

## 四国西部地域における四国電力(株)微小地震観測ネット

池田 倫治 (株)四国総合研究所 地質 研究 部  
松崎 伸一 (株)四電技術コンサルタント  
高橋 利昌 四国電力(株) 建設部 土木課  
大野 裕記 四国電力(株) 建設部 土木課

### *Shikoku Electric Power Co., Inc. microearthquake observation network system in the western parts of Shikoku*

*The seismic telemetry network system of the Shikoku Electric Power Co., Inc. is located around the Sea of Iyo-nada, western parts of Shikoku. These observation points are Ikata, Oku, Ozu and Mikame around the Sea of Iyo-nada. This observation system has been starting observation of the seismic activity around this range from 1997.12. But this observation system is small to investigate the seismic activity in this range, and we use also the seismic data of the Earthquake Reserch Institute, University of Tokyo (ERI). The seismic activity in the western parts of Shikoku is characterized by two different focal depth ranges. One of the range is in the upper crust and another one in the uppermost mantle to about 50km depth. The Philippin Sea plate descend under Kyushu nearly to the N75° W direction. Crustal earthquakes occur in a depth range from a few to about 20km. The remarkable crustal earthquakes in this range are the earthquake swarm which occurred in the Sea of Uwa-Kai. And nothing is seismic activity along the Median Tectonic Line (MTL) during this period.*

*In order to understand the seismic activity around this range, it is, in future, essential to continuously observe the seismic activity in and around the Sea of Iyo-nada.*

### 1. はじめに

内陸直下型地震の発生環境は複雑な深部地殻構造に規制されている。またその発生環境はプレートの運動などに伴い変化していると考えられる。四国西部地域はプレート収束域に位置し、またプレートの沈み込み角度が大きく屈曲するという複雑な構造を示す地域である (Shiono, 1977)。さらに、本地域には第一級の活断層系である中央構造線活断層系が東西に通る、多大な被害をもたらす直下型地震の発生が予想される。したがって本地域の地震発生メカニズムを解明するために、深部物理科学的情報を収集することは不可欠である。微小地震データからは、震源域の非常に多くの情報を得ることができ、従来から地震の発生機構を解明する上で欠くことのない情報として利用されている (岡野ほか, 1983 ; 中村ほか, 1997など)。

四国電力(株)は、四国西部地域 (特に伊予灘周辺地域) の地震の発生機構を検討するため、微小地震の発生状況をリアルタイムに観測する微小地震観測システムを1997年12月に構築し運用している。今回、観測システムの概要および観測状況について報告す

ると共に、観測後1年のデータを用いて四国西部地域の地震活動について検討を行ったので併せて報告する。

### 2. 観測システムの概要

四電観測システムは、4地点の観測局と情報処理装置とで構成されている (図-1)。観測局は四国西部地域に4地点 (伊方, 大久, 三瓶, 大洲) 設置されている (図-2, 表-1)。観測局で得られたデータは四国電力(株)建設部土木課に設置したEWSにISDN回線を通して毎日回収され、自動で震源決定 (震源位置, マグニチュード等) される。震源決定には東大地震研による『地震波形観測支援プログラムWIN』を用いている。今回、震源決定に用いた地震波速度構造には、片山・安中 (1981) を採用している (図-3)。また本調査地域で最も適当な地震波速度構造について検討中であり、詳細については3.3で述べる。

各観測局における地震計は地下の岩盤中に設置されており、地上の観測小屋に収録装置が設置されている。収録装置内には、無停電電源装置, GPS時刻

四国西部地域における四国電力(株)微小地震観測ネット

校正装置，増幅装置および通信装置などを格納している。地震計の仕様および収録装置の設定は表-2の通りである。ここで，伊方観測局は発電所内に設置しているためかノイズレベルが高く，トリガーレベルを他の観測局より高く設定している。

なお，伊予灘海域全域にわたった広範囲かつ精密な地震活動を把握する事を目的に，四電観測局に伊予灘海域に観測システムを組む東大地震研広島地震観測所（東大広島）からのデータを加え，伊予灘海域を囲むように観測ネットを組んでいる（図-2）。

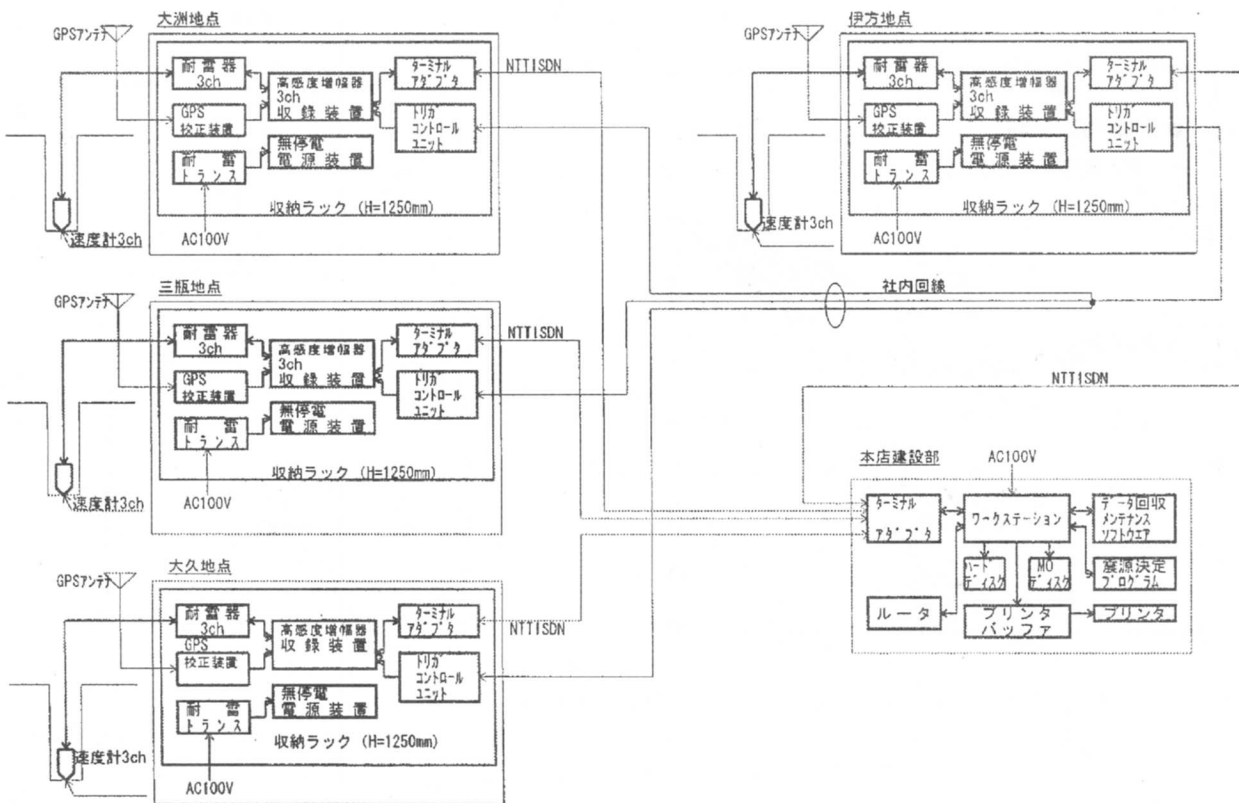


図-1 微小地震観測システム図

表-1 観測局所在地

観測局	所在地および設置岩盤
大洲観測局	愛媛県大洲市春賀甲1168 大洲変電所内 地下40.8m三波川帯黒色片岩中に設置
伊方観測局	愛媛県西宇和郡伊方町コチワキ3-40-3 伊方発電所内 地下20.6m三波川帯緑色片岩中に設置
大久観測局	愛媛県西宇和郡瀬戸町大久字カムイ944 大久変電所内 地下24.0m三波川帯緑色片岩中に設置
三瓶観測局	愛媛県西宇和郡三瓶町朝立字門口7-50-2 三瓶支線19号鉄塔敷地内 地下51.8m秩父帯砂岩粘板岩互層中に設置

表-2 地震計の仕様および収録装置設定状況

仕様	振動方式	電磁フィードバック方式
	検出成分	速度3成分
仕様	固有周波数	1 Hz
	測定周波数	1 ~ 30 Hz
	感度	1 V / 2 kine
	測定最大値	20 kine
	重量	約20 kg
	寸法	φ80 × L920 mm
メーカー	株勝島製作所	
設定状況	測定範囲	6.25 μ kine ~ 200 m kine
	サンプリング	100 Hz
	トリガーレベル	伊方: 300 μ kine (現在は一時的に150 μ kine) 大久, 三瓶, 大洲: 100 μ kine
	データ遅延時間	20 秒

3. 観測状況および観測精度

3. 1 自動震源決定と手動震源決定

震源決定は自動で行う方法と手動で行う方法の2方法で行っている。

(1) 自動震源決定

四国電力観測システムには、四電単独、大学単

独および四電・大学統合の3つのデータセットが存在し、このそれぞれに対し自動震源決定を行っている(表-3)。観測状況を見てみると、四電単独データの波形ファイル数が1~3月の間非常に多くなっているが、これは伊方観測局における誤起動の可能性が高いことがわかっている。した

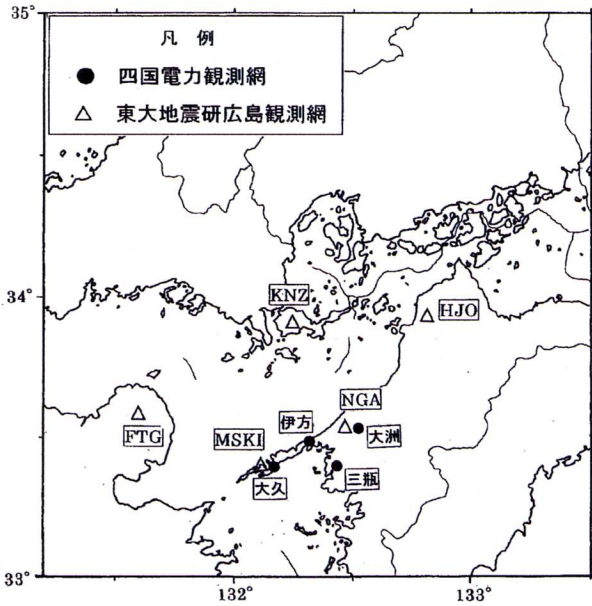


図-2 微小地震観測局位置図

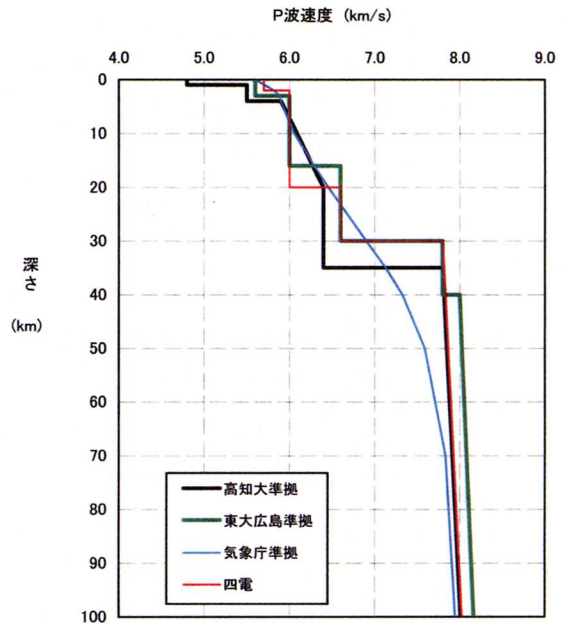


図-3 四国西部地域の地震波速度構造

高知大学準拠(木村・岡野,1994 a, bを一部改変), 東大広島準拠(中村ほか(1997), 浅野ほか(1986)を一部改変), 気象庁準拠(浜田(1984)を一部改変), 四電(片山・安中(1981))

表-3 震源決定状況 (1997.12~1998.12)

	波形ファイル数			自動震源決定数			手動震源決定数
	四電	大学	統合	四電	大学	統合	統合
12月	39	-	-	1	-	-	-
1月	1845	-	-	11	-	-	-
2月	973	315	1264	21	38	58	-
3月	1058	2177	3061	23	246	242	-
4月	269	1,298	1,477	32	238	239	208
5月	95	923	934	35	245	249	202
6月	124	864	910	41	228	232	191
7月	154	1,111	1,185	30	286	287	249
8月	132	1,125	1,177	26	254	256	226
9月	224	1,013	1,158	30	230	229	195
10月	344	902	1,171	37	243	241	212
11月	124	837	894	26	191	187	164
12月	122	1,002	1,091	41	220	217	192
4~12月計	1,588	9,075	9,997	298	2,135	2,137	1,839
[1月当たり]	[176]	[1,008]	[1,111]	[33]	[237]	[237]	[204]

波形ファイル: 1つの地震において各地の観測点で観測した波形を時刻をそろえて1つにまとめたファイル

がって、起動が安定した4月以降のデータについて平均を取り、震源決定状況を比較した。波形ファイル数(すなわち起動回数)では、四電単独が約180個/月に対し、大学および四電・大学統合データで約1000個/月である。また、震源決定数については、四電単独が約30個/月に対し、大学および四電・大学統合データが約240個/月である。四電・大学統合データでは、四電単独観測データの約8倍の観測データを扱うことができる(表-3)。この理由としては、大学観測網の観測アレイが広いことが主たる原因と考えられるが、その他に、

- ① 四電観測システムはトリガ方式であるのに対し、大学は連続観測であること、
  - ② 大学の方がノイズレベルが低い(四電:  $20 \sim 50 \mu \text{ kine}$ , 大学:  $5 \sim 30 \mu \text{ kine}$ ) こと、
  - ③ 大学の方がADコンバータの分解能が高い(四電: 16bit, 大学:  $20 \sim 22 \text{ bit}$ ) こと、
- などが考えられる。

四電観測局および東大広島の観測局の分布が、ほぼ伊予灘を取り囲んでいることから、四電・大学統合データを使用することで、伊予灘海域の広範囲において精度の良い震源分布が得られると考えられる。

② 手動震源決定

上述したように微小地震データの震源決定はまず自動で行うようにしている。その結果、誤った震源決定が行われることもあり、全く異なる震源情報を得る可能性が高い。したがって、四国西部地域の地震活動を正確に評価するため、1998年4月~12月の微小地震データに対し手動震源決定を実施した。手動震源決定は、四電・大学統合データについて行い、自動震源決定を1次フィルターと考え、1次フィルターを通ったもの(すなわち自動震源決定で震源が定まったもの)に対してのみ行った。

手動震源決定を行った結果、手動震源決定対象ファイル237個(1ヶ月平均)(表-3)のうち、手動でも震源が決まったものは204個、遠地地震あるいは記録が不十分なため震源を求めなかったのは33個であった。

詳細は後述するが、震源が定まった地震のうち伊方発電所周辺の地殻内地震の割合は約8%であり、この地殻内地震のほとんどは宇和海の群発性地震である。

震源分布およびデータの比較等に用いたデータは、全て1998年4月~12月の間のデータである。

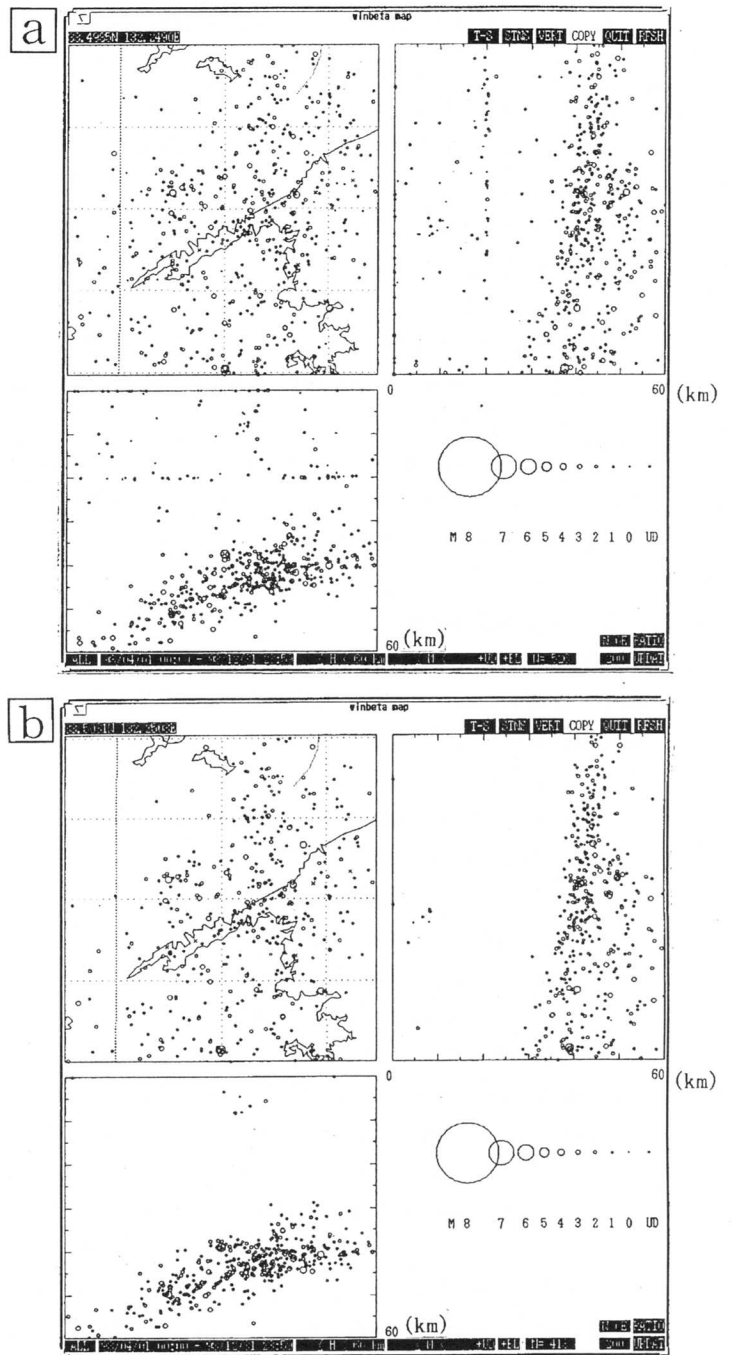


図-4 震源分布図(伊方発電所周辺)  
(期間: 98/4/1~98/12/31)

- a) 統合自動(震源決定個数: 526個)
- b) 統合手動(震源決定個数: 413個)

③ 自動震源決定と手動震源決定の比較

震源分布図を用いて自動震源決定結果と手動震源決定結果を比較する。上記期間の伊予灘周辺地域の震源分布を見てみると、自動震源決定では526個、手動震源決定では413個の震源がプロットされる(図-4 a, b)。両図を比較すれば手動震源



決定によって深さ30km程度以浅の地殻内地震がかなり消えていることがわかる(図-4b)。地震波形等を詳細に分析した結果、これらは遠地震の表面波やS波で起動した記録であり、自動震源決定では表面波やS波の立ち上がりを誤ってP波立ち上がりと判断したため生じた誤値と考えられる。自動震源決定において深さ20kmの付近に震源が分布するのは、このような立ち上がりを誤った記録で震源決定の収束計算がうまくいかず、初期設定値(深さ20km)のまま震源が決まってしまったことを示すものである。

したがって、全体的傾向等进行分析の上では自動震源決定は有効であるものの、詳細な検討をする上では手動震源決定が必要である。

### 3. 2 震源決定の精度

今回手動で求めた震源と、気象庁発表の震源とを簡単に比較してみたところ、観測網の中心から半径50km程度の範囲では、平面的な誤差はほぼ1~2km以内であると思われる。しかしながら、深さ方向においては、観測網の中心から離れると気象庁の震源決定よりも3~5km程度浅く求まるものもある。これには震源決定に用いた地震波速度構造が影響している可能性が考えられるため、後述するように気象庁等の地震波速度構造を用いて震源の詳細な比較を行った。

一方、さらに観測網から離れた地域の震源状況に関しては、概ねネットの倍の距離を離れると深さ方向の精度が落ちる傾向が震源分布図より読みとれる。例えば、日向灘方面のフィリピン海プレートの地震について、その南北断面図を見てみると、北緯33~32度付近で地震発生帯が急激に浅くなっている(図-5)。石原・吉田(1992)によると、日向灘の地震は伊予灘の地震よりも震源深さは浅くかつ発生帯も広く、深さ15~60kmで発生しているとされているものの、この付近の震源の深さが急激に浅くなっている傾向は、この付近の震源決定精度が低いことを示している可能性が高い。

### 3. 3 伊予灘周辺地域における地震波速度構造の検討

#### (1) 研究機関で適用されている地震波速度構造

伊予灘周辺の地震波速度構造は、以下に示すような様々な機関から提唱されている(図-3)。

- ① 気象庁：浜田(1984)
- ② 東京大学広島地震観測所：中村ほか(1997)、浅野ほか(1986)
- ③ 高知大学地震観測所：木村・岡野(1994a,b)

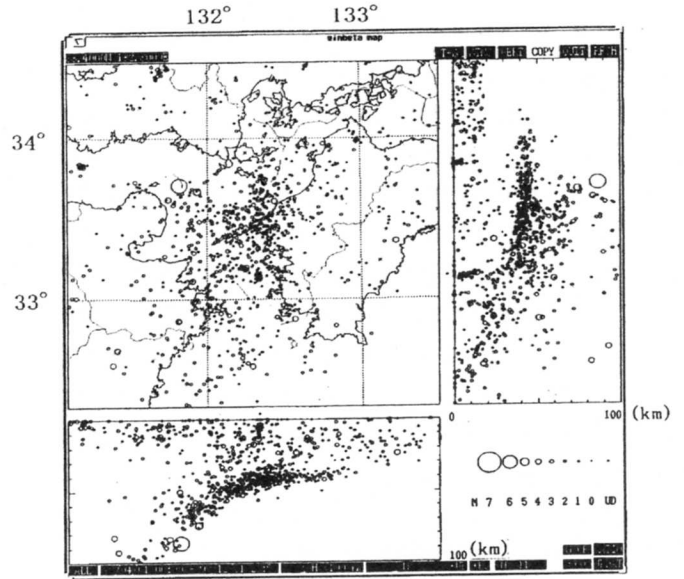


図-5 震源分布図(統合手動)

(震源決定個数：1173個)

(期間：98/4/1~98/12/31)

#### ④ 四国電力：片山・安中(1981)

今回、これらの地震波速度構造を用いて震源分布を求めて比較し、本観測システムに適している地震波速度構造の検討を行った。

検討には、1998年4~12月の地震の中で、統合手動震源決定により震源が定まったものを用い、地震波速度構造をかえて震源の再計算を行った。

#### (2) 震源決定結果の比較

##### (a) 概観

各研究機関の地震波速度構造による震源分布図を図-6a~6dに示す。

フィリピン海プレートの沈み込みの形状等、全体的な傾向としては4つの地震波速度構造とも大差はない。しかしながら細部に着目すると、高知大および気象庁による結果は他の2つの結果と比較して、プレートの沈み込みに伴う地震の集中度が高いようである。特に、東西方向鉛直断面図において、深さ30km付近のモホ面上端周辺が、高知大・気象庁の結果では比較的明瞭である。

また、震源決定数に着目してみると、四電および東大広島については700個程度であるのに対し、高知大では731個、気象庁では786個の震源が求まっている。これは後述するように、四電および東大広島の地震波速度構造では宇和海の震源が浅めに求まる傾向がある。そして震源のいくつかは空中に浮いてしまった結果、自動震源決定では解が求まらず、震源決定数が減じたものと考えられる。

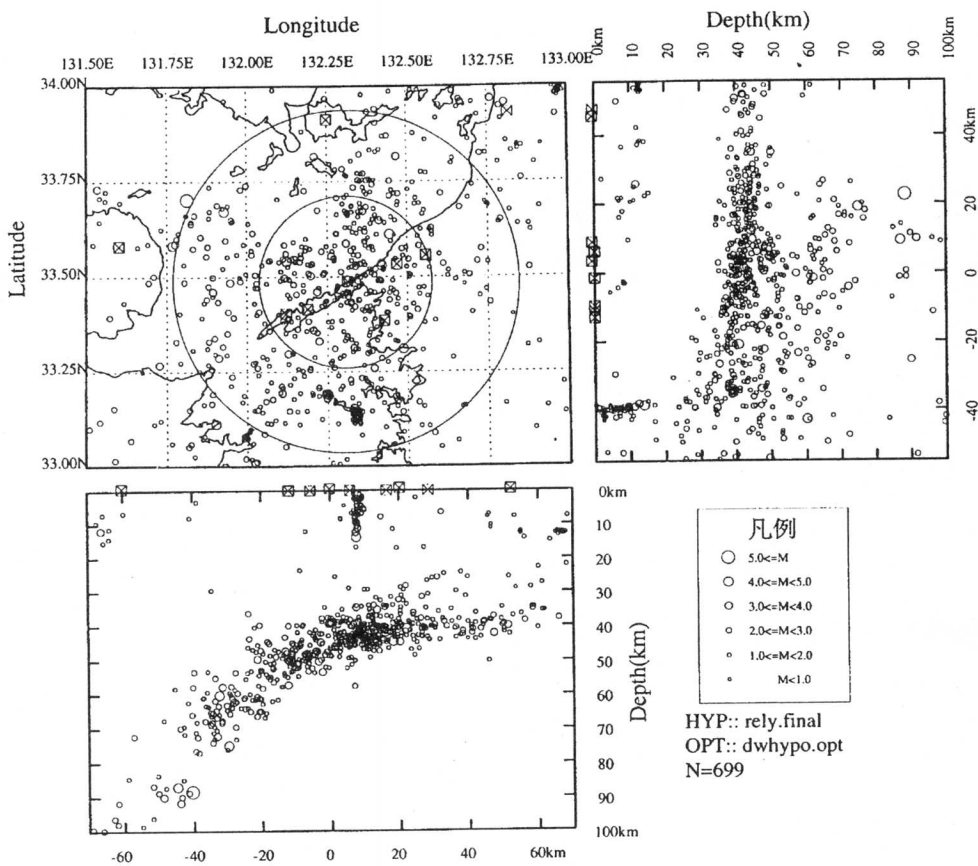


図-6a 震源分布図  
(地震波速度構造：四電)

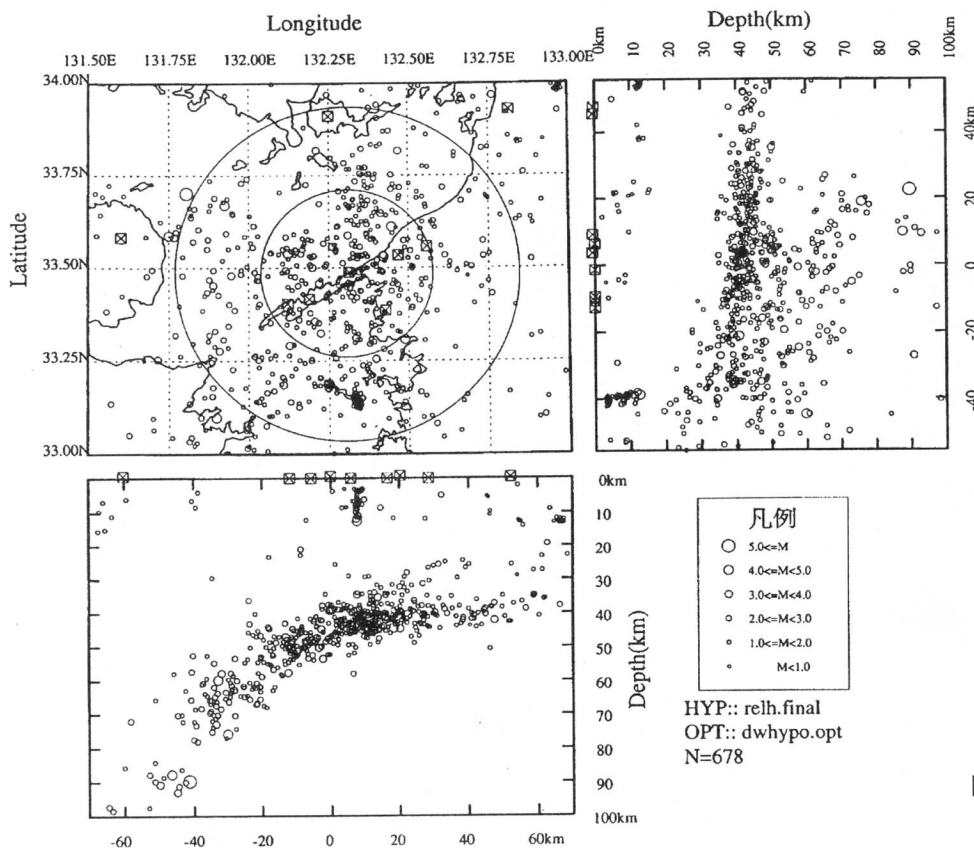


図-6b 震源分布図  
(地震波速度構造：東大広島)

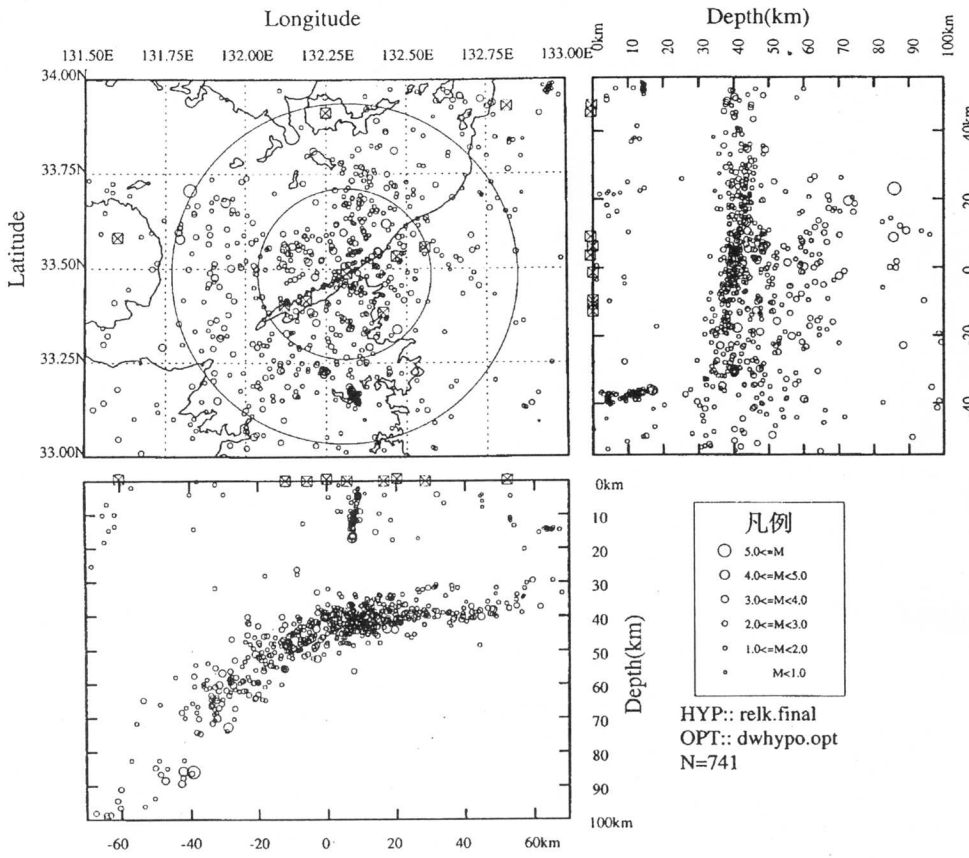


図-6c 震源分布図  
(地震波速度構造：高知大)

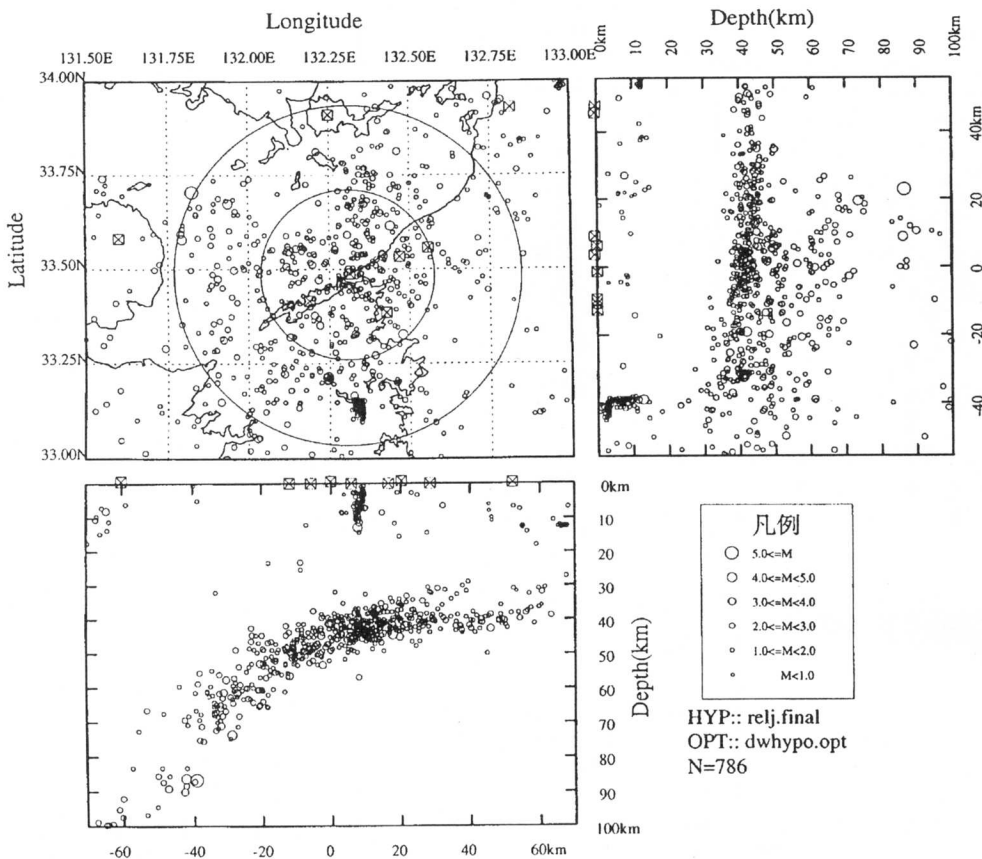


図-6d 震源分布図  
(地震波速度構造：気象庁)

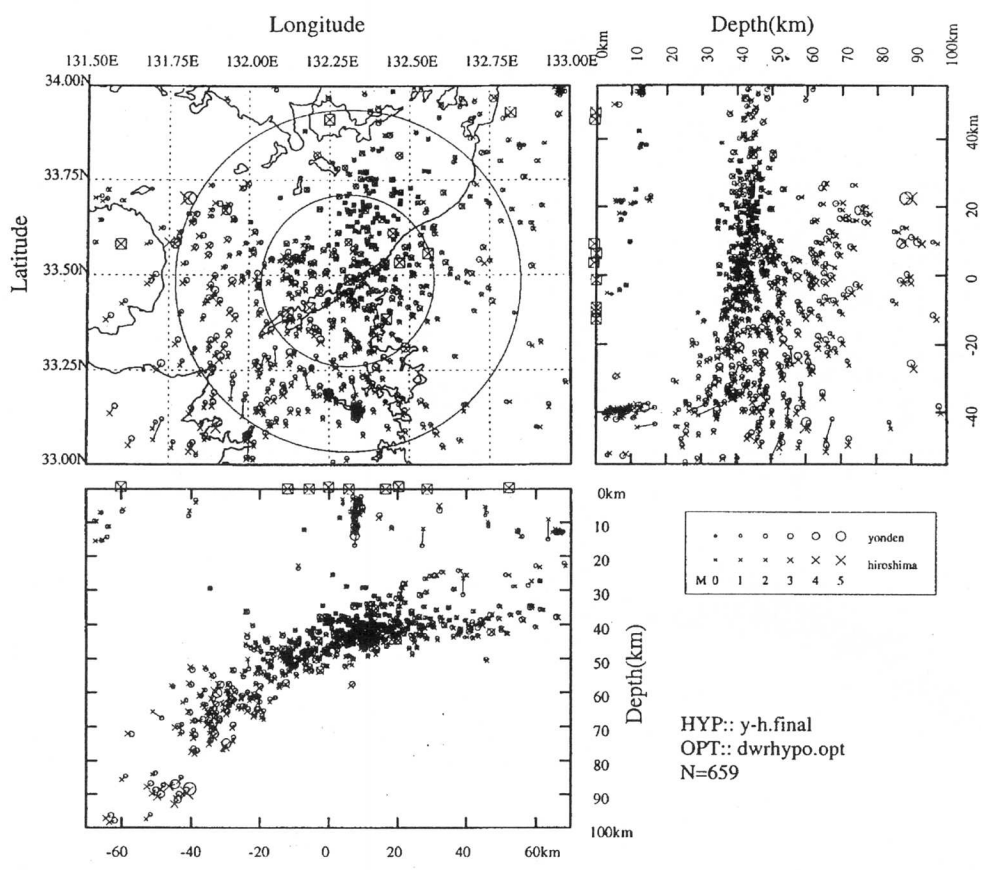


図-7a 震源決定結果の比較  
(四電-東大広島)

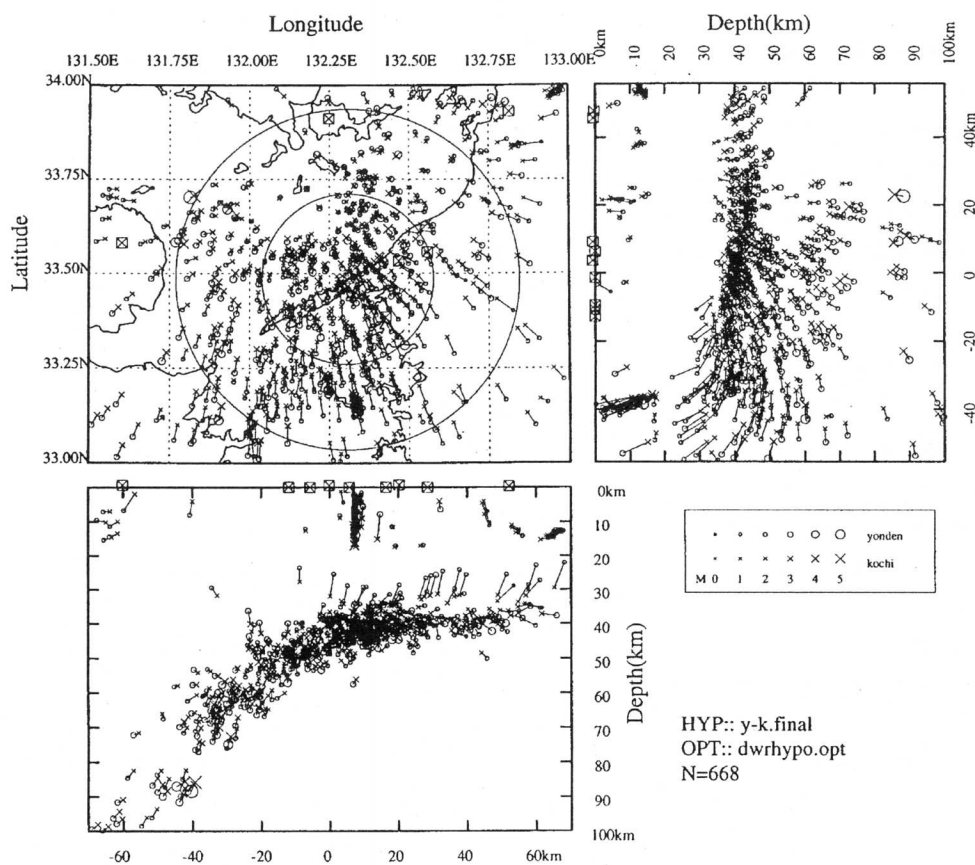


図-7b 震源決定結果の比較  
(四電-高知大)



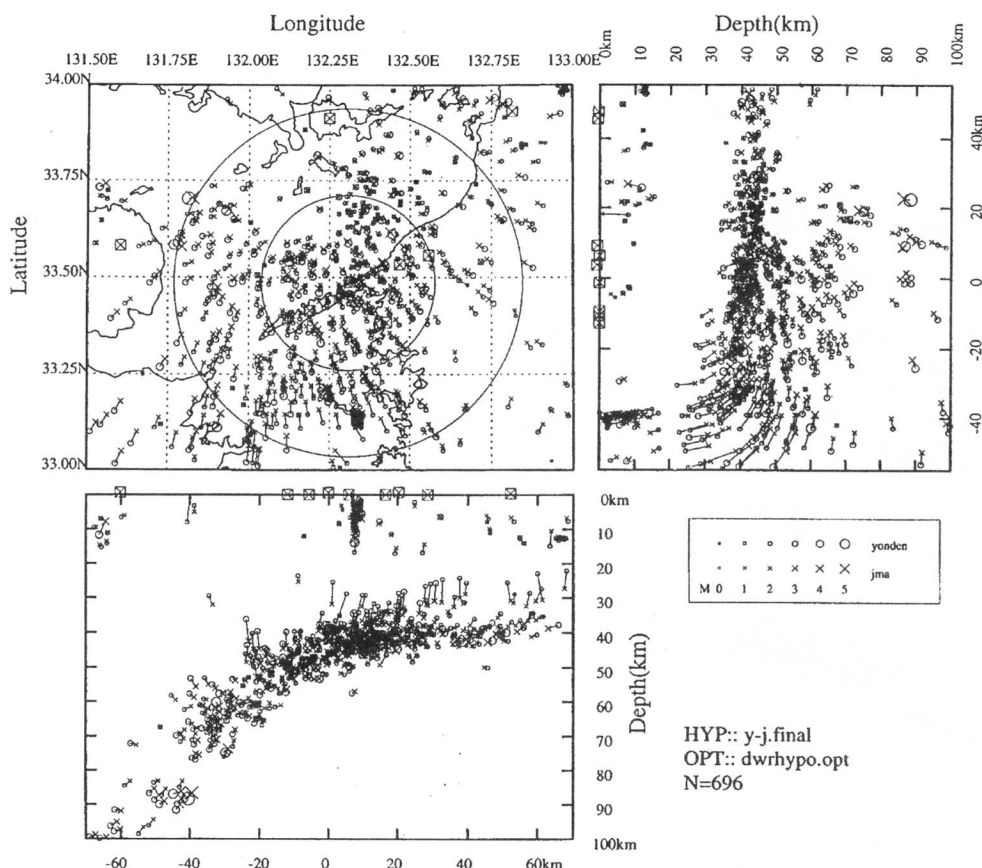


図-7c 震源決定結果の比較 (四電-気象庁)

(b) 詳細

四電の地震波速度構造による震源決定結果と各機関の地震波速度構造を用いた震源決定結果とでどの程度誤差があるかを比較したのが、図7a~7cである。図中に示す○が四電地震波速度構造による震源決定結果であり、×が他機関の地震波速度構造による震源決定結果である。そして両者を線で結んである。

まず、本観測ネットで最も着目する地域である伊予灘では、平面的には3者とも四電の震源決定結果と差異はない。これは観測点が伊予灘を囲むように設定されているため、水平方向の拘束度が高いためであると考えられる。一方深さ方向では、東大広島は四電とほぼ等しく、高知大の震源決定結果は四電よりも1~2 km程度浅めに求まっている。一方、気象庁の震源決定結果は四電の震源決定結果よりも若干(1 km程度)深めに求まっている。

次にもう少し広い地域について見てみると、東大広島は四電とほぼ等しい震源決定結果を与えている。高知大については、観測ネットの外になると誤差が大きくなり、深さ40~50kmの宇

和海のマントル地震では深さ方向の誤差は小さいが、水平方向の誤差は大きく、四電よりも5 km程度北に震源が求まっている(図-7b)。さらに特徴的なのは、深さ30km付近の宇和海のマントル地震が、四電よりも5~8 km深く求まっていることである。また、宇和海の地殻内地震も四電よりも深めに震源が求まっている。(図-7b)。気象庁は高知大と同様の傾向があるが、気象庁と四電との誤差は高知大と四電との誤差よりもやや小さい(図-7c)。

(3) 本観測地域の地震波速度構造

本観測ネットでは、伊予灘であれば4機関の地震波速度構造いずれにおいても、得られる結果に大差なく震源が求まる。しかしながら、やや広範囲でみた場合、四電および東大広島は地震波速度構造では宇和海の震源が浅めに求まる傾向がある。震源が安定して求まる(震源が空中に浮かず、かつ震源決定数が多い)のは高知大および気象庁の地震波速度構造である。しかしながら、気象庁の地震波速度構造は全国一律に震源決定を行うために定められており、モホ面を設定していない(図-3)。現実には四国北西部においては、図-5

にも現れるように深さ30~40km付近にモホ面が存在する。したがって、気象庁の地震波速度構造は現実に忠実なモデルとは言えない。つまり、現時点において伊予灘周辺の比較的広範囲の震源決定を行うには、高知大の地震波速度構造が最も適していると考えられる。今後は高知大の地震波速度構造をベースに理論走時との残差が小さくなるような地震波速度構造を検討する予定である。

#### 4. 四国西部地域の地震活動

1998年4月~12月の期間において四国西部周辺地域に定まった震源は1,173個である(図-5)。震源分布によると、北緯34度以南ではフィリピン海プレートの沈み込みに伴う地震が多く発生しており、一方北緯34度以北では地殻内地震が多く発生している(図-5)。

##### 4. 1 フィリピン海プレートの形状

伊方発電所周辺におけるフィリピン海プレートの沈み込みの形状を把握するため、伊方発電所を中心に軸を回転させてみた。これによると、NS軸を15°西に回転させた時が最も震源が集中することが明らかになった(図-8)。この結果は、三浦ほか(1991)の報告とも整合する。したがって、伊方発電所周辺においてフィリピン海プレートは、N75°Wの方向に沈み込んでいると判断される。

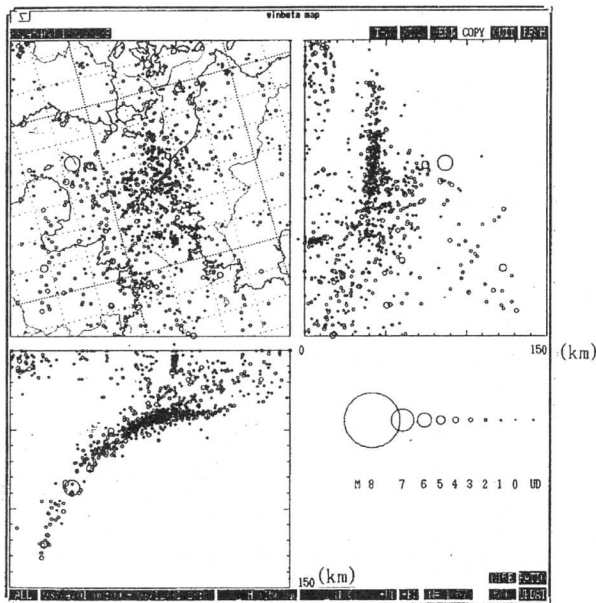


図-8 フィリピン海プレートの形状 (N75°W)  
(震源決定個数: 1057個)  
(期間: 98/4/1~98/12/31)

さらに、深い部分では、深さ50~70km付近より急激に折れ曲がって沈み込むプレートの形状がわかる。また、プレートの先端は深さ約130kmまで、北端は北緯約34度付近まで確認できる(図-8)。

なお、前記期間において最大の地震は、1998.5.23 4:49の周防灘の地震である。これはフィリピン海プレートの沈み込みに伴う地震であり、その諸元を表-4に示す。

表-4 周防灘の地震および宇和海の地震の諸元

地震	緒元	統合手動	気象庁
1998.5.23 4:49 周防灘の地震	北緯	33° 42.2'	33° 41.8'
	東経	132° 48.9'	131° 50.9'
	深度	88km	85km
	マグニチュード(M)	6.3	5.3
1998.7.27 17:54 宇和海の地震	北緯	33° 9.1'	33° 7.8'
	東経	132° 19.9'	132° 19.7'
	深度	14km	14km
	マグニチュード(M)	4.1	3.9

##### 4. 2 特徴的な地震

本調査地域の地震発生メカニズムを今後詳細に検討する上で参考となるような特徴的な地震が、前記観測期間に幾らか得られた。

###### (1) 宇和海の群発性地震

宇和島沖の日振島近海に地震活動が集中した地域が見られる(図-5, 8)。この地震活動の時系列変化を見てみると(図-9)、4月18日に最初の地殻内地震が発生しており(気象庁震源データによると1994年末から活動が続いている)、その後7~8月にかけて活動が活発化している。地殻内の活動において最大の地震は、7月27日17:54に発生しており、その諸元は表-4の通りである。なお、本地震のメカニズム解および一連の活動の震源分布から、東西圧縮場の左横ずれ断層による地震と考えられ、本地域の地震発生メカニズムを検討する上で非常に興味深い。さらに、余震と本震との波形を比較すれば両者は非常に似ており、これらの事実は地震動を評価する際に用いられる波形合成法(経験的グリーン関数法)の有益性を示すものと思われる。

また、群発性地震活動が活発になる以前の4月11日にフィリピン海プレートの沈み込みに伴う地

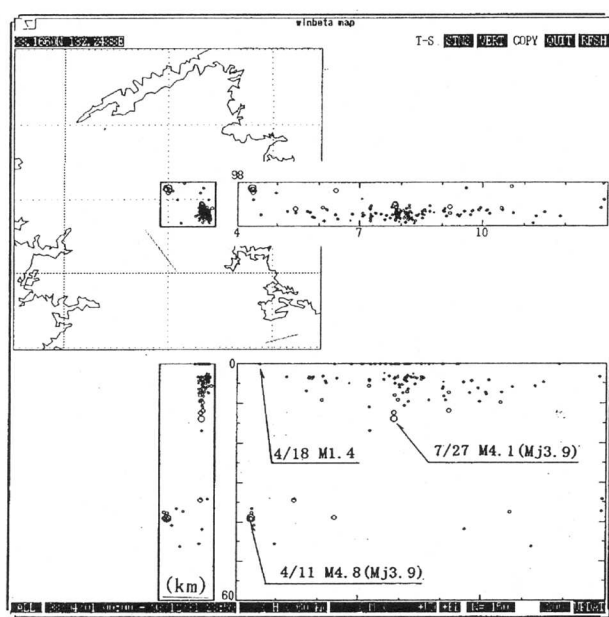


図-9 宇和海の群発地震の時系列変化  
(震源決定個数：150個)

震が発生している。この地震が、その後の群発性地震に何らかの影響を与えた可能性も考えられる(図-8)。

② 佐田岬半島付近の地震

佐田岬半島付近においては地殻内地震の発生は非常に少ない(図-4b)。しかしながら、深さ10km以浅にM1クラスの地震が複数個発生しており(図-4b)、今後も注意して監視する必要がある。

なお、中央構造線活断層系が佐田岬半島の北側約10kmに半島にほぼ平行に存在するが、観測データによればその活動を示唆するような地震は観測されていない(図-4b)。

5. まとめ

前記結果は以下の様にまとめられる。

- ① 四電観測データに東大地震研のデータを加えることで、四国西部地域の広域場に対し精密な震源分布を得ることが出来る。また、自動震源決定結果に加え手動震源決定を行うことで、観測精度が大きく向上する。
- ② 四国西部地域に適用する地震波速度構造としては、現時点では高知大学の地震波速度構造が最も適当と考えられる。今後は、高知大学の地震波速度構造をベースとして調査地域に最も適当な地震波速度構造を構築していく予定である。
- ③ 四国西部地域では、北緯34度以南ではフィリ

ピン海プレートの沈み込みに伴う地震が多く発生している。一方、北緯34度以北では地殻内地震が多く発生している。また、フィリピン海プレートはほぼN75°Wの方向で九州下に沈み込んでいる。

- ④ 特徴的な地殻内地震として、宇和海に群発性の地震が確認され、当地域の地震発生メカニズムを検討する上で興味深いデータが得られた。
- ⑤ 佐田岬半島付近では、地殻内地震の発生は非常に少ない。
- ⑥ 中央構造線活断層系の活動を示唆するような地震活動は現時点では観察されない。

6. おわりに

四国電力微小地震観測システムは、四国西部地域における地震発生メカニズムを評価するため構築・運用している。これに先立つ1975年～1986年にかけて四国電力(株)は伊方地域に3点の微小地震観測局を設置し、約11年間の微小地震観測を実施した。その結果の一部は、片山・安中(1981)によって報告されており、主に震源分布から伊予灘および豊後水道付近の地震活動について検討が行われている。しかし、今回はさらに観測網を拡大すると共に大学データとの統合を図るなど、四国西部地域における伊予灘地域の地震活動という観点で総合的な観測を進めている。さらには、解析についても地震波速度構造の検討を行い、震源メカニズム解等の解析を導入するなど、従来にない解析を行っており、本観測地域における地震発生メカニズムを詳細に評価する様々なデータが今後得られるものと考えている。これらについては、まとまり次第報告することとしたい。

なお、四国西部地域には第一級の活断層系である中央構造線活断層系が東西に通る、平野部において多大な被害をもたらす直下型地震の発生が予想される。四国西部地域における中央構造線活断層系に対しての地質学的検討は、陸域において数多く行われており、その活動性が徐々に評価されている(岡田, 1992など)。さらに木村・岡野(1992)は、四国中央部および東部地域において地震発生状況と中央構造線活断層系についての関係について主に震源分布から検討している。しかし伊予灘などの海域については、地質学的見地からの活断層に対する調査が行いにくい事もあり、その活動性評価に対するデータが不足していると言える。したがって、本地域での微小地震観測データは中央構造線活断層系の活動性評価にも多大なデータを提供するものと考えられ

る。

また、本地域はフィリピン海プレートの収束部であり、かつ沈み込むプレートが屈曲するという非常に複雑な構造場を形成している。このような複雑な構造場に対する地震発生メカニズムを評価するには、長期的な観測を実施し精密なデータを蓄積する事が必要となる。また、さらに本観測データを基に地質学的データ、地球物理学的データおよび現在画期的な成果を挙げつつある地震波トモグラフィー解析(趙ほか, 1999など)などのデータを総合的に検討することが重要である。

#### 【謝 辞】

本研究を進めるにあたり、四国電力(株)武山正人取締役には、有益な議論をしていただいた。また、東京大学地震研究所には、観測データの利用に対し御配慮いただいた。解析ソフトの導入およびその後の解析作業を進めるにあたり、(株)勝島製作所の稲谷栄己社長には多くの助言をいただいた。以上の方々に深謝し、ここに記して謝辞とさせていただきます。

#### 【参考文献】

- 浅野周三・三浦勝美・井上義弘・三浦礼子・石桁征夫・吉井俊尅 (1986) : 中国地方およびその周辺の最近の地震活動—白木微小地震観測所テレメータ観測網による—, 地震, 第2輯, 第39巻, p. 229-240.
- 浜田信生 (1984) : 近地地震用走時表の再検討, 気象研究所報告, 第35巻, p.109-167.
- 石原和彦・吉田明夫 (1992) : 九州下フィリピン海スラブの形状と地震活動, 地震, 第2輯, 第45巻, p.45-51.
- 片山幾夫・安中 正 (1981) : 伊予灘および豊後水道付近の地震活動, 地震, 第2輯, 第34巻, p. 413-431.
- 木村昌三・岡野健之助 (1992) : 四国の中央構造線およびその周辺地域についての地震学的考察, 地質学論集, No.40, p.187-195.
- 木村昌三・岡野健之助 (1994a) : 四国中・西部におけるマントル地震の震源分布の特徴, 地震, 第2輯, 第47巻, p.11-19.
- 木村昌三・岡野健之助 (1994b) : 四国におけるマントル地震の震源分布から推定される昭和南海地震の震源領域, 高知大学学術研究報告, 第43巻, p.79-89.
- 三浦勝美・佃 為成・三浦禮子・井上義弘・浅野周三 (1991) : 瀬戸内海西部とその周辺地域の稍深発地震面, 地震研究所彙報, 66, p.553-570.
- 中村正夫・渡辺 晃・許斐 直・木村昌三・三浦勝美 (1997) : 西南日本外帯における地殻下地震の活動特性, 京大防災研年報, No.40, B-1, p. 1-20.
- 岡田篤正 (1992) : 中央構造線活断層系の活動区の分割試案, 地質学論集, No.40, p.15-30.
- 岡野健之助・木村昌三・許斐 直 (1983) : 四国地方の震源分布と地質構造との関連, 地震, 第2輯, 第36巻, p.23-29.
- Shiono, K. (1977) : Focal mechanism of major earthquakes in Southwest Japan and their tectonic significance. J. Phys. Earth, 25, p. 1-26.
- 趙大鵬・越智富美子・浅森浩一 (1999) : 西南日本の深部構造と地震・火山との関係, 月刊地球, Vol.21, No. 4, p.205-211.