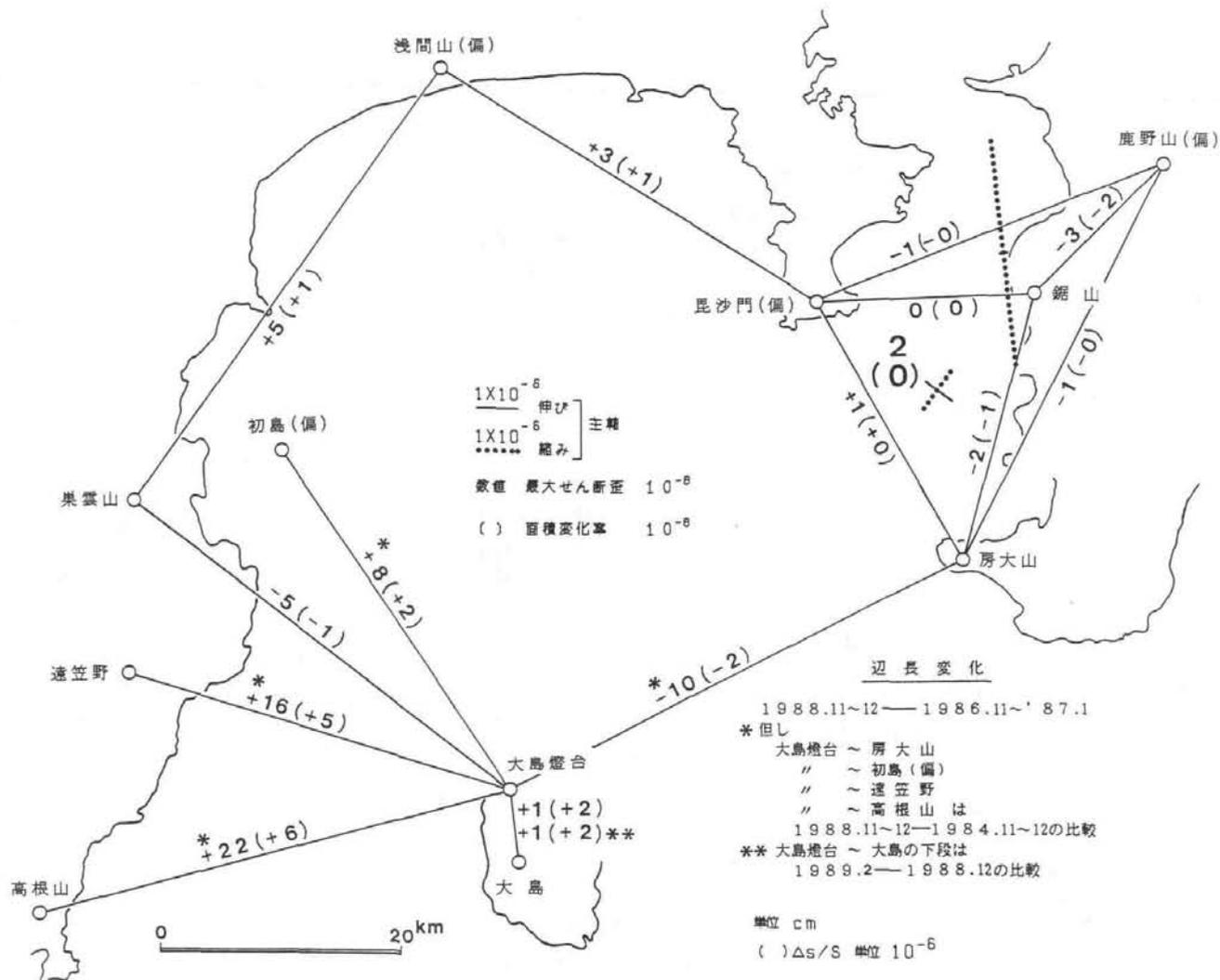


図 2-7 (つづき) 1988 - 1986 ~ '87。

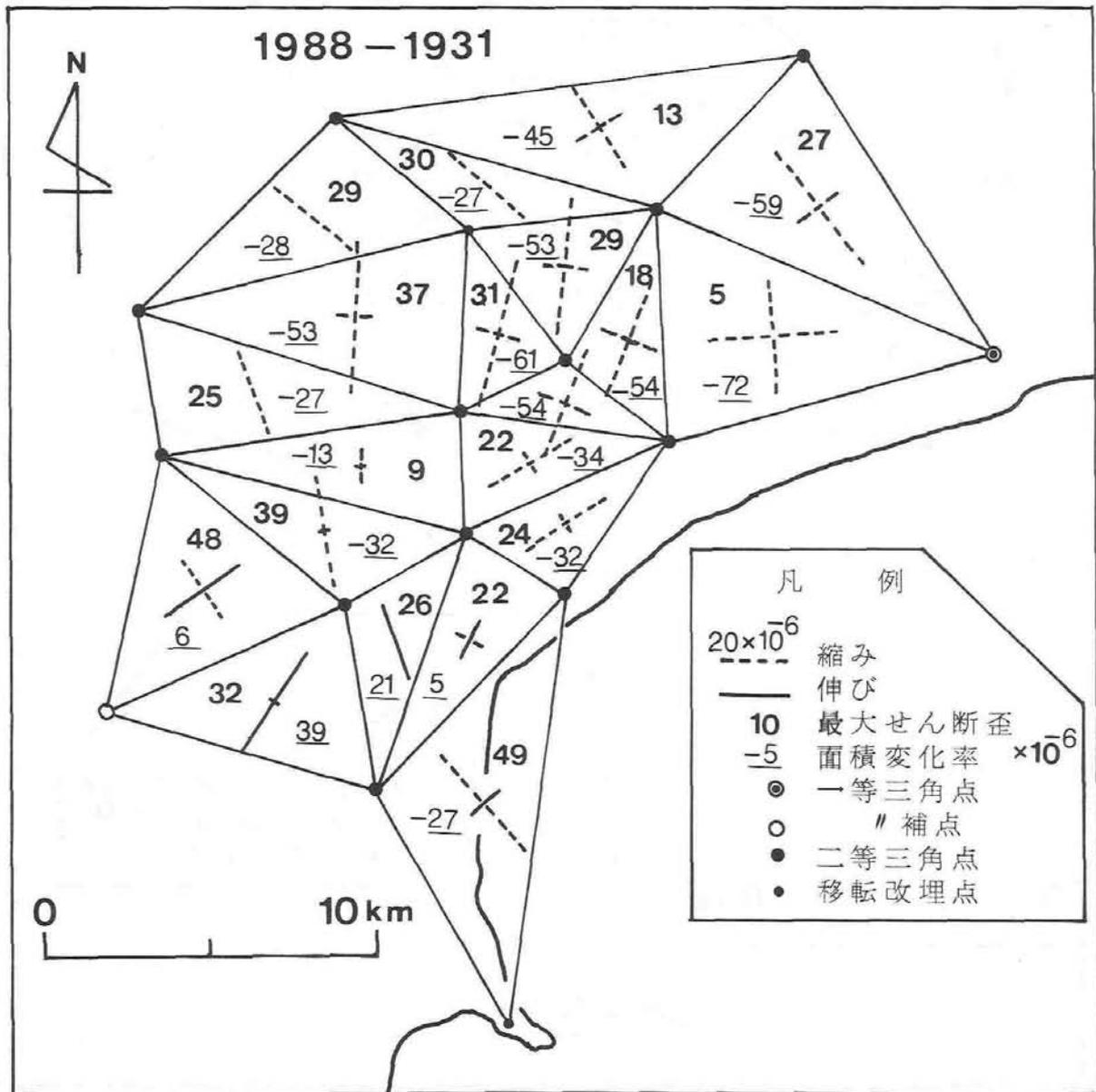


図 2 - 8 小田原地方の地殻水平歪。1988 - 1931。1930 年北伊豆地震以後およそ 60 年間の水平歪である。圧縮歪が卓越している。

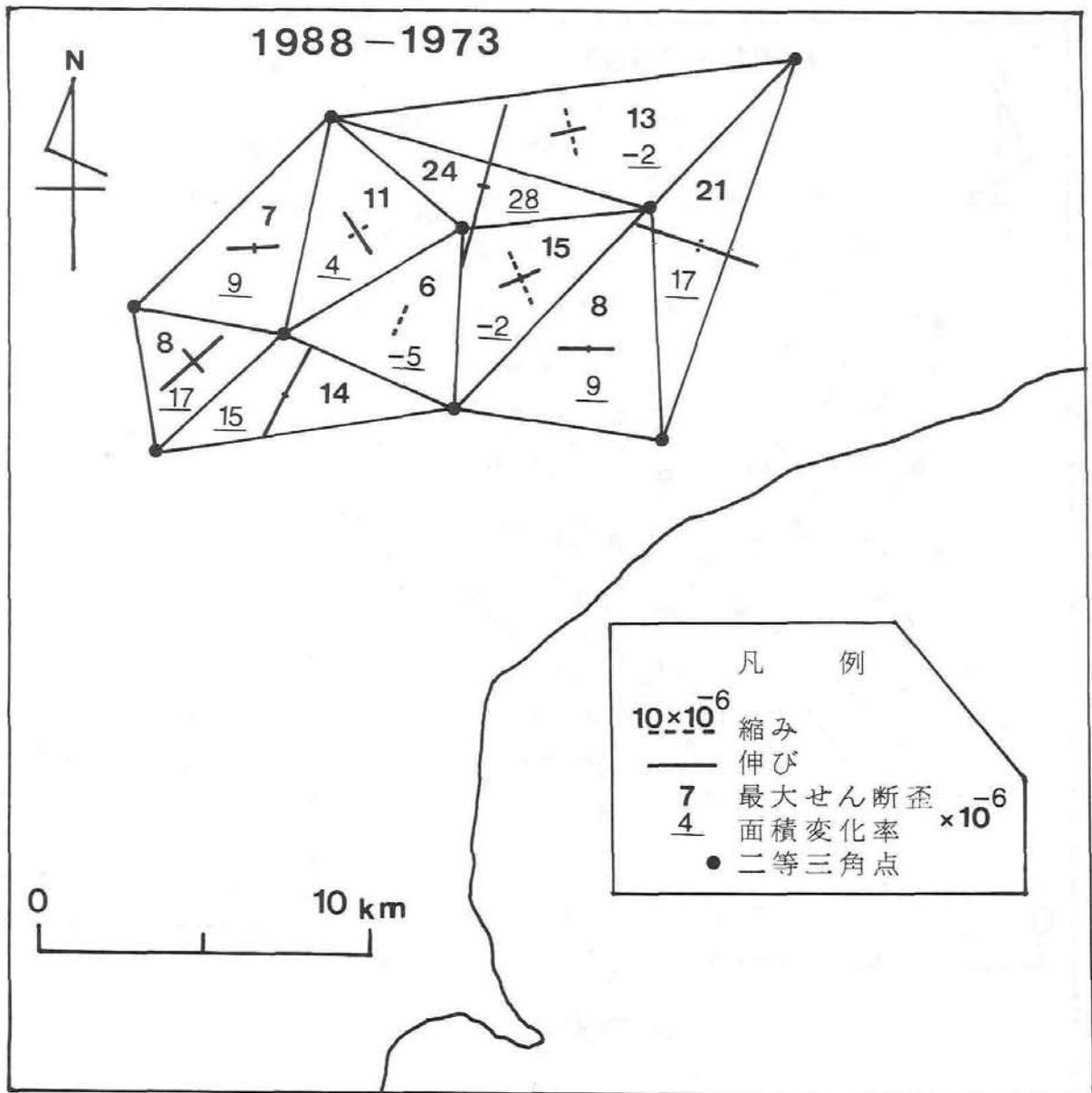


図 2 - 8 (つづき) 1988 - 1973。最近 15 年間の水平歪である。伸長歪が大きくなっている。

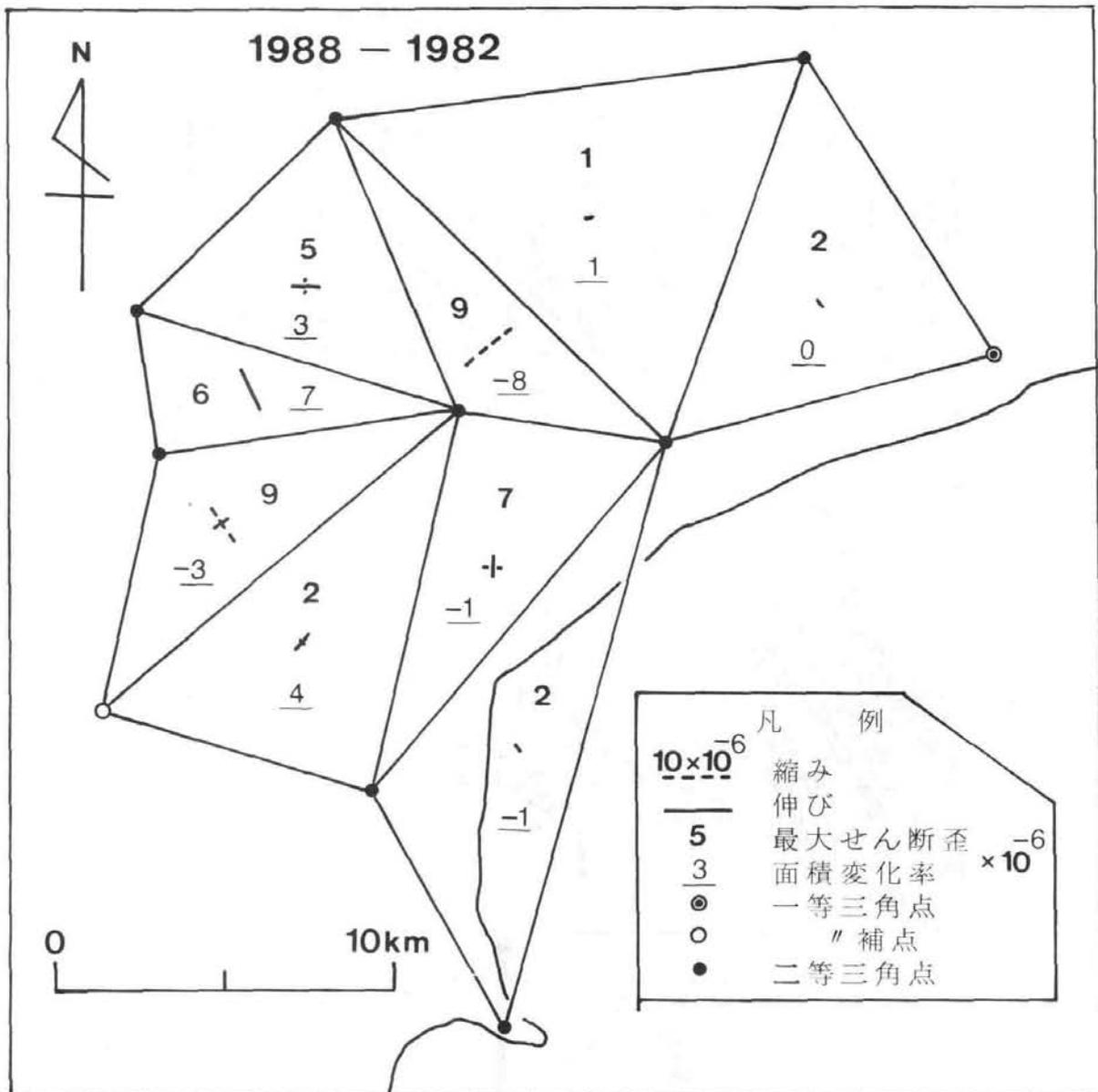


図 2 - 8 (つづき) 1988 - 1982。最近 6 年間の水平歪。

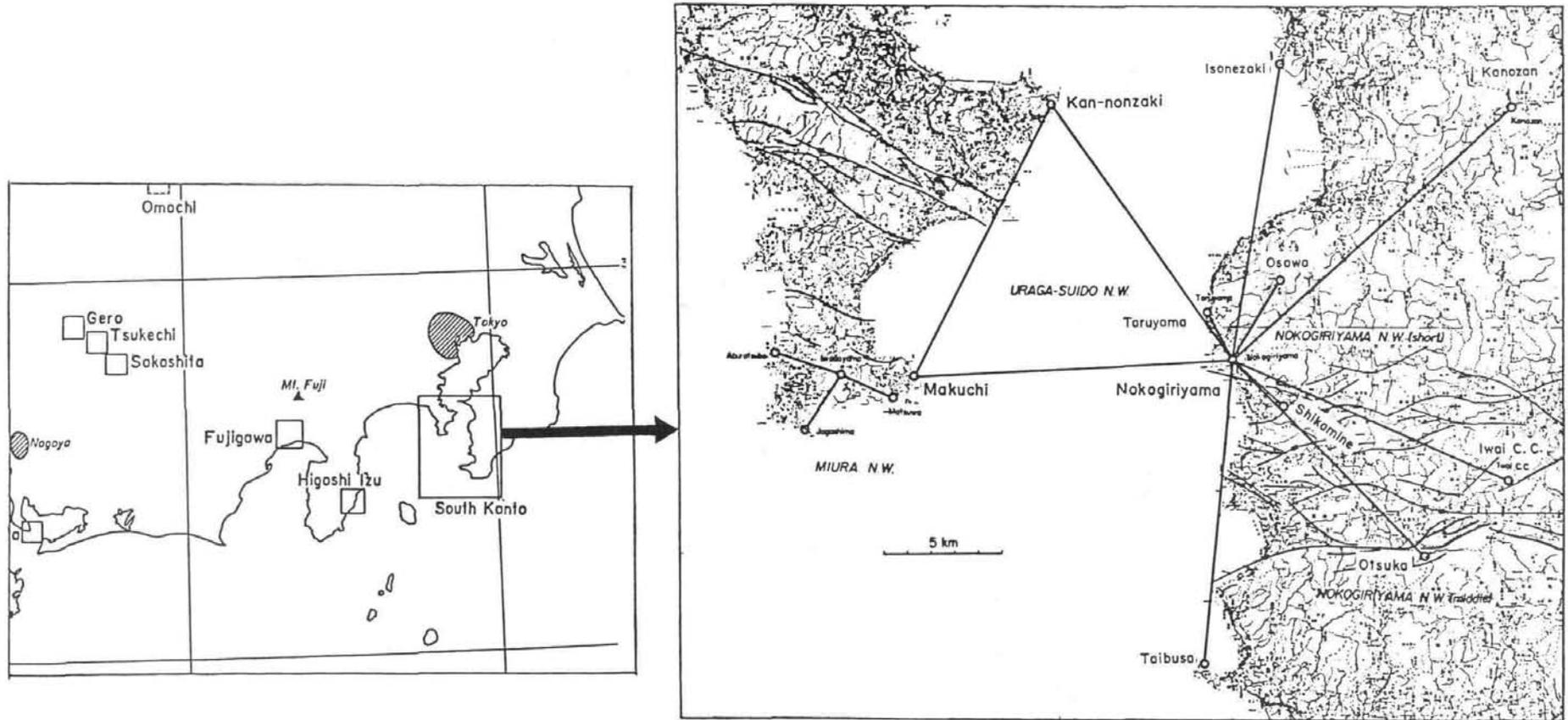


図 2 - 9 南関東の光波基線網図（東京大学地震研究所）。

NOKOGIRIYAMA base line network (short)

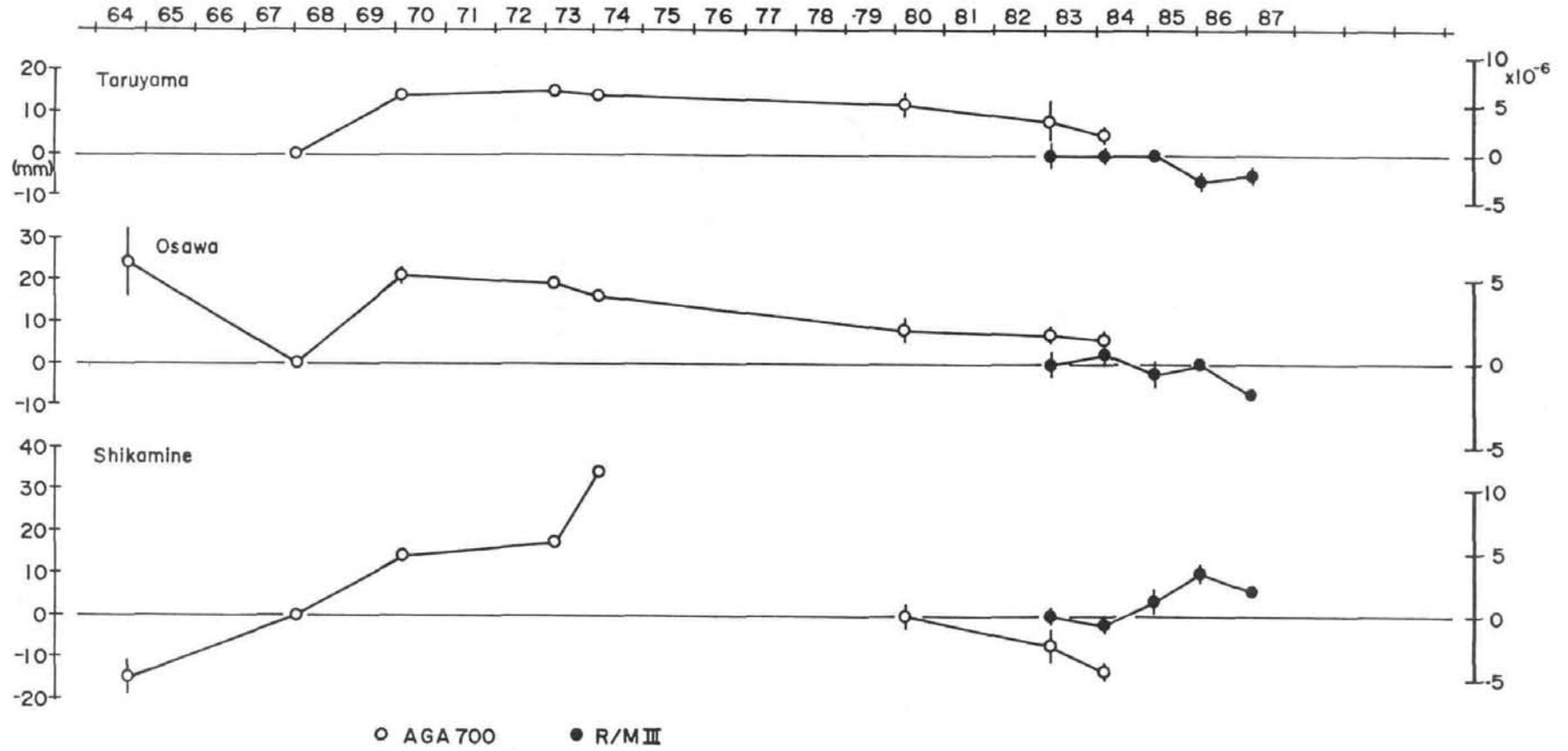


図 2-10 鋸山短距離基線網における累積辺長変化 (東京大学地震研究所による)。

NOKOGIRIYAMA base line network (intermediate)

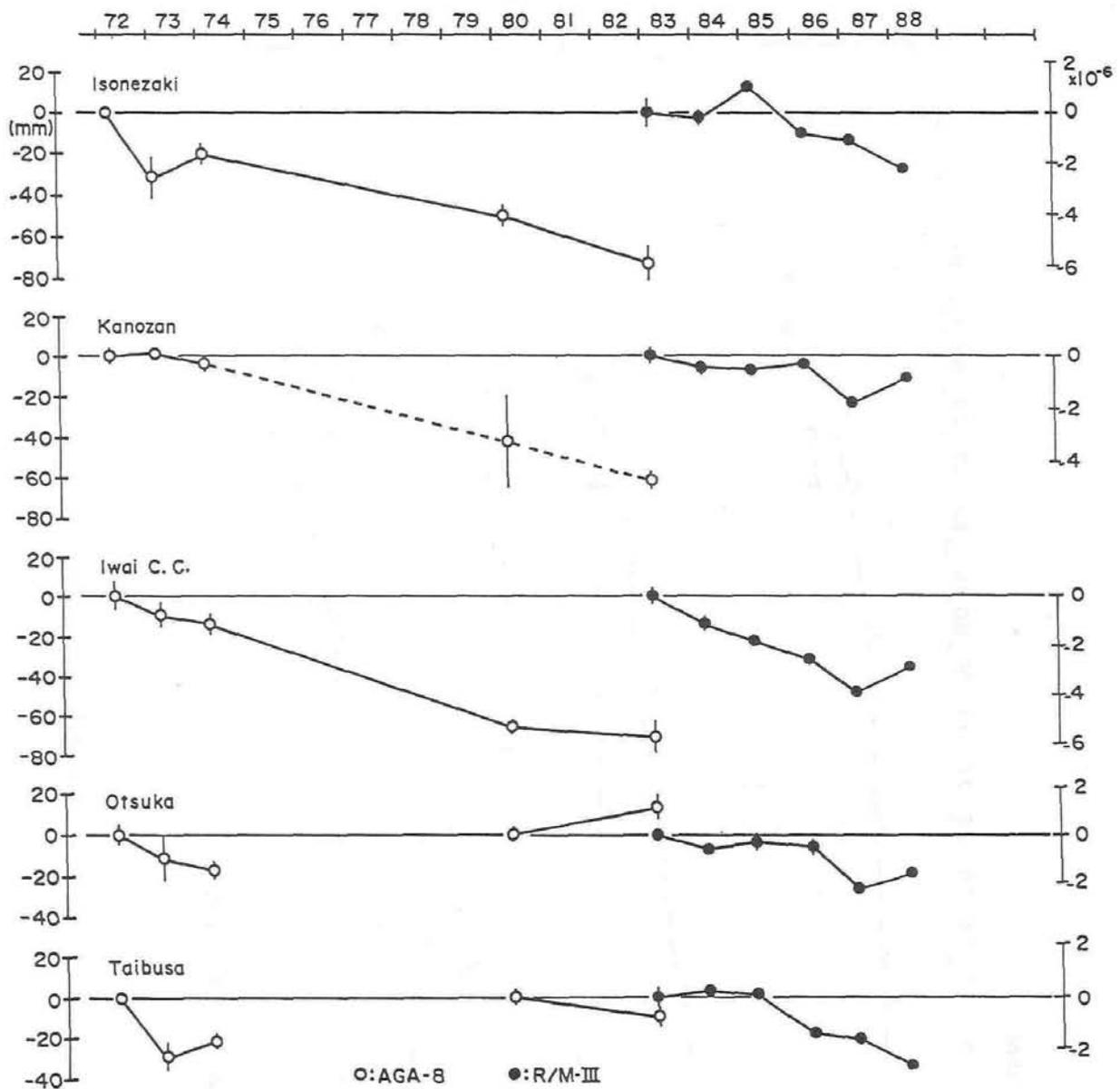


図 2 - 10 つづき 鋸山中距離基線網における累積辺長変化 (東京大学地震研究所による)。

URAGA CHANNEL base line network

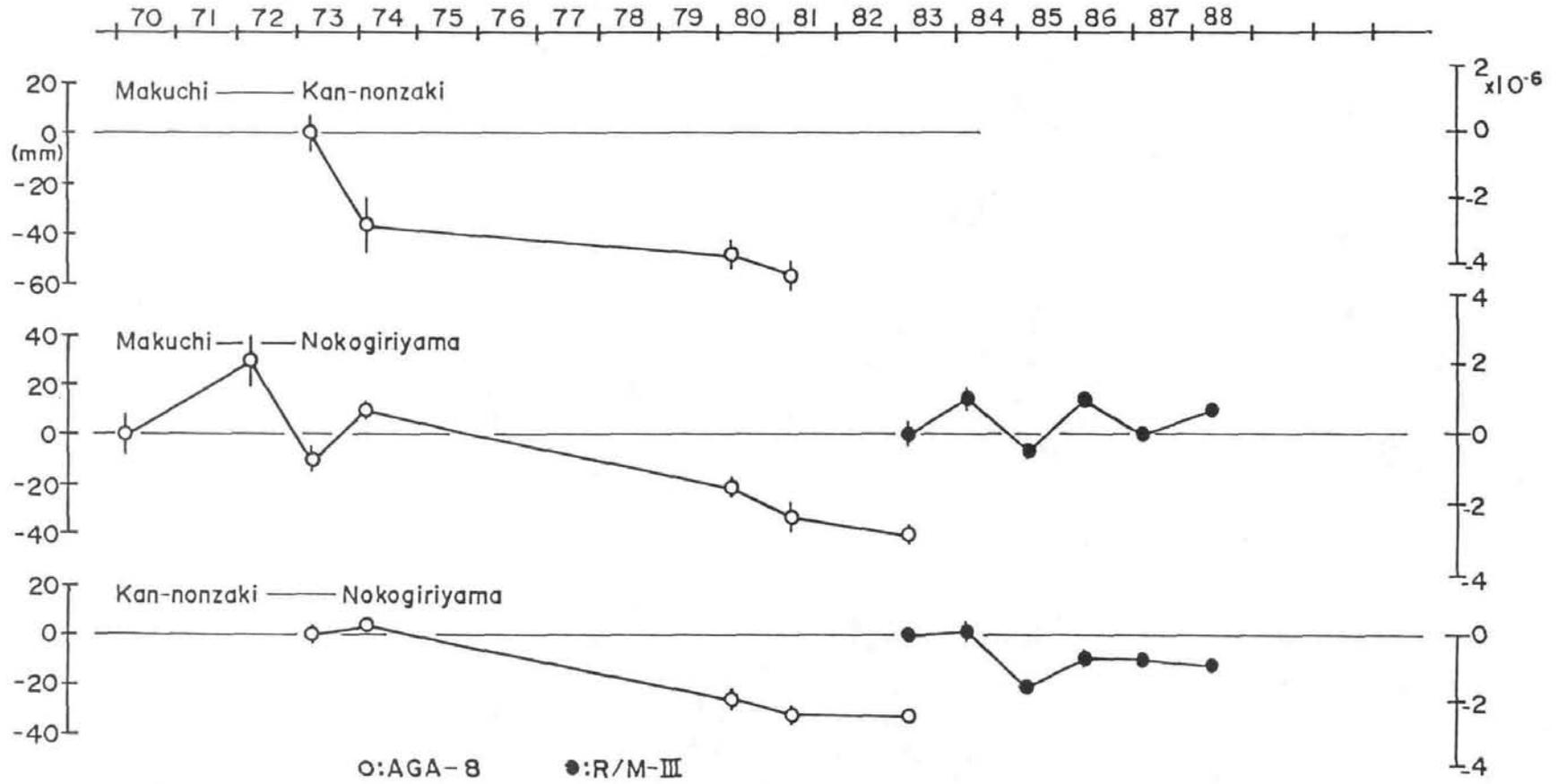


図 2-10 つづき 浦賀水道基線網における累積辺長変化 (東京大学地震研究所による)。

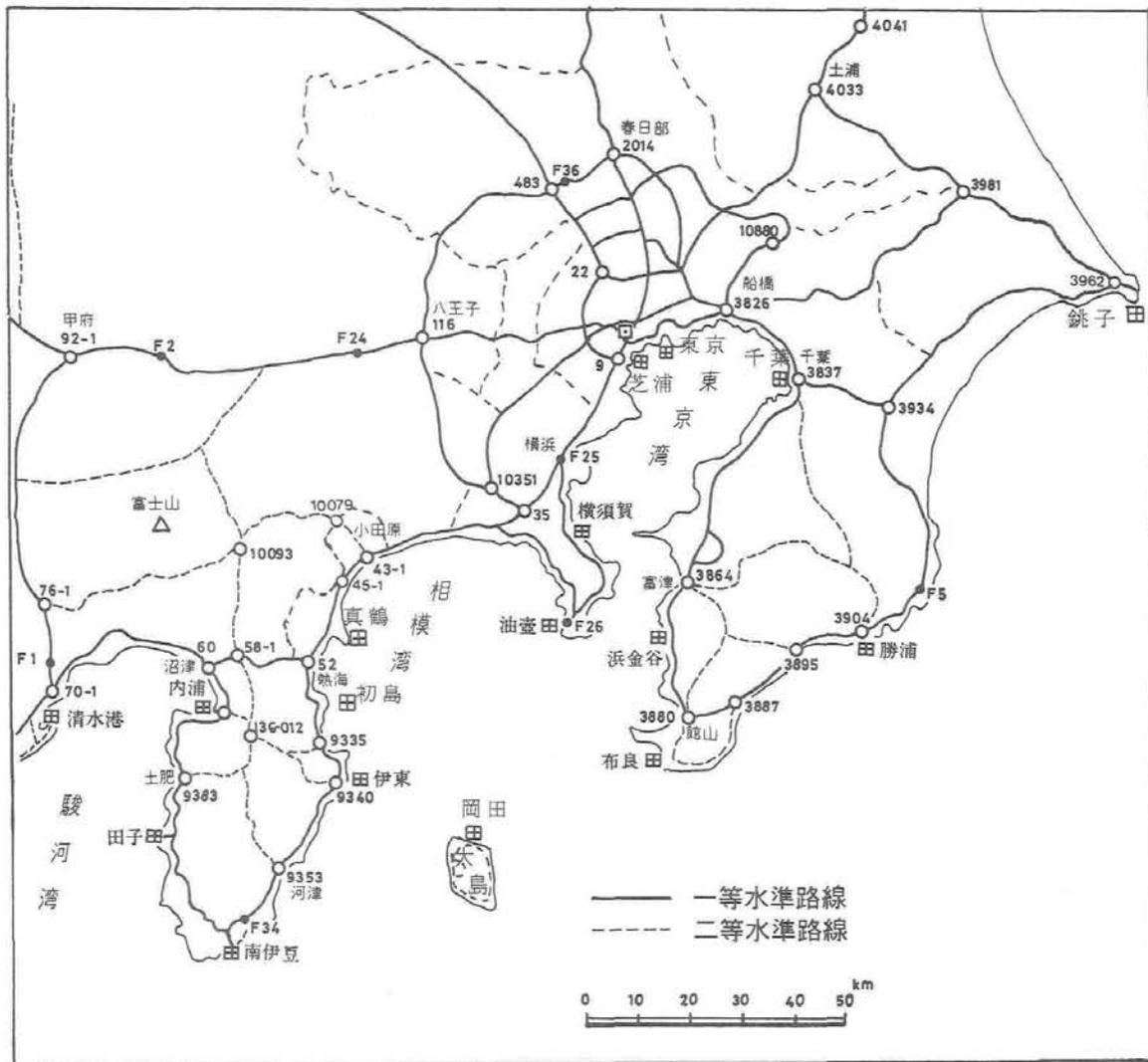


図 2 - 11 関東地方における水準路線と検潮所。房総半島，三浦半島などの水準路線は 1 ~ 2 年間隔で改測されている。



1984.5~85.12 — 1979.6~81.3



図 2-12 (つづき) 1984~'85 - 1979~'81。房総半島南部，銚子付近に隆起がみられる。

首都圏精密基盤傾動測量

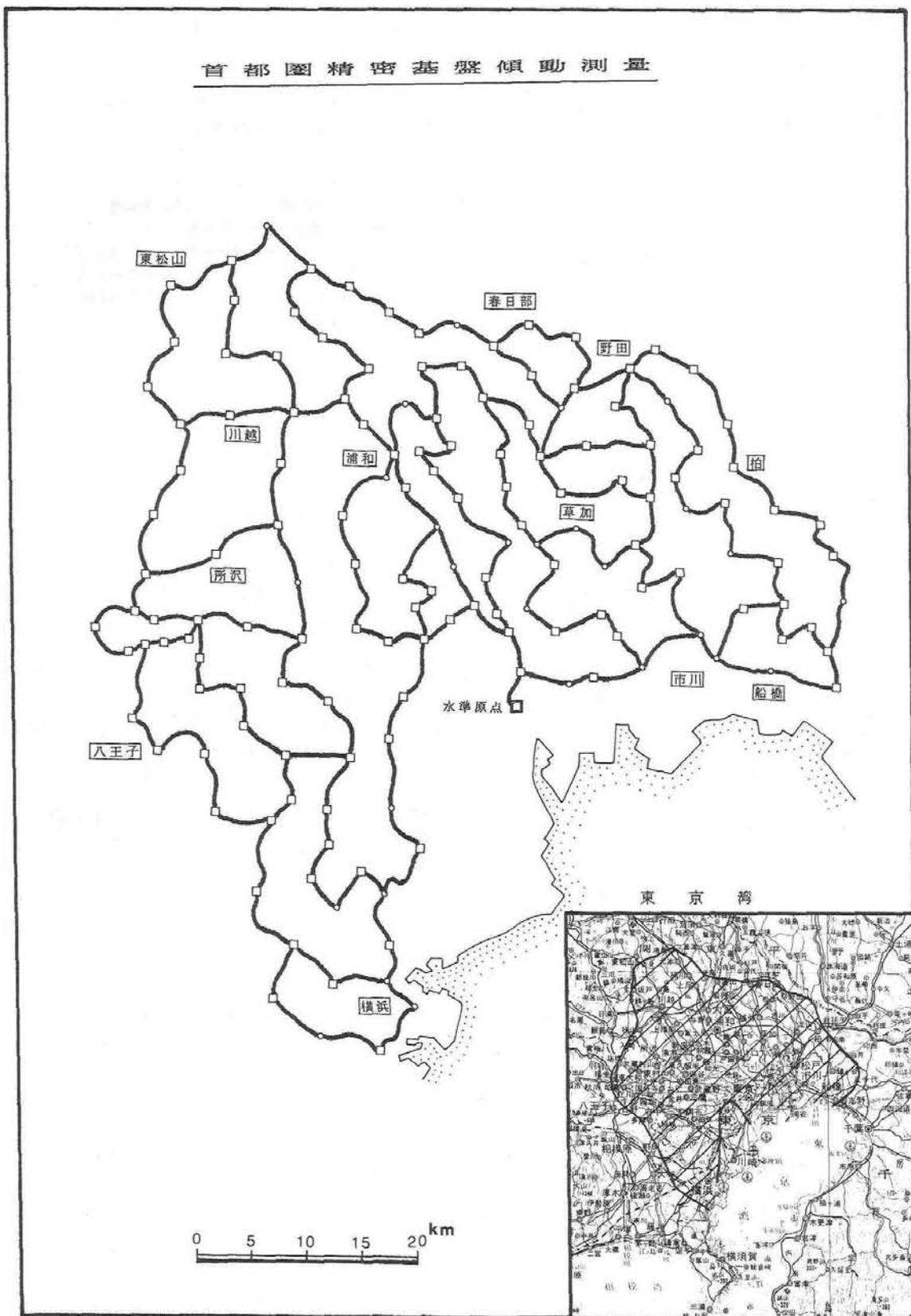


図 2 - 13 首都圏精密基盤傾動測量観測網図。地中に打ち込んだ長さ 5 ~ 10 m のコンクリートパイプを基準点とし、1978 年以來水準測量を繰り返し、上下変動を観測している。



小田原～藤沢間の上下変動

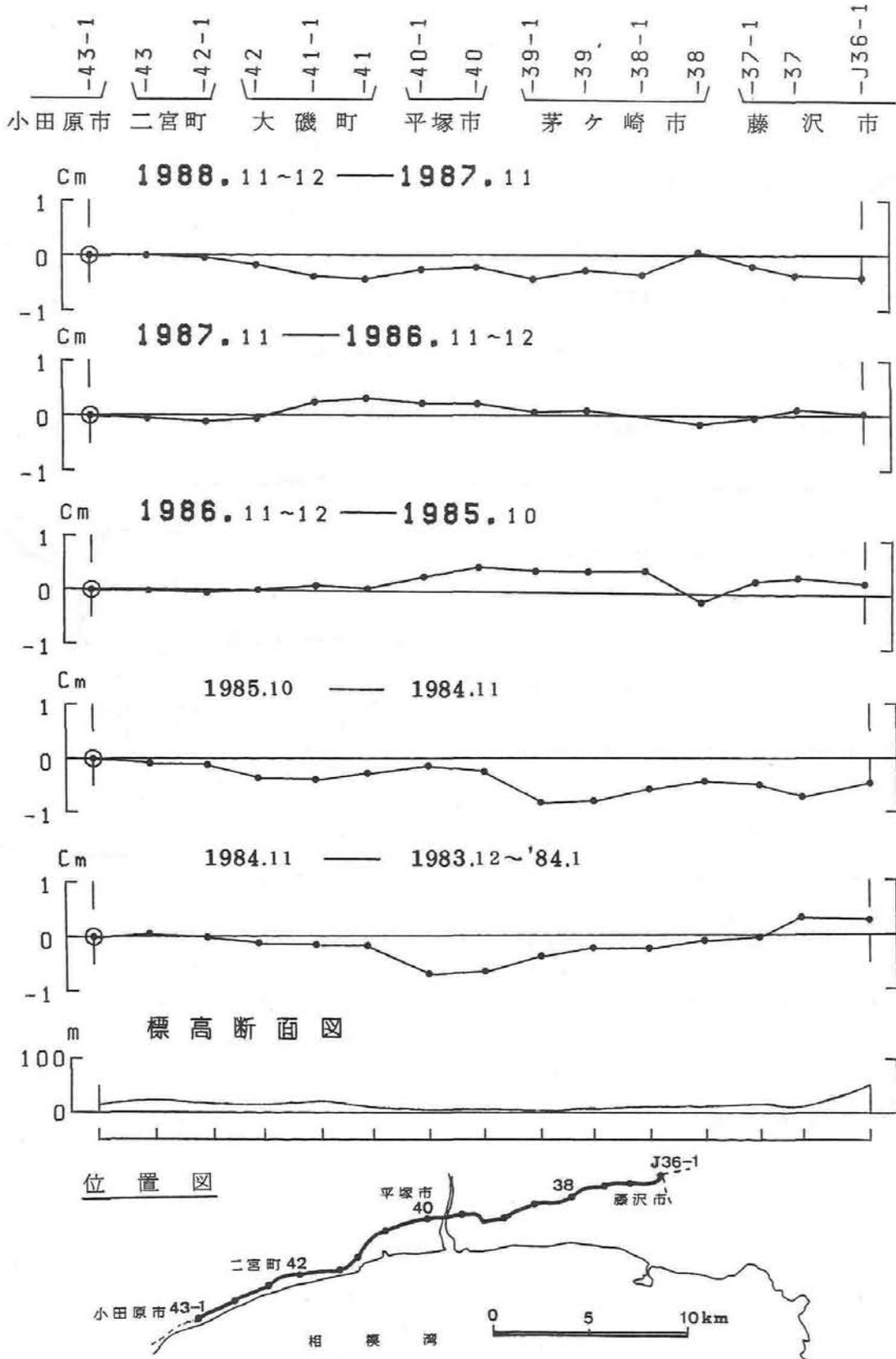


図2-15 小田原地方の上下変動。小田原～藤沢間。大きな上下変動はみられない。

熱海～小田原間の上下変動

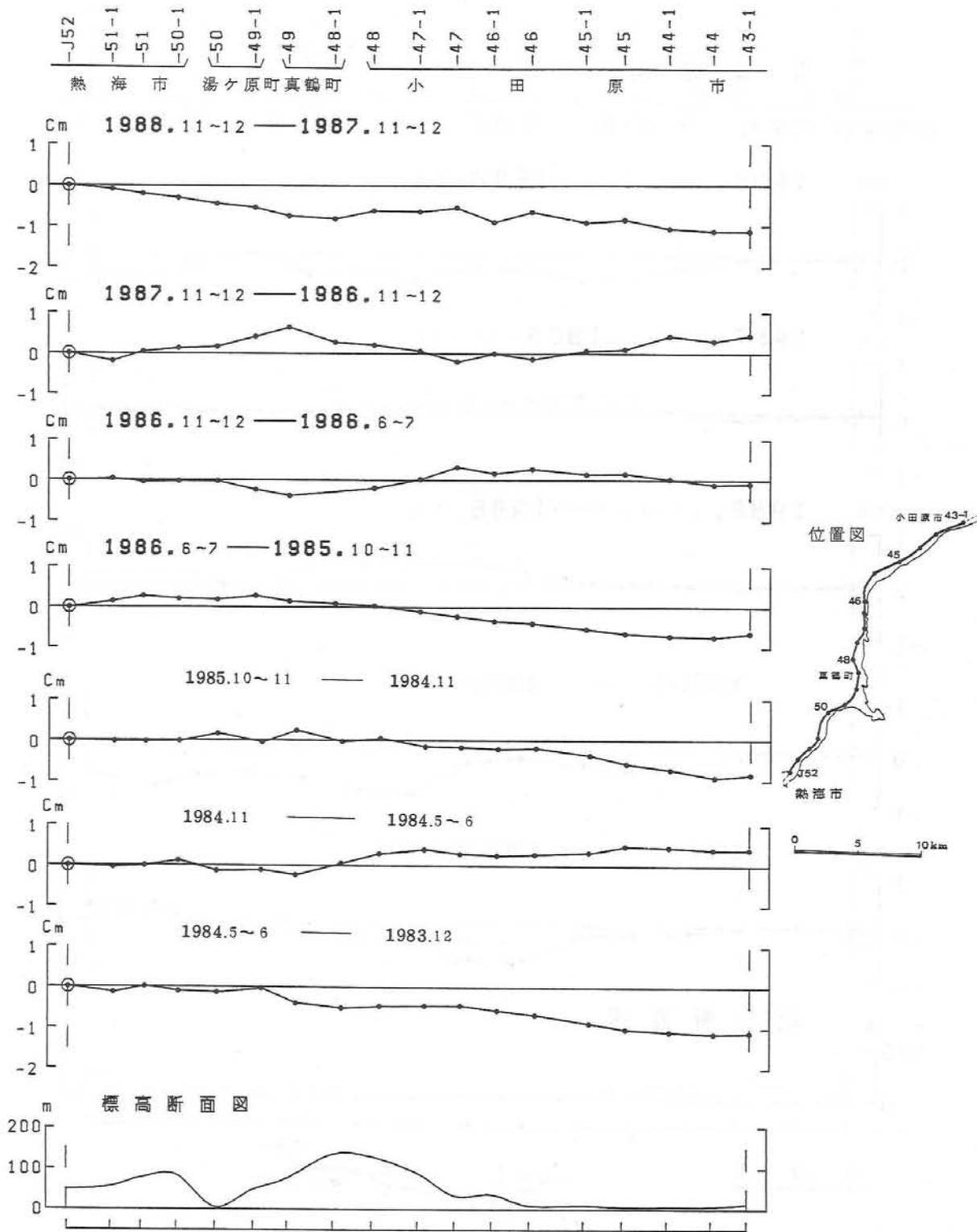


図 2-15 (つづき) 熱海～小田原間。熱海側が隆起である。

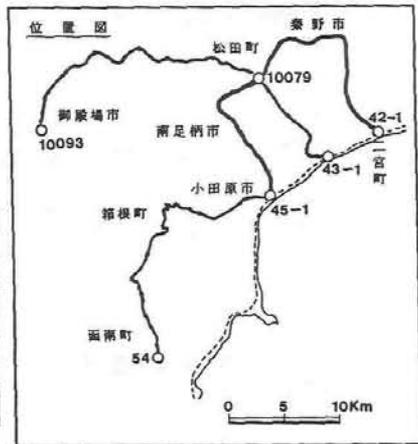
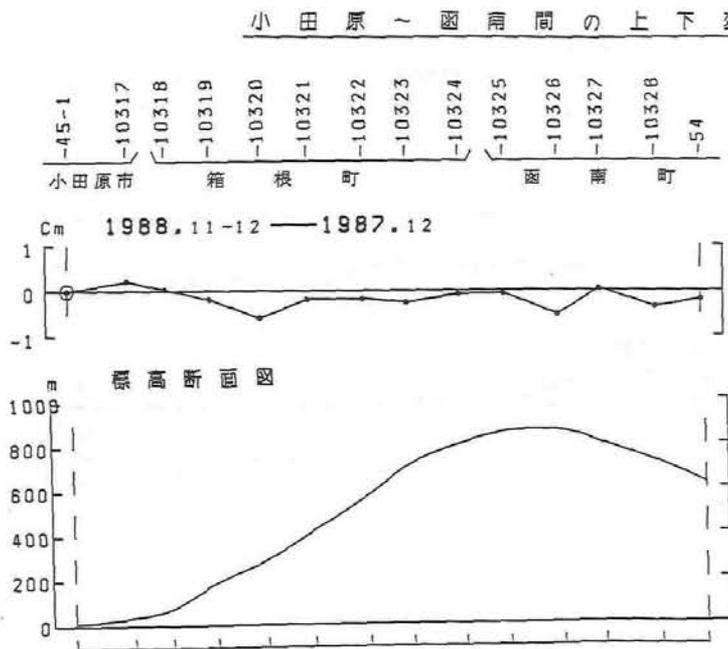
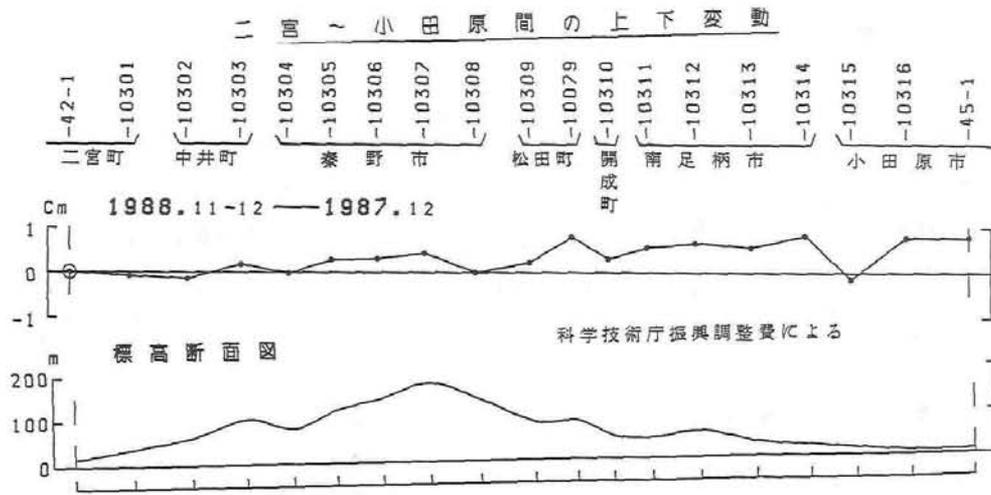


図 2 - 15 (つづき) 二宮～小田原間及び小田原～函南間。国府津—松田断層を横切るが、断層運動を示す変動はみられない。

御殿場～小田原間の上下変動

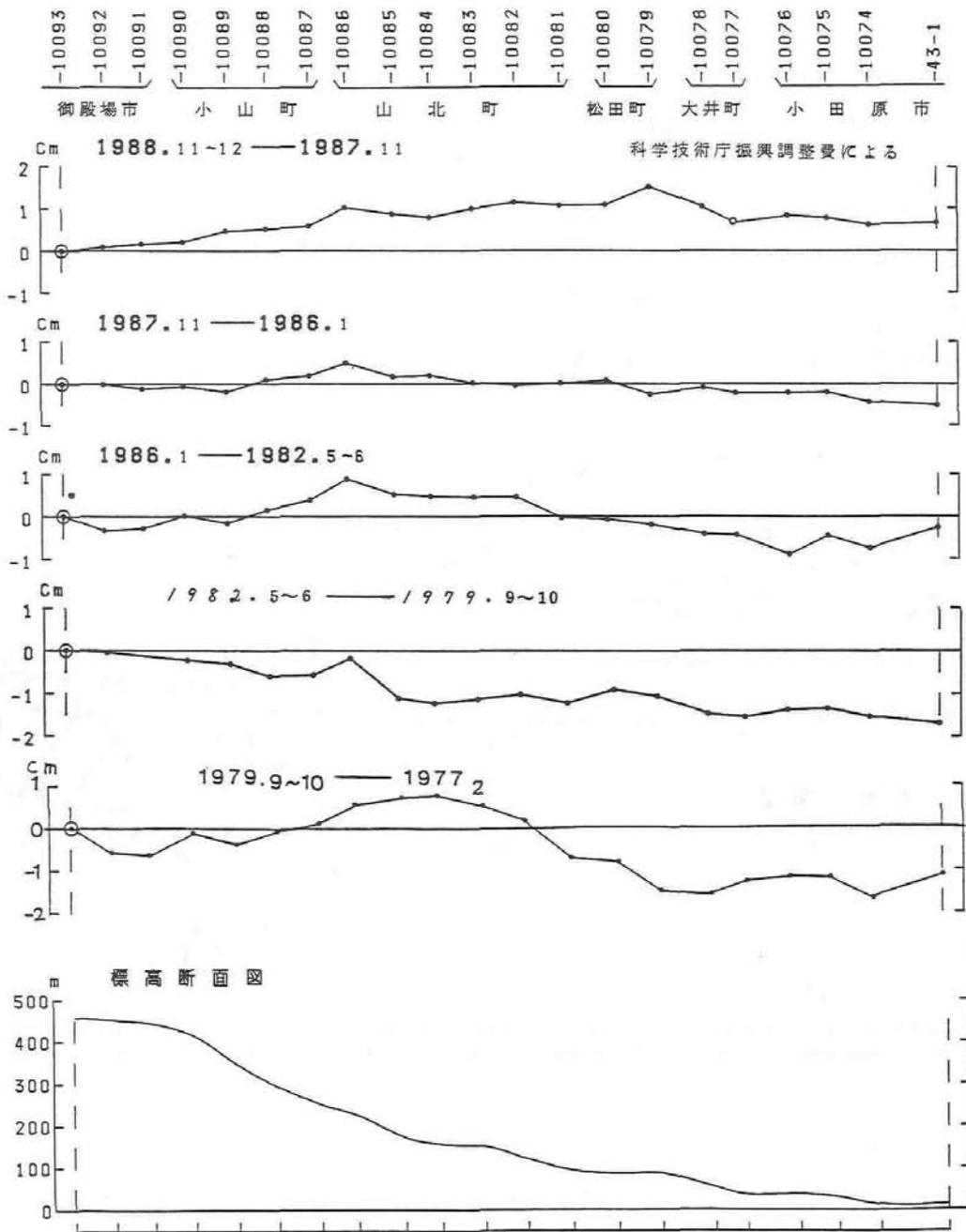


図 2-15 (つづき) 御殿場～小田原間。小山町～山北町境界付近に継続して隆起がみられる。

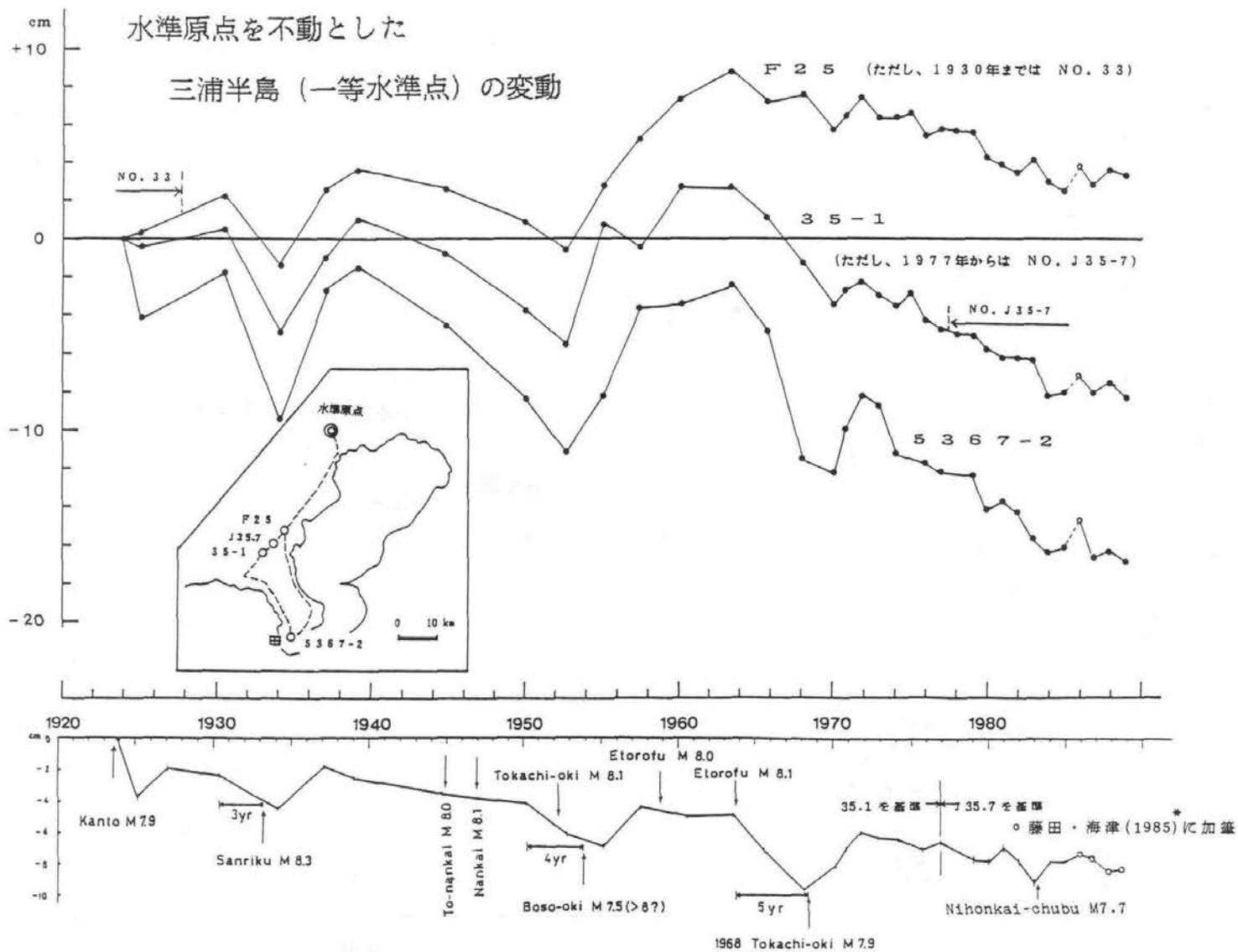


図 2 - 16 三浦半島の水準点の高さの経年変化。水準原点を基準にした三浦半島における水準点の高さの経年変化(上)(田中・五味(1989)による)と水準点 35-1, J 35-7 を基準にした水準点 5367-2 の高さの経年変化(下)(藤田・海津(1985)による)。

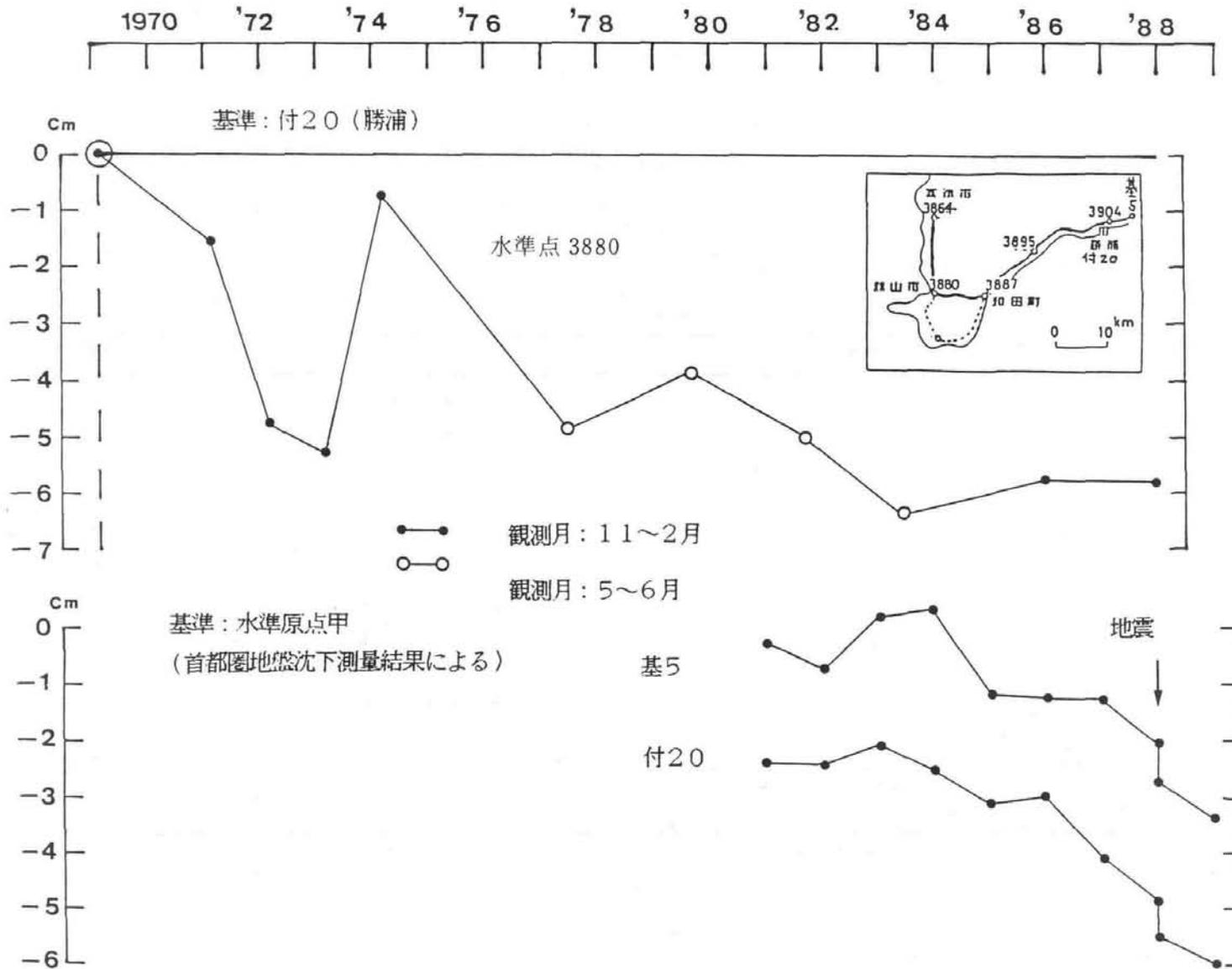


図 2 - 17 房総半島東岸水準点付 20 (勝浦) を基準にした水準点 3880 (館山市) の高さの経年変化 (上) と水準原点甲を基準にした水準点付 20 及び基 5 の高さの経年変化 (下)。1983 年頃から房総半島南東部は急な沈下を示している。(田中・五味 (1989) による)。

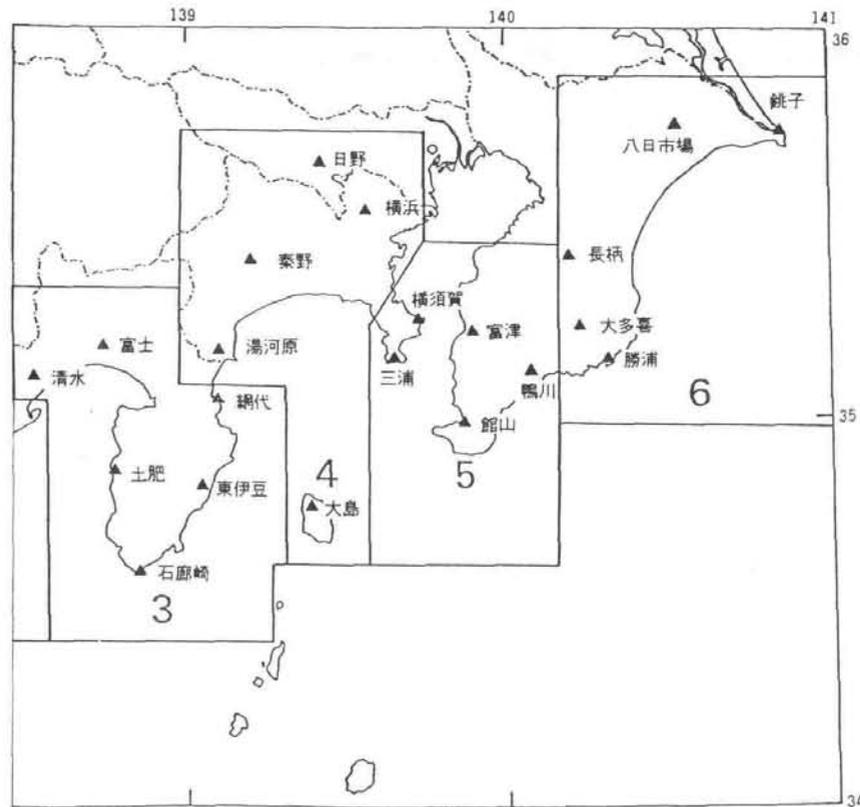


図 2 - 18 埋込式体積歪計の配置図。南関東及び伊豆半島周辺域。(数字は地区番号)。

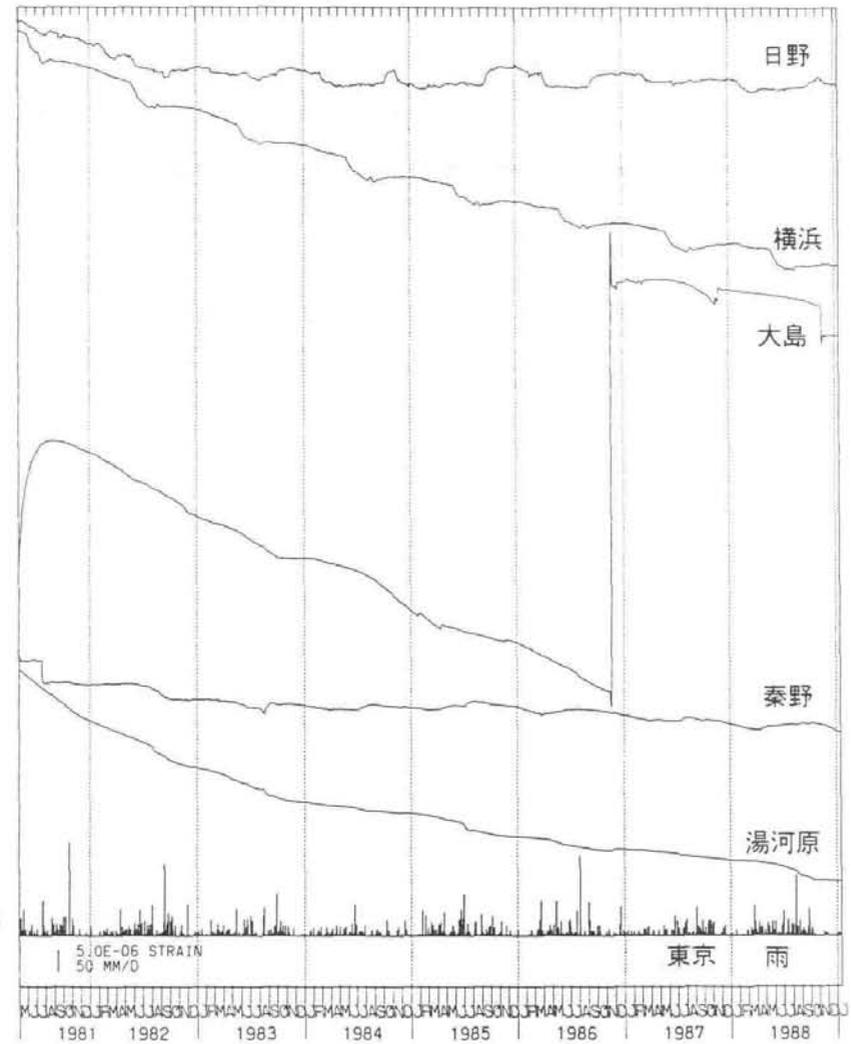


図 2 - 19 観測開始以来の地殻体積歪変化。日平均值(第4区)。

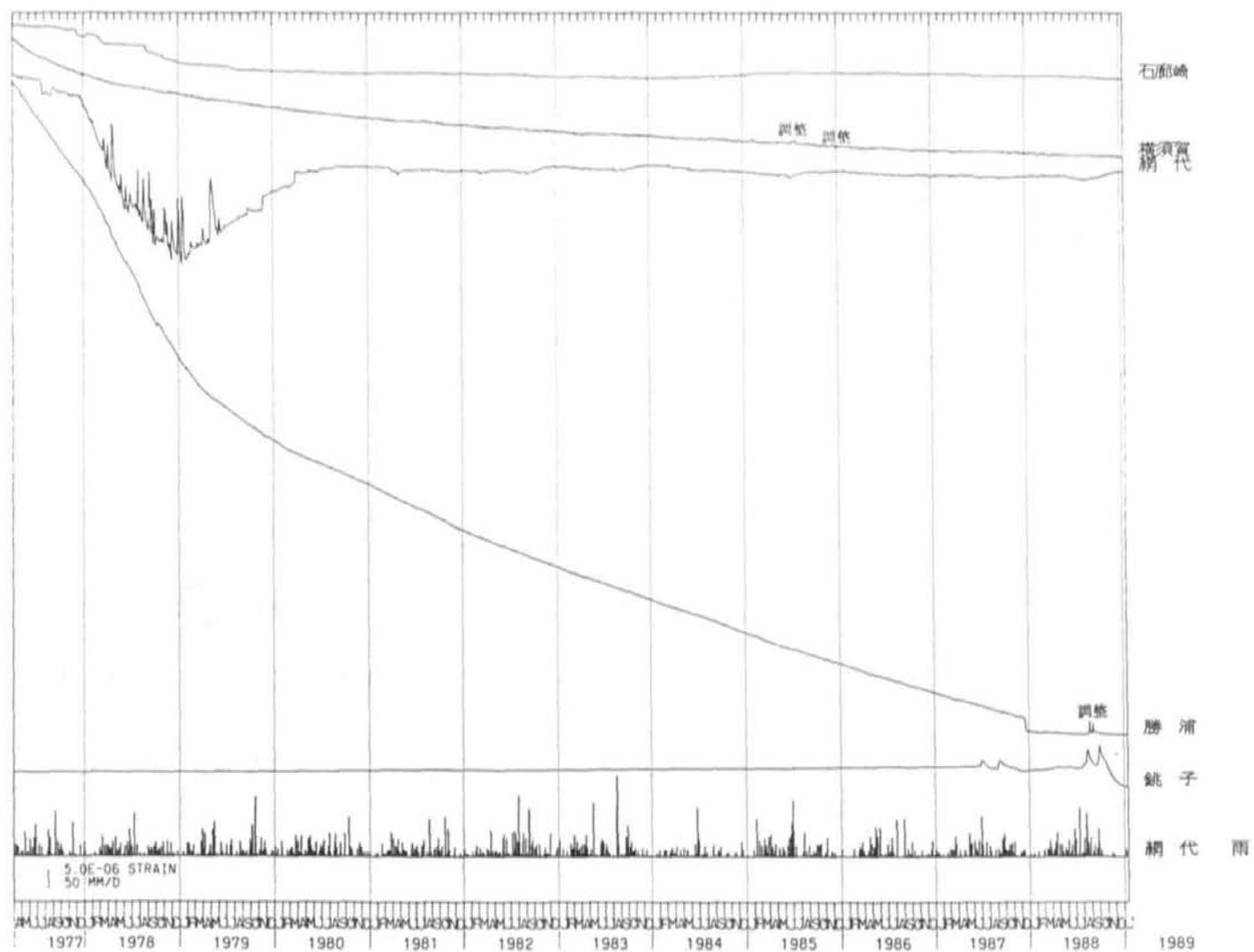


図2-19(つづき) 観測開始以来の地殻体積歪変化。日平均値(石廊崎, 横須賀, 網代, 勝浦, 銚子)。

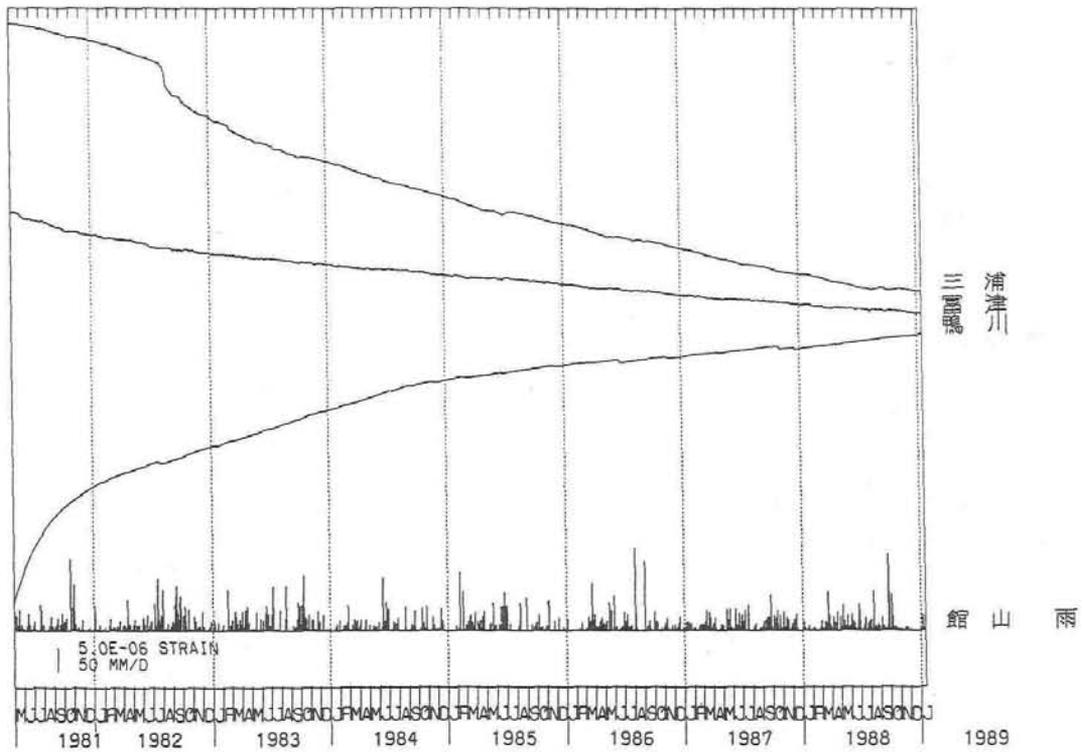


図 2-19 (つづき) 観測開始以来の地殻体積歪変化。日平均値 (第 5 区)。

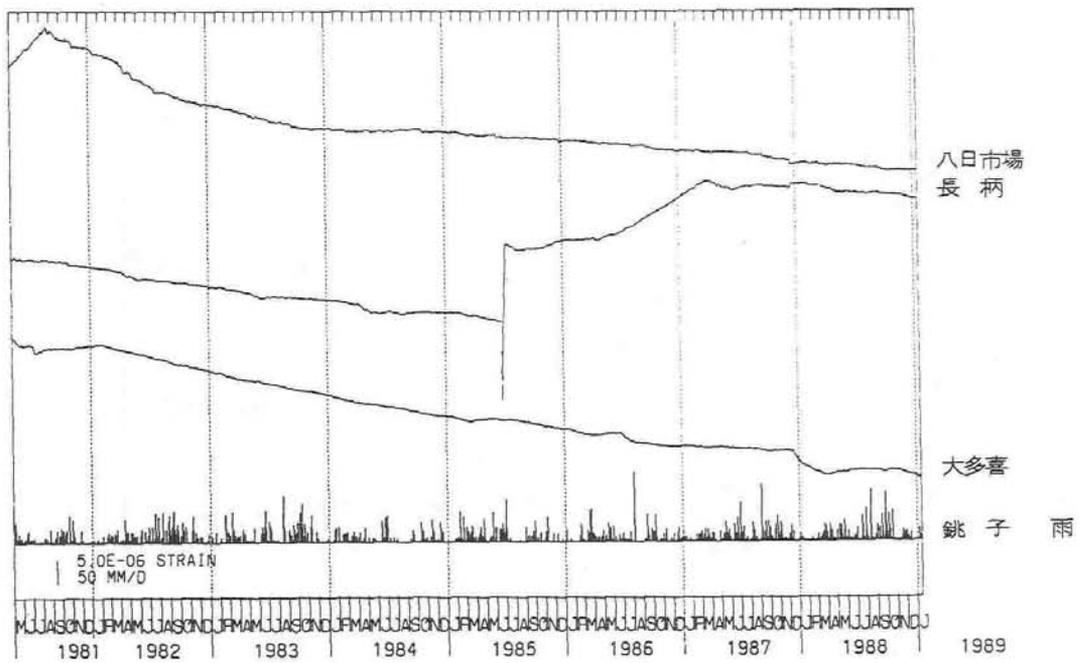


図 2-19 (つづき) 観測開始以来の地殻体積歪変化。日平均値 (第 6 区)。

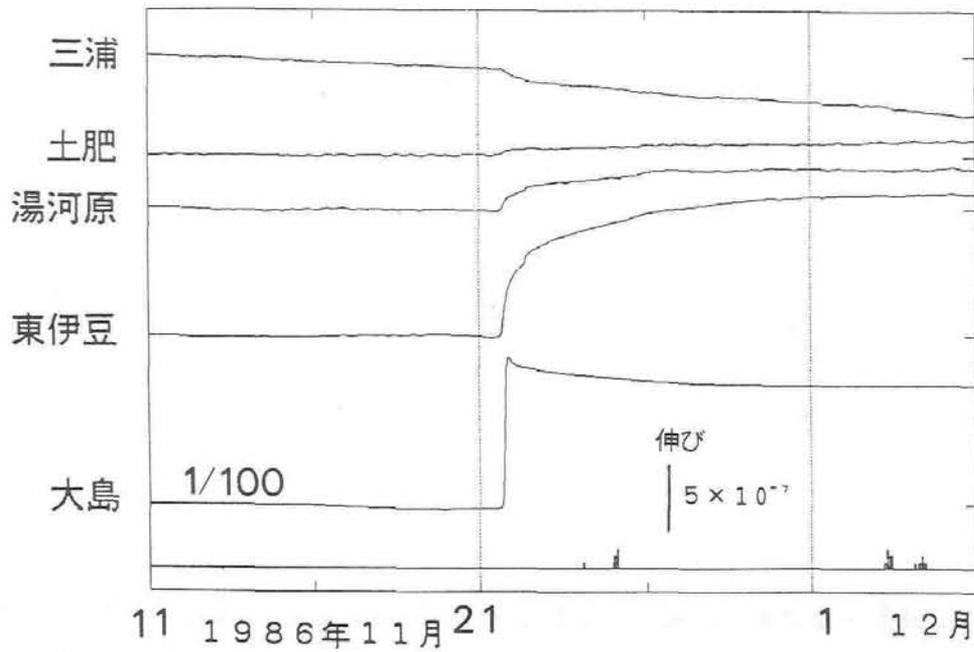


図 2 - 21 1987年11月18日の伊豆大島の噴火前後の体積歪変化 (神定ほか: 1988)。

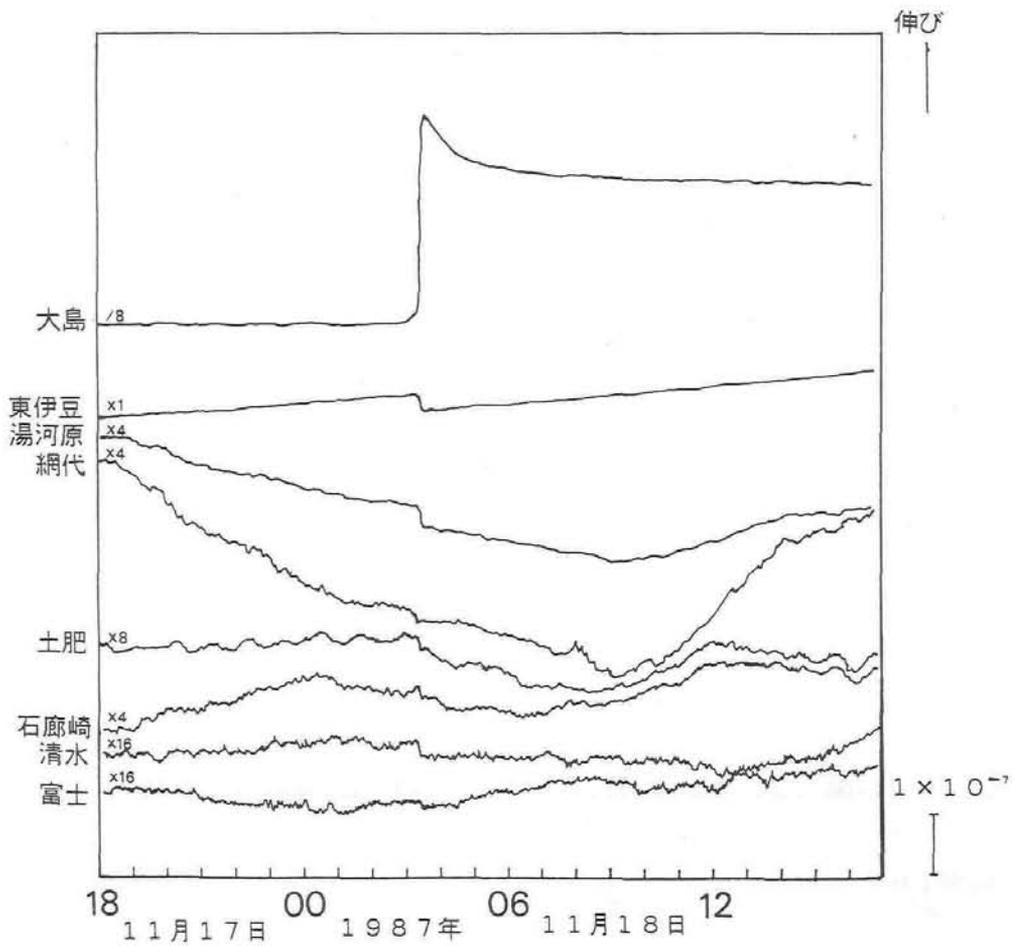


図 2 - 20 1986年 11月 21日伊豆大島噴火前後の体積歪変化。  
大島は顕著な伸び変化を記録し、周辺の観測点も歪変化を記録した (神定ほか: 1988)。

表 2 - 1 1986年11月21日と1987年11月18日の各噴火前後の体積歪変化量(気象庁:1988a)。

地点名	距離(km)	1986.11.21(strain)	1987.11.18(strain)
大島	5	$+1.2 \times 10^{-4}$	$+2.8 \times 10^{-6}$
東伊豆	31	$+1.0 \times 10^{-6}$	$-3.2 \times 10^{-8}$
三浦	48	$-1.4 \times 10^{-7}$	
湯河原	51	$+3.2 \times 10^{-7}$	$-1.0 \times 10^{-8}$
土肥	57	$+0.8 \times 10^{-7}$	-微小
富士	76	+微小	
清水	78	+微小	

+ : 伸び , - : 縮み

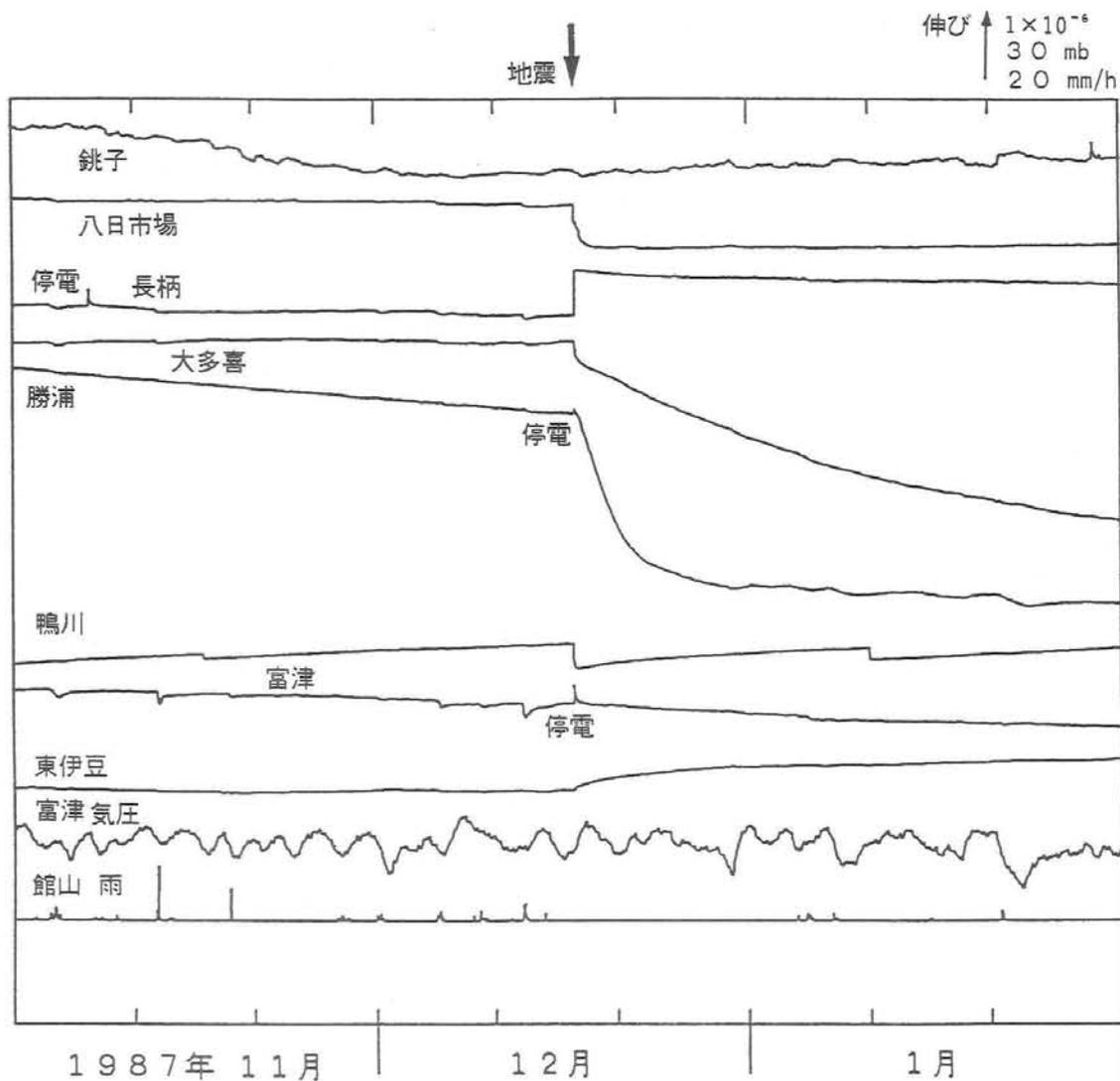


図 2 - 22 1987年12月17日 千葉県東方沖の地震の前後の体積歪変化。

房総半島の各観測点でコサイスミックな歪変化を記録した(山田:1988, 気象庁:1988b)。

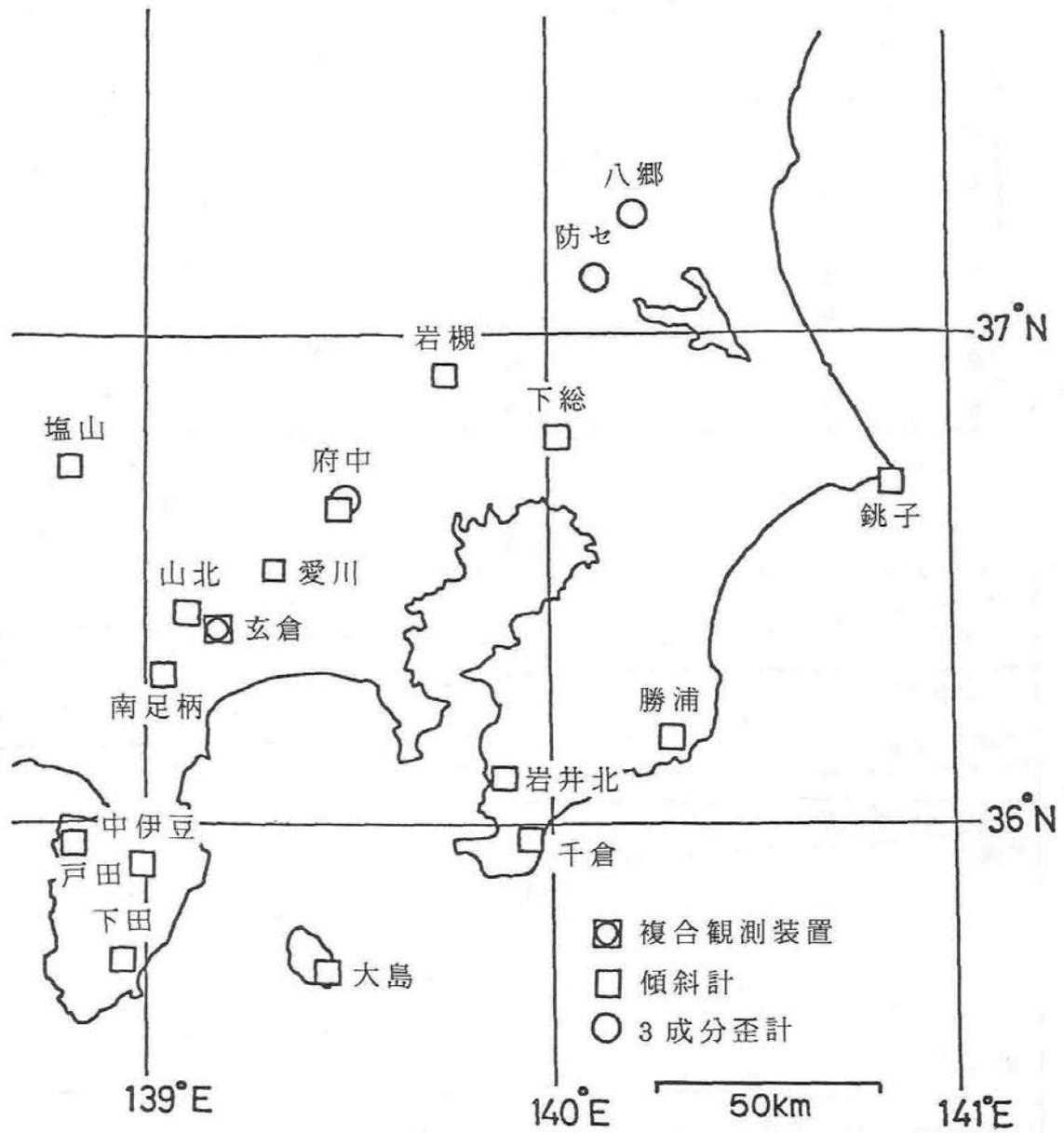


図 2-23 首都及びその周辺における国立防災科学技術センターの孔井式傾斜計および成分歪計の観測点配置図。(国立防災科学技術センターによる)

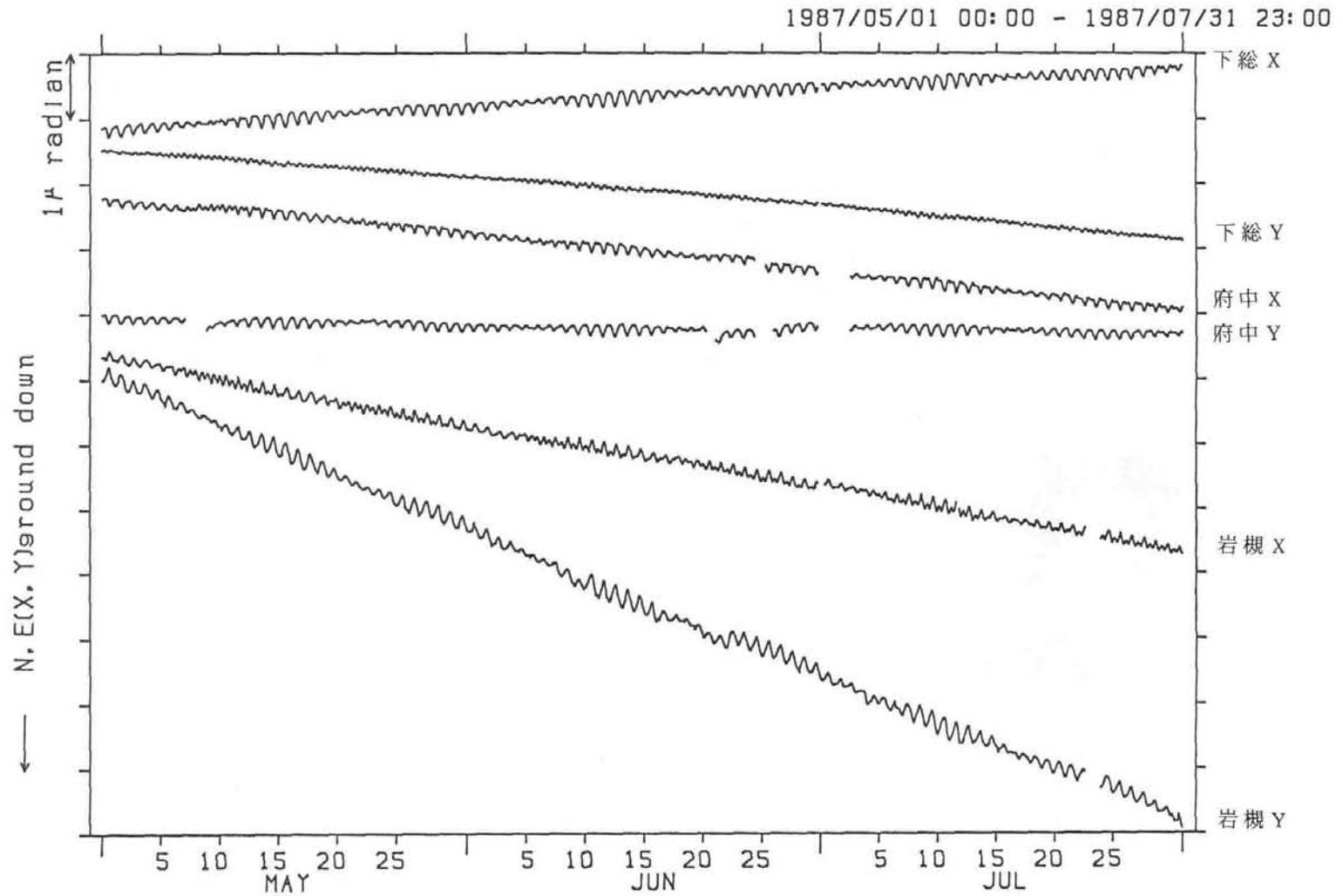


図 2 - 24 深層観測井（岩槻・下総・府中）における傾斜観測例。1987年5月～7月の3カ月間における各観測点での直交2成分の記録を示す。1 $\mu$  radianは、1km先の地点が1mm上下する傾斜量に相当する。長期的なドリフトに乗ったリプル状の変動は、月と太陽の引力による潮汐現象（地球潮汐）を示している。

（国立防災科学技術センターによる）

# TILT VECTOR CHANGE (GROUND DOWN)

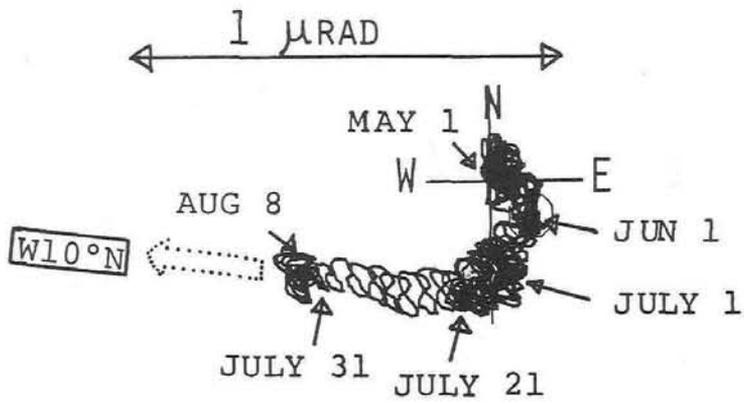


図 2 - 25 山梨県東部の地震 (1983 年 8 月 8 日, M6.0) に際し, 塩山観測施設 (震央の北西約 30 km に位置; 図 1 - 17 参照) において観測された前兆的傾斜変動。傾斜ベクトルはゆっくりした南下がりの傾向だったのが, 地震発生 20 日前頃よりほぼ西下がりに方向が急変し, 傾斜速度も早まった。地震はその後 1 週間ほどの傾斜ベクトルの停滞ののち発生している。

(佐藤ほか, 1984 による)

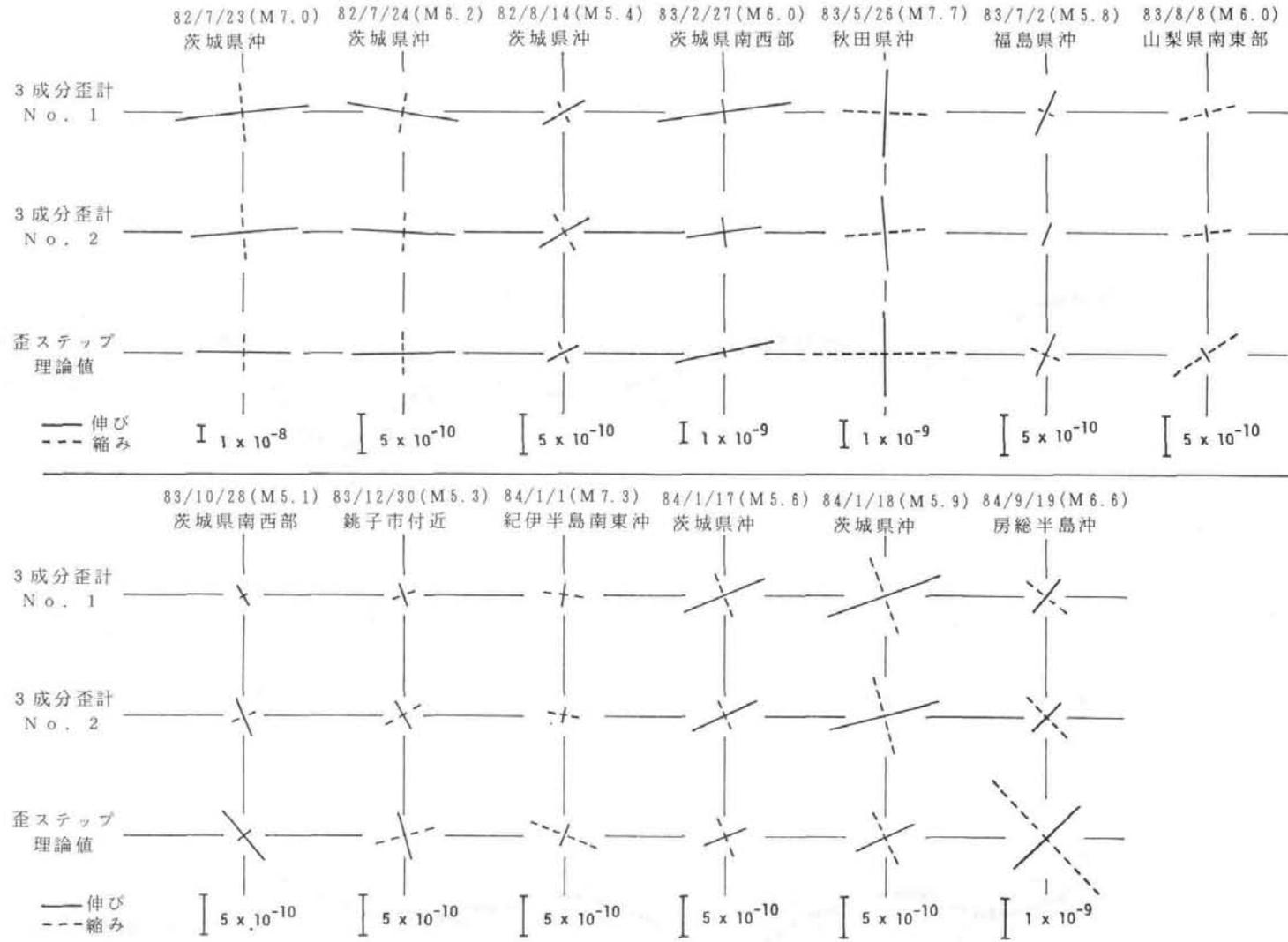


図 2-26 八郷観測施設に埋設された2台の3成分歪計(60m離れた2地点の深度160mに設置)によって検出された地震時の歪ステップと、地震の発震機構解より計算された理論ステップとの比較。計器の信頼性が確かめられると同時に、理論と観測との良好な一致が得られている。(Shimada et al., 1987による)

ABURATSUBO (1977/ 5 -- 1988/10)

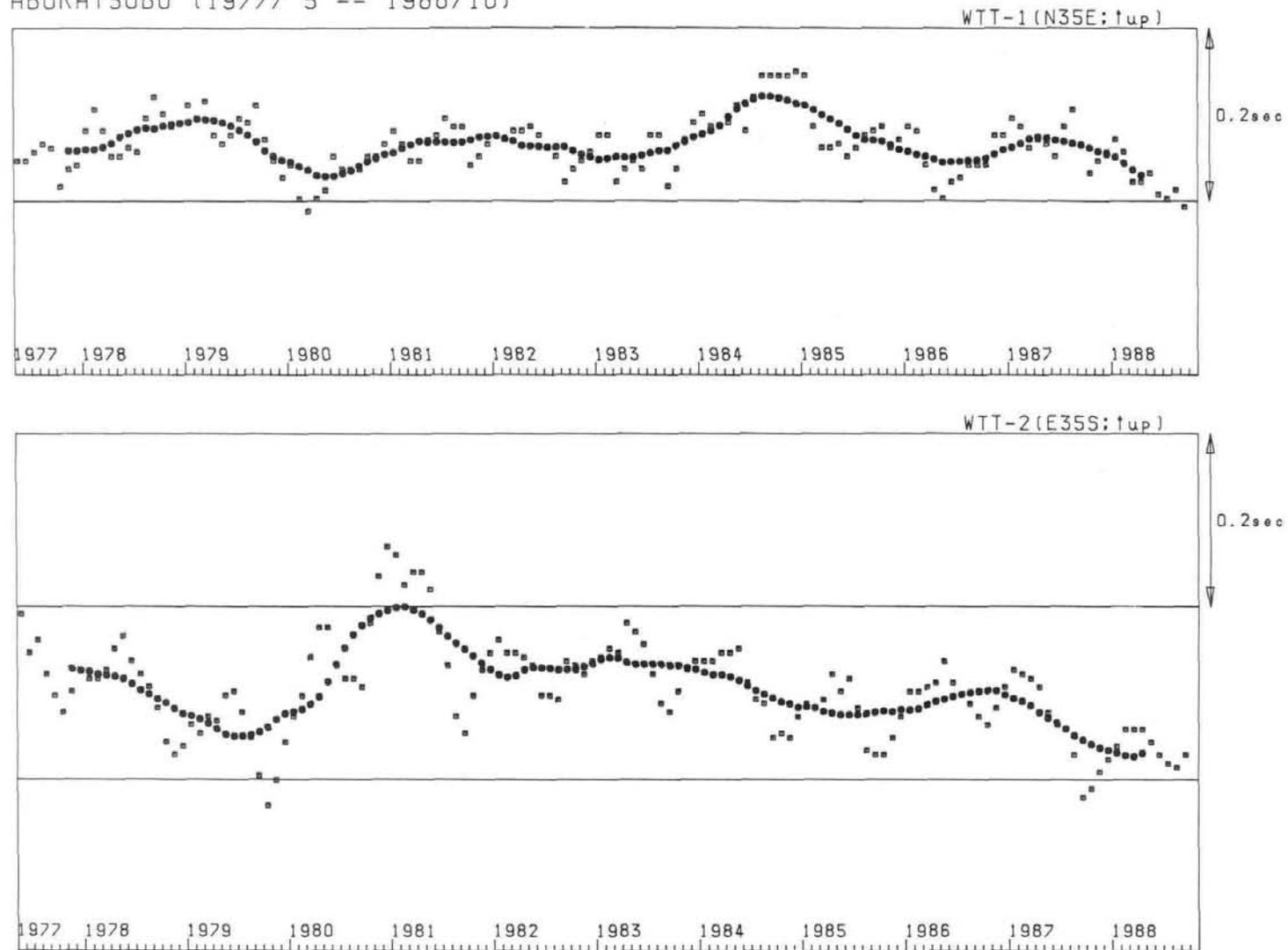


図 2 - 27 油壺観測所における読取型水管傾斜計記録。月平均値 (□) 及び 12 カ月移動平均計算結果 (●)。(東京大学地震研究所による)

ABURATSUBO (1977.11 -- 1988. 5)

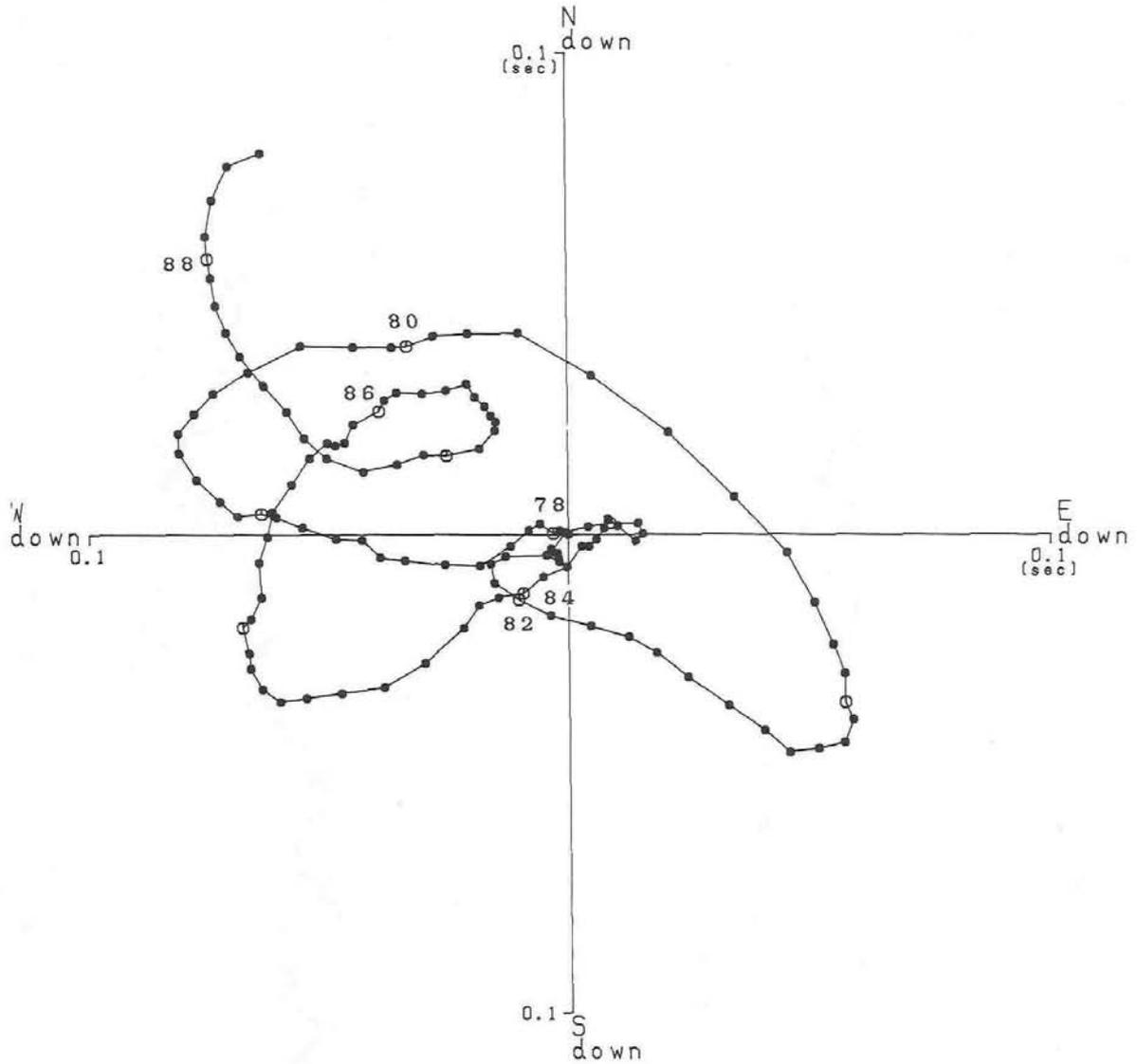


図 2-27 つづき 油壺観測所における読取型水管傾斜計による傾動ベクトル図 (移動平均値による)。(東京大学地震研究所による)

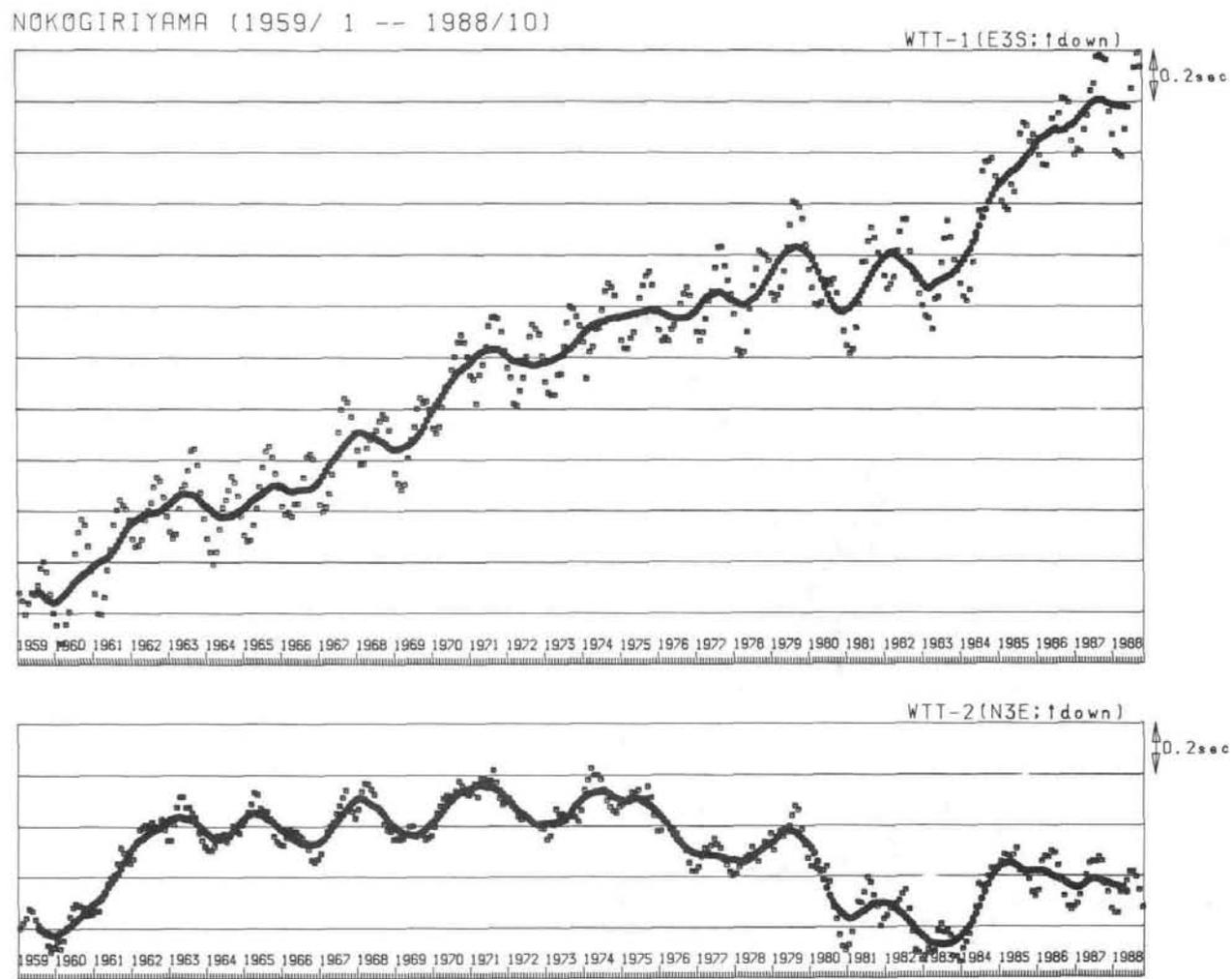


図 2 - 28 鋸山観測所における読取型水管傾斜計記録。日平均値 (□) 及び 12 カ月移動平均計算結果 (●)。(東京大学地震研究所による)

NOKOGIRIYAMA (1959. 7 -- 1988. 5)

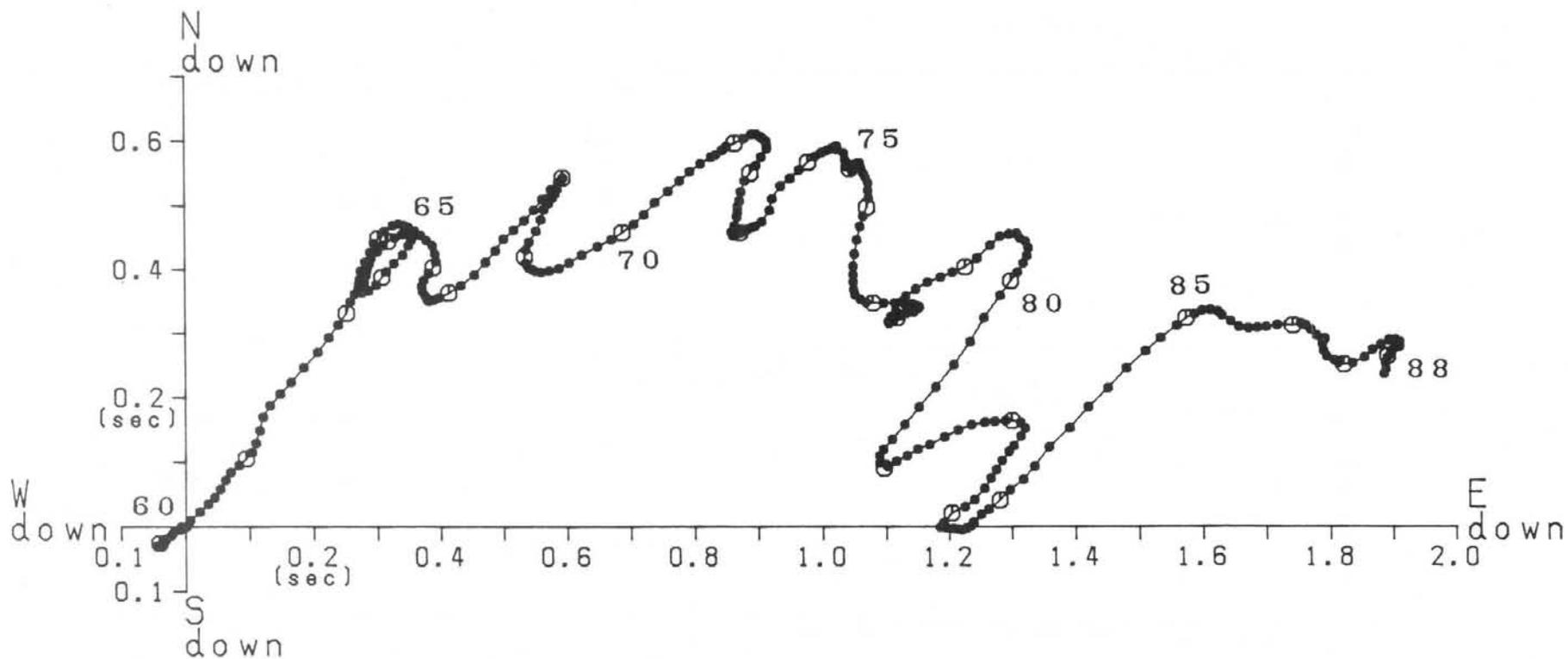


図2-28 (つづき) 鋸山観測所における読取型水管傾斜計による傾動ベクトル図  
(移動平均値による)。(東京大学地震研究所による)

水晶管伸縮計 日平均 (館山地殻活動観測場)

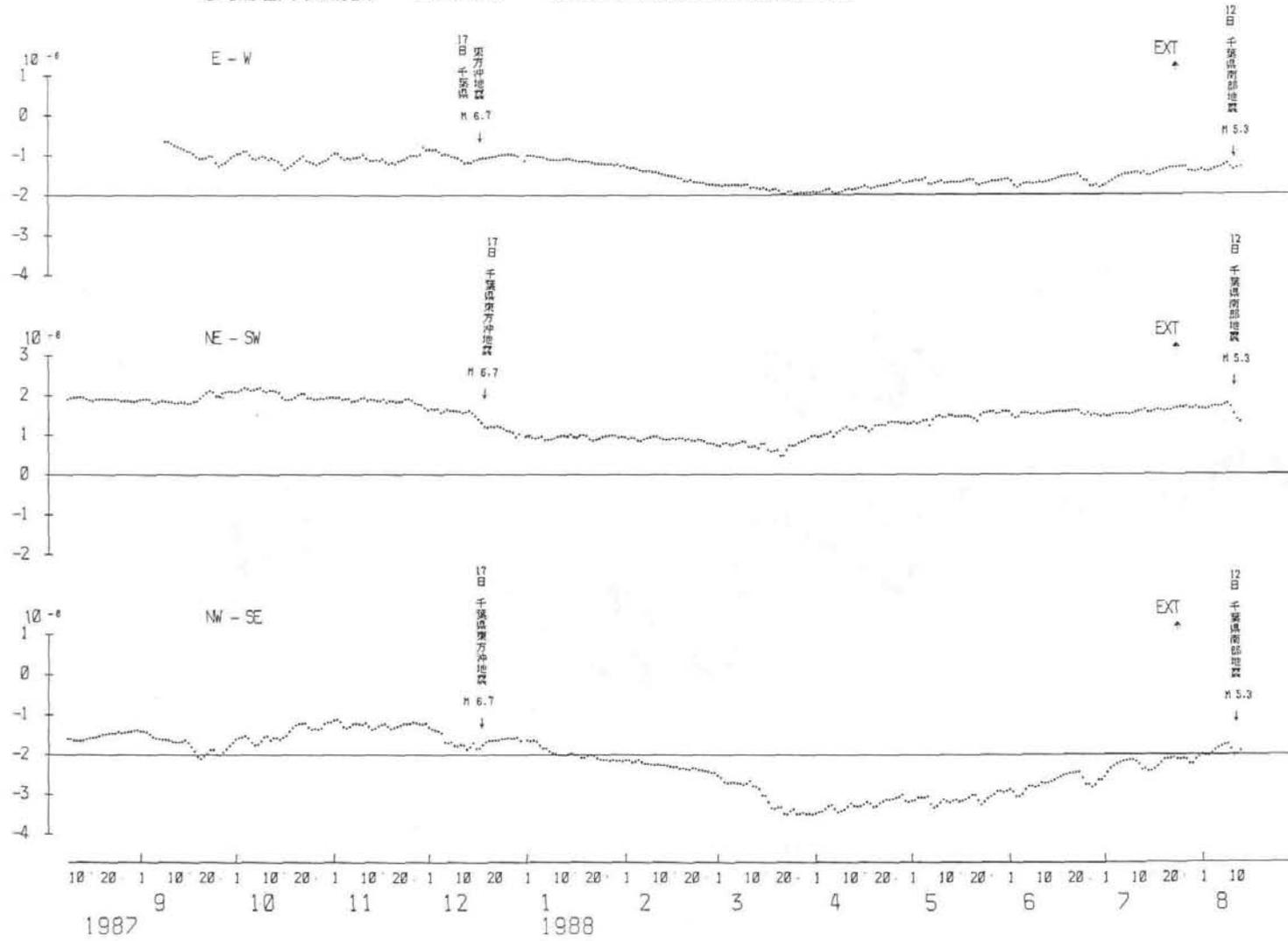


図 2 - 29 館山地殻活動観測場における水晶管伸縮計記録。日平均。最近 1 年間の日平均記録。地震に関連した変動がみられる。(国土地理院による)

水晶管伸縮計 月平均 (館山地殻活動観測場)

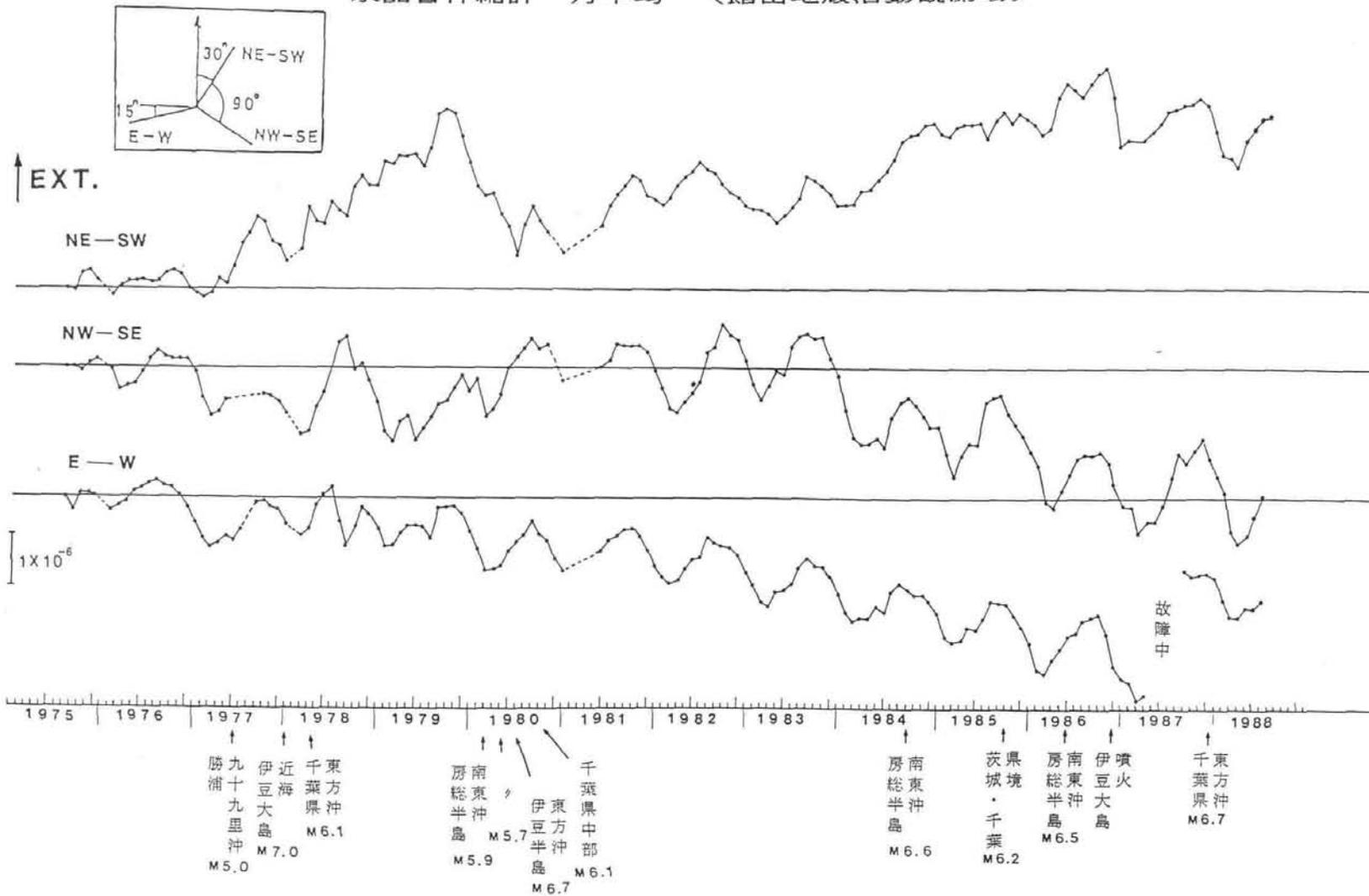


図 2-29 (つづき) 月平均。1975 年以來の長期間記録。長期的には南北縮み，東西伸びの傾向にあり，測地測量の結果と調和している。(国土地理院による)

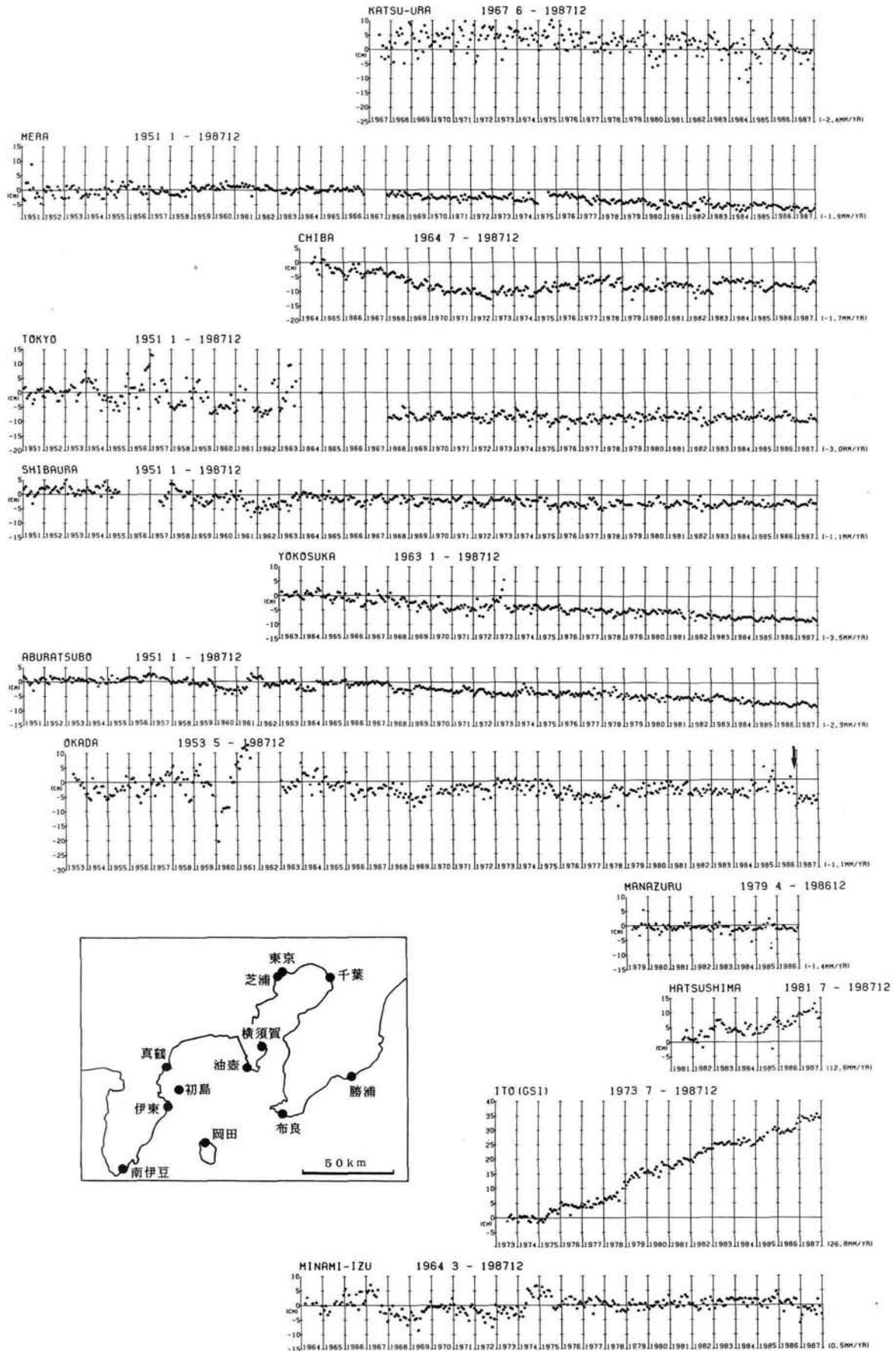


図2-30 関東地方における検潮所と月平均潮位記録から推定された上下地殻変動。  
 上向きが地盤隆起で一目盛り5 cm。矢印は1986年伊豆大島の噴火。(加藤照之による)

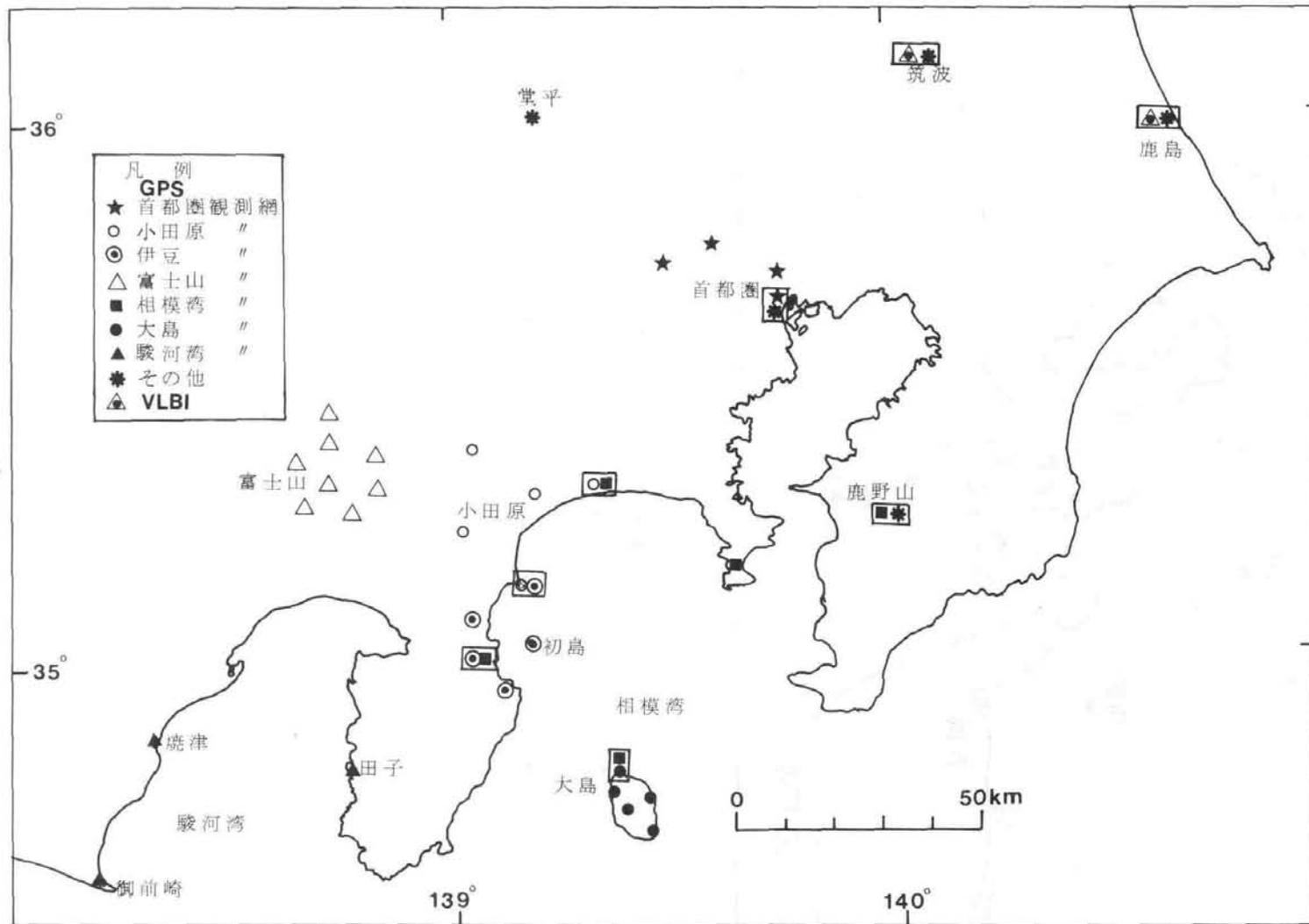


図 2 - 31 国土地理院における宇宙技術を利用した測地測量観測網。GPS, VLBI を用いた測量を繰り返し実施しているが, GPS については更に観測点を増やすと共に, テレメータ化を予定している。

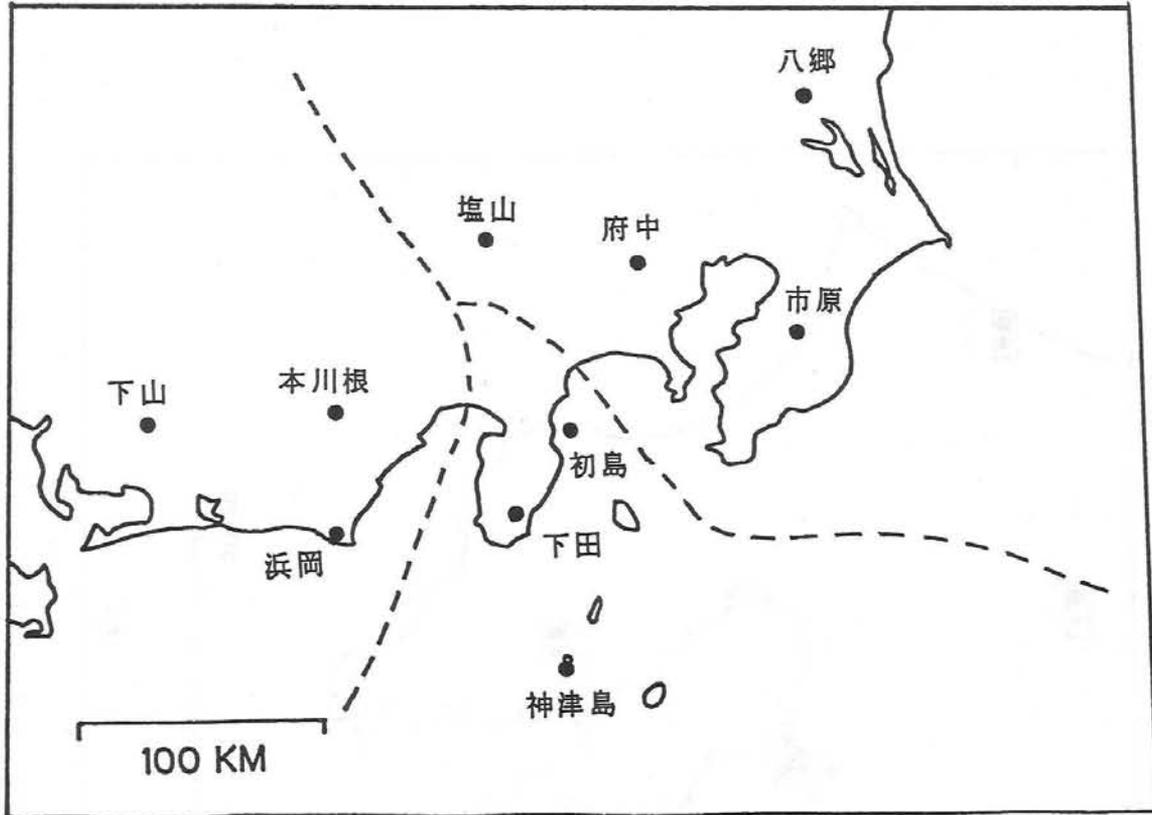


図 2 - 32 関東・東海地域固定点GPS地殻変動観測網の観測点配置図。東北日本（北米プレート），南西日本（ユーラシアプレート），およびフィリピン海プレート上に各々3～4点を配備し，GPSによる広域の地殻変動連続観測を実施している。（国立防災科学技術センターによる）

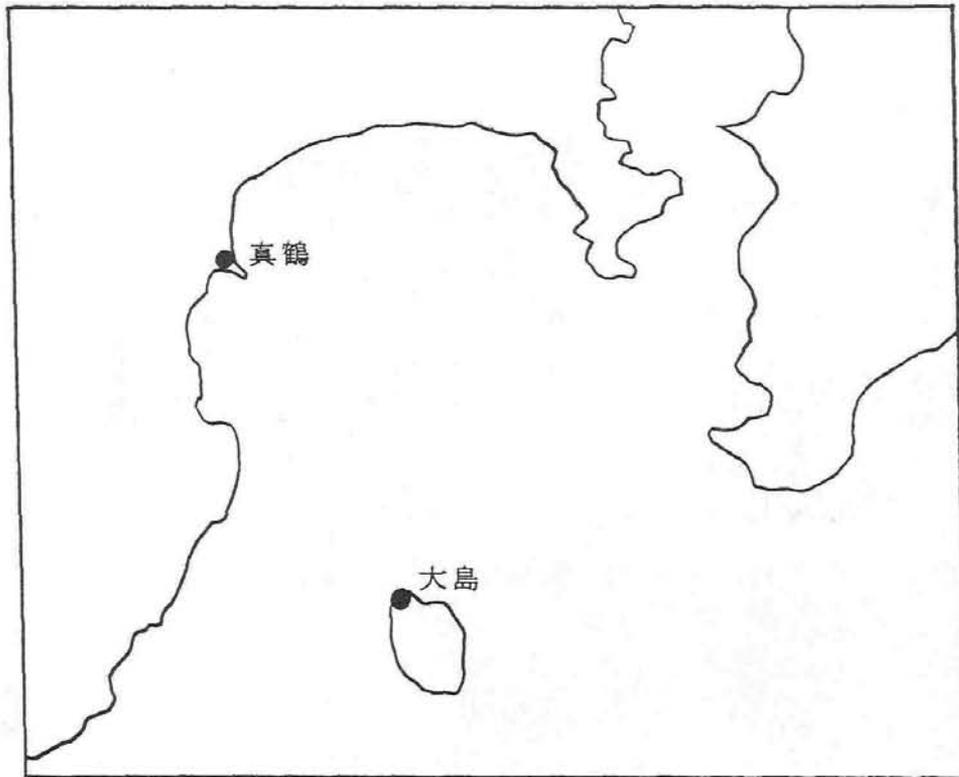


図 2 - 33 西相模湾域の地殻変動を監視するため、昭和 63 年度には伊豆大島と真鶴の 2 点で G P S の観測を実施した。平成元年度は、これらに加えて、城ヶ島及び伊豆白浜において実施予定。 (海上保安庁水路部)

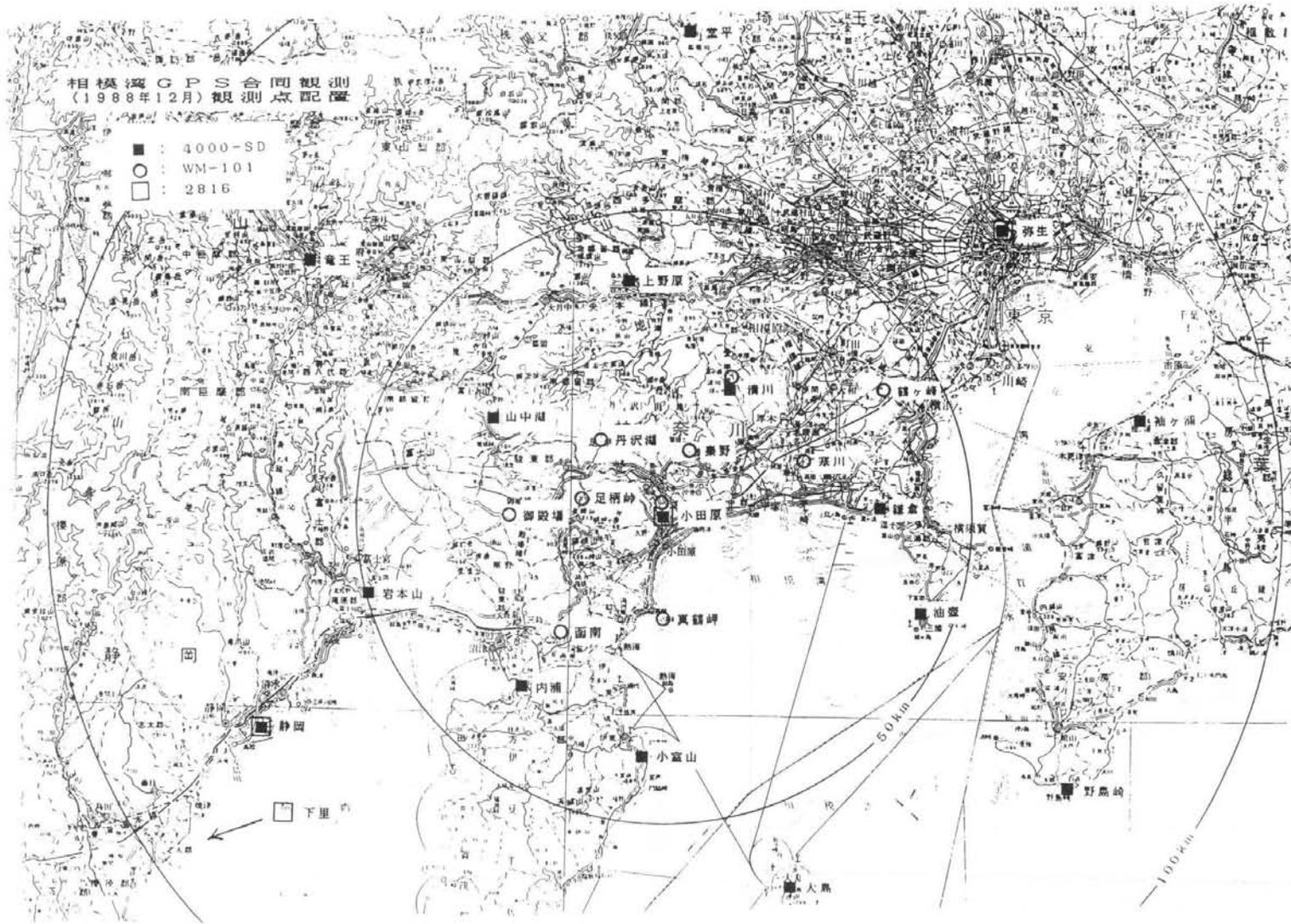


図 2 - 34 大学連合による相模湾GPS合同観測(1988年12月)観測点配置

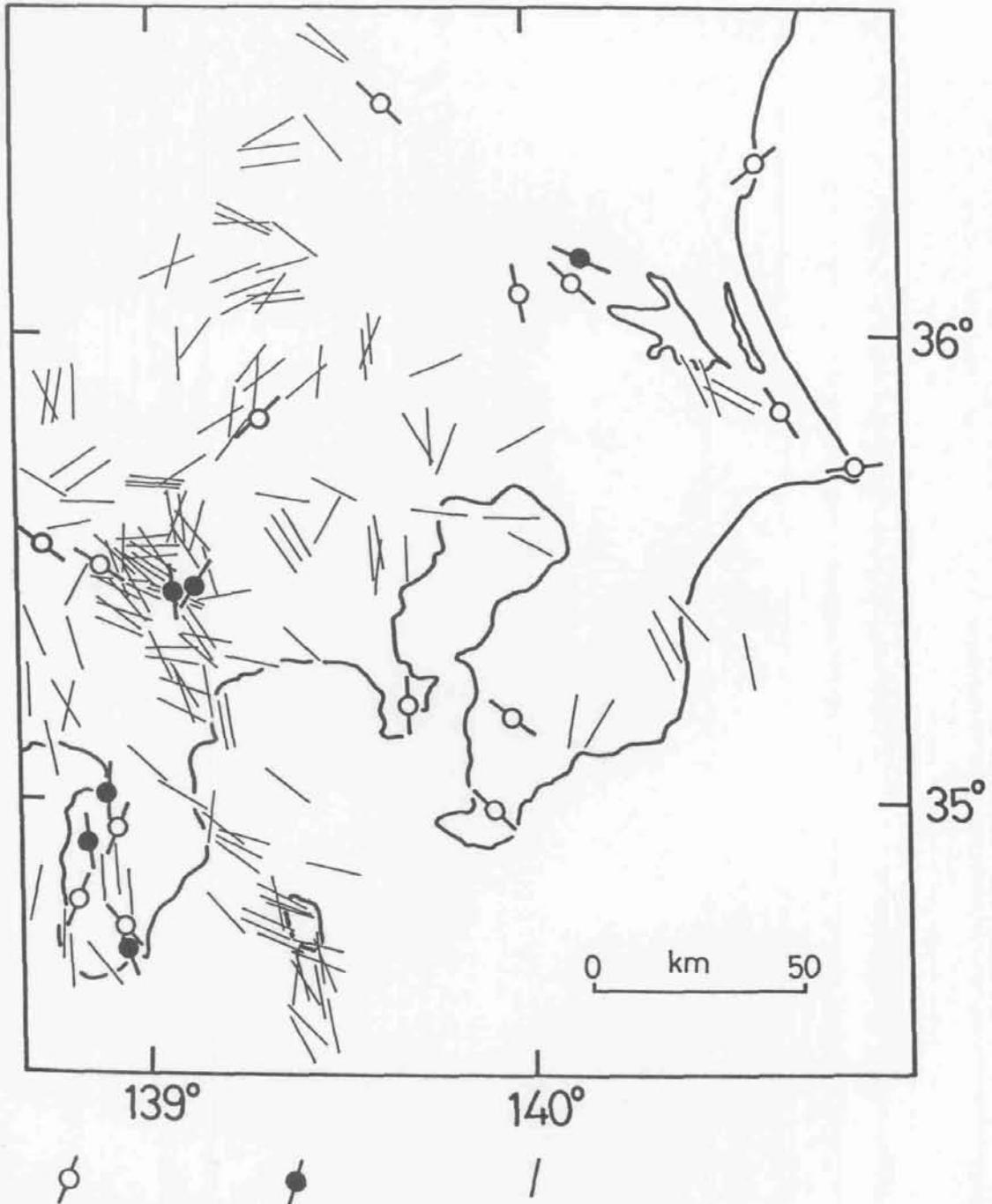


図2-35 首都及びその周辺における地殻応力の分布図。線分は最大水平圧縮応力の方位を示し、白丸は水圧破壊法による測定結果、黒丸は応力解放法による測定結果、無印は浅発地震（深さ 35 km 以浅）の発震機構解からの推定である。

相模湾とその周辺は北西-南東の最大水平圧縮応力が卓越し、これはフィリピン海プレート運動方向と調和する。関東平野の北部は同じく北西-南東の圧縮力に支配されているが、東京都心部周辺ではデータが乱れている。これらのデータは深度 20 - 35 km の比較的深い地震の発震機構解から推定されたものであり、潜り込んだフィリピン海プレート内及び上面境界部付近の応力を示しているものと思われる。この地域では地殻応力の直接測定例は皆無であり、浅部での応力状態を知るためにその実施が強く望まれる。関東平野西方の山地（関東山地）は北東-南西の圧縮場であり、その北、利根川を挟んだ足尾山地では、北西-南東の圧縮場が支配している。（塚原・池田、1989 による）