

徳島観測所の新旧観測システムの震源決定能力の比較

許斐 直・近藤 和男

COMPARISON BETWEEN EPICENTER DETERMINATION CAPABILITIES OF THE OLD AND NEW OBSERVATION SYSTEMS AT TOKUSHIMA OBSERVATORY

By *Tadashi KONOMI* and *Kazuo KONDOU*

Synopsis

We started observation of microearthquakes by smoked drum recorders in December 1974. The observation points were distributed in Tokushima prefecture and their spans were about 30 km.

In May 1985, a tetemetry observation system was constructed based on the Earthquake Prediction Program IV. This system is a constituent of the Nankai Network that intends to survey the seismicity of a broader region, namely, the Median Tectonic Line and the Nankai Trough regions. The observation points of this system, including those of other Universities whose data are sent to Tokushima Observatory by the data exchange system, are distributed widely in the eastern part of Shikoku and Kii Channel.

We have obtained a similar seismicity map for the narrow area of the old network, though the intervals of the new network are extended considerably. Judging from Gutenberg and Richter's relation, it is verified that we can fully obtain earthquakes with magnitude more than 2.4, occurring in and near the observation network.

1. はじめに

徳島観測所は1972年に京都大学理学部の附属施設として設立され、1974年12月より、徳島県内4ヶ所の観測点で微小地震の観測を開始した。1985年5月にはテレメーターシステムによる自動処理が始まり、観測点も、東京大学、高知大学との共同事業である南海観測網の一部として、機能するように変更された。今回は新旧観測方式によって決められた微小地震の震源について、その決定能力の差を検討した。

2. 観測方式

2.1 委託観測

1974年当時、紀伊半島から四国にかけての西南日本外帯の地域には、東京大学地震研究所和歌山微小地震観測所が紀伊半島に、又高知大学文理学部高知地震観測所が、四国中央部に観測網を展開していた¹⁾。従って観測点配置の決定にあたっては、観測網として独自の震源決定能力を持ち、且つ、二つの既設観測

Table 1. Location of seismograph stations with smoked drum recorder system

Code	Station	Lat.	Log.	H	Sensitivity (μ kine/mm)
ISI	Ishii	34° 3' 26.4"	134° 27' 29.0"	27m	180
KMN	Kaminaka	33° 47' 11.4"	134° 18' 20.7"	280m	70
WJK	Wajiki	33° 51' 35.2"	134° 30' 52.8"	100m	70
KCY	Kuchiyama	33° 59' 49.1"	134° 8' 32.1"	260m	70

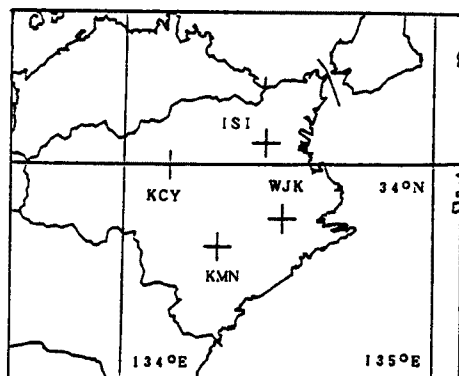


Fig. 1. Location map of observation stations of the old network.

網の空白を埋めるような、Fig. 1の配置を選んだ。北側の2点、石井、口山は三波川結晶片岩帯に、又南側の2点、鷺敷、上那賀は、ほぼ仏像構造線上に位置する²⁾。観測点相互の距離は20 kmから30 kmがとられている。名称、位置、記録感度をTable 1に示す。観測点の名称は、後述のテレメーター点を含めて基本的には町名をとっているが、口山だけは気象庁の穴吹観測点と区別するため、字名を用いている。観測方式はFig. 2に示すように換振器を据えた横穴式坑道（本所石井60 m、上那賀10 m、口山・鷺敷5 mの奥行きを持つ）より100 m程度ケーブルを延長し、石井は庁舎内にて、又衛星観測点はプレハブ観測室にて煤書きドラム式レコーダーに記録したものである。地震計は固有周期1秒で衛星点が上下動一成分、本所石井は東西動・南北動を加えた三成分である。レコーダーの送り速度は毎秒4 mmで、水晶時計の発振信号を増幅してモーターを駆動させ、送り速度の安定化をはかった。刻時信号は時分秒信号とNHKの時報が地震波形と重ねて記録されている。

2.2 テレメーター観測

第4次地震予知計画では、微小地震の全国情報網の整備が進められたが、徳島観測所は和歌山・高知・白木の各観測所と協力して、中央構造線から南海トラフを覆う地域を対象とした観測網を構築することになった。

昭和57年度上那賀観測点のテレメーター化と本所石井の集中記録装置の導入が図られ、又次年度には新設点として塩江・池田の二観測点テレメーター化された。さらに昭和58年度には、和歌山微小地震

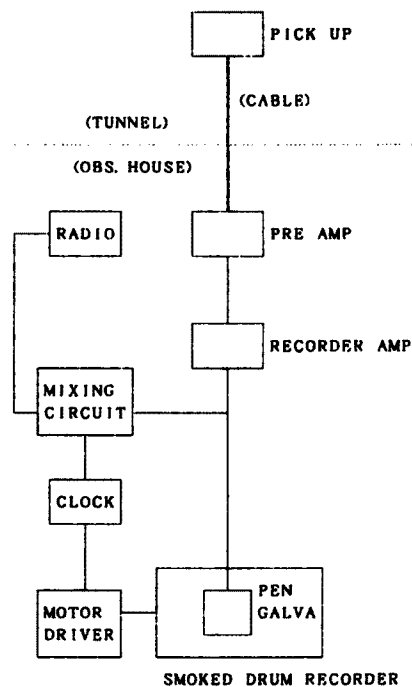


Fig. 2. System block diagram of observation which is entrusted changing recorder sheet to a person who lives near observation house.

観測所及び高知地震観測所との間の一次データ交換回線が設けられると同時に、コンピューターが導入されて地震の判別から読み取り、震源要素の決定までをリアルタイムで行う自動処理のシステムが稼働を開始した。

この一次データ交換回線は南海観測網のセンターである和歌山微小地震観測所へ、白木微小地震観測所の三観測点のデータを中継する機能を合わせて待っている。Fig. 3に観測点の配置を又Table 2にその名称と位置を示す。徳島観測所の観測域は中央構造線をはさむ4点を中心に紀伊水道から四国東部に拡大したが、従来の委託点の驚敷・口山はそれぞれ1984年6月、1986年3月に廃止したので、観測網内の小さな地震は検出できなくなった。Fig. 4は集中記録装置の機器概略図であるが、停電の際には発電機によるバックアップがなされる。又観測点の送量装置はバッテリーにて停電対策がなされている。システムの中心は4架よりなる受量装置とデータ交換装置であり、1はモデム架、2は受信論理盤・遅延盤が、3には時計盤・判別盤・監視盤が実装され、4はデータ交換架で送受信論理盤・判別盤から構成される。

記録は自局4点の上下動を煤書きドラムに、又、各三成分12chを14chのアナログデータレコーダー(ADR)1に収録し、データ交換の成分はADR2に収めている。2巻のテープになったこれらの記録はノイズや不要な地盤を除いて、後述するSMEQの処理を行ない易い様に1巻のテープに編集し保存している。地震の判別は自局4点と交換データの内、明神山・日ノ岬・粟生・室戸・土居の計10点に対しなされADRとPIOに起動信号が出力される。

次にデータ処理のシステムについて述べる。Fig. 5はハードウェアの構成図である。PIOから取り込まれた15点・33chの波形データは主に、集中記録装置からの判別情報により地震と判断されるとDISKに収録され、一定の条件を備えた地震に対しては直ちに自動読み取り・震源決定がなされる。又この波形データはグラ

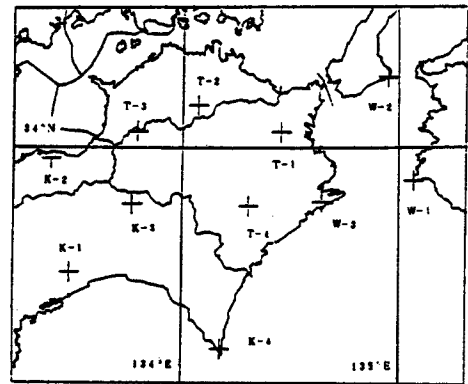


Fig. 3. Distribution of telemetry observation stations. Station numbers of T-1~4, W-1~3 and K-1~4 belong to the Tokushima, the Wakayama and the Kochi observatories respectively.

Table 2. List of observation points of telemetry network

OBS-NO	OBS-NAME	Lat. N	Long. N	H. m
T-1	ISI <i>Ishii</i>	34° 3' 26.4"	134° 27' 29.0"	27
2	SON <i>Shionoe</i>	34° 9' 25.0"	134° 4' 13.2"	286
3	IKD <i>Ikeda</i>	34° 3' 34.8"	133° 47' 34.2"	340
4	KMN <i>Kaminaka</i>	33° 47' 11.4"	134° 18' 20.7"	280
W-1	HNM <i>Hinomisaki</i>	33° 52' 55.8"	135° 3' 59.6"	189
2	OZK <i>Oishizaki</i>	34° 15' 52.3"	134° 57' 9.1"	112
3	MJY <i>Myojinyama</i>	33° 48' 5.0"	134° 38' 47.7"	380
4	KZG <i>Kozagawa</i>	33° 32' 12.9"	135° 45' 42.1"	20
K-1	AKR <i>Asakura</i>	33° 32' 37.6"	133° 29' 19.3"	0
2	DOI <i>Doi</i>	33° 57' 39.1"	133° 23' 51.0"	120
3	AOU <i>Aou</i>	33° 47' 32.3"	133° 46' 14.3"	470
4	MUT <i>Muroto</i>	33° 15' 41.8"	134° 10' 36.3"	140
S-1	HJO <i>Hojo</i>	33° 55' 47.5"	132° 48' 55.1"	360
2	NGA <i>Nagahama</i>	33° 32' 0.0"	132° 28' 6.6"	750
3	KNZ <i>Kanouzan</i>	33° 54' 42.7"	132° 14' 55.1"	680

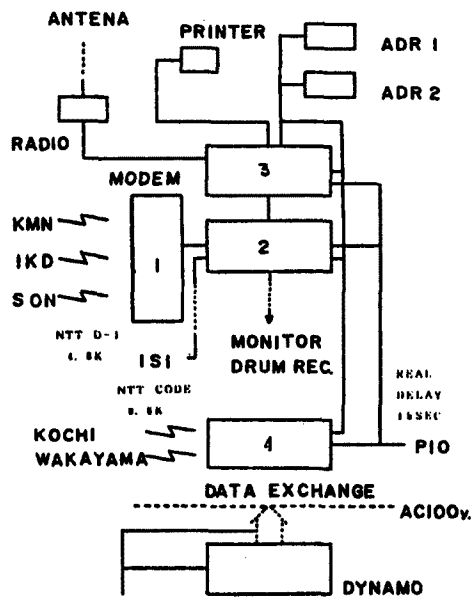


Fig. 4. Block diagram of centralized recording system. Equipment number 1 is the shelf of modems for three lines. Number 2 is electronic boards for receiving and delaying signal. Number 3 is watching system which includes quartz clock and the facilities for detection of seismic waves. Number 4 is the data exchange system.

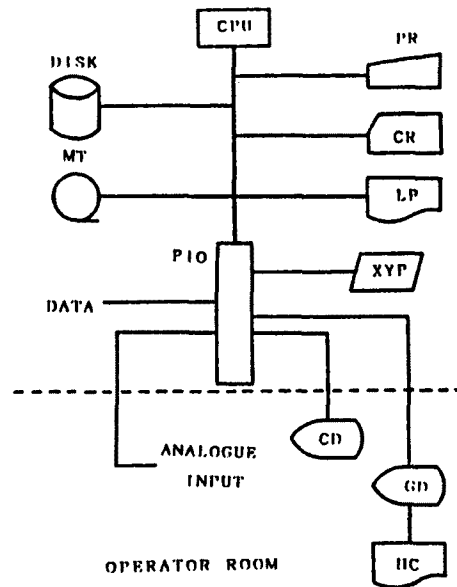


Fig. 5. Block diagram of computer system. C. D. (Character display) is used for the console.

フィックディスプレイ装置に自動読み取りの位置に印の付いた形で表示しながら手動観震することも出来る。

Fig. 6にそれらを含めた機能図を示す。プログラム TRIGIN は地震判別・波形収録及びリアルタイム処理系の運用を制御する機能を持つ。例えば、1日1回起動して自動処理 (ATEQ) の結果を MT と LP に出力するプログラム DAILY の機能は、一定期間まとめて出力するよう運用制御している。又波形ファイルが上書きされる前に MT に退避させるコマンドもこれに属する。上に述べた手動観震はプログラム MAEQ で、又データレコーダーに収めたアナログ記録はプログラム SMEQ で各々処理される。プログラム CNSTIN は観測点の欠測を指示したり、波形の MT への退避を自動的に行うように切替えたりする他、自動読み取りや震源決定にかかわるさまざまな定数値が収められたファイルを持っていて、これを CD のキーボードより必要に応じて変更できるようになっている。ここに述べたデータ処理システムは SMEQ の機能を除けば、旧・京都大学理学部地震予知観測地域センターのシステムと同等である³⁾。

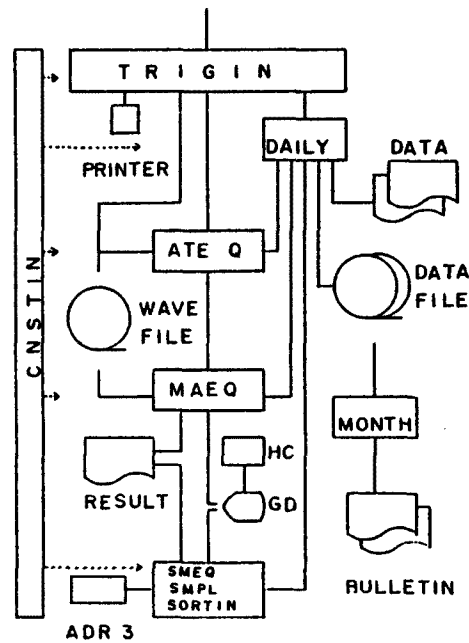


Fig. 6. Flow chart of data processing system.

3. 震源分図図

3.1 MAEQによる震源

1988年9月から1990年11月までに手動観震によって読み取りがなされ、震源の求められた約430個の震央分布図を Fig. 7 に、東西・南北の深さ分布図を Fig. 8 に示す。

当初観震作業はディスプレイ上に表示した波形に付けられた ATEQ の読み取り位置の可否を判断し明らかな誤りを読み直し、又判別信号が無く自動読取りの無い観測点を読み足すと言う形で行っていた。しかし、ATEQ 内部で機能している自動読取法⁴⁾で求められている位置と MAEQ で波形表示した際付けられている ATEQ の読み取り位置が最大で 17 msec 程ずれると言う問題が解決しないので、1988年に処理システムが一旦破壊され復旧した際、すべての要素にカーソルを当てて読み取る方法に変更した。これはそれ以降の結果である。

読み取りの基準は徳島の観測点のどこかで、PS時間が約6～7秒の地震を煤書きのモニター記録の初動の明瞭度を見ながら選ぶ。そしてよりの観測点の波形を逐一表示し読み取って、P-PSグラフ上で勾配が0.7程度の直線からポイントが大きくはずれるものは見直しをする。震源決定は4点以上のP時刻が得られたものについてなされる。仮定されたP波速度構造は5.5 km/sが厚さ5 km, 6.1 km/sが15 km, 6.7 km/sが15 km, それ以下は7.8 km/sの成層構造である。マグニチュードの決定式は以下のとおりである。

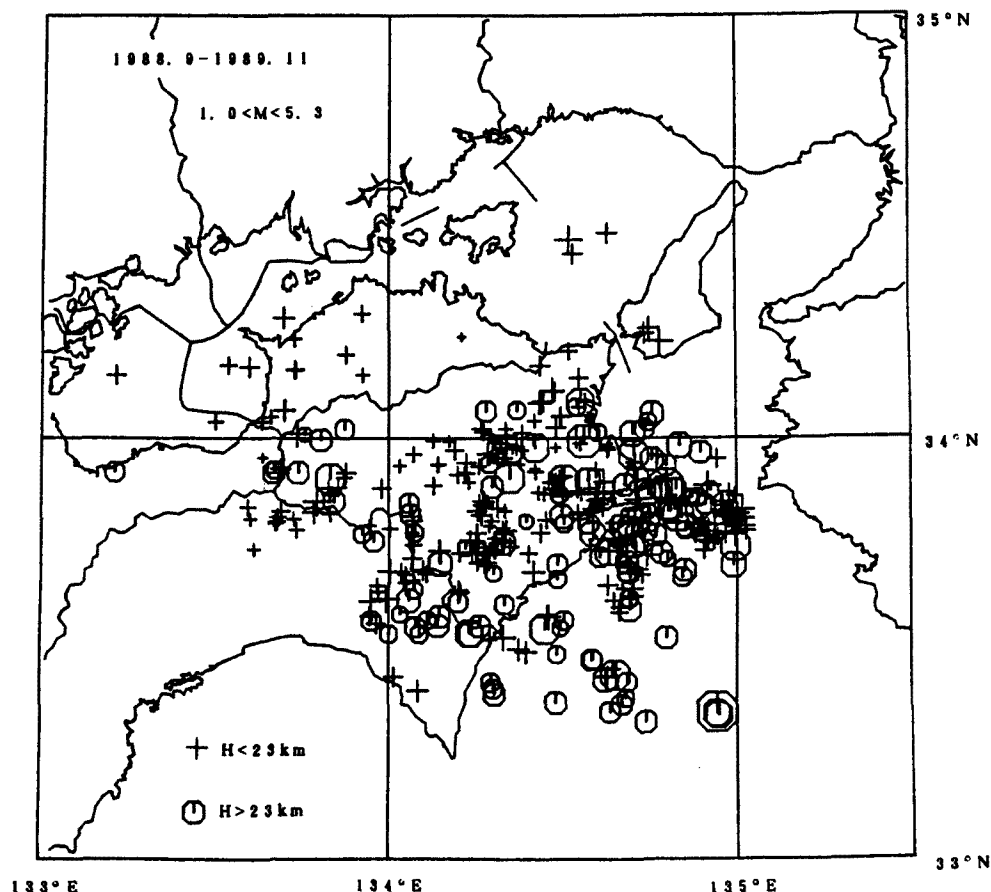


Fig. 7. Distribution of epicenters by telemetric network. The depths of hypocenters are denoted by the different symbols.

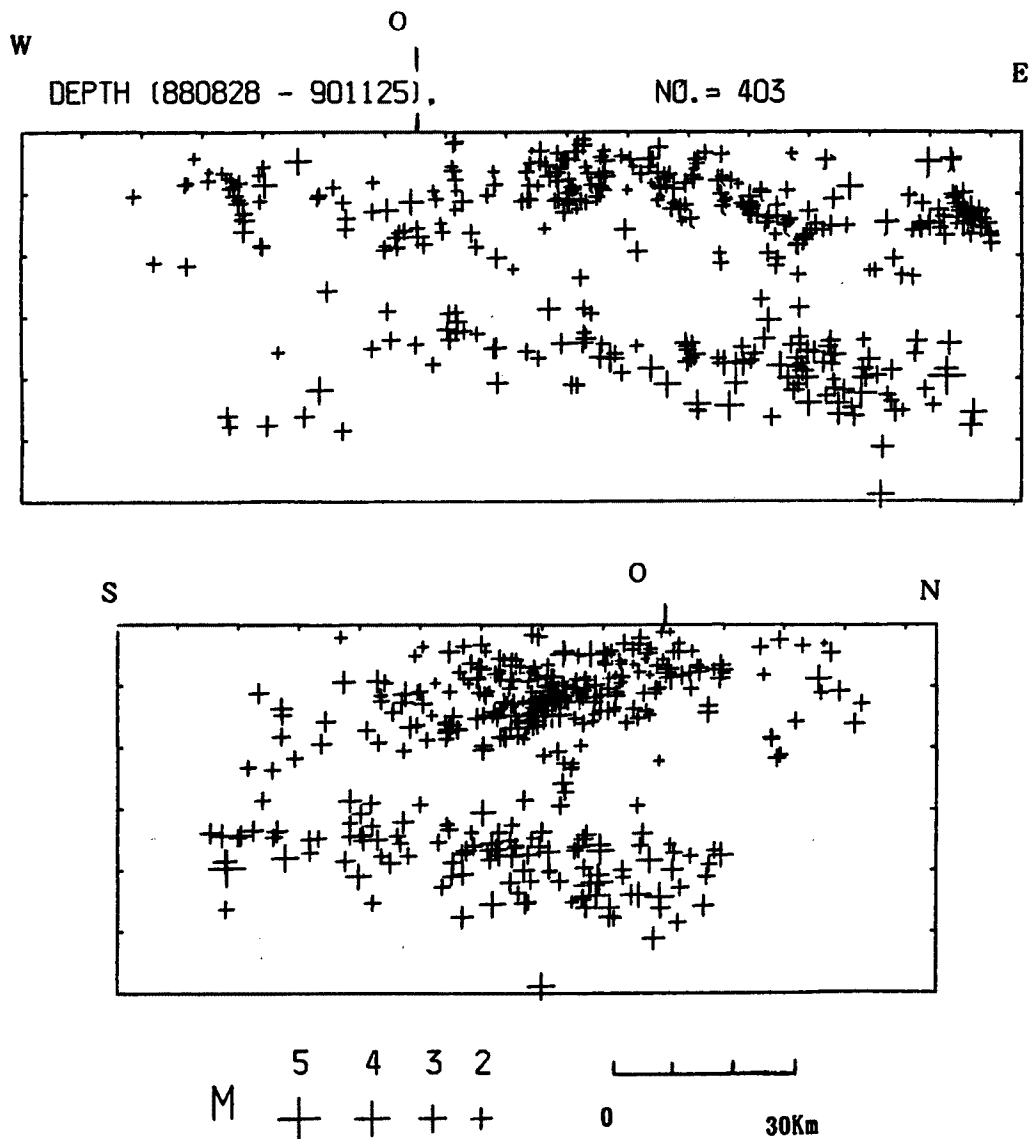


Fig. 8. Depth distribution of earthquakes determined by the new system. The symbol "O" shows the cross point of 134° E and 34° N lines.

$$M = 1.18 \log A + 2.04 \log r - 4.48$$

但し A は最大振幅 (Kine)

r は震源距離 (km)

震央分布図では深さによって記号を分けて示した。即ちすでに知られているように⁵⁾、この地域では深さ約 23 km で地殻内地震とマントル内地震が分けられるのでこれを境にとった。得られた震央分布は徳島県中・東部から紀伊水道にかけて大変混み合っているので、深さ別に二つのシンボルに分けて表示したものが Fig. 9 及び Fig. 10 である。Fig. 9 においては東経 135 度の線上の震央の塊 (日ノ岬地震群) が顕著である。又香川県東部・讃岐山脈沿いの地域・淡路島の南の海の部分・高知県東部のところどころに地震活動のレベルが低く震央の求められていない領域がある。Fig. 10 では明神山観測点を中心に紀伊水道へ向かう部分で多くの震源が求められている。

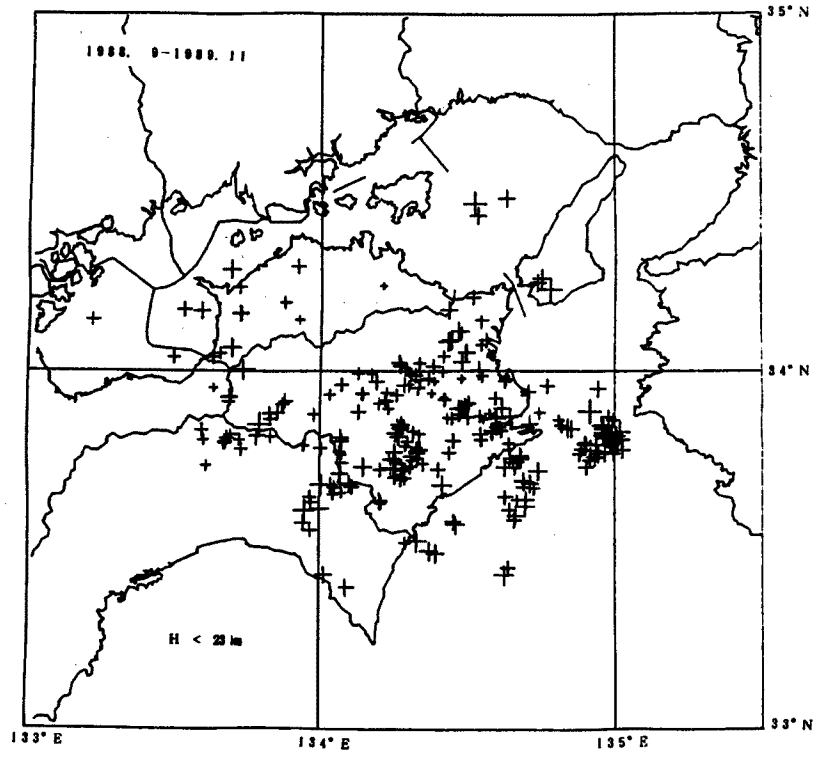


Fig. 9. Epicentral distribution of shallower earthquakes ($H < 23 \text{ km}$).

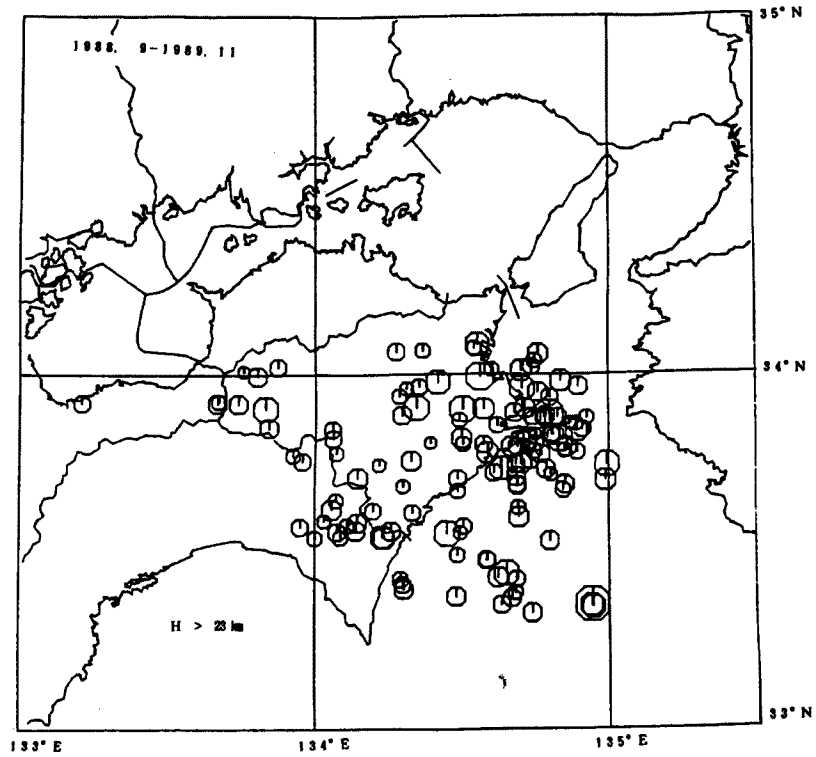


Fig. 10. Epicentral distribution of deeper earthquakes ($H \geq 23 \text{ km}$).

3.2 煤書きドラム観測による結果

Fig. 11 及び Fig. 12 に旧観測網の4観測点で明瞭な記録の得られた地震について、深さ20 kmで分けた震央分布図を示す。これは三内至四観測点で読み取って震源を求めたものの中から、いずれかの点でPS時間が6秒以内のものを選び出したものであり、期間は1974年12月から1978年12月までで、合わせて約380個がプロットされている。震源決定は(S-P)~P図の勾配を0.73として各点の平均値から発震時刻を求め、P波速度を5.8 km/sの様な値として求めた。マグニチュードはF-P時間より求めた。Fig. 11では上那賀観測点の近傍に震源の集中が見られる。Fig. 12では一様な速度構造による震源なので実際には地殻内の地震が多少含まれているが、前項で記した徳島県東南部から紀伊水道に至る領域に多くの震源が求められている。

4. 震源決定能力の比較

観測網が広がったため、当然の事ながら、求められる震源の分布する範囲は徳島県の中・東部から四国東部とその沿岸地域に拡大した。一方、観測点の間隔は20~30 kmスパンから30~70 kmスパンに伸びたため、浅発地震に見られる微細な分布をとらえることは出来なくなった。ちなみに Fig. 11, Fig. 12 にプロットされている地震のマグニチュードの範囲は0.8から4.6である。しかしながら Fig. 9と11及び Fig. 10と12を比較して分かるように共通する部分の分布の様相は良く似ている。これらの点を地震の規

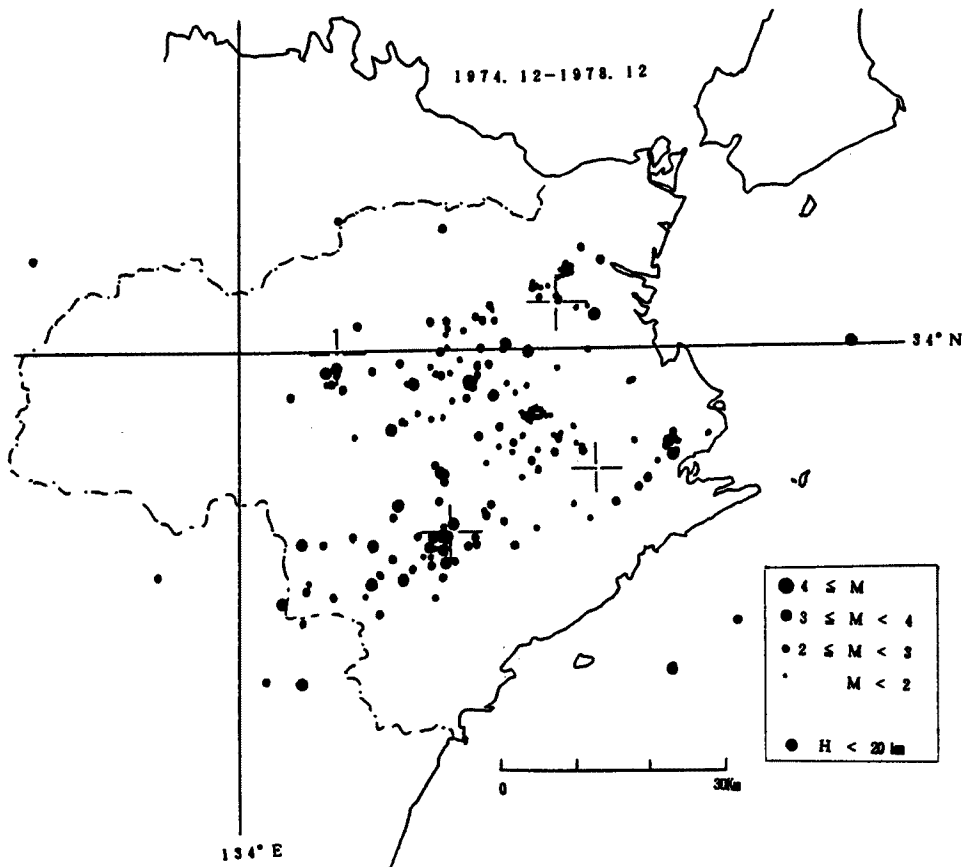


Fig. 11. Epicentral distribution of shallower earthquakes ($H < 20 \text{ km}$) determined by drum recorder system.

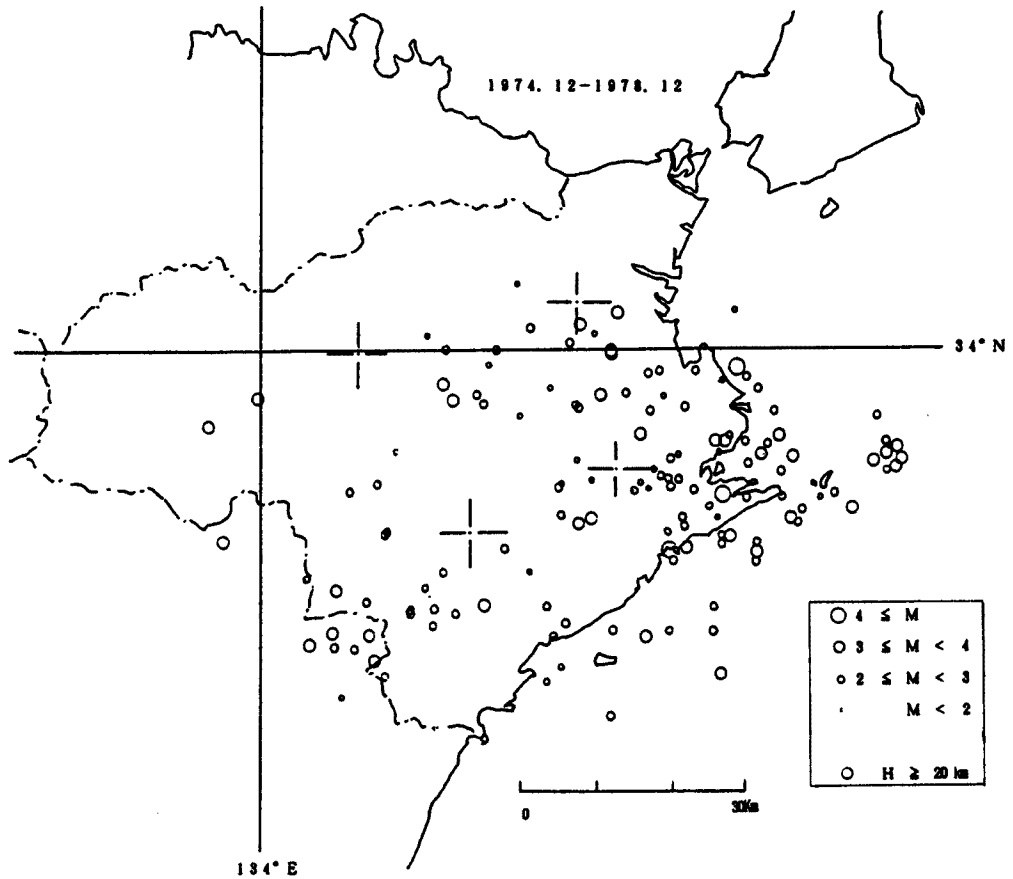


Fig. 12. Epicentral distribution of deeper earthquakes ($H \geq 20 \text{ km}$).

横との関係で見とく。

Fig. 13 に示すのは Fig. 7 及び Fig. 8 にプロットされた地震に対する M の頻度分布図である。直線の勾配即ち b の値は 0.78, 又分布の直線性が認められるのは M が 2.4 以上である。従って新しい 4 観測点の新傍では M の値が 2.4 ぐらいから一様な震源決定が期待される。Fig. 14 は旧観測網近傍 (いずれかの点で PS 時間が 3.5 秒以内, 震央距離で約 28 km 以内) の浅発地震に対する b 値を求めるため, 震源の決まらないものも含めて読み取った地震に対する規模別頻度分布の図である。 b の値は 1.03 である。PS 時間を 3.5 秒でくぎったのは 3.8 秒位から 30 km から 40 km に分布するマンツルの地震⁵⁾ が出現し始めるからである。Fig. 15 はこの領域の直下に 3 点以上で震源の求められたマンツル地震に対する頻度分布図である。 $M > 2.1$ に対して直線近似をすると b 値として 0.69 の値が得られる。この場合先と同様に考えて M の値が 2.1 ぐらいから一様な震源決定が期待される。浅発地震に対するこの値は Fig. 13 からは求められないが, 震源距離も考慮するとこれ以下と考えると良いだろう。しかし, Fig. 13 および Fig. 15 は

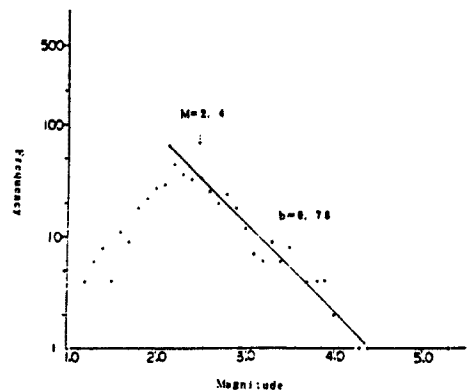


Fig. 13. Gutenberg-Richter's relation of earthquakes determined by the telemetry network.

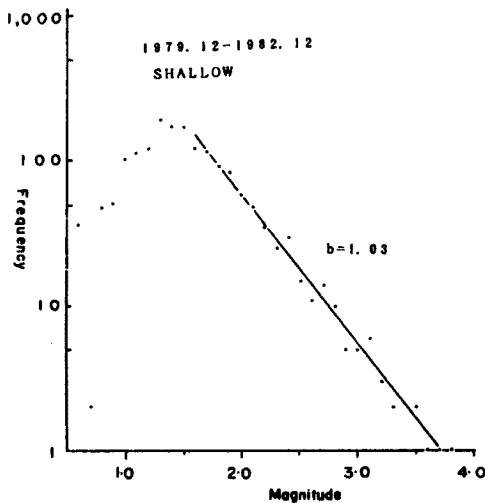


Fig. 14. Gutenberg-Richter's relation of shallow earthquakes detected by the drum recorder system.

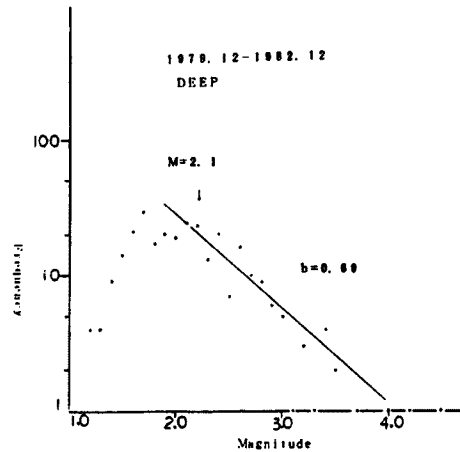


Fig. 15. Gutenberg-Richter's relation of deep earthquakes determined by the drum recorder system.

地震の数が少ないので、ここに得られた値は一応の目安と考えておくべきである。

5. おわりに

以上、異なった観測方式で求められた震央分布図について見てきた。しかし観測点分布や刻時精度の違いが、仮定する地殻構造との関連で震源決定にどのような影響を及ぼすかについての検討は今後の問題として残されている。

6. 謝 辞

観測所の発足以降、管理運営に携わり南海観測網の実現に多大な労を取って下さった三木晴男・元徳島地震観測所々長に感謝します。又自動化システムの実現のため計画段階から機種選定・稼働後の運用に対して支援を惜しまれなかった本研究所地震予知研究センター渡辺晃氏の他、プログラム作成やデータ処理の面でお世話になった徳島大学工学部情報処理センター高橋都郎氏、防衛大学校前田直樹氏、地震予知研究センター伊藤潔氏の各氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 鈴木次郎・津村建四郎・尾池和夫・松村一男：微小地震観測所要覧（第2版），1979.
- 2) 通商産業省工業技術院 地質調査所：活構造図 高知，1982.
- 3) 渡辺 晃：京都大学地震予知観測地域センターの自動処理システムについて，東京大学地震研究所地震予知観測情報センターニュース，No.9，1983，pp.5-10.
- 4) 前田直樹：地震波自動処理システムにおける読み取り及び評価，地震Ⅱ，第38巻，1985，pp.365-379.
- 5) 岡野健之助・木村昌三・許斐 直：四国地方の震源分布と地質構造線との関連，地震Ⅱ，第36巻，1983，pp.23-29.