

## 西南日本における一等三角点変動解析

On the recent horizontal deformation of the earth's crust and its relation to earthquakes occurrence in Southwestern Japan

谷 口 彰*	国 香 聡*
Akira TANIGUCHI	Satoshi KUNIKA
飯 川 健 勝**	三 梨 昂*
Kensyo IKAWA	Takashi MITSUNASHI

**Abstract** The first order triangulation in Southwestern Japan was carried out three times in 1883-1908, 1948-1960 and 1968-1972 respectively. In order to elucidate the relation between the horizontal deformation of the earth's crust and destructive earthquakes, the authors analyzed the triangulation data by the following method. The triangulation stations on the ellipsoidal surface are expressed as a liner function of X and Y components. Supposed the deformation in a triangle composed of there stations, displacement of the station, dilatation, rotation, maximum shear and axes of principal strain are calculated for each triangle as shown in figure 3 to 8.

The results are as follows.

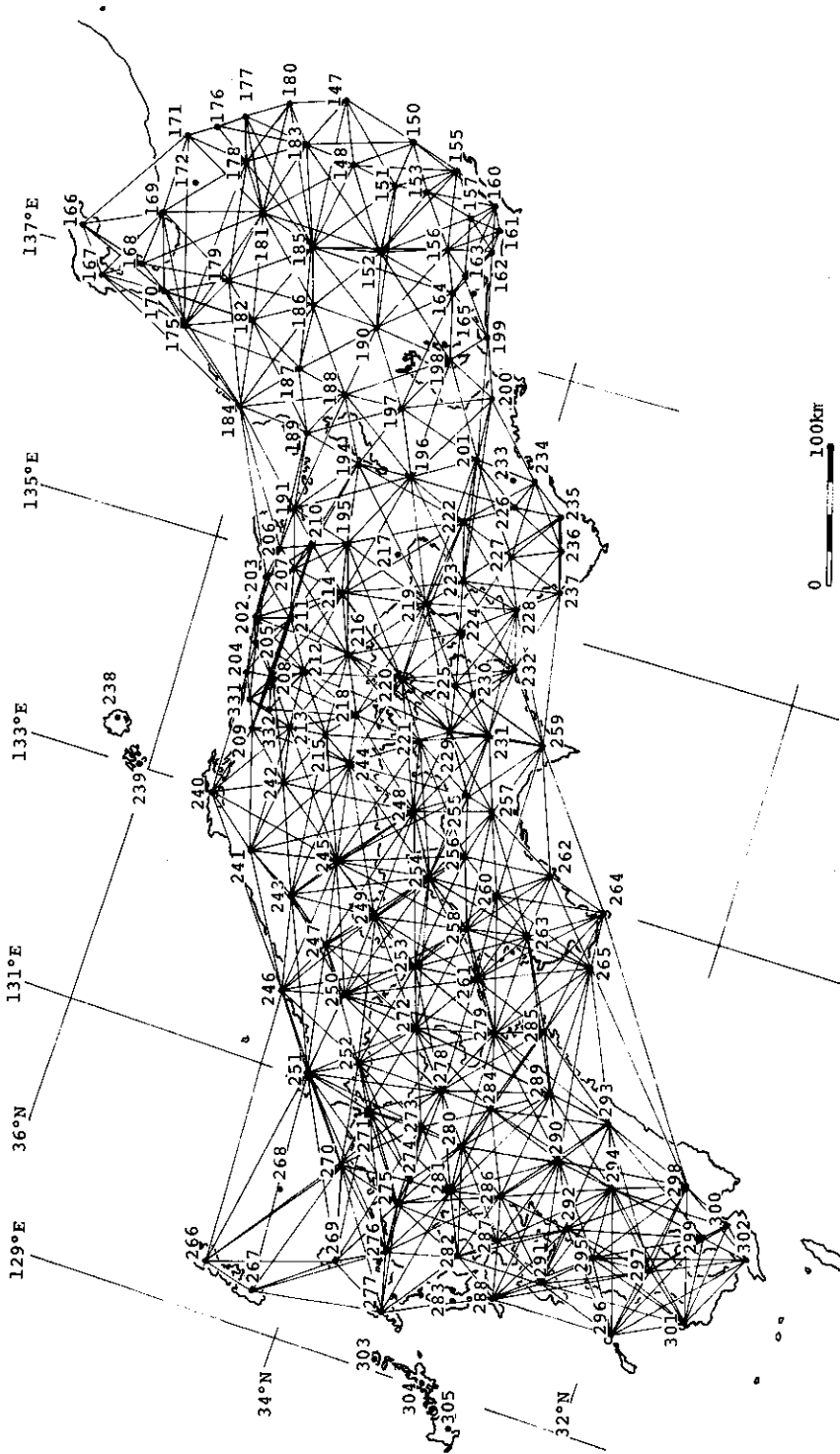
1. The triangulation stations are rotated clockwise on the west side of Long. 133°E. On the other hand, they are rotated counterclockwise on the east side of Long. 135°E (Fig. 3).
2. The dilatation domain is distributed in central Kyushu, Tokai and Hokuriku districts. The contraction domain is distributed in south of Matsue, around Tottori City and the Chubu mountainrange (Fig. 4).
3. The crust is rotated clockwise in north Kyushu-west Setonaikai, around the Ashizuri Cape, Tottori and the western Kii Peninsula. On the other hand, it is rotated counterclockwise in the central part of Shimane prefecture, areas from the Wakasa bay to the Tango Peninsula and from the Hida mountains to the Mikawa bay (Fig. 5).
4. In Kyushu, Chugoku and Shikoku districts, the dilataion strain axes are arranged concentrically, and the contraction strain axes are arranged in radial manner.  
In east Chugoku, east Shikoku and Kinki districts, dilatation strain axes are run in N-S direction, generally smaller than the contraction strain axes.  
In Tokai, Chubu and Hokuriku districts, dilatation strain axes are arranged concentrically.  
The strain axes are arranged concordant with the present lay of the west Japanese island (Fig. 6,7).
5. A maximum shear zone of  $10^{-5}$  order and over is distributed in the coast of Sea of Japan and the Pacific Ocean, and in which the destructive earthquakes have occurred (Fig. 8).
6. Compared the results with data of vertical displacement during the Quartanary, it is generally that the dilatation domain is situated in the upheaval area, and the contraction domain in the submergence area.

### I はじめに

一等三角点は、30～60 km、平均 45 km ほどの間隔で全国の見晴らしのよい山頂などに配置されている (第 1 図)。それらの経・緯度は、最初 1882～1911 年に測量され、次いで 1948～1965

\* 島根大学理学部地質学教室

\*\* 新潟県立小千谷西高等学校



第1図 西南日本の一等三角点の位置と歪計算をする際の三角点の組みかた。  
 なお、三角点番号は HARADA (1967) により、各三角点の名称は第  
 1表に対応する。

年に改測された (HARADA, 1966)。この2回の測量により、日本列島全域にわたって約60年間の地殻の水平変動の実態を明らかにする基礎が与えられた。本研究の当該地域である西南日本においては、最初1883～1908年に測量され、ついで1948～1960年に改測された。また、近畿地方以西についてのみ、1968～1972年に3回目の測量が行なわれているが、この資料は今回用いていない。このため、この論文においては、1回目の測量を旧、2回目の測量を新、として表わすことにする。

三角点の変動にもとづく地殻の水平変形については、これまでも日本列島全域において、HARADA (1966)、原田・葛西 (1971)、鈴木ほか (1975) があり、中部地方から西南日本については KASAHARA & SUGIMURA (1964)、西南日本については HARADA & SHIMVRA (1978)、関西地方については、TERADA & MIYABE (1928)、新潟県周辺地域については、飯川・鈴木 (1977)、また本州中央部については、飯川 (1981) の報告がある。飯川・鈴木 (1977) を除くこれらの研究は、三角点の変動と地震との関係を述べてはいるが、地質構造との関係についてはあまり触れていない。

また、鈴木ほか (1975) などにおいて、日本列島全域の解析結果が報告されているが、これらは解析のための網の目が粗いので十分な検討が行なえなかった。そこで、筆者らは飯川 (1981) の方法を参考にして、三角点網を重複させながら細かいネットをつくり (第1図)、多数のデータを抽出した。この方法により、詳細な検討が可能となった。なお、ここで用いた資料は、HARADA (1967) によった。

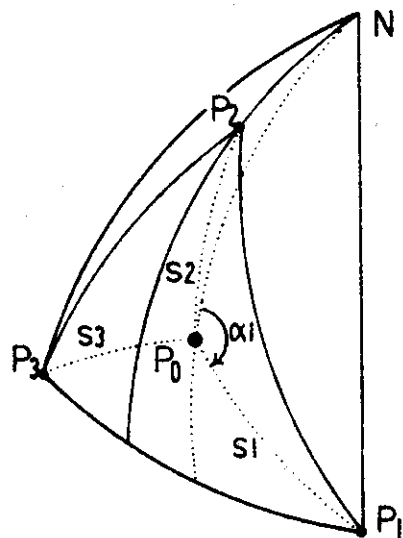
**謝辞** 本研究をすすめるにあたり、鈴木尉元氏 (地質調査所) には、テーマの提起をはじめ、終始御指導いただいた。山内靖喜氏 (島根大・理)・小玉喜三郎氏 (地質調査所) の両氏には平素から御助言を頂いている。赤井純治氏 (新潟大・理)・小室裕昭氏 (島根大・理) には、電算機の使用に際して御協力と御助言をいただいた。

島根大電算センターの堀江昭彦氏、門城祐司氏および福田悦子氏には、プログラム作成に御助言いただいた。また、中村和彦氏をはじめとする島根大学理学部地質学教室の学生諸氏には、平素から御協力をいただいた。この紙面をかりて、以上のかたがたに、御礼を申しあげる。

## II 解析方法

筆者らは、三角形の旧・新の位置の差から地殻の水平的な変動の実態を明らかにするために、次の方法で計算処理を行なった。一般に、測地線長が60 km以下の場合には球面と仮定して計算してもさしつかえないとされている (檀原・友田, 1969) が、以下の計算は、回転楕円体として計算した。なお、旧・新の位置の差から得られる各三角点の変位ベクトル (第3図) については、変位量が4 m以下程度であることから、球面上の接平面を想定して計算した。

回転楕円体 (BESSEL 楕円体) 上の三角点の位置は次の方法で直角平面座標に変換される。(第2図)。3個の一等三角点の経・緯度を  $P_1 (\lambda_1, \varphi_1)$ ,  $P_2 (\lambda_2, \varphi_2)$ ,  $P_3 (\lambda_3, \varphi_3)$  とすれば、 $\Delta P_1 P_2 P_3$  の図心の経・緯度は、



第2図 三角点  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  によって構成される回転楕円体上の三角形の図心  $P_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ , 子午線からの方位角  $\alpha$  の関係。

$$P_0(\lambda_0, \varphi_0) = \left( \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}{3}, \frac{\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3}{3} \right)$$

で与えられる。また、図心とある1つの三角点との測地線長を  $S$ 、子午線からのその方位角を  $\alpha$  とすると、直角平面座標に変換された三角点  $(x, y)$  は、

$$x = S \sin \alpha, \quad y = S \cos \alpha$$

で与えられる。ただし、 $x, y$  座標はそれぞれ点  $P_0$  を原点  $(0, 0)$  にとるものとする。このとき、 $S \sin \alpha, S \cos \alpha$  は次の式から求められる(堀川・大森, 1969)。

$$\alpha = \frac{1}{2} (\alpha_1 + \alpha_2) \quad b = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$l = \lambda_2 - \lambda_1$$

$$S \sin \alpha = \frac{l \cos \varphi}{[2]} \left( 1 - \frac{[3]}{\mu} l^2 \sin^2 \varphi + \frac{[4]}{\mu} b^2 \right)$$

$$S \cos \alpha = \frac{b}{[1]} \left( 1 - \frac{[5]}{\mu} l^2 \cos^2 \varphi - \frac{[6]}{\mu} b^2 \right)$$

が成立する。ただし、

$$[1] = \frac{\rho}{N} V^2 \quad [2] = \frac{\rho}{N} \quad [3] = \frac{\mu}{24 \rho^2} \quad [4] = \frac{\mu}{24 \rho^2} \cdot \frac{1 + \eta^2 - 9 \eta^2 t^2}{V^2}$$

$$[5] = \frac{\mu}{24 \rho^2} (2 + 3 t^2 + 2 \eta^2) \quad [6] = \frac{\mu}{8 \rho^2} \cdot \eta^2 \frac{t^2 - 1 - \eta^2 - 4 \eta^2 t^2}{V^2}$$

$$N = \frac{c}{v} \quad C = \frac{a^2}{b}$$

$$V^2 = 1 + e' \cos^2 \varphi = 1 + \eta^2 \quad e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

$$t = \tan \varphi \quad \mu = \log_{10} e = 0.4342944819$$

$$\rho = 206264.8062471$$

$a \cdot b$ : 回転楕円体の長・短径

上に述べた計算式を旧・新の三角点測量結果に適用すると、直角平面座標に変換される。その変換された三角点の旧・新の平面座標を  $(x, y), (x', y')$  とする。このとき、 $x \cdot y$  方向の変位成分  $u \cdot v$  が  $x \cdot y$  の一次変換

$$\begin{cases} u = ax + by \\ v = cx + dy \end{cases}$$

で与えられたとすると、3個の三角点の変位がわかると上式の  $a, b, c, d$  が求められる。そして、この  $a, b, c, d$  から単位面積の変化、回転、主歪軸の方向と大きさ、最大剪断歪が次の計算式で求められる。

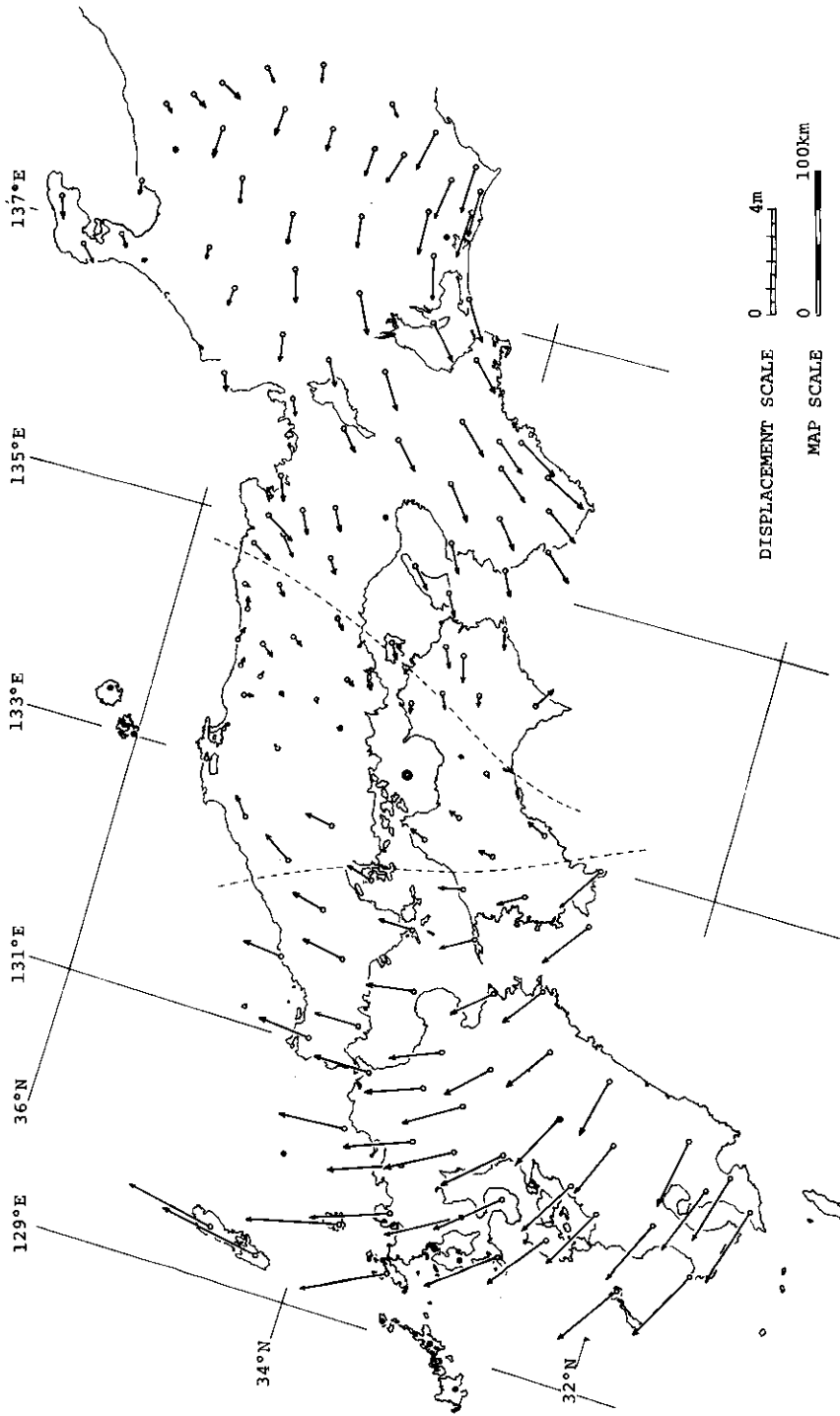
単位面積の変化

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = a + d$$

回 転

$$\frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \frac{1}{2} (c - b)$$

主歪軸の大きさ:  $v_2^2$



第3図 一等三角点の変位図  
仮不動点No 248 (伊予沖ノ島)。

$$\frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \pm \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2} \right\}$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ (a-d) \pm \sqrt{(a-d)^2 + (c+b)^2} \right\}$$

主歪軸と x 軸のなす角:  $\tan \alpha$

$$\frac{2 \left( \nu_2^1 - \frac{\partial u}{\partial x} \right)}{\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}} = \frac{2 (\nu_2^1 - a)}{c+d}$$

最大剪断歪

$$\sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2}$$

$$= \sqrt{(a-d)^2 + (c+b)^2}$$

## II 解析結果

以上の方法で解析した結果について以下に述べる。

### 1. 一等三角点の変位

第3図は、ほぼ図の中心に位置する一等三角点の伊予沖ノ島 (No. 248\*) を仮不動点として、各三角点の変位方向と変位量 (第1表) を矢印で示したものである。この図から三角点の変位方向と変位量がわかるが、同時に単位面積の変化・回転・最大剪断歪の分布などについて大局的な傾向がある程度推定することができる。例えば、ある方向に向けて変位量が連続的に増加 (減少) している場合、単位面積の変化・主歪軸の大きさが正 (負) 領域の分布を示すことが予想される。また、隣接する3個の三角点で構成される三角形の各頂点の変位傾向からその三角形の回転方向を予想することも可能である。

第2図の変位傾向から、九州・中・四国西部 (第I地区)、中・四国中央部 (第II地区)、鳥取一高知以東 (第III地区) の3地区に分けられる。

#### (1) 第I地区

九州及び四国西部から山口県にかけては、時計廻りの変位傾向を示す。九州地方においては、南部から北部にむけて、No. 293 (2.2429 m N 77.99°W), No. 287 (2.7786 m N 40.40°W), No. 269 (3.8331 m N 9.03°E) のように、各基点は、変位量を増大させながら時計廻りに変位方向をかえている。従って、この変位様式は、単位面積の増加に反映していることが推察される。

#### (2) 第II地区

松江南部においては、No. 243 (1.2319 m N 31.68°E), No. 241 (0.8662 m N 52.12°E), No. 240 (0.2604 m N 89.75°E) などのように、各地点は、変位量を減少させながら時計廻りに方向を変えている。従って、この変位様式は、単位面積の減少に反映していることが推察される。鳥取南部および仮不動点付近も時計廻りに収斂する変位傾向を示すが、変位量は1桁小さい。

\* 以下において、特定の三角点を示す場合は、三角点番号で示す。それらの名前は、第1表に、またその位置は、第1図に示す。

第1表 一等三角点の変位量と方位角番号は第1図と対応する。(仮不動点 No.248 伊予沖ノ島)  
方位角は、東方位を0°とし、反時計廻りを正、時計廻りを負とする。

No.	三角点	変位量(m)	方位角(度)	No.	三角点	変位量(m)	方位角(度)
147	Kokushidake	0.6923	-172.46	214	Kasagatayama	0.6922	-146.71
148	Kaikomagatake	0.8569	177.09	215	Ohirayama	0.1616	-133.28
150	Kenashiyama	0.5502	-147.66	216	Shirahatayama	0.5200	-140.67
151	Akaishidake	1.0352	174.83	217	Rokozan	-	-
152	Enasan	1.1944	-174.26	218	Kanayama	0.3851	-119.24
153	Daimugenzan	1.2316	161.59	219	Kamaguchiyama	1.0848	-139.50
155	Ryuzumeyama	1.5452	165.57	220	Hoshigashirayama	0.6381	-150.57
156	Shirokurayama	1.6566	179.81	221	Kiyama	0.3830	-165.61
157	Hachikozan	1.5805	169.94	222	Kongozan	1.5505	-141.57
160	Sakabemura	1.7658	176.43	223	Manaitaishiyama	1.1832	-152.09
161	Takatenjinyama	1.7376	177.65	224	Yuzuruhasan	0.9042	-151.30
162	Uwanomishinden	1.7723	174.15	225	Oyama	0.8401	-156.90
163	Tomimakiyama	1.5872	-173.36	226	Shakagatake	1.5703	-129.03
164	Mikawahonguzan	1.6414	-166.52	227	Jogamori	1.3236	-141.44
165	Kamiishiyama	-	-	228	Nishiyama	1.0451	-155.02
166	Maruyama	0.9325	-163.23	229	Ryuoyama	0.6561	-154.00
167	Kawachidake	0.8342	-136.88	230	Futatsumaruyama	1.0320	-166.39
168	Takasakayama	0.5919	-144.82	231	Tsurugisan	0.4792	-164.79
169	Sonoke	0.5658	-174.17	232	Amyojinyama	0.7705	-166.60
170	Hotatsuzan	0.1145	-153.90	233	Odaiharayama	1.5025	-129.51
171	Myokozan	0.4211	-131.45	234	Takakoyayama	1.7506	-121.06
172	Hakubadake	-	-	235	Kodomariyama	1.7769	-115.04
175	Senkoji	0.1341	-165.87	236	Hoshinomori	1.5255	-125.38
176	Motodoriyama	0.7006	-124.46	237	Heisogen	1.3784	-133.37
177	Nekodake	0.9361	-119.91	238	Taimanjiyama	-	-
178	Hijiriyama	1.0996	174.15	239	Chifujima	-	-
179	Kongodoyama	0.4855	-178.10	240	Asahisan	0.2604	10.25
180	Happusan	0.6807	-144.14	241	Sanbeyama	0.8662	37.88
181	Hotakadake	0.9258	-172.41	242	Dogosan	0.1742	44.45
182	Hakusan	0.6915	175.21	243	Azayama	1.2319	58.32
183	Tateshinayama	1.0679	172.65	244	Miyamaryuozan	0.0980	76.15
184	Kunimidake	0.6239	-159.60	245	Takanosuyama	1.0342	81.18
185	Ontakesan	1.1247	-176.21	246	Koyama	1.4711	85.18
186	Oborayama	1.2164	-166.24	247	Kanmuriyama	1.2738	76.74
187	Nogohakusan	1.0371	-170.24	248	Iyo-okinoshima	0.0000	0.00
188	Ibukiyama	1.0452	-153.37	249	Nomijima	1.0510	75.02
189	Nosakadake	0.6616	-157.06	250	Ishigadake	1.6792	80.77
190	Owarihonguzan	1.5568	-154.75	251	Tenjodake	1.9849	85.45
191	Tanejiyama	1.0354	-157.64	252	Kotonojoyama	1.7235	91.00
192	Kichiyama	-	-	253	Murotsuyama	1.2976	90.36
193	Fukamizomura	-	-	254	Takanasan	0.6913	67.78
194	Hiragadake	1.0315	-140.24	255	Niogauchiyama	0.0560	176.84
195	Mitakesan	0.9270	-154.57	256	Omogayama	0.5025	70.44
196	Jusan	1.3685	-138.72	257	Kuishisan	0.2176	-44.84
197	Gozaishoyama	1.5312	-147.54	258	Tsubogamiyama	0.9686	103.28
198	Nabeyama	1.6155	-139.18	259	Shozokumori	0.9088	-31.88
199	Oyama	1.6749	-150.23	260	Azonomine	0.5470	84.21
200	Asakumayama	1.4393	-136.49	261	Mitsukueyama	1.3826	121.66
201	Mitsumineyama	1.5070	-134.63	262	Gozaishomori	0.8174	67.28
202	Takimitaniyama	0.2294	-98.84	263	Nametokoyama	1.0803	122.22
203	Kuruhizan	0.8957	-120.76	264	Shiratakiyama	2.0826	146.75
204	Nagaobana	0.5321	-15.45	265	Tosa-okinoshima	2.2419	144.29
205	Takatsunboyama	0.4898	11.09	266	Ontake	3.4085	80.93
206	Isanakosan	1.3250	-122.77	267	Ariakeyama	3.8331	80.97
207	Tokonoyama	0.9494	-141.99	268	Okinoshima	-	-
208	Mikunisan	0.6035	-127.51	269	Dakenomine	3.4574	105.08
209	Futagoyama	0.3757	-84.49	270	Oshima	2.4335	94.70
210	Karasudake	0.9585	-154.15	271	Kirigatake	2.0685	90.88
211	Hyonoyama	0.5012	-143.03	272	Himejima	1.7901	99.56
212	Takiyama	0.4784	-124.65	273	Eihikosan	2.1501	112.01
213	Hoshiyama	0.1491	-131.41	274	Bojuzan	2.5909	111.19

No.	三角点	変位量(m)	方位角(度)	No.	三角点	変位量(m)	方位角(度)
275	Mitsuseyama	2.8082	110.59	291	Kadodake	2.7148	143.23
276	Nashikawachi	2.9628	110.93	292	Kasayama	2.4997	149.63
277	Tengudake	3.2858	116.77	293	Osuzuyama	2.2429	167.99
278	Kanaraseyama	1.9657	112.84	294	Shiragadake	2.2823	157.66
279	Mominokiyama	1.8117	130.32	295	Yahazudake	2.6163	151.27
280	Shakagatake	2.3296	122.15	296	Kamikoshikijima	2.8220	147.27
281	Maruyama	2.6301	120.53	297	Yaeyama	2.6550	155.64
282	Kyonodake	2.9469	121.87	298	Ushinotoge	2.6750	170.70
283	Nagauramura	-	-	299	Takakumayama	2.7511	160.15
284	Kujuzan	1.9846	134.41	300	Yakushiyama	2.6946	165.65
285	Motokoshiyama	1.8761	143.78	301	Nomadake	2.9979	152.28
286	Kumanodake	2.5562	132.91	302	Nojirinotsuka	3.0683	165.33
287	Fugendake	2.7786	130.40	330	Mikurayama	1.2890	173.01
288	Hachirodake	2.9483	128.81	331	Taishoyama	0.3822	- 4.59
289	Hookikawayama	2.0438	145.60	332	Hankozan	0.1923	- 12.14
290	Kunimidake	2.3539	152.36				

### (3) 第Ⅲ地区

紀伊半島以東の太平洋側では、No.160 (1.7658 m N 86.43°W), No.199 (1.6749 m S 60.23°W), No.235 (1.7769 m S 25.04°W) などにみられるように反時計廻りの変位傾向がみられ、また、四国東部ではNo.232 (0.7705 m S 76.60°W), No.231 (0.4792 m S 74.790°W) などのように、変位量の減少傾向がみられる。北陸から山陰にかけても、反時計廻りの変位傾向がみられるが、太平洋側にくらべて、No.169 (0.5658 m S 84.170°W), No.184 (0.6239 m S 69.60°W) などのように日本海側のほうが変位量が小さい。

## 2. 単位面積の変化

第4図に単位面積の変化の分布を示す。正は膨張領域(点線)、負は収縮領域(実線)をあらわす。前述のとおり、ある方向に沿う三角点の変位の増加率と単位面積の変化とは直接的に結びつくものであり、三角点の変位(第3図)が、単位面積の変化(第4図)にどのように反映しているかをとらえることは重要である。前述のように、第Ⅰ～第Ⅲ地区について述べる。

### (1) 第Ⅰ地区

この地域では、九州中央部を東西に横断し、長崎県に連続するように、 $10^{-5}$ オーダーの膨張域が広く分布する。これは、三角点の変位図(第3図)において、九州地方のベクトルが、北西方向にむけて発散していることの反映である。他方、対馬海峡北部、四国南西部に $10^{-5}$ オーダーの収縮域が存在する。

### (2) 第Ⅱ地区

この地域は、大局的には収縮域が優勢である。島根半島およびその南部と、兵庫県北部に $10^{-5}$ オーダーの収縮域が存在する。これは、三角点の変位の図(第3図)において、この地域のベクトルが収束していることの反映である。また瀬戸内海にも $10^{-5}$ オーダーの収縮域がある。 $10^{-5}$ オーダーの膨張域が、鳥取県地方にみられる。

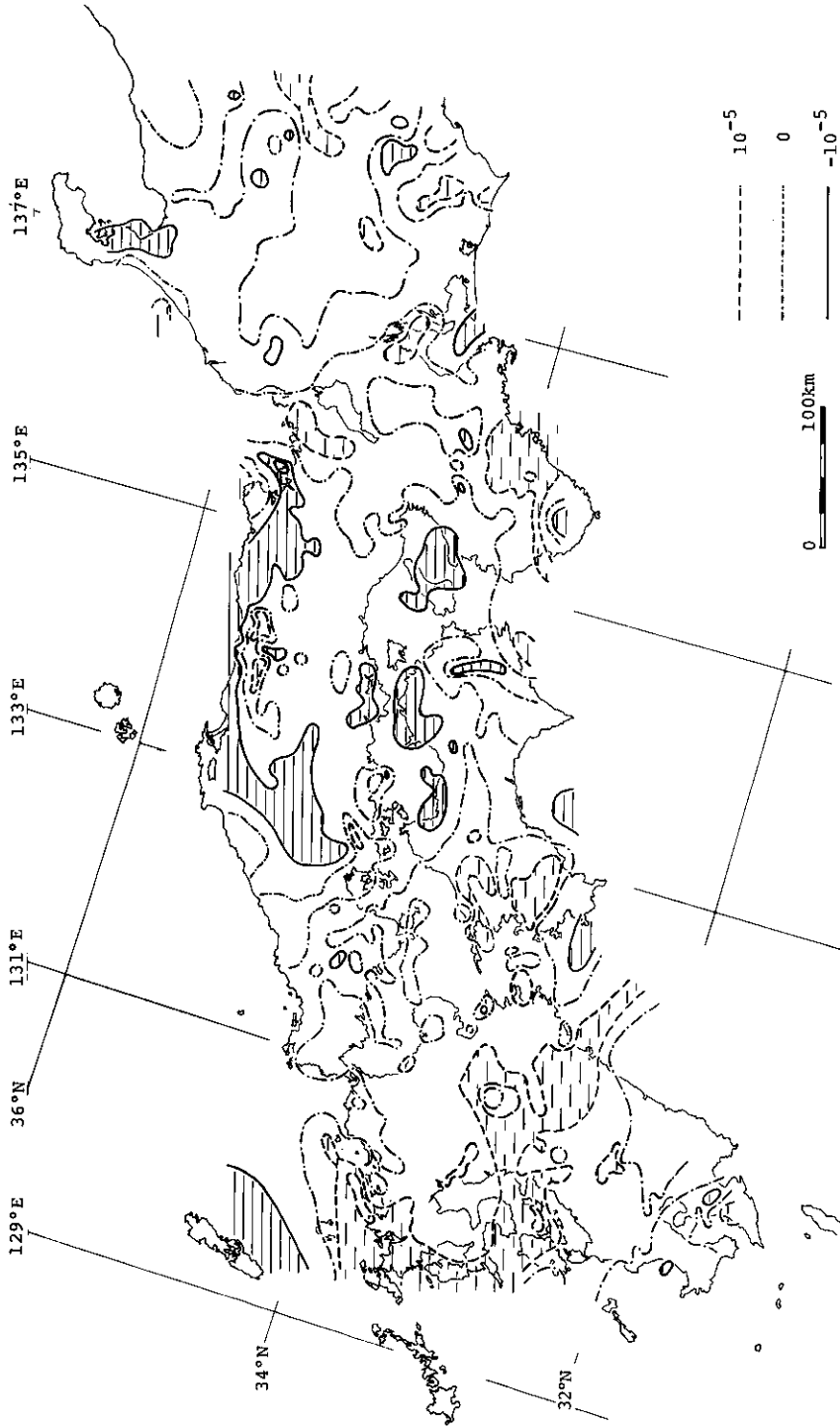
### (3) 第Ⅲ地区

この地域の $10^{-5}$ オーダーの膨張域は、円後半島、若狭地方、紀伊半島、中部山岳地帯、 $10^{-5}$ オーダーの収縮域は、兵庫県北部、紀伊半島南部、北陸・富山湾付近、東海・伊勢湾付近に存在する。

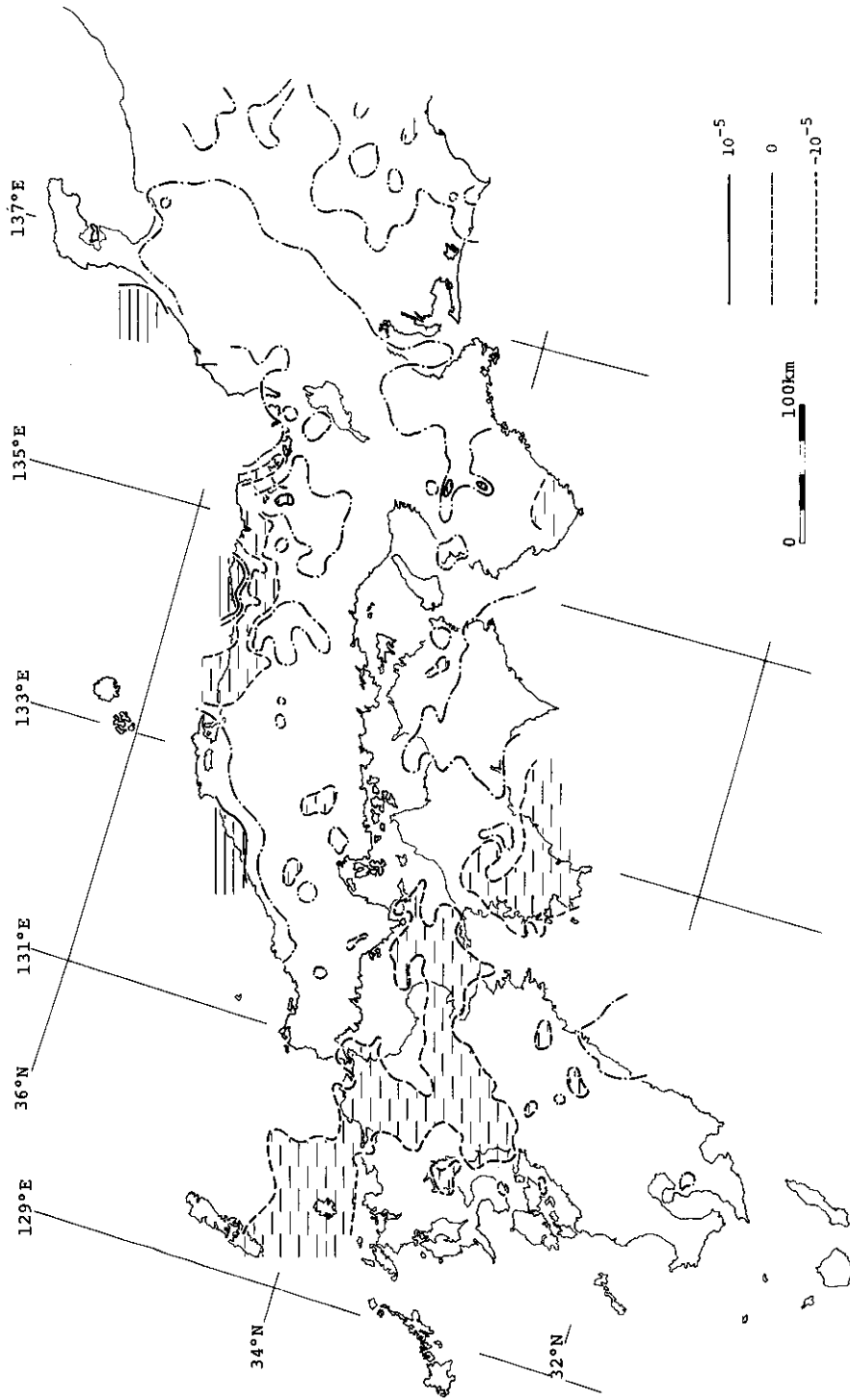
## 3. 回転

任意に選んだ3個の三角点で構成される三角形は、一定期間後には変形を受ける。その変形は、Ⅱの解析方法により歪成分と回転成分に分離されて抽出される。そして、回転成分は剛体の回転をあらわすベクトル量であらわされる(第5図)。ここで注意しなければならないことは、第5図には相対的な変形要素は全く含まれず、従って第3図の東海～紀伊半島地域にみられるような、変位





第4図 単位面積の変化の分布図  
破線は膨張領域を、実線は収縮領域をあらわす。



第5図 回転の分布図  
実線は正の回転（反時計廻り）領域を、点線は負の回転（時計廻り）をあらわす。

ベクトルにあらわれる反時計廻りの回転様式とは意味が根本的に異なる。しかし、第3図の矢印の方向と大きさを詳細に検討すれば、剛体の回転成分と三角点の変位との関連について、定性的ではあるが、指摘することができる。第3図において、西南日本の大部分の基点が、仮不動点No.248を中心として、負の回転（時計廻り）に変位している（第5図）。とくに、北九州～瀬戸内海西部、足摺岬、鳥取地方、紀伊半島南部の4地域に $10^{-5}$ オーダーの負の回転の領域が分布している。紀伊半島南部を除く3地域においては、三角点の変位ベクトル（第3図）が互いに隣接するベクトルとなす角度が相対的に大きい。このことから、回転量が大きいことが推定できる。

正の回転（反時計廻り）を示す地域のうち $10^{-5}$ オーダーの回転領域が、島根県中部日本海沿岸、兵庫県北部、石川県西部に分布する。島根県中部日本海沿岸においては、No.240の変位量が著しく小さいことの反映である。また、兵庫県北部においては、No.331、No.204およびNo.205の変位方向が、それらの周囲の三角点の変位方向が著しく異なっていることの反映である。石川県南西部においては、No.170およびNo.175の変位量が周囲の三角点より著しく小さいため、この2点付近に正の回転領域が分布する。

#### 4. 主歪軸の方向・大きさ

第6図には、三角点を組みあわせた三角形の変形から求められる、最大伸長歪と最大収縮歪の方向と大きさを示した。

伸長・収縮量の差は、単位面積の変化（第4図）に反映されている。つまり、両軸とも伸長を示す領域や、伸長量が収縮量より大きい場合は、その地域は膨張域となり、逆の場合は収縮域となる。

さらに、各地点の主歪軸の方向を接線方向とする曲線群を想定して主歪軸の一般的な方向性を求めた（第7図）。第7図では $10^{-5}$ オーダーを境にして、歪量の絶対値を区分した。なお、両軸が伸長・収縮する様式が一般的ではあるが、解析の結果、地域によっては、両軸とも伸長・収縮する事実も明らかにされた。

以下、第Ⅰ～第Ⅲ地区の各々について述べる。

##### (1) 第Ⅰ地区

伸長軸が日向灘沖を中心として、弧状に分布する。また、収縮軸がそれに垂直に、放射状に分布する。そして九州中部は両軸とも伸長を示し、全体として膨張領域であることは単位面積の変化の正の領域（第4図）に反映している。逆に対島付近においては、両軸とも収縮を示し、単位面積の変化も負の値を示している。

##### (2) 第Ⅱ地区

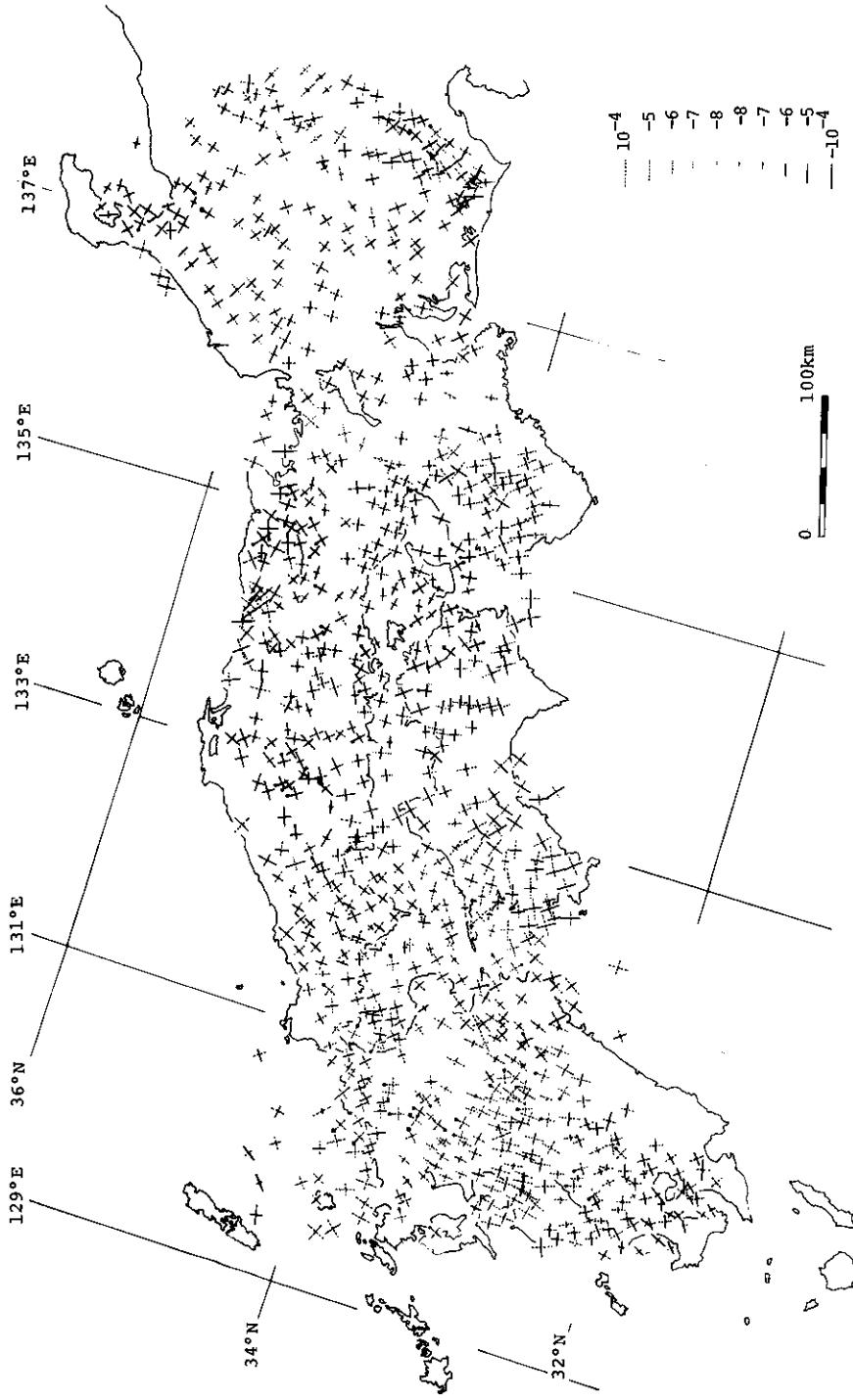
この地域においては、収縮軸は、ほぼ東西方向を示し、伸長軸は、南北方向を示す。特に、中国地方中部から近畿にかけては、両軸とも収縮を示し、全体として収縮している。

##### (3) 第Ⅲ地区

この地域は、東海地域において、伸長軸が東西方向から北北東～南南西とやや弧状を示し、北陸地域においては、北東～南西方向を示す。収縮軸はこれに垂直である。

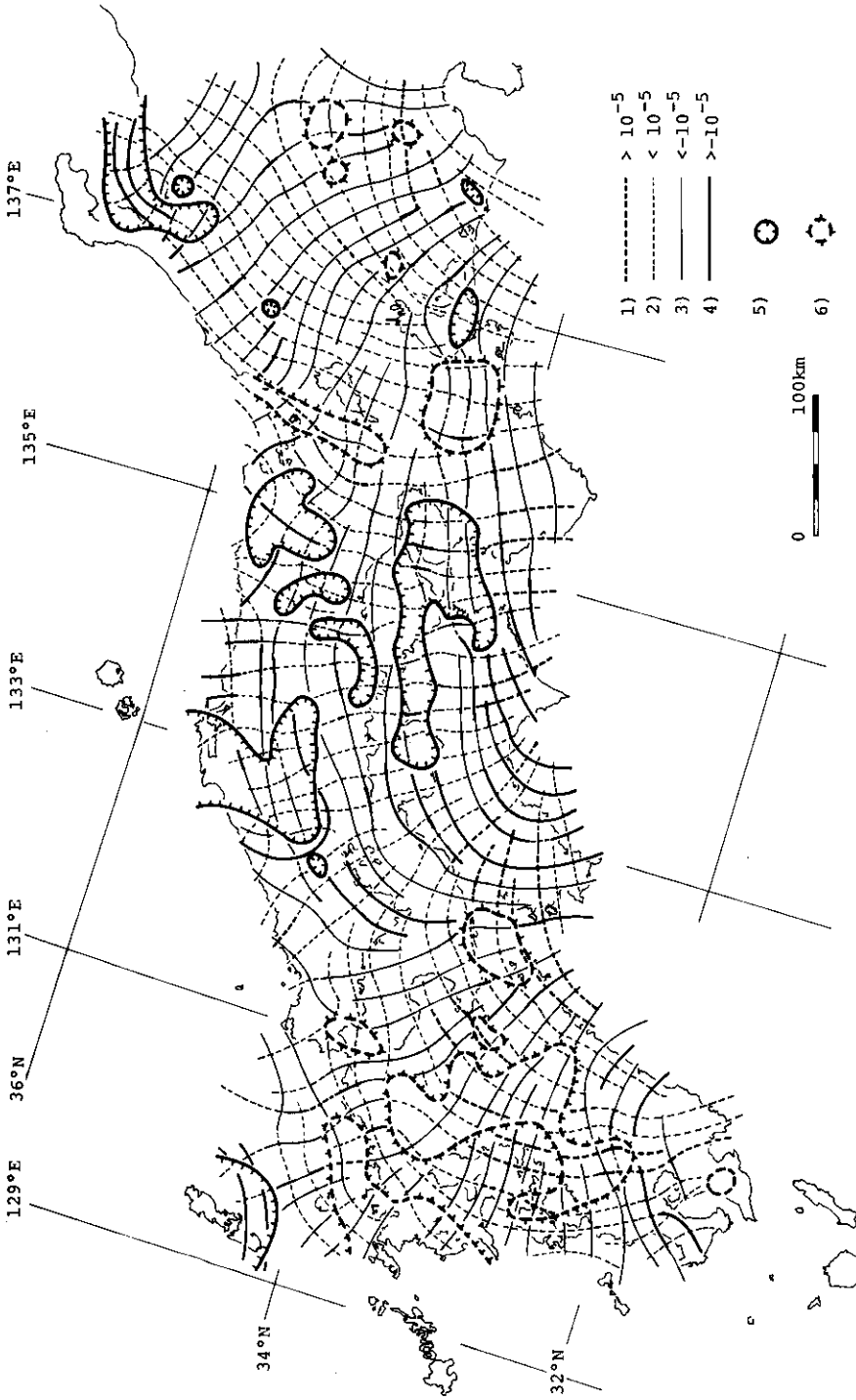
北陸および近畿地方西部と東海地域の収縮の優勢な地域と、近畿地方東部～中部地方のやや伸びの優勢な地域からなっている。とくに、京都府北部では、両軸とも収縮軸からなり、その大きさは他に比較して一桁大きいことが注目される。また、瀬戸内海東部も同じく両軸とも収縮している。さらに、富山湾に分布する両軸とも収縮の地域は広く、佐渡・新潟まで連続している（飯川、1981）。

第7図は、主歪軸の一般的な方向性ととも、伸長・収縮の強さの分布を点線・実線の太さで表現したものである。なお、前述のとおり、解析の結果両軸とも伸長・収縮する領域も明らかにされており、第7図では、そのような領域を太線の破線・実線で囲み、干を記して識別した。従って本来その領域内では、両軸とも伸長・収縮しているのであるが、一般的な方向性を検討するために、相対



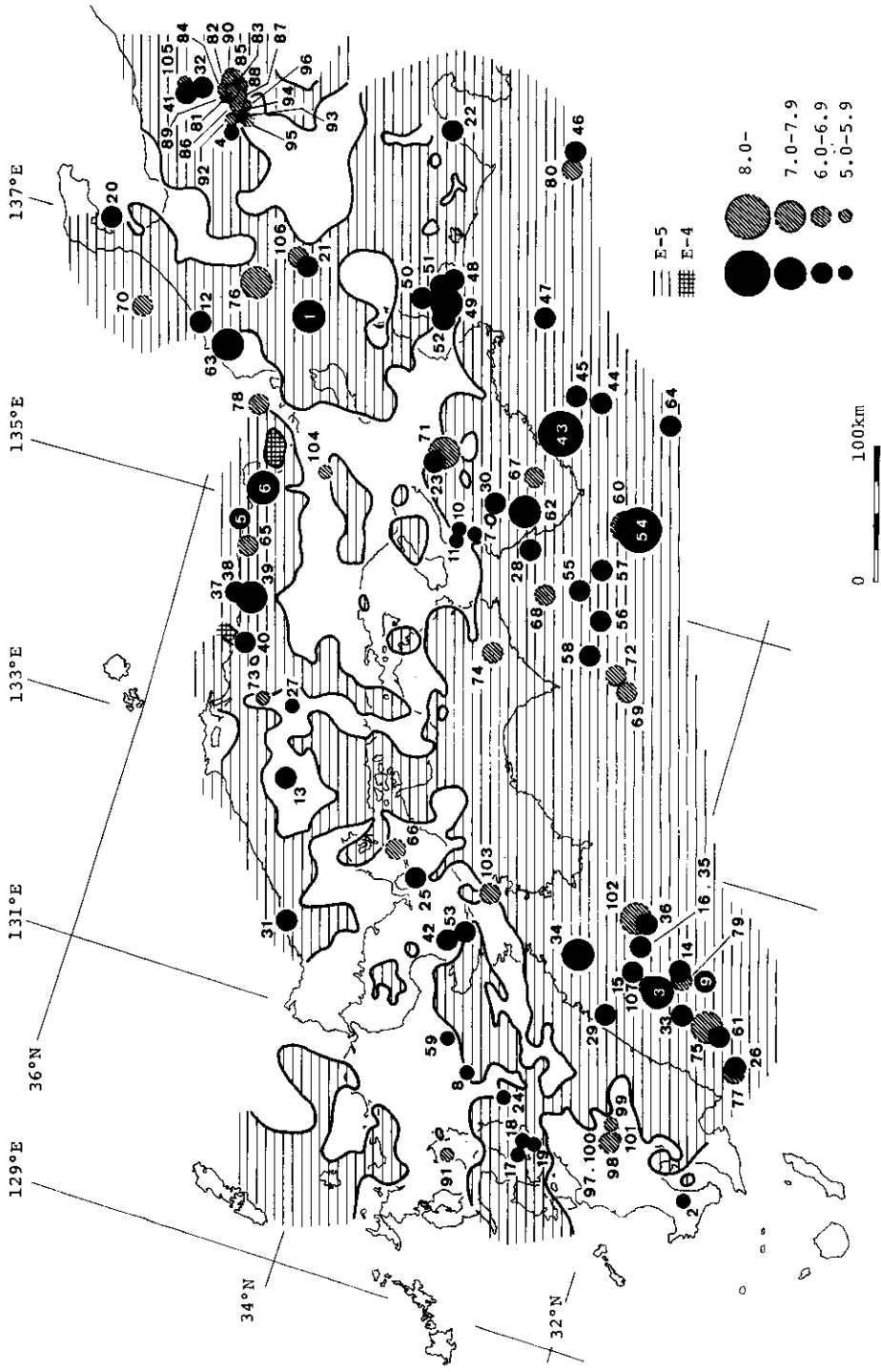
第6図 主歪軸の分布図

点線は伸長を、実線は収縮をあらわす。主歪軸がともに伸長あるいは収縮で、同じオーダーの場合には、相対的に伸長が大きい軸に○印を付してある。



第7図 主歪軸の一般的傾向性

- 1)  $10^{-5}$ オーダー以上の伸長軸
  - 2)  $10^{-5}$ オーダー以下の伸長軸
  - 3)  $10^{-5}$ オーダー以下の収縮軸
  - 4)  $10^{-5}$ オーダー以上の収縮軸
  - 5) 両軸とも収縮の領域
  - 6) 両軸とも伸長の領域
- 5), 6) においては, 相対的に伸長量が大きい軸方向を点線で示し, 収縮量が大きい軸方向を実線で示した。



第 8 図 最大剪断歪と被害地震 (1888 - 1972 年) の分布  
 被害地震は、第 1 回、第 2 回の三角点の観測期間 (1888 - 1948 年) とそれ以後 (1948 - 1972 年) のものをそれぞれ黒塗りの円と斜線の円で示した。なお、第 3 回観測以後に発生した被害地震は記入していない。地震の番号は表 2 と対応する。

第2表 被害地震（1882-1972年）の位置と規模

「資料日本被害地震総覧」（宇佐美龍夫，1975）

および「地震月報」（1926-1972）より抜粋。

No.	発	生	年	月	日	時	分	経度	緯度	深度km	M
1	1891	X	28	06	38	136.6°	35.6°				7.9
2	1893	IX	7	02	40	130.45	31.4				5.9
3	1899	XI	25	03	43	132.0	32.0				7.1
4	1918	XI	11	02	59	137.9	36.45				5.6
5	1925	V	23	11	10	134.8	35.7				6.5
6	1927	III	7	18	27	135.1	35.6	10			7.5
7		XII	2	15	55	135.2	34.1	10			5.3
8	1929	I	2	01	40	130.9	33.1	0			5.4
9		V	22	01	35	132.2	31.7	30			6.8
10		XI	20	14	54	135.2	34.2	10			5.6
11	1930	II	11	09	11	135.1	34.2	10			5.2
12		X	17	06	36	136.33	36.33	20			6.4
13		XII	20	23	02	132.8	34.9	20			6.0
14	1931	XI	2	03	53	132.2	31.9	0			6.3
15				19	03	132.1	32.2	20			6.6
16					20	00	132.3	32.2	40		6.2
17		XII	21	14	47	130.4	32.6	0			5.4
18			22	22	08	130.5	32.6	0			5.6
19			26	10	43	130.5	32.5	0			5.6
20	1933	IX	21	12	14	137.0	37.1	15			6.0
21	1934	VIII	18	11	38	137.0	35.7	0-10			6.2
22	1935	VII	11	17	25	138.4	35.0	10			6.3
23	1936	II	21	10	08	135.7	34.5	20			6.4
24	1937	I	27	16	04	130.8	32.8	0-10			5.0
25		II	27	23	42	132.3	33.8	0			6.1
26		VIII	27	03	54	131.6	31.3	0			6.0
27	1938	I	2	16	54	133.4	35.0	10			5.3
28			12	00	12	135.2	33.7	20			6.7
29	1939	III	20	12	22	131.7	32.3	10			6.6
30	1940	XI	18	21	47	135.5	34.0	50			6.3
31	1941	IV	6	01	50	131.65	34.6	10			6.2
32		VII	15	23	45	138.3	36.7	0			6.2
33			20	00	13	131.9	31.8	20			6.3
34		XI	25	23	55	132.1	32.6	0-20			7.4
35	1942	VIII	22	18	01	132.3	32.2	0-40			6.2
36			19	01	46	132.5	32.2	20			6.1
37	1943	III	4	19	13	134.2	35.6	20			6.1
38			5	04	50	134.2	35.55	20			6.1
39		IX	10	17	37	134.2	35.5	10			7.4
40			11	10	17	133.8	35.4	0			6.1
41			13	14	42	138.2	36.8	0			6.1
42	1944	VI	7	19	15	131.9	33.5	50			6.0
43		XII	7	13	35	136.2	33.7	0-30			8.0
44				15	25	136.5	33.5	0-30			6.5
45					48	136.5	33.7	0-30			6.5
46			9	03	20	138.5	34.1	30-60			6.3
47			12	19	25	137.1	34.0	0-30			6.7
48	1945	I	11	14	57	137.2	34.7	40			6.0
49			13	03	38	137.0	34.7	0			7.1
50			14	21	53	137.0	34.9	0			6.0
51			16	22	36	137.1	34.8	20			6.4
52	1946	VII	13	10	39	136.9	34.7	20			6.0
53		VIII	20	18	43	132.0	33.4	20			6.0
54		XII	21	04	19	135.6	33.0	30			8.1
55				07	45	135.0	33.3	20			6.2
56			24	18	36	134.8	33.1	0-10			6.0
57	1947	I	25	01	48	135.2	33.2	0			6.2
58		II	22	07	00	134.5	33.1	40			6.0
59		III	9	23	05	131.1	33.3	20			5.5

No.	発 生 年 月 日 時 分				経 度	緯 度	深 度 km	M	
61	1948	V	9	11	09	131.8	31.5	0	6.7
62		VI	15	20	44	135.5	33.8	30-100	7.0
63			28	16	13	136.2	36.1	20	7.3
64		VII	7	11	19	136.5	33.0	30-100	6.6
-----									
60	1948	IV	18	01	11	135.6	33.1	40	7.2
65	1949	I	20	22	25	134.6	35.6	20	6.5
66		VII	12	01	10	132.5	34.0	40	6.2
67	1950	VI	26	16	05	135.8	33.8	40	6.7
68		XI	6	02	37	134.9	33.5	30-100	6.9
69	1951	X	16	06	02	134.3	32.8	40-50	6.1
70	1952	III	7	16	32	136°20'	36°45'	20	6.8
71		VII	18	01	10	135.80	34.45	70	7.0
72	1954	IV	14	00	25	134.4	32.9	20	6.0
73	1955	VI	23	22	41	133.4	35.2	20	5.1
74		VII	27	10	20	134.3	33.75	0-10	6.0
75	1961	II	27	03	10	131°51'	31°36'		7.0
76		VIII	19	14	33	136°46'	36°01'	0	7.0
77		XI	27	14	57	131°33'	31°18'	40	6.0
78	1963	III	27	06	34	135°46'	35°47'	0	6.9
79		X	4	08	24	132°09'	31°53'	20	6.3
80	1965	IV	20	08	42	138°18'	34°04'	20	6.1
81	1966	I	23	20	15	138°13'	36°31'	0	5.1
82		IV	5	17	51	138°19'	36°35'	0	5.4
83		V	6	19	08	138°15'	36°31'	0	5.0
84			28	14	21	138°13'	36°34'	0	5.3
85		VI	26	16	34	138°21'	36°33'	0	5.0
86		VIII	3	03	48	138°12'	36°28'	0	5.3
87			8	09	37	138°19'	36°32'	0	5.1
88			28	13	09	138°08'	36°28'	0	5.3
89			29	00	36	138°15'	36°34'	0	5.1
90		X	26	03	04	138°22'	36°33'	0	5.3
91		XI	12	21	01	130°16'	33°04'	20	5.5
92	1967	I	16	12	32	138°00'	36°29'	0	5.2
93		II	3	17	17	138°04'	36°26'	0	5.4
94		III	2	03	39	138°18'	36°30'	0	5.1
95		V	5	08	25	138°03'	36°24'	10	5.2
96		IX	14	19	38	138°09'	36°26'	10	5.1
97	1968	II	21	08	51	130°43'	32°01'	0	5.7
98				10	45	130°43'	32°01'	0	6.1
99			22	22	21	130°50'	32°03'	10	5.6
100		III	25	00	58	130°43'	32°01'	0	5.7
101				01	21	130°44'	31°59'	10	5.4
102		IV	1	09	42	132°32'	32°17'	30	7.5
103		VIII	6	01	17	132°23'	33°18'	40	6.6
104			18	16	12	135°23'	35°13'	0	5.6
105		IX	21	07	25	138°16'	36°49'	10	5.3
106	1969	IX	9	14	15	137°04'	35°47'	0	6.6
107	1970	VII	26	07	41	132°02'	32°04'	10	6.7

的に伸長量の大きい軸方向を点線で示し、収縮量の大きい軸方向を実線で示した。

このように整理してみると、両軸とも伸長・収縮している地域は、単位面積の変化にストレートに反映されることになる。この視点からみると、九州北西部・同中央部・紀伊半島東部などの伸長域、および、中国・瀬戸内海東部などの収縮域は、注目に値する地域である。

第四紀地殻変動研究グループによる第四紀の地殻変動図(1969)との関連をみてみると、沈降域と収縮域、隆起域と膨張域との関連性があるように思われる。すなわち、瀬戸内海東部の収縮域お



よび富山湾の収縮域が沈降域、そして、九州中央部の伸長域が隆起域と対応しているものと思われる。中部地方においては、日本海岸および太平洋側が収縮域となるために、内陸部が相対的に伸張域となる。同様のことが中国地方についてもいえる。さらに、中国山地の伸び方向（東北東—西南西）に伸長軸が直交しているのが特徴的である。

#### 5. 最大剪断歪

最大剪断歪は、Ⅱの解析方法により、主歪の大きさの差で与えられる。従って、主歪軸の分布（第6図）において、両軸がそれぞれ伸長・収縮を示し、その差が大きい場合には、最大剪断歪は大きい値になる。逆に、両軸とも伸長（あるいは収縮）を示し、その量が小さい場合には、最大剪断歪は小さくなる。

伊勢湾—若狭湾以西では、 $10^{-5}$ オーダー以上の最大剪断歪域が、日本海沿岸および太平洋沿岸に分布する。また、 $10^{-6}$ オーダー以下の領域は、九州北部～瀬戸内海西部、九州南西部、近畿地方中央に分布する。九州北部、瀬戸内海東部、中国地方中央部などは主歪軸の分布（第6図）が示すように、両軸とも伸長（あるいは収縮）のために、最大剪断歪が $10^{-6}$ オーダーを示している。また、九州中央部、淡路島北部においては、主歪軸は両軸とも伸長（あるいは収縮）しているにもかかわらず、 $10^{-5}$ オーダーの領域であることから、両軸の差が大きいことを示している。

#### 6. 最大剪断歪と被害地震の分布

第8図には、最大剪断歪とともに、三角点測量開始（1883年）以降、1972年までに発生した107個の被害地震の震央を記入した。これらの地震のほとんどが、0～30 kmの浅発地震である（第2表）。被害地震の震央のほとんどが、 $10^{-5}$ オーダー以上の領域内に限られていることが特徴的である。 $10^{-6}$ オーダー以下の領域内では、被害地震の発生が極めて少ない。この事実から、最大剪断歪と被害地震との相関性が強いものと考えられる。

### IV まとめと考察

以上の結果をまとめると次のようになる。

1. 各三角点の変位は、 $133^{\circ}\text{E}$ 以西においては、発散しながら時計廻りの回転を示しており、同様の傾向が、 $135^{\circ}\text{E}$ 以東においても見られる。東海地方の変位量は北陸地方にくらべて、一様に大きい。中・四国西部地域においては、仮不動点にむかって収束する傾向がある。
2. 単位面積の変化については、九州地方の膨張域および中国地方の収縮域が特徴的である。
3. 回転については、西南日本ほぼ全域が時計廻りの回転を示し、反時計廻りの回転の領域が、日本海側に局部的に存在する。
4. 主歪軸の分布においては、中国地方、瀬戸内海東部、富山湾の収縮域および、九州中央部の伸長域が特徴的である。そして第四紀地殻変動グループが示した第四紀の地殻変動（1969年）との関連をみると、隆起域・沈降域と、それぞれ主歪軸の分布による膨張域・収縮域が関連していると考えられる。
5. 主歪軸の一般的方向において、現在の地形と非常によく似た方向性を示す。たとえば、中国地方では、地形が東西方向にのびており、また収縮軸の方向もほぼ東西方向を示している。
6. 最大剪断歪においては、 $10^{-5}$ オーダーの線は、近畿以西において、日本海側では、ほぼグリーンタフ地域と平行する傾向があり、太平洋側では、ほぼ中央構造線と一致する。
7.  $10^{-5}$ オーダー以上の最大剪断歪の領域と、被害地震の発生とは非常に関連性が強く、 $10^{-6}$ オーダーの領域にはほとんど発生しない。

本論では、西南日本全域という、広い地域の大局的な傾向をつかむために行なった。さらに、詳細な検討を行なうとともに、地質構造との関連性をも考察する必要があるであろう。

## 文 献

- 安達忠次, 1961: ベクトル解析. 251 P, 培風館, 東京.
- 第四紀変動研究グループ, 1969: 第四紀地殻変動図.
- 檀原毅・友田好文, 1969: 測地・地球物理. 286 P, 共立出版, 東京.
- HARADA, T., 1966: Precise readjustment of old and new first order triangulations, and the result in relation with destructive earthquakes in Japan. *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, 12, 5-64.
- , 葛西篤子, 1971: 最近 60 年間における日本の地殻の水平歪. 測地学会誌, 17, 4-7.
- and SHIMURA, M., 1978: Horizontal deformation of the crust in western Japan revealed from first-order triangulation carried out three times. *Tectonophysics*, 52 (1979) 469-478.
- 飯川健勝, 1981: 本州中央部の水平変動と被害地質との関係, 地質学論集, 20, 57-75.
- , 鈴木尉示, 1977: 新潟県とその周辺地域における一等三角点の変動と地質構造ならびに地震との関係, 藤岡一男教授退官記念論文集, 261-274.
- KASAHARA, K. and SUGIMURA, A., 1964: Spacial distribution of horizontal secular strain in Japan. *Jour. Geod. Soc. Japan.*, 10, 139-145.
- 日本気象協会, 1926-1972: 地震月報
- 鈴木尉元・浅野雄嗣・武内和俊・矢萩順一・小玉喜三郎・宮下美智夫, 1975: 日本列島における一等三角点の変動解析. 地調月報, 26, 1-29.
- TERADA, T. and MIYABE, N., 1928: Deformation of the earth crust in Kwansai district and its relation to the orographic feature. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 7, 223-239.
- 坪川家恒・大森又吉, 1969: 測地学序説. 411 P., 山海堂, 東京.
- 宇佐美龍夫, 1975: 資料日本被害地震総覧. 327 P., 東大出版会, 東京.