

徳島観測所地震観測の変遷

徳島観測所 近藤 和男

沿革

徳島観測所は1972年第2次地震予知計画の微小地震観測網の整備の一環として助手1名と技官1名を持つ施設として設置された。1974年12月より徳島県内4ヶ所(石井・上那賀・鷲敷・穴吹)の観測点で煤書き記録による微小地震を開始した。1985年5月にはテレメータシステムによる自動処理が始まり、観測点も東京大学和歌山微小地震観測所及び高知大学地震観測所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(石井・上那賀・池田・塩江)。1997年4月には京都大学防災研究所地震予知研究センターの各観測所管轄の観測網を統合して運営するサターン(SATARN)システムが導入され、現在に至っている。

* 委託観測(煤書記録)

煤書き記録の時代の観測点をFig. 1に示す。観測方法はFig. 2に示す様にアンプにより増幅した波形及びタイムマークを煤をかけた記録紙に上書きし毎日ほぼ定時に取り替えニスにより定着させ保存する。(なお地震計は本所(石井)は60m、他の3点は5mの横穴式のトンネルの奥の岩盤上に置いてある)地震計は固有周期1秒で観測点は上下動一成分、本所は東西動・南北動を加えた三成分である。レコーダーの送りは毎秒4mmで、時刻信号とNHKの時報が地震波形と重ねて記録されている。

本所を除いた3点は現地で取り替え(委託)した後、月に1回郵送してもらう。又故障が発生した場合は電話連絡により事情を確認した後こちらから出向くという方法をとっていた。

この当時の記録の欠測時間は比較的短くて、又その場合も該当観測点のみで全点同時というのは物理的に無く観測状況(記録の継続)としては良好であったと言える。

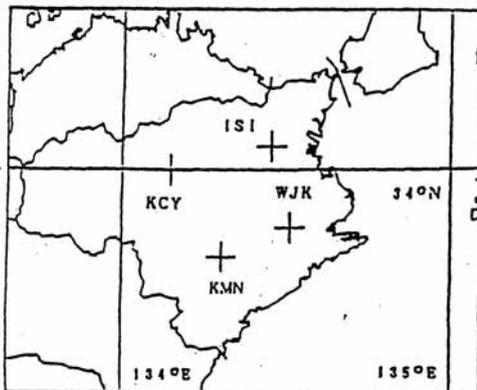


Fig. 1. Location map of observation stations of the old network.

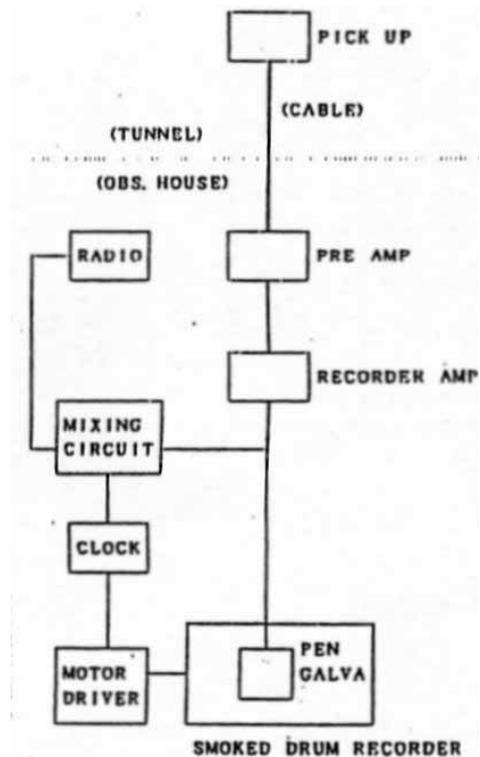


Fig. 2. System block diagram of observation which is entrusted changing recorder sheet to a person who lives near observation house.

・ 震源決定

各観測点の煤書き記録にタイムを書きこんだ後、同一の地震で3ヶ所以上読み取る事が出来てP波の立ち上がりのシャープな物を1点以上有し更に P-S 6秒以内（徳島観測網内）の震源地を決めていた。

震源決定は (P-S) ~ 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 5.8km/s の一様な値としてコンパス等を使い作図により求めた。マグニチュードは F-P 時間より求めた。(Table. 1) Fig. 3 及び Fig. 4 は 1974 年 12 月までの震央分布図で約 380 個がプロットされている。

Table 1
 $M=2.27\log(F-P)-1.27$ (経験式)

| F-P | M | F-P | M |
|-------|-----|-----|------|
| 10 | 1.0 | 65 | 2.64 |
| 11 | 1.1 | 60 | 2.77 |
| 12 | 1.2 | 65 | 2.85 |
| 13~14 | 1.3 | 70 | 2.92 |
| 15 | 1.4 | 75 | 2.97 |
| 16~17 | 1.5 | 80 | 3.05 |
| 18~19 | 1.6 | 90 | 3.17 |
| 20~21 | 1.7 | 100 | 3.27 |
| 22~23 | 1.8 | 110 | 3.36 |
| 24~26 | 1.9 | 120 | 3.45 |
| 27~29 | 2.0 | 130 | 3.53 |
| 30~32 | 2.1 | 140 | 3.60 |
| 33~35 | 2.2 | 150 | 3.67 |
| 36~37 | 2.3 | 160 | 3.73 |
| 38~43 | 2.4 | 170 | 3.77 |
| 44~48 | 2.5 | 180 | 3.85 |
| 49~52 | 2.6 | 190 | 3.90 |
| | | 200 | 3.95 |

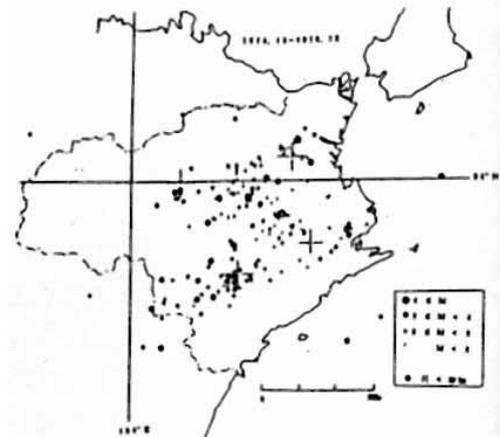


Fig. 3 Epicentral distribution of shallower earthquakes (11<20km) determined by drum recorder system.

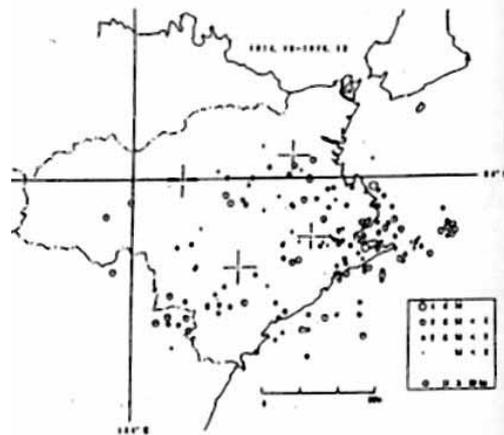


Fig. 4. Epicentral distribution of deeper earthquakes (11<20km).

・ 研究経過

観測網で囲まれる領域にほぼ一致して比較的活発な極浅発微小地震の活動が存在し、この領域が南海道地震の余震活動の内陸部での活発(数 km~数 10km)な部分と一致すること、又この浅い活動とは別に 30km~40km の深さの近傍に震源の集中が見られる。

このため上那賀観測点のみ P-S 分布図を作成した。(Fig. 5 1977~1982) Fig. 4 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、徳島県東南部から紀伊水道に至る多くの震源が求められている。

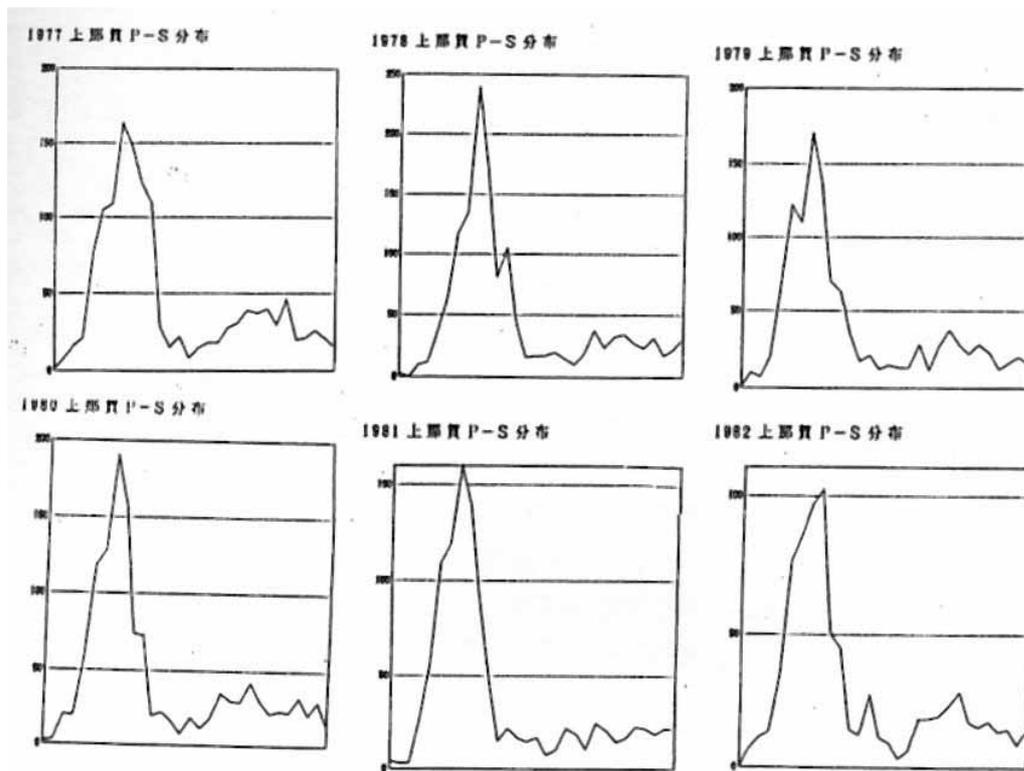


Fig. 5

***テレメータ観測**

昭和 57 年度上那賀観測点のテレメータ化と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?池田観測点がテレメータ化された。更に昭和 58 年度には和歌山微小地震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動を開始した。Fig.6 に観測点の配置を示す。(従来の委託点の驚敷は 1984 年 6 月、穴吹は 1986 年 3 月に廃止)Table2 にその名称と位置を示す。Fig.7 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。

システムの中核は 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 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。

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>Iheda</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 | HNH <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 |

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(ADRI)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主な記録は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6点計10点に対しなされADRとPIOに起動信号が出力される。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に記録され、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されるので確認しながら手動験震する事になる。しかし自動読み取りの位置が最大17msec程ずれるとい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。

Fig8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P-S時間6~7秒の地震を煤書きのモニター記録の初動の波形を逐一表示し読み取って、P' P-Sのグラフ上で勾配が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波速度構成は5.5km/sが厚さ5km、6.1km/sが15km、6.7km/sが15kmそれ以下は7.8km/sの成層構造である。

マグニチュードの決定式は以下の通りである。

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

但しはA最大振幅 (kine)

Rは震源距離 (km)

・ 研究経過

すでに知られている様に、この地域では深さ23kmで地殻内地震とマントル地震が分けられるのでこれを境にとった。(Fig.8 Sep.1988~Nov.1989) 図に見られる様に東経135度の線上の震央の塊(日ノ岬沖地震群)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。更に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。観測網に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20~30km スパンから30~70km スパンに伸びたため、浅発地震に見ら

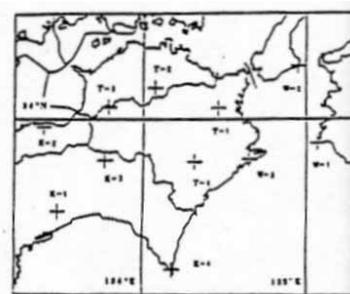


Fig.6 Distribution of telemetry observation stations. Station numbers of T-1~4, W-1~3 and K-1~4 belong to the Tokushima, the Wakayama and the Kochi observatories

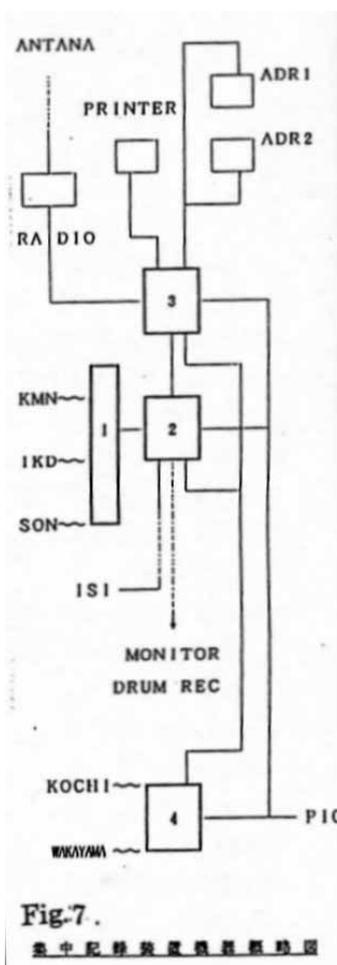
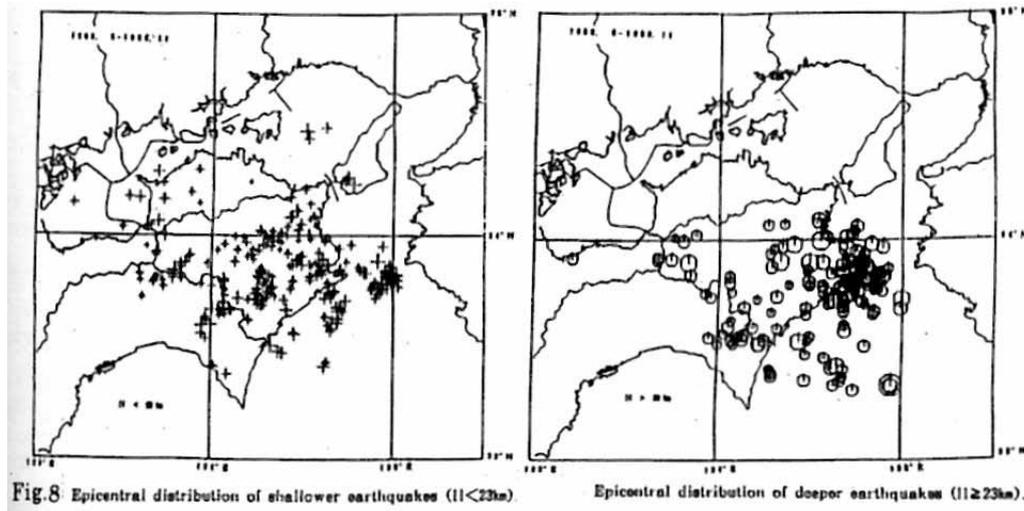


Fig.7.

集中記録装置機器接続図

れる微細な分布をとらえることは出来なくなった。Fig.9に示すのは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。



* サターンシステム

京都大学防災研究所附属地震予知研究センターの各観測所が維持する微小地震観測網のうち、隣接部分を有する上宝・北陸・阿武山・鳥取・徳島の各観測所管轄の観測網を統合して運営するシステムをサターンシステムと称している。

このシステムは、インターネット技術を利用して構築されており、1997年度に現在の形態での運用が始まった。この前1996年8月から1997年4月までの間、平野システムによりデジタルデータを作成し、サターンシステムに伝送していた。

・ 平野システム (連続地震波形データ収録システム)

パソコンを2台を用いたもので多成分 (32チャンネルまで) の地震波形データをA/D変換しながら地震のトリガ判定を行うものである。このシステムには地震と判定されたものをM0に収録する機能の他、画面上に監視のために地震波形をリアルタイムで描画する機能などが備わっていた。

・ 衛星通信テレメタリングシステム

このシステムは静止軌道の商用通信衛星の中継器を帯域使用するシステムであり、常時伝送の形態を採用している。地球局は約200局の送信局 (観測点または観測拠点)、正副2局の中継局 (東大地震研構内と群馬県高崎市郊外に設置)、約25局の送受信局 (全国の大学の観測センターまたは観測所) から構成されている。当観測所においては本所に送受信局が設置され、他の3点においては白山工業株式会社制作のデータ変換装置LT8500をVSAT (Very Small Aperture Terminal) と共に各観測点に設置し、直接通信衛星にデータを送信する方法を採っている。衛星通信テレメタリングシステムの特徴として、衛星により集

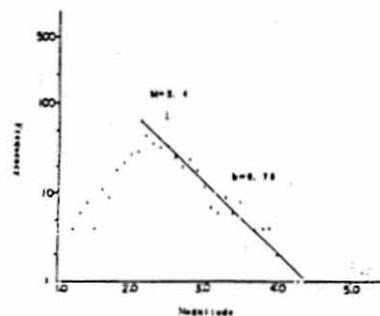


Fig. 9. Gutenberg-Richter's relation of earthquakes determined by the telemetry network.

配信されるデータが受信局の設置してある機関では容易に利用可能であることがあげられる。(Fig.10 SATARN SYSTEM)

・ システムの概略

SATARN システムは WIN システムをベースに構築されている。WIN システムとは TCP/IP ネットワーク上での地震波形データ交換、データ保存、地震検出、震源決定等までを行う総合的なシステムであり、UNIX オペレーティングシステムの上で稼動する地震波形処理解析のためのプログラムパッケージ群、またはそれによって構築された処理解析システムの総称である。

当観測所では自観測網で取得されたデータを取り込む他必要な他観測網のデータを取得して併合処理を行う。

(責任観測点) 他観測網のデータは、衛星回線または必要に応じて地上回線を用いて取得する。又、自観測網で取得されたデータは他機関のために衛星通信システムを利用して送信を行う。

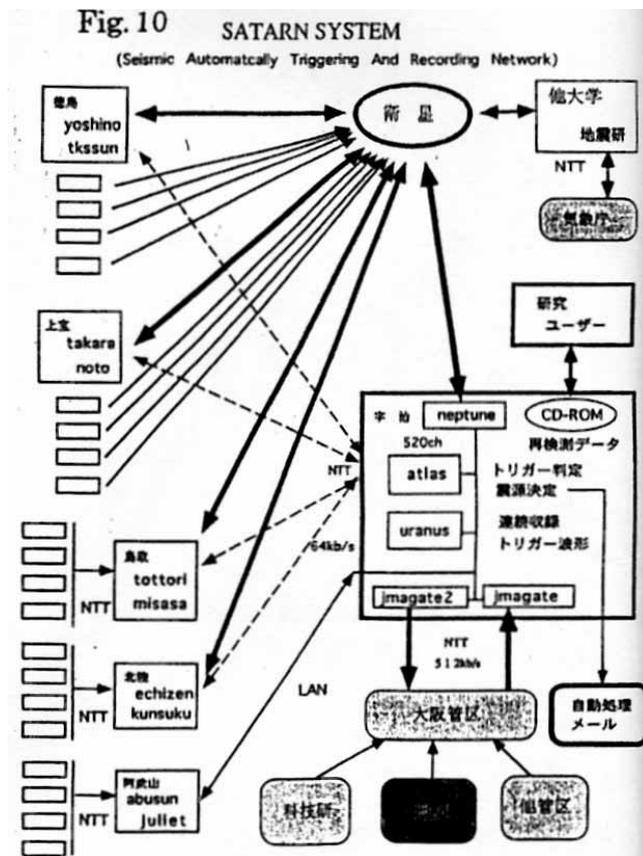
・ データ処理

Fig.11 は周辺機器の概略図である。

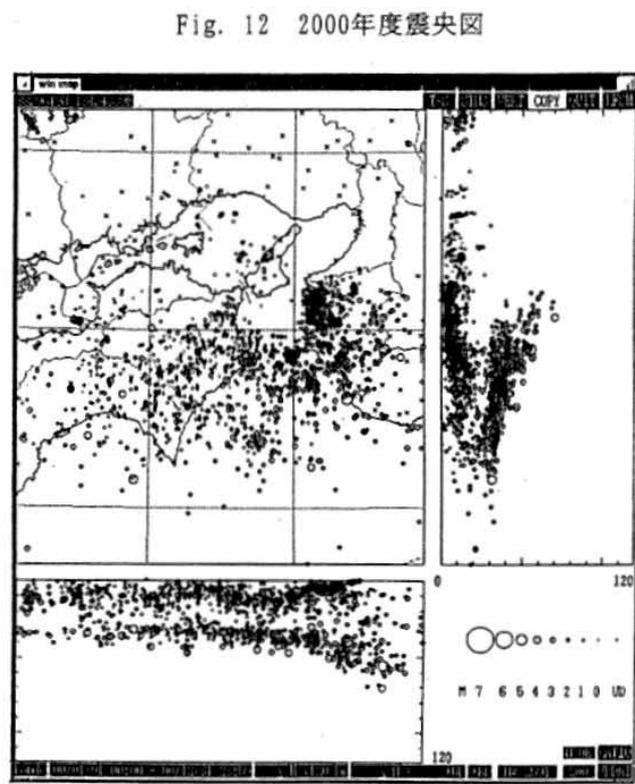
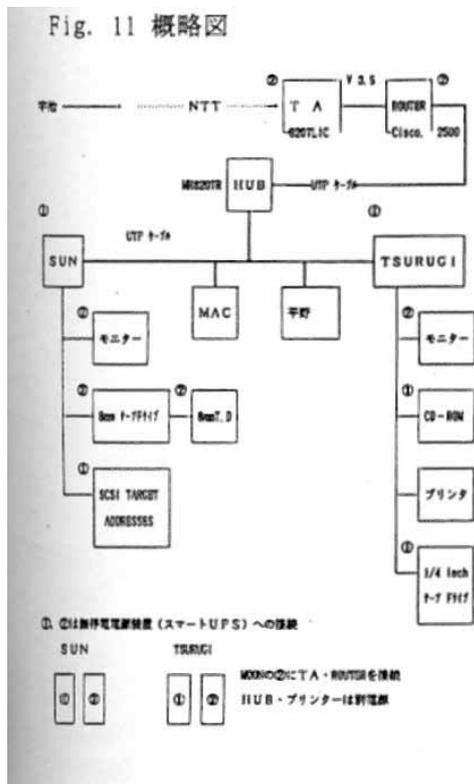
取得されたデータは 30 分毎にプリンターに出力されモニター記録として確認できる (自観測網 4 点) 又、ワークステーション (sun, tsurugi) にて 1 分間のモニター記録も見る事が出来る。(コマンド latest) 8 mm テープドライブは 1 巻で約 10 日間連続記録を収録する (1 時間毎)。又、波形ファイルはコマンド cpdat により MO にバックアップ (地震数により適宜) され同様にコマンド cppicks により全データが MO にバックアップされる (月 1 回)。収録された MO は数ヵ月毎に宇治に送り、センターにて編集され各観測所に保存用として再配布されている。

・ 読み取り

コマンド ee にてトリガされたファイルを表示し、1 個 1 個確認しながら noise は除き読み取ったファイルにはラベルを付けておく。記録は自動読み取りになっていて各要素に印が付いてはいるが充分とはいきれない事がある。従ってテレメータシステム同様、全データを手動で確認する事になる。又、他機関データを容易に徳島観測網に加えて処理できるようになったことから取得・処理する地震波形がテレメータシステムと比べて増加する傾向にある。Fig.12 は 2000 年度の震央分布図であるがテレメータシステム以前には決めら



れていなかった瀬戸内海ひうち灘付近の地震が数多く求められている。当然の事ながら求められた地震数も格段に多くなっている。



* 付表 地震観測の歴史 (概略)

- 1872/08/26 函館測候所開設
- 1875/06/01 東京：パルミエリ式地震計設置
- 1882 東京：Ewing 水平式振子地震計設置
- 1888 和歌山測候所グレイ？ミルン地震計設置（畿内初）
- 1898 大森式水平式振子地震計制作
- 1904、1907 ウィーヘルト式、ガリッチン式地震計制作
- 1925/11 地震研究所設立
- 1930 京都大学阿武山地震観測所地震計制作
- 1963/08 第1回極微小地震合同観測
- 1963～高感度観測網用各種機器の開発と改良？導入
 - 機械式観測装置から電子式観測装置へ
 - 地震波形の磁気テープ収録

トリガー式収録システム

| | |
|------|--------------------------|
| | 阿武山地震観測所近傍観測網（鳥取観測所高槻支所） |
| 1964 | 防災研究所鳥取微小地震観測所新設 |
| 1965 | 防災研究所上宝地殻変動観測所新設 |
| 1966 | 無線テレメータ観測実用化（堂平） |
| 1968 | 防災研究所北陸微小地震観測所設立 |
| 1972 | 京都大学理学部徳島地震観測所設立 |

1970 年臨時観測 1974 年観測網整備

テレメータ観測網への移行

| | |
|-----------|-----------------------------|
| 1976～ | 京都大学各観測所テレメータ化開始：徳島は 1984 年 |
| 1982～1985 | 南海地域各観測網のテレメータ化と半自動処理 |
| 1984～ | 南海地域各観測網のテレメータ化により隣接間データ交換 |

衛星利用・観測資料一元化

| | |
|-------|------------------------|
| 1993～ | WIN-FORMAT による記録開始 |
| 1994～ | 大学関係衛星利用観測開始 |
| 1997～ | 気象庁・大学・科技庁観測原記録の相互利用開始 |
| | 科技庁：地震基盤観測網設置開始 |
| | 徳島：サターンシステム導入 |
| 1998 | 気象庁：地震基盤観測網資料導入処理開始 |

* 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故三木晴男教授（元徳島地震観測所所長）に感謝いたします。又テレメータシステム実現のため計画段階から機種選定稼働後の運用にたいして支援して下さった本研究所地震予知研究センター故渡辺晃教授及び伊藤潔助教授に感謝いたします。更にサターンシステムにおけるプログラム作成やデータ処理の面でお世話になっている地震予知研究センター大見士郎先生及び平野憲雄技官、ならびに本報告書作成するにあたり資料提供等でお世話になった甲斐直先生に感謝いたします。

* 参考文献

- 「徳島観測所の新旧観測システムの震源決定能力の比較」 甲斐直・近藤和男 京都大学防災研究所年報第 34 号 B-1 平成 3 年
- 「パソコンを 2 台用いた多成分トリガー地震収録システム開発」 平野憲雄他 京都大学防災研究所年報第 36 号 B-1 平成 5 年
- 「微小地震観測網 SATARN システムの現状と概要」 大見士郎他 京都大学防災研究所年報第 42 号 B-1 平成 11 年