

## 中国地方の発震機構と地殻変動

鈴木 尉元\*・嵐 雅\*\*

On the focal mechanism of earthquakes of Chugoku district,  
southwest Japan.

Yasumoto SUZUKI and Masaru ARASHI

**Abstract** The mechanism in the focus of 23 earthquakes occurred in Chugoku district has been determined, using the P-wave radiation pattern.

The regional pressure acts parallel to the Chugoku mountains in the main part, but perpendicular to them in the west part.

The tension acts perpendicular to the Chugoku mountains.

Most of the fault planes run parallel to the mountains and the coast, but some of them perpendicular to them.

The earthquakes in this district might be due to the upheaval movement of the Chugoku mountains, and those phenomena are explained by the movement.

### まえがき

中国地方その中でも島根県東部を中心とする地域は地震予知連絡会において特定観測地域の一つに指定されている。過去何回か被害地震があり、最近でも1977年~1978年にかけて三瓶山地域に地震が頻発している。そこでまず、この地域に発生した地震の発震機構の解析を行い起震歪力をもとめ、深部での断層運動の性格をとらえ、その上で現在測地学的に知られている曲隆運動や三角点解析による主歪の方向等との関係を検討した。

謝辞：発震機構の解析に際し、プログラム等について地質調査所の小玉喜三郎氏に御指導いただいた。解析結果および造構運動に関して島根大学 三梨 昂、山内靖喜両氏には大変お世話になった。また三角点解析の資料は、谷口 彰、国香 聡両氏にいただいた。この紙面をお借りして、上記の諸氏に御礼申し上げる。

### 資料と解析方法

今回解析に使用した地震資料は1935年から1979年

までの気象要覧と地震月報による。このうち北緯 $34^{\circ}$ から $35^{\circ}30'$ まで、東経 $131^{\circ}$ から $134^{\circ}30'$ までの範囲のものを解析した。

よく知られているように地震が起これると地表の各観測所で観測されるP波初動の押し引きは、規則的に分布する。この地表での押し引きを地球内部での地震波の屈折を考慮して、震源近傍にひきもどしてやると、直交する二平面によって押し波を射出した領域と引き波を射出した領域に分けられる。この平面をP波初動の節面と呼ぶ。このような押し引き分布からそれをもたらした応力場を求めることができる。この応力場は互いに直交する最大圧縮主応力軸(主圧力軸)、中間主応力軸、最小圧縮主応力軸によって定義される。このうち中間圧縮主応力軸は二つの節面の交線の方向である。また主圧力軸および主張力軸は二つの節面に直交する平面内にあり、それを二等分する方向にある。このうちP波初動の引き波を射出した領域にあるものが主圧力軸であり、押し波を射出した領域にあるものが主張力軸である。またP波初動の節面の一方は断層面と考えられ、この時の断層運動は、主圧力軸を含む象限が中心に向かうような方向に行われることからそのずれを決定することができる。一例として地表での押し引きを第1図aに、震源近傍にひきもどし、シュミ

\* 地質調査所

\*\* 島根大学理学部地質学教室昭和56年度卒業生

ットネットの上半球に投影したものを第1図bに示す。この際地表で観測されたP波初動の押し引きを震源近傍にひきもどしてやるには、震央距離・震央からみた

各観測所の方位・震央距離と射出角との関係が必要になってくる。この計算法については省略する。

### 解析結果

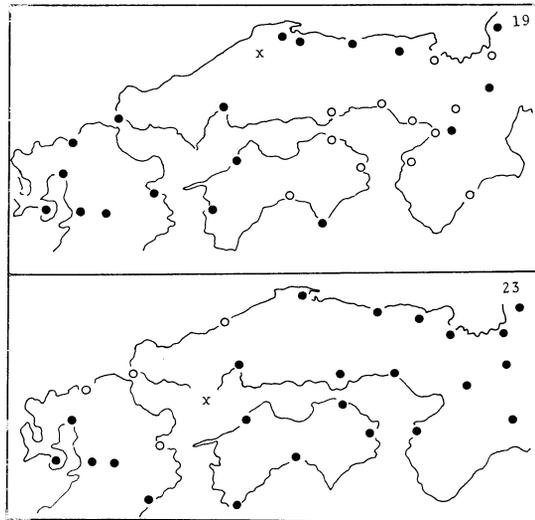
中国地方を中心とした地域に発生した地震のうち発震機構の解析が可能だったものは全部で23個であり、それを第1表に示す。左から地震の起きた年月日、時刻、震央位置、震源の深さ、節面、主圧力軸と主張力軸の傾斜と方位（傾斜の方向は北を $0^\circ$ とした反時計回りの角度、傾斜は水平面となす角度）を示す。

#### 1. 節面の方向性と断層運動の性格

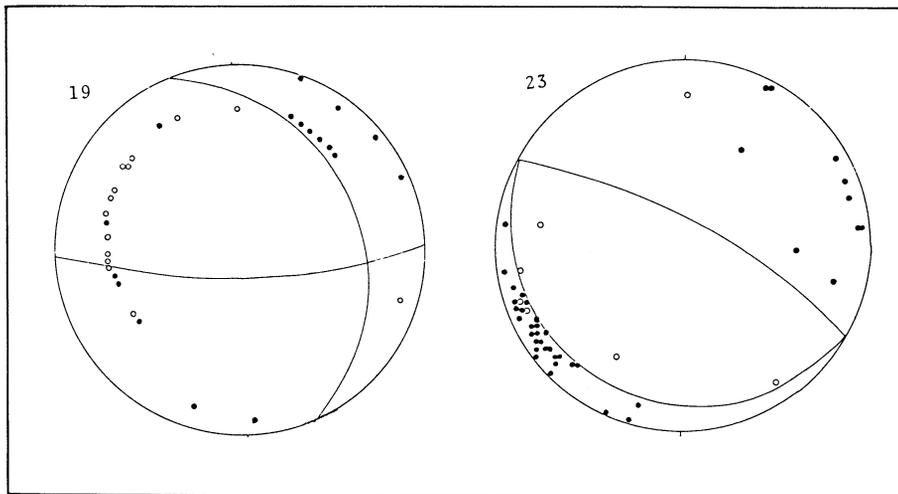
地表の各観測所での押し引きを震源近傍に引きもどしシュミットネットに投影した結果を第3図に示す。これらの発震機構は二つの節面の方向性より次のような六つに分けることができる（第2図）。

第1の型は二つの節面の走向がほぼ平行し節面に沿う断層運動が正断層のものである。第2の型は二つの節面の走向は第1の型と同じようにほぼ平行するが、節面に沿う断層運動が逆断層のものである。第1の型、第2の型ともに断層運動は傾斜ずり成分のみで、走向ずり成分はほとんどないものである。

第3の型は節面の走向、傾斜ともに異なり、両節面はかなり傾いていて節面に沿うずりは正断層型のもの



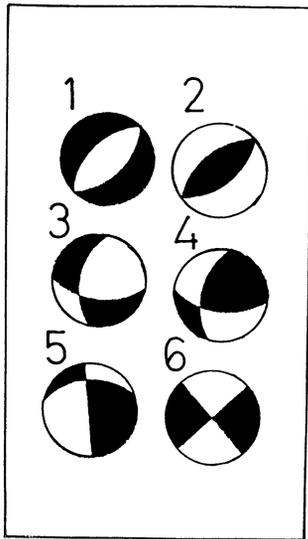
第1図a 各観測所におけるP波初動の押し引き図。番号は第1表に対応する。黒丸は押し、白丸は引き、×印は震央を示す。



第1図b 震源近傍に引きもどした際の押しと引きの領域。番号は第1表に対応する。シュミットネット上半球に等映したもので、黒丸は押し、白丸は引きの初動分布を示す。

第1表 中国地方の地震の発震機構

	DATE	TIME	LONG.	LAT.	D.	PLANE		MAX. PRE.	MAX. TEN.	NULL AXIS	
						A	B				
1.	35	7 17	0 0	131 15	34 18	10	14 178	72 358	28 178	62 358	0 88
2.	38	1 2 16	53	133 22	34 53	10	71 54	71 317	0 274	28 4	62 182
3.	38	9 29 19	11	133 18	34 26	10	90 36	24 126	40 58	40 194	24 306
4.	43	1 9 8	7	133 54	34 0	20	90 108	54 198	27 144	24 248	54 18
5.	43	8 9 4	28	131 54	34 24	10	19 162	42 342	79 344	11 164	0 71
6.	43	10 18 22	22	133 54	35 24	10	90 108	40 198	34 256	33 141	40 18
7.	55	6 23 13	19	133 24	35 12	10	90 180	24 90	40 156	40 22	24 270
8.	55	10 13 11	30	134 0	35 30	20	54 90	54 212	1 61	57 154	34 332
9.	55	12 5 13	30	132 36	34 42	10	89 58	50 327	26 275	27 21	50 148
10.	64	11 9 2	56	133 22	34 7	20	90 31	69 301	15 348	15 254	69 121
11.	65	2 26 15	42	132 44	35 16	20	54 18	72 122	40 72	10 334	48 245
12.	70	9 29 19	11	133 18	34 26	10	90 36	26 126	40 60	40 192	26 306
13.	72	4 14 4	29	132 56	34 54	10	24 108	72 224	26 63	56 201	21 323
14.	73	2 25 19	9	132 25	34 44	10	72 108	72 204	1 248	26 155	65 338
15.	73	9 21 11	21	134 31	35 6	10	24 75	71 315	28 116	55 338	20 225
16.	73	10 27 13	44	133 16	35 12	10	72 54	90 144	12 100	12 6	72 234
17.	74	8 28 14	49	133 11	34 58	0	90 126	24 216	42 284	40 147	24 30
18.	77	5 2 1	23	132 41	35 9	10	90 5	25 25	40 28	40 162	25 275
19.	78	6 4 5	3	132 42	35 5	10	72 0	23 117	55 24	28 162	20 267
20.	78	6 4 6	3	132 41	35 5	10	36 18	72 135	52 97	20 339	30 236
21.	78	6 4 6	20	132 41	35 7	10	72 18	72 114	25 66	1 336	65 246
22.	79	4 9 22	12	132 54	34 16	50	54 36	22 216	74 35	9 215	90 306
23.	79	7 13 17	10	132 3	33 51	70	73 152	10 332	58 152	20 332	90 242



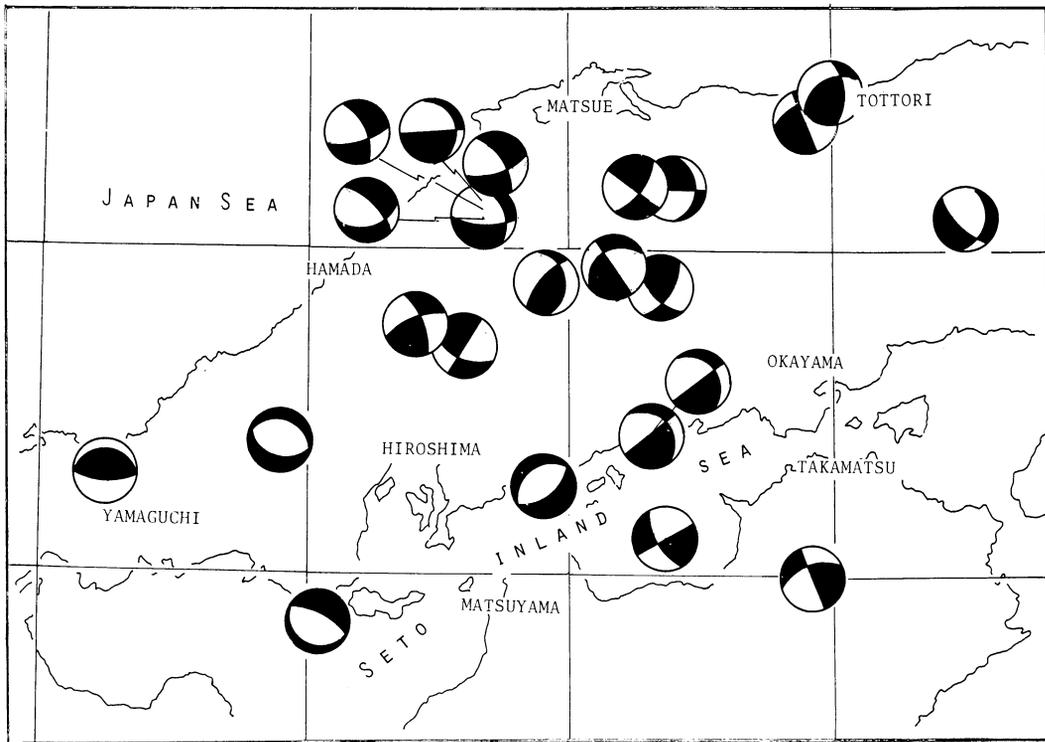
第2図 節面の組み合わせのタイプ

である。第4の型のものは両節面の走向傾斜は第3の型のものと同じであるが節面に沿う断層運動が逆断層型のものである。

第5の型は節面の走向を異にし、一方は極めてゆるい傾斜であるが他方はほとんど垂直なものである。

第6の型としたものは両方の節面がほとんど垂直なものである。この型のものは節面に沿う断層運動は走向ずり成分のみで傾斜ずり成分はほとんどない。

ここで解析された結果について発震機構がどのような型を示しているのか検討する。まず三瓶山付近における地震の節面は、第3の型のものが四つ、第5の型のものが一つですべて正断層型のもを示している。また中国地方でも瀬戸内海沿岸に沿う地域では第1の型のものが二つ、第5の型のものが二つありここでも正断層型を示している。その他には地域的な特徴をもった分布はないように思われる。



第3図 節面の分布図

## 2. 主圧力軸の方向と傾斜角

主圧力軸の方向を第4図に示す。まず中国地方西部の山口地域では南北性および北北東-南南西方向を示している。また香川地域では北東-南西方向を示している。鳥取地域では西北西-東南東方向、兵庫県から広島県北部にかけての地域では東西性を中心に東北東-西南西方向、西北西-東南東方向を示す。三瓶山付近では東西性と北西-南東方向のものがみられる。これら全体を通してみると島根県益田-広島市-高松を結ぶ線を境に北側では主圧力軸が東西性、南側では南北性を示している。

西南日本全体を通してみた場合、主圧力軸は日本海沿岸地域では島弧に対して直交する方向を示し、その他の地域では島弧に平行する方向を示す。

主圧力軸の傾斜のようすをみるため、東西および南北両断面図(第6図)に主圧力軸を投影した。この場合、益田-広島市-高松を結ぶ線より南側で南北方向を示すものは南北断面に、また北側で東西方向を示すものは東西断面に投影した。傾斜角が水平から $30^\circ$ までのものと、 $40^\circ\sim 50^\circ$ までのものとが同じ位の割合で分布

している。また、その他に急傾斜を示すものもみられる。

## 3. 主張力軸の方向と傾斜角

主張力軸の方向を第5図に示す。兵庫県西部から鳥取県中部にかけての地域では主張力軸は北東-南西方向を示している。鳥取県西部から広島県東部にいたる地域では北北西-南南東方向を、また島根県から山口県にいたる地域では北北東-南南西方向を示す主張力軸がみられる。主張力軸は狭い地域内においては同じ方向性を示すが、全体を通してみれば南北性のものが顕著であるといえよう。次いで、主張力軸の傾斜を第7図に示す。主張力軸の傾斜と同じように、水平から $30^\circ$ までのものと、 $40^\circ\sim 50^\circ$ のものが同じ割合で分布し、傾斜の急なものも多少分布している。

## 4. 断層運動の方向性と断層の性格

P波初動分布による節面のうち、どちらか一方は地震時の断層面と考えられている。しかしP波初動分布からだけでは二つの節面のうちのどちらの面に沿って断層運動が生じたかは決定できない。しかし前節で述べた第1の型と第2の型を示す地震では二つの節面の

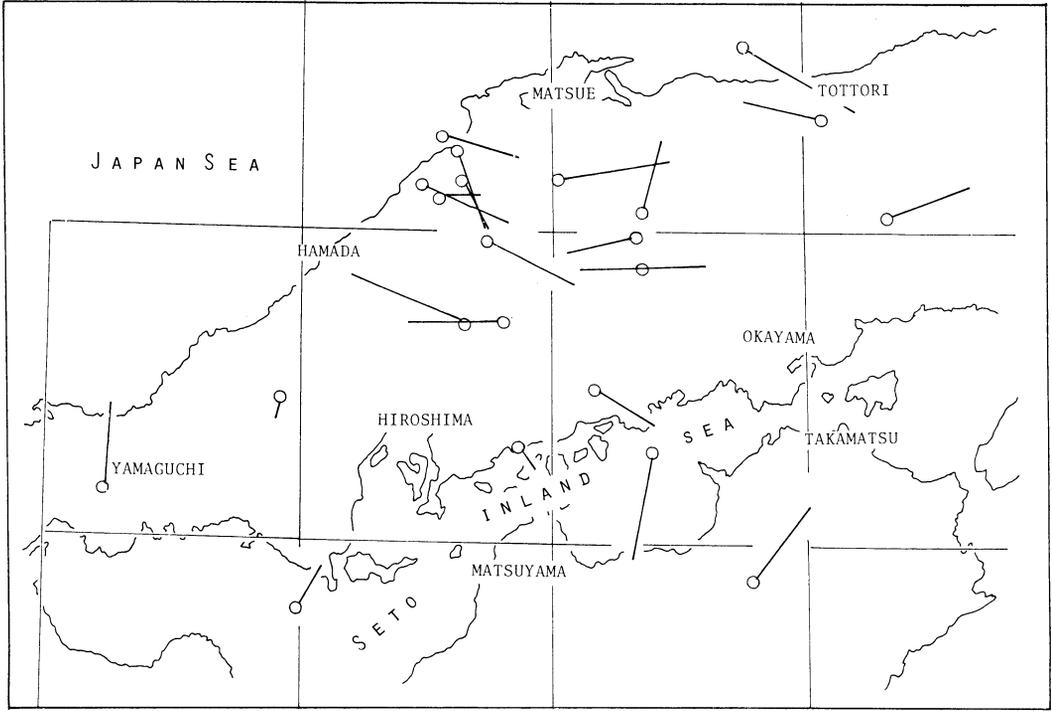
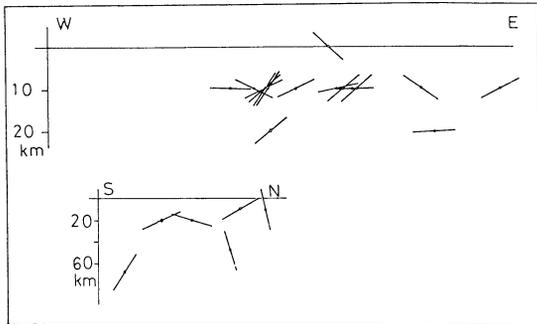


図4図 主圧力軸の方向  
○印は傾斜方向を、角度は  $\sin$  に比例した長さで示す。

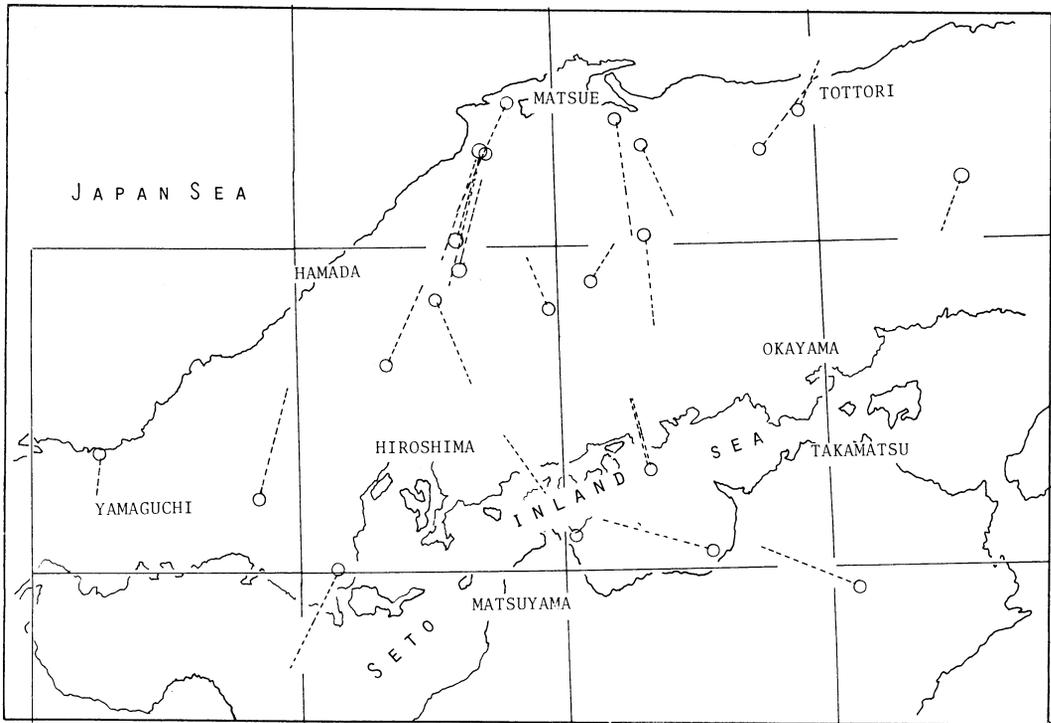


第6図 主圧力軸の断面図

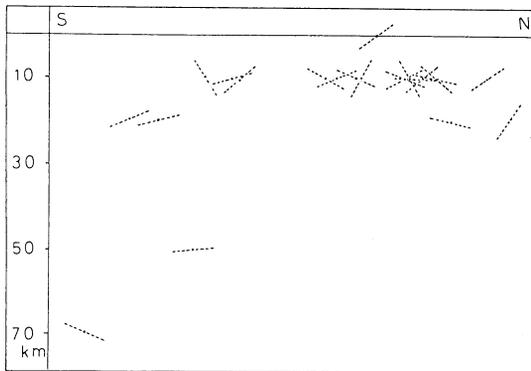
走向は平行することから断層の走向だけは一義的に決定することができる。それともう一つ、第5の型の発震機構を示すものは、急な傾斜をもつ節面の走向が第1の型あるいは第2の型の節面の走向と平行する傾向があることが関東地方などの発震機構の解析によって知られている(鈴木ほか1977)。このような節面から考えられる断層運動の走向を第8図に示す。第8図には、300, 800, 1,300 mの等高線で地形の概略を示した。

全体的にみれば、等高線は海岸線にほぼ平行し、中央部に向ってその標高が増すような山地地形を示している。そして、断層の走向をみてみると、海岸線にほぼ平行するものが多く、その他に、直交するものがいくつかみられる。

このように中国地方における地震時の断層運動は現在の地形をつくっている運動と密接な関係があるように思われる。このような断層の走向はどのような機構によって決定されているのかを考える上で参考になる数値実験が小玉ほか(1976)によって行われている。この実験は境界条件としてまず、かまぼこ状の垂直変位を与えている。その上でこの垂直変位に伴う断層形態を観察している。変位を与えていくと、まず長軸方向に断層が生じ、ひき続きそれに直交する方向に断層が生じてくる。このことは境界条件の変化に起因するものではなく、一連の上下運動の過程において断層運動の走向が規制されているとしている。この実験が示すような境界条件を中国地方についてあてはめると、現在、水準測量などから中国山地を中心とする曲隆運動が知られている。この曲隆運動は、中国山地を



第5図 主張力軸の方向  
○印は傾斜方向を、角度は  $\sin$  に比例した長さで示す。



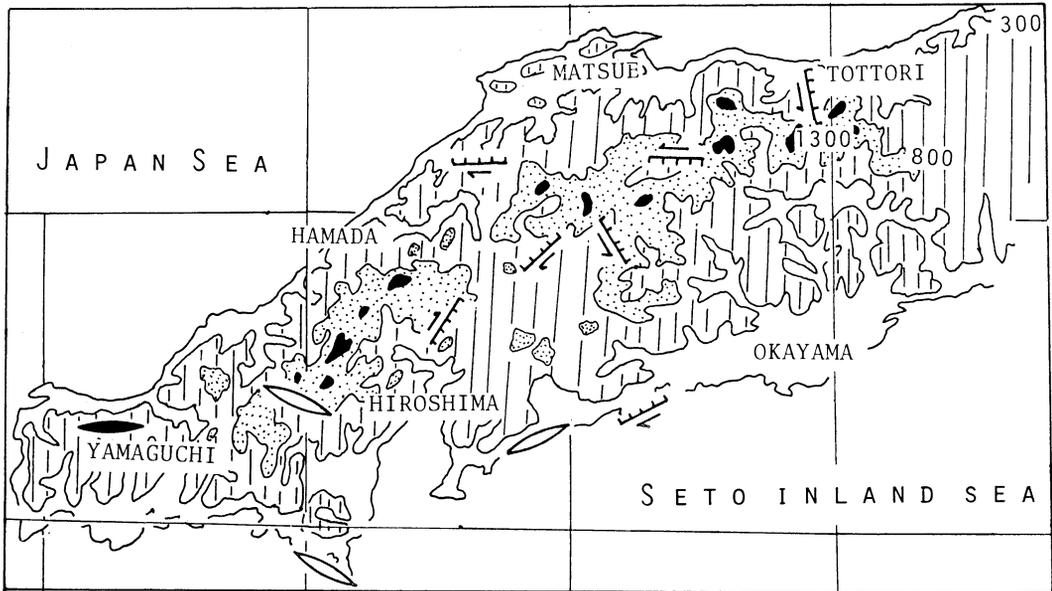
第7図 主張力軸の断面図

### 5. 三角点解析による主歪の方向と起震歪力との関係

谷口ほか(1982)は一等三角点の変動解析から本地域における地殻の水平変動を求めている(第9図)。それによれば、最大収縮軸(縮み)の方向は、鳥取県東部と岡山県東部以西の地域では東西方向を示し、鳥取県の海岸地域と鳥取市一兵庫県赤穂を結ぶ地域では北北西-南南東方向を示している。これより西側の島根県中部、広島県中部までの地域と四国の北部では東北東-西南西方向を示している。それが広島県西部、島根県西部、山口県北部にわたる地域では北北東-南南西方向に変化し、また山口県南部から周防灘にかけては北西-南東方向を示すようになっていく。

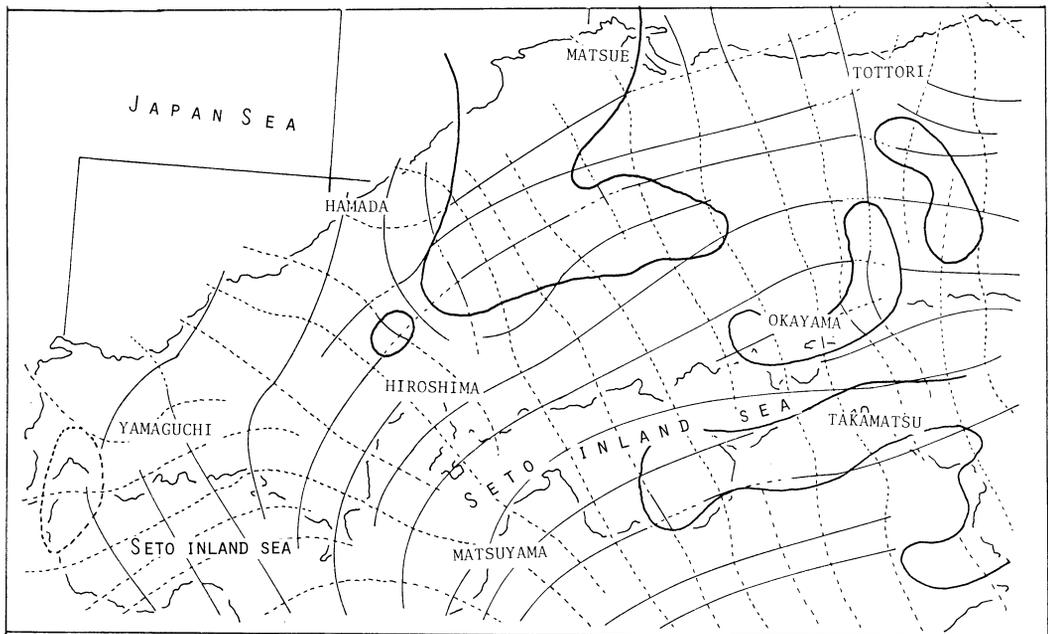
これらの方向と発震機構によって求められた主圧力軸の方向とを比較したものを第10図に示す。主圧力軸は、兵庫県西部では東北東-西南西方向を示し、ほぼ縮みの方向と一致するが、鳥取県東部の主圧力軸方向は縮みの方向と直交するような方向をとる。鳥取県西部から岡山県西南部をへて広島県北部にいたる地域では主圧力軸には縮みの方向とほぼ一致するものと直交

形成した鮮新世以降の隆起運動の連続であり、それが地震を発生する断層の走向を規制していると考えられる。さらに、地形や地質に残されている大きな断層系も島弧に沿う方向と直交する方向に発達して、中国地方の地質構造を特徴づけている。つまり、既存の断層と現在の断層運動との相互関係がみられる。



第8図 断層の運動方向と性格

縦線の領域は標高 300~800 m, 点の領域は 800~1,300 m, 黒ぬりの領域は 1,300 m 以上を示す。



第9図 三角点変動解析による主歪軸の方向 (谷口ほか 1982)

細実線は最大収縮軸方向, 破線は最大引張軸方, 太実線は両軸とも収縮の領域を示す。

するものとがみられる。三瓶山付近では、両者は互いにすべて斜交するか直交する。中国地方で両者が一致するのは島根県浜田—広島市の西側の地域で、北北東—南南西方向をとともに示している。東側の地域でも全体を通してみれば三瓶山地域と広島県北部を除いて主圧力軸はほぼ東北東—西南西方向を示し、最大収縮軸とはほぼ一致している。これは中国中部を除いて両者が大体よく調和を示すという報告 (KASAHARA & SUGIMURA, 1964) と同じ傾向を表わしている。

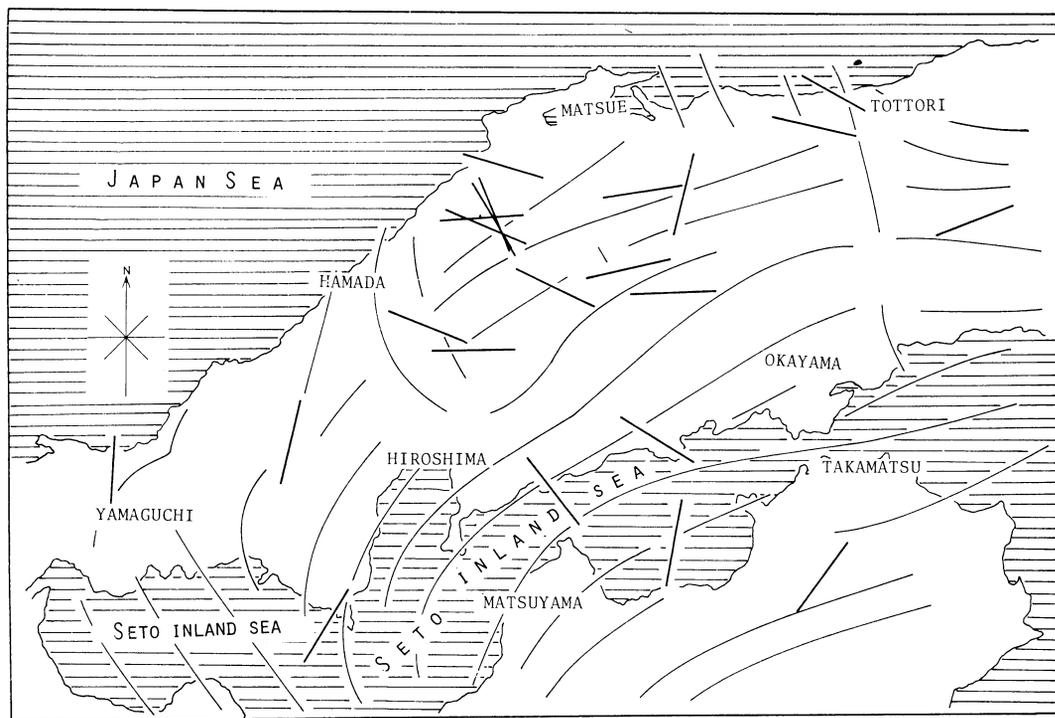
次に、伸びの方向と主張力軸の方向を比較する。伸びの方向は縮みの方向と直交する方向である。伸びの方向は第10図あるいは第12図に示されているように、四国南部を中心にした放射状の方向を示している。東側から西側に向かい、南北方向から東西方向に変化している。この伸びの方向に対し、主張力軸の方向は浜田—広島市の東側の地域では、三瓶山地域を除いてほぼ一致している。しかし四国北部では斜交し、また、浜田—広島市以西の地域では直交している。

以上みてきたように、中国地域では一部の地域を除いて主圧力軸と縮みの方向はほぼ一致する。主張力軸

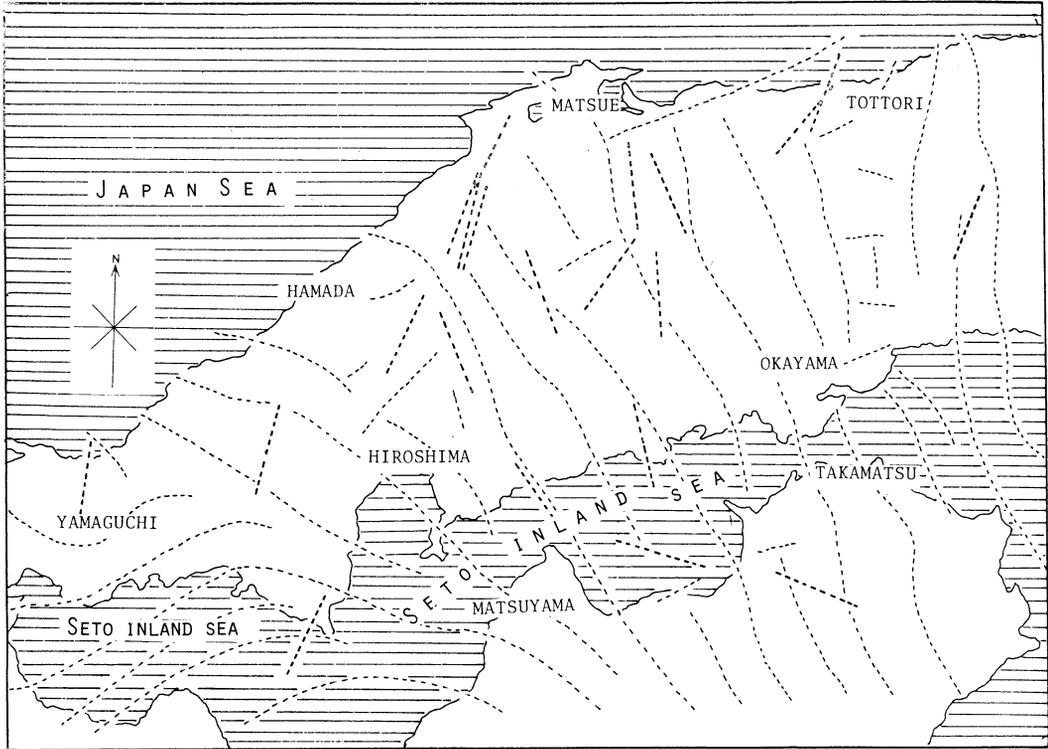
と伸びの方向は浜田—広島市の東側ではほぼ一致するが、その西側と四国北部では直交あるいは斜交している。さらに、第9図が示すように東経132°付近を境に東側では全体的な収縮域を示し、西側では全体的な膨張域を示している (谷口ほか, 1982)。また、主歪軸の方向がこの付近で急変していることや発震機構による主張力軸がこの東側では水平に近い東西性を示しているのが、西側では垂直に近い南北性を示すようになっている。これらのことは、この付近での不連続な性質を示しているように考えられる。

### ま と め

中国地方において地震の発震機構を解析し起震歪力や断層運動の性格を検討して、それに伴って曲隆運動や三角点変動解析による主歪軸との関係等をみてきた。地震には不明な点が多いが、地震を発生した断層運動が曲隆という隆起運動や地質構造と深い関係があることがみられた。また、主張力軸と縮みの方向あるいは主張力軸と伸びの方向との関係は一部の地域を除いてはほぼ一致し、地表と地下 (20 km 以下の浅部) との



第10図 三角点変動解析による最大収縮軸の方向と主圧力軸の方向との関係  
太線は主圧力軸を細線は最大収縮軸の一般的方向を示す。



第11図 三角点変動解析による最大伸長軸の方向と主張力軸の方向との関係  
太破線は主張力軸を、細破線は最大伸長軸の一般的方向を示す。

同じような動きがみられた。しかしこの関係が同じレベルで扱えるかどうかは不明瞭な点が多く、これからの課題であろう。

文 献

ICHIKAWA, M. 1965: The mechanism of earthquakes occurring in central and southwestern Japan, and some related problems. *Papers in meteorology and geophysics*, 16, 104—156.  
KASAHARA, M. and A. SUGIMURA 1964: Horizontal secular deformation in central Japan, 1950—1962.

*Bull. Earthq. Res. Inst.*, 42, 479—490.  
小玉喜三郎・本多進・藤田仁・新田潔・鈴木尉元, 1976: 基盤ブロック状変形に伴う断層形成の数値実験, その1. 地調月報, 27, 123—134.  
鈴木尉元・小玉喜三郎・田村穰・石橋裕・片野篤史, 1977: 関東地方の発震機構と地質構造ならびに造構運動との関係. 地調月報, 28, 811—834.  
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, No. 27, 179—196.