

四国東部および周辺地域における地震の発震機構 (2)

許斐直, 松村一男, 新井聡郎*, 松波孝治, 片尾浩, 近藤和男

*大阪管区気象台

要 旨

阪神大震災以降全国の地震観測網が飛躍的に整備され多くの観測データが即時に得られる様になり, 大阪管区気象台ではM3.5以上の地震についてはルーチ的にメカニズム解を求める様になった。今回はこれらのシステムに組み込まれていない計測震度計及び徳島県震度観測システムのデータを回収し, 初動データを追加する事を試みると同時に初動波形を吟味する事によって数個の地震については解の精密化に努めた。

四国地域では上部地殻で東西の又, 最上部マントルで南北の起震応力が働いている事が知られているが, 得られた19個のメカニズム解は地震発生の場の不均一性から来る応力集中の乱れを反映したものと考えられるばらつきを示す。

キーワード: 起震応力, WIN システム, 震度計, Hi-net

1. はじめに

市川(1965)は中部地方から西日本の地震の発震機構を求めた研究の中で, 1944年の東南海地震から1946年に南海地震が起こった期間の前後で四国東部の地震の主圧力軸が南北から東西へと顕著な変化を示したことを述べている。

当時の震源の精度からは四国東部の上部地殻と最上部マントルに分布する震源の二重構造は認識されていなかったため, この事は一般的には地殻内に働く起震力が大地震の前後で南北から東西へ急激に変化したと考えられた。

これに対しOkano and Kimura(1979)はそれまでにはほぼ明らかになっていた上部地殻には東西の, また最上部マントルには南北の起震応力が働いている事から考えると上記の変化は南海地震以前にはマントル内にて比較的大きな地震の発生が見られ, 大地震後には地殻内にて活発な余震活動があった事による見かけ上のものであるとする見方を示した。

又南海道地震の直前の地殻内地震の活動が極めて低調な状態にあったと推定した。

上記のことは今後次期南海地震に至る過程での四国東部の地震活動の動向を, 上部地殻の地震と最上部マントルの地震のそれぞれをその発震機構とともに追跡して行く事の重要性を示している。

筆者等は南海観測網が整備された1985年以降の地震についてかなりの数の発震機構解を求めた。(許斐ら, 1992; 京都大学防災研究所, 1994a)

阪神大震災以降全国の地震観測網は飛躍的に整備されデータ伝送及び処理のシステムも更新された。徳島観測所では1997年11月よりWINシステムの正式運用を開始した。又四国では平成11年度末にHi-netの展開が完了した。今回はこの新しい地震観測の環境の下での発震機構決定のプロセスの確立をめざすとともに, 波形データが利用されていなかった大阪管区気象台管轄の計測震度計及び徳島県震度観測システムのデータを回収・波形表示をして初動データの追加による解の精密化にも取り組んだ。

2. データの収集

Fig. 1に今回の処理のため観測点ファイルに登録

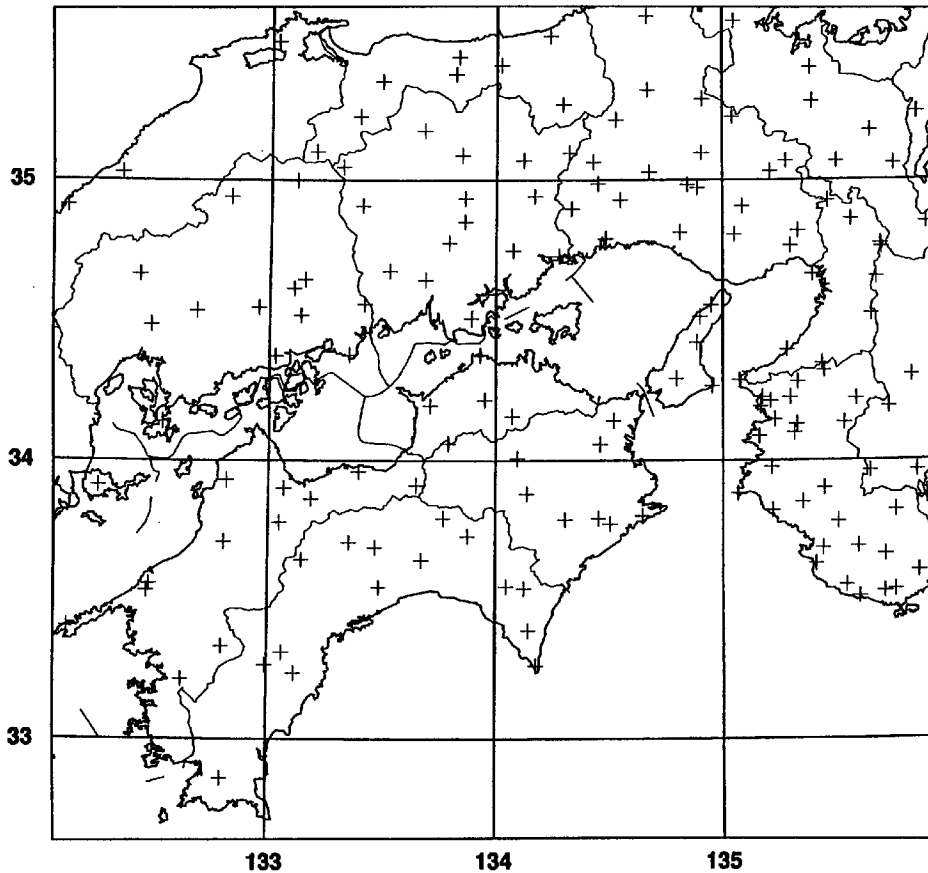


Fig. 1 Station map of the facilities with high sensitive sensor.

した高感度地震計の分布を示す。ここでは大学，気象庁（大阪管区管轄），防災科学技術研究所のHi-netの区別は付けなかったが，メカニズム解の研究に取って極めて有利な環境が作られている。又 Fig. 2 にはこれに大阪管区気象台管轄の計測震度計及び徳島県震度観測システムの地震計を加えた配置を四国東部に限って示す。この場合も今回の処理に加えるため2.5万分の1又は5万分の1の地図上にて位置を確認して登録したもまでの県地震計はこの他全市町村に配置されている。

計測震度計の波形データは通常震度3以上は回収される事はないが今回この研究のために有感クラスの地震について回収することにした。又三成分の波形表示プログラムもこのために新たに作成した。

この結果4章のTable1の地震の中No. 6, 7, 9, 12, 13において初動データを追加する事が出来た。

次に徳島県の震度観測システムのデータについては今回処理出来たものはNo. 3の地震だけであったが，初動データの追加と解の精密化への利用が大いに期待出来る事が分かった。ただ現状では震度分布の把握に運用の重点が置かれて記録の収集において

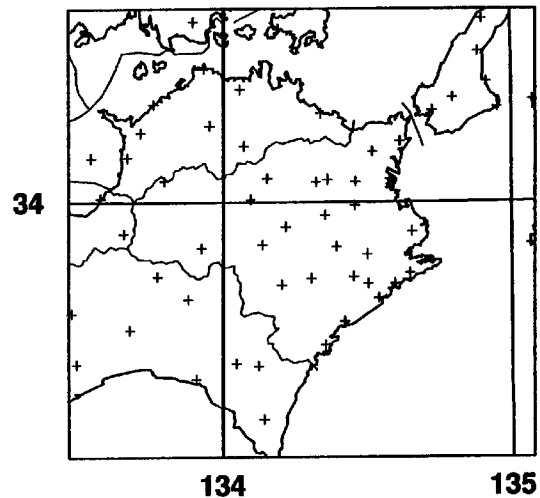


Fig. 2 Station map around Tokushima prefecture including stations for instrumental seismic intensity in this study.

波形解析に必要な条件が十分に満たされていないので改善を要請した。

原波形データの形式を変換し三成分波形を表示するプログラムを新たに作成したので今後収録条件が改善されれば，各市町村における振動の特性などを

Table 1 Solutions of mechanism in this study. No. 1~ 9 are $M>4.0$ earthquakes from Nov. 1997 to July. 2001 and No. 10~ 19 are $M<4.0$ ones from Aug. 2001 to Nov. 2001.

No	Y	M	D	H	M	S	X	Y	Z	M	P	T	N1	N2		N	Sc					
														st. di.	ra.							
							Km	Km	Km	az. pl.		st. di.										
1	98	9	24	17	3	21	51.90	-58.86	34.9	4.2	346	-2	77	-26	35	74	20	299	70	163	49	0.98
2	98	11	22	9	15	0	-3.52	-70.89	22.0	4.1	278	-34	10	-3	139	69	-27	239	65	-157	40	1.00
3	99	7	19	5	14	49	31.51	-24.35	7.8	4.1	66	-26	330	-14	286	62	-9	20	82	-151	62	0.97
4	99	10	30	6	25	50	-45.60	4.90	12.4	4.7	123	-28	25	-15	341	59	-10	76	81	-148	84	0.94
5	0	4	11	11	31	50	89.54	-17.05	9.4	4.0	92	-9	186	-24	141	80	24	46	66	169	72	1.00
6	0	7	23	1	46	43	31.31	-13.98	5.9	4.0	69	-1	338	-26	297	71	18	201	73	160	94	1.00
7	1	1	25	19	45	26	49.96	-5.64	49.0	4.4	184	-43	76	-18	30	45	-21	135	75	-133	69	0.94
8	1	1	27	8	18	27	57.30	17.73	46.3	3.6	342	-19	80	-21	31	89	30	300	61	178	53	0.98
9	1	2	8	14	11	59	46.23	-10.78	13.4	4.4	285	-16	194	-4	148	76	-8	240	82	-166	59	0.99
10	1	8	17	1	58	26	4.69	-35.38	31.7	3.0	191	-26	346	-62	273	71	79	124	21	119	21	1.00
11	1	8	27	18	57	1	-8.12	-31.69	35.7	3.9	207	-38	40	-51	79	9	47	303	83	96	43	0.93
12	1	8	28	14	30	35	35.91	6.69	4.7	2.6	251	-15	353	-37	307	76	39	206	52	162	26	0.93
13	1	9	8	23	29	13	56.32	29.54	10.2	3.6	255	-4	164	-16	121	76	8	29	82	166	42	0.99
14	1	9	23	21	29	34	-34.35	-25.61	2.4	2.9	71	-8	166	-28	122	77	27	25	64	165	29	1.00
15	1	10	11	23	33	15	8.54	-39.65	15.4	3.3	271	-2	6	-69	341	51	62	201	47	120	23	1.00
16	1	10	19	11	19	55	72.39	-63.50	37.9	3.6	26	-39	285	-13	238	53	-21	340	74	-141	88	0.99
17	1	10	26	6	44	22	-31.07	-5.38	6.6	2.9	300	-11	37	-32	352	76	31	254	60	164	36	0.86
18	1	11	5	20	0	0	-29.50	-8.93	9.0	3.4	87	-7	185	-50	146	63	45	32	51	144	32	0.86
19	1	11	16	2	45	42	21.38	-26.34	39.2	3.2	6	-34	99	-4	228	70	-28	328	64	-157	28	0.93

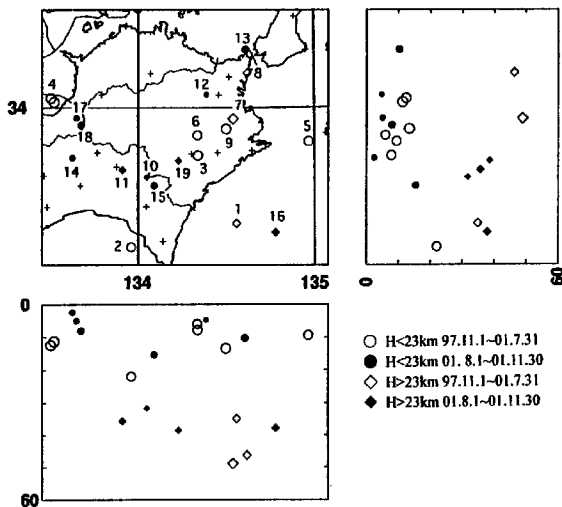


Fig. 3 Hypocentral distribution of earthquakes in Table 1.

地震のメカニズムと関連させて研究する事へも道が開かれる。

3. 震源球解の決定プログラムと処理手順

メカニズムの決定のプロセスは以下の2段階である。第1段階は前田によって開発されたプログラム DETMEC 及び MECSEL(前田, 1988; Maeda, 1992)

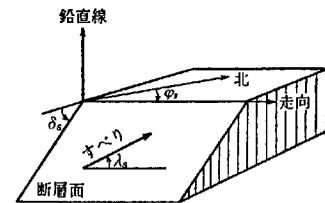


図 6.29 断層の表示
 ϕ_s : 走向, δ_s : 傾斜角, λ_s : すべり角。すべりの矢印は上盤(図には描かれていない)の下盤(図に描かれている)に対する相対運動の方向。

Fig. 4 Graphical explanations of fault motion. (After Utsu et al, 2001)

の射出角の部分に WIN システムの震源決定プログラム hypomh から出力される値を置きかえて解を求めた。一旦この結果を作図し $M3.5$ 以上については大阪管区気象台のメカニズム解ファイルから震源に近いほうから満遍なく、又節線付近は重点的に追加した。そして必要な場合には WIN システムにて三分分の初動波形を見直して修正値を与えた。又可能であれば前章で述べた震度計からの追加も行った。そして、それら追加した観測点について射出角の計算を行ない前処理の射出角の表に追加して同じく解を決定した。この際解が 2, 3 個にしぼられた場合図を見て選択が可能な様にもした。尚震源決定, 射出角の決定に用いた P 波速度構造は 5.5 km/s が厚さ 5 km ,

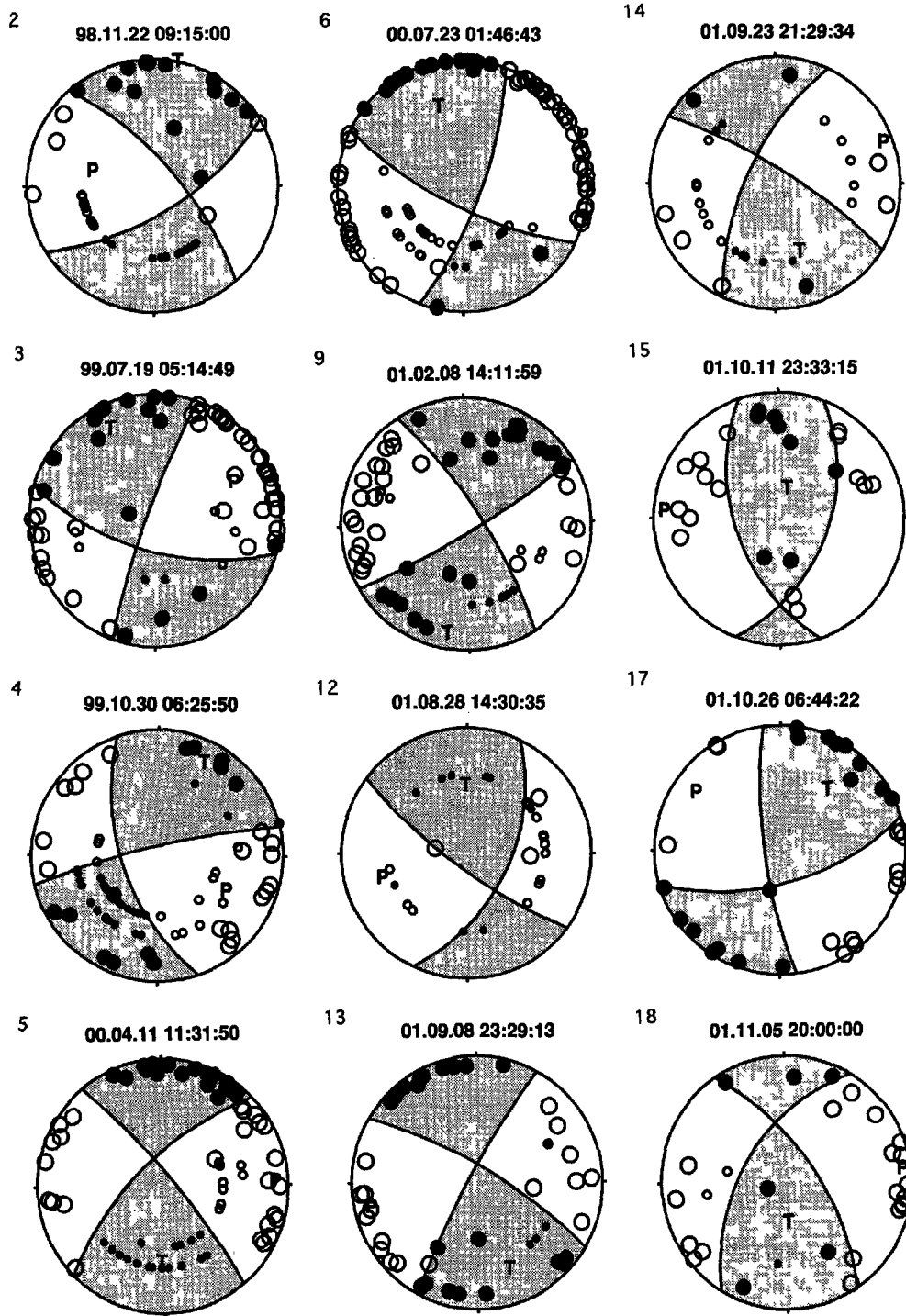


Fig. 5 Focal mechanism solutions of shallow earthquakes. First motions and nodal lines are projected on the upper hemisphere of Wulff's net.

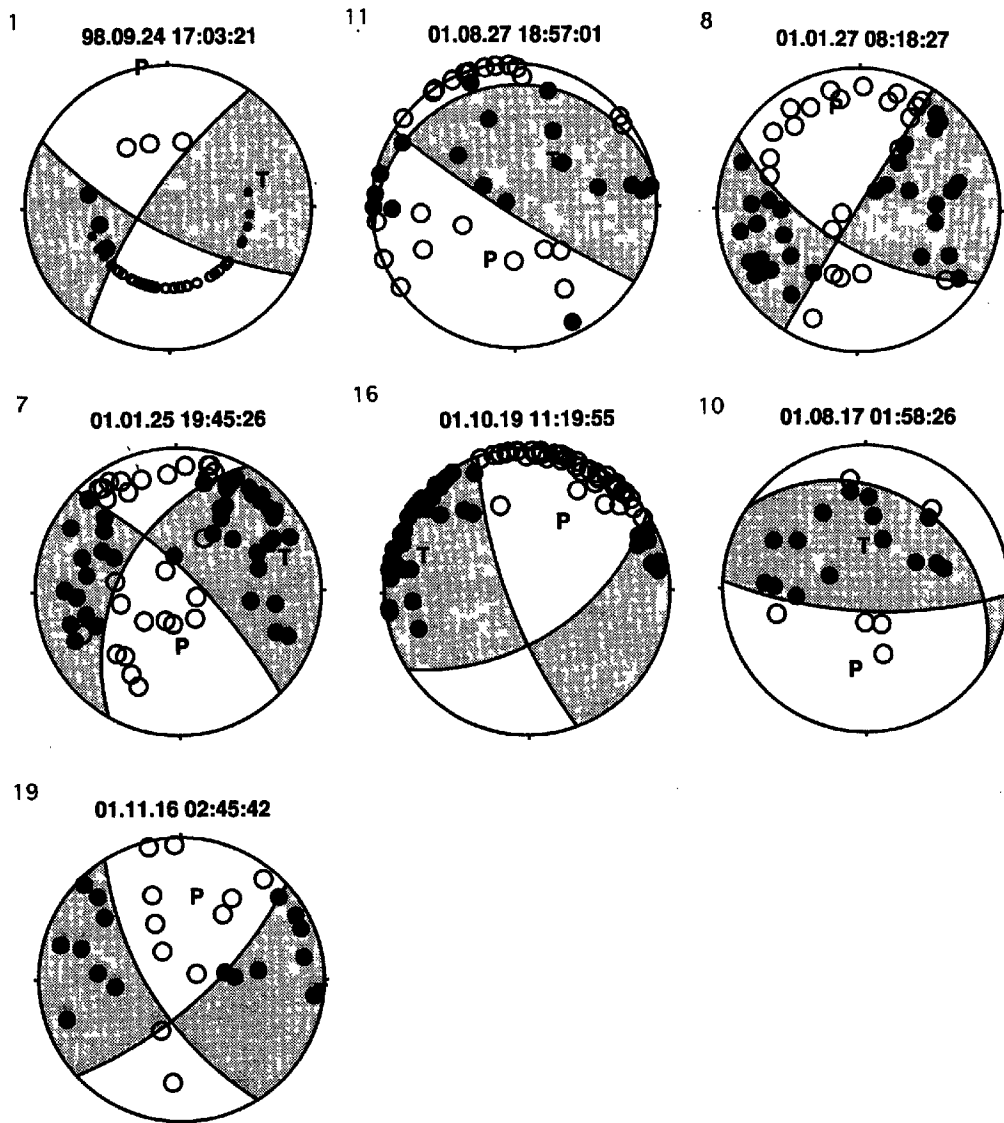


Fig. 6 Same as Fig. 5 of deeper earthquakes.

以下 6.1 km/s, 15 km, 6.7km/s, 15 km, モホ面を 35 km に置いてそれ以下を 7.8 km/s とする従来から徳島観測所で用いている成層構造である。

4. 解析の結果

今回結果が得られた地震は 19 個であった。その震源の分布を Fig. 3 に、又震度の要素と解の値を Table 1 に示した。W はマグニチュード 4 以上でピックアップし、その後はそれ以下の規模のものも対象とした。Fig. 1 では丸印は深さ 23 km より浅い上部地殻内の地震を、又四角印はそれより深い最上部マントルの地震を表わし前半、後半を白・黒で区別した。

四国東部では 1998 年 11 月の M4.1 以降 2002 年 3 月 11 日石井観測点直下の M4.3 まで M4 以上の地殻内地震が川之江沖の地震を 2 個と数えると 8 個発生しており、やや活発な状態が続いている。今回この内の 5 個 (No. 2, 3, 4, 6, 9) のメカニズムを決定した。尚 1999 年 10 月 30 日の川之江沖の地震は 6 秒前に発生した第 1 イベントについて解を求めたが分布図には主震も表示した。

Table 1 では地震の年月日時分秒と 34° N, 134° E を原点とした震央の XY 座標 (km) 及びマグニチュードの震源要素の他に主圧力軸 (P), 主張力軸 (T) の方位 (azimuth) を北から時計回りに、又水平面からの突込みの角 (plunge) は負の値の角度で示した。さらに二つの節面 N1, N2 の走向 (strike) と傾斜 (dip)

及び可能な断層のすべりの方向 (rake) を掲げた。尚断層のすべりの方向とは断層の走向 (水平) 方向から反時計回りに計った下盤側に対する上盤側の相対運動の方向の角度である。(Fig. 4; 宇津ら, 2001) N は用いた押し引きデータの数, 又 Sc (Score) はその解が満足する観測点の割合である。

次にそれぞれの地震毎にウルフネットの上半球に各点の押し (黒丸), 引き (白丸) と P 軸, T 軸が半球を切る点, 二つの節面を図示する。直達波の観測点は大きな丸, 屈折波の点は小さな丸とした。Fig. 5 は深さが 23 km より浅い上部地殻の地震の, 又 Fig. 6 には深さが 23 km より深い最上部マントルの地震の解を示した。

まず浅い方の地震について見ると No.15 と No.18 に逆断層的なものが見られる他, 東西方向の tectonic force から期待される典型的な横ずれ型の地震は少なく P 軸もばらついているが 12 個の平均値は東西より時計回りに +1° 以内に納まる。次に T 軸について見ると突込み角が 45° 以上の No.15 と No.18 を除いたものの南北方向からのばらつきの平均値は 1° 以内である。

一方 Fig. 6 の深い地震については主圧力軸の傾向は南北である。T 軸については No.10 や No.11 の様に傾きが 45° 以上のものが得られているがそれ以外では東西の傾向を示している。

5. まとめ

前報に続き新しい観測環境とデータ処理システムの下でのメカニズムの決定を行った。今回はプログラムの作成やデータの収集の手順の確立を中心にしたので十分な数の地震を処理する事は出来なかった。浅い地震, 深い地震ともに逆断層タイプとなるメカニズムを示すものが得られたが正断層タイプとなるものは無かった。No.11 では北側へ緩やかに傾斜するマントル地震の震源面を斜めに切る様な断層タイプが可能な解も得られた。

ここで前報 (許斐ら, 1992) の Fig. 8 及び Fig. 9 は通常の意味での断面への投影図とはなっていない。京都大学防災研究所 (1944a) の第 5 図及び第 6 図で読み替えるべきである事を指摘しておきたい。後者の結果では浅い地震の P 軸の方位の平均値は N92° E, 又深い地震のそれは N4° E であった。(京都大学防災研究所, 1994b)

ただ本研究と前報のいずれの場合の P 軸の方位も横ずれ型と見なされる地震について求めた Okano et al (1980), 岡野・木村 (1996) のものよりはばらつきが大きい。これは取り扱う地震の大きさの違いなど

が原因であると推定されるが, 今後さらに検討し地震のメカニズムの時間的・空間的特徴も明らかにする必要がある。

謝 辞

本研究は定常的観測の基礎の上に成り立っており, 観測及びデータ交換・収録・処理のネットワーク・システムの日常的な保守と験震作業に携わっておられる皆さん方にまず感謝を致します。又計測震度計の波形収集を中心においた共同研究の協定書の作成によって本研究を支援していただいた大阪管区気象台地震情報官横山博文氏と本研究所地震予知研究センター長梅田康弘教授に感謝します。

さらに徳島県震度観測システムの観測波形の利用に便宜を計って戴いた徳島県消防防災安全課と三菱電機株式会社の担当者の皆様に感謝します。

参考文献

- 宇津徳治・嶋悦三・吉井敏冠・山科健一郎編 (2001): 地震の辞典 [第 2 版], 朝倉書店, pp. 256
- 岡野健之助・木村昌三 (1996): 南海地震に関連する四国およびその周辺地域の地盤変動, 地震 2, 第 49 巻, pp. 361-374.
- 京都大学防災研究所 (1994a): 四国東部の地震活動, 地震予知連絡会報, 第 52 巻, pp. 426-432.
- 京都大学防災研究所 (1994b): 地震予知観測の結果 (3) 一近畿・中国・四国・九州・沖縄地域一, 地震予知連絡会地域部会報告, 第 6 巻, pp. 66-69.
- 許斐直・渡辺晃・伊藤潔・近藤和男 (1992): 四国東部および周辺地域における地震の発震機構, 京都大学防災研究所年報, 第 35 号 B-1, pp. 333-346.
- 前田直樹 (1988): 地震群の発震機構の決定法—1987 年 5 月 28 日の京都大阪府境に発生した地震 (M4.9) の余震について, 地震 2, 第 41 巻, 第 3 号, pp.323-333.
- Ichikawa, M. (1965): The mechanism of earthquakes occurring in central and southwestern Japan, and some related problems, Pap. Met. Geophys., 16, pp.104-156.
- Okano, K., Kimura, S. (1979): Seismicity characteristics in Shikoku in relation to the great Nankaido earthquakes, J. Phys. Earth, 27, pp. 373-381.
- Okano, K., Kimura, S., Konomi, T. and Nakamura, M. (1980): Focal mechanism in Shikoku, Japan

inferred from microearthquake observations,
Mem. Fac. Sci., Kochi Univ. Vol. 1, Ser. B pp.1-
13.
Maeda, N. (1992): A method of determining focal

mechanisms and quantifying the uncertainty of
the determined focal mechanisms for
microearthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.
82, No. 6, pp. 2410- 2429.

Focal Mechanism Solutions of Earthquakes in the Eastern Part of Shikoku and its Vicinity (2)

Tadashi KONOMI, Kazuo MATSUMURA, Toshiro ARAI*, Koji MATSUNAMI, Hiroshi KATAO
and Kazuo KONDO

*Meteorological Agency of Japan, Osaka

Synopsis

We determined focal mechanism solutions of 19 earthquakes in the eastern part of Shikoku and its vicinity from P first motions. After Kobe earthquake, very advantageous environment for the determination of focal mechanism solutions was prepared. We picked up the data of P first motion not only from high sensitivity seismograms but also from ones of instrumental seismic intensity systems. The results support the orthogonal tectonic stress systems generating earthquakes in the upper crust and the upper most mantle.

Keywords: tectonic stress; WIN system, seismograph for instrumental seismic intensity, Hi- net