

# 関東・東海地域地震観測網による震源決定方法について

著者	鵜川 元雄, 石田 瑞穂, 松村 正三, 笠原 敬司
雑誌名	国立防災科学技術センター研究速報
号	53
ページ	1-88
発行年	1984-03-30
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1625/00002786/">http://id.nii.ac.jp/1625/00002786/</a>

関東・東海地域地震観測網による震源決定方法について

鷗川元雄\*・石田瑞穂\*\*・松村正三\*\*・笠原敬司\*\*\*

国立防災科学技術センター

**Hypocenter Determination Method of The Kanto-Tokai  
Observational Network for Microearthquakes**

By

**Motoo Ukawa, Mizuho Ishida, Shozo Matsumura and Keiji Kasahara**

*National Research Center for Disaster Prevention*

**Abstract**

The National Research Center for Disaster Prevention has routinely determined hypocenters in the Kanto-Tokai area, using data obtained by the Kanto-Tokai observational network for microearthquakes since July, 1979. The method of hypocenter determination was revised in April, 1983. The main points in the present revision are as follows: (1) Arrival time data of S phase as well as P phase are used. (2) Arrival time data are weighted depending on epicentral distances. (3) The standard travel time table was changed from the Ichikawa-Mochizuki's table for the Kanto-Tokai area. According to this revision, the resulting hypocenter data are remarkably improved. First, the monthly number of earthquakes located increased from about 400 to about 600, Secondly, the uncertainties of hypocenter parameters were much reduced. In particular, improvement of the focal depth is noteworthy. From the resulting hypocenter data and O-C data, we conclude that both the weight for arrival time data and the standard travel are appropriate. The hypocenter distribution determined by the present method clearly shows some interesting features; hypocenter clusters distributed in the upper crust, double seismic of the intermediate depth earthquakes, and inclined seismic planes beneath the Kanto and the Tokai areas in depths down to some tens of kilometers.

I. 序

国立防災科学技術センター（防災センター）では昭和53年度から6ヶ年計画で関東・東海

---

\* 第2研究部地殻変動研究室, \*\* 第2研究部, \*\*\* 第2研究部地震防災研究室

地方に高感度地震計及び傾斜計の広域・稠密観測網を整備してきた。地震観測点数は昭和57年度末までに55点となり、また昭和58年度に11点が追加されて完成する予定である（図1）。この地震観測網で得られたデータによる定常的な震源決定作業は1979年7月から開始された。その概要についてはすでに浜田・他(1982)に発表されている。また、震源決定の結果は“Seismological Bulletin of the National Research Center for Disaster Prevention”として逐次刊行されている。この震源決定作業は最初、P波到着時のみを用いて市川・望月(1971)の走時表に基づいて行われたが、その結果を検討すると遠地地震が観測網の周辺部に決定されること等、P波しか用いていない欠点が指摘された。また、笠原(1981)や石田・堀江(1982)によってS波データも用いると震源決定精度が著しく向上することが示された。そのため、震源決定にS波データも併せ用いるように変更することが計画され、1983年4月より定常震源決定のプログラムが改訂された。今回の主な改訂箇所は、S波データを震源計算に加えたことであるが、その他に標準走時の変更、データに対する重み設定方法の変更等いくつかの点が改められた。この報告では改訂された新しい震源決定の方法と計算プログラムについて説明し、また実際に震源計算された結果を基に今回の震源決定方法の信頼度等について検討する。

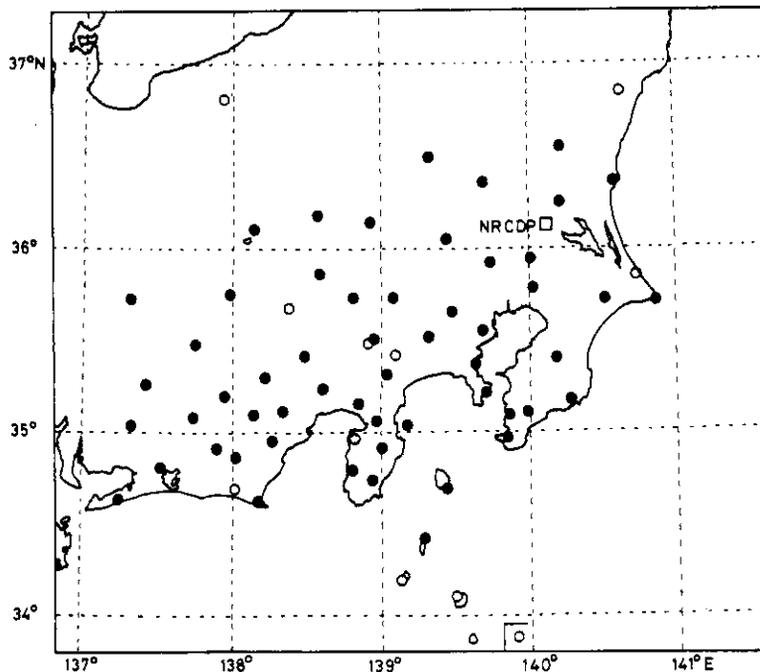


図1. 防災センターの地震観測点。黒丸は昭和57年度までに完成した点、白丸は昭和58年度に完成する点

## II. 震源決定方法

定常的な震源決定作業は、マグネティック・テープに収録された地震波データを計算機ディスクに転送し、オペレータが必要なパラメーターをグラフィック・ディスプレイ装置で検出し、その検出データによって震源及びマグニチュードを決定するという流れで行われている。

各パラメーターのうち最大振幅と震動継続時間は計算機によって自動的に検出され、初動時刻は計算機が一次的な検出を行い、必要に応じてオペレータが修正するようになっている。

このシステムの詳細については、Matsumura *et al.* (1981) や浜田・他(1982)に述べられている。ここでは震源決定作業に使われている震源計算プログラムについて説明する。

### II・1 震源計算方法

現在用いている震源計算方法は観測値であるP波とS波の到着時刻に対し、仮定した標準走時を基準にした走時残差を計算し、その2乗和が最小になる震源パラメーター（震源位置と震源時）を求めるものでいわゆるGeiger's methodといわれるものである。まず基本になる方程式を以下に述べる。

$T_i^P$ と $T_i^S$ を第*i*観測点でのP波とS波の観測到着時刻とする。また、 $T_i^P$ と $T_i^S$ をある震源パラメーターを基準にしたときの第*i*観測点でのP波とS波の計算到着時刻とする。このとき $R_i^P$ 、 $R_i^S$ をP波とS波の走時残差として、

$$S = \sum_{i=1}^N w_i^P (T_i^P - \hat{T}_i^P)^2 + \sum_{i=1}^N w_i^S (T_i^S - \hat{T}_i^S)^2 = \sum_{i=1}^N w_i^P R_i^P{}^2 + \sum_{i=1}^N w_i^S R_i^S{}^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$w_i^P$ ,  $w_i^S$ ;  $T_i^P$ ,  $T_i^S$  に対する重み

N ; 観測点数

で計算される残差2乗和Sを最小にする震源パラメーター（ $\varphi$ , 緯度;  $\lambda$ , 経度;  $z$ , 深さ;  $O$ , 震源時）を求める。震源位置は $E(\varphi, \lambda, z)$ で表わすものとする。

計算到着時刻 $\hat{T}_i^P$ と $\hat{T}_i^S$ は、

$$\left. \begin{aligned} \hat{T}_i^P &= t^P(\Delta_i, z) + O \\ \hat{T}_i^S &= t^S(\Delta_i, z) + O \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

である。ここで $t^P(\Delta_i, z)$ と $t^S(\Delta_i, z)$ は震央距離 $\Delta_i$ 、深さ $z$ に対するP波とS波の計算走時である。次に計算走時 $t^P$ と $t^S$ を震源初期値 $E_0$ のまわりで展開し、1次項まで残すと

$$\left. \begin{aligned} t^P &\sim t^P(\Delta_0^P, z^0) + \left. \frac{\partial t^P}{\partial \Delta} \right|_{E_0} \delta \Delta + \left. \frac{\partial t^P}{\partial z} \right|_{E_0} \delta z \\ t^S &\sim t^S(\Delta_0^S, z^0) + \left. \frac{\partial t^S}{\partial \Delta} \right|_{E_0} \delta \Delta + \left. \frac{\partial t^S}{\partial z} \right|_{E_0} \delta z \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

また,

$$\frac{\partial t}{\partial \Delta} = \left. \frac{\partial t}{\partial \varphi} \right|_{E_0} \delta \varphi + \left. \frac{\partial t}{\partial \lambda} \right|_{E_0} \delta \lambda \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial t}{\partial \varphi} &= - \frac{\partial t}{\partial \Delta} \cos \alpha \\ \frac{\partial t}{\partial \lambda} &= - \frac{\partial t}{\partial \Delta} \sin \alpha \end{aligned} \right\} (5)$$

$\alpha$ : 観測点における地震の北から時計まわりに測った方位角

である。(4), (5)を考慮して(3)を(2)へ代入し, また  $\frac{\partial T}{\partial \Delta} = 1$  であるから, 震源初期値のまわりで展開された計算到着時刻  $T_i^p$  と  $T_i^s$  は

$$\left. \begin{aligned} T_i^p &\sim t^p(\Delta_i^0, z^0) + O^0 \left[ \left. \frac{\partial t^p}{\partial \Delta} \right|_{E_0} \cos \alpha \cdot \delta \varphi - \left. \frac{\partial t^p}{\partial \Delta} \right|_{E_0} \sin \alpha \cdot \delta \lambda + \left. \frac{\partial t^p}{\partial z} \right|_{E_0} \delta z + \delta O \right] \\ T_i^s &\sim t^s(\Delta_i^0, z^0) + O^0 \left[ \left. \frac{\partial t^s}{\partial \Delta} \right|_{E_0} \cos \alpha \cdot \delta \varphi - \left. \frac{\partial t^s}{\partial \Delta} \right|_{E_0} \sin \alpha \cdot \delta \lambda + \left. \frac{\partial t^s}{\partial z} \right|_{E_0} \delta z + \delta O \right] \end{aligned} \right\} (6)$$

震源パラメータベクトル  $X_0^i = (\varphi^0, \lambda^0, z^0, O^0)$  (添字  $t$  は転置行列を表わす) に対する走時残差ベクトル  $R$  は次のように書ける.

$$R = \begin{pmatrix} R_1^p \\ R_2^p \\ \vdots \\ R_N^p \\ R_1^s \\ \vdots \\ R_N^s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_1^p - (t^p(\Delta_1^0, z^0) + O^0) \\ T_2^p - (t^p(\Delta_2^0, z^0) + O^0) \\ \dots \\ T_N^p - (t^p(\Delta_N^0, z^0) + O^0) \\ T_1^s - (t^s(\Delta_1^0, z^0) + O^0) \\ \dots \\ T_N^s - (t^s(\Delta_N^0, z^0) + O^0) \end{pmatrix}$$

また,



$$\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_\varphi \\ \varepsilon_\lambda \\ \varepsilon_z \\ \varepsilon_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{C_{11}} \sigma \\ \sqrt{C_{22}} \sigma \\ \sqrt{C_{33}} \sigma \\ \sqrt{C_{44}} \sigma \end{pmatrix} \quad (13)$$

ここで、 $\sigma^2 = R^t W R / (L - M)$ ,

L: 観測数,

M: 未知数の数.

ここで求められる解 ( $X + \delta X$ ) は、線形化された方程式(10)に基づいているので、最終的な解を求めるには新しく得られた解に対し再び補正ベクトル  $\delta X$  を求め直すという反復法をとらねばならない。そして  $\delta X$  が十分小さくなったなら、解は収束したと判定し、そのときの値 ( $\varphi, \lambda, z, 0$ ) をもって震源パラメータとする。

## II・2 データの取り扱い

### (1) 初動データ

P波とS波の到着時刻はオペレータによってグラフィック・ディスプレイ装置を用いて読み取られている。震源はこの読み取り値を用いて決められる。1983年3月まではP波データのみが使用されてきた(浜田・他, 1982)が、今回の改定に伴いS波データも併せて使うことにした。

データを使用するにあたっては、それぞれのデータに重みを付けるが、今回は次の3点を考慮して重みを設定した。

- (a) 読み取り精度による重み  $w_r$
- (b) 震央距離による重み  $w_d$
- (c) P波とS波による重みの比  $f$

それぞれについて以下に説明する。

#### (a) 読み取り精度による重み

読み取り値にはその精度に応じてA, B, C, Dの4段階のランクがつけられる。読み取

表1. 読み取りランク・精度・重み

Rank	A	B	C	D
Accuracy (sec)	0-0.1	0.1-0.3	0.3-1.0	1.0-
Weight	1.0	0.25	0.04	0

り精度とランクとの関係を表1に示す。重みは観測値の分散の逆数に比例するように設定したいが、観測値の分散はわからない。ここでは読み取り精度として考えられている値がその読み取り値の標準偏差 $\sigma$ に等しいと考えて重み $w_r$ を次式で設定した。

$$w_r = 1 / \sigma^2 \quad (14)$$

表1にそれぞれのランクに対する重みを示すが、これからわかるようにBランクのデータはAランクの1/4の重み、CランクはAランクの1/25の重みとなっている。また、Dランクとして読み取られたデータは使用しない。

(b) 震央距離による重み

これまでの防災センターの震源決定では距離による重みはつけていなかったが、改訂されたものにはこれを加えた。これは用いている標準走時のもとになった速度構造が必ずしも現実のものとは一致しないために、その違いによる走時差が距離とともに増すと考えられるからである。距離の重み $w_d$ を設定するにあたっては次の点を考慮した。防災センターの地震観測網の観測点間隔はほぼ20~40 kmであり、観測網内に震源があれば震央距離50 km以内に最低3点以上がはいるのでこれらに十分大きい重みをかける。震央距離が200 kmを越える点では重みを十分小さくし、仮定した速度構造モデルと現実の速度構造との違いの影響をなるべく避けるようにする。ネット周辺の地震に対しても近い観測点と遠い観測点で重みの差をつけるために、震央距離100 kmで重みが震央距離0 kmの半分となるようにする。

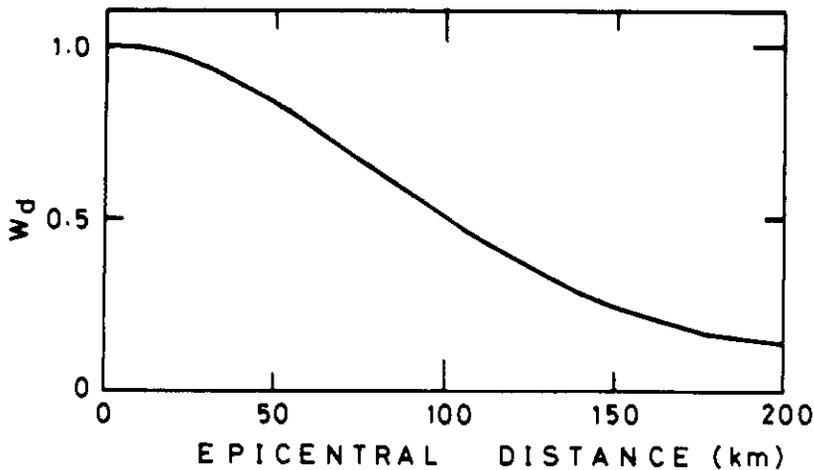


図2 震央距離に対する重み。

これらを考慮して採用したものが、次式で表わされる重みと震央距離の関係式である。

$$w_d(\Delta) = 0.9 e^{-\alpha \Delta^2} + 0.1 \quad (15)$$

$$\alpha = 8.1 \times 10^{-5}$$

$\Delta$ : 震央距離 (km)

震央距離と重みの関係を図2に示す。この図からわかるように震央距離0 kmで重みは1.0、50 kmで0.84、100 kmで0.5、十分遠方では0.1に近づく。この重みが実際の速度構造の不均質さ等による標準走時の不完全さの影響を解消するのに適切なものであるかどうかは、今後実際のデータによって検討しなければならない。

(c) P波とS波の重みの比

P波もS波も読み取り精度が表1で与えられているとおりで、かつ標準走時が現実の走時と一致しているならば、本来P波とS波の重みの比は1でよい。しかし、S波はP波と異なり後続波であるので、ときとして大きく波の同定を誤る場合がある。また、速度構造もS波はP波ほど正確にわかっていないことや、S波走時のほうがP波走時より $\sqrt{3}$ 倍程度大きいために速度構造モデルの現実のものとの不一致の影響も大きい。このため、S波データの重みはP波のそれより小さくすることが適当と考えられる。今回はP波とS波の重みの比を3:1とした。この値が妥当なものであるか否かは、今後走時残差等の実際のデータで検討する必要がある。

以上の3点を考慮して、P波とS波の重み  $w_p$ 、 $w_s$  をそれぞれ次式のように与える。

$$\left. \begin{aligned} w_p &= w_r \cdot w_d \quad (A) \\ w_s &= \frac{1}{3} \cdot w_r \cdot w_d \quad (A) \end{aligned} \right\} (16)$$

尚、震源計算の過程で走時残差がP波で2秒、S波で4秒を越えたデータのある場合は、これらのデータは読み取り時刻の誤りと考え、除いて震源を決めなおすという操作を行う。ただし、反復して解を求める過程において、1度除いたデータが再び上述の時間範囲に収まった場合は再度これらのデータを用いることにする。

(2) 最大振幅と振動継続時間

最大振幅と振動継続時間 (F-P値) は計算機で自動的に読み取られる。これらについては松村・他(1979)に述べられている。最大振幅はS波読み取り値よりも前のものはP波振幅として、またS波読み取り値以後のものはS波振幅として記録される。

振動継続時間マグニチュード (F-Pマグニチュード) 決定のためのF-P値データの使用にあたっては、計算機によって読み取られたF-P値がオペレータに読み取られS-P値より小さいものは、計算機による振動開始時刻、振動終了時刻の判定に誤りがあると考えられるので用いない。また、P波初動が読み取られなかったものも用いない。

II・3 走時の計算

震源決定を行う際には、式(6)にみられるように、震源から観測点への標準走時と、震央距離と震源の深さに対する走時の微分値が必要である。標準走時やその微分値を計算するには、

速度構造から毎回計算する方法と、まず走時表を作成しておいてそれから必要な値を補間して求める方法とがある。前者は速度構造の変更が容易であるという利点があるが、複雑な速度構造に対しては計算時間が長くなる。これに対し、後者は速度構造の変更は容易ではないが計算時間は比較的短い。防災センターの定常的な震源決定作業では計算時間短縮のため標準速度構造を決め、それに基づく走時表から走時を求める方法を採用した。また、計算機（HITAC 20）の記憶容量を考慮して、P波とS波の走時表を通常行われている各震央距離、深さごとに与えることはやめて、走時をある震央距離区間ごとに、また深さ別に震央距離の5次多項式で与え、その係数を記憶しておくことにした。以下に用いた標準速度構造と走時の計算方法について説明する。

(1) 標準速度構造

防災センターの地震観測網は図1に示されるように関東地方から東海地方にかけてかなり広範囲に展開されている。この地域は日本海溝に沿って太平洋プレートが東からもぐり込み、また南海・駿河トラフからはフィリピン海プレートが北西方向へもぐり込んでいる非常に複雑な場所である。そのため、この地域の速度構造を1つの球殻成層速度モデルで代表させることは難しいが、走時計算等を簡単にするためこれまでの速度構造の研究をもとに標準速度構造モデルをつくった。

関東地方の速度構造の研究にはMikumo (1966)、堀江・渋谷 (1979) 等がある。また、

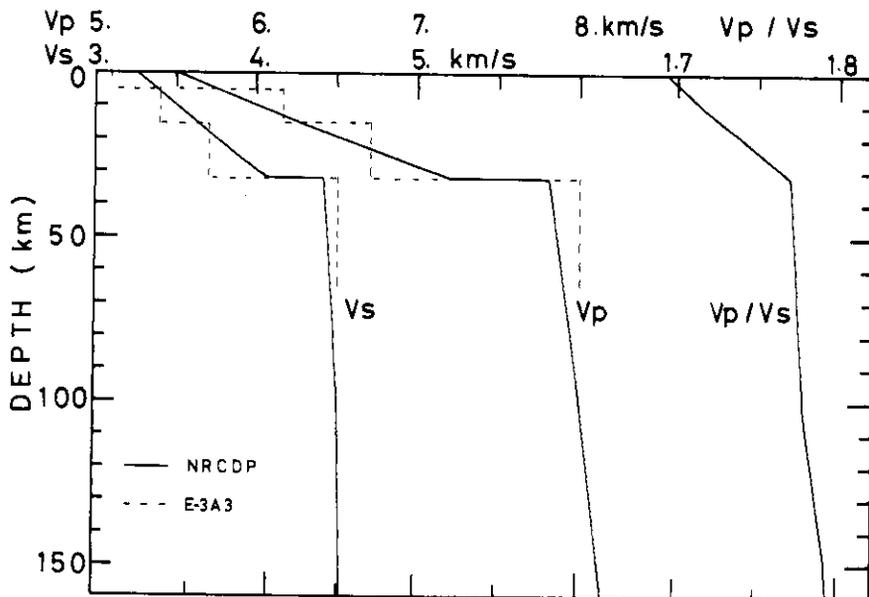


図3 標準走時のための速度構造（実線）とMikumo (1966)による速度モデルE-3A3.

表2. 標準走時のための速度構造

Depth(km)	Vp(km/sec)	Vs(km/sec)	Vp / Vs
0	5.50	3.25	1.69 <sub>2</sub>
10	5.98	3.49	1.71 <sub>3</sub>
20	6.51	3.74	1.74 <sub>1</sub>
32	7.20	4.07	1.76 <sub>9</sub>
32	7.80	4.41	1.76 <sub>8</sub>
50	7.85	4.43	1.77 <sub>2</sub>
100	8.00	4.50	1.77 <sub>7</sub>
150	8.12	4.53	1.79 <sub>2</sub>
200	8.26	4.60	1.79 <sub>6</sub>
250	8.42	4.68	1.79 <sub>9</sub>
300	8.58	4.76	1.80 <sub>3</sub>
350	8.75	4.85	1.80 <sub>4</sub>
400	8.92	4.94	1.80 <sub>6</sub>

中部地方の速度構造についてはAoki et al. (1972), Ikami (1978), Ukawa and Fukao (1982)等がある。これらの結果から、P波速度については次のような事がわかっている。地殻内は地域差が大きいが、6.0 km/sec前後の上部地殻と6.5~7.0 km/secの下部地殻が存在している。またモホ面の深さは30~35 kmで、モホ面下の速度は7.8~8.0 km/sec程度である。S波速度についてはよくわかってはいないが、他地域の研究(例えば堀内・他, 1977)も考慮すると上部地殻で $V_p/V_s$ が小さく1.7程度かそれ以下の値、下部地殻・最上部マントルではやや大きな値で、1.75~1.8程度であるらしい。今回はこれらを総合して図3に示される速度モデルを採用した。この図には比較のために関東地方の速度モデルE-3A3(Mikumoto, 1966)も示されている。表2にはいくつかの深さでの速度と $V_p/V_s$ が示されている。今回の標準速度構造ではモホ面の深さを32 kmとし、地殻内は連続的に速度が増加するとした。モホ面ではP波、S波とも約8%の速度ジャンプがあり、モホ面下でもゆるやかに速度が増加するとした。深さ160 km以深ではJeffreysの速度構造(Jeffreys, 1976)に等しくなっている。 $V_p/V_s$ は地殻内では1.69から1.77に漸移的に増加し、モホ面付近の最上部マントル中も1.77で、それ以深でゆるやかに増加して深さ200 km付近で1.80になる。

(2) 走時計算の方法

上述の標準速度構造から走時表をつくり、それに基づいて走時を計算するわけであるが、今回は走時表を震央距離の5次多項式、

$$T_p = \sum_{i=1}^5 A_{pi} \Delta^{i-1} \quad \} \quad (17)$$

$$T_s = \sum_{i=1}^6 A_{s_i} \Delta^{i-1} \quad \left. \vphantom{\sum_{i=1}^6} \right\} \quad (17)$$

$\Delta$  ; 震央距離 (度)

によって与えた。このとき、係数  $A_{p_i}$ ,  $A_{s_i}$  は深さ別に震央距離区間ごとに決めた。係数を与えた深さは 100 km 以浅は 10 km 毎、100 km から 580 km の間は 20 km 毎である。また、震央距離区間は、 $0^\circ \sim 0.5^\circ$ ,  $0.5^\circ \sim 1.0^\circ$ ,  $1.0^\circ \sim 1.5^\circ$ ,  $1.5^\circ \sim 2.5^\circ$ ,  $2.5^\circ \sim 15^\circ$  の 5 区間である。これらの深さ、震央距離区間ごとに、前述の球殻成層速度構造に対して Julian and Anderson (1968) の方法で走時を 15~40 点計算し、その値に対し最小 2 乗法によって 5 次多項式をあてはめて係数  $A_{p_i}$  と  $A_{s_i}$  を求めた。その際に隣り合う震央距離区間と連続的につながるようにするため、最小 2 乗法に用いるデータには隣り合う区間のデータも含めた。係数  $A_{p_i}$  と  $A_{s_i}$  は付録 1 に示されている。

今回用いる標準走時は式(17)で表わされるものであるが、これはもともとの速度構造から計算された走時に 5 次多項式をあてはめたものなので、これら両者のあいだには違いがある。しかし、この走時差は震央距離  $5^\circ$  以下では P 波、S 波ともに 0.05 秒以下、ほとんどのところで 0.01 秒以下であって十分小さい。ただ震央距離が  $10^\circ$  以上になるといわゆる  $20^\circ$  不連続の影響とかなり広い範囲を 1 つの多項式で近似しているため、0.1 秒を越えることがあるが、今回の震源決定は観測網内とその周辺を対象としているので実用上問題ない。

実際にある深さ  $z$ 、震央距離  $\Delta$  の走時を求めるには  $z$  をはさむ走時の与えられている 4 つの深さ  $z_i, z_{i+1}, z_{i+2}, z_{i+3}$ , ( $z_i < z_{i+1} < z < z_{i+2} < z_{i+3}$ , ただし深さ 0-10 km と 560-580 km の 2 区間では 3 つの深さ) について走時  $T_i, T_{i+1}, T_{i+2}, T_{i+3}$  を計算し、この 4 つの値を深さ  $z$  の 3 次多項式 (3 点のときは 2 次多項式) で補間して、求める深さ  $z$  での走時を計算する。また、この補間式を用いて走時の深さ微分  $\frac{\partial t}{\partial z}$  も計算する。

走時の震央距離についての微分  $\frac{\partial t}{\partial \Delta}$  は式(17)を  $\Delta$  で微分した式、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T_p}{\partial \Delta} &= \sum_{i=1}^5 i A_{p_i} \Delta^{i-1} \\ \frac{\partial T_s}{\partial \Delta} &= \sum_{i=1}^5 i A_{s_i} \Delta^{i-1} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

を用いて、走時を計算したのと同じ方法で深さに対する補間をして求めた。

### (3) 走時の特徴

今回の走時の特徴をみるために図 4(a)に 8 km/sec で引き直した P 波走時曲線を、また図 4(b)に 4.5 km/sec で引き直した S 波走時曲線を示す。これらからわかるように、P 波も S 波も  $P_n$  波、 $S_n$  波が初動となって現われるのは深さ 0 km の地震については震央距離約 150 km からである。これまで使用してきた市川・望月の走時表との相違を示したのが図 5 である。今回の速度構造はモホ面直下で市川・望月のものより速度が速いので、 $P_n$  波、 $S_n$  波が初動とな

る領域では今回の走時が市川・望月の走時よりかなり速くなっている。その差は、たとえば深さ 0 km の走時では震央距離 200 km 付近で P 波で 1 秒以上、S 波では約 2 秒である。地殻内を主に通る波線の走時については、両者はほぼ等しい。

$\frac{\partial T}{\partial \Delta}$  と  $\frac{\partial T}{\partial z}$  の  $\Delta$  に対する変化の様子をそれぞれ図 6 と図 7 に示す。地殻内の地震に対する  $\frac{\partial T}{\partial \Delta}$  は  $P_n, S_n$  が初動として現われ始める震央距離でやや振動するが、解の計算にあたってはほとんど問題とはならない量である。 $\frac{\partial T}{\partial z}$  はモホ面付近の地震に対して震央距離が 100 km 以上では 0 に近くなる。このことは震央距離 100 km 以上の観測からではこの付近の深さを決めることが非常に難しいことを示している。

今回採用した標準速度構造から計算される射出角を付録 2 に示す。

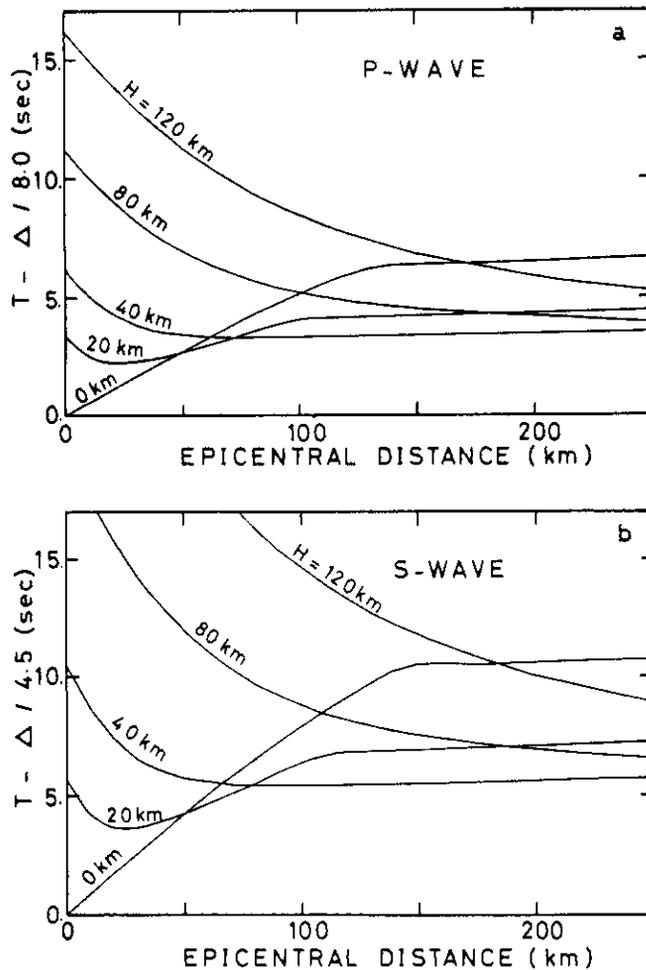


図 4 震源決定に使っている標準走時の走時曲線。(a) 8.0 km/sec で引き直された P 波走時曲線。(b) 4.5 km/sec で引き直された S 波走時曲線。

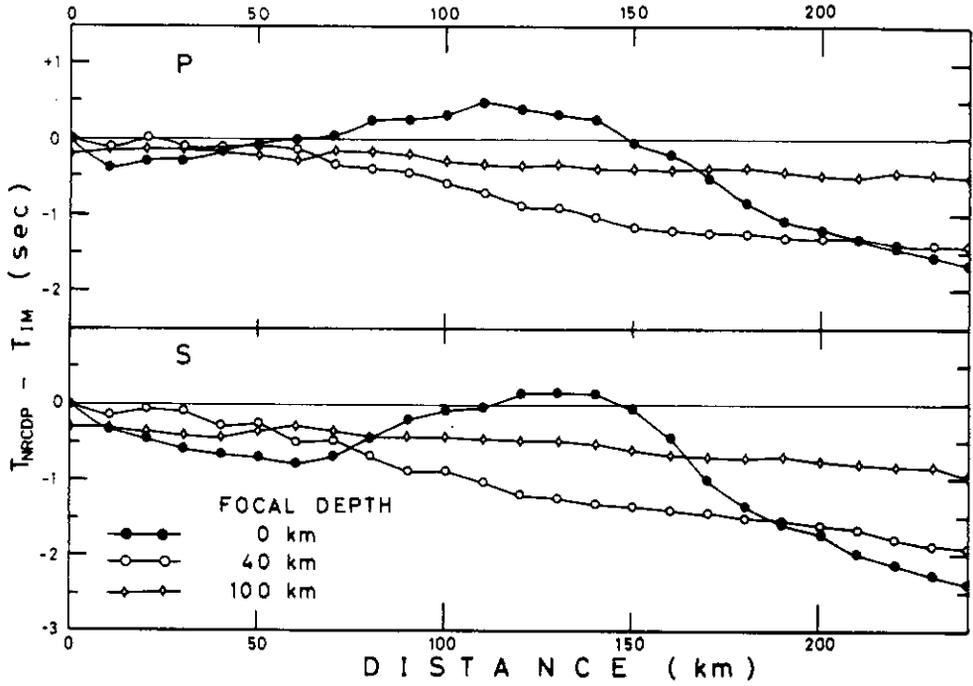


図5 防災センターの標準走時と市川・望月の走時との差。上図はP波、下図はS波。

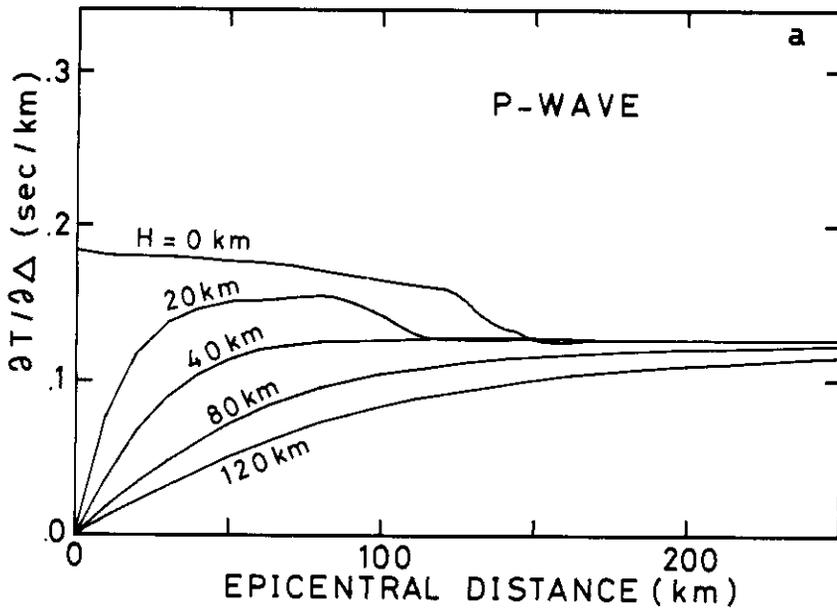


図6(a) 標準走時の震央距離による微分値 $\partial T/\partial \Delta$ 。5つの深さでの値が震央距離に対して描かれている。P波。

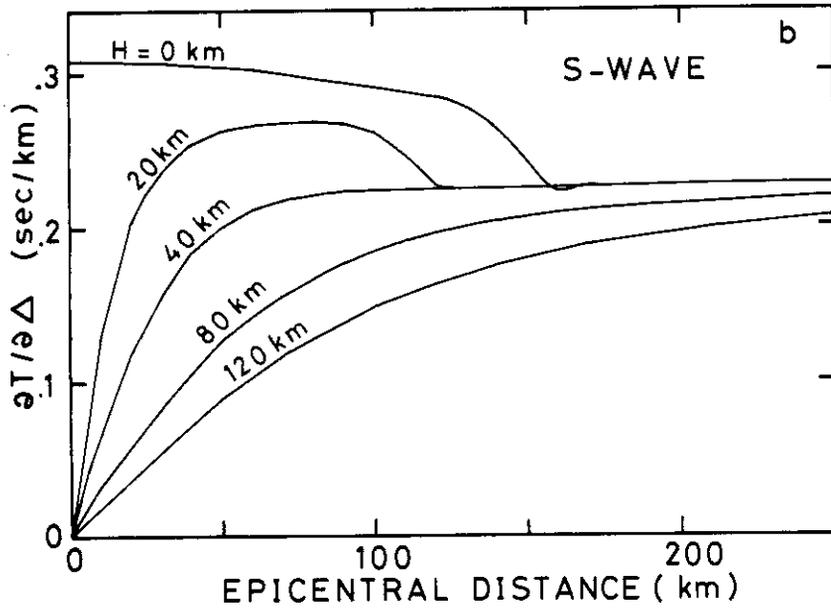


図6(b) 標準走時の震央距離による微分値  $\partial T/\partial \Delta$ 。5つの深さでの値が震央距離に対して描かれている。S波。

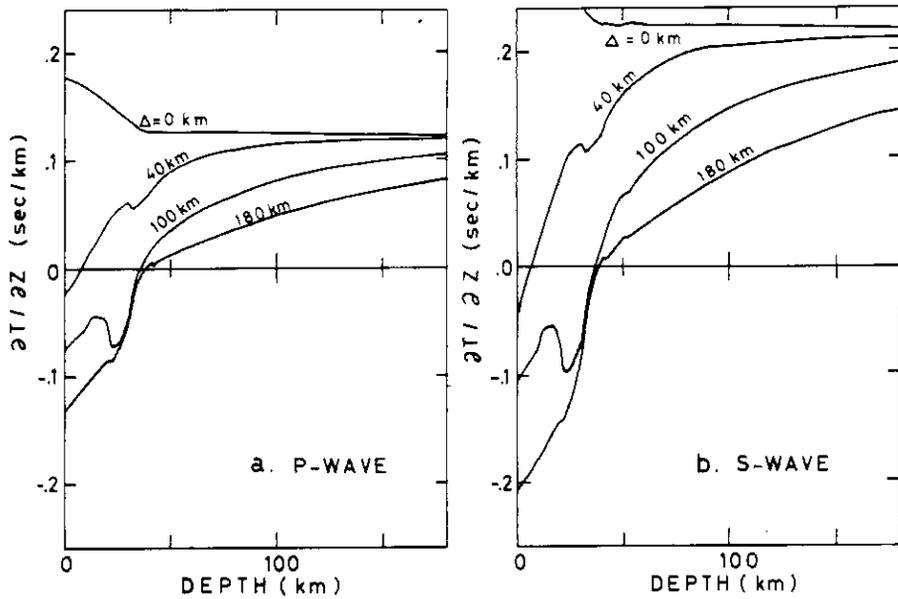


図7 標準走時の震源の深さによる微分値  $\partial T/\partial z$ 。4つの震央距離での値が震源の深さに対して描かれている。(a) P波。(b) S波。

## II・4 震源計算プログラム

実際の計算プログラムについて説明する。プログラムの主な流れは図8に示す通りである。

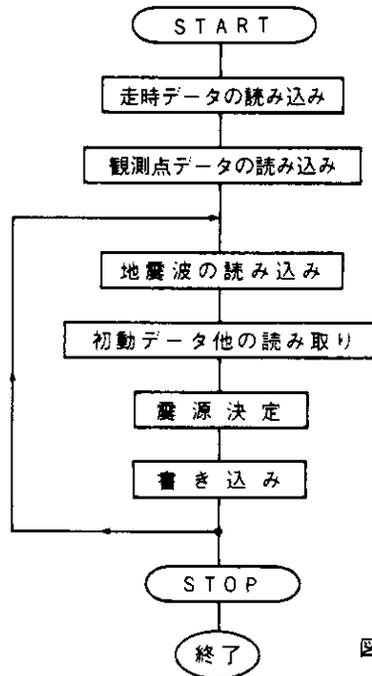


図8 定常震源決定作業の流れ図。

まず、計算の開始とともに走時係数データと観測点座標データをディスクから読み込む。次にオペレータが地震波データをグラフィック・ディスプレイで検測し、その終了とともに震源計算の実行を計算機に対して命令する。これによって読み取られたデータはまず1つの地震かどうか判定され、複数の地震と判定された場合には地震ごとに仕分けられる。1個の地震に対応するデータ・セットごとに震源が計算され、その結果がディスクとテレタイプに出力される。このとき、テレタイプに出力された走時残差から明らかにオペレータの読み取りの誤りであると判断されるデータが見出されたときは、このデータを再び読み直し、震源を計算し直す。1つのファイルの震源計算が終了するとオペレータは次のファイルのデータの処理に進む。全てのファイルについて検測と震源計算の作業が終了すると、オペレータは終了命令を出し、計算プログラムはここで止まる。

次に図9の流れ図に沿ってやや詳しく震源の計算過程について説明する。

- ① まず、計算に必要な定数が設定される。
- ② 次に読み取られたデータに対して、観測点データとの対応を行う。また、地理緯度を地心緯度に変換する。

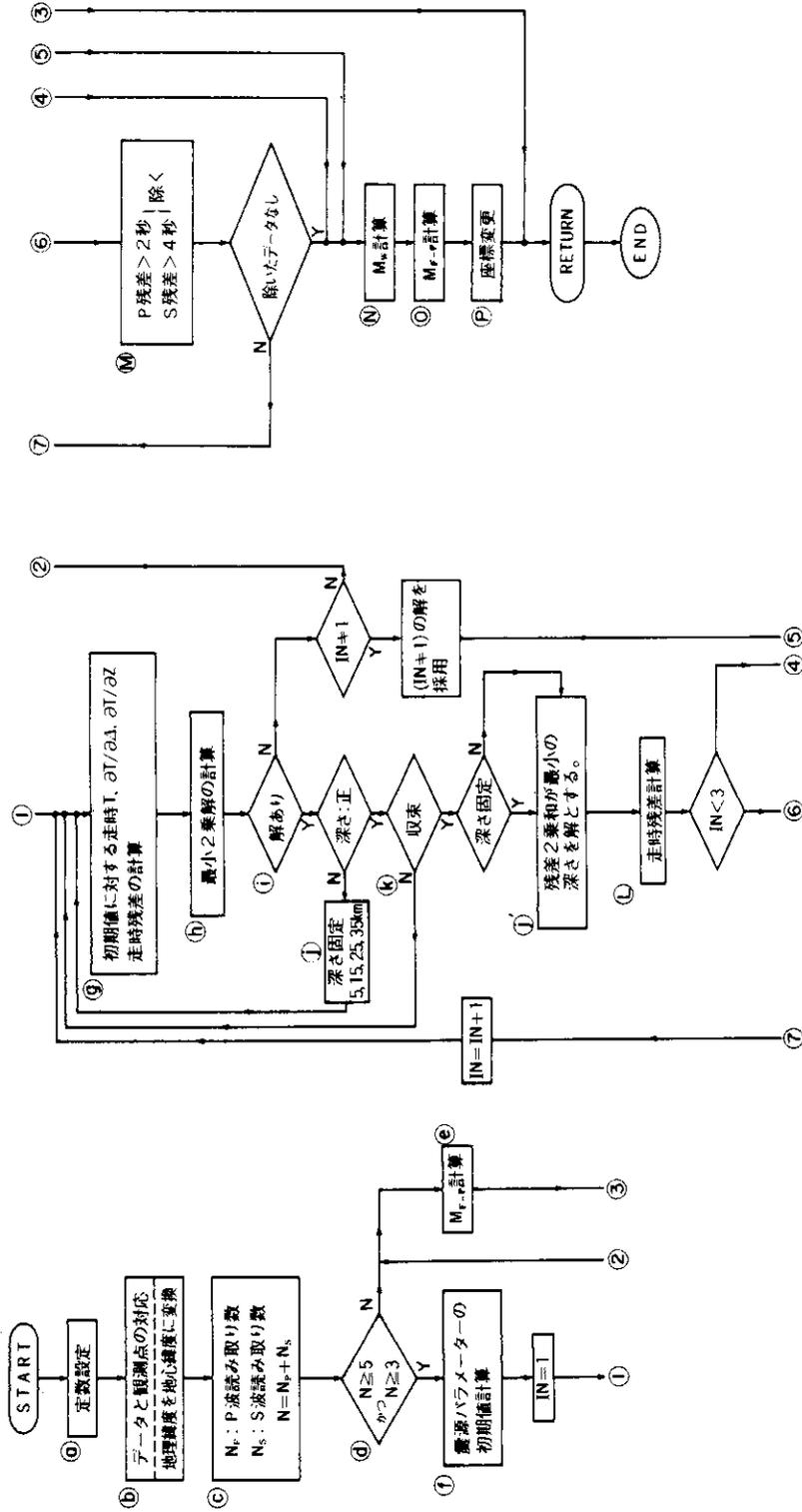


図9 震源計算プログラムの流れ図.

- ㉔ P波のCランク以上の読み取り数を $N_p$ , S波のCランク以上の読み取り数を $N_s$ とし,  
 $N = N_p + N_s$ とする.
- ㉕  $N$ が5以上,かつ $N_p$ が3以上のものについて震源計算がなされる.
- ㉖ ㉕の条件を満たさないものについては振動継続時間マグニチュード ( $M_{F-p}$ )のみを決定する.
- ㉗ 震源計算するデータに対して震源パラメータ初期値を決定する.
- ㉘ 初期値に対する走時残差と走時の微分値 $\frac{\partial T}{\partial A}$ ,  $\frac{\partial T}{\partial z}$ を各観測値に対して計算する.
- ㉙ 最小2乗法により解を求める.
- ㉚ 初期値の深さが走時データ区間外のものについては,次に述べる㉛による反復後であれば前回の値をもって解とする.また,反復前ならば解は求めず $M_{F-p}$ のみを求める.震央距離が走時データ区間外のデータは用いない.反復の途中でデータ数が条件以下になってしまったら,次に述べる㉛以前なら解は決まらなかったとし, $M_{F-p}$ のみを求め,㉛の操作後ならば前回の解を採用する.
- ㉛ ①, ② 計算途中で深さが負になった場合は深さを5, 15, 25, 35kmの4つに固定し,それぞれについて解を求め,残差2乗和が最小の深さを解として採用する.
- ㉜ 解の収束の判定を行う.収束したと判定されたものはこれをもって震源パラメータとする.収束しないものは,この値を初期値として㉘へ戻り反復計算を行う.尚,10回繰り返しても収束しないものに対しては10回目の値をもって震源解とする.
- ㉝ 求められた解に対する走時残差を計算する.
- ㉞ P波残差が2秒, S波残差が4秒を越えるデータがあった場合は,これを除いて再度震源を計算する.そのようなデータがない場合は,この解をもって震源パラメータとする.データを除いた結果,データ数が規定の数未満になった場合にもこの解を震源パラメータとして採用する.この操作は2回行う.
- ㉟ 振幅マグニチュード ( $M_w$ )を決定する.
- ㊱  $M_{F-p}$ を決定する.
- ㊲ 必要な座標変換を行う.

今回の改訂にともなって,これまで5観測点以上のP波データが必要であったものが最低3観測点のデータからでも震源が決められるようになった.また,反復計算の途中で走時残差が基準値以上になったデータは除いて再計算するので,初動の読み誤りや異なる地震データの混入などの影響はかなり避けられる.

マグニチュードの決め方は,振幅マグニチュードは渡辺(1971)の方法で,また振動継続時間マグニチュードは立川(1983)の方法である.

それぞれのサブ・プログラムと其中的の主なプログラムの解説は付録3に示す.

### Ⅲ. 震源決定精度と検知能力

改定された震源計算プログラムは1983年4月1日から使用されている。震源決定精度や検知能力は本来、観測点数やその分布等の観測条件と震源計算方法の2つの重ね合わせによって決まるものなので、観測条件が変わればこれらは変化する。防災センターでは観測点建設が昭和58年度完成を目ざして進行している途中で、観測条件は年ごとに良くなっている。そのため、今回の震源決定方法による精度や検知能力は改訂が行われた1983年4月以降のデータによって調べられるべきものであるが、まだデータが十分に蓄積されていないのでここでは主に1982年と1983年8月までのデータを用いて調査する。それゆえ、現在の精度や検知能力はここに示すものより若干良くなっているはずである。

ここではまずデータの取り扱いや用いた標準走時について走時残差等から検討する。次に震源精度と検知能力について述べ、最後に今回のプログラムで決定された震源分布の特徴について述べる。

#### Ⅲ. 1 データの取り扱いと標準走時の検討

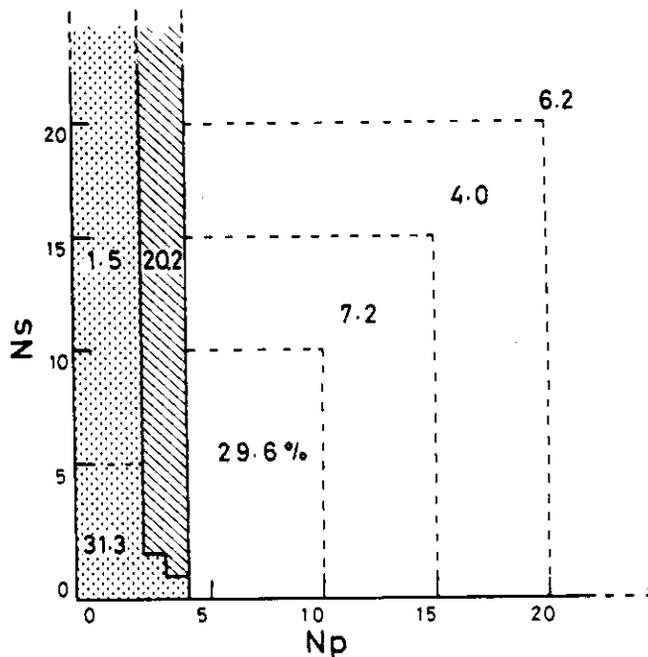


図10 1982年1月から12月のデータのP波読み取り数 $N_p$ とS波読み取り数 $N_s$ の関係。全地震数に対する割合が示されている。

今回の改訂に伴ってP波データに加えてS波データも使用するようになったが、まずP波、S波がどの程度読み取られているかをみる。図10は1982年の全データについてP波の読み取り数とS波の読み取り数の関係を調べたものである。この図で砂目で示した部分はデータ数が規定の数 ( $N = 5$ ,  $N_p = 3$ ) より少なく震源が計算されない地震の割合である。この割合は全体の約33%である。また、斜線で示した部分は改訂前の震源計算プログラムでは

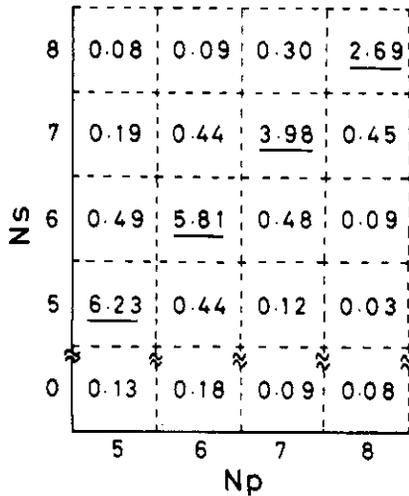


図11  $N_p$  と  $N_s$  の関係、図10の対角成分付近と  $N_s = 0$  での値を示した、下線を付した値は  $N_p = N_s$  での値。

データ数が規定の数 ( $N_p = 5$ ) より少ないとして震源が計算されなかったが、この改訂後、震源が計算されるようになった地震を示している。この割合は全体の約20%におよぶ。残りの部分は改訂前も現在もともに震源が計算されている地震で、全体の約47%である。すなわち、取り込まれた地震データの約7割が震源計算されていることになる。また、この割合は改訂前の約1.4倍である。図11は図10の一部をさらに詳しく示したものであるが、これを見ると  $N_p$  と  $N_s$  が等しいデータが圧倒的に多いこと、すなわちP波もS波も同じ程度の率で読み取られていることがわかる。

次に読み取りデータに付けられたランクの割合について調べる。図12は震源が決定された地震について震央距離20kmごとに読み取りランクの割合がどう変化するかを示した図である。P波では震央距離40km以内のデータは5割以上がAランクで読み取られている。また、全ての震央距離にわたってDランクの割合は2%未満と非常に少ない。震央距離が大きくなるに従ってAランクの割合が減り、Cランクの割合が増すことがわかる。Bランクの割合はあまり変化せず、全ての震央距離で約30%である。S波についてはAランクはほとんどない。Bランクの割合は震央距離20km以下で約40%で、100 km付近では約10%であり、ほとんどのデータがCランクとして読み取られていることがわかる。Dランクの割合はS波でも少なく、

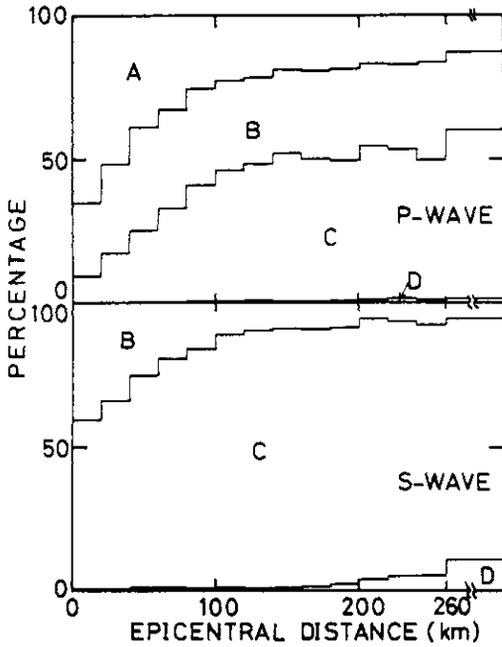


図12 震央距離ごとの読み取りランクの割合、震央距離を20kmごとに区切って示している。震央距離260km以上は1つにまとめた。

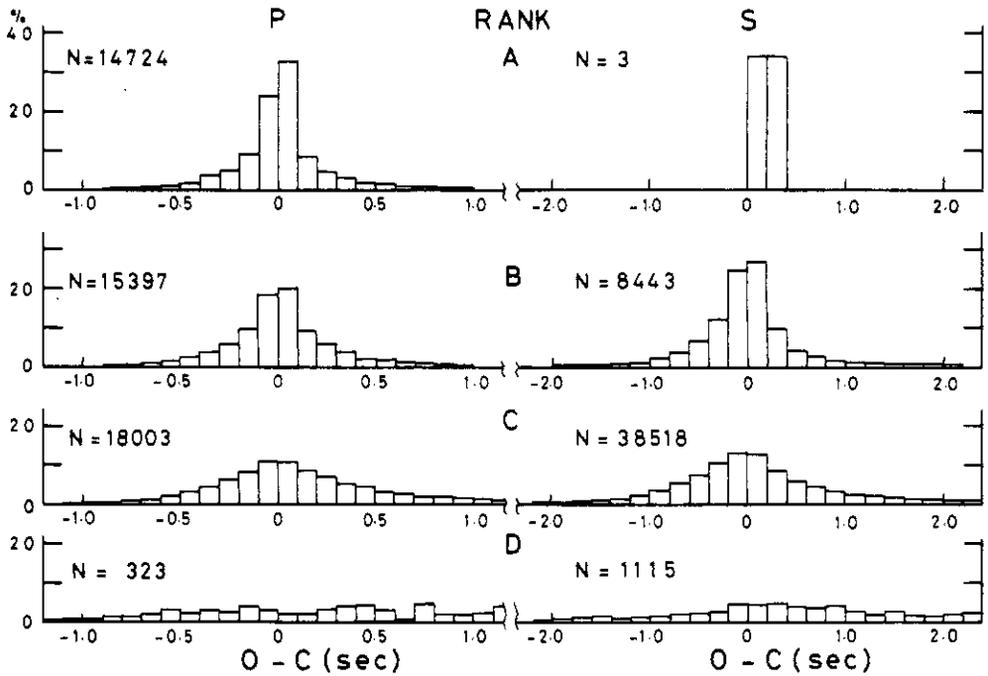


図13 読み取りランクごとの走時残差の割合、走時残差は0.1秒間隔に区切り、1つのランク内に占める割合を示した、Nで示される数字はデータ数。

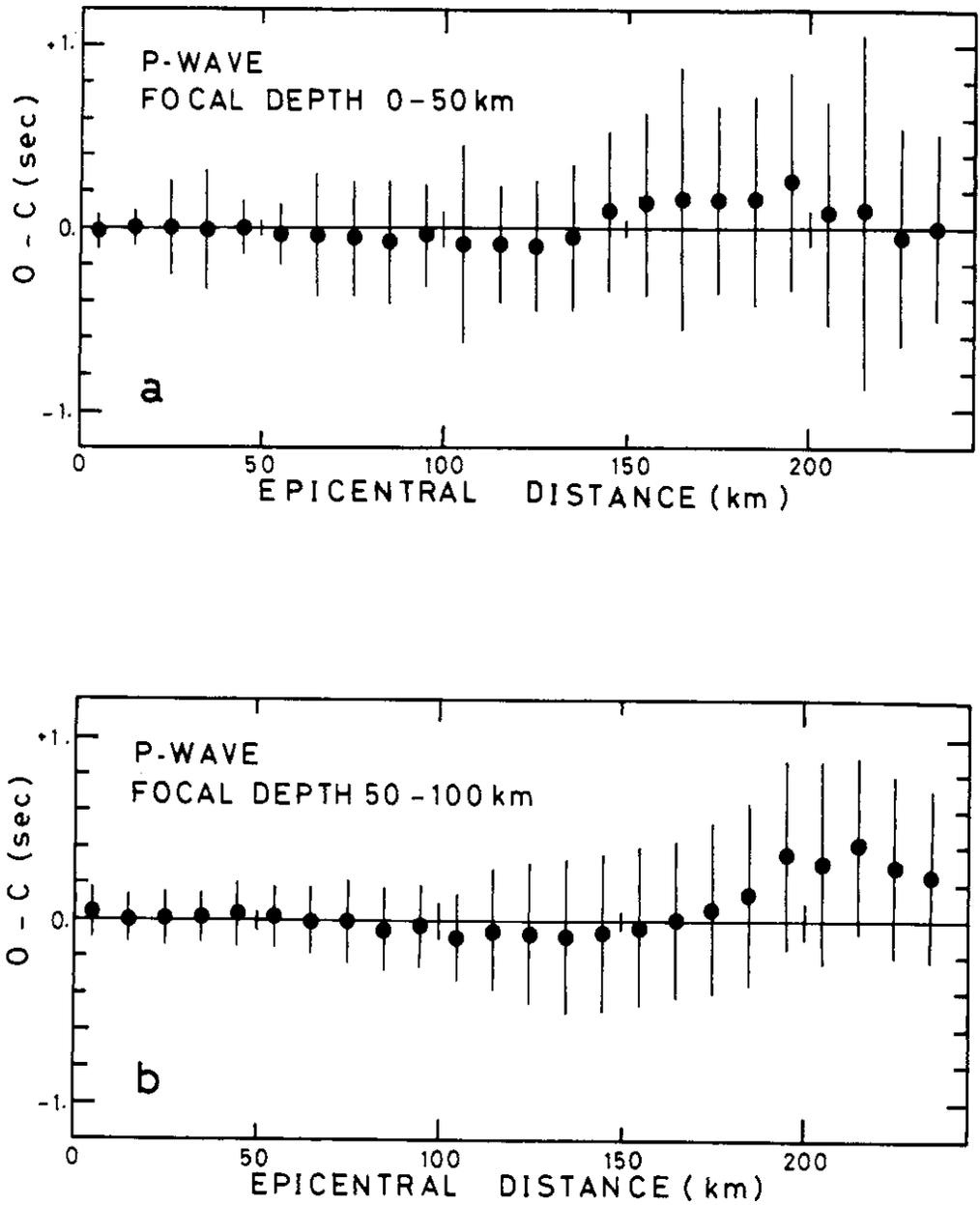
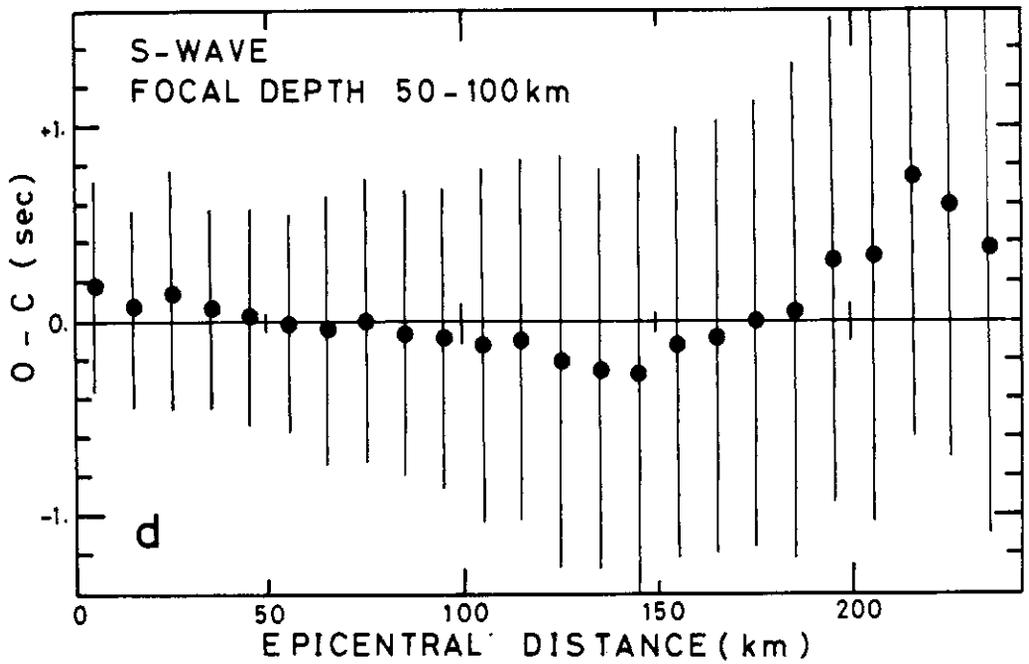
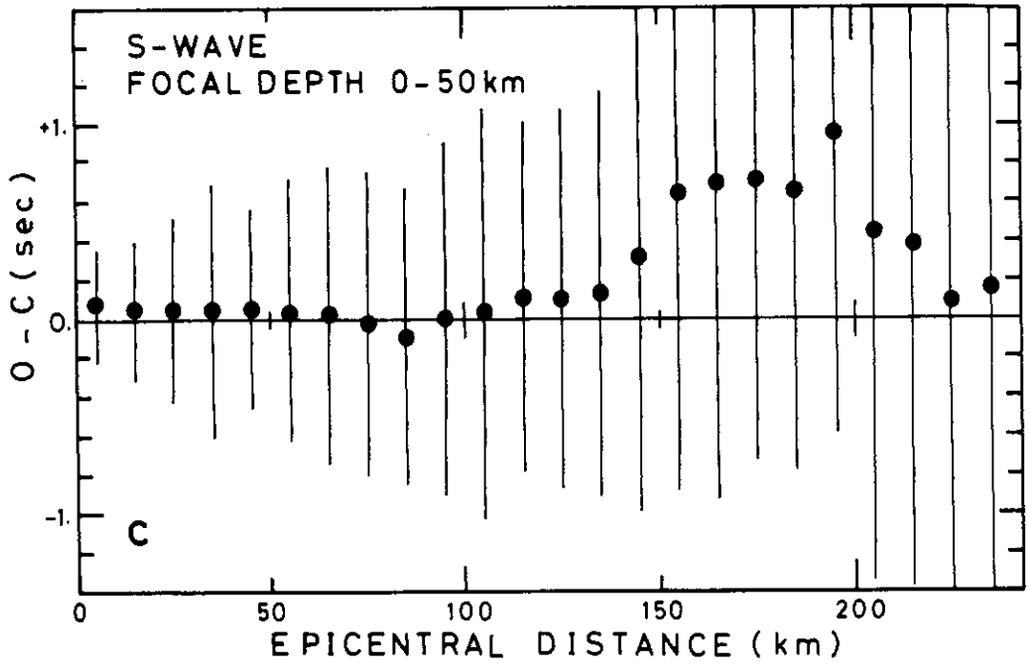


図14(1) 震央距離ごとの走時残差の平均値。震央距離10 km ごとに全観測値の平均値が示されている。縦棒は標準偏差を示している。(a) P波、震源の深さ0～50kmの地震。(b) P波、震源の深さ50～100kmの地震。(c) S波、震源の深さ0～50km。(d) S波、震源の深さ50～100km。



震央距離 200 km 以下では 5 % 以下である。

図13はかなり良く震源が決められた地震（震央の計算誤差が 5 km 以内、深さと震源時の計算誤差がそれぞれ 10 km 以内と 0.5 秒以内）について走時残差の分布を読み取りランクごとに調べたものである。走時残差はほぼ 0 秒を中心に分布していることと、読み取りランクが低くなるにつれて分布の山型がなだらかになっていることがわかる。これは、ランクによる重みをつけられて震源が決められているので、当然その結果が反映されているわけだが、かつ、実際に精度の悪いデータに対しては低いランクが正しく付けられていることにもよっている。

図14は震源の深さ別に震央距離 10 km ごとの走時残差の平均値とその標準偏差を示したものである。P 波は B ランク以上のデータ、S 波は C ランク以上のデータに基づいている。これを見ると震央距離 150 km 以内では走時残差の平均値が P 波で  $\pm 0.1$  秒以内、S 波でも  $\pm 0.2$  秒以内に収まっていることがわかる。これは最小 2 乗法で決定された震源が妥当なものであることを示している。深さ 50 km 以浅の地震については、震央距離 150 km から 200 km のあいだで P 波、S 波ともに正の走時残差が見られ、S 波ではその値が 0.5 秒を超えている。このことは今回採用した標準速度構造（図 3）はほぼ満足のいくものであるが、 $P_n$  や  $S_n$  が初動となり始める部分についてさらに検討する必要があることを示している。すなわちモホ面の深さ、モホ面直下の地震波速度、あるいは地殻内の速度勾配等についてである。また、S 波については  $S_n$  波の初動が固有周期 1 秒の地震計では非常にとらえにくいいため、実際の到着時刻よりも後を S 波到着時刻として読んでいる可能性もある。

走時残差の標準偏差は図14によれば震央距離が大きくなるに従って大きくなっている。これは震央距離による重みを付けているためでもあるが、またこのような重みを付けることの妥当性を示しているとも考えられる。走時残差が平均値をほぼ 0 秒としてかなりばらついていることを考えると、速度構造の水平的な不均質はかなり大きそうである。

### Ⅲ. 2 震源決定精度

今回の震源計算結果の精度を検討するためにまず計算誤差の分布をみる。図15は 1982 年に観測網内とその周辺に震源が決められた地震の震源パラメータ、経度、緯度、深さ、震源時の計算誤差の分布である。この図から誤差の中央値は経度と緯度については約 1 km、深さについてはそれよりやや悪く約 1.5 km、震源時については約 0.15 秒であることがわかる。そして、95% 以上の地震はその計算誤差が経度、緯度、深さについては 10 km 以内で震源時には 1.5 秒以内であることもわかる。

次に観測条件の違いによって震源パラメータがどのように動くかを調べてみる。このために、多くの観測点で初動が読み取られた地震について、ほぼ P 波の到着時刻順に震源計算に使用するデータを増していき、それに伴う震源パラメータの動きを見ることにする。図16に調べた地震の震央が示されている。結果を図16 b ~ g に示す。これを見ると観測点数が 10 点

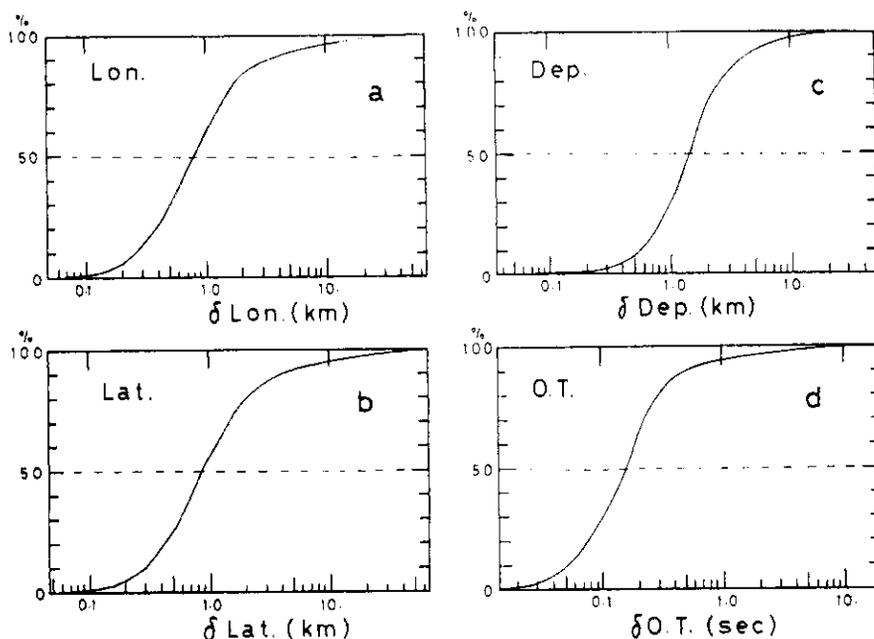


図15 震源パラメーターの計算誤差の割合。縦軸は積算の割合。データは1982年に観測網内とその周辺に震源決定された地震。(a) 経度, (b) 緯度, (c) 深さ, (d) 震源時。

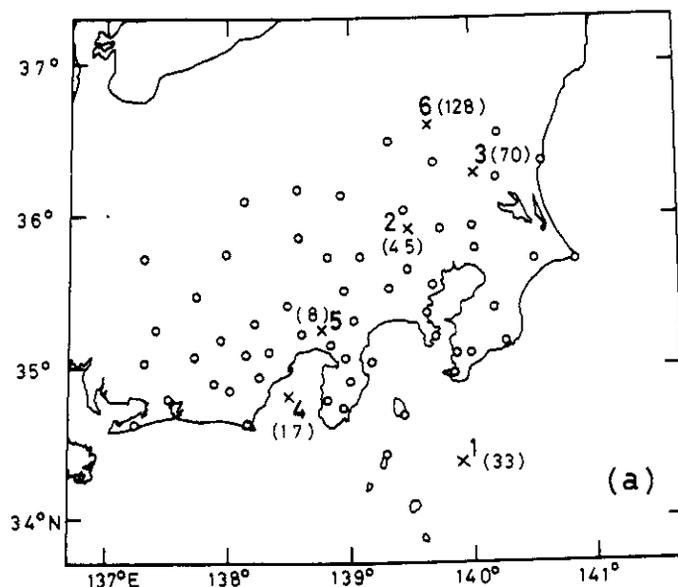
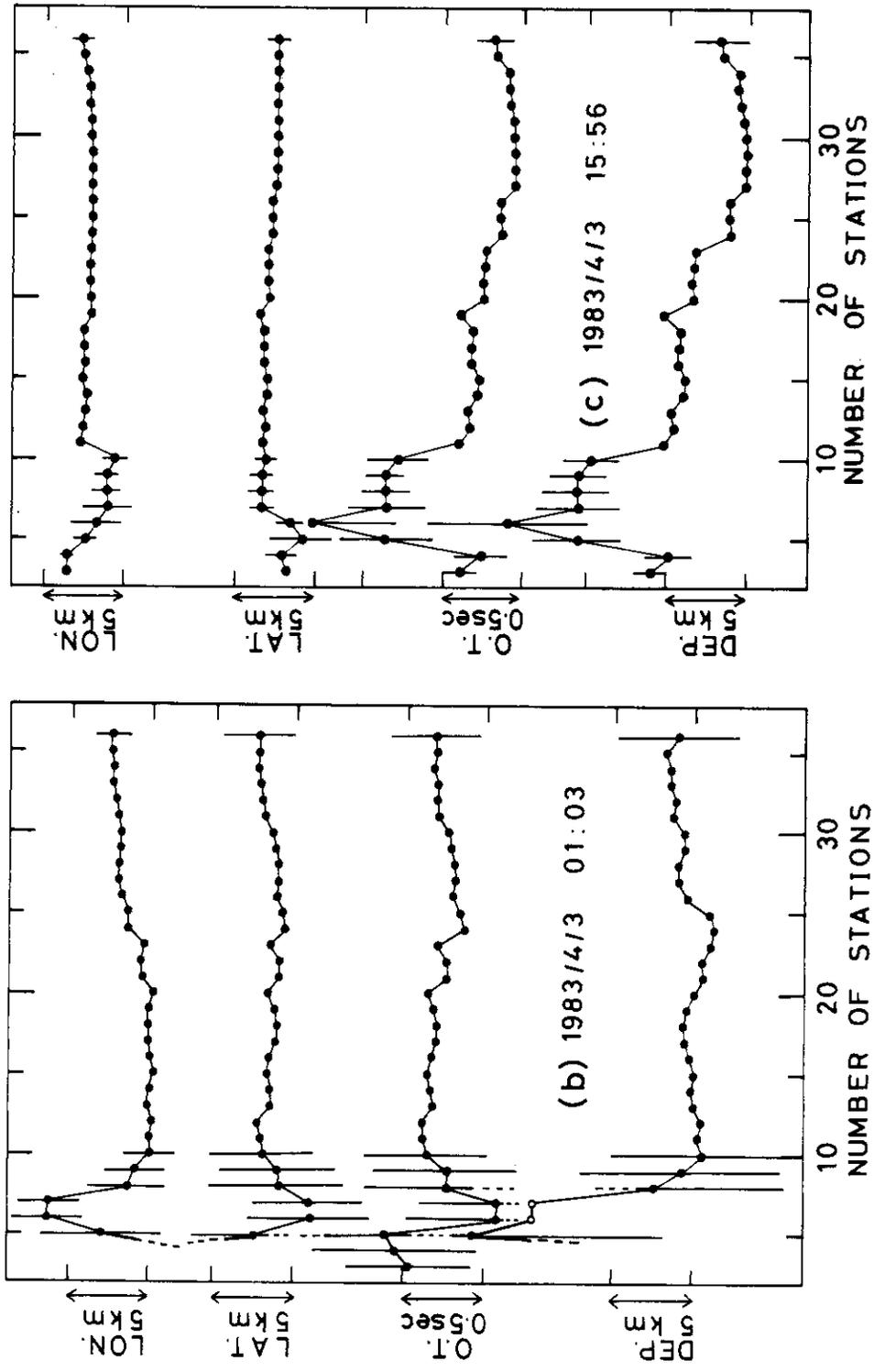
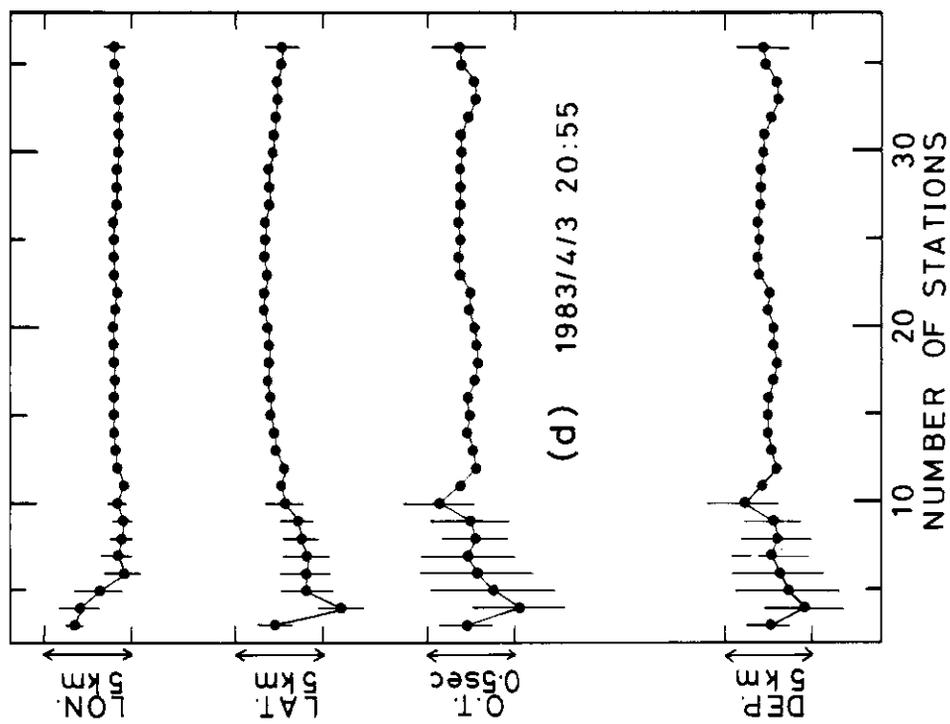
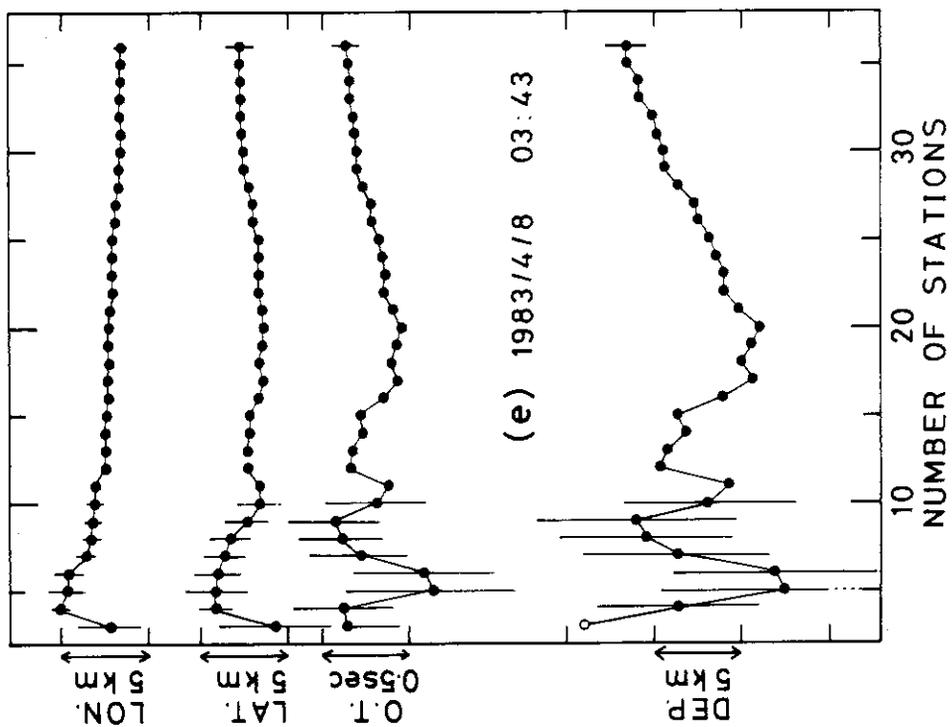
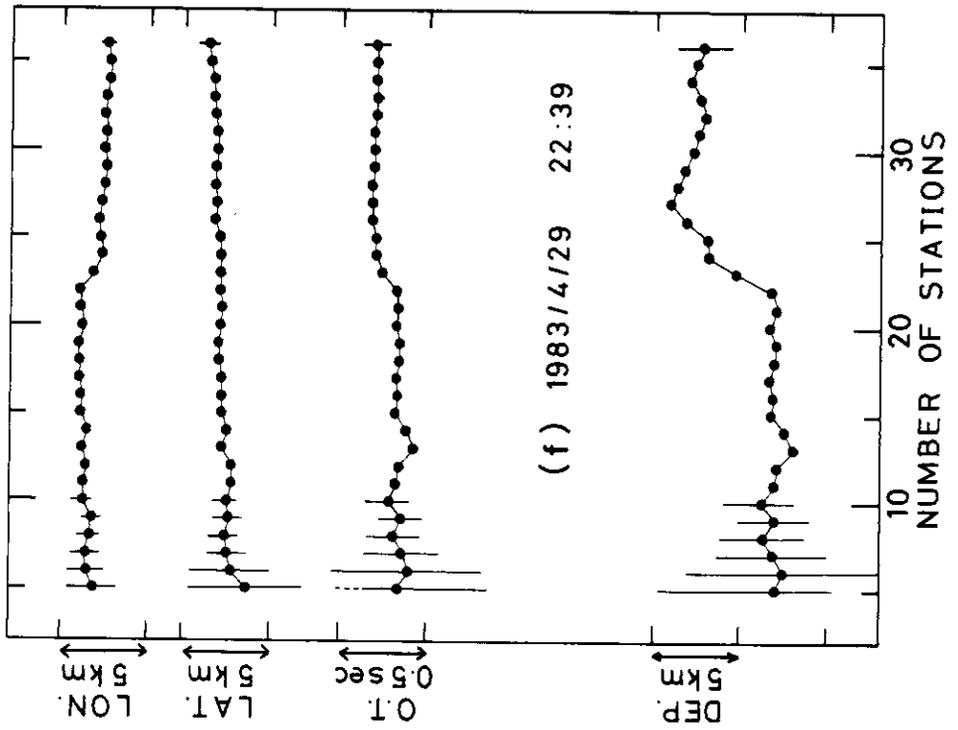
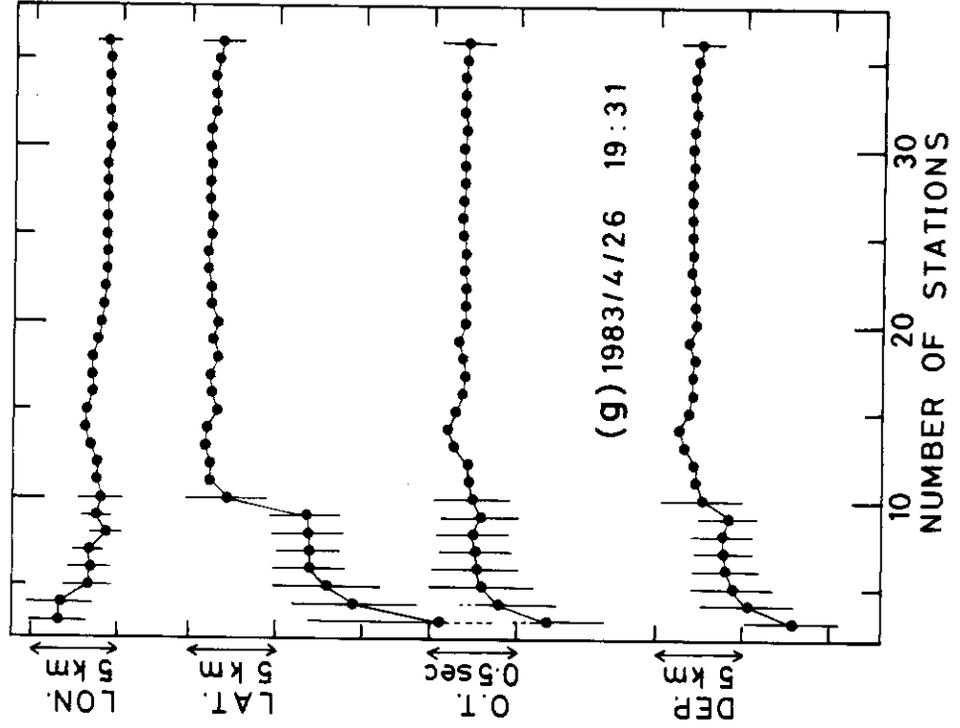


図16 観測点数を変化させたときの震源計算結果の変化。(a) 調べた地震の震央 (×印) と観測点の分布 (白丸), ( ) 内の数字は震源の深さ (km) を示す。(b) 図 a の地震 1 についての震源計算結果の変化。縦棒は標準誤差で観測点数10点以下と36点の結果について示されている。深さの変化において白丸で描かれた点は深さが固定されたことを示す。(c) 地震 2 について, (d) 地震 3 について, (e) 地震 4 について, (f) 地震 5 について, (g) 地震 6 について。







以上になると解は安定しているが、観測点数が少ないときには不安定であること、とくに浅い地震や観測網からはずれた地震で解が大きく変動することがわかる。とくに深さについては10km以上も変動することがある。このことは計算誤差は十分小さくても、観測点数等の観測条件によって震源位置は数km~10kmくらいは動くことがあることを示している。それ故、本震と余震の分布や群発地震の分布等を調べるときは注意を要する。本来、震央距離による重みの導入によってこのような震源パラメータの不確定さは避けられるはずであったが、さらに改善しなければならない問題として残された。この理由はおそらく速度構造の水平的な不均質さが予想以上に大きいこと、そして、それは標準走時に対して系統的なずれとして現れているためであろう。

これらのことから、観測網内とその周辺の大多数の地震の震源決定精度は震央については2~3km以内、深さについては5km程度、震源時刻については0.5秒程度と考えるのが適当であろう。

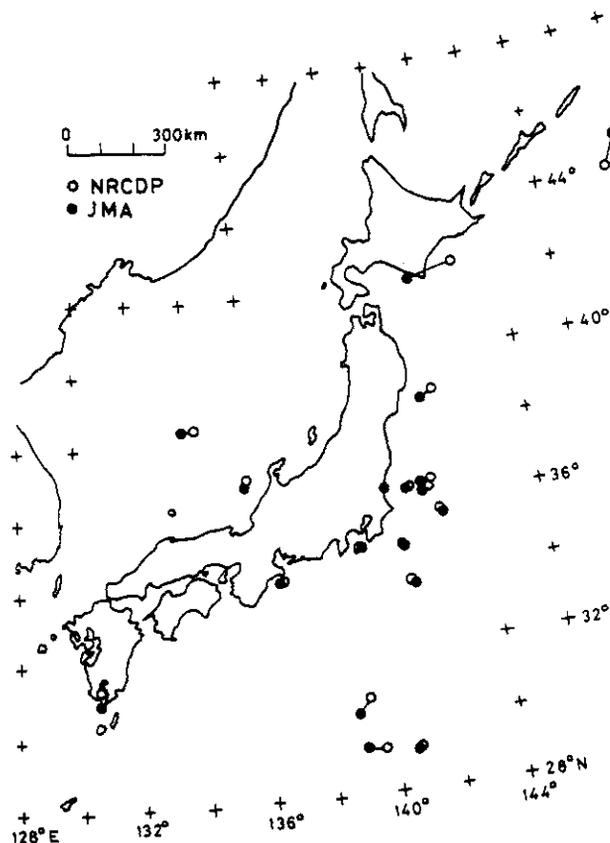


図17 防災センターと気象庁（JMA）とで決められた震源の比較，データは1982年1月から9月の間で日本およびその周辺に発生した $M_{JMA}$ が5.5より大きい地震。震央を示す。

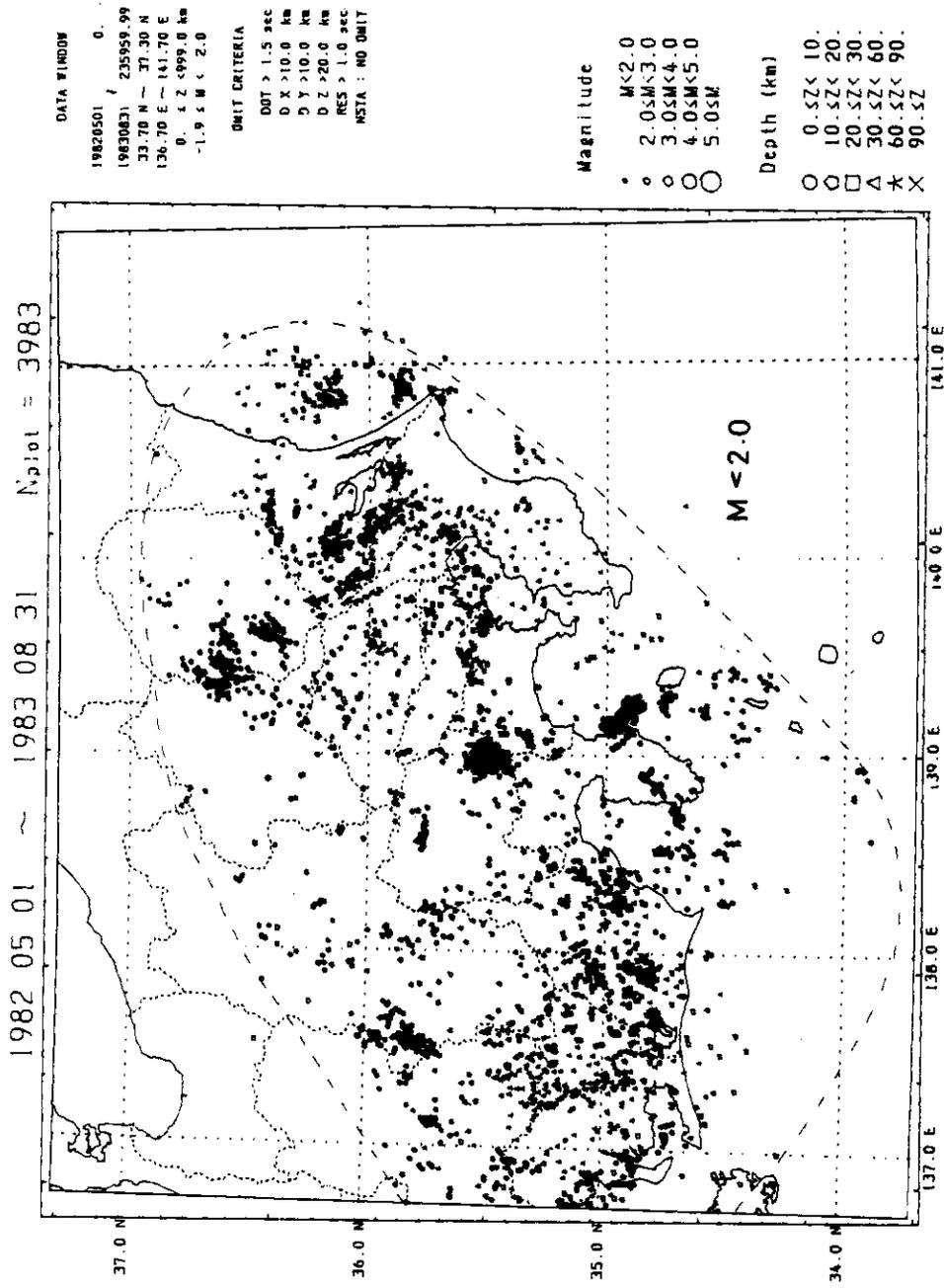


図18(a) マグニチュードの上限を定めて描いた震源地図。データは1982年5月から1983年8月。マグニチュードの上限は2.0。

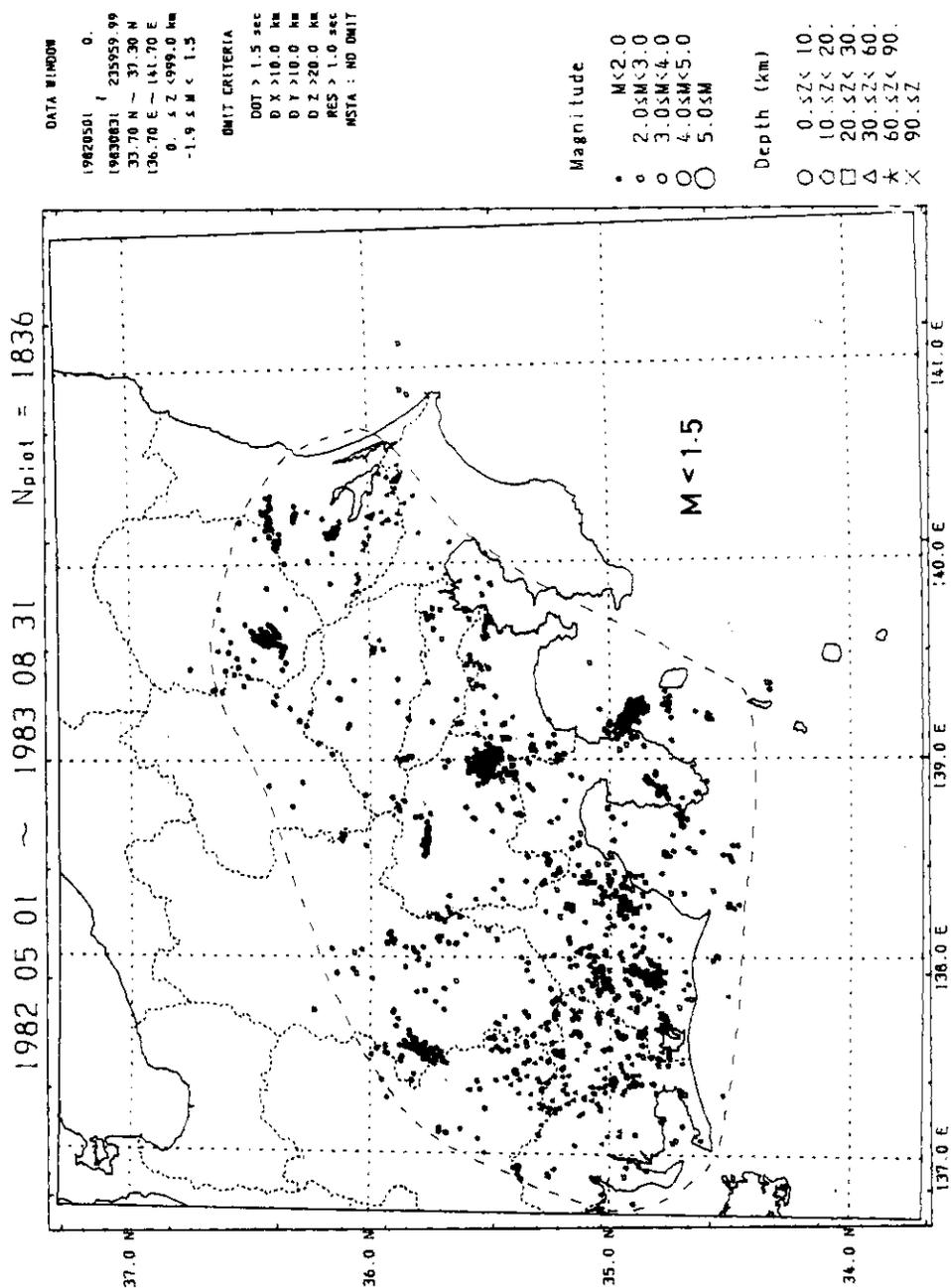


図18(b) マグニチュードの上限を定めて描いた震源地図。データは1982年5月から1983年8月。マグニチュードの上限は1.5。

さらに、観測網外の地震の決定精度を調べるために気象庁によって決められた日本およびその周辺の主な地震(1982年1月-9月)で $M_{JMA}$ が5.5以上のものについて防災センターで求められた震源と比較してみた。図17はその結果である。震央位置は50km以上も離れているものもあるが、防災センターの地震観測が観測網とその周辺を対象としていることを考えるとほぼ満足できるものと考えられる。震源の深さについては観測網に近いところではほぼ20km以内で一致し、観測網から離れた地震でも違いは50km程度である。

### Ⅲ. 3 地震検知能力

防災センターの地震観測網内とその周辺部について、どのくらい小さい地震まで震源が決められているかを調べる。このために、マグニチュードの上限を定めた震源分布図を作成した。図18にその例として、マグニチュードの上限をそれぞれ2.0, 1.5とした震央分布図を示した。マグニチュードの上限が大きくなるにつれて検知される地震の分布範囲の広がっていく様子がわかる。この図を基にして検知範囲の等マグニチュード線を描いたのが図19である。深さについては $M \geq 2.5$ の地震は90km以深まで、 $M \sim 2.0$ の地震は深さ約90km、 $M \sim 1.5$ だと深さ約60km、 $M \sim 1.0$ だと深さ約30kmまで震源が決められている。立体的な等マグニチュード面の形状は観測網内で底の平らなフライパン状をしていると考えられる。

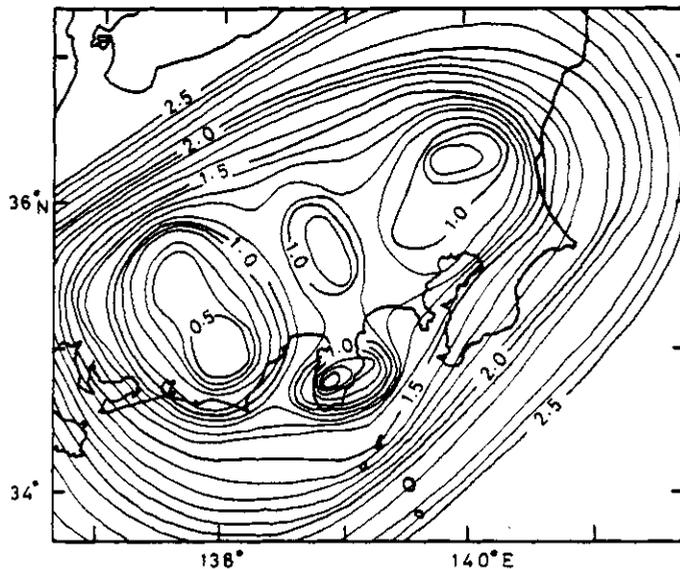


図19 防災センターの地震観測網による震源検知限界の等マグニチュード線。1982年5月から1983年6月のデータによって推定した。

ここで推定された検知能力は、そのマグニチュード以下の地震は検知できないという検知限界というべきものであって、それ以上の大きさの地震は必ず震源決定されるというものではない。そのことを考慮して、この図から次の事が読み取れる。

- (a) 観測網内で均質な震源データが得られるのは少なくともマグニチュードが2.0より大きい地震についてである。
- (b) 静岡県中部、伊豆半島内、山梨県東部、茨城県南西部では $M \leq 1.0$ の極微小地震についても震源決定可能である。
- (c) 房総半島から神奈川県南部にかけては観測点数のわりに検知能力が低い。これは観測点の感度が低いためと考えられる。

図19は1982年5月から1983年6月のデータに基づいているので、今後観測点が整備されれば検知能力はさらに高くなると考えられる。

### Ⅲ. 4 関東・東海地方の震源分布

関東・東海地方の震源分布についてはこれまでに青木(1980)、津村(1981)、石田・堀江(1982)、笠原(1983)等多くの研究がある。これらの研究によりこの地方の地震活動はいくつかの群に分けられることがわかってきているが、大きくは上部地殻内の地震活動と下部地殻・最上部マンツルの地震活動に分けられる。前者は内陸部と伊豆半島周辺でとくに活発であり、また群発地震となるなど比較的密集して発生する傾向にある。後者は日本海溝付近から西へ深くなる深発地震面を形成する地震とその上側で特に関東地方下で発生する地震、および東海地方で発生するいわゆる地殻下地震と呼ばれる地震である。とくに深発地震面となる地震はもぐり込んだ太平洋プレート内部の地震と考えられるが、2重の面となっている(津村, 1973; 笠原, 1981; 石田・堀江, 1982; 鶴川・井元, 1982)。ここでは、今回の方法で再決定された震源分布からそれぞれの地震活動の特徴を調べ、また現行の震源決定方法の問題点も考える。

#### (1) 上部地殻内地震

深さ20km以浅の震源分布を図20に示す。これを見てわかるように関東・東海地方で上部地殻内地震が特に活発な地域は、群馬・栃木県境、岐阜・長野県境、伊豆半島周辺等である。また、やや深いが山梨県東部も活発な地域である。一方、関東平野から房総半島にかけて不活発なことも目につく。それぞれの群発域についてその特徴を見る。

まず、群馬・栃木県境の地震活動の拡大震源分布図を図21に示す。図からわかるように北側の南北に線状に分布する群と南東側のやはり南北に分布する群、および西側にかなり拡が

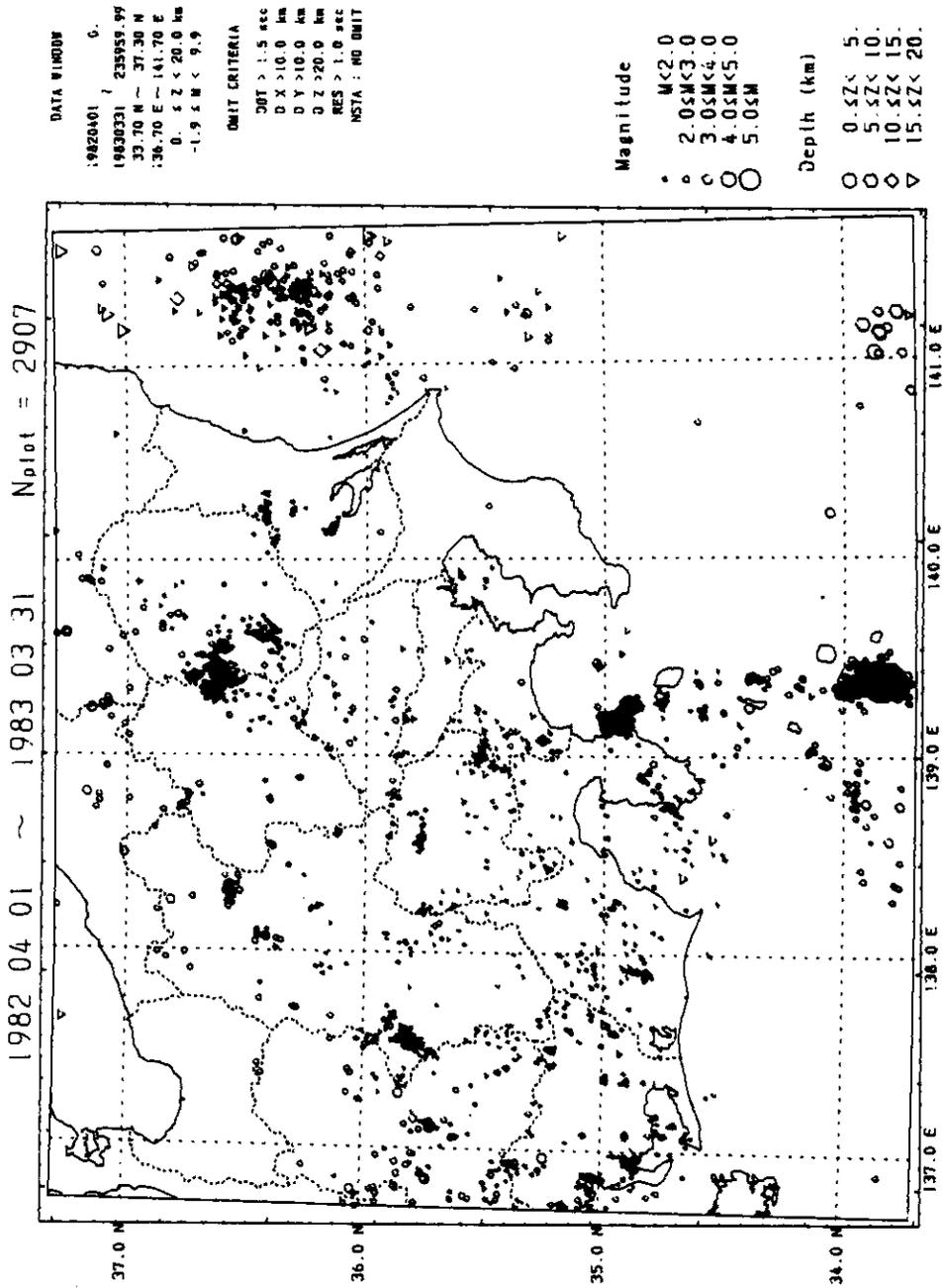


図20 深さ20 km以浅の地震の震央分布図。データは1982年4月から1983年3月の震源決定された地震。

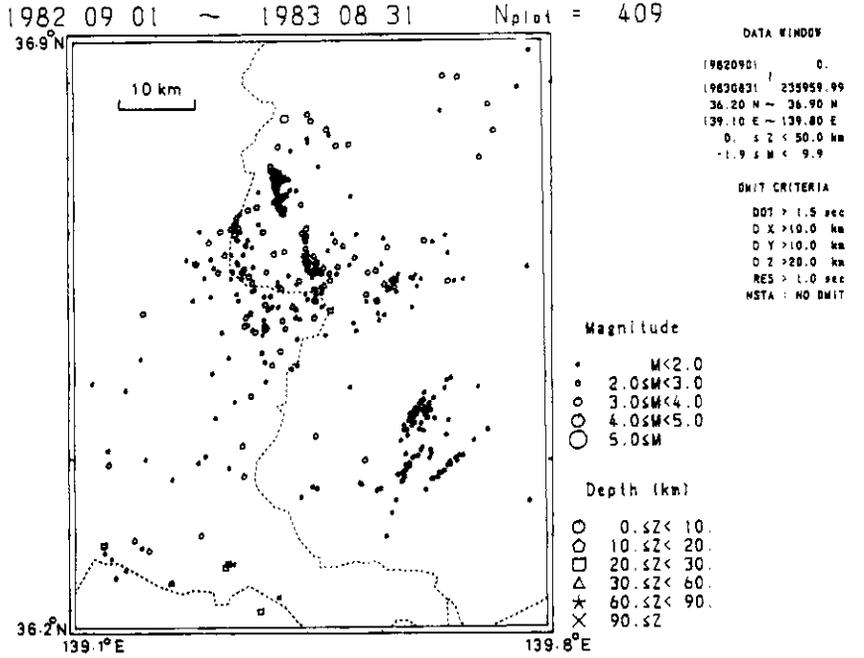


図21 群馬・栃木県境の群発地震の震央分布図.

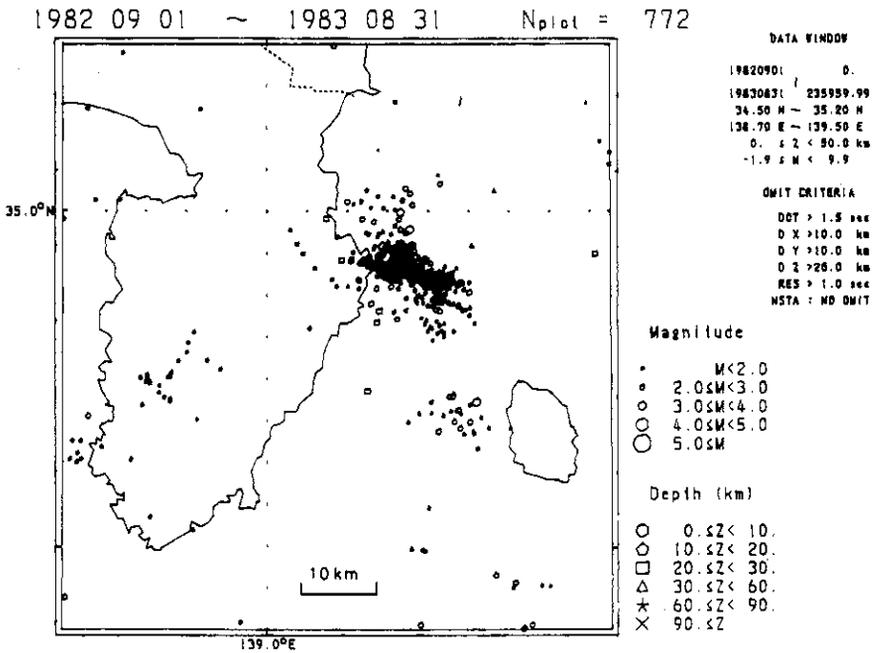


図22 伊豆半島付近の震央分布図.

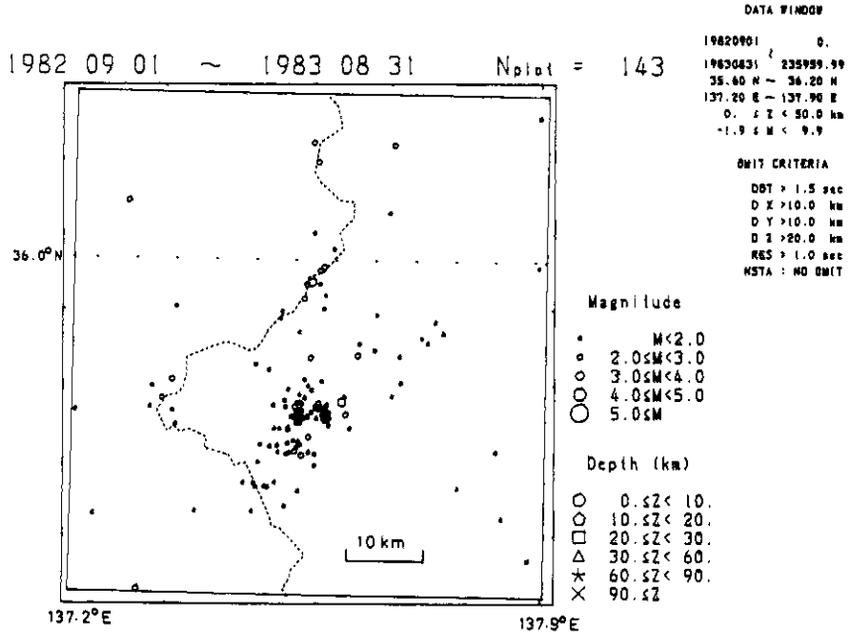


図23 岐阜・長野県境付近の群発地震の震央分布図。

りをもって分布する群の3つに分れているようである。全体としては直径25km程度の拡がり  
 を示している。震源の深さはほとんど全てのものが20km以浅に決定されている。

次に伊豆半島東方の震源分布を図22に示す。伊豆半島周辺は1974年以降地震活動が活発  
 になっているが、この図の期間である1982年以降はとくに川奈崎沖での活動が活発である。  
 この群発活動はいくつかの期間に分れているが、図22からわかるように全体としては西北西  
 -東南東方向に約20kmの長さにわたって分布している。震源の深さは10~15kmに決定される  
 ものが最も多い。

長野・岐阜県境付近（王滝村）の群発地震の震源分布を図23に示す。主な活動は直径10km  
 内にあるが、さらに北北東-南南西方向に活動域は拡がっているようである。この群発地震  
 の震源の深さは主に10km以浅に決っている。

上部地殻内では自然地震の活動の他に採石爆破等の人工地震がある。これ等は震源の深さ  
 がほぼ0 kmなので、震源決定結果の検定に使用できる。現在震源決定されているデータのな  
 かにもかなり発破と考えられるものがある。それらの深さはほとんどが10km以浅に決められ  
 ているが、深さの精度はまだ満足のいくものではない。今後、更に調査し改善しなければなら  
 ない問題の1つである。

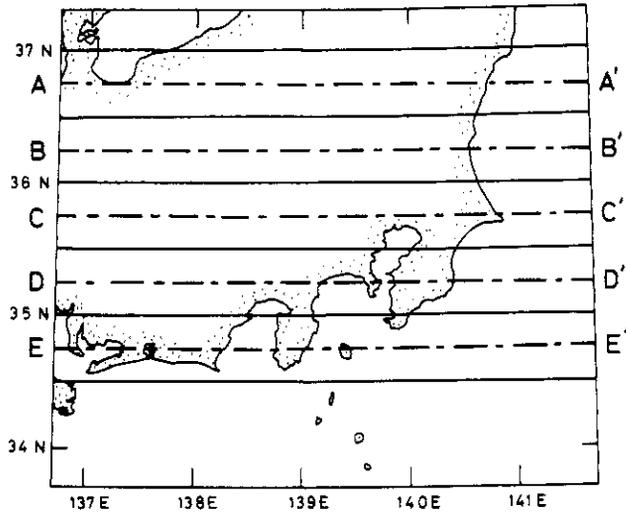


図 24(a) 観測網内とその周辺の震源分布の東西断面図。  
各断面図の地震の震央範囲、断面図の幅は 50 km.

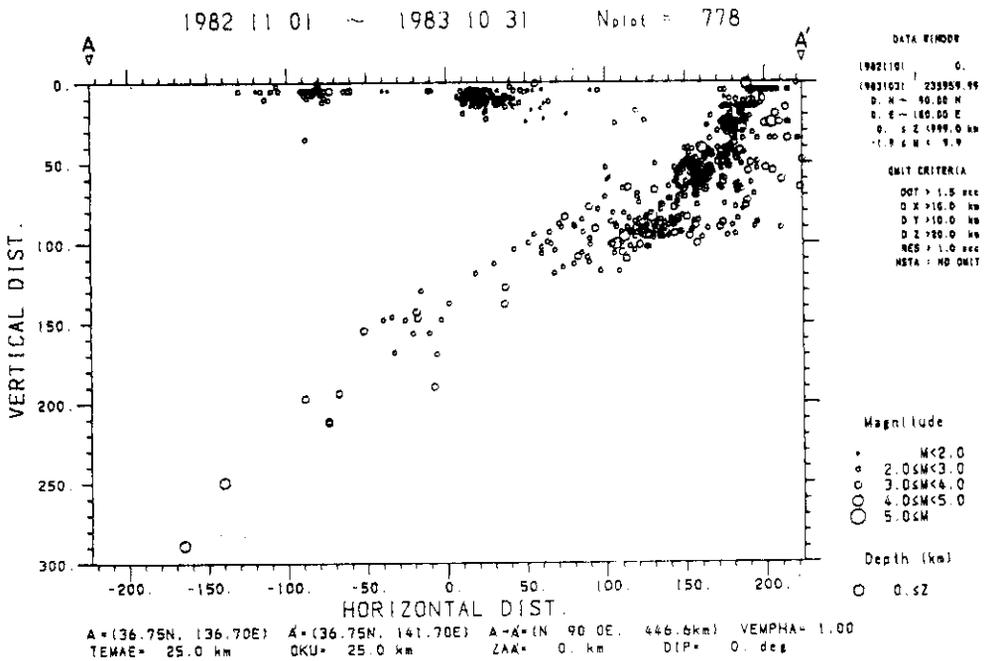


図 24(b) 観測網内とその周辺の震源分布の東西断面図，中心緯度 36.75°N，  
断面図の幅は 50 km.

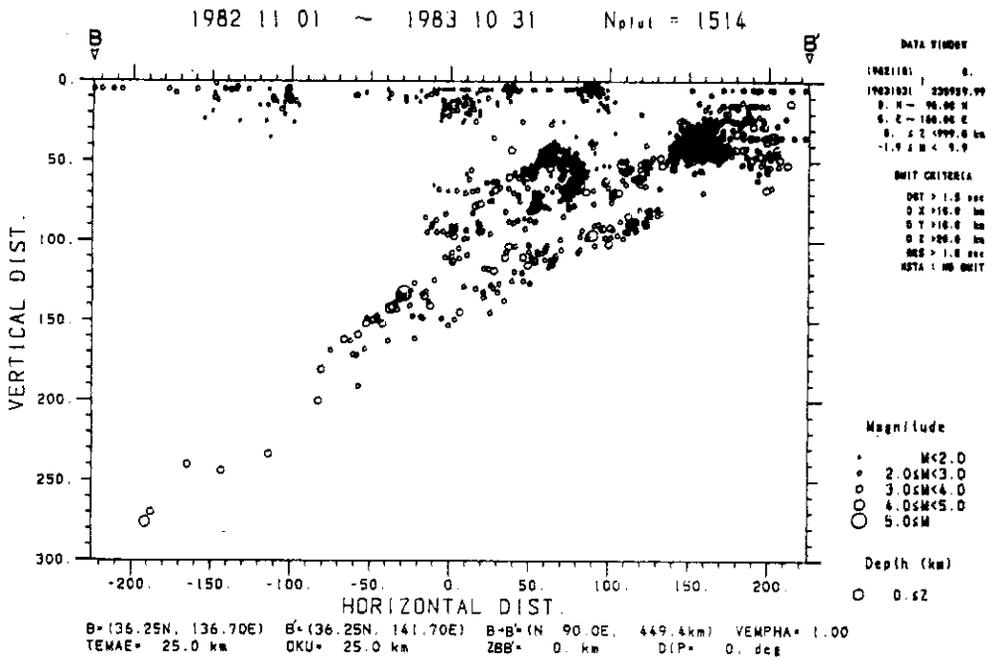


図24(c) 観測網内とその周辺の震源分布の東西断面図。中心緯度 36.25°N, 断面図の幅は 50 km.

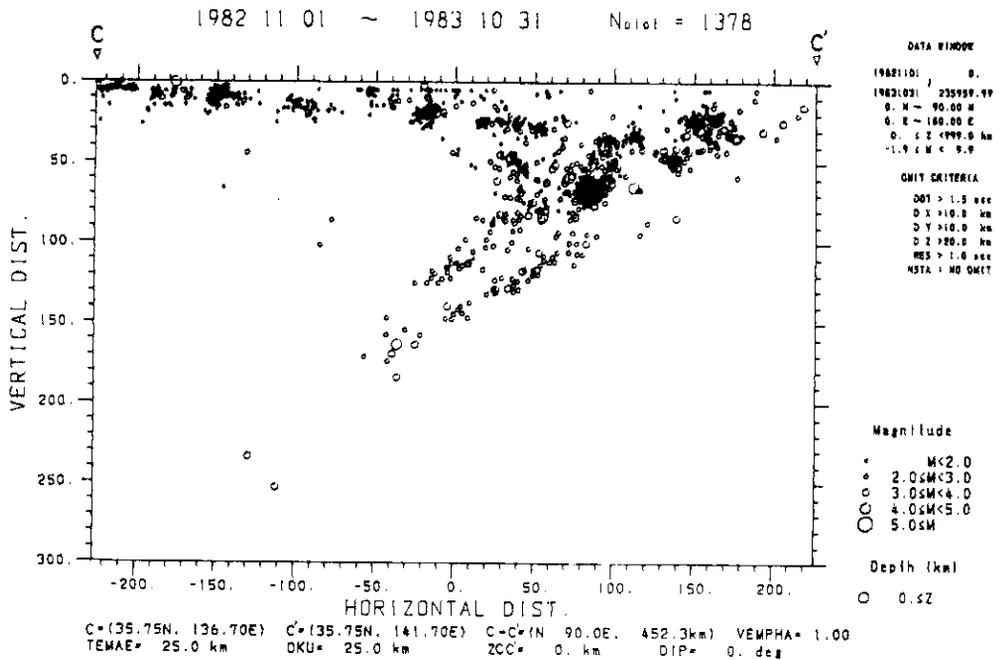


図24(d) 観測網内とその周辺の震源分布の東西断面図。中心緯度 35.75°N, 断面図の幅は 50 km.

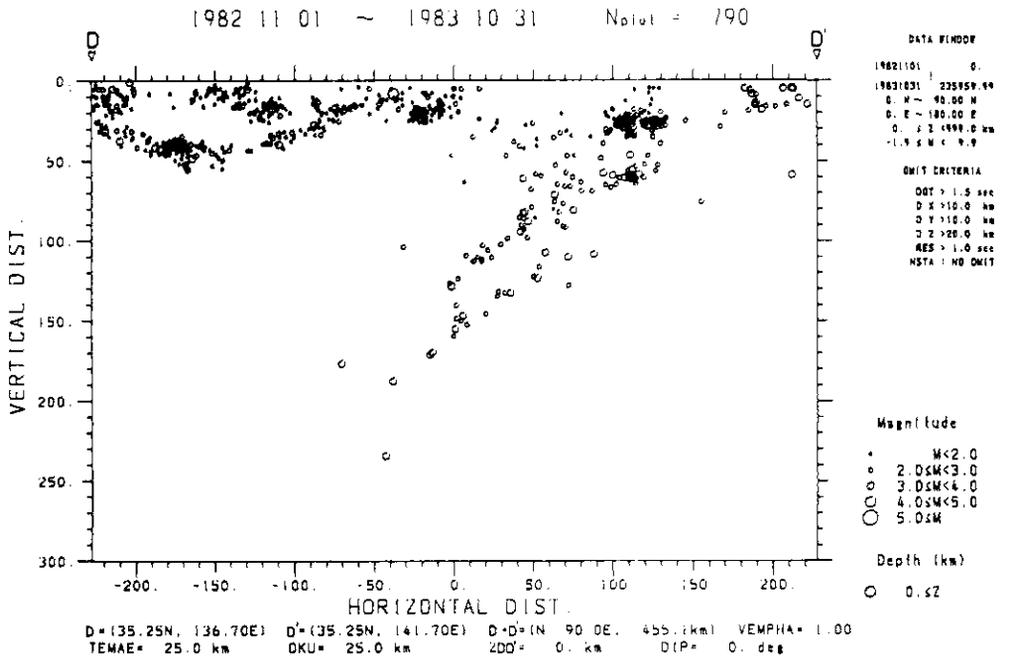


図24(e) 観測網内とその周辺の震源分布の東西断面図。中心緯度 35.25°N。  
断面図の幅は 50 km。

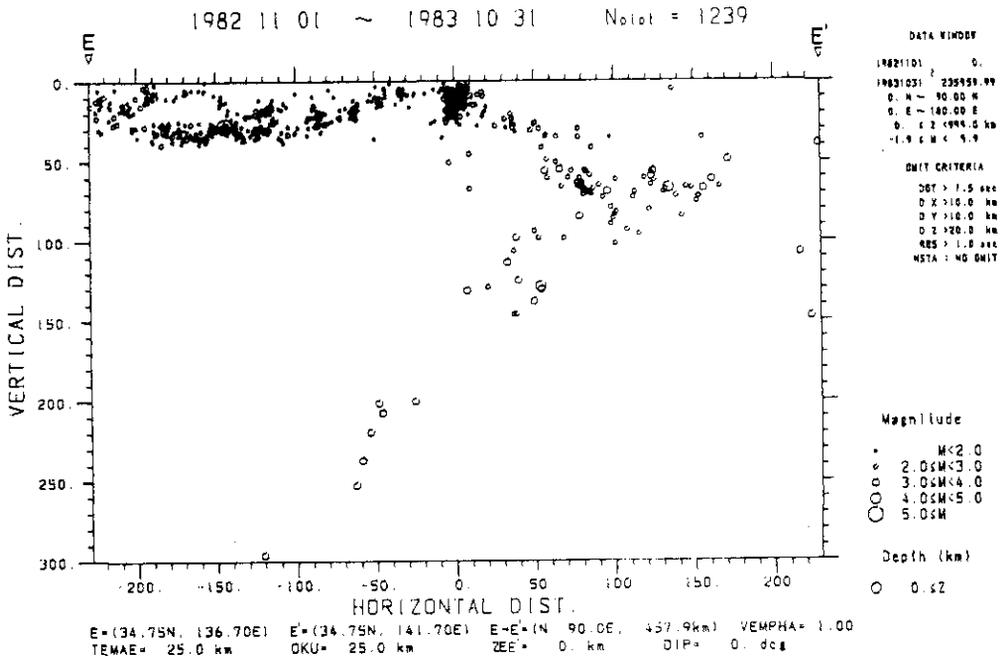


図24(f) 観測網内とその周辺の震源分布の東西断面図。中心緯度 34.75°N。  
断面図の幅は 50 km。

(2) 下部地殻・上部マントル地震

次に下部地殻から上部マントルにかけての震源分布を見る。関東・東海地方ではこの部分の地震活動は大きく3つに分けられる。1つはもぐり込んだ太平洋プレート内で発生している地震で、2重深発地震面を形成していることが特徴である(例えば津村, 1973)。2つめは関東地方下のマントル中で、上述の太平洋プレートの上盤側で発生している地震で、最も顕著な活動は茨城県南西部の地震群である。この地震は相模トラフから北東にもぐり込むフィリピン海プレートに起因している活動であると考えられている(笠原, 1983)。3つめは東海地方で深さ60kmくらいまで発生する地震で、“地殻下地震”といわれるものである。この地震は南海・駿河トラフから北に深くなりつつ、板状の震源分布を示しながら発生しているが、もぐり込んだフィリピン海プレート内の地震と考えられる(Ukawa, 1982)。ここではこれらの活動の震源分布が今回の震源決定によってどのように求められているかを震源分布断面図から調べる。

まず、太平洋プレート内で発生している地震の分布を見るために図24に震源分布の東-西断面図を示す。これを見ると東から西へ約30°で傾斜する厚さ40km程度の板状になって発生していることがわかる。2重深発地震面は北緯35°から36.5°の間で顕著であり、上面・下面ともに約10kmの厚さに見える。北緯36.5°以北では地震の数は多いが2重の面ははっきりしない。

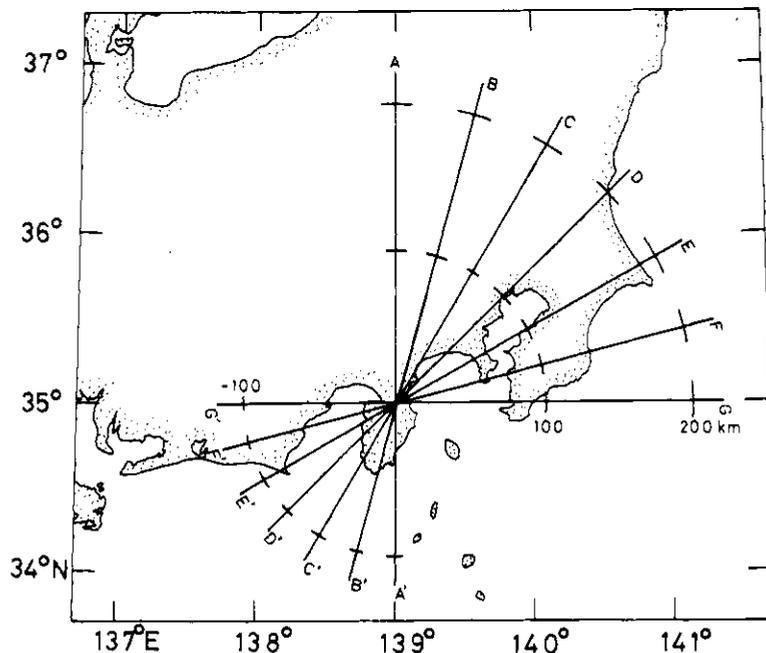


図 25(a)

図25 伊豆半島付近(35°N, 139°E)を中心とした断面図。各断面図の幅は20 km。(a) 各断面図の投影面の走行,(b) 走行N S,(c) 走向N 15° E,(d) 走向N 30° E,(e) 走向N 45° E,(f) 走向N 60° E,(g) 走向N 75° E,(h) 走向N 90° E。

CENTER 35.0N 139.0E AZIMUTH NO.0E HALF WIDTH 10.0

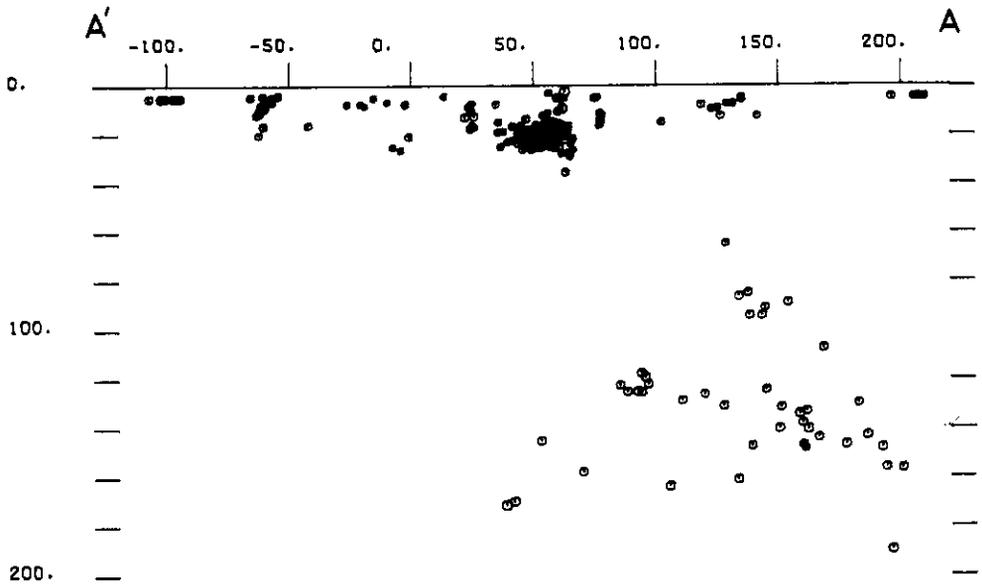


図 25(b)

CENTER 35.0N 139.0E AZIMUTH N15.0E HALF WIDTH 10.0

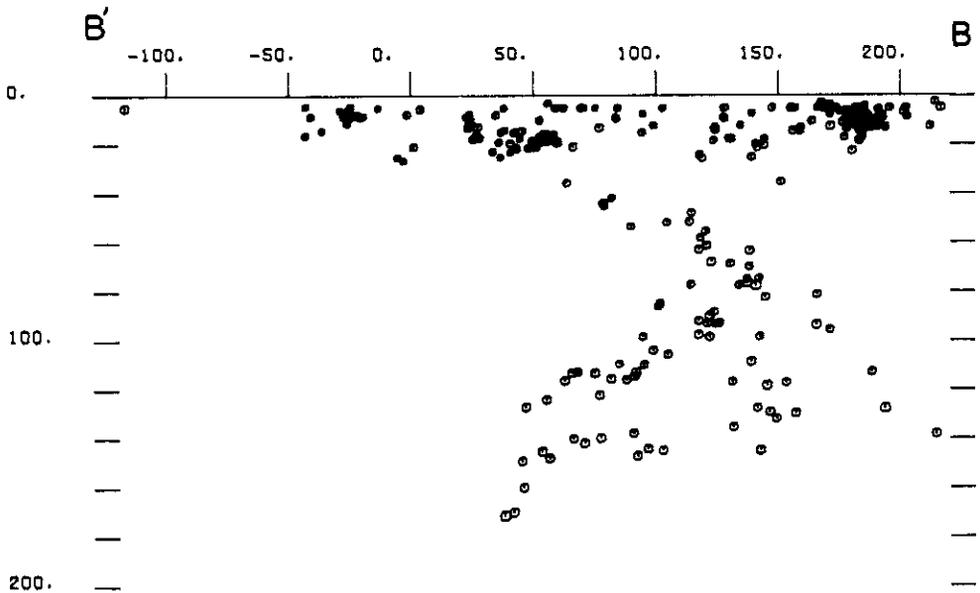


図 25(c)

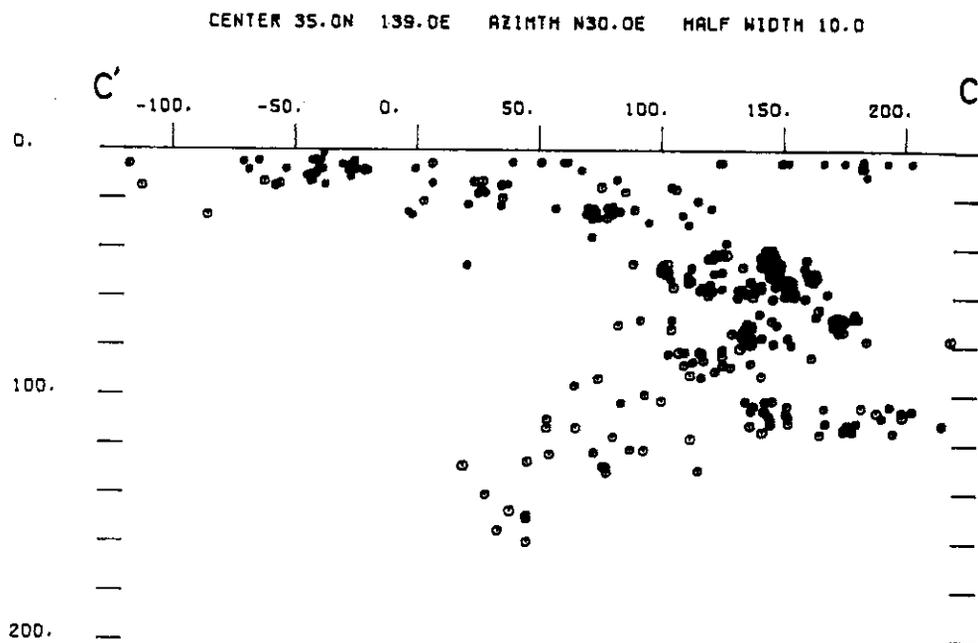


図 25(d)

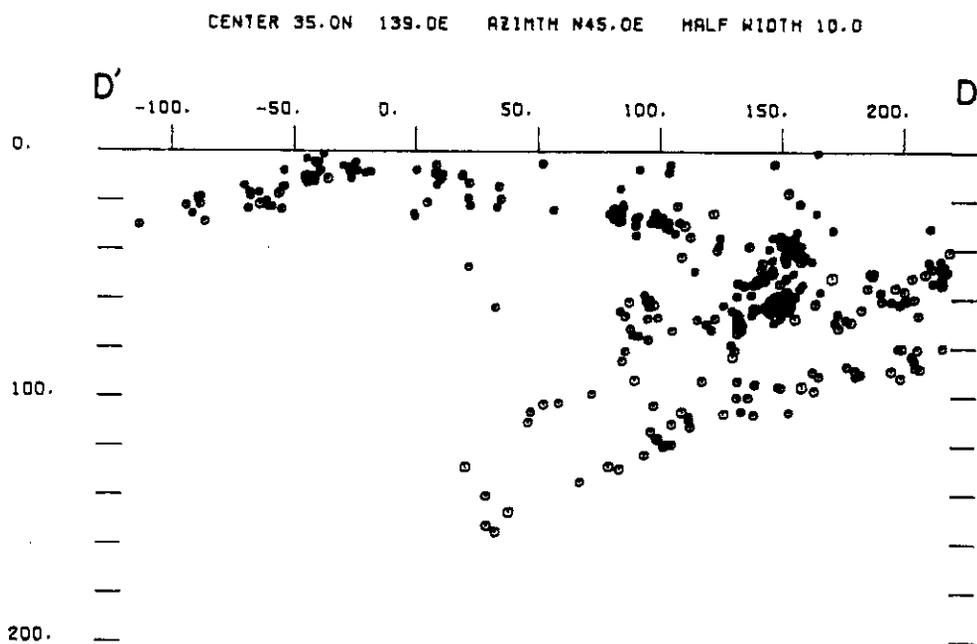


図 25(e)

CENTER 35.0N 139.0E AZIMTH N60.0E HALF WIDTH 10.0

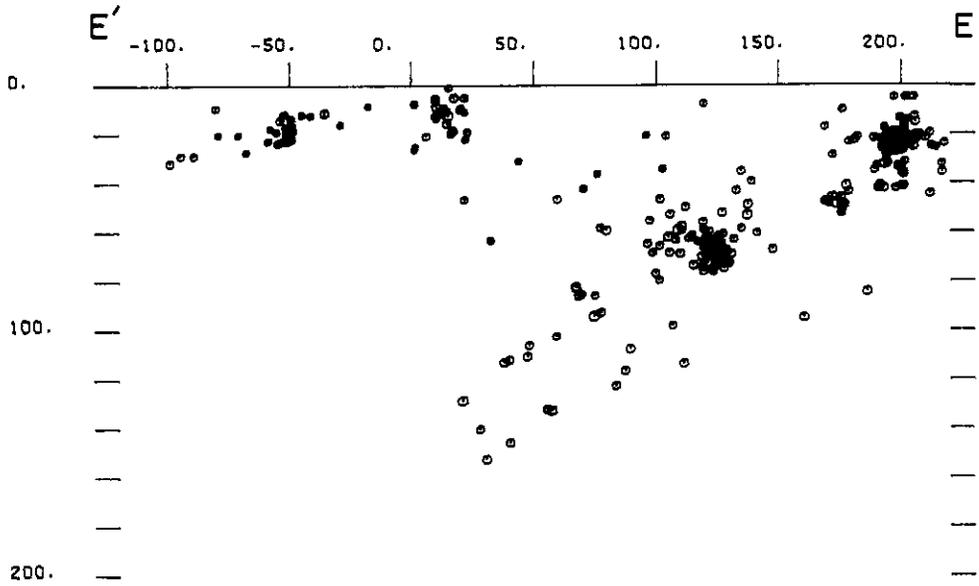


図 25(f)

CENTER 35.0N 139.0E AZIMTH N75.0E HALF WIDTH 10.0

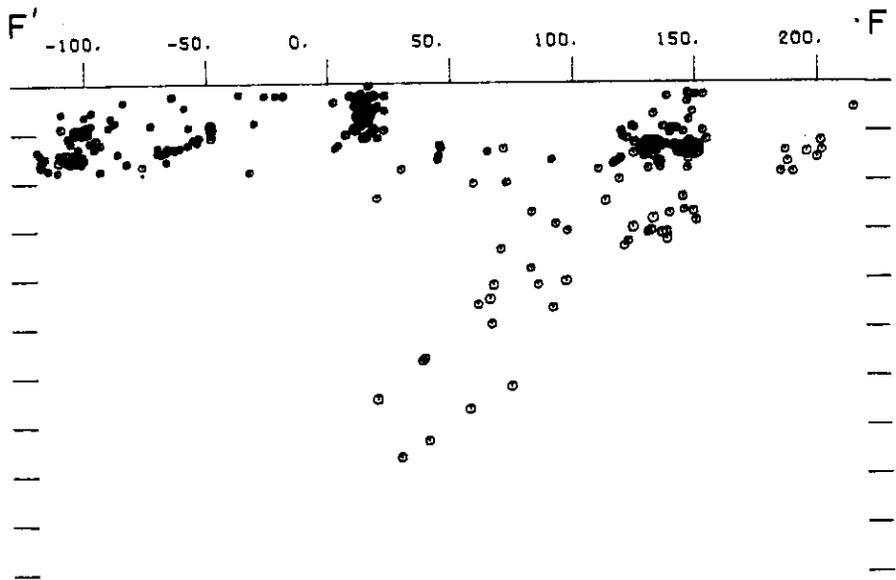


図 25(g)

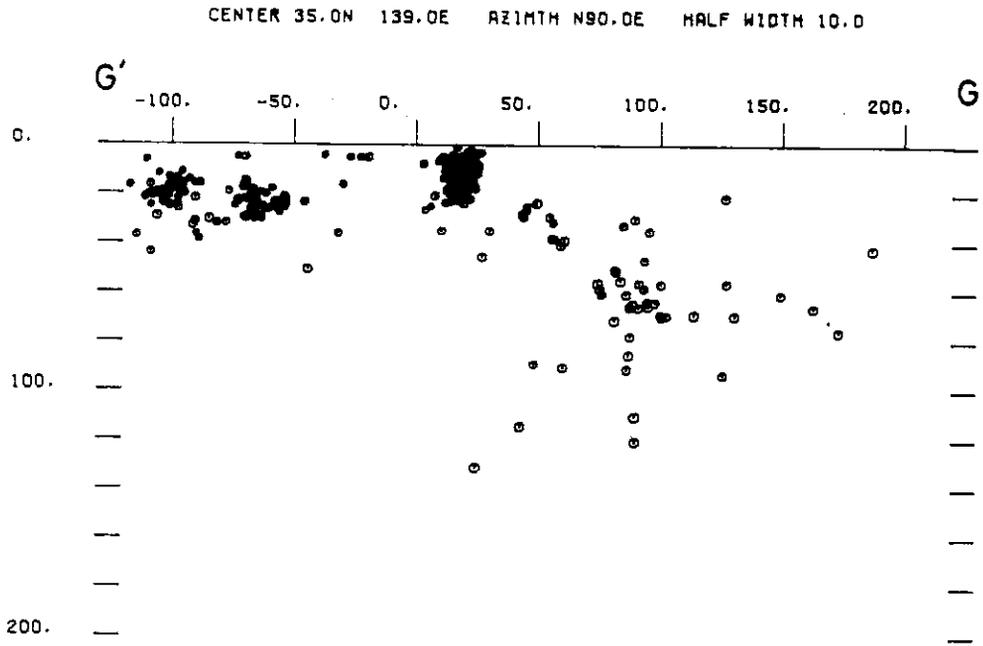


図25(h)

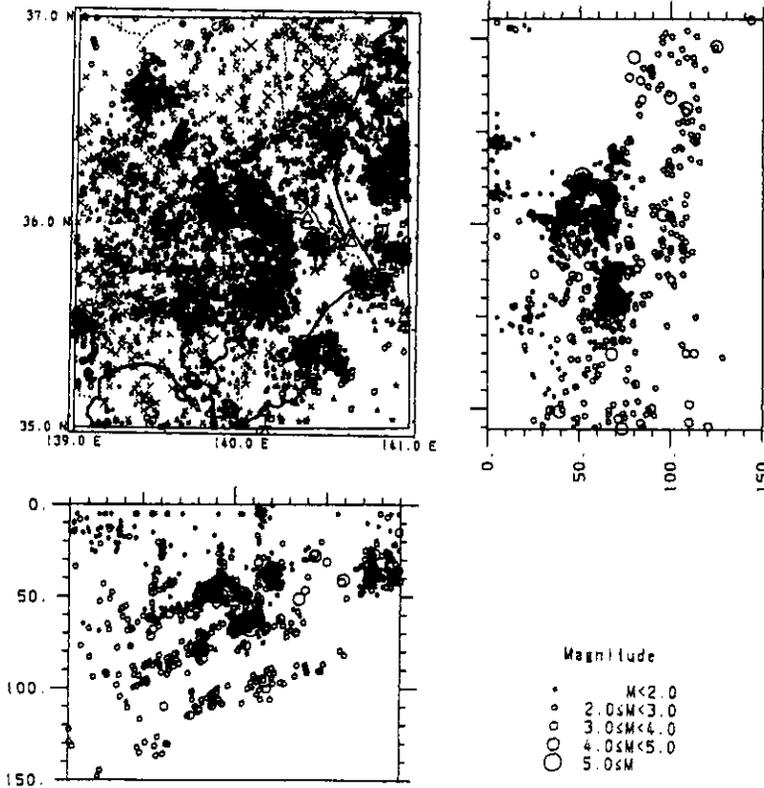


図26 茨城県南西部群発地震を中心とした東-西、および南北断面図。データは1982年1月から1983年10月。

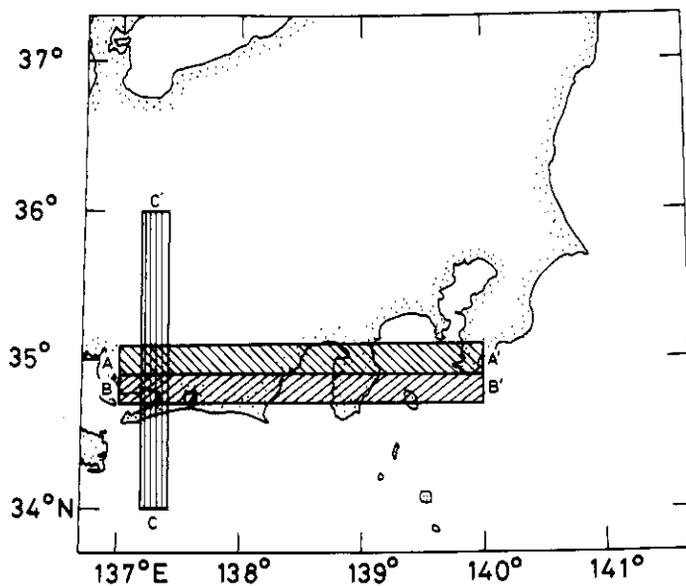


図 27(a)

図27 東海地方の震源断面図。(a) 各断面図の地震の震央範囲、(b) A-A'断面図、(c) B-B'断面図、(d) C-C'断面図。

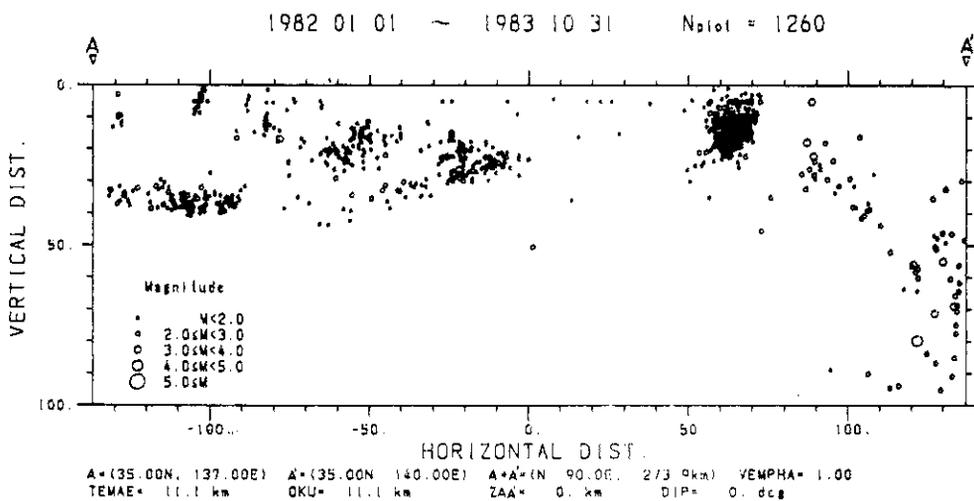


図 27(b)

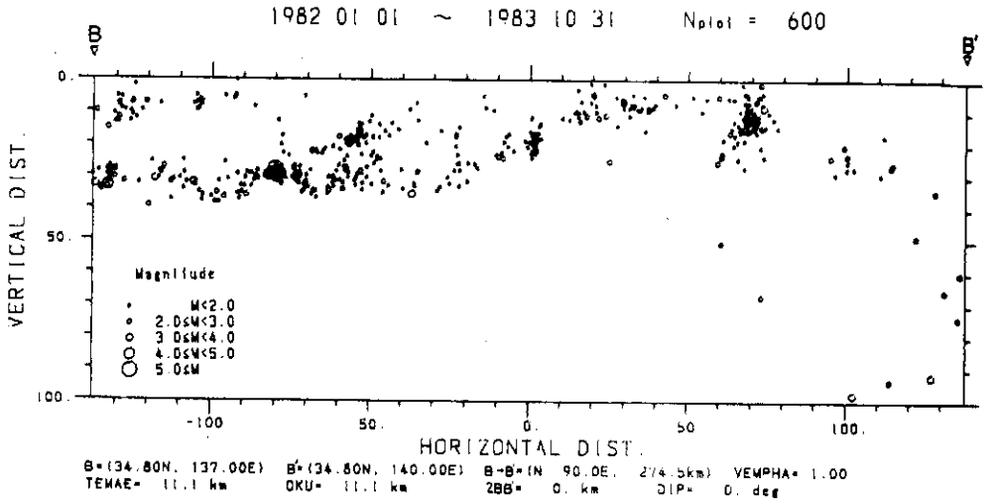


図 27(c)

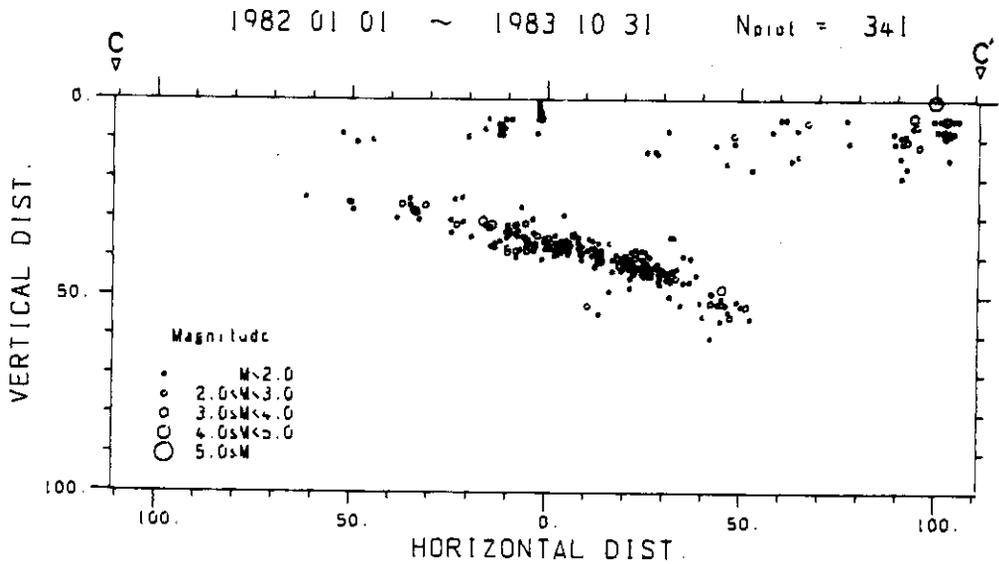


図 27(d)

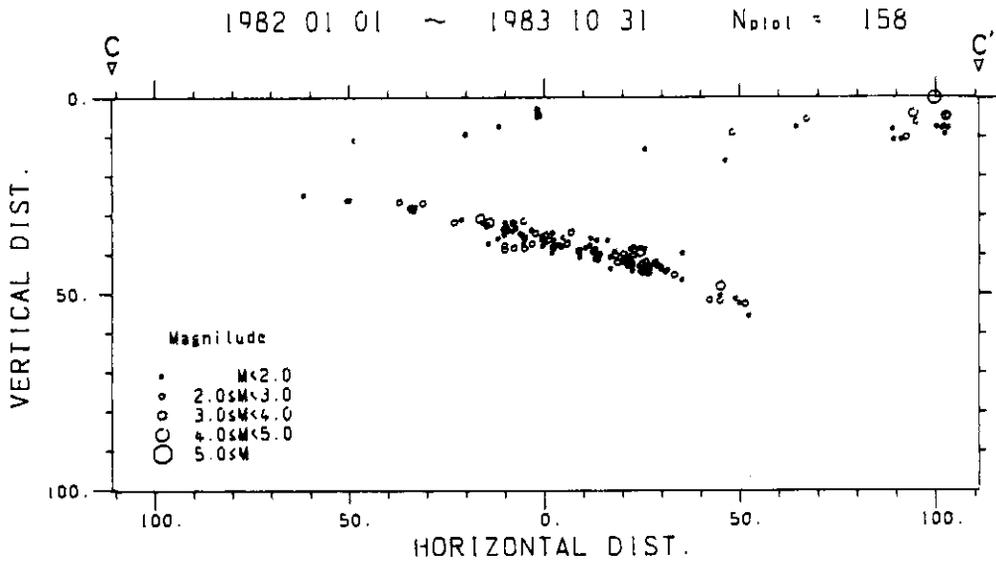


図28 図27(d)と同一断面図。ただし、8観測点以上での読み取り値のあるもののみを選んだ。

一方、海野・長谷川(1982)は東北日本弧全域にわたって2重深発地震面が形成されていることを気象庁によるデータをもとに明らかにしている。防災センターの地震観測網の震源決定精度のために北緯36.5°以北で2重面がはっきりしなくなると考えられる。また、東経141°以東でも震源の分布が広がっているが、これも震源決定精度の問題によるためと考えられる。このように観測網から離れると震源決定精度は急激に悪くなるようである。

次に関東地方下の太平洋プレートの上盤側で発生する地震について見る。図25は伊豆半島内を中心としていくつかの方向に切った断面図を示す。この部分で発生する地震は群を成す傾向が強いようであるが、その中で特に活動度の高いのが茨城県南西部の深さ40~70kmに発生する地震群である。図26からよくわかるようにこの活動は西側の深さ40~60kmの群と東側の深さ50~70kmの群の2つに大きく分けられる。また、いずれの群も東から西に傾斜して分布している。図25を見ると相模トラフから北東へ深くなっている板状に震源が分布しているように見える断面もあるが、幅20kmの帯内の地震分布であるにもかかわらず深さ方向にかなりの厚みをもって発生しているようでもあり、次に述べる東海地方の地殻下地震とは発生様式がちがって複雑であるように見える。

最後に東海地方下にもぐり込むフィリピン海プレート内の地震活動の震源分布を見る。図27にいくつかの断面図を示す。この図からわかるように、震源は北に向かって深くなる板状を呈し、かつ静岡県西部から愛知県東部で深くなる東西に湾曲した形状を示している。この震源分布の厚さを調べるために図28に8観測点以上によって決められた震源分布を示す。これ

によると厚みは5 km程度と考えられ非常に薄いことがわかる。

以上、震源分布の特徴を見たが観測網内の震源決定精度はかなり良いと思われる。ただし、発破等震源のわかっているものを用いてさらに検討しなければならない。また、観測網から外に出ると精度は急激に悪くなるようなので、今後観測網周辺の震源精度が向上するように改善していかねばならない。

#### IV. ま と め

本報告では今回変更を行った防災センターの震源決定プログラムについて、その方法の説明とこのプログラムを用いた震源決定結果についての考察を行った。今回の主な変更点はS波データを使用するようにしたことであるが、すでに述べてきたようにこれによって震源決定精度がかなり向上した。また、震源計算される地震数も大幅に増加した。計算機の大きさや計算時間を考えると今回のプログラムは定常作業としての震源決定に用いるものとして一応満足できるものであるが、まだ多くの改善すべき点が残っている。たとえば観測網周辺の震源決定精度が良くないことや、発破の震源が地表付近に決まらない場合があること等である。これらの原因としては観測網が広いために3次元的な速度構造の系統的な不均質が大きく影響していることが考えられる。今後、更に震源決定精度を向上させるにはもちろんこの3次元的な速度構造を考慮した走時計算も考えていかねばならないが、計算時間が長くなること等実用的に使うにはまだ多くの問題がある。そのために、震央距離による重みの改良、標準速度構造の変更、あるいは観測点補正値の導入等によって震源決定精度を向上させていく必要がある。

#### V. 謝 辞

今回の震源決定方法の改訂は、浜田和郎総括主任研究官をはじめとする第2研究部の方々と検討を重ねながら進められた。とくに大竹政和地震活動研究室長には原稿を読んで御意見を頂き、また震源分布図の作成にあたっては岡田義光地殻力学室長の開発されたプログラムを使用させていただいた。厚く感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- 1) Aoki, H., T. Tada, Y. Sasaki, T. Ooida, I. Muramatsu, H. Shimamura, and I. Furuya. (1972): Crustal structure in the profile across central Japan as derived from explosion seismic observations. *J. Phys. Earth*, **20**, 197-223.
- 2) 青木治三 (1980): 駿河湾西方における深発地震帯。地震予知研究シンポジウム (1980), 97-102.

- 3) 浜田和郎・大竹政和・岡田義光・松村正三・山水史生・佐藤春夫・立川真理子・大久保正・山本英二・石田瑞穂・笠原敬司・勝山ヨシ子・高橋 博(1982): 関東・東海地域地殻活動観測網—国立防災科学技術センター, 地震, 35, 401-426.
- 4) 堀江晶子・渋谷和雄(1979): 関東地方の深さ150kmまでのP波速度構造, 地震, 32, 125-140.
- 5) 堀内茂木・佐藤俊也・堀修一郎(1977): 東北地方の $V_p/V_s$ および下部地殻のP波速度について, 地震学会講演予稿集(No.2), 13.
- 6) 市川政治・望月英志(1971): 近地地震用走時表について, 気象研究所報告, 22, 229-290.
- 7) Ikami, A. (1978): Crustal structure in the Shizuoka district, central Japan as derived from explosion seismic study, *J. Phys. Earth*, 26, 299-331.
- 8) 石田瑞穂・堀江晶子(1982): 関東・東海地方のP波三次元速度構造, 地震学会講演予稿集(No.1), 17.
- 9) Jeffreys, H. (1976): *The Earth* (Sixth edition), Cambridge University Press, London.
- 10) Julian, B. R. and D. L. Anderson (1968): Travel times, apparent velocities and amplitudes of body waves, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, 339-366.
- 11) 笠原敬司(1981): 関東・東海地域における地震活動—震源決定のS波使用について—, 地震学会講演予稿集(No.2), 58.
- 12) 笠原敬司(1983): プレートが3重会合する関東・東海地方の地殻活動様式, 国立防災科学技術センター研究報告(投稿中).
- 13) 松村正三・大久保正・勝山ヨシ子・浜田和郎(1979): 計算機による地震活動観測データ処理システム—オンラインリアルタイムシステム, 国立防災科学技術センター研究速報, 35, 18pp.
- 14) Matsumura, S., K. Hamada, Y. Katsuyama, M. Ishida, and T. Ohkubo (1981): Data processing of the Kanto-Tokai observational network for microearthquakes and ground tilt, Proc. Joint Meeting of UJNR panel on Earthquake-Prediction Technology (Menlo Park, U. S. A.), 144-163.
- 15) Mikumo, T. (1966): A study on crustal structure in Japan by the use of seismic and gravity data, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 44, 965-1007.
- 16) 立川真理子(1983): 関東・東海地域地殻活動観測網における自動観測による振動継続時間マグニチュードの決定, 国立防災科学技術センター研究報告, 31, 89-100.
- 17) 津村建四郎(1973): 関東地方の微小地震活動, 関東大震災50周年論文集(東京大学地震研究所), 67-87.
- 18) 津村建四郎(1981): 関東地方における微小地震と大地震の震源分布, 地質学論集, 20, 7-20.
- 19) Ukawa, M. (1982): Lateral stretching of the Philippine Sea plate subducting along the Nankai-Suruga trough, *Tectonics*, 1, 543-571.
- 20) Ukawa, M. and Y. Fukao (1982): Simultaneous determination of P and S velocities of the crust and sub-Moho mantle with earthquake hypocenters in central Honshu, Japan, *J. Phys. Earth*, 30, 171-189.
- 21) 鵜川元雄・井元政二郎(1982): 関東地方の二重深発地震面の発震機構, 地震学会講演予稿集(No.2), 33.
- 22) 海野徳仁・長谷川昭(1982): 東北日本弧における二重震発地震面と発震機構, 地震, 35, 237-258.
- 23) 渡辺 晃(1971): 近地地震のマグニチュード, 地震, 24, 189-200.

(1984年1月11日 原稿受理)

付録1 走時係数 (a) P波走時係数 (b) S波走時係数

DEPTH (KM)	EPICENTRAL DISTANCE (DEG.)	A1	A2	A3	A4	A5	A6
0	0.5	-0.16222E-02	0.20631E 02	-0.29966E 01	0.12517E 02	-0.24477E 02	0.14160E 02
0	1.0	0.14760E 01	0.93072E 01	0.5009E 02	-0.45156E 02	0.26246E 02	-0.74396E 01
0	1.5	0.16527E 03	-0.64811E 03	0.10613E 04	-0.82719E 03	0.51549E 03	-0.47292E 02
0	1.5	0.30608E 01	0.22803E 02	-0.98950E 01	0.55401E 01	-0.15157E 01	0.16231E 00
0	2.5	0.66976E 01	0.13706E 02	0.10130E 00	-0.24918E-01	0.14949E-02	-0.34574E-04
10.0	0.5	0.17314E 01	0.11909E 01	0.99820E 02	-0.28591E 03	0.39902E 03	-0.21523E 03
10.0	0.5	0.6071E 00	0.16832E 02	0.5399E 01	0.1495E 01	0.40105E 01	-0.90330E 00
10.0	1.0	0.99542E 02	-0.42988E 03	0.7935E 03	-0.6847E 03	0.28793E 03	-0.4739E 02
10.0	1.5	0.95732E 01	0.29434E 01	0.10354E 02	-0.46667E 01	0.10285E 01	-0.89684E-01
10.0	2.5	0.54529E 01	0.1591E 02	0.19523E 00	-0.29663E-01	0.17973E-02	-0.41732E-04
20.0	0.5	0.3528E 01	-0.69320E 00	0.6224E 02	-0.13601E 03	0.14913E 03	-0.67421E 02
20.0	0.5	-0.66319E 01	0.77471E 02	-0.17794E 03	0.25129E 03	-0.16952E 03	0.43366E 02
20.0	1.0	-0.24998E 01	0.39505E 02	-0.39939E 02	0.31019E 02	-0.11859E 02	0.12851E 01
20.0	1.5	-0.72832E 01	0.43375E 02	-0.3030E 02	0.1554E 02	-0.39472E 01	0.39622E 00
20.0	2.5	0.41592E 01	0.13862E 02	0.11644E 00	-0.19534E-01	0.11974E-02	-0.23514E-04
30.0	0.5	0.48214E 01	-0.21125E 00	0.37874E 02	-0.41699E 02	0.15264E 02	0.35720E 01
30.0	0.5	0.12579E 02	-0.6001E 02	0.2157E 03	-0.26707E 03	0.19455E 03	-0.5640E 02
30.0	1.0	0.63519E 01	0.26550E 01	0.16028E 02	-0.10914E 02	0.36558E 01	-0.43444E 00
30.0	1.5	0.7118E 01	0.3752E 01	0.10608E 02	-0.53483E 01	0.13352E 01	-0.11250E 00
30.0	2.5	0.34672E 01	0.13842E 02	0.11851E 00	-0.19658E-01	0.11984E-02	-0.24480E-04
40.0	0.5	0.61313E 01	-0.37048E 00	0.2821E 02	-0.26697E 02	0.11507E 02	-0.14382E 01
40.0	0.5	0.5933E 01	0.1043E 01	0.3439E 02	-0.22287E 02	0.94862E 01	-0.13754E 01
40.0	1.0	0.1523E 02	-0.3240E 02	0.7094E 02	-0.29972E 02	0.2317E 02	-0.34540E 01
40.0	1.5	-0.47589E 01	0.34520E 02	-0.20981E 02	0.10657E 02	-0.26706E 01	0.26403E 00
40.0	2.5	0.35742E 01	0.13650E 02	0.16836E 00	-0.26932E-01	0.16897E-02	-0.4073E-04
50.0	0.5	0.73993E 01	-0.13518E-01	0.18699E 02	-0.64084E 01	-0.7253E 01	0.51834E 01
50.0	0.5	0.6712E 01	0.4464E 01	0.6690E 01	0.63343E 00	-0.50568E 01	0.20634E 01
50.0	1.0	0.8188E 01	-0.74910E 01	0.3551E 02	-0.29972E 02	0.12657E 02	-0.2123E 01
50.0	1.5	0.94118E 01	-0.17344E 01	0.1653E 02	-0.67401E 01	0.23179E 01	-0.3452E 00
50.0	2.5	0.36362E 01	0.13658E 02	0.14751E 00	-0.23924E-01	0.13172E-02	-0.37310E-04
60.0	0.5	0.86719E 01	0.66539E-01	0.1405E 02	0.11206E 00	-0.10730E 02	0.53608E 01
60.0	0.5	0.78084E 01	0.53619E 01	0.2421E 01	0.74622E 01	-0.79255E 01	0.31004E 01
60.0	1.0	-0.14797E 01	0.43586E 02	-0.5682E 02	0.50568E 02	-0.21663E 02	0.36245E 01
60.0	1.5	0.2271E 00	-0.2214E 02	-0.6661E 01	0.42830E 01	-0.10228E 01	0.95631E-01
60.0	2.5	0.35792E 01	0.13842E 02	0.64513E-01	-0.11181E-01	0.73501E-03	-0.19941E-04
70.0	0.5	0.9939E 01	-0.13172E-01	0.12456E 02	-0.12213E 01	-0.64129E 01	0.35706E 01
70.0	0.5	0.95514E 01	0.20917E 01	0.39676E 01	0.90799E 01	-0.10905E 02	0.36003E 01
70.0	1.0	0.12571E 02	-0.12172E 02	0.36281E 02	-0.27555E 02	0.10901E 02	-0.7598E 01
70.0	1.5	0.15292E 02	-0.1264E 02	0.25607E 02	-0.12899E 02	0.31682E 01	-0.31421E 00
70.0	2.5	0.40339E 01	0.13644E 02	0.88806E-01	-0.13389E-01	0.82495E-03	-0.21306E-04
80.0	0.5	0.11201E 02	-0.14251E-01	0.11144E 02	-0.30762E 01	0.23030E 01	-0.25922E 01
80.0	0.5	0.10984E 02	0.74558E 01	0.11027E 02	-0.50576E 01	0.1437E 01	-0.27848E 00
80.0	1.0	-0.12355E 01	0.5214E 02	-0.71109E 02	0.60618E 02	-0.23342E 02	0.39336E 01
80.0	1.5	0.15510E 02	-0.86152E 01	0.20800E 02	-0.94310E 02	0.21625E 01	-0.19866E 00
80.0	2.5	0.44862E 01	0.13530E 02	0.81498E-01	-0.10469E-01	0.56677E-03	-0.14679E-04

DEPTH (KM)	EPICENTRAL DISTANCE (DEG.)	A1	A2	A3	A4	A5	A6
90.0	0.5	0.12457E 02	0.59251E-02	0.90192E 01	0.13244E 01	-0.68224E 01	0.59074E 01
90.0	0.5	0.13816E 02	-0.10158E 02	0.5881E 01	-0.42226E 02	0.25490E 01	-0.46244E 01
90.0	1.0	0.52001E 01	0.27888E 02	-0.52610E 02	0.29846E 02	-0.11974E 02	0.19070E 01
90.0	1.5	0.99851E 01	0.76300E 01	0.17492E 01	0.48868E 00	-0.35084E 00	0.50008E-01
90.0	2.5	0.52668E 01	0.13184E 02	0.17385E 00	-0.15320E-01	0.79378E-03	-0.14877E-04
100.0	0.5	0.13712E 02	-0.16832E 00	0.10421E 02	-0.10408E 02	0.17245E 02	-0.12274E 02
100.0	1.0	0.12615E 02	0.75722E 01	-0.12122E 02	0.26850E 02	-0.19731E 02	0.51040E 01
100.0	1.5	0.31052E 02	-0.69021E 02	0.17780E 03	-0.87300E 02	0.32871E 02	-0.69426E 01
100.0	2.5	0.16063E 02	-0.61687E 01	0.15810E 02	-0.68576E 01	0.15309E 01	-0.15849E 00
100.0	2.5	0.59327E 01	0.15014E 02	0.12908E 00	-0.11040E-01	0.35393E-03	-0.69212E-05
120.0	0.5	0.16108E 02	0.75506E-01	0.64241E 01	0.65416E 00	-0.25376E 01	0.12378E 01
120.0	0.5	0.16327E 02	-0.10114E 01	0.98840E 01	-0.46897E 01	0.14963E 01	-0.34171E 00
120.0	1.0	0.23171E 02	-0.31431E 02	0.71709E 02	-0.77332E 02	0.18903E 02	-0.50272E 01
120.0	1.5	0.62709E 01	0.25186E 02	-0.15533E 02	-0.87003E 01	-0.22404E 01	0.22199E 00
120.0	2.5	0.79037E 01	0.12222E 02	-0.25101E 00	-0.20361E-01	0.70189E-03	-0.11161E-04
140.0	0.5	0.18679E 02	0.20573E 00	0.36088E 01	0.81174E 01	-0.14354E 02	0.81623E 01
140.0	0.5	0.19204E 02	-0.40917E 01	0.18138E 02	-0.18212E 02	0.11817E 02	-0.31784E 01
140.0	1.0	0.25071E 02	-0.31622E 02	0.62056E 02	-0.49557E 02	0.20544E 02	-0.54156E 01
140.0	1.5	0.16108E 02	0.41992E 00	0.68032E 01	-0.21354E 01	0.38565E 00	-0.31346E-01
140.0	2.5	0.10352E 02	0.11044E 02	0.47950E 00	-0.43310E-01	0.18752E-02	-0.33772E-04
160.0	0.5	0.21147E 02	0.11663E 00	0.37783E 01	0.50877E 01	-0.19098E 02	0.75693E 01
160.0	0.5	0.22359E 02	-0.8441E 01	0.27571E 02	-0.29265E 02	0.17638E 01	-0.42758E 01
160.0	1.0	0.27225E 02	-0.25279E 02	0.6478E 02	-0.3405E 02	0.13517E 02	-0.21510E 01
160.0	1.5	0.26203E 02	-0.16226E 02	0.42032E 02	-0.10376E 02	0.21646E 01	-0.22029E 00
160.0	2.5	0.13342E 02	0.99064E 01	0.68853E 01	-0.64766E-01	0.28826E-02	-0.52440E-04
180.0	0.5	0.23402E 02	-0.53252E-01	0.47258E 01	-0.15853E 01	0.26119E 01	-0.27419E 01
180.0	1.0	0.27896E 02	0.1811E 02	-0.27692E 02	0.42559E 02	-0.28034E 02	0.71321E 01
180.0	1.5	0.27163E 02	-0.15360E 02	0.50712E 02	-0.22524E 02	0.91308E 01	-0.55130E 01
180.0	2.5	0.24064E 02	-0.11533E 01	0.57725E 01	-0.11508E 01	0.70076E-01	0.59581E-02
180.0	2.5	0.16262E 02	0.81878E 01	0.88420E 00	-0.84031E-01	0.38232E-02	-0.72621E-04
200.0	0.5	0.26027E 02	0.11560E 00	0.27396E 01	0.40007E 01	-0.60172E 01	0.27621E 01
200.0	0.5	0.25342E 02	0.38315E 01	-0.16063E 01	0.16457E 02	-0.11702E 02	0.31046E 01
200.0	1.0	0.44334E 01	0.89577E 02	-0.14335E 03	0.11946E 03	-0.48399E 02	0.77348E 01
200.0	1.5	0.33451E 02	-0.19652E 02	0.24821E 02	-0.11158E 02	0.26414E 01	-0.25779E 00
200.0	2.5	0.18961E 02	0.79620E 01	0.98910E 00	-0.91354E-01	0.40501E-02	-0.72322E-04
220.0	0.5	0.28443E 02	-0.5811E-01	0.44398E 01	-0.69927E 01	0.98240E 01	-0.68795E 01
220.0	0.5	0.27833E 02	0.71676E 01	-0.16291E 02	0.26531E 02	-0.17635E 02	0.44953E 01
220.0	1.0	0.45217E 02	-0.6183E 02	0.11330E 03	-0.13368E 02	0.34627E 02	-0.54486E 01
220.0	1.5	0.3118E 02	-0.71724E 01	0.10975E 02	-0.39927E 01	0.84830E 00	-0.77291E-01
220.0	2.5	0.22663E 02	0.68648E 01	0.11794E 01	-0.11108E 00	0.50940E-02	-0.94040E-04
240.0	0.5	0.30839E 02	-0.28628E-01	0.37799E 01	-0.31256E 01	0.56812E 01	-0.37953E 01
240.0	0.5	0.30575E 02	0.19274E 01	-0.32039E 01	-0.70533E 01	-0.45958E 01	0.10864E 01
240.0	1.0	0.17590E 02	0.51633E 02	-0.82740E 02	0.68080E 02	-0.26909E 02	0.41918E 01
240.0	1.5	0.24518E 02	0.17013E 02	-0.14360E 02	0.88835E 01	-0.23599E 01	0.24858E 00
240.0	2.5	0.25140E 02	0.59140E 01	0.31114E 01	-0.12136E 01	0.55008E-02	-0.99952E-04

DEPTH (km)	EPICENTRAL DISTANCE (DEG.)	A1	A2	A3	A4	A5	A6
260.0	0.5	0.33270E 02	-0.54229E-01	0.32523E 01	-0.13514E 01	0.25195E 01	-0.16266E 01
260.0	0.5	0.55467E 02	-0.23308E 01	0.11052E 02	-0.13487E 02	0.10608E 02	-0.51251E 01
260.0	1.0	0.16962E 02	0.07958E 02	-0.10952E 03	0.91477E 02	-0.36988E 02	0.54918E 01
260.0	1.5	0.29454E 02	0.07583E 01	-0.69801E 01	0.48526E 01	-0.13017E 01	0.17984E 00
260.0	2.5	0.27986E 02	0.51888E 01	0.13838E 01	-0.12510E 00	0.55394E-02	-0.98567E-04
280.0	0.5	0.35572E 02	0.14663E-01	0.26491E 01	-0.63537E 00	0.21382E 01	-0.20473E 01
280.0	0.5	0.35463E 02	0.64657E 00	0.12857E 01	-0.13698E 01	-0.071744E 00	0.10809E 00
280.0	1.0	0.40419E 02	-0.10693E 02	0.34129E 02	-0.24827E 01	0.94827E 01	-0.14532E 01
280.0	1.5	0.31297E 02	0.10995E 02	-0.85470E 01	0.56429E 01	-0.15161E 01	0.15440E 00
280.0	2.5	0.32132E 02	0.53750E 01	0.18014E 01	-0.17766E 00	0.87324E-02	-0.17214E-03
300.0	0.5	0.37908E 02	0.74290E-01	0.15889E 01	0.34785E 01	-0.62684E 01	0.35895E 01
300.0	0.5	0.37280E 02	0.47977E 01	-0.11023E 02	0.19978E 02	-0.03809E 02	0.36660E 01
300.0	1.0	0.44098E 02	-0.24337E 02	0.40449E 02	-0.29367E 02	0.11166E 02	-0.16998E 01
300.0	1.5	0.35804E 02	0.31157E 02	-0.29184E 02	0.15855E 02	-0.40121E 01	0.39558E 00
300.0	2.5	0.34649E 02	0.31622E 01	0.17241E 01	-0.18165E 00	0.75909E-02	-0.14405E-03
320.0	0.5	0.40231E 02	0.96373E-01	0.14122E 01	0.33180E 01	-0.56955E 01	0.34172E 01
320.0	0.5	0.40066E 02	0.13231E 01	-0.17005E 01	0.56233E 01	-0.38033E 01	0.94779E 00
320.0	1.0	0.36388E 02	0.14788E 02	-0.20008E 02	0.16477E 02	-0.60459E 01	0.85856E 00
320.0	1.5	0.37765E 02	-0.19717E 02	0.22550E 02	-0.13360E 02	0.55295E 01	-0.24846E 00
320.0	2.5	0.38168E 02	0.18142E 01	0.20274E 01	-0.18648E 00	0.99399E-02	-0.20164E-03
340.0	0.5	0.42539E 02	-0.45434E-01	0.21302E 01	0.10439E 01	-0.31635E 01	0.24548E 01
340.0	0.5	0.42943E 02	-0.26982E 01	0.90308E 01	-0.86219E 01	0.1816E 01	-0.17363E 01
340.0	1.0	0.50224E 02	-0.52388E 02	0.89034E 02	-0.71239E 02	0.28811E 02	-0.46239E 01
340.0	1.5	0.44943E 02	-0.56008E 01	0.72714E 01	-0.23301E 01	0.46258E 00	-0.39373E-01
340.0	2.5	0.41166E 02	0.10721E 01	0.21131E 01	-0.21129E 00	0.10807E-01	-0.22518E-03
360.0	0.5	0.44820E 02	0.16788E 00	0.18642E 00	0.73627E 01	-0.12939E 02	0.81432E 01
360.0	0.5	0.44805E 02	0.26118E-01	0.21027E 01	-0.2199E 00	0.16931E 00	-0.54945E-01
360.0	1.0	0.40083E 02	-0.38612E 02	0.66507E 02	-0.32788E 02	0.21395E 02	-0.34387E 01
360.0	1.5	0.43480E 02	0.23579E 01	0.71009E 00	0.10356E 01	0.51916E-01	-0.16095E-01
360.0	2.5	0.43594E 02	0.83434E 00	0.20788E 01	-0.20343E 00	0.10384E-01	-0.21932E-03
380.0	0.5	0.47089E 02	0.52422E-01	0.13579E 01	0.20829E 01	-0.35903E 01	0.21584E 01
380.0	0.5	0.47123E 02	-0.30799E 00	0.29959E 01	-0.10169E 01	0.11583E 01	-0.33676E 00
380.0	1.0	0.49046E 02	-0.15170E 01	0.53551E 02	-0.16790E 02	0.62456E 01	-0.60753E 00
380.0	1.5	0.45484E 02	0.40513E 01	-0.21448E 01	0.19656E 01	-0.51625E 00	0.49647E-01
380.0	2.5	0.44277E 02	0.21479E 01	0.15560E 01	-0.12819E 00	0.56212E-02	-0.10930E-03
400.0	0.5	0.49138E 02	0.35716E-01	0.16424E 01	-0.31703E 00	0.16677E 01	-0.16311E 01
400.0	0.5	0.49708E 02	-0.26657E 01	0.92851E 01	-0.10133E 02	0.65991E 01	-0.16791E 01
400.0	1.0	0.45211E 02	0.16701E 02	-0.24958E 02	0.32958E 02	-0.81528E 01	-0.6432E 01
400.0	1.5	0.47391E 02	0.56131E 01	-0.45160E 01	0.3286E 01	-0.94860E 00	0.98642E-01
400.0	2.5	0.45986E 02	0.25968E 01	0.12947E 01	-0.8781E-01	0.29562E-02	-0.446209E-04
420.0	0.5	0.51572E 02	0.32133E-01	0.11303E 01	0.26133E 01	-0.43147E 01	0.26500E 01
420.0	0.5	0.51476E 02	0.63749E 00	-0.18354E 00	0.27570E 01	-0.20426E 00	0.57102E 00
420.0	1.0	0.51003E 02	0.20359E 01	-0.11454E 01	0.18738E 01	-0.62756E 00	0.74853E-01
420.0	1.5	0.50994E 02	0.13176E 01	0.52934E 00	-0.16233E 00	-0.1163E 00	0.84978E-02
420.0	2.5	0.48994E 02	0.19770E 01	0.13449E 01	-0.87112E-01	0.25355E-02	-0.20198E-04

DEPTH (KMS)	EPICENTRAL DISTANCE (DEG.)	A1	A2	A3	A4	A5	A6
440.0	0.5	0.53769E 02	-0.47784E-01	0.20360E 01	-0.22364E 01	0.46602E 01	-0.33338E 01
440.0	0.5	0.53260E 02	0.35429E 01	-0.79374E 01	0.12321E 02	-0.77186E 01	0.18599E 01
440.0	1.0	0.69833E 02	0.16211E 02	-0.26226E 02	0.22251E 01	-0.91253E 01	0.14372E 01
440.0	1.5	0.32616E 02	0.29826E 01	-0.14503E 01	0.35154E 01	-0.33953E 00	0.33598E-01
440.0	2.5	0.51870E 02	0.13330E 01	0.14233E 01	-0.24773E-01	0.26556E-02	-0.31174E-04
460.0	0.5	0.55921E 02	-0.26513E-01	0.22468E 01	-0.36923E 01	0.65985E 01	-0.39901E 01
460.0	0.5	0.55921E 02	-0.63111E 00	0.36953E 01	-0.39264E 01	0.29019E 01	-0.80897E 00
460.0	1.0	0.60964E 02	-0.20200E 02	0.35048E 02	-0.26546E 02	0.10311E 02	-0.15804E 01
460.0	1.5	0.60893E 02	-0.12954E 02	0.16843E 02	-0.67926E 01	0.16667E 01	-0.16827E 01
460.0	2.5	0.54833E 02	0.67767E 01	0.13382E 01	-0.10846E 00	0.36301E-02	-0.44393E-04
480.0	0.5	0.58041E 02	0.79191E-01	0.31934E 00	0.54841E 01	-0.10375E 02	0.65038E 01
480.0	0.5	0.57875E 02	0.14879E 01	-0.31926E 01	0.66571E 01	-0.45525E 01	0.11732E 01
480.0	1.0	0.56839E 02	0.49096E 01	-0.93693E 01	0.60282E 01	-0.22995E 01	0.31979E 00
480.0	1.5	0.55444E 02	0.68852E 01	-0.57648E 01	0.37083E 01	-0.96449E 00	0.94581E-01
480.0	2.5	0.57616E 02	0.81402E-01	0.16354E 01	-0.12369E 00	0.44895E-02	-0.69122E-04
500.0	0.5	0.60130E 02	-0.13693E 00	0.27418E 01	-0.50714E 01	0.77463E 01	-0.42438E 01
500.0	0.5	0.63775E 02	-0.11352E 03	-0.33192E 03	0.48171E 03	-0.31892E 03	0.91617E 02
500.0	1.0	0.65193E 02	-0.21674E 02	0.32638E 02	-0.29730E 02	0.11917E 02	-0.17897E 01
500.0	1.5	0.60766E 02	-0.18590E 01	0.34275E 01	-0.11150E 01	0.27286E 00	-0.24045E-01
500.0	2.5	0.59762E 02	0.45069E-01	0.13596E 01	-0.11080E 00	0.38228E-02	-0.51661E-04
520.0	0.5	0.62190E 02	-0.10888E 00	0.29004E 01	-0.16439E 01	0.12894E 01	-0.11786E 00
520.0	0.5	0.62299E 02	-0.74440E 00	0.30872E 01	-0.19154E 01	0.85544E 00	-0.17087E 00
520.0	1.0	0.66154E 02	-0.16251E 02	0.29207E 02	-0.29295E 02	0.92890E 01	-0.14855E 01
520.0	1.5	0.63744E 02	-0.48151E 01	0.69787E 01	-0.32352E 01	0.87433E 00	-0.91911E-01
520.0	2.5	0.62126E 02	-0.22362E 00	0.13659E 01	-0.11211E 00	0.39623E-02	-0.57624E-04
540.0	0.5	0.64231E 02	-0.23647E 00	0.29989E 01	-0.56154E 01	0.79034E 01	-0.40945E 01
540.0	0.5	0.64333E 02	-0.74576E 00	0.31253E 01	-0.23225E 01	0.13614E 01	-0.31680E 00
540.0	1.0	0.57021E 02	0.29250E 02	-0.42882E 02	0.37343E 02	-0.14594E 02	0.22466E 01
540.0	1.5	0.63072E 02	0.31437E 01	-0.21550E 01	0.17814E 01	-0.47218E 00	0.47155E-01
540.0	2.5	0.64381E 02	-0.41914E 00	0.13554E 01	-0.11160E 00	0.60114E-02	-0.60126E-04
560.0	0.5	0.66230E 02	-0.23581E 00	0.37029E 01	-0.99092E 01	0.16223E 02	-0.94097E 01
560.0	0.5	0.66611E 02	-0.29131E 01	0.95137E 01	-0.11279E 02	0.72264E 01	-0.17768E 01
560.0	1.0	0.69753E 02	-0.14199E 02	0.23371E 02	-0.17153E 02	0.65097E 01	-0.97634E 00
560.0	1.5	0.60157E 02	0.15804E 02	-0.13078E 02	0.82462E 01	-0.20765E 01	0.20685E 00
560.0	2.5	0.66395E 02	-0.41998E 00	0.14872E 01	-0.10303E 00	0.35552E-02	-0.50813E-04
580.0	0.5	0.68210E 02	0.14120E 00	-0.37055E 00	0.54606E 01	-0.81859E 01	0.43081E 01
580.0	0.5	0.68130E 02	0.11093E 00	0.85605E 00	-0.37956E 00	0.64107E 00	-0.24495E 00
580.0	1.0	0.72177E 02	-0.26843E 02	0.60956E 02	-0.64605E 02	0.17909E 02	-0.27529E 01
580.0	1.5	0.64571E 02	0.92775E 01	-0.82377E 01	0.64573E 01	-0.11670E 01	0.11389E 00
580.0	2.5	0.68481E 02	-0.48801E 00	0.14410E 01	-0.97360E-01	0.32656E-02	-0.44921E-04

DEPTH (KM)	EPICENTRAL DISTANCE (DEG.)	A1	A2	A3	A4	A5	A6
0.0	0.5	-0.10941E-07	0.54074E 02	0.35351E 01	-0.82233E 01	0.12690E 02	-0.77111F 01
0.0	0.5	0.16218E 01	0.21881E 02	0.36382E 02	-0.57974E 02	0.36032E 02	-0.96045E 01
0.0	1.0	-0.16966E 03	0.80106E 03	-0.13690E 04	0.12043E 04	-0.52236E 03	0.83009E 02
0.0	1.5	0.15943E 02	0.74848E 02	0.19523E 02	-0.10791E 02	0.29309E 01	-0.31326F 01
0.0	2.5	0.10224E 02	0.24816E 02	0.93895E-01	-0.13977E-01	0.62038E-03	-0.98269E-05
10.0	0.5	0.29564E 01	0.25253E 01	0.16175E 03	-0.64732E 03	0.60592E 03	-0.31863E 03
10.0	0.5	0.24982E 01	0.1843E 02	0.34951E 02	-0.45841E 02	0.28790E 02	-0.72825E 01
10.0	1.0	0.57727E 03	-0.13361E 04	0.23674E 04	-0.80672E 04	0.81804E 03	-0.12763E 03
10.0	1.5	0.41852E 01	0.34437E 01	-0.90479E 01	0.43246E 01	-0.10225E 01	0.95603E-01
10.0	2.5	0.83548E 01	0.24768E 02	0.10888E 00	-0.16357E-01	0.78270E-03	-0.11823E-04
20.0	0.5	0.57421E 01	0.75035E 00	0.11027E 03	-0.22307E 03	0.24375E 03	-0.11086E 03
20.0	0.5	0.3668E 01	0.17942E 02	0.33750E 02	-0.8888E 02	0.50645E 02	-0.17654E 02
20.0	1.0	0.31700E 03	0.70245E 03	-0.10265E 04	0.77187E 03	-0.28802E 03	0.42674E 02
20.0	1.5	0.16489E 02	-0.62236E-01	0.24847E 02	-0.12165E 02	0.29833E 01	-0.29445E 00
20.0	2.5	0.68483E 01	0.24694E 02	0.13018E 00	-0.419136E-01	0.93231E-03	-0.14561E-04
30.0	0.5	0.83256E 01	0.61878E 00	0.68749E 02	-0.86602E 02	0.52532E 02	-0.11170E 02
30.0	0.5	0.22831E 02	-0.10856E 03	0.37482E 03	-0.49954E 03	0.32059E 03	-0.79903E 02
30.0	1.0	0.54887E 01	0.21107E 02	0.10997E 02	-0.12595E 02	0.45285E 01	-0.12675E 01
30.0	1.5	-0.21133E 02	0.92892E 02	-0.4918E 02	0.34939E 02	-0.87188E 01	0.86181E 00
30.0	2.5	0.56128E 01	0.24692E 02	0.13233E 00	-0.420074E-01	0.10249E-02	-0.19388E-04
40.0	0.5	0.10033E 02	-0.75535E-01	0.43069E 02	-0.23635E 02	-0.14540E 02	0.15650E 02
40.0	0.5	0.10196E 02	0.28374E 01	0.40334E 02	-0.35916E 02	-0.15108E 02	-0.27159E 01
40.0	1.0	-0.97041E 02	0.41317E 03	-0.58383E 03	0.3481E 03	-0.16045E 03	0.23484E 02
40.0	1.5	0.31864E 02	-0.4508E 02	0.73392E 02	-0.37673E 02	0.95320E 01	-0.95096E 00
40.0	2.5	0.55453E 01	0.24599E 02	0.14199E 00	-0.21100E-01	0.10862E-02	-0.20542E-04
50.0	0.5	0.12888E 02	0.97207E-01	0.30873E 02	-0.12322E 01	-0.37355E 02	0.26533E 02
50.0	0.5	0.11062E 02	0.12849E 02	-0.81522E-01	0.21318E 02	-0.24597E 02	0.79372E 01
50.0	1.0	0.16618E 02	-0.10649E 02	0.45945E 02	-0.29522E 02	0.91428E 01	-0.10727E 01
50.0	1.5	0.25665E 02	-0.26472E 02	0.32098E 02	-0.26808E 02	0.65994E 01	-0.65721E 00
50.0	2.5	0.60061E 01	0.24306E 02	0.20382E 00	-0.29502E-01	0.10359E-02	-0.34114E-04
60.0	0.5	0.15149E 02	0.29999E-01	0.24303E 02	0.65318E 01	-0.38642E 02	0.26617E 02
60.0	0.5	0.14912E 02	0.1900E 01	0.66531E 02	-0.14025E 02	0.23530E 01	0.34181E 00
60.0	1.0	0.51794E 01	0.3220E 02	-0.62433E 02	0.19772E 02	-0.69987E 01	0.89811E 00
60.0	1.5	-0.84943E 01	0.65922E 02	-0.44594E 02	0.23351E 02	-0.59557E 01	0.59649E 00
60.0	2.5	0.70387E 01	0.23647E 02	0.36746E 00	-0.51679E-01	0.30834E-02	-0.69799E-04
70.0	0.5	0.17390E 02	0.12251E 00	0.19858E 02	0.7745E 01	-0.30726E 02	0.19766E 02
70.0	0.5	0.17168E 02	0.14448E 01	0.19335E 02	-0.34413E 01	-0.44903E 01	0.20737E 01
70.0	1.0	0.1010E 02	0.22423E 02	-0.23712E 01	0.58195E 01	-0.19461E 01	0.17735E 00
70.0	1.5	0.14411E 02	0.10210E 02	0.11331E 02	-0.48084E 01	0.1799E 01	-0.1007E 00
70.0	2.5	0.82755E 01	0.22913E 02	0.54803E 00	-0.74612E-01	0.4214E-02	-0.11144E-03
80.0	0.5	0.19642E 02	-0.25516E 00	0.21872E 02	-0.15927E 02	0.21042E 02	-0.15895E 02
80.0	0.5	0.18999E 02	0.35921E 01	0.12156E 02	-0.1729E 01	-0.46740E 01	0.13688E 01
80.0	1.0	0.2434E 02	-0.1502E 02	0.51502E 02	-0.3081E 02	0.1421E 02	-0.25820E 01
80.0	1.5	0.16395E 02	0.11687E 02	0.59646E 01	-0.52339E 00	-0.33534E 00	0.78038E-01
80.0	2.5	0.92672E 01	0.22535E 02	0.59732E 00	-0.80812E-01	0.49881E-02	-0.11868E-03

DEPTH (KM)	EPICENTRAL DISTANCE (DEG.)	A1	A2	A3	A4	A5	A6
90.0	0.5	0.21872E 02	-0.13152E-01	0.16153E 02	0.87923E 00	-0.90569E 01	0.473529E 01
90.0	1.0	0.23546E 02	-0.13002E-01	0.55478E 02	-0.57756E 02	0.34868E 02	-0.87744E 01
90.0	1.5	0.24506E 02	-0.16791E 02	0.55227E 02	-0.44151E 02	0.18828E 02	-0.37503E 01
90.0	2.0	0.24925E 02	-0.17170E 01	0.22265E 02	-0.10530E 02	0.26209E 01	-0.26617E 00
90.0	2.5	0.10434E 02	0.22098E 02	0.65747E 00	-0.86030E-01	0.52817E-02	-0.817636E-03
100.0	0.5	0.24101E 02	-0.26685E-01	0.14801E 02	-0.59773E 00	-0.49627E 01	0.24780E 01
100.0	1.0	0.23277E 02	0.19968E 01	0.26038E 01	0.12627E 02	-0.10504E 02	0.26271E 01
100.0	1.5	0.19532E 02	0.32806E 02	-0.53958E 02	0.50894E 02	-0.21595E 02	0.36968E 01
100.0	2.0	0.27634E 02	-0.98371E 01	0.27654E 02	-0.12828E 02	0.26624E 01	-0.27310E 00
100.0	2.5	0.12125E 02	0.21357E 02	0.78369E 00	-0.497598E-01	0.89363E-02	-0.411791E-03
120.0	0.5	0.28540E 02	0.24351E-01	0.10706E 02	0.54908E 01	-0.14146E 02	0.97595E 01
120.0	1.0	0.28056E 02	0.32520E 01	0.35026E 01	0.10816E 02	-0.90128E 01	0.25831E 01
120.0	1.5	0.28168E 02	0.14033E 02	0.18168E 02	-0.18168E 02	-0.80745E 00	0.27741E 00
120.0	2.0	0.22026E 02	0.16147E 02	-0.20391E 01	0.33375E 01	-0.11236E 01	0.17682E 00
120.0	2.5	0.14969E 02	0.20558E 02	0.82444E 00	-0.91504E-01	0.50648E-02	-0.11548E-03
140.0	0.5	0.32920E 02	-0.18263E-01	0.10304E 02	-0.14524E 01	0.90354E 00	-0.12579E 01
140.0	1.0	0.32931E 02	0.17559E 00	0.10113E 02	-0.11602E 01	-0.16809E-01	-0.22698E 00
140.0	1.5	0.25830E 02	0.10275E 02	-0.40081E 02	-0.40873E 02	-0.17583E 02	0.29010E 01
140.0	2.0	0.24041E 02	0.23164E 02	-0.12431E 02	0.93464E 01	-0.27581E 01	0.29929E 00
140.0	2.5	0.18975E 02	0.19154E 02	0.10043E 01	-0.10015E 00	0.49461E-02	-0.10232E-03
160.0	0.5	0.37384E 02	-0.25357E-01	0.89103E 01	-0.16706E 00	-0.18905E 01	0.17803E 01
160.0	1.0	0.38129E 02	-0.56201E 02	0.25079E 02	-0.23040E 02	0.14603E 02	-0.34986E 01
160.0	1.5	0.47157E 02	-0.41150E 02	0.75831E 02	-0.54177E 02	0.20504E 02	-0.31331E 01
160.0	2.0	0.26888E 02	0.24115E 02	-0.16087E 02	0.10730E 02	-0.29524E 01	0.30307E 00
160.0	2.5	0.23803E 02	0.17297E 02	0.13185E 01	-0.12680E 00	0.59409E-02	-0.11414E-03
180.0	0.5	0.41771E 02	0.25602E 00	0.48482E 01	0.11350E 02	-0.19948E 02	0.11768E 02
180.0	1.0	0.42119E 02	-0.23649E 01	0.14105E 02	-0.86715E 01	0.50259E 01	-0.15751E 01
180.0	1.5	0.35666E 02	0.27763E 02	-0.42017E 02	0.33786E 02	-0.19789E 02	0.34281E 01
180.0	2.0	0.50818E 02	-0.25094E 02	0.35584E 02	-0.15889E 02	0.37408E 01	-0.16665E 00
180.0	2.5	0.29422E 02	0.14988E 02	0.17730E 01	-0.17799E 00	0.83582E-02	-0.14820E-03
200.0	0.5	0.46140E 02	-0.17640E 00	0.88426E 01	-0.90872E 01	0.17045E 02	-0.12012E 02
200.0	1.0	0.45135E 02	0.2209E 01	-0.15616E 02	0.32208E 02	-0.22927E 02	0.61369E 01
200.0	1.5	0.60488E 02	-0.56193E 02	0.94152E 02	-0.67328E 02	0.25247E 02	-0.34247E 01
200.0	2.0	0.61645E 02	-0.40884E 02	0.49804E 02	-0.22858E 02	0.54424E 01	-0.5189E 00
200.0	2.5	0.34363E 02	0.13399E 02	0.20083E 01	-0.19863E 00	0.94720E-02	-0.18399E-03
220.0	0.5	0.50469E 02	-0.91201E-01	0.72500E 01	-0.45582E 01	0.72597E 01	-0.45117E 01
220.0	1.0	0.53017E 02	-0.44068E 01	0.19433E 02	-0.18662E 02	0.14379E 02	-0.12635E 01
220.0	1.5	0.38569E 02	0.60978E 02	-0.67024E 02	0.36829E 02	-0.21807E 02	0.37907E 01
220.0	2.0	0.54595E 02	-0.10189E 02	0.16240E 02	-0.20705E 01	0.89147E 00	-0.64265E-01
220.0	2.5	0.39853E 02	0.11540E 02	0.23158E 01	-0.22677E 00	0.10990E-01	-0.21453E-03
240.0	0.5	0.54769E 02	-0.32359E-01	0.60457E 01	-0.23380E 01	0.47738E 01	-0.36674E 01
240.0	1.0	0.54187E 02	0.41792E 01	-0.60900E 01	0.16032E 02	-0.11077E 02	0.24843E 01
240.0	1.5	0.48025E 02	0.27151E 02	-0.37603E 02	0.34043E 02	-0.13611E 02	0.21129E 01
240.0	2.0	0.56786E 02	-0.66874E 01	0.14085E 02	-0.51922E 01	0.12295E 01	-0.12731E 00
240.0	2.5	0.45427E 02	0.97699E 01	0.25871E 01	-0.25157E 00	0.1159E-01	-0.21659E-03

DEPTH (KM)	EPICENTRAL DISTANCE (DEG.)	A1	A2	A3	A4	A5	A6
260.0	0.5	0.59038E 02	0.11166E 00	0.41841E 01	0.36001E 01	-0.46335E 01	0.41609E 01
260.0	0.5	0.59918E 02	-0.47714E 01	0.24989E 02	-0.28383E 02	0.19446E 02	-0.57650E 01
260.0	1.0	0.50250E 02	0.11951E 03	0.18005E 03	0.15597E 03	-0.62643E 02	0.99351E 01
260.0	1.5	0.58695E 02	0.12404E 01	0.37258E 01	0.67259E 00	-0.37803E 00	0.44949E-01
260.0	2.5	0.50912E 02	0.81879E 01	0.28016E 01	-0.26871E 00	0.12846E-01	-0.24723E-03
280.0	0.5	0.63282E 02	0.15846E 00	0.25563E 01	0.10531E 02	-0.21183E 02	0.14723E 02
280.0	0.5	0.63588E 02	-0.20013E 01	0.94697E 01	-0.57011E 01	0.26931E 01	-0.59866E 00
280.0	1.0	0.43647E 02	0.61798E 02	-0.13023E 03	0.11029E 03	-0.44816E 02	0.71886E 01
280.0	1.5	0.67137E 02	-0.10184E 02	0.15489E 02	-0.56677E 01	0.12892E 01	-0.12651E 00
280.0	2.5	0.55916E 02	0.70634E 01	0.28970E 01	-0.27244E 00	0.12850E-01	-0.24505E-03
300.0	0.5	0.67500E 02	-0.83600E-01	0.50267E 01	-0.24201E 01	0.42744E 01	-0.30270E 01
300.0	0.5	0.67044E 02	0.34520E 01	-0.58120E 01	0.46172E 02	-0.10312E 02	0.27599E 01
300.0	1.0	0.67382E 02	0.10011E 01	0.18774E 01	0.27237E 01	-0.15147E 01	0.27683E 00
300.0	1.5	0.64594E 02	0.76177E 01	-0.34180E 01	0.59106E 01	-0.11274E 01	0.11469E 00
300.0	2.5	0.61244E 02	0.57796E 01	0.39419E 01	-0.28296E 00	0.13269E-01	-0.25214E-03
320.0	0.5	0.71680E 02	0.22920E-01	0.38301E 01	0.85383E 00	-0.10943E 01	0.26267E 00
320.0	0.5	0.71345E 02	0.26544E 01	-0.38028E 01	0.11449E 02	-0.81953E 01	0.22661E 01
320.0	1.0	0.76079E 02	-0.1528E 02	0.25060E 02	-0.13344E 02	-0.37422E 01	-0.36387E 00
320.0	1.5	0.75179E 02	-0.10663E 02	0.18886E 02	-0.89552E 01	0.17825E 01	-0.18882E 00
320.0	2.5	0.66577E 02	0.45117E 01	0.38180E 01	-0.59234E 00	0.13562E-01	-0.25584E-03
340.0	0.5	0.75831E 02	0.13902E 00	0.23620E 01	0.58617E 01	-0.10948E 02	0.64777E 01
340.0	0.5	0.76939E 02	-0.81344E 01	0.27050E 02	-0.52280E 02	0.21768E 02	0.57831E 01
340.0	1.0	0.88711E 02	-0.55222E 02	0.92810E 02	-0.76752E 02	0.32405E 02	-0.51205E 01
340.0	1.5	0.75280E 02	0.44281E 01	0.43678E 01	-0.80660E 00	0.21772E 00	-0.30948E-01
340.0	2.5	0.71519E 02	0.35994E 00	0.32370E 01	-0.29342E 00	0.13531E-01	-0.25398E-03
360.0	0.5	0.79940E 02	-0.32342E-01	0.30308E 01	0.89443E 00	-0.34551E 01	0.33551E 01
360.0	0.5	0.79294E 02	0.46749E 01	-0.91260E 01	0.16721E 02	-0.10820E 02	0.27060E 01
360.0	1.0	0.72450E 02	0.30206E 02	-0.48276E 02	0.01677E 02	-0.16129E 02	0.25526E 01
360.0	1.5	0.81415E 02	-0.56313E 01	0.71261E 01	-0.16950E 01	0.30025E 00	-0.24200E-01
360.0	2.5	0.79282E 02	0.23324E 00	0.40811E 01	-0.40903E 00	0.21137E-01	-0.44323E-03
380.0	0.5	0.84048E 02	0.27460E-01	0.38806E 01	0.33978E 00	-0.13592E 01	0.14503E 01
380.0	0.5	0.85242E 02	-0.86076E 01	0.27559E 02	-0.33118E 02	0.22002E 02	-0.57332E 01
380.0	1.0	0.84502E 02	-0.37371E 01	0.12567E 01	0.59749E 01	0.49386E 01	-0.95057E 00
380.0	1.5	0.93962E 02	-0.24814E 02	0.2863E 02	-0.11919E 02	0.27784E 01	-0.2112E 00
380.0	2.5	0.83618E 02	-0.17115E 00	0.46226E 01	-0.59980E 00	0.20818E-01	-0.44570E-03
400.0	0.5	0.88170E 02	-0.19640E 00	0.51131E 01	-0.11088E 02	0.20551E 02	-0.13402E 02
400.0	0.5	0.88178E 02	-0.96561E 00	0.73576E 01	-0.76831E 01	0.62766E 01	-0.19554E 01
400.0	1.0	0.80741E 02	0.29911E 02	-0.44233E 02	0.37732E 02	-0.15005E 02	0.21609E 01
400.0	1.5	0.95314E 02	-0.18562E 02	0.21923E 02	-0.31649E 01	0.22262E 01	-0.21479E 00
400.0	2.5	0.86781E 02	0.55888E 00	0.3393E 01	-0.33583E 00	0.16764E-01	-0.34559E-03
420.0	0.5	0.92169E 02	-0.62413E-01	0.37992E 01	-0.24607E 01	0.68504E 01	-0.45558E 01
420.0	0.5	0.91792E 02	0.28212E 01	-0.55935E 01	0.12664E 02	-0.90743E 01	0.25038E 01
420.0	1.0	0.98891E 02	-0.22268E 02	0.46431E 02	-0.34083E 02	0.13246E 02	-0.20068E 01
420.0	1.5	0.87077E 02	0.12773E 02	-0.96668E 01	0.07173E 01	-0.14510E 01	0.14510E 00
420.0	2.5	0.89330E 02	0.19237E 01	0.27288E 01	-0.23134E 00	0.96258E-02	-0.17765E-03

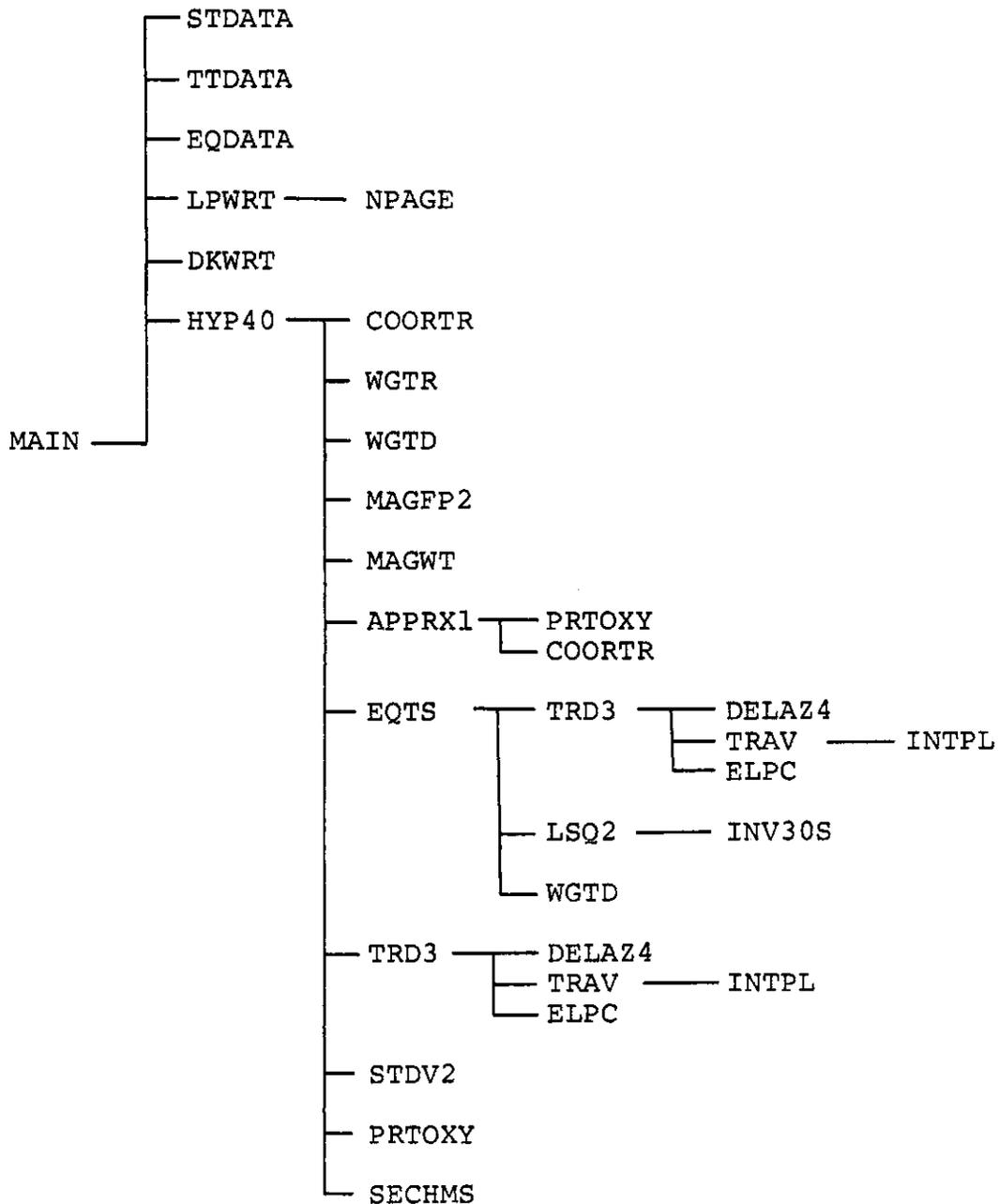
DEPTH (KM)	EPICENTRAL DISTANCE (DEG.)	A1	A2	A3	A4	A5	A6
440.0	0.5	0.96130E 02	-0.92710E-01	0.37328E 01	-0.35772E 01	0.58261E 01	-0.33359E 01
440.0	0.5	0.97565E 02	-0.10611E 02	0.33620E 02	-0.22600E 02	0.28712E 02	-0.75681E 01
440.0	1.0	0.89338E 02	-0.20728E 02	-0.64680E 02	0.40400E 02	-0.16442E 02	0.26329E 01
440.0	1.5	0.99840E 02	-0.96498E 01	0.12681E 02	-0.49305E 01	0.11641E 01	-0.11261E 01
440.0	2.5	0.93319E 02	0.18185E 01	0.27672E 01	-0.20255E 00	0.75067E-02	-0.12185E-03
460.0	0.5	0.10004E 03	-0.12166E 00	0.35583E 01	-0.27555E 01	0.43157E 01	-0.27469E 01
460.0	0.5	0.95255E 02	0.36267E 01	-0.14933E 01	0.12999E 01	-0.83291E 01	0.20600E 01
460.0	1.0	0.97257E 02	0.10983E 02	-0.14393E 02	0.13401E 02	-0.52067E 01	0.79255E 00
460.0	1.5	0.10851E 03	-0.11733E 02	0.14895E 02	-0.16684E 01	0.15645E 01	-0.15901E 00
460.0	2.5	0.98514E 02	0.79574E 00	0.29040E 01	-0.21756E 00	0.83025E-02	-0.11739E-03
480.0	0.5	0.10888E 03	0.38916E-01	0.24275E 01	-0.21231E 00	0.16476E 01	-0.14828E 01
480.0	0.5	0.10376E 03	0.78210E 00	0.94321E 00	0.13562E 01	-0.31073E 00	-0.93616E-01
480.0	1.0	0.95986E 02	0.32260E 02	-0.59423E 02	0.41292E 02	-0.16207E 02	0.25008E 01
480.0	1.5	0.10832E 03	-0.12066E 02	0.15537E 02	-0.68966E 01	0.17712E 01	-0.19377E 00
480.0	2.5	0.10292E 03	0.30834E 00	0.28928E 01	-0.21422E 00	0.80532E-02	-0.11030E-03
500.0	0.5	0.10768E 03	-0.36073E-01	0.27000E 01	-0.14653E 01	0.33637E 01	-0.26616E 01
500.0	0.5	0.10710E 03	0.43610E 01	-0.10360E 02	0.18288E 02	-0.12696E 02	0.34267E 01
500.0	1.0	0.12307E 03	-0.63601E 02	0.10665E 03	-0.84667E 02	0.34077E 02	-0.54502E 01
500.0	1.5	0.10807E 03	-0.81795E 00	0.30986E 01	-0.23566E 00	0.53834E-03	0.20945E-02
500.0	2.5	0.10890E 03	0.15468E 00	0.27866E 01	-0.19834E 00	0.70161E-02	-0.10483E-03
520.0	0.5	0.11441E 03	0.18853E 00	0.86298E 00	0.50676E 01	-0.78566E 01	0.44097E 01
520.0	0.5	0.11082E 03	0.43735E 01	-0.10241E 02	0.17429E 02	-0.11736E 02	0.30529E 01
520.0	1.0	0.11018E 03	0.59916E 01	-0.86615E 01	0.95471E 01	-0.60193E 01	0.64251E 00
520.0	1.5	0.12499E 03	-0.27032E 02	0.29698E 02	-0.13731E 02	0.33841E 01	-0.33388E 00
520.0	2.5	0.11125E 03	-0.36540E 00	0.28030E 01	-0.20014E 00	0.71745E-02	-0.10858E-03
540.0	0.5	0.11510E 03	-0.69753E-02	0.22644E 01	0.38208E 00	-0.20327E 01	0.21398E 01
540.0	0.5	0.11418E 03	0.67554E 01	-0.17084E 02	0.26916E 02	-0.18387E 02	0.49068E 01
540.0	1.0	0.12846E 03	0.19494E 02	-0.16913E 02	0.17053E 02	-0.74673E 01	0.17746E 01
540.0	1.5	0.12569E 03	-0.27681E 02	0.30871E 02	-0.14687E 02	0.37005E 01	-0.37234E 00
540.0	2.5	0.11549E 03	-0.83376E 00	0.28169E 01	-0.20307E 00	0.74675E-02	-0.11696E-03
560.0	0.5	0.11874E 03	0.14399E 00	0.60715E 00	0.62705E 01	-0.11468E 02	0.76318E 01
560.0	0.5	0.11910E 03	-0.23260E 01	0.90189E 01	-0.90618E 01	0.56856E 01	-0.11655E 01
560.0	1.0	0.13456E 03	-0.69981E 02	0.11779E 03	-0.94371E 02	0.38002E 02	-0.60550E 01
560.0	1.5	0.11127E 03	0.16664E 02	-0.18369E 02	0.10546E 02	-0.27071E 01	0.27207E 00
560.0	2.5	0.11938E 03	-0.10410E 01	0.27605E 01	-0.19715E 00	0.72556E-02	-0.11486E-03
580.0	0.5	0.12344E 03	-0.12986E 00	0.30825E 01	-0.31303E 01	0.37006E 01	-0.14827E 01
580.0	0.5	0.12256E 03	-0.17058E 01	0.71193E 01	-0.74019E 01	0.52190E 01	-0.14479E 01
580.0	1.0	0.12816E 03	-0.24870E 02	0.42894E 02	-0.32905E 02	0.13151E 02	-0.20852E 01
580.0	1.5	0.11704E 03	0.13591E 02	-0.11830E 02	0.70135E 01	-0.17810E 01	0.17672E 00
580.0	2.5	0.12280E 03	-0.84311E 00	0.25842E 01	-0.17401E 00	0.58761E-02	-0.83188E-04

付録2 標準速度構造による射出角

Epicentral distance (km)	Focal depth (km)															
	10	20	40	60	80	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0
10	132.5	151.1	163.3	169.4	172.2	173.8	175.9	177.0	177.6	177.6	178.2	178.4	178.6	178.7	178.8	178.9
20	111.6	129.9	148.2	159.3	164.6	167.8	171.9	173.0	173.5	173.9	174.5	175.0	175.4	175.7	176.0	176.3
30	101.0	116.1	135.4	150.1	157.4	161.9	168.0	170.9	172.7	173.9	174.7	175.3	175.7	176.1	176.4	176.8
40	94.1	106.5	124.9	141.9	150.8	156.4	164.1	168.0	170.3	171.8	172.7	173.2	173.6	174.0	174.3	174.6
50	88.9	99.2	116.5	134.8	144.7	151.2	160.3	165.0	167.9	169.8	171.2	172.2	172.9	173.5	174.0	174.4
60	84.6	93.3	110.0	128.8	139.3	146.3	156.7	162.7	165.6	167.8	169.5	170.7	171.5	172.2	172.7	173.3
70	80.7	88.4	105.1	123.7	134.5	141.9	153.3	159.4	163.3	165.9	167.7	169.2	170.1	170.9	171.5	172.2
80	77.2	83.9	101.7	119.4	130.2	137.9	150.0	156.7	161.0	163.9	166.0	167.7	168.7	169.6	170.3	171.0
90	73.9	79.9	99.2	115.8	126.4	134.2	146.9	154.1	158.8	162.9	166.4	168.1	169.3	170.5	171.6	172.6
100	70.9	76.1	97.5	112.7	123.1	130.8	143.9	151.6	156.6	160.1	162.7	164.7	166.0	167.0	168.0	168.8
110	67.9	72.9	95.4	110.1	120.1	127.8	141.1	149.2	154.5	158.3	161.1	163.2	164.6	165.7	166.8	167.7
120	64.9	69.9	93.0	107.9	117.5	125.0	138.5	146.8	152.4	156.4	159.4	161.7	163.2	164.5	165.6	166.6
130	61.8	66.8	90.2	105.9	115.1	122.5	136.0	144.6	150.4	154.7	157.8	160.3	161.9	163.2	164.4	165.6
140	58.8	63.8	86.5	104.3	113.1	120.2	133.7	142.4	148.5	152.9	156.3	158.9	160.6	162.0	163.3	164.5
150	55.8	60.8	82.2	102.9	111.2	118.2	131.5	140.3	146.6	151.2	154.7	157.5	159.3	160.7	162.1	163.4
160	52.8	57.8	78.1	101.6	109.6	116.3	129.5	138.4	144.8	149.5	153.2	156.1	158.0	159.5	161.0	162.3
170	49.8	54.8	73.9	100.5	108.0	114.5	127.5	136.5	143.0	147.9	151.7	154.7	156.7	158.3	159.9	161.3
180	46.8	51.8	69.8	99.6	106.7	113.0	125.8	134.7	141.3	146.3	150.3	153.4	155.4	157.1	158.7	160.2
190	43.8	48.8	65.8	98.6	105.5	111.5	124.1	133.0	139.7	144.8	148.8	152.0	154.1	155.9	157.6	159.1
200	40.8	45.8	61.8	97.8	104.3	110.1	122.5	131.3	138.1	143.3	147.4	150.7	152.9	154.7	156.5	158.1
250	30.0	35.0	51.0	94.7	101.3	107.1	119.5	128.1	134.9	140.9	144.5	148.5	151.9	154.0	155.9	157.1
300	20.0	25.0	41.0	92.5	98.8	104.8	116.8	125.8	132.8	138.9	143.3	147.4	150.7	152.9	154.7	156.5
350	10.0	15.0	31.0	90.8	96.8	102.8	114.5	123.5	130.5	136.4	140.9	145.1	149.0	151.1	153.0	154.8
400	0.0	5.0	21.0	89.1	94.7	100.8	112.1	121.1	128.1	134.0	138.5	143.0	147.4	151.1	153.0	154.8
450	0.0	0.0	11.0	87.8	93.4	99.8	110.7	119.7	126.7	132.6	137.1	141.6	146.1	150.0	153.0	154.8
500	0.0	0.0	0.0	86.6	92.1	98.6	109.6	118.6	125.6	131.5	136.0	140.5	145.0	149.0	151.1	153.0
550	0.0	0.0	0.0	85.5	91.0	97.5	108.5	117.5	124.5	130.4	134.9	139.4	143.9	148.0	151.1	153.0
600	0.0	0.0	0.0	84.5	90.0	96.5	107.4	116.4	123.4	129.3	133.8	138.3	142.8	146.9	150.0	153.0
650	0.0	0.0	0.0	83.5	89.0	95.5	106.3	115.3	122.3	128.2	132.7	137.2	141.7	145.8	149.0	151.1
700	0.0	0.0	0.0	82.5	88.0	94.5	105.2	114.2	121.2	127.1	131.6	136.1	140.6	144.7	148.0	151.1
750	0.0	0.0	0.0	81.6	87.0	93.5	104.1	113.1	120.1	126.0	130.5	135.0	139.5	143.6	147.0	150.0
800	0.0	0.0	0.0	80.7	86.0	92.0	103.0	112.0	119.0	125.0	129.5	134.0	138.5	142.6	146.0	149.0
850	0.0	0.0	0.0	80.0	85.0	91.0	102.0	111.0	118.0	124.0	128.5	133.0	137.5	141.6	145.0	148.0
900	0.0	0.0	0.0	79.2	84.0	90.0	101.0	110.0	117.0	123.0	127.5	132.0	136.5	140.6	144.0	147.0
950	0.0	0.0	0.0	78.5	83.0	89.0	100.0	109.0	116.0	122.0	126.5	131.0	135.5	139.6	143.0	146.0
1000	0.0	0.0	0.0	77.8	82.0	88.0	99.0	108.0	115.0	121.0	125.5	130.0	134.5	138.6	142.0	145.0
1050	0.0	0.0	0.0	77.1	81.0	87.0	98.0	107.0	114.0	120.0	124.5	129.0	133.5	137.6	141.0	144.0
1100	0.0	0.0	0.0	76.5	80.0	86.0	97.0	106.0	113.0	119.0	123.5	128.0	132.5	136.6	140.0	143.0
1150	0.0	0.0	0.0	75.9	79.0	85.0	96.0	105.0	112.0	118.0	122.5	127.0	131.5	135.6	139.0	142.0

付録3 震源計算プログラム

3.1 サブプログラム樹系図



### 3.2 サブプログラム解説

- (1) STDATA : 観測点の座標, 感度等のデータを読み込む.
- (2) TTDATA : 走時係数の読み込みを行う.
- (3) EQDATA : 震源決定すべき地震の初動読み取り値データを読み込む.
- (4) HYPO40 : 震源決定のための一連の計算を行う. 流れ図は本文中, 図10に示されている.
- (5) APPRX1 : 震源パラメーターの初期値を計算する. 震源時をP波, S波とも読み取りのある1つの観測点から推定し, これをもとに他の観測点へのP波走時を計算し, それから震源を求める. S波の読み取りがない場合は, 1つの観測点のP波到着時刻から30秒引いた時刻を震源時とする.
- (6) WGTR : 読み取りランクに従って重みを設定する.
- (7) WGTD : 震央距離に従って重みを設定する.
- (8) MAGFP2 : F-P値からマグニチュードを推定する.
- (9) MAGWT : 振幅マグニチュードを計算する.
- (10) EQTS : 震源パラメーターを初期値, 観測値, 観測点座標, 重みを与え最小2乗法によって求める. この際, 深さと震源時は固定して他のパラメーターのみを求めることもできる.
- (11) TRD3 : 震源と観測点を与え, 震央距離, 方位角, 走時 走時の微分値  $\partial T / \partial \Delta$ ,  $\partial T / \partial Z$ , 走時に対する楕円地球補正, 高度補正を求める.
- (12) TRAV : 与えられた深さと震央距離に対して, 走時の5次多項式から走時とその微分値  $\partial T / \partial \Delta$ ,  $\partial T / \partial Z$  を計算する.
- (13) INTPL : N個のデータ列をラグランジュの補間により (N-1) 次式で補間し, 与えられた点に対する値を求める. また, その点での (N-1) 次式の微分係数も計算する.
- (14) STDV2 : 重み付きの標準偏差を求める.
- (15) ELPC : 走時に対する楕円地球補正を計算する.
- (16) LSQ2 : 最小2乗解を求める.
- (17) INV3OS : 逆行列を求める.
- (18) COORTR : 地理緯度と地心緯度の変換を行う.
- (19) PRTOXY : 中心の緯度, 経度を与え, 緯度・経度と X・Y 座標との変換を行う.
- (20) LPWRT : 計算結果をLP用紙へ出力する.
- (21) NPAGE : LP用紙出力中のページ更新を行う.
- (22) SECHMS : 秒で与えられた時間を, 時・分・秒に直す.

3.3 計算プログラム

震源計算プログラムを示す。実際の定常作業においてはHITAC 20の入、出力形式に合わせて書かれたプログラムが用いられているが、ここに示すのは防災センターの大型計算機ACOS 700でカード入力、LP出力のためのものである。入、出力関係以外のプログラムはほとんど定常作業において用いられているものと同じである。

```

1      C      MAIN PROGRAM FOR HYPOCENTER DETERMINATION
2      COMMON/M/ NO
-----
3      C
4      C      SETTING OF STATION DATA
5      CALL STDATA( 0 )
-----
6      C
7      C      SETTING OF TRAVEL TIME DATA
8      CALL TTDATA( 0 )
-----
9      C
10     C      NO , SEQUENTIAL NUMBER OF EARTHQUAKES
11     NO = 0
12     C
13     IPG = 54
14     C
15     1 CONTINUE
16     C
17     NO = NO + 1
18     C
19     C      READING OF ARRIVAL TIME DATA
20     CALL EQDATA( ILL )
-----
21     C
22     IF( ILL .EQ. 1 ) GO TO 99
23     C
24     C      HYPOCENTER DETERMINATION
25     CALL HYP40
-----
26     C
27     C      PRINTING OUT TO LP=PAPERS
28     CALL LPWRT( IPG )
-----
29     C
30     GO TO 1
31     C
32     99 CONTINUE
-----
33     C      STOP
34     STOP
35     END
-----
1      SUBROUTINE TTDATA( Iw )
2      C      TRAVEL TIME DATA ARE READ FROM DISK FILE 'TRAVELTIME'.
3      COMMON/T/AP( 5 , 35 , 6 ) , AS( 5 , 35 , 6 ) , D( 6 ) , H( 35 ) ,
4      MD , MH , KMAX
5      READ( 5 , 500 ) MD , MH , KMAX
6      FORMAT( 3I5 )
7      READ( 5 , 501 ) ( D( I ) , I = 1 , MD )
8      READ( 5 , 501 ) ( H( I ) , I = 1 , MH )
9      FORMAT( 8E10.3 )
10     MD1 = MD = 1
11     DO 10 IH = 1 , MH
12     DO 10 ID = 1 , MD1
13     READ( 5 , 502 ) ( AP( ID , IH , K ) , K = 1 , KMAX )
14     502 FORMAT( 6E12.5 )
15     10 CONTINUE
16     DO 20 IH = 1 , MH
17     DO 20 ID = 1 , MD1
18     READ( 5 , 502 ) ( AS( ID , IH , K ) , K = 1 , KMAX )
19     20 CONTINUE

```

```

20      IF( IW .NE. 1 ) GO TO 12
21      DO 30 IH = 1 , MH
22      DO 30 ID = 1 , MD1
23      WRITE( 6 , 600 ) H( IH )
24      600 FORMAT( 1H , 'H = ' , F10.1 )
25      ID1 = ID + 1
26      WRITE( 6 , 610 ) D( ID ) , D( ID1 ) , ( AP( ID , IH , K ) ,
27      1      K = 1 , KMAX )
28      610 FORMAT( 1H , 15X , F10.2 , ' = ' , F10.2 , 5X , 6E12.5 )
29      WRITE( 6 , 612 ) ( AS( ID , IH , K ) , K = 1 , KMAX )
30      612 FORMAT( 1H , 41X , 6E12.5 )
31      30 CONTINUE
32      12 CONTINUE
33      RETURN
34      END

```

```

1      SUBROUTINE STDATA( IW )
2      COMMON/S/ NSTR( 70 ) , ALATR3( 70 ) , ALONR3( 70 ) , ANGTR( 70 ) ,
3      1      SIGRPR( 70 ) , SIGRSR( 70 ) , SMAGR( 70 ) ,
4      2      C1R( 70 ) , C2R( 70 ) , NUM
5      I = 0
6      1 I = I + 1
7      READ( 5 , 500 )
8      *
9      *      NSTR( I ) , SIGRPR( I ) , SIGRSR( I ) ,
10     *      ALATR3( I ) , ALONR3( I ) , ANGTR( I ) ,
11     *      SMAGR( I ) , C1R( I ) , C2R( I )
12     500 FORMAT( A3 , 17X , 2F8.2 , 2F10.6 , 2F7.3 , 2F5.2 )
13     IF( ALATR3( I ) .NE. 0. ) GO TO 1
14     NUM = I = 1
15     IF( IW .NE. 1 ) RETURN
16     WRITE( 6 , 601 )
17     601 FORMAT( 1H0 )
18     DO 10 I = 1 , NUM
19     WRITE( 6 , 600 ) NSTR( I ) , ALATR3( I ) , ALONR3( I ) ,
20     1      ANGTR( I ) , SIGRPR( I ) , SIGRSR( I ) , SMAGR( I ) ,
21     2      C1R( I ) , C2R( I )
22     600 FORMAT( 1H , A3 , 7X , 8( F10.6 , 2X ) )
23     10 CONTINUE
24     RETURN
25     END

```

```

1      SUBROUTINE EQDATA( ILL )
2      C
3      C      SUBROUTINE FOR READING OF ARRIVAL TIME DATA
4      C
5      DIMENSION NST( 70 ) , IYMD( 70 ) , MD( 70 ) , MANK( 70 , 2 ) ,
6      1      IH( 70 , 2 ) , IM( 70 , 2 ) , SS( 70 , 2 ) , MMPC( 70 , 2 ) ,
7      3      AMP( 70 , 2 ) , MPM( 70 ) , FP( 70 ) , SP( 70 ) ,
8      *      AMAX( 70 ) , MMAX( 70 ) , MEP( 70 )
9      C
10     COMMON/Q/ NST , IYMD , MD , MANK , IH , IM , SS , MMPC , AMP ,
11     1      MPM , FP , SP , MFP , MS , LEQ
12     COMMON/A/ AMAX , MMAX
13     C
14     C      ILL = 0 ; DATA EXIST.

```

```

15 C ILL = 1 ; DATA DO NOT EXIST.
16 C
17 C ILL = 0
18 C
19 C
20 C C C C C C C C C C C
21 C NST( I ) ; STATION CODE
22 C IYMD( I ) ; 1000 + ( YEAR = 1900 ) + 100 * MONTH + DAY
23 C MD( I ) ; POLARITY OF FIRST MOTION
24 C MANK( I , L ) ; RANK OF ARRIVAL TIME DATA
25 C IH( I , L ) ; ARRIVAL TIME *** HOUR
26 C IM( I , L ) ; *** MINUTE
27 C SS( I , L ) ; *** SECOND
28 C MMPC( I , L ) ; = ' ' , AMPLITUDE IS NOT SATURATED
29 C ; = ' * ' , AMPLITUDE IS SATURATED
30 C AMP( I , L ) ; TOTAL AMPLITUDE( MM ) ON VERTICAL SEISMOGRAM
31 C L = 1 *** P WAVE
32 C L = 2 *** S WAVE
33 C MPM( I ) F = ' * ' , SEISMIC CODA WAVE DOES NOT COMPLETELY
34 C RECORDED.
35 C MFP( I ) ; = MPM( I )
36 C FPC( I ) ; F = P TIME
37 C AMAX( I ) ; MAXIMUM AMPLITUDE
38 C MMAX( I ) F = ' * ' , MAXIMUM AMPLITUDE IS SATURATED.
39 C MS ; NUMBER OF STATIONS
40 C C C C C C C C C C C
41 C
42 I = 0
43 10 CONTINUE
44 I = I + 1
45 READ( 5 , 500 )
46 1 NST( I ) , IYMD( I ) , MD( I ) ,
47 2 ( MANK( I , L ) , IH( I , L ) , IM( I , L ) ,
48 3 SS( I , L ) , MMPC( I , L ) , AMP( I , L ) ,
49 4 L = 1 , 2 ) ,
50 5 MPM( I ) , FPC( I )
51 500 FORMAT( A3 , 16 , A1 , 2( 1X , A1 , 212 , F4.2 , A1 , F2.0 ) ,
52 1 13X , A1 , E3.0 )
53 IF( IYMD( I ) .EQ. 999999 ) GO TO 99
54 IF( IYMD( I ) .EQ. 0 ) GO TO 20
55 GO TO 10
56 20 CONTINUE
57 MS = I - 1
58 IF( MS .EQ. 0 ) GO TO 99
59 DO 30 I = 1 , MS
60 AMP( I , 1 ) = 0.05 * AMP( I , 1 )
61 AMP( I , 2 ) = 0.05 * AMP( I , 2 )
62 MFP( I ) = MPM( I )
63 AMAX( I ) = AMP( I , 1 )
64 MMAX( I ) = MMPC( I , 1 )
65 IF( AMP( I , 2 ) .LT. AMP( I , 1 ) ) GO TO 30
66 AMAX( I ) = AMP( I , 2 )
67 MMAX( I ) = MMPC( I , 2 )
68 30 CONTINUE
69 RETURN
70 99 CONTINUE
71 MS = 0
72 ILL = 1

```

```

73          RETURN
74          END

1          SUBROUTINE HYP40
2          C ---- C
3          C          HYPOCENTRAL DETERMINATION BY THE LEAST SQUARES METHOD
4          C          PRODUCED ORIGINALLY BY ISHIDA IN 1978.
5          C          MODIFIED BY IKAWA, ISHIDA, MATSUMURA AND KASAHARA IN 1982 - 1983.
6          C ---- C
7          DIMENSION NST( 70 ), LYMD( 70 ), MD( 70 ),
8          1          MANK( 70, 2 ), IH( 70, 2 ), IM( 70, 2 ),
9          2          SS( 70, 2 ), MMPC( 70, 2 ), AMP( 70, 2 ),
10         3          MPM( 70 ), FP( 70 ), SP( 70 ), MFP( 70 ),
11         4          NSTR( 70 ), ALATR3( 70 ), ALONR3( 70 ),
12         5          ANGR( 70 ), STCRPR( 70 ), STCRSR( 70 ),
13         6          SMAGR( 70 ), CIR( 70 ), C2R( 70 ), C1( 70 ), C2( 70 ),
14         7          IHS( 70 ), ALS( 70 ), HGTS( 70 ),
15         8          PTM( 70 ), STM( 70 ), STCRP( 70 ), STCRS( 70 ),
16         9          IP( 70 ), IS( 70 ), PWR( 70 ), SWR( 70 ),
17         *          SMW( 70 ), SMFP( 70 ), PRES( 70 ), SRES( 70 ),
18         *          DELTS( 70 ), AZESS( 70 ), DELTKH( 70 ),
19         *          MMAX( 70 ), FT( 140 ), FW( 140 ),
20         *          IPQ( 70 ), ISQ( 70 ), IDP( 70 ), IDS( 70 ),
21         *          SOL( 4 ), AMAX( 70 ), PW( 70 ), SW( 70 )
22         C ---- C
23         C          COMMON *** STDATA
24         COMMON/S/ NST, ALATR3, ALONR3, ANGR, STCRPR, STCRSR,
25         1          SMAGR, CIR, C2R, NUM
26         C          COMMON *** LPWRT OR DKWRT
27         COMMON/L/ NEQ, LYMD, IOTH, IOTM, OO, DOT, THO, DTMO, ALO,
28         1          DALO, HPO, DHP, SIG, MST, NP, NS,
29         2          X, DX, Y, DY, FMW, MMWS, FPMH, MPMS, IDXHP
30         C          COMMON *** LPWRT OR DKWRT
31         COMMON/H/ IDP, IDS, IP, IS, STCRP, STCRS, PW, SW
32         COMMON/W/ SMW, SMFP, PRES, SRES, AZESS, DELTKH
33         C          COMMON *** EQDATA
34         COMMON/Q/ NST, LYMD, MD, MANK, IH, IM, SS, MMPC, AMP,
35         1          MPM, FP, SP, MFP, MS, LEQ
36         COMMON/E/ SOL
37         COMMON/A/ AMAX, MMAX
38         C ---- C
39         C ---- C
40         CHARACTER*1 IBLK, ISTAR, IPHD, IMM, MANK, MD, MPMS,
41         *          MMWS, IDP, IDS, MMAX, MMPC, MFP
42         DATA IBLK/' '/, ISTAR/'*'/, IPHD/'D'/
43         DATA IMM/'#'/
44         C ---- C
45         C          PARAMETERS AND COEFFICIENTS
46         C          MS = MST : NUMBER OF STATIONS
47         MST = MS
48         NEQ = LEQ
49         C          VD : P WAVE VELOCITY FOR APPROXIMATION OF HYPOCENTER
50         VD = 4.5
51         AM = 0.001
52         C          FKM : DEG. TO KM
53         FKM = 111.195
54         RAD = 0.017453292
    
```

```

55      C      CENTER OF THE X - Y COORDINATE
56      ALATO = 35.5
57      ALONGO = 139.0
58      C      NSTOP : ITERATION NO KALSI
59      NSTOP = 10
60      C      INSTP : ZANSA O CHECK SURU KALSI
61      INSTP = 3
62      C ---- C
63      CCCC * * * * * CCCC
64      C      START
65      C ---- C
66      CCC   YEAR, MONTH AND DAY OF EARTHQUAKE
67      JYMD1 = JYMD / 100
68      IF( JYMD1 .LE. 0 ) JYMD1 = JYMD1 + 100
69      JYMD = JYMD( 1 )
70      JYMD2 = JYMD / 100
71      IF( JYMD1 .NE. JYMD2 ) IPG = 54
72      CCCC * * * * * CCCC
73      C      IP( 1 ) , IS( 1 )
74      C      = 0 , NO DATA
75      C      = 1 , DATA ARE USED
76      C      = 2 , DATA ARE NOT USED
77      C      = 3 , STATION DATA DO NOT EXIST.
78      CCCC * * * * * CCCC
79      C      RESETTING OF DATA
80      FMW = 0.0
81      FPM = 0.0
82      DO 15 I = 1 , MST
83      MFP( I ) = 1BLK
84      SMW( I ) = 0.0
85      IP( I ) = 0
86      IS( I ) = 0
87      15 CONTINUE
88      CCC   CCC
89      CCC   *** DAY AND HOUR ***   CCC
90      DO 21 I = 1 , MST
91      DO 21 L = 1 , 2
92      IF( IH( I , L ) .EQ. 23 ) GO TO 22
93      21 CONTINUE
94      GO TO 25
95      22 CONTINUE
96      DO 23 I = 1 , MST
97      DO 23 L = 1 , 2
98      IF( IH( I , L ) .EQ. 0 ) GO TO 24
99      GO TO 25
100     24 CONTINUE
101     IF( IM( I , L ) .NE. 0 ) IH( I , L ) = 24
102     IF( SS( I , L ) .NE. 0.0 ) IH( I , L ) = 24
103     23 CONTINUE
104     C ---- C
105     CCC   SETTING STATION COORDINATES
106     25 CONTINUE
107     DO 26 I = 1 , MST
108     DO 26 K = 1 , NUM
109     IF( NST( I ) .EQ. NSTR( K ) ) GO TO 28
110     27 CONTINUE
111     CCC   STATION DATA DO NOT EXIST.   CCC
112     IP( I ) = 3

```

```

113         IS( I ) = 3
114         GO TO 26
115     28 CONTINUE
116         ALATS = ALATR3( K )
117         ALNGS = ALONR3( K )
118         HGTSS( I ) = AMGIR( K )
119         STCRP( I ) = STCRPR( K )
120         STCRS( I ) = STCRSR( K )
121         SMAG = SMAGR( K )
122     C
123     C AMP( CM ) TO AMP( MICROKINE )
124         AMAX( I ) = SMAG * AMAX( I )
125         DO 60 L = 1, 2
126             AMP( I, L ) = SMAG * AMP( I, L )
127     60 CONTINUE
128     C
129         C1( I ) = C1R( K )
130         C2( I ) = C2R( K )
131     C GEOGRAPHICAL LAT. TO GEOCENTRIC LAT.
132     CALL COORTR( IHS( I ), ALS( I ), ALATS, ALNGS, D )
133     C ---- C
134     C ARRIVAL TIMES OF P AND S PHASES
135         PTMO = 3600.0 * FLOAT( IH( I, 1 ) )
136             + 60.0 * FLOAT( IM( I, 1 ) ) + SS( I, 1 )
137         STMO = 3600.0 * FLOAT( IH( I, 2 ) )
138             + 60.0 * FLOAT( IM( I, 2 ) ) + SS( I, 2 )
139     C STATION CORRECTIONS
140         PTM( I ) = PTMO - STCRP( I )
141         STM( I ) = STMO - STCRS( I )
142     C C C C C C C C C C C
143         IP( I ) = 1
144         IS( I ) = 1
145         IF( MANK( I, 1 ), EQ, ISTAR ) IP( I ) = 0
146         IF( MANK( I, 2 ), EQ, ISTAR ) IS( I ) = 0
147         IF( IP( I ), EQ, 0 ) PTM( I ) = 0.0
148         IF( IS( I ), EQ, 0 ) STM( I ) = 0.0
149         IPIS = IP( I ) + IS( I )
150         SP( I ) = 0
151         IF( IPIS, EQ, 1 ) SP( I ) = STM( I ) - PTM( I )
152         IF( SP( I ), LT, 0.0 ) IS( I ) = 2
153     C ---- C
154     C WEIGHT
155     C WP : WS = 3 : 1
156         PWR( I ) = 0
157         CALL WGR( MANK( I, 1 ), PWR( I ) )
158         SWR( I ) = 0
159         CALL WGR( MANK( I, 2 ), SWR( I ) )
160         SWR( I ) = SWR3 / 3.0
161         IF( MANK( I, 1 ), EQ, IPHD ) IP( I ) = 2
162         IF( MANK( I, 2 ), EQ, IPHD ) IS( I ) = 2
163     26 CONTINUE
164     C ---- C
165     C
166     C REJECTION OF INACCURATE DATA OF FP
167         DO 29 I = 1, MST
168             IF( IP( I ), EQ, 0 ) MFPS( I ) = IMM
169             IF( FP( I ), LT, SP( I ) ) MFPS( I ) = IMM
170     29 CONTINUE

```

```

171 C --- C
172 C NUMBER OF OBSERVATIONS
173 C
174 N = 0
175 NP = 0
176 NS = 0
177 OO 30 I = 1, MST
178 IFC IP( I ) .EQ. 1 ) NP = NP + 1
179 IFC IS( I ) .EQ. 1 ) NS = NS + 1
180 30 CONTINUE
181 C CONDITION OF NUMBER OF STATIONS IN HYPOCENTRAL DETERMINATION
182 N = NP + NS
183 IFC NP .LT. 5 ) GO TO 31
184 IFC N .LT. 5 ) GO TO 31
185 GO TO 55
186 C --- C
187 700 CONTINUE
188 C HYPOCENTER CAN NOT BE DETERMINED.
189 31 CONTINUE
190 IOTH = IM( 1, 1 )
191 IFC IOTH .EQ. 24 ) IOTH = IOTH - 24
192 IOTH = IM( 1, 1 )
193 OO = 0.0
194 DOI = 0.0
195 Y = 0.0
196 DY = 0
197 X = 0.0
198 DX = 0
199 THO = 0.0
200 DTHO = 0.0
201 ALO = 0.0
202 DALO = 0.0
203 HPO = 0.0
204 DHP = 0.0
205 SIG = 0.0
206 NP = 0
207 NS = 0
208 DD 32 I = 1, MST
209 MMAX( I ) = IMM
210 SMW( I ) = 0
211 DELTKM( I ) = 0.0
212 AZESS( I ) = 0.0
213 PRES( I ) = 0.0
214 SRES( I ) = 0.0
215 IFC IP( I ) .EQ. 1 ) IP( I ) = 2
216 IFC IS( I ) .EQ. 1 ) IS( I ) = 2
217 32 CONTINUE
218 MMWS = IMM
219 MPMS = 1BLK
220 CALL MAGFPZ( FPMW, MPMS, C1, C2, ED, MPM, SMFP, MFP, MST, JFP )
221 IFC JFP .EQ. 1 ) MPMS = IMM
222 C MPMS = IMM ; FPMAG CAN NOT BE DETERMINED.
223 N = 0
224 IDXHP = 0
225 CCC GO TO PRINT OUT
226 GO TO 800
227 C --- C
228 35 CONTINUE

```



```

287          DHPE = 0.0
288          IF( KH .EQ. 0 ) GO TO 260
289          C      SEARCH THE MINIMUM RMS SOLUTION
290          IF( SIGM .LT. SIG ) GO TO 270
-----
291          260 CONTINUE
292          THEM = THE
293          ALEM = ALE
294          OTM = OT
295          HPEM = HPE
296          DTHEM = DTHE
-----
297          DALEM = DALE
298          DOTM = DOT
299          SIGM = SIG
300          270 CONTINUE
301          C      CONSTRAINED DEPTH *** 35 , 25 , 15 , 5 KM.
302          KH = KH + 1
-----
303          IF( KH .GT. 3 ) GO TO 210
304          HPE = 35. * FLOAT( KH )
305          GO TO 220
-----
306          C ---- C
307          210 CONTINUE
308          HPE = HPEM
309          THE = THEM
310          ALE = ALEM
311          OT = OTM
312          DTHE = DTHEM
313          DALE = DALEM
314          DOT = DOTM
-----
315          SIG = SIGM
316          300 CONTINUE
317          C ---- C
318          C      STORE THE CURRENT SOLUTION IN THE PARAMETERS WITH 0.
319          IF( IN .EQ. INSTP ) GO TO 310
320          THE0 = THE
-----
321          ALE0 = ALE
322          HPE0 = HPE
323          OT0 = OT
324          DTHE0 = DTHE
325          DALE0 = DALE
326          DHPE0 = DHPE
-----
327          DOT0 = DOT
328          SIG0 = SIG
-----
329          C ---- C
330          310 CONTINUE
331          C      RESIDUALS
332          C      PTRVC : CALCULATED TRAVEL TIME OF P PHASE.
-----
333          C      PTRVO : OBSERVED TRAVEL TIME OF P PHASE WITH ELLIPTICITY AND
334          C      HIGHT CORRECTIONS.
335          DO 41 1 = 1 , MST
336          PRES( 1 ) = 0.0
337          CALL TRD3( DELTS( 1 ) , PTRVC , AZESS( 1 ) , AZSE , DTDD , DTDH ,
-----
338          1      THE , ALE , HPE , THS( 1 ) , ALS( 1 ) , HGTS( 1 ) ,
339          2      ELDI , HGTCR , 0 , ILL )
340          C      IF TRAVEL TIME DATUM OF P DOES NOT EXIST, THEN GO TO 42.
341          IF( IP( 1 ) .NE. 1 , AND. IP( 1 ) .NE. 2 ) GO TO 42
342          PTRV( 1 ) = PT( 1 ) - OT - ELDI - HGTCR
343          PRES( 1 ) = PTRVO - PTRVC
344          42 CONTINUE

```

```

345 C STRVO ; OBSERVED TRAVEL TIME OF S PHASE WITH ELLIPTICITY AND
346 C STRVC ; CALCULATED TRAVEL TIME OF S PHASE,
347 C HIGHT CORRECTIONS,
348 SRES( I ) = 0.
349 C IF TRAVEL TIME DATUM OF S DOES NOT EXIST, THEN GO TO 41.
350 IF( IS( I ) .NE. 1 .AND. IS( I ) .NE. 2 ) GO TO 41
351 CALL TRD3( DEL , STRVC , AZES , AZSE , DTDD , DTDH ,
352 1 THE , ALE , HPE , THS( I ) , ALS( I ) , HGTS( I ) ,
353 2 ELDT , HGTCR , 1 , ILL )
354 STRVO = STM( I ) - DT - ELDT - HGTCR
355 SRES( I ) = STRVO - STRVC
356 41 CONTINUE
357 C ---- C
358 C IF ITERATIONS HAVE BEEN DONE IN 3 TIMES, STOP ITERATION.
359 IF( IN .GE. INSTP ) GO TO 320
360 NP0 = NP
361 NS0 = NS
362 C ---- C
363 C REJECTION OF THE DATA WITH LARGE RESIDUALS.
364 NP = 0
365 NS = 0
366 DO 45 I = 1 , MST
367 C P PHASES
368 IF( MARK( I , 1 ) .EQ. IPHD ) GO TO 44
369 IF( IP( I ) .NE. 1 .AND. IP( I ) .NE. 2 ) GO TO 44
370 IPS( I ) = 1
371 APRES = ABS( PRES( I ) )
372 C REJECT THE DATA WITH P RESIDUALS GREATER THAN 2SEC.
373 IF( APRES .GT. 2.0 ) IP( I ) = 2
374 IF( IPS( I ) .EQ. 1 ) NP = NP + 1
375 44 CONTINUE
376 C S PHASES
377 IF( MARK( I , 2 ) .EQ. IPHD ) GO TO 43
378 IF( IS( I ) .NE. 1 .AND. IS( I ) .NE. 2 ) GO TO 43
379 IS( I ) = 1
380 ASRES = ABS( SRES( I ) )
381 C REJECT THE DATA WITH S RESIDUALS GREATER THAN 4SEC.
382 IF( ASRES .GT. 4.0 ) IS( I ) = 2
383 IF( IS( I ) .EQ. 1 ) NS = NS + 1
384 43 CONTINUE
385 N = NP + NS
386 C ---- C
387 DO 46 I = 1 , MST
388 IF( IP( I ) .NE. IP0( I ) .OR. IS( I ) .NE. IS0( I ) ) GO TO 315
389 46 CONTINUE
390 C SITUATION IS SIMILAR TO THAT OF THE PREVIOUS ITERATION.
391 C THEN STOP THE ITERATION.
392 GO TO 330
393 C ---- C
394 315 CONTINUE
395 C IF THE NUMBER OF DATA IS ENOUGH TO INVERSTION, GO TO BEGINNING.
396 IF( N .GE. 5 .AND. NP .GE. 3 ) GO TO 240
397 C TOO SMALL NUMBER OF DATA TO DETERMINE HYPDCENTER.
398 C USE THE SOLUTIONS OF PREVIOUS ITERATION.
399 330 CONTINUE
400 C RESET IP(I) AND IS(I).
401 DO 45 I = 1 , MST
402 IP( I ) = IP0( I )

```

```

403          IS( 1 ) = ISO( 1 )
404          45 CONTINUE
405          NP = NPO
406          NS = NSO
-----
407          520 CONTINUE
408          C ---- C
409          C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C
410          C SOLUTIONS C
411          C THE ( DTME ) C
412          C ALE ( DALE ) C
-----
413          C HPE ( DHPE ) C
414          C DT ( DOT ) C
415          C DATA FOR EACH STATION C
416          C DO 90 1 = 1 , MST C
417          C NST( 1 ) , PTM( 1 ) , MANK( 1 , 1 ) , C
418          C PRES( 1 ) , IP( 1 ) , STM( 1 ) , C
419          C MANK( 1 , 2 ) , SRES( 1 ) , IS( 1 ) , C
420          C DELTS( 1 ) , AZESS( 1 ) , DELTKM( 1 ) C
421          C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C C
422          C
423          C STANDARD DEVIATION
424          C
-----
425          C PW(1) : WEIGHT OF P ARRIVAL OF I(TH) STATION
426          C SW(1) : WEIGHT OF S ARRIVAL OF I(TH) STATION
427          C NF = 0
428          C DO 90 1 = 1 , MST
429          C DELTKM( 1 ) = DELTS( 1 ) * FKM
430          C CALL WGT0( DELTKM(1) , WD )
431          C PW( 1 ) = PWR( 1 ) * WD
432          C IF( IP( 1 ) .NE. 1 ) GO TO 90
433          C NF = NF + 1
434          C FT( NF ) = PRES( 1 )
435          C FW( NF ) = PWR( 1 ) * WD
436          C 90 CONTINUE
-----
437          C DO 91 1 = 1 , MST
438          C CALL WGT0( DELTKM( 1 ) , WD )
439          C SW( 1 ) = SWR( 1 ) * WD
440          C IF( IS( 1 ) .NE. 1 ) GO TO 91
441          C NF = NF + 1
442          C FT( NF ) = SRES( 1 )
443          C FW( NF ) = SWR( 1 ) * WD
444          C 91 CONTINUE
445          C ---- C
446          C LF = 4
447          C IF( IXHP , EQ. 1 ) LF = 3
448          C CALL STDV2( FT , FW , SIG , NF , LF )
449          C ---- C
450          C
451          C DETERMINATION OF MAGNITUDE
452          C
453          C ---- C
454          C ---- C
455          C *** WATANABE MAGNITUDE *** CCC
456          C
457          C CALL MAGHT( AMAX , MMAX , DELTKM , HPE , SMW , FMW , MMWS , MST )
458          C ---- C
459          C CCC FP MAGNITUDE
460          C FPMM = 0.0

```

```

461          MPMS = IBLK
462          CALL MAGFP2( FPMM,MPMS,C1,C2,FP,MPM,SMER,MEP,MST,IFP )
463          IF( IFP .EQ. 1 ) MPMS = IMM
464          C      MPMS = IMM ; EP=MAGNITUDE CAN NOT BE DETERMINED.
465          C
466          C ---- C
467          CCC RESULTING DATA
468          C
469          IF( OT .GE. 0. ) GO TO 80
470          OT = 24. * 3600. + OT
471          JYMD = JYMD - 1
472          80 CONTINUE
473          CALL SECHMS( OT , IOTH , IOTM , OO )
474          C ---- C
475          C      GEOCENTRIC LAT. TO GEOGRAPHIC LAT.
476          CALL COORIR( THE , ALE , THO , ALO , 1 )
477          CALL PRTOXY( THO , ALO , ALATO , ALONGO , X , Y , O )
478          CCC * CCC
479          C      RADIAN TO DEGREE
480          CCC * CCC
481          DTHU = DTHE / RAD
482          DALO = DALE / RAD
483          CCC * CCC
484          C      DEGREE TO KM
485          CCC * CCC
486          DX = DALO * FKM * COS( THE )
487          DY = DTHO * FKM
488          HPO = HPE
489          DHP = DHPE
490          C ---- C
491          800 CONTINUE
492          C
493          DO 85 I = 1 , MST
494          IDP( I ) = IBLK
495          IDS( I ) = IBLK
496          DO 88 L = 1 , 2
497          88 IF( IH( I , L ) .GE. 24 ) IH( I , L ) = IH( I , L ) - 24
498          IF( IS( I ) .EQ. 2 ) IDPS( I ) = ISTAR
499          IF( IS( I ) .EQ. 2 ) IDS( I ) = ISTAR
500          85 CONTINUE
501          C
502          RETURN
503          END

```

```

1          SUBROUTINE EQIS( OTE , THE , ALE , HPE , DOT , DTHE , DALE ,
2          1          DHPE , THS , ALS , HGTS , PTM , STM , IP , IS ,
3          2          PWR , SWR , NST , IDHP , IDXT , ILX , SIGS )
4          C      LOCATING OF HYPOCENTER BY USING CLASSICAL LEAST SQUARES METHOD.
5          C ---- C
6          DIMENSION THS( 1 ) , ALS( 1 ) , HGTS( 1 ) ,
7          1          PTM( 1 ) , PWR( 1 ) , IP( 1 ) , STM( 1 ) , SWR( 1 ) , IS( 1 ) ,
8          2          SIG( 4 ) , SIGR( 150 ) , BC( 150 ) ,
9          3          RES( 150 ) , W( 150 ) , X( 4 , 150 ) , SQL( 4 )
10         COMMON/ E / SOL
11         C ---- C

```

```

12      CCC * CCC
13      C      OTE      : ORIGIN TIME ( SEC )                                C
14      C      THE      : HYPOCENTRAL LATITUDE ( RADIAN )                  C
15      C      ALE      : HYPOCENTRAL LONGITUDE ( RADIAN )                 C
16      C      HPE      : FOCAL DEPTH ( KM )                               C
17      C      DOT      : STANDARD DEVIATION OF OTE ( SEC )                C
18      C      DTHE     : STANDARD DEVIATION OF THE ( RAD )                C
19      C      DALE     : STANDARD DEVIATION OF ALE ( RAD )                C
20      C      DHPE     : STANDARD DEVIATION OF HPE ( KM )                 C
21      C      THS      : LAT. OF STATION ( RAD )                          C
22      C      ALS      : LON. OF STATION ( RAD )                          C
23      C      HGTS     : HEIGHT OF STATION                                C
24      C      PTM      : ARRIVAL TIME OF P                                C
25      C      STM      : ARRIVAL TIME OF S                                C
26      C      IDXHP   = 0 , DEPTH FREE INVERSION                          C
27      C              1 , FIX INVERSION                                  C
28      C      IDXOT   = 0 , ORIGIN TIME FREE INVERSION                    C
29      C              1 , FIX INVERSION                                  C
30      CCC * CCC
31      C      X( 4 , N ) : COEFFICIENT MATRIX                             C
32      C      SOL( 4 ) : SOLUTION VECTOR                                  C
33      C      W( MST ) : WEIGHTING VECTOR                                 C
34      C      SIG( 4 ) : STANDARD DEVIATION VECTOR                       C
35      C      RES( MST ) : RESIDUAL VECTOR                               C
36      C      ILX = 0 : NORMAL TERMINATION                               C
37      C              1 : CAN NOT BE DETERMINED.                          C
38      C      RAD = 1.7453293E-2                                         C
39      C      FKM : DEG TO KM                                           C
40      C      FKM = 111.195                                             C
41      1 CONTINUE
42      ILX = 0
43      N = 0
44      C      TRAVEL TIMES AND THEIR DERIVATIVES.
45      C      P PHASE
46      DO 10 I = 1 , NST
47      IF( IP( I ) .NE. 1 ) GO TO 10
48      CALL TRD3( DELT , PTRVO , AZES , AZSE , DTDD , DTDH , THE , ALE ,
49      1 HPE , THS( I ) , ALS( I ) , HGTS( I ) , ELDT ,
50      2 HGTCR , 0 , ILL )
51      IF( ILL .EQ. 0 ) GO TO 11
52      IP( I ) = 2
53      GO TO 10
54      11 CONTINUE
55      N = N + 1
56      PTRVO = PTM( I ) - OTE - ELDT - HGTCR
57      RES( N ) = PTRVO - PTRVC
58      DELTKM = DELT * FKM
59      CALL WGD( DELTKM , PWD )
60      W( N ) = PWR( I ) * PWD
61      X( 4 , N ) = 1.
62      X( 3 , N ) = DTDH
63      AZESR = AZES * RAD
64      X( 2 , N ) = DTDD * ( -SIN( AZESR ) )
65      X( 1 , N ) = DTDD * ( -COS( AZESR ) )
66      10 CONTINUE
67      NP = N
68      C      S PHASE
69      DO 20 I = 1 , NST

```

```

70      IF( IS( 1 ) .NE. 1 ) GO TO 20
71      CALL TRD3( DELT , STRVC , AZES , AZSE , DTDD , DTDH , THE , ALE ,
72      1      HPE , THS( 1 ) , ALS( 1 ) , HGTS( 1 ) , ELDT ,
73      2      HGTCR , 1 , ILL )
-----
74      IF( ILL .EQ. 0 ) GO TO 21
75      IS( 1 ) = 2
76      GO TO 20
-----
77      21 CONTINUE
78      N = N + 1
79      STRVO = ST( 1 ) - DTE - ELDT - HGTCR
-----
80      RES( N ) = STRVO - STRVC
81      DELTKM = DELT * FKM
82      CALL WGTDC( DELTKM , SWD )
83      W( N ) = SWR( 1 ) * SWD
84      X( 4 , N ) = 1.
85      X( 3 , N ) = DTDH
-----
86      AZESR = AZES * RAD
87      X( 2 , N ) = DTDD * ( -SIN( AZESR ) )
88      X( 1 , N ) = DTDD * ( -COS( AZESR ) )
89      20 CONTINUE
90      NS = N - NP
91      IF( NP .GE. 3 .AND. N .GE. 5 ) GO TO 100
92      ILX = 1
93      RETURN
-----
94      100 CONTINUE
95      LLSQ = 4
96      IF( IDXOT .EQ. 0 ) GO TO 160
97      LLSQ = 3
-----
98      SOL( 4 ) = 0.
99      SIG( 4 ) = 0.
100     IF( IDXHP .EQ. 1 ) GO TO 120
101     110 CALL LSQ2( RES , W , X , SOL , SIG , BC , SIGS , SIGB , N , LLSQ )
102     C   SOL( 1 ) , SOL( 2 ) , SIG( 1 ) , SIG( 2 ) ARE GIVEN IN DEGREE.
103     IF( N .GE. 1 ) GO TO 111
-----
104     ILX = 1
105     RETURN
-----
106     111 CONTINUE
107     HPE = HPE + SOL( 3 )
108     DHPE = SIG( 3 )
109     IF( HPE .LT. 0.0 ) GO TO 130
110     OTE = OTE + SOL( 4 )
111     DDT = SIG( 4 )
-----
112     140 CONTINUE
113     CC C C C C C C C C C C
114     C   DEGREE TO RADIAN
115     CC C C C C C C C C C CC
-----
116     SOL( 1 ) = SOL( 1 ) * RAD
117     SOL( 2 ) = SOL( 2 ) * RAD
118     SIG( 1 ) = SIG( 1 ) * RAD
119     SIG( 2 ) = SIG( 2 ) * RAD
120     ALE = ALE + SOL( 2 )
121     THE = THE + SOL( 1 )
-----
122     DALE = SIG( 2 )
123     DTHE = SIG( 1 )
124     GO TO 150
125     130 HPE = 35.0
126     IDXHP = 1
127     GO TO 1

```

```

128      160 IF( 10XHP ,EQ. 0 ) GO TO 110
129      DO 30 I = 1 , N
130      X( 3 , I ) = 1.0
131      30 CONTINUE
132      LLSQ = 3
133      SOL( 4 ) = 0.
134      SIG( 4 ) = 0.
135      GO TO 170
136      120 LLSQ = 2
137      SOL( 3 ) = 0.
138      SIG( 3 ) = 0.
139      170 CONTINUE
140      CALL LSQ2( RES , W , X , SOL , SIG , BC , SIGS , SIGB , N , LLSQ )
141      IFS( N , GE. 1 ) GO TO 180
142      ILX = 1
143      RETURN
144      180 CONTINUE
145      OTE = OTE + SOL( 3 )
146      DOT = SIG( 3 )
147      GO TO 140
148      150 RETURN
149      END

```

```

1      SUBROUTINE TRD3( DELT , TRVTM , AZES , AZSE , DTDD , DTDH , THE ,
2      1      ALE , HPE , THS , ALS , HGTS , ELDI , HGTCR , IPS , ILL )
3      C      CALCULATION OF TRAVEL TIME AND ITS DERIVATIVE
4      C      IPS = 0      ; P PHASE
5      C      = 1      ; S PHASE
6      C      CALCULATION OF EPICENTRAL DISTANCE AND AZIMUTH
7      CALL DELAZ4( THE , ALE , THS , ALS , DELT , DELTDG , DELTKM ,
8      1      AZES , AZESDG , AZSE , AZSEDG , 1 )
9      CALL TRAV( DELTDG , HPE , TRVTM , DTDD , DTDH , IPS , ILL )
10     CALL ELPC( THS , THE , DELTDG , DT )
11     C      ELLIPTICITY CORRECTION IN TRAVEL TIME
12     ELDI = DT * 0.7 + DT * FLOAT( IPS )
13     DELT = DELTDG
14     AZES = AZESDG
15     AZSE = AZSEDG
16     C      HIGHT CORRECTION
17     C      VPO , VSD ; SEISMIC VELOCITY NEAR SURFACE
18     C      HGTCR ; HIGHT CORRECTION IN TRAVEL TIME
19     C      HGTS ; HIGHT OF STATION
20     EKM = 111.195
21     VPO = 5.5
22     VSD = 3.25
23     VO = VPO
24     IF( IPS .NE. 0 ) VO = VSD
25     CO2 = ( 1.0 / VO ) ** 2
26     C2 = ( DTDD / EKM ) ** 2
27     C2 = ABS( CO2 - C2 )
28     C = SQRT( C2 )
29     HGTCR = HGTS * C
30     RETURN
31     END

```

```

1      SUBROUTINE TRAV( DELT , HP , T , DIDD , DIDZ , IPS , ILL )

```

```

2      DIMENSION TJ( 4 ), HJ( 4 ), DTJ( 4 )
3      COMMON/T/AP( 5 , 35 , 6 ) , AS( 5 , 35 , 6 ) , DS( 6 ) , H( 35 )
4      , MD , MH , KMAX
5      C  CALCULATION OF TRAVEL TIME AND ITS DERIVATIVE
6      C  DELT : EPICENTRAL DISTANCE
7      C  HP : FOCAL DEPTH
8      C  T : TRAVEL TIME
9      C  DTDD : DT/DD
10     C  DTDDZ : DT/DZ ( 2 , DEPTH )
11     C  ILL = 0 : IN THE RANGE OF TRAVEL TIME TABLE
12     C  ILL = 1 : OUT OF THE RANGE OF TRAVEL TIME TABLE
13     C  IPS : SWITCH FOR P ( IPS = 0 ) OR S ( IPS = 1 )
14     C  FIP = FLOAT( 1 - IPS )
15     C  FIS = FLOAT( IPS )
16     C  ILL = 0
17     C  DMAX = D( MD )
18     C  HMAX = H( MH )
19     C  IF( DELT .LE. DMAX ) GO TO 2
20     C  ILL = 1
21     C  RETURN
22     C  2 CONTINUE
23     C  IF( HP .LE. HMAX ) GO TO 1
24     C  ILL = 2
25     C  RETURN
26     CC C C C C C C C C C C C C C C C C
27     C  ILL = 1 : DELT GREATER THAN DELT LIMIT C
28     C  ILL = 2 : DEPTH DEEPER THAN DEPTH LIMIT C
29     CC C C C C C C C C C C C C C C C C
30     C
31     1 CONTINUE
32     DO 10 J = 2 , MH
33     IF( HP .GT. H( J ) ) GO TO 10
34     NJ = J - 1
35     GO TO 11
36     10 CONTINUE
37     11 CONTINUE
38     N = 4
39     N1 = NJ = 1
40     IF( NJ .NE. 1 ) GO TO 20
41     N1 = NJ
42     N = 3
43     GO TO 21
44     20 MH1 = MH = 1
45     IF( NJ .NE. MH1 ) GO TO 21
46     N = 5
47     21 CONTINUE
48     DO 30 I = 2 , MD
49     IF( DELT .GT. D( I ) ) GO TO 30
50     ND = I - 1
51     GO TO 31
52     30 CONTINUE
53     31 CONTINUE
54     DO 40 I = 1 , N
55     NH = N1 + I - 1
56     TJ( I ) = FIP * AP( ND , NH , 1 ) + FIS * AS( ND , NH , 1 )
57     DTJ( I ) = FIP * AB( ND , NH , 2 ) + FIS * AS( ND , NH , 2 )
58     DO 41 K = 2 , KMAX
59     APS = FIP * AP( ND , NH , K ) + FIS * AS( ND , NH , K )

```

```

60      TJ( 1 ) = TJ( 1 ) + APS * DELT ** ( K - 1 )
61      41 CONTINUE
62      DO 42 K = 3 , KMAX
63      K2 = K * 2
64      APS = FIP * APC( ND , NH , K ) + FIS * AS( ND , NH , K )
65      DTJ( 1 ) = DTJ( 1 ) + FLOAT( K - 1 ) * APS * DELT ** K2
66      42 CONTINUE
67      H1( 1 ) = H( NH )
68      40 CONTINUE
69      IS = 1
70      CALL INTPL( TJ , HJ , N , HP , T , DTDZ , IS )
71      IS = 0
72      CALL INTPL( DTJ , HJ , N , HP , DTDZ , DDTJZ , IS )
73      RETURN
74      END
    
```

```

1      SUBROUTINE INTPL( FX , X , N , XX , FXX , DFDX , ID )
2      C      INTERPOLATION BY LAGRANGE METHOD
3      DIMENSION X( 1 ) , FX( 1 )
4      DIMENSION FL( 10 ) , DFLDX( 10 )
5      DO 10 I = 1 , N
6      FL( I ) = 1.0
7      DO 11 J = 1 , N
8      IF( I .EQ. J ) GO TO 11
9      XXJ = XX - X( J )
10     XIXJ = X( I ) - X( J )
11     FL( I ) = FL( I ) * XXJ / XIXJ
12     11 CONTINUE
13     10 CONTINUE
14     FXX = 0.0
15     DO 20 I = 1 , N
16     FXX = FXX + FL( I ) * FX( I )
17     20 CONTINUE
18     IF( ID .EQ. 0 ) RETURN
19     C      DERIVATIVES
20     DFDX = 0.0
21     DO 30 I = 1 , N
22     DFLDX( I ) = 0.0
23     DO 31 K = 1 , N
24     IF( K .EQ. I ) GO TO 31
25     FK = 1.0 / ( X( I ) - X( K ) )
26     DO 32 J = 1 , N
27     IF( J .EQ. I ) GO TO 32
28     IF( J .EQ. K ) GO TO 32
29     XXJ = XX - X( J )
30     XIXJ = X( I ) - X( J )
31     FK = FK + XXJ / XIXJ
32     32 CONTINUE
33     DFLDX( I ) = FK + DFLDX( I )
34     31 CONTINUE
35     DFDX = DFLDX( I ) * FX( I ) + DFDX
36     30 CONTINUE
37     RETURN
38     END
    
```

```

1      SUBROUTINE MAGP2( FPMAG , MPMM , A1 , A2 , FP , MPM , SMFP ,
    
```

```

2          *          MFP , NST , IFP )
3          C          F-P MAGNITUDE
4          DIMENSION A1( 1 ) , A2( 1 ) , FP( 1 ) , SMFP( 1 ) , MPM( 1 ) ,
5          1          MFP( 1 )
6          DATA IBLK/' ' , ISTAR/' ' , IMM/' ' /
7          C          IFP = 0 : FPMAG CAN BE DETERMINED.
8          C          IFP = 1 : FPMAG CAN NOT BE DETERMINED.
9          C          MFP( 1 ) = # : EP( 1 ) = 0.
10         C          # : MPM( 1 ) = * , FP( 1 ) IS CUT DOWN.
11         C          FPM = 0
12         FPMAG = 0.0
13         IEP = 1
14         MPM = IBLK
15         IF( NST .LE. 0 ) GO TO 99
16         N = 0
17         NM = 0
18         DO 10 I = 1 , NST
19             SMFP( I ) = 0.
20             IF( A1( I ) .EQ. 0.0 ) GO TO 12
21             IF( MFP( I ) .EQ. IMM ) GO TO 10
22             IF( FP( I ) .LE. 0.0 ) GO TO 12
23             NM = NM + 1
24             F = ALOG10( FP( I ) )
25             SMFP( I ) = A1( I ) + A2( I ) * F
26             IF( MPM( I ) .EQ. ISTAR ) GO TO 14
27             FPM = FPM + SMFP( I )
28             N = N + 1
29             GO TO 10
30         CONTINUE
31         MFP( 1 ) = IMM
32         GO TO 10
33         14 CONTINUE
34         MFP( 1 ) = ISTAR
35         10 CONTINUE
36         IF( N .EQ. 0 ) GO TO 20
37         FPMAG = FPM / FLOAT( N )
38         IFP = 0
39         RETURN
40         20 CONTINUE
41         C          ALL FP DATA ARE SATURATED.
42         IF( NM .EQ. 0 ) RETURN
43         FPMAX = -10.0
44         DO 30 I = 1 , NST
45             IF( FPMAX .LT. SMFP( I ) ) FPMAX = SMFP( I )
46         30 CONTINUE
47         FPMAG = FPMAX
48         MPM = ISTAR
49         IEP = 0
50         99 CONTINUE
51         RETURN
52         END

1          SUBROUTINE MAGWT( AMAX , MMAX , DELTKM , HPE , SMW , FMW ,
2          1          MMWS , MST )
3          DIMENSION AMAX( 1 ) , MMAX( 1 ) , DELTKM( 1 ) , SMW( 1 )
4          CHARACTER*1 MMAX , MMWS , IBLK , ISTAR , IMM

```

```

5      DATA IBLK/' ' , ISTAR/'*' / , IMM/'#'/
6      C      AMAX( I ) : MAXIMUM AMPLITUDE AT I(IH) STATION ( MICROKINE ).
7      C      MMAX( I ) = ISTAR *** SATURATED
8      C      = IMM *** MW CAN NOT BE DETERMINED.
9      C      DELTKM      : EPICENTRAL DISTANCE ( KM )
10     C      HPE      : EDCAL_DEPTH ( KM )
11     C      *** WATANABE MAGNITUDE *** CCC
12     C      FMW      : WATANABE MAGNITUDE
13     C      MMWS = *      : ALL AMPLITUDE DATA ARE SATURATED.
14     C      MW IS MINIMUM VALUE.
15     C      AX      : AMPLITUDE MICRO KINE TO KINE
16     AX = 1.0E-6
17     MMWS = IBLK
18     IMS = 0
19     IMW = 0
20     TSMW = 0
21     DO 10 I = 1 , MST
22     C      TO LARGE DISTANCE TO DETERMINE MW
23     C      HPDIST : HYPOCENTRAL DISTANCE IN KM
24     HPDIST = SQRT( DELTKM( I ) ** 2 + HPE ** 2 )
25     IF( HPDIST .GE. 1000. ) GO TO 12
26     C      AMPLITUDE HAS NOT BEEN READ.
27     IF( AMAX( I ) .LE. 0.0 ) GO TO 12
28     C      AMPV *** MICROKINE TO KINE
29     AMPV = AMAX( I ) * AX
30     A = ALOG10( AMPV )
31     D = ALOG10( HPDIST )
32     C **** AMP(KINE) = MAXIMUM AMPLITUDE OF UO-COMPONENT
33     AD = 1.73 * D
34     C      FK : CORRECTION FOR HYPOCENTRAL DISTANCE GREATER THAN 200KM
35     C      FK = 0.0 , HPDIST .LE. 200.0KM
36     FK = 0.0
37     IF( HPDIST .LE. 200.0 ) GO TO 21
38     FK = 0.0015 * ( HPDIST - 200.0 )
39     21 CONTINUE
40     AA = A + AD + 2.5 + FK
41     C      MAGNITUDE FOR EACH STATION
42     SMW( I ) = AA / 0.85
43     IMW = IMW + 1
44     IF( MMAX( I ) .EQ. ISTAR ) GO TO 10
45     IMS = IMS + 1
46     TSMW = TSMW + SMW( I )
47     GO TO 10
48     12 CONTINUE
49     SMW( I ) = 0.0
50     MMAX( I ) = IMM
51     10 CONTINUE
52     IF( IMS .LE. 0 ) GO TO 40
53     TIMS = FLOAT( IMS )
54     FMW = TSMW / TIMS
55     GO TO 50
56     40 CONTINUE
57     IF( IMW .EQ. 0 ) GO TO 50
58     AMAXM = -99.
59     DO 60 I = 1 , MST
60     IF( AMAXM .LT. SMW( I ) ) AMAXM = SMW( I )
61     60 CONTINUE
62     IF( AMAXM .EQ. -99. ) AMAXM = 0.

```

```

63          FMW = AMAX(
64          MMWS = 1STAR
65          50 CONTINUE
66          IFS 1MW LE. 0 ) MMWS = 1MM
67          C      MMWS = 1MM ; AMPLITUDE MAGNITUDE CAN NOT BE DETERMINED.
68          RETURN
69          END

1          SUBROUTINE WGTDC( D , W )
2          C      WEIGHT DEPENDING ON DISTANCE D ( IN KM )
3          C      W : WEIGHT
4          C      D : DISTANCE ( IN KM )
5          C      W( 0 ) = 1.0
6          C      W( 100 ) = 0.5
7          C      W( 200 ) = 0.1
8          A = 0.9
9          B = -8.109304E-5
10         C = 0.1
11         BD2 = B * D **2
12         W = A * EXP( BD2 ) + C
13         RETURN
14         END

1          SUBROUTINE WGTG( I PHASE , W )
2          C      WEIGHT FOR RANK OF READING
3          CHARACTER ( PHASE*1 ) ( PHA*1 )
4          DIMENSION ( PHA( 6 ) , WRANK( 6 ) )
5          DATA ( PHA/ 'A', 'B', 'C', 'D', 'I', 'J', 'K',
6          DATA WRANK/ 1.0E-0.25, 0.04, 0.04, 0.04, 0.04, 0.04 /
7          W = 0.0
8          DO 10 I = 1, 6
9          IF ( PHASE .EQ. PHA( I ) ) W = WRANK( I )
10         CONTINUE
11         RETURN
12         END

1          SUBROUTINE LSQ2( BO, WGT, X, P, SIGP, BC, SIG, SIGB, ND, NP )
2          C*** SUBROUTINE LEAST SQUARE
3          DIMENSION BO(2), WGT(2), X( 4,26), P(2), SIGP(2),
4          2BC(22), SIGB( 22), AM( 4, 4), VT( 10),
5          3AAM( 4, 4 )
6          C      FORMAT STATEMENT
7          53 FORMAT (90H NUMBER OF OBSERVATIONS IS SMALLER THAN THAT OF PARAMET
8          1ERS. THE PROBLEM CAN NOT BE SOLVED. )
9          54 FORMAT (115H NUMBER OF OBSERVATIONS IS EQUAL TO THAT OF PARAMETERS
10         1. PARAMETERS ARE OBTAINED WITHOUT LEAST SQUARE CALCULATION. )
11         55 FORMAT ( 79H NORMAL EQUATION CONTAINS ZERO DIAGONAL ELEMENT THE P
12         1ROBLEM CAN NOT BE SOLVED. )
13         C*** CALCULATE NORMAL EQUATION
14         AAA = ND - NP
15         20 IF( AAA ) 30, 31, 1
16         1 DO 3 I = 1, NP
17         VT ( I ) = 0.0
18         DO 2 K = 1, NP

```

```

19      AM ( I,K ) = 0.0
20      DO 2 J= 1, NO
21      2 AM( I,K ) = X( I,J ) * WGT( J ) * X( K,J ) + AM( I,K )
22      DO 22 J= 1, NO
-----
23      22 VT( I ) = X( I,J ) * WGT( J ) * BO( J ) + VT( I )
24      IF ( AM( I,1 ) ) 33, 33, $
25      3 CONTINUE
26      C*** MATRIX INVERSION
27      CALL INV30S ( AM, AAM, NP, 10 )
-----
28      C*** MATRIX VECTOR MULTIPLICATION
29      DO 4 I= 1, NP
30      P( I ) = 0.0
31      DO 4 K= 1, NP
32      4 P( I ) = AAM( K, I ) * VT( K ) + P( I )
33      C*** CALCULATE STANDARD DEVIATIONS AND TEST OBSERVATION ERROR
34      SIG = 0.0
-----
35      DO 6 J= 1, NO
36      BC ( J ) = 0.0
37      DO 5 I= 1, NP
38      5 BC( J ) = X( I,J ) * P( I ) + BC( J )
39      6 SIG = WGT( J ) * ( DO( J ) - BC( J ) ) ** 2 + SIG
40      SORSIG = SQRT ( SIG / AAA )
-----
41      SIG = SORSIG
42      DO 9 J= 1, NO
43      SIGB ( J ) = SORSIG / SQRT ( WGT( J ) )
44      9 CONTINUE
45      C*** CALCULATE STANDARD ERROR OF PARAMETER
46      14 DO 15 I= 1, NP
-----
47      15 STGP ( I ) = SQRT ( AAM ( I, I ) ) * SORSIG
48      GO TO 40
49      C*** ERROR STATEMENT
50      30 WRITE ( 6, 53 )
51      GO TO 40
52      31 WRITE ( 6, 54 )
-----
53      DO 35 I= 1, NO
54      DO 35 J= 1, NO
55      35 AM( I,J ) = X( I,J )
56      CALL INV30S ( AM, AAM, NO, 10 )
57      DO 32 I= 1, NP
58      P( I ) = 0.0
-----
59      DO 32 K= 1, NP
60      32 P( I ) = AAM( K, I ) * BO( K ) + P( I )
61      GO TO 40
62      33 WRITE ( 6, 55 )
63      GO TO 40
64      C*** END
65      40 RETURN
66      END

```

```

1      SUBROUTINE INV30S ( A, B, N, NDIM )
2      C
3      DIMENSION A( 4, 4 ), B( 4, 4 )
4      DN = 0.000000001
5      DO 1 M= 1, N
6      DO 3 L= 1, N
7      1 B( M, L ) = 0
8      DO 2 M= 1, N

```

```

9          2 B(M,H)=1
10         DO 12 I=1,N
11         IF ( ABS ( A(I, I) ) = DN ) 3, 8, 8
12         3 IJ=I+1
13         DO 4 J=IJ,N
14         IF ( ABS ( A (I,J) ) = DN ) 4, 6, 6
15         4 CONTINUE
16         WRITE (6,5)
17         5 FORMAT (13H NO SOLUTION )
18         RETURN
19         6 DO 7 K=1,H
20         R=A(K,I)
21         A(K,I)=A(K,J)
22         A(K,J)=R
23         RR=B(K,I)
24         B(K,I)=B(K,J)
25         B(K,J)=RR
26         8 S=A(I,I)
27         DO 9 J=1,N
28         A(I,J)=A(I,J)/S
29         9 B(I,J)=B(I,J)/S
30         DO 12 K=1,N
31         IF (K-I) 10,12,10
32         10 I=AK(I)
33         DO 11 L=1,N
34         A(K,L)=A(K,L)-I*A(I,L)
35         11 B(K,L)=B(K,L)-I*B(I,L)
36         12 CONTINUE
37         RETURN
38         END

```

```

1          SUBROUTINE STDV2( X , W , SIG , NX , NP )
2          DIMENSION X( 1 ) , W( 1 )
3          SIG = 0.
4          IF( NX .LE. NP ) RETURN
5          C X : OBSERVATIONS
6          C W : WEIGHT
7          S2 = 0.
8          DO 10 I = 1 , NX
9          S2 = S2 + W( I ) * X( I ) ** 2
10         10 CONTINUE
11         A = NX - NP
12         SIG = SQRT( S2 / A )
13         RETURN
14         END

```

```

1          SUBROUTINE APPRX( ALAT , ALONG , AHGT , ALAT0 , ALONG0 , THOF , ALOF , HPO ,
2          1 DI , PATL , WGT , SP , VQ , NS , IND )
3          C *** THE FIRST APPROXIMATION OF A HYPOCENTER ( THOF , ALOF , HPO )
4          C *** AND ORIGIN TIME ( DT )
5          C *** ALAT , ALONG ( GEOGRAPHICAL LAT. AND LONG. DEGREE ) IF IND = 0
6          C *** ALAT0 , ALONG0 ( ORIGIN OF XY-COORDINATE , GEOGRAPHICAL LAT. AND LONG.
7          C *** DEGREE )
8          C *** PATL , SP ( ARRIVAL TIME AND PS TIME )
9          C *** NS ( STATION'S NUMBER USED )
10         C *** VQ ( MEAN VELOCITY FOR THE APPROXIMATION )

```

```

11      C *** IND = 1 IF ALAT AND ALONG ARE GEOCENTRIC LAT. AND LONG.
12      DIMENSION ALAT( 70),ALONG( 70),AHGTS( 70),PATL( 70),SP( 70)
13      1      WGT( 70), X(3), Y(3), Z(3), FPATL(3),THO(3), ALO(3),
14      2      X2(3), Y2(3), Z2(3), A2(3), D2(3), S(3),
15      3      XX(3), YY(3), ZZ(3), SS(3)
16      FWC = 0.04
17      R3=1.1660254
18      DO 10 I = 1, NS
19      IF ( SP(I).GT.0.0 .AND. WGT(I).GE.FWC ) GO TO 13
20      10 CONTINUE
21      DO 11 I = 1, NS
22      IF ( WGT(I).GE.FWC ) GO TO 12
23      11 CONTINUE
24      12 DT = PATL(I) = 30.0
25      GO TO 17
26      13 DT = PATL(I) = SP(I)*R3
27      17 K = 0
28      DO 14 I = 1, NS
29      IF ( WGT(I).LT.FWC ) GO TO 14
30      K = K + 1
31      FPATL(K) = PATL(I)
32      IF ( IND.EQ.0 ) GO TO 16
33      CALL COORTR( ALAT(I), ALONG(I), ALA, ALON, 1 )
34      16 THO(K) = ALA
35      ALO(K) = ALON
36      ZK) = AHGTS(I)
37      IF ( K.GE.3 ) GO TO 15
38      14 CONTINUE
39      15 V2 = V0**2
40      DO 21 I = 1, 3
41      CALL PRTOXY( THO(I), ALO(I), ALATO, ALONGO, X(I), Y(I), 0 )
42      T = FPATL(I) = DT
43      T2 = T**2
44      A2(I) = V2 + T2
45      X2(I) = X(I)**2
46      Y2(I) = Y(I)**2
47      Z2(I) = Z(I)**2
48      D2(I) = X2(I) + Y2(I) + Z2(I)
49      S(I) = A2(I) - D2(I)
50      21 CONTINUE
51      DO 22 I = 2, 3
52      XX(I) = 2.0 + (X(I) - X(1) )
53      YY(I) = 2.0 + (Y(I) - Y(1) )
54      ZZ(I) = 2.0 + (Z(I) - Z(1) )
55      SS(I) = S(I) - S(1)
56      22 CONTINUE
57      F1 = ZZ(2)*XX(3) = ZZ(3)*XX(2)
58      F2 = YY(2)*XX(3) = YY(3)*XX(2)
59      F3 = ZZ(2)*YY(3) = ZZ(3)*YY(2)
60      F4 = XX(2)*YY(3) = XX(3)*YY(2)
61      G = F1 / F2
62      G2 = G**2
63      H = F3 / F4
64      H2 = H**2
65      A = 1.0 + G2 + H2
66      F5 = SS(2)*YY(3) = SS(3)*YY(2)
67      F6 = SS(2)*XX(3) = SS(3)*XX(2)
68      F11 = F5 / F4

```

```

69      F12 = F0 / F2
70      F7  = -2.0 * F11 * H
71      F8  = -2.0 * F12 * G
72      F9  = 2.0 * X(3) * H
73      F10 = 2.0 * Y(3) * G
74      B   = -2.0 * Z(3) + F7 + F8 + F9 + F10
75      F13 = -2.0 * X(3) * F11
76      F14 = -2.0 * Y(3) * F12
77      C   = -S(3) + F11**2 + F12**2 + F13 + F14
78      AB  = B**2 - 4.0*A*C
79      IF ( AB.LT.0.0 ) GO TO 51
80      AA  = 2.0 * A
81      A4  = 4.0 * A
82      S1  = SQRT( AB/A4 )
83      S2  = -B / AA
84      Z3  = S2 + S1
85      Z4  = S2 - S1
86      IF ( Z3.GE.0.0 .AND. Z4.GE.0.0 ) GO TO 23
87      IF ( Z3.GE.0.0 .AND. Z4.LE.0.0 ) GO TO 24
88      IF ( Z3.LE.0.0 .AND. Z4.LE.0.0 ) GO TO 25
89      23  Z0 = 30.0
90      GO TO 28
91      24  Z0 = -Z4
92      IF ( Z4.LT.200.0 ) Z0 = 100.0
93      GO TO 28
94      25  X3 = F11 - Z3*H
95      Y3 = F12 - Z3*G
96      X4 = F11 - Z4*H
97      Y4 = F12 - Z4*G
98      CALL PRTOXY( TH01, ALO1, ALAT0, ALONG0, X3, Y3, 1 )
99      CALL PRTOXY( TH02, ALO2, ALAT0, ALONG0, X4, Y4, 1 )
100     IF ( TH02.LE.38.0 .AND. TH02.GE.33.0 .AND. ALO2.LE.142.0 .AND.
101     1  ALO2.GE.136.0 ) GO TO 27
102     IF ( TH01.LE.38.0 .AND. TH01.GE.33.0 .AND. ALO1.LE.142.0 .AND.
103     1  ALO1.GE.136.0 ) GO TO 26
104     Z0 = 30.0
105     X0 = 0.0
106     Y0 = 0.0
107     GO TO 29
108     26  Z0 = -Z3
109     X0 = X3
110     Y0 = Y3
111     GO TO 29
112     27  Z0 = -Z4
113     X0 = X4
114     Y0 = Y4
115     GO TO 29
116     28  ZM = -Z0
117     X0 = F11 - ZM*H
118     Y0 = F12 - ZM*G
119     29  CALL PRTOXY( TH0F, ALOF, ALAT0, ALONG0, X0, Y0, 1 )
120     HPO = Z0
121     IF ( TH0F.GT.38.0 .OR. TH0F.LT.33.0 ) GO TO 31
122     IF ( ALOF.GT.142.0 .OR. ALOF.LT.136.0 ) GO TO 32
123     GO TO 33
124     31  TH0F = ALAT0
125     IF ( ALOF.GT.142.0 .OR. ALOF.LT.136.0 ) GO TO 32
126     HPO = 30.0

```

```

127          GO TO 33
128          32  ALOF = ALONGO
129             HPO = 30.0
130          33  RETURN
131          51  THOF = (THO(1) + THO(2)) / 2.0
132             ALOF = (ALO(1) + ALO(2)) / 2.0
133             HPO = 30.0
134             RETURN
135             END
    
```

```

1          SUBROUTINE DELAZ4 (THE1, ALE1, THS1, ALS1, DELT, DELTDG,
2          2DELTKM, AZES, AZESDG, AZSE, AZSEDG, I )
3          DOUBLE PRECISION C, AK, D, E, CP, AKP, DP, EP,
4          Z, A, B, G, H, AP, RP, GP, HP
5          IF (I) 50, 50, 51
6          C IF COORDINATES ARE GEOGRAPH DEG      I = 0
7          C IF COORDINATES ARE GEOCENT RADIAN    I = 1
8          50 THE = 1.745329252E-2 * THE1
9          ALE = 1.745329252E-2 * ALE1
10         THS = 1.745329252E-2 * THS1
11         ALS = 1.745329252E-2 * ALS1
12         AAA = 0.9931177 * TAN(THE)
13         THE = ATAN ( AAA )
14         AAA = 0.9931177 * TAN(THS)
15         THS = ATAN ( AAA )
16         GO TO 32
17         51 THE = THE1
18         ALE = ALE1
19         THS = THS1
20         ALS = ALS1
21         32 CONTINUE
22         C = SIN(THE)
23         AK = -COS ( THE )
24         D = SIN (ALE )
25         E = -COS (ALE )
26         A = AK * E
27         B = -AK * D
28         G = -C * E
29         H = C * D
30         CP = SIN (THS )
31         AKP = -COS (THS )
32         DP = SIN (ALS)
33         EP = -COS (ALS)
34         AP = AKP * EP
35         BP = -AKP * DP
36         GP = -CP * EP
37         HP = CP * DP
38         C1 = A * AP + B * BP + C * CP
39         IF ( C1 = 0.94 ) 30, 31, 31
40         30 IF ( C1 = 0.94 ) 28, 28, 29
41         29 DELT = ARCCOS (C1)
42         33 DELTKM = 6371.0 * DELT
43         C3 = (AP-D)**2 + (BP-E)**2 + CP**2 - 2.
44         C4 = (AP-G)**2 + (BP-H)**2 + (CP-AK)**2 - 2.
45         C5 = (A-DP)**2 + (B-EP)**2 + C**2 - 2.
46         C6 = (A-GP)**2 + (B-HP)**2 + (C-AKP)**2 - 2.
47         DELTDG = 57.29577951 * DELT
    
```

```

48      AZES = ATAN2 ( C3, C4 )
49      IF ( AZES ) 80, 81, 81
50      80 AZES = 6.283185308 + AZES
51      81 AZSE = ATAN2 ( C5, C6 )
52      IF ( AZSE ) 70, 71, 71
53      70 AZSE = 6.283185308 + AZSE
54      71 AZESDG = 57.29577951 + AZES
55      AZSEDG = 57.29577951 + AZSE
56      RETURN
57      31 C1 = ( A - AP )**2 + ( B - BP )**2 + ( C - CP )**2
58      C1 = SQRT ( C1 )
59      C1 = C1 / 2.0
60      DELT = ARSIN ( C1 )
61      DELT = 2.0 * DELT
62      GO TO 33
63      28 C1 = ( A + AP )**2 + ( B + BP )**2 + ( C + CP )**2
64      C1 = SQRT ( C1 )
65      C1 = C1 / 2.0
66      DELT = ARCOS ( C1 )
67      DELT = 2.0 * DELT
68      GO TO 33
69      END

```

```

1      SUBROUTINE COORTR ( ALAT, ALNG, ALATDG, ALNGDG, I )
2      C      ALAT ( GEOCENTRIC LAT, RADIAN ), ALNG ( LONG, RADIAN )
3      C      ALATDG ( GEOGRAPHICAL LAT, DEGREE ), ALNGDG ( LONG, DEGREE )
4      C      TRANSFORMATION ALAT, ALNG TO ALATDG, ALNGDG, IF I=1
5      C      TRANSFORMATION ALATDG, ALNGDG TO ALAT, ALNG, IF I=0
6      IF ( I ) 30, 30, 31
7      30 ALAT = 0.1745329292 E-1 * ALATDG
8      ALNG = 0.1745329292 E-1 * ALNGDG
9      BBB = ABS ( ALATDG )
10     IF ( BBB, GE, 89.9 ) GO TO 32
11     AAA = 0.9931177 * TAN ( ALAT )
12     ALAT = ATAN ( .AAA )
13     32 RETURN
14     31 BBB = ABS ( ALAT )
15     IF ( BBB, GE, 1.57079 ) GO TO 33
16     34 AAA = TAN ( ALAT ) / 0.9931177
17     ALAT2 = ATAN ( AAA )
18     GO TO 35
19     33 ALAT2 = ALAT
20     35 ALATDG = ALAT2 * 57.29577951
21     ALNGDG = ALNG * 57.29577951
22     RETURN
23     END

```

```

1      SUBROUTINE PRTOXY ( ALAT, ALNG, ALATDG, ALNGDG, X, Y, IND )
2      C      LAT AND LON TO X AND Y ( IND = 0 )
3      C      X AND Y TO LAT AND LON ( IND = 1 )
4      TAN(X) = SIN(X) / COS(X)
5      A = .6378160
6      E2 = 6.6944541E-3
7      E12 = 6.7395719E-3
8      D = 57.2958
9      RD = 1.0 / 57.2958

```

```

10      IF (IND .GE. 1) GO TO 100
11      RLAT= RD * ALAT
12      SLAT= SIN( RLAT )
13      CLAT= COS( RLAT )
14      V2= 1.0 + E12 * CLAT**2
15      AL= ALONG-ALONG0
16      PH1= ALAT + (V2*AL**2*SLAT*CLAT) / (2.0*D)
17      RPH1= PH1 * RD
18      RPH2= (PH1 + ALATO) * 0.5 * RD
19      R= A*(1.0-E2) / SQRT( (1.0-E2*SIN(RPH2)**2) **3 )
20      AN= A / SQRT(1.0-E2 * SIN(RPH1)**2 )
21      C1= D / R
22      C2= D / AN
23      Y= (PH1-ALATO) / C1
24      X= (AL*CLAT) / C2 + (AL**3*CLAT*COS(2.0*RLAT)) / (6.0*C2*D**2)
25      REIBUN
26      100 RLATO= ALATO + RD
27      SLATO= SIN(SLATO)
28      R= A * (1.0-E2) / SQRT((1.0-E2*SLATO**2)**3)
29      AN= A / SQRT(1.0-E2*SLATO**2)
30      V2= 1.0 + E12*COS(RLATO)**2
31      C1= D / R
32      C2= D / AN
33      PH1 = ALATO + C1 * Y
34      RPH1 = PH1 * RD
35      TPH1= TAN(RPH1)
36      CPH1= COS(RPH1)
37      ALA1= PH1 - (C2*X)**2 + V2 * TPH1 / (2.0*D)
38      ALONG=ALONG0 + C2 * X / CPH1 - (C2*X)**3 * (1.0+2.0*TPH1**2)
39      / (6.0*D**2*CPH1)
40      RETURN
41      END

```

```

1      SUBROUTINE ELPC ( THS , THE , DELT , DT )
2      E
3      C      ELLIPTICITY CORRECTION
4      DIMENSION X(11), AF(11)
5      IF ( DELT ) 30, 30, 31
6      31 X(1) = 0.
7      DO 80 I=2, 11
8      X(I) = X(I-1) + 10.
9      80 CONTINUE
10     AF(1) = 0.
11     AF(2) = 0.010
12     AF(3) = 0.028
13     AF(4) = 0.035
14     AF(5) = 0.042
15     AF(6) = 0.047
16     AF(7) = 0.050
17     AF(8) = 0.060
18     AF(9) = 0.066
19     AF(10) = 0.064
20     AF(11) = 0.066
21     I=1
22     83 IF ( DELT = X(I) ) 81, 81, 82
23     82 I=I+1
24     GO TO 83

```

```

25      81 AFDT = AF(I-1) + (AF(I) - AF(I-1)) / (X(I) - X(I-1)) *
26      2( DELT - X(I-1) )
27      DRE = 22. * ( 0.33333 - ( SIN( THE ) ) * * 2 )
28      DRS = 22. * ( 0.33333 - ( SIN( THS ) ) * * 2 )
29      DT = AFDT + ( DRE + DRS )
30      RETURN
31      30 DT = 0.
32      RETURN
33      END
-----
1      SUBROUTINE SECHMS ( TSEC, IH, IM, SEC )
2      IH = TSEC / 3600.0
3      AIM = IH
4      C = TSEC - 3600.0 * AIM
5      IM = C / 60.0
6      AIM = IM
7      SEC = C - 60.0 * AIM
8      RETURN
9      END
-----
1      SUBROUTINE LPWRT( IPG )
2      COMMON/L/ NEQ, JYMD, IQTH, IQTM, OD, DDT, IHD, DTHO, ALO,
3      1      DALO, HPO, DHP, SIG, MST, NP, NS,
4      2      X, DX, Y, DY, EMW, MMWS, FPM, MPMS, IDXHP
5      COMMON/A/ AMAX, MMAX
6      COMMON/H/ IIP, IDS, IP, IS, STCRP, STCRS, PW, SW
7      COMMON/Q/ NST, IYMD, MD, MANK, IH, IM, SS, MMPC, AMP,
8      1      MPM, EP, SP, MEP, MS, LEQ
9      COMMON/W/ SMW, SMFP, PRES, SRES, AZESS, DELTKM
10     DIMENSION NST(70), IYMD(70), MD(70), MANK(70, 2)
11     1      , IH(70, 2), IM(70, 2), SS(70, 2), MMPC(70, 2),
12     2      AMP( 70, 2 )
13     4      MFP(70), FP(70), SP(70), DELTKM(70), AZESS(70),
14     5      PRES(70), IIP(70), SRES(70), IDS(70), SMW(70),
15     6      MMAX(70), SMFP(70), MPM(70), IP(70), IS(70)
16     DIMENSION STCRP(70), STCRS(70), SW(70), PW(70), AMAX( 70 )
17     DATA IMM/ '#'/
18     IPG = IPG + 2
19     IF( IPG .LE. 54 ) GO TO 10
20     CALL NPAGE( IPG )
21     10 CONTINUE
22     WRITE( 6, 600 ) NEQ, JYMD, IQTH, IQTM, OD, DDT, IHD,
23     1      DTHO, ALO, DALO, HPO, FMW, MMWS, FPM, MPMS
24     600 FORMAT( 1HD, 'NO=' , I5, 2X, 16, 2X, 'DT=' , I2, 1X,
25     1      12, F6.2, '( , F5.2, ')', 'LAT=' , F6.3,
26     2      '( , F5.3, ')', 'LONG=' , F2.3, '( , F5.3,
27     3      )', 'DEP=' , F5.1, '( , 5X, ')', 9X,
28     4      'MW=' , F4.1, A1, 2X, 'MEP=' , F4.1, A1 )
29     IF( IDXHP .EQ. 1 ) GO TO 12
30     WRITE( 6, 601 ) DHP
31     601 FORMAT( 1H+ , 91X, F5.1 )
32     12 CONTINUE
33     IPG = IPG + 1
34     IF( IPG .LE. 54 ) GO TO 14
35     CALL NPAGE( IPG )
36     IPG = IPG + 1

```

