

中国・四国地方の一等三角点変動解析と 被害地震の発生について

飯川健勝*・三梨 昂**・小室裕明**・国香 聡**・谷口 彰**

On the recent horizontal deformation of the earth's crust and
its relation to earthquakes occurrence in Chūgoku-Shikoku districts.

Kensyō IKAWA · Takashi MITSUNASHI · Hiroaki KOMURO
Satoshi KUNIKA and Akira TANIGUCHI

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。これらの経・緯度は、最初 1882—1911 年に測量され、次いで 1948—1965 年に改測された (HARADA, 1967), 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。

本研究の該当地域である中国・四国地域においては、最初 1887—1896 年に測量され、次いで 1948—1958 年に改測された。1968—1972 年に 3 回めの測量が行われているが、この資料は今回利用していない。そこで本論では、1 回めの測量を旧、2 回めの測量を新、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、日本列島全域については、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 & SHIMURA (1978), 谷口ほか (1982), 関西地方については、TERADA & MIYABE (1928), 新潟県については、飯川・鈴木 (1977), また、本州中央部・東北地方については、飯川 (1981・1982) の報告がある。

鈴木ほか (1975) などにおいて行われた日本列島全域の変動解析では、解析のための網の目が粗いため十分な検討が行えなかった。そこで筆者らは、飯川 (1981) の経験を参考に三角点網を重複させながら細かいネッ

トをつくり、多数のデータを抽出した。この方法により、より詳細な検討が可能となった。筆者らは先にこの方法を使って、西南日本における地殻の水平変動解析を行った (谷口ほか, 1982, 以下前報告とよぶ)。今回のシンポジウムにおいて、その結果の概略を紹介するとともに、その後の検討結果をここに報告する。従って、解析方法などについては、前報告に述べてあるので、本論では省略する。

また、ここでは、地殻の水平変動とともに、地形・被害地震の発生の関係および歪分布のモデル計算についても検討した。なお、ここで用いた三角点の資料は、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・小玉喜三郎氏 (地質調査所)、山内靖喜氏 (島根大・理) には、終始御指導いただいた。さらに、堀江昭彦氏・門城祐司氏・福田悦子氏 (島根大電算センター) には、電算機の使用に際して御助言と便宜をはかっていただいた。また、地団研高田支部の方々および、島根大学理学部地質学教室の学生諸氏には、平素からご協力を頂いている。この機会に、以上の方々に厚くお礼を申し上げる。

解析結果

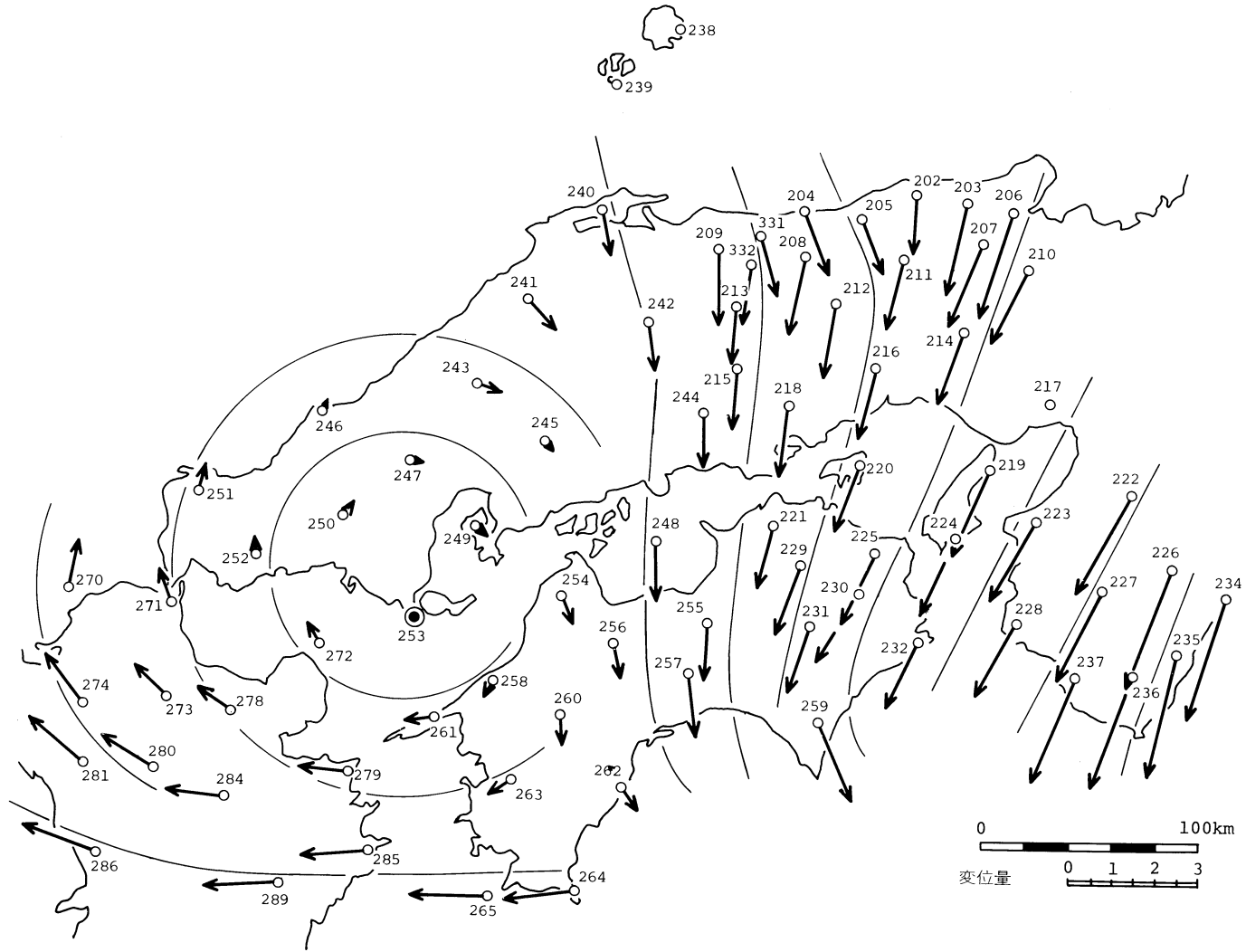
解析方法および詳細な解析結果については、前報 (前出) において報告している。よって、該当地域の概要を以下に述べる。

1. 一等三角点の変位

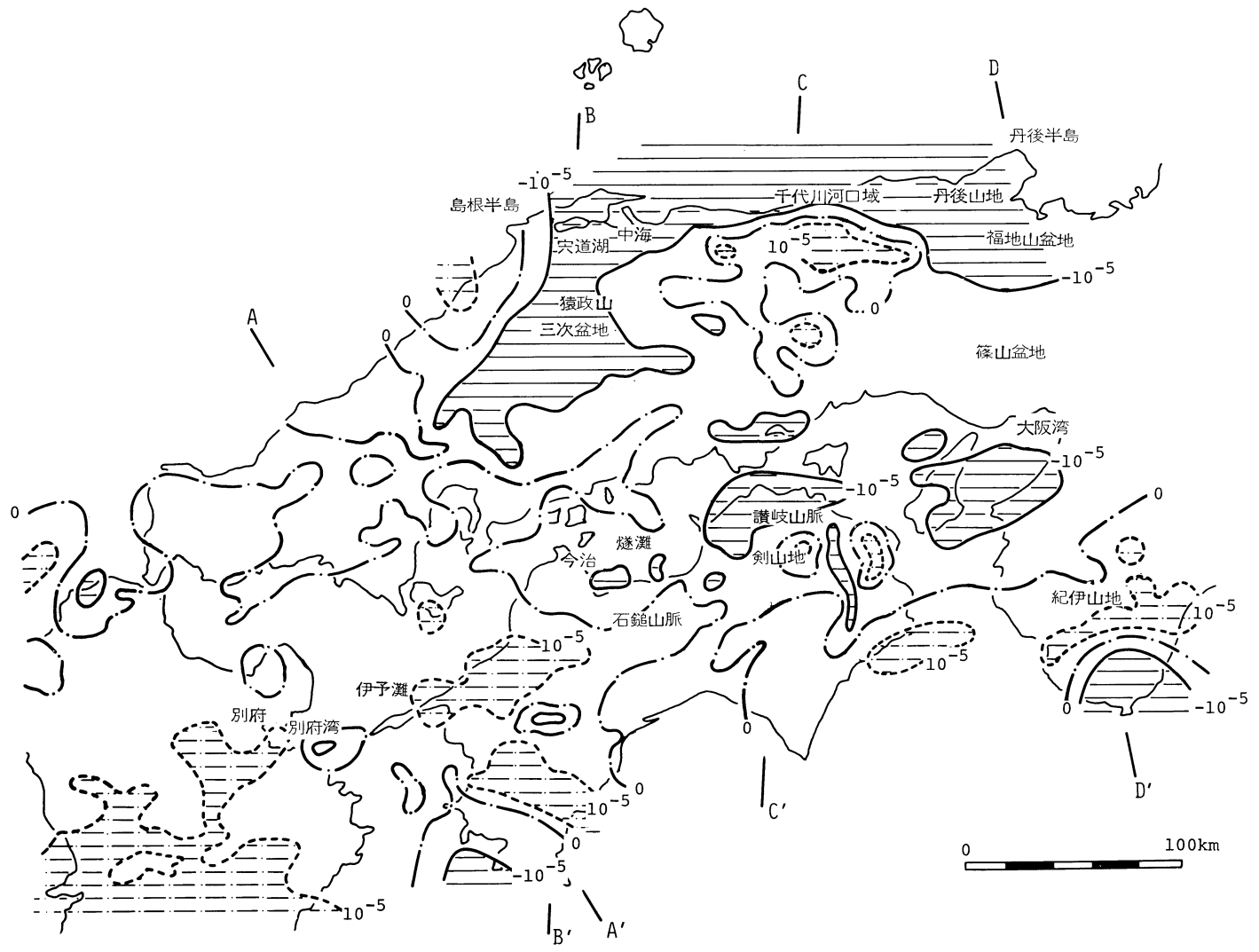
第 1 図は、室津山 (No. 253) を仮不動点として、各一等三角点の変位方向と変位量を矢印で示したものである。前報 (前出) においては、仮不動点を伊予おきの島 (No. 248) においているために、ベクトルの方向・

* 新潟県立小千谷西高等学校

** 島根大学理学部地質学教室



第1図 一等三角点の変位図。仮不動点 253 (室津山)。三角点番号は HARADA (1967) による。



第2図 単位面積の変化の分布図。破線は膨張域を、実線は収縮域をあらわす。

大きさが異なっている。

九州北部、中国・四国西部地域では、三角点の変位は、ほぼ仮不動点(室津山, No. 253)を中心として、時計まわりの変位傾向を示す。また、九州北部および四国北西部においては、変位方向が発散の傾向を示す。中国・四国東部、近畿地域では、三角点の変位は南ないし南南西方向が一般的である。

両地域の境界部にあたる広島県北部では、取れんの傾向を示す。

2. 単位面積の変化

第2図に単位面積の変化の分布を示す。正領域(点線)は、膨張を、負領域(実線)は、収縮をあらわす。

(1) 九州北部、中国・四国西部地域 この地域では、 10^{-5} オーダーの膨張域が、九州中央部から別府にかけて東西に広く分布する。これは、三角点の変位図(第1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。また、四国西部においても、 10^{-5} オーダーの膨張域が分布する。これは、三角点の変位傾向が、西部の南西～西方向と、中・東部の南方向の結接する地域にあたっているためである。

(2) 中国・四国東部、近畿地域 この地域は、大局的に収縮域が優勢である。島根半島～三次盆地・丹後半島に 10^{-5} オーダーの収縮域が分布する。また、瀬戸内海東部、紀伊半島南部にも 10^{-5} オーダーの収縮域が分布する。 10^{-5} オーダーの膨張域は、鳥取県東部・紀伊半島などに分布する。

3. 単位面積の変化と垂直変動

第四紀地殻変動研究グループ(1969)によれば、別府湾・宍道湖一中海・千代川河口域(鳥取県)・大阪湾が、沈降域として識別され、他地域は、隆起域とされている。中でも、九州山地・四国山地・紀伊山地は顕著な隆起部として指摘されている。

このような、隆起・沈降運動が、水平運動とりわけ単位面積の変化にどのように対応しているかについて検討を試みた(第3・4図)。

(1) 中国・四国西部地域 冠山山地の隆起部が収縮域、伊予灘・四国山地西縁部が膨張域に対応する(第3図, A-A')。島根半島一足摺岬を結ぶ断面線(第3図, B-B')にかかる地域では、宍道湖・燧灘一今治の沈降部・低地帯が収縮域に、石鎚山脈の隆起部が膨張域に対応する。しかし、猿政山・三次盆地などの比較的弱い隆起部では、収縮域が対応する。

(2) 中国・四国東部、近畿地域 三国山・津山盆地

および、讃岐山脈・剣山地の隆起部が膨張域に対応し、岡山・讃岐平野・瀬戸内海の低地帯が収縮域に対応する(第4図, C-C')。丹後半島一大阪平野一潮岬を結ぶ断面線(第5図, D-D')にかかる地域では、丹後山地・福知山盆地・篠山盆地・大阪平野が収縮域に、紀伊山地が膨張域に対応する。

このように、地殻の垂直運動と一等三角点による水平運動を対比してみると、九州山地・四国山地・紀伊山地のように、顕著な隆起運動をしている地域は膨張域と、宍道湖一中海・瀬戸内海東部・大阪平野の沈降部は、収縮域とそれぞれよく調和する。しかし、前述のような顕著な隆起域に比較して、やや隆起量の劣る中国山地では、三国山地等一部を除いて、隆起運動は必ずしも水平運動の膨張域には反映されていない。しかしながら、前報告における中部地方、飯川(1981・1982)における本州中央部・東北地方を検討してみると、大局的な傾向として、膨張域と隆起域、収縮域と沈降域が対応するものと考えられる。

4. 回転(Rotation)

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。その変形は歪成分と剛体の回転をあらわすベクトル量に分離して抽出される。前報告より概要を述べる。

(1) 九州北部、中国・四国西部地域 この地域では、負の回転様式(時計まわり)が優勢で広く分布する。特に、九州北部・伊予灘・四国南西部には、 -10^{-5} オーダーの領域が分布する。

正領域は、島根県など部分的に存在する。

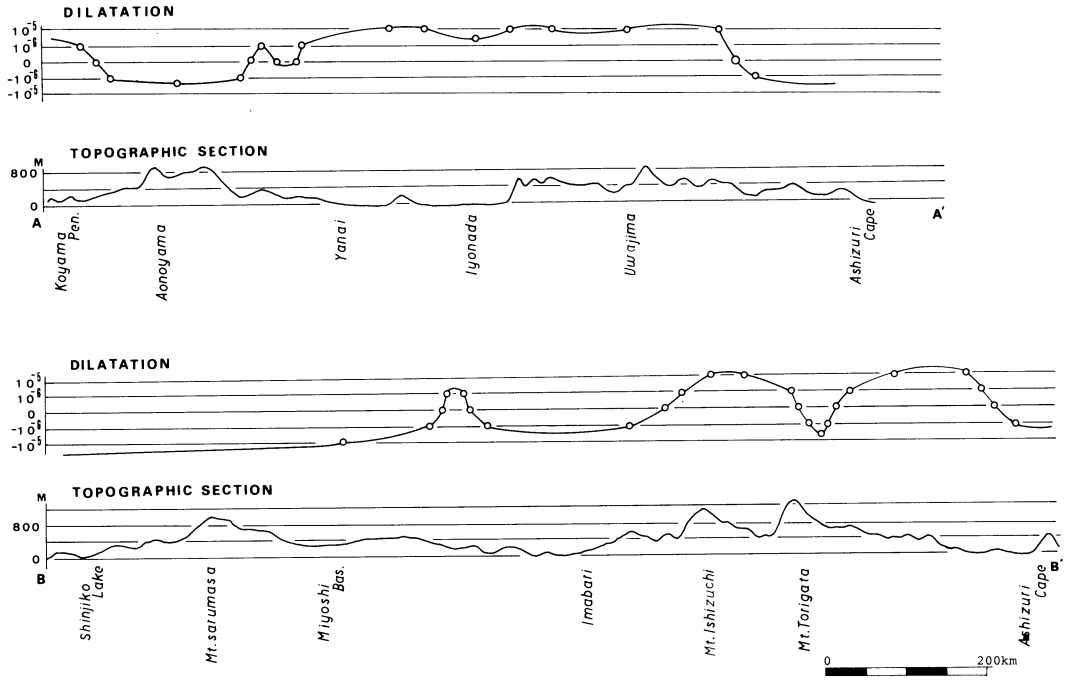
(2) 中国・四国東部、近畿地域 九州北部から連続する負の回転領域は、中国地方のほぼ全域・瀬戸内海および近畿地方にかけて広く分布する。鳥取県一兵庫県北部には、 -10^{-5} オーダーの負の回転領域が分布する。

正領域は、四国南東部などに分布する。

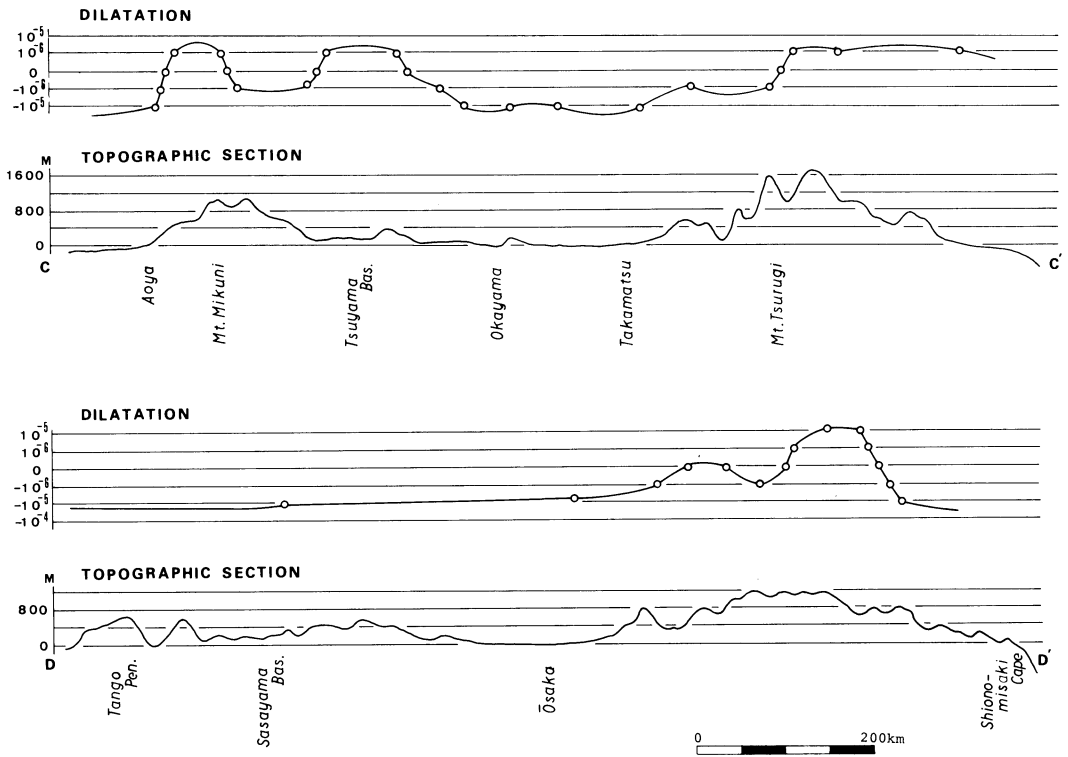
5. 主歪軸の方向・大きさ

3個の三角点で構成される三角形の変形から最大伸長歪軸・最大収縮歪軸の方向とその大きさが求められる。その分布から、一般的な方向性と強さを表現したものを第6図に示した。

(1) 九州北部では、伸長軸が日向灘付近を中心に、海岸線に沿うように弧状に分布し、中国・瀬戸内海に分布する収縮軸に連続する。そして、収縮軸は、それに直交して豊後水道付近に収束する。また、ここでは、両軸とも伸長する地域が広く分布し、全体的には膨張



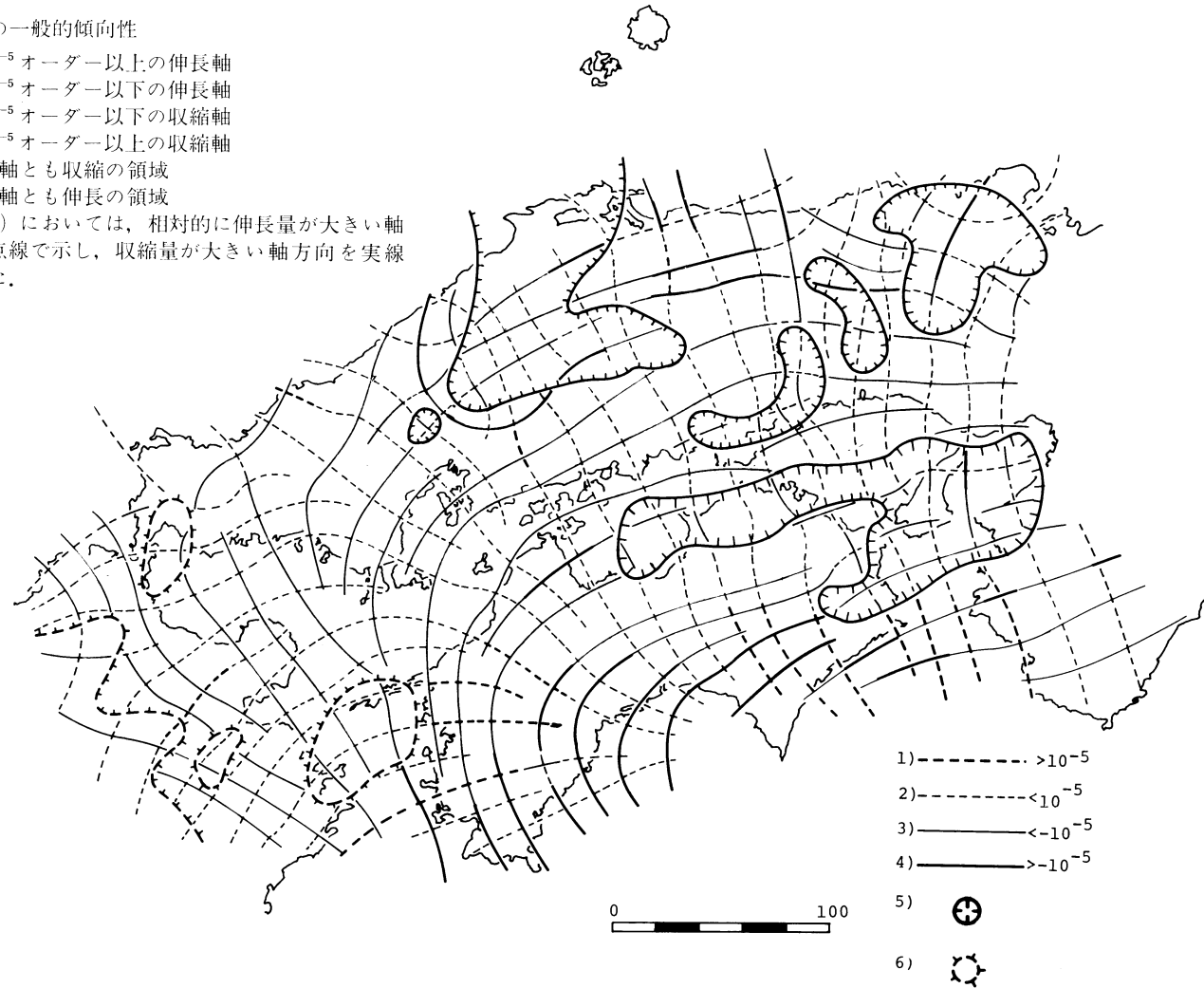
第3図 単位面積の変化と地形の関係。位置は第2図に示す。



第4図 単位面積の変化と地形の関係。位置は第2図に示す。

第5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, 相対的に伸長量大きい軸方向を点線で示し, 収縮量大きい軸方向を実線で示した。



域として単位面積の変化の正領域（第2図）に反映している。

四国西部では、収縮軸の方向が中国山地に沿うように弧状に分布する。

このように、中国・四国西部においては、収縮軸の一般的方向が、中国山地など地形と平行的に分布し、伸長軸は、これと直交して平行的である。

島根半島より南西に連続する地域・丹後山地・瀬戸内海東部においては、両軸とも収縮する地域が広く分布する。これらは、いずれも単位面積の変化に大きく反映しているものであり、注目に値する地域である。

6. 最大剪断歪

10^{-5} 以上の最大剪断歪値が、日本海沿岸・大平洋沿岸に分布する（第6図）。また、 10^{-6} オーダー以下の領域は、九州北部一瀬戸内海西部・近畿地方中央部に分布する。

九州北部・中国地方中央部（三次盆地）・瀬戸内海東部などでは、主歪軸の分布が、両軸とも伸長（あるいは収縮）しているために、最大剪断歪は、 10^{-6} オーダーを示している。また、淡路島北部・丹後山地では、主歪軸が両軸とも収縮しているにもかかわらず、 10^{-5} オーダーの値を示していることは、両軸の収縮量にオーダーの差があることの反映である。

7. 最大剪断歪と被害地震

第6図には、最大剪断歪の分布の上に、三角点の測量開始（1887年）以降、1978年までに発生した56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、深度0—30kmの浅発地震である（第1表）。第7図から明らかのように、被害地震の発生は、ほとんどすべて 10^{-5} オーダー以上の領域内に限られることが前報告に比べてより顕著なものとなった。 10^{-6} オーダー以下の領域内では、被害地震の発生は、極めて少ない。

このように、 10^{-5} オーダーの最大剪断歪域と被害地震の分布域の相関は強いのであるが、注意しなければならないことは、最大剪断歪は、主歪軸の大きさの差の絶対値であらわされていることである。従って、両軸がともに伸長（または収縮）する場合には、最大剪断歪のオーダーは1ランク下がることがあり得るため、歪の分布域を検討することが重要であろう。例えば、三次盆地・瀬戸内海東半部などがこれに該当するものである。

三次盆地は、 10^{-6} オーダーの最大剪断歪が分布している地域であるが、ここに、3個（No.17, 29, 54）

の地震が発生している。

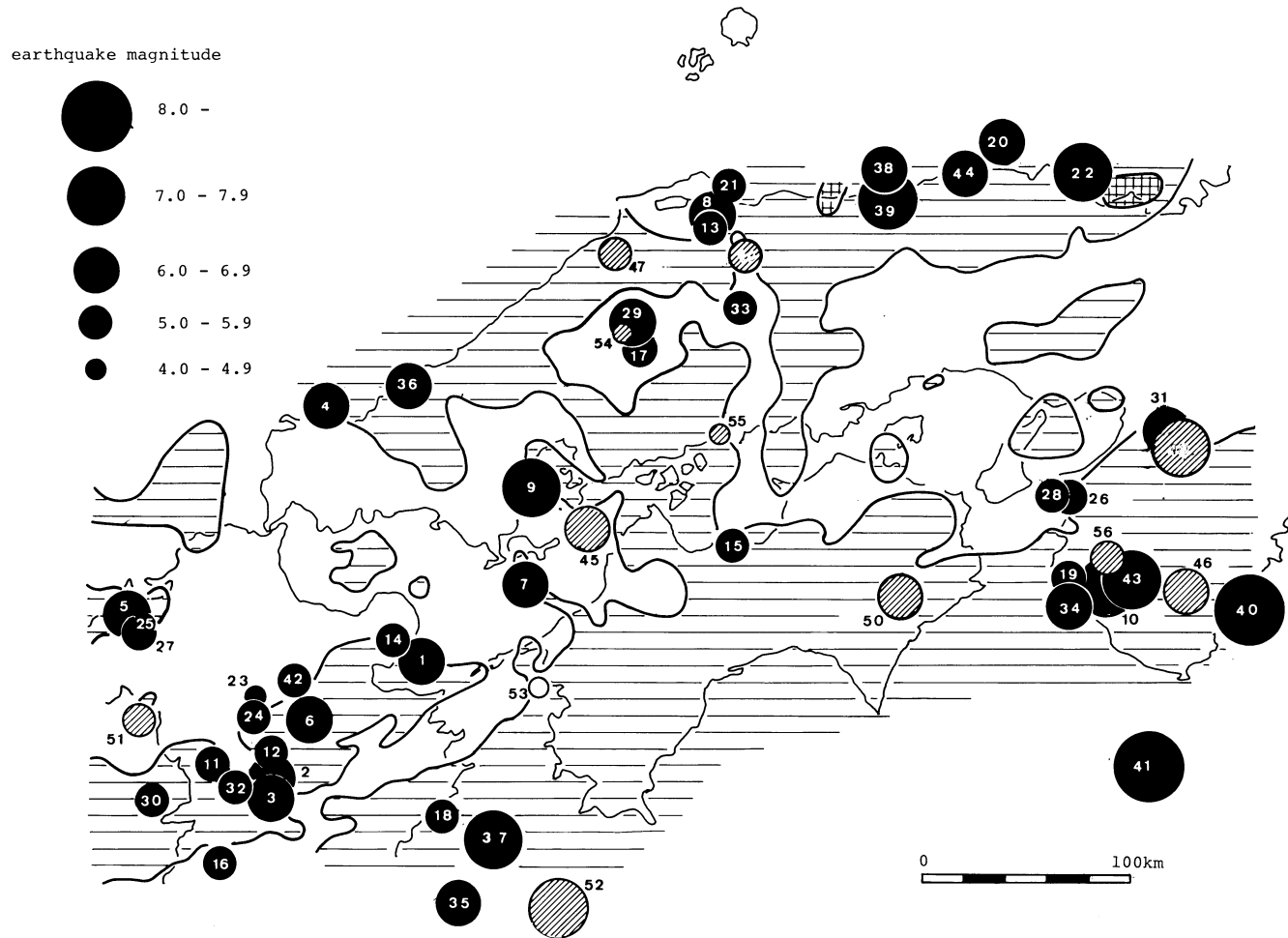
この地域は、前述のとおり、主歪軸の分布（第6図）にみられるように、両軸とも収縮して、単位面積の変化（第2図）では、 -10^{-5} オーダーの収縮域を示しているところである。すなわち、ここでは収縮歪が大きいにもかかわらず、最大剪断歪には、 10^{-6} オーダーであらわれているものである。

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. 各三角点の変位傾向は、東経133°E（松江—高知）以西においては発散しながら負の回転（時計まわり）を示し、133°E以东においては、ほぼ南南西方向を示す。
2. 単位面積の変化については、膨張域が九州—四国西部・紀伊半島中央部・中国山地東縁部に分布する。収縮域は、三次盆地—島根半島—丹後山地・瀬戸内海東部に分布する。
3. 地形と単位面積の変化については、隆起量の大きい九州山地・四国山地・紀伊山地などは膨張域と調和し、宍道湖—中海・瀬戸内海東部・大阪平野の沈降部は、収縮域と調和する。このように大局的な傾向として隆起域と膨張域、沈降域と収縮域とが調和的である。この関係をモデル化したものが第7図である。
4. 隆起による地平面の変位を、水平的なベクトルで見た場合、ベクトルは膨張の形態を示す。反対に、沈降による地平面の変位を、水平的なベクトルで見た場合、ベクトルは収縮の形態を示す。
5. 回転については、西南日本のほぼ全域が負の回転（時計まわり）を示し、島根半島西部・四国南東部などで局所的に正の回転（反時計まわり）を示す。
6. 主歪軸の分布については、両軸とも伸長する領域が、九州北部・豊後水道に分布する。また、両軸とも収縮する領域が、島根半島—三次盆地・丹後山地・瀬戸内海東部—大阪湾に分布する。これらの特徴的な伸長・収縮領域は、単位面積の変化に直接的に反映する。
7. 主歪軸の一般的方向は、中国山地・四国山地の連続方向とよく調和する。すなわち、東北東方向に連続する収縮軸の方向は、山地・海岸線の方向と一致し、伸長軸の方向はこれに直交する。

九州・四国西縁部では、伸長軸が地形に沿って弧状に分布し、収縮軸は放射状に分布する。

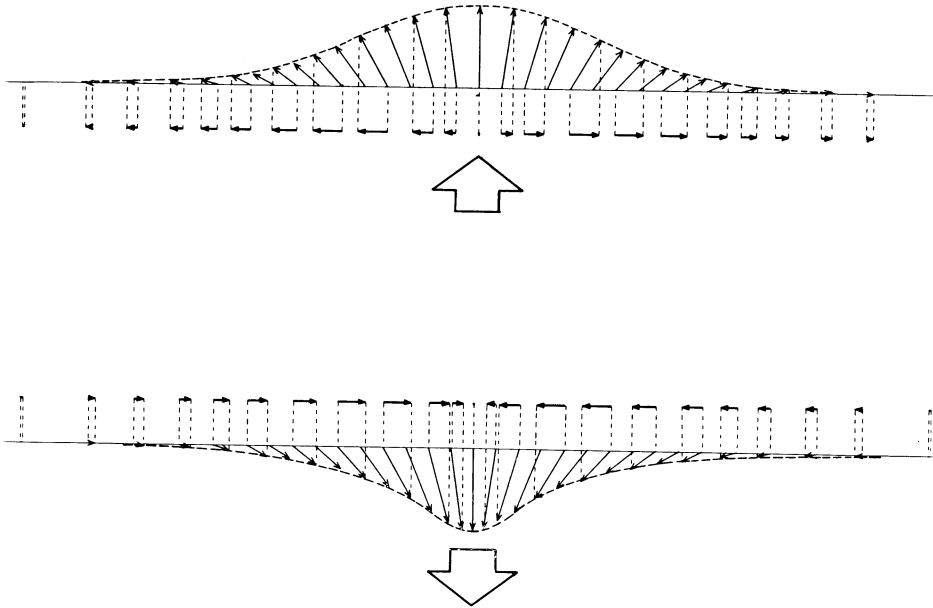


第6図 最大剪断歪と被害地震(1891-1973年)の分布。被害地震は第1回-第2回の三角点の観測期間(1891-1949年)と、その後(1950-1973年)のものをそれぞれ黒円と斜線の円で示した。地震の番号は第1表と対応する。

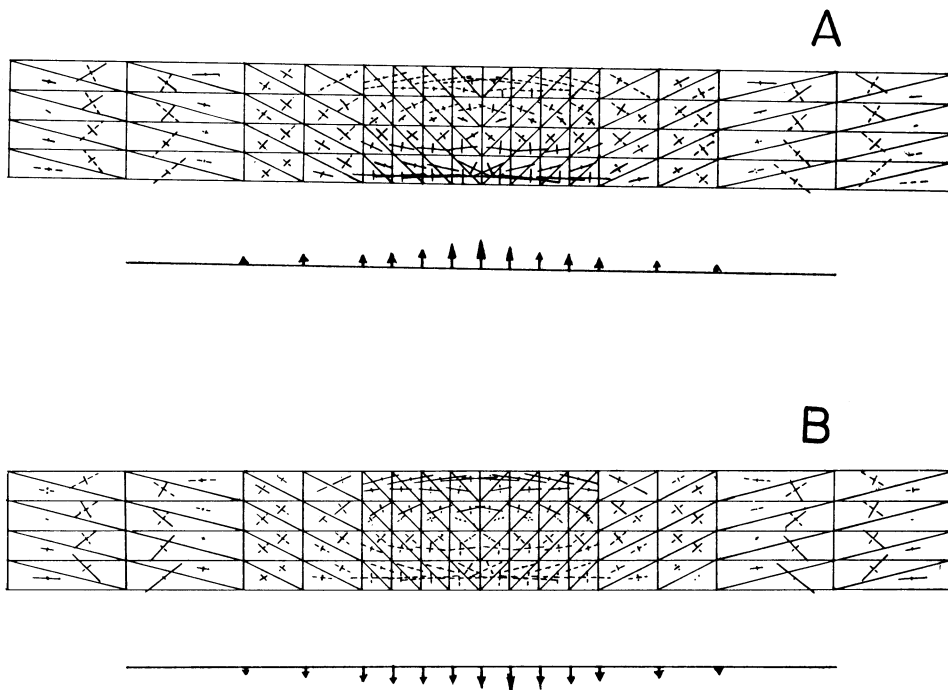
第1表 被害地震(1891—1973年)の位置と規模. No.は第6図と対応.

No.	発生年月日	時分	経度	緯度	深度 km	M	地域	
1	1891	X	16 07 06	131.7°	33.3°		6.1	豊後水道
2	1894	VIII	8 23 19	131.0	32.85		6.3	熊本県中部
3	1895	VIII	27 22 42	131.0	32.8		6.3	熊本
4	1898	IV	3 15 48	131.2	34.5		6.3	山口県見島
5		VIII	10 21 57	130.2	33°34'		6.0	福岡市付近
6		XII	4 01 45	131.-	33.-		6.6	熊本東部・大分西部
7	1903	III	21 19 36	132.25	33.75		6.5	瀬戸内海西部
8	1904	VI	6 11 51	133.25	35.4		6.2	宍道湖付近
9	1905	VI	2 14 39	132.3	34.2		7.1	(芸予地震)
10	1906	V	5 08 09	135.4	33.8		7.1	紀伊中部
11	1907	III	10 22 03	130.7	32.9		5.8	熊本中部
12	1911	VIII	22 07 48	131.0	32.9		5.4	阿蘇山付近
13	1914	V	23 12 38	133.2	35.35		5.8	出雲地方
14	1916	III	6 18 12	131.2	33.5		5.6	大分県南部
15		VIII	6 07 52	133°23'	33°57'		5.7	愛媛県関川村
16		XII	29 06 41	130.45	32.25		5.2	熊本県南部
17	1919	XI	1 08 36	132.9	34.8		5.4	三次付近
18	1921	IV	19 02 59	131.9	32.7		5.2	大分県佐伯付近
19	1924	VIII	13 03 19	135.2	33.85		5.9	紀伊
20	1925	V	23 11 10	134.8	35.7		6.5	(北但馬地震)
21		VII	4 04 21	133.3	35.5		5.8	美保湾
22	1927	III	7 18 27	135.1	35.6	10	7.5	(北丹後地震)
23	1928	IX	5 13 41	130.9	33.2	0-10	4.9	大分県西部
24	1929	I	2 01 40	130.9	33.1	0	5.4	小国地方
25		VIII	8 22 33	130.3	33.5	0	4.7	福岡県西部
26		XI	20 14 54	135.2	34.2	10	5.6	有田川河口
27	1930	II	5 22 28	130.25	33.5	20	5.1	福岡県西部
28		II	11 09 11	135.1	34.2	10	5.2	和歌山付近
29		XII	20 23 02	132.8	34.9	20	6.0	三次付近
30	1931	XII	21 14 47	130.4	32.6	0	5.6	熊本県大矢野島
31	1936	II	21 10 08	135.7	34.5	20	6.4	(河内大和地震)
32	1937	I	27 16 04	130.8	32.8	0-10	5.0	熊本付近
33	1938	I	2 16 54	133.4	35.0	10	5.3	岡山県北部
34		I	12 00 12	135.2	33.7	20	6.7	田辺湾沖
35	1939	III	20 12 22	131.7	32.3	10	6.6	日向灘
36	1941	IV	16 01 22	131.7	32.3	10	6.2	山口県須佐付近
37	1941	XI	19 01 46	132.1	32.6	0-20	7.4	日向灘
38	1943	III	4 19 13	134.2	35.6	20	6.1	鳥取沖
39		IX	10 17 37	134.2	35.5	10	7.4	(鳥取地震)
40	1944	XII	7 13 35	136.2	33.7	0-30	8.0	(東南海地震)
41	1946	XII	21 04 19	135.6	33.0	30	8.1	(南海地震)
42	1947	V	9 23 05	131.1	33.3	20	5.5	大分県日田地方
43	1948	VI	15 20 44	135.5	33.8	= 0	7.0	日高川上流
44	1949	I	20 22 25	134.6	35.6	20	6.5	兵庫県北音
45		VII	12 01 10	132.5	34.0	40	6.2	安芸灘
46	1950	IV	26 16 05	135.8	33.8	40	6.7	熊野川流域
47		VIII	22 11 04	132.7	35.2	30	5.3	三瓶山付近
48	1952	VII	18 01 10	135.80	34.45	70	7.0	(吉野地震)
49	1955	VI	23 22 41	133.4	35.2	20	5.1	鳥取県西部
50		VII	27 10 20	134.3	33.75	0-10	6.0	徳島県南部
51	1966	XI	12 21 01	130°16'	33°04'	20	5.5	有明海
52	1968	IV	1 09 42	132°32'	32°17'	30	7.5	(日向灘地震)
53		VIII	6 01 17	132°23'	33°18'	40	6.6	愛媛県西方沖
54	1970	III	13 22 27	132°49'	34°56'	10	4.6	広島県北部
55		IX	29 19 11	133°18'	34°26'	10	4.9	広島県東南部
56	1973	XI	25 13 25	135°25'	33°51'	60	5.9	和歌山県西部

「資料日本被害地震総覧」(宇佐美龍夫, 1975)・「地震月報」(1926—1972)より抜粋



第7図 隆起・膨張，沈降・収縮の関係を示すモデル図



第8図 隆起と膨張，沈降と収縮の関係をしめす地殻の垂直断面モデル。地殻を均質な弾性体と仮定しておこなった有限要素法による数値計算の結果をしめす。
A：隆起モデル，**B**：沈降モデル。三角形各要素内の短い直線は主ひずみをしめし、実線が収縮，破線が伸長をあらわす。境界変位は矢印でしめされ、地殻底部になめらかな山型および逆山型の変形として与えられている。

7. 最大剪断歪の分布については、 10^{-5} オーダーの領域が、日本海沿岸部では、ほぼグリーンタフ地域に分布し、太平洋側では、九州中央部—四国—紀伊半島に連続して、ほぼ中央構造線と一致する。
8. 10^{-5} オーダー以上の最大剪断歪の分布領域と被害地震発生の分布とは、非常に相関性が強く、 10^{-6} オーダーの領域にはほとんど発生していない。
9. 隆起・沈降にともなう地表部のひずみ分布を有限要素法によってモデル計算した（第8図）。その結果、隆起部に水平の伸張ひずみが、沈降部に水平の収縮ひずみがそれぞれ卓越することが示され、変位ベクトルから予測したものと同様の結果を得た。

文 献

- 安達忠次, 1961: ベクトル解析. 251 p., 培風館, 東京.
- 第四紀地殻変動研究グループ, 1969: 第四紀地殻変動図
- 檀原毅・友田好文, 1969: 測地・地球物理. 286p., 共立出版, 東京.
- HARADA, T., 1967: 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.
- ・葛西篤男, 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震との関係, 地質学論集, 20, 57—75.
- , 1982: 東北日本の一等三角点変動解析と被害地震の関係について, 構造地質研究会誌, 27, 123—126.
- , 鈴木尉元, 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—1982: 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.
- 谷口彰・国香聡・飯川健勝・三梨昂, 1982: 西南日本における一等三角点変動解析. 構造地質研究会誌, 27, 179—196.
- TERADA, T. and MIYABE, N., 1928: Deformation of the earth crust in kwansai district and its relation to the orographic feature. *Bull. Earthg. Res. Inst.*, 7, 223—239.
- 坪川家恒・大森又吉, 1969: 測地学序説. 411p., 山海堂, 東京.
- 宇佐美龍夫, 1975: 資料日本被害地震総覧. 327p., 東大出版会, 東京.