

## 三陸沖の地震の震源分布\*

市川 政治\*\*

550.341(03)

### Determination of Hypocenters of Earthquakes Occurring Off the East Coast of Northern Honshu

M. Ichikawa

(Seismological Division, JMA)

Focal depths determined by the Japan Meteorological Agency (JMA) for events occurring in the vicinity of the Japan trench, off the east coast of Sanriku, northern Honshu, are usually deeper than those given by the International Seismological Center (ISC) or the United States Geological Survey (USGS), and the plate tectonics seem to suggest that those given by ISC or USGS are more reasonable than JMAs' (Fig. 1).

Observations of submarine explosions conducted in the Pacific Ocean of northern Japan indicate that the travel times of *P* waves for the determination of earthquake parameters in JMA is a few seconds slower than the actual travel times. The difference of the actual and theoretical travel times will affect on the determination of earthquake parameters.

As a matter of fact, a computer simulation conducted in the present study shows that the use of the travel times, which are slower than the true ones, in the computation of earthquake parameters locates the hypocenter deeper position than the true one. The simulation also shows that the travel time tables calculated from the observations for the submarine explosions are applicable to events occurring in the vicinity of the Japan trench of northern Honshu.

Based on the results, the earthquakes occurring in the area shown in Fig. 2 during the period from 1971 to 1974 are relocated using the new travel time tables. The vertical distribution of hypocenters constructed from the hypocenters determined by JMA for events occurring in the area from 142°E to 143°E and those given by the relocation for events in the area beyond 143°E is similar to those obtained from ISC or USGS' data (cf. Fig. 1 and Fig. 10).

#### § 1. ま え が き

気象庁や東北大学の高木ら(1977)決定の三陸沖\*\*\*の地震の震源立体分布を見ると、ほぼ東経143°の経線を軸として、東西対称の逆V字型分布をしている。

一方、International Seismological Center (ISC)や United States Geological Survey (USGS) 決定の震源から作った同一地域の震源立体分布を見ると、海溝付近から大陸にむかって、震源は単調に深くなっており、プレート説から予想されるものと調和している。

このことから、三陸沖、とくに、143°以東海溝軸近傍に発生する地震に対する気象庁決定の震源は、一般にその深さが真のものより深く決められているように考えられる。そこで、シミュレーションによりこの可能性を確かめると同時に、その結果に基づいて当該地域に1971~1974年までに発生した地震の震源要素を再決定し、その結果をISCやUSGSのものと比較してみる。

#### § 2. 各機関決定の震源の比較

気象庁とISCやUSGSが決定した三陸沖の地震の震源要素の比較を行なう。

Fig. 1は、1971~1974年に北緯38°~42°、東経142°~145°の地域に発生した地震に対する気象庁(J)、ISC(I)、USGS(U)決定の震源から作った震源の東西断面

\* Received Aug. 28, 1978

\*\* 気象庁地震課

\*\*\* ここでは、東経142°付近から145°付近までを、仮に三陸沖と呼ぶことにする。

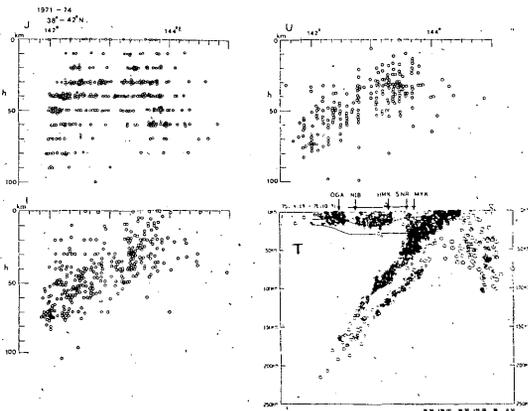


Fig. 1. Depths of earthquakes, which occurred off the east coast of Sanriku of northern Japan, projected on a vertical plane running from east to west.

J: Data obtained from JMA bulletins,  
 U: Data obtained from USGS bulletins,  
 I: Data obtained from ISC bulletins,  
 T: Profile given by Takagi et al (1977).

図である。右下の図は高木ら (1977) による、ほぼ同一区域の地震に対する震源立体分布図である。

これらの図から、気象庁や高木ら決定の震源に基づく立体分布図は、ISCやUSGSのものとは明らかに異った逆V字型の分布をしていることがわかる。

Fig. 2 は Fig. 1 を作成する時使用したデータから作った震央分布図で、J, I, U は前記と同じく気象庁、ISC、USGS 決定のものであることを示す。この図からは、各機関決定の震央に系統的なずれは認められないので、 $(38^\circ \leq \varphi < 39^\circ, 142^\circ \leq \lambda < 143^\circ)$ ,  $(38^\circ \leq \varphi < 39^\circ, \lambda \geq 143^\circ)$ , ……の各区域内に発生した地震の震央を気象庁決定のものを中心に、どの方向にどの程度ずれているかを示す図を Fig. 3 (1) (J-I: 気象庁-ISC, J-U: 気象庁-USGS) に、また、ISC と USGS の震央の差異を Fig. 3 (2) (I-U) に示す。

この図から、ISC と USGS の震央との間に、系統的な差異は認められないが、気象庁と ISC や USGS の震央との間には、系統的な差異が存在し、陸から東に行くに従って、気象庁の震央は東に次第にずれることがわかる。143° 以東では、気象庁の震央の、ISC や USGS の震央に対するずれは、平均して 20~30 km である。

次に震源の深さの差異について調べてみよう。気象

庁、ISC および USGS の震源の深さを  $H_J$ ,  $H_I$  および  $H_U$  とし、 $H_I - H_J$ ,  $H_U - H_J$  および  $H_U - H_I$  の平均値と標準偏差を緯度 1°, 経度 10' ごとの区域について計算した結果を Fig. 4 に示す。

$H_J$  は特に  $40^\circ \sim 40^\circ 59' N$ ,  $143^\circ 40' E$  以東の区域では  $H_I$ ,  $H_U$  に比べ 10~40 km 深くなっている。又、 $38^\circ \sim 41^\circ N$ ,  $143^\circ E$  以西では  $H_J$  は、逆に  $H_I$ ,  $H_U$  に比べ 10~20 km 浅くなっている。

$H_I$  と  $H_U$  の間には、系統的な差異は認められない。

以上の結果をまとめると、気象庁決定の震源の深さは、ISC や USGS に比べ、 $143^\circ E$  以西、 $39^\circ \sim 41^\circ N$  の地域では平均して 10~20 km 浅く、 $143.5^\circ E$  以東、 $39^\circ \sim 41^\circ N$  の地域では平均して 10~40 km 深くなっており、気象庁の震央ははじめの区域で平均 10 km, うしろの区域で平均 20 km ~ 30 km, それぞれ ISC, 又は USGS のそれに比べ東にずれていると言える。

### § 3. 震源の系統的なずれについてのシミュレーション

千島南部の地震に対する気象庁決定の震央は、ISC や USGS のそれに比べ、1° 以上も南にずれていることがある。筆者の行なったシミュレーションによれば、実際よりもおそい走時で観測網外の千島南部の地震の震源要素計算を行なうと、震央は観測網内に引込まれると同時に震源の深さは深くなる (Ichikawa, 1978)。気象庁が定常的震源要素計算に使用している筆者ら (1971) の走時は、東北地方東方沖で行なった爆破地震動観測結果に比べ数秒おそい (市川, 1978)。このように、実際よりもおそい走時表で震源計算を行なうと、どのような事が起るだろうか、シミュレーションを行なってみよう。

Fig. 5 の黒丸の位置に震央を、また、深さ ( $h$ ) を 0~90 km の範囲で 5 km づつ変え、白丸の観測点までの走時を、海底爆破地震動観測結果に基づいて計算した新走時表から求め、これに平均値 0 秒、 $P$  および  $S$  波の標準偏差  $\sigma_p = 0.5$  秒 1.0 秒、1.5 秒および  $\sigma_s = 2\sigma_p$  又は  $\sigma_s = 4\sigma_p$  の正規乱数を与えて観測値とする。

これらの観測値全部、すなわち、36個 (図中の小白丸の観測点)、17個 (図中の中白丸の観測点)、および7個 (図中の大白丸の観測点) を市川らの走時で処理する。また、 $P$  の発震時だけを使って震源要素の計算も行なう。

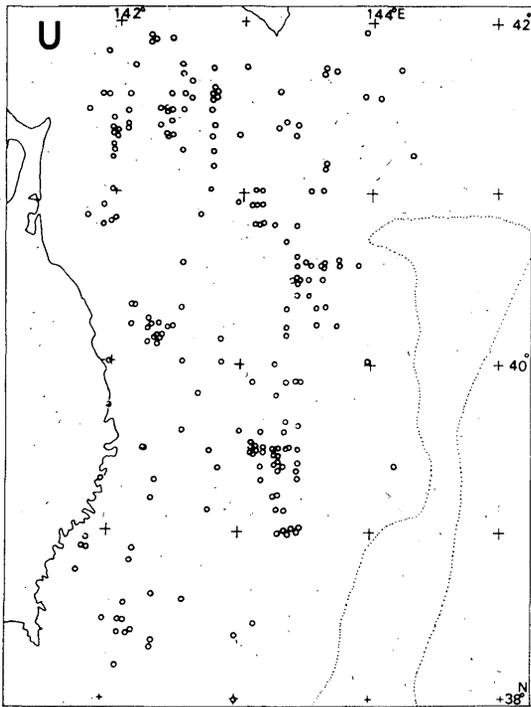
このようにして決められた震源の東西断面図を Fig. 6 に示す。図中の各矢印は仮定した震源の深さであり、丸の大きさや色は使用したデータ数と関係し、黒小丸はデ

\*  $\varphi$ : 北緯,  $\lambda$ : 東経



(J)

(I)



(U)

Fig. 2. Distribution of epicenters given by various organizations (JMA (J), ISC (I) and USGS (U)).

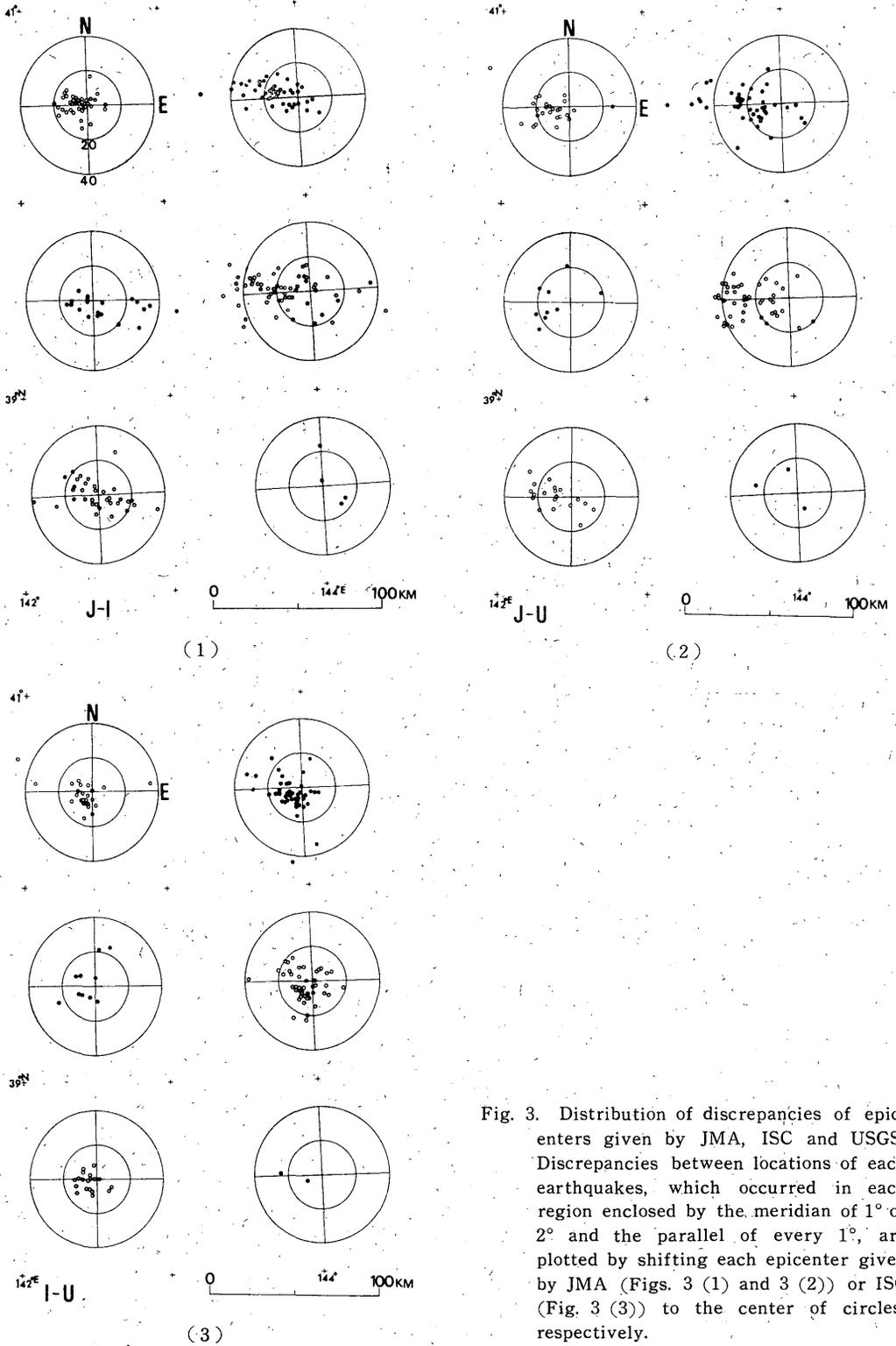


Fig. 3. Distribution of discrepancies of epicenters given by JMA, ISC and USGS. Discrepancies between locations of each earthquakes, which occurred in each region enclosed by the meridian of 1° or 2° and the parallel of every 1°, are plotted by shifting each epicenter given by JMA (Figs. 3 (1) and 3 (2)) or ISC (Fig. 3 (3)) to the center of circles, respectively.

ータ数7, 白小丸はデータ数17, また白大丸はデータ数36の場合をそれぞれ示す(右側の図はPだけ, 左側はP, S共に使用して計算した結果である).

この図から, i) 仮定した深さとは殆んど無関係に計算結果は深くなっていること, ii) 使用したデータ数が多いほど深く決められていること, iii) この傾向は143°E以東で, 特に, 顕著であること, などがわかる. これは Fig. 1 に示した気象庁決定の震源分布の傾向と調和する. この結果は, 143°E以東の震源の立体分布にみられる垂下がり現象が震源要素計算に使用する走時が適当でないことによることを示唆している.

Fig. 7 は仮定した震源(+ )と決められた震央(黒丸36

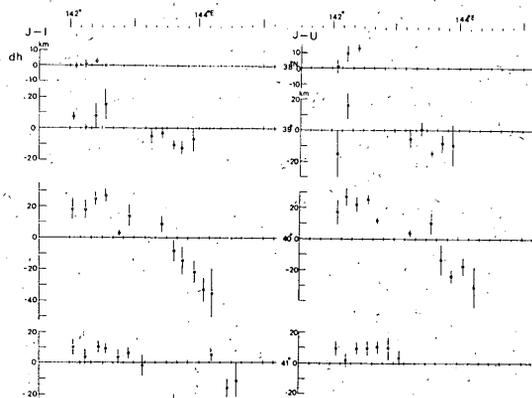


Fig. 4. Distribution of mean differences of focal depths given by ISC and JMA, USGS and JMA, and USGS and JMA for various areas divided by the parallel of 1° and the meridian of 10'. The vertical straight line attached to a circle showing the mean difference is the error bar of the mean.

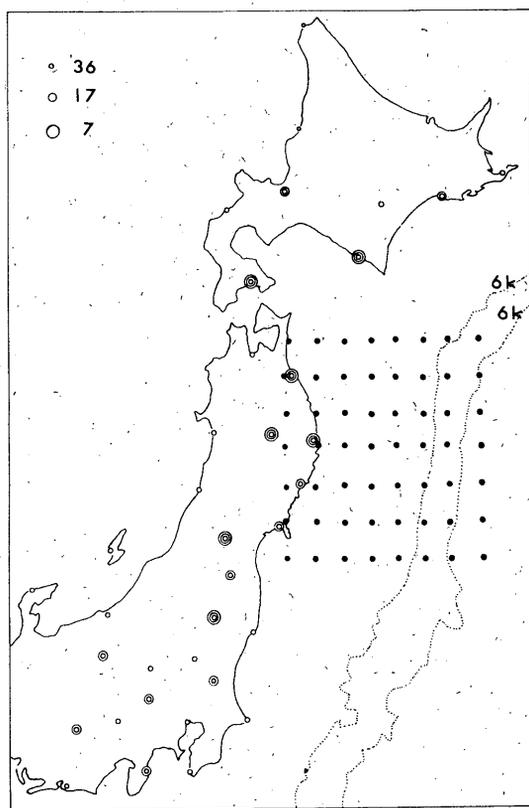


Fig. 5. Distributions of stations and epicenters used in the simulation.

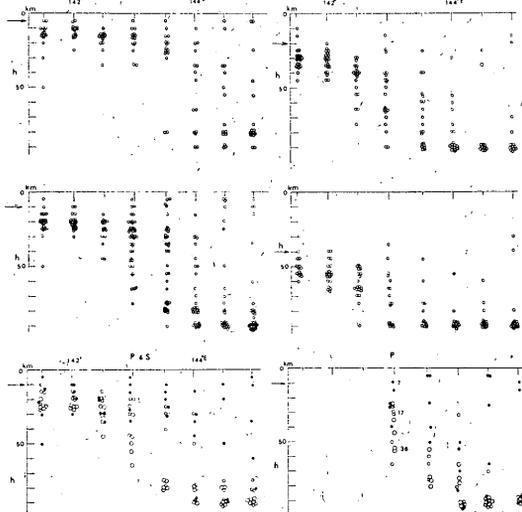
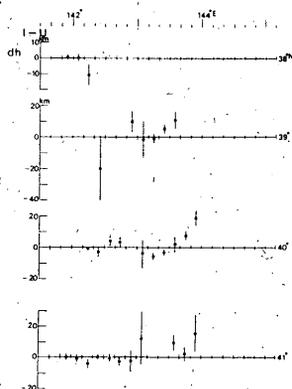


Fig. 6. Profiles of hypocenters given by the simulation. An arrow in each plot shows the assumed depth in the simulation.

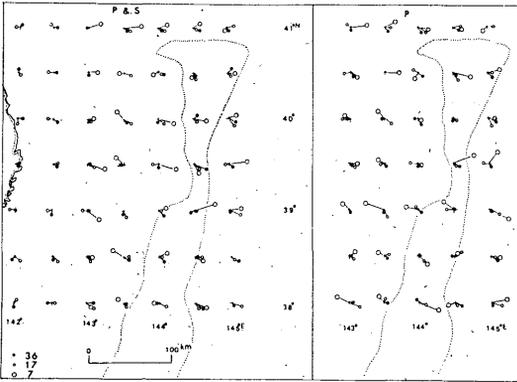


Fig. 7. Discrepancies between determined and assumed epicenters.

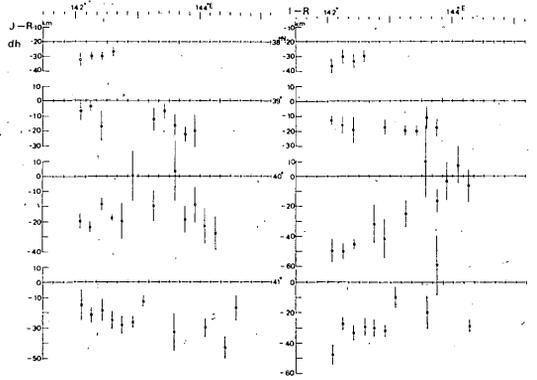


Fig. 8. Distribution of differences of redetermined focal depths and those given by JMA (R-J) or ISC (R-I). (cf. Fig. 4).

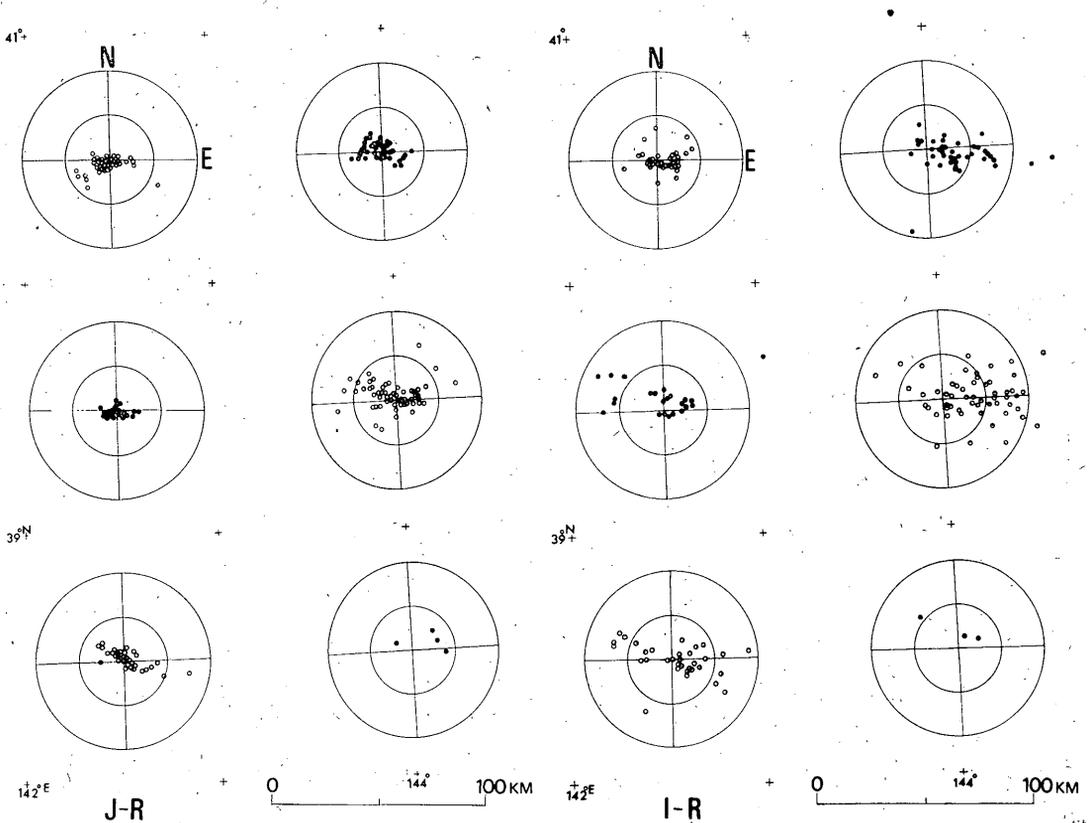


Fig. 9. Distribution of discrepancies of epicenters given by JMA and redetermined epicenters (J-R), and of those given by ISC and redetermined ones (I-R). (cf. Fig. 3).

点、白小丸17点および白大丸7点のデータで計算)との食い違いを示し、左側の図は  $P, S$  共に使用して震源要素の計算をした場合、右側は  $P$  だけを使った場合の結果である。この図から、震央は一般に東にずれ、その傾向は  $143^{\circ}\text{E}$  以東で顕著であることがわかる。この結果は Fig. 3(1) に示して、気象庁と ISC や USGS の震央のずれの傾向と調和している。

#### § 4. 震源要素の再計算

三陸沖  $143^{\circ}\text{E}$  以東の地震の震源東西断面図に認められる垂下がり現象などは、震源要素計算に使用している走時表が不相当であることに起因することがほぼ確実となった。そこで、1971年～1974年に当該地域に発生した地震の震源要素を、新走時表を使って再計算してみる。

Fig. 8 は再決定した震源の深さと、気象庁、又は ISC のそれとの差異の平均値の分布図(左図は気象庁との差、右図は ISC との差)であり、これは Fig. 4 に対応する。この図から、i) 再決定結果は気象庁の震源より、全般的に浅くなっている、ii)  $143\frac{1}{2}^{\circ}\text{E}$  以東の地震に対する再決定結果は、ISC の震源とほぼ同じ深さになっている、ことがわかる。

Fig. 3 に対応する震央のずれを Fig. 9 示す。この図

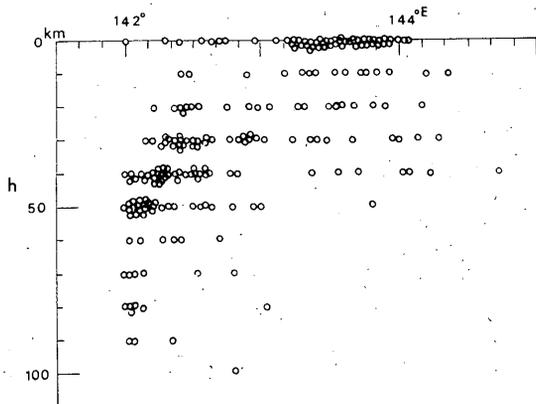


Fig. 10. Profile constructed by using hypocenters given by JMA for events occurring in the region ranging from  $142^{\circ}\text{E}$  to  $143^{\circ}\text{E}$  and redetermined hypocenters for events which occurred in the region from  $143^{\circ}\text{E}$  to  $145^{\circ}\text{E}$ . Note that the peculiar distribution of hypocenters given by JMA shown in Fig. 1 is considerably improved.

から気象庁の震央と再決定結果との間には、系統的なずれは認められないが、再決定震央が  $143^{\circ}\text{E}$  以東では、ISC のそれに比べ平均  $15\text{ km}$  東にずれていることがわかる。何れの震央が妥当か速断は出来ないが、再決定に使用した走時表が、当該地域付近で行われた爆破観測結果に基づいて作られたものであることを考えれば、再決定の結果が妥当ではないであろうか。

再決定震源が、気象庁、あるいは ISC の震源の深さにくらべ、 $143^{\circ}\text{E}$  以西では浅すぎると言う結果や、新走時の性格から、この走時表が震源要素計算に適用できる範囲は、 $143^{\circ}\sim 143\frac{1}{2}^{\circ}\text{E}$  以東であろう。

このような観点から、 $143^{\circ}\text{E}$  以西は気象庁の震源、またそれ以東は再決定結果を使って、Fig. 1 に対応する震源の東西断面図を作った (Fig. 10)。その結果は、ISC のそれに近いことがわかる。

#### § 5. むすび

三陸沖の  $143^{\circ}\text{E}$  以東の地震に対する気象庁決定の震源は、ISC や USGS のそれに比べ多少深く、 $143^{\circ}$  の経線を軸に太平洋側に垂下がっている。この現象は、震源要素計算に使用している走時表が不相当であることによるものであることが、シミュレーションの結果から推定できた。

そこで、1971～1974年に当該地域に発生した地震の震源要素を、東北地方東方沖で行われた爆破の観測結果から作った新走時で再計算した結果、 $143\sim 143\frac{1}{2}^{\circ}\text{E}$  以東の地震に対しては、ISC の震源(特に深さ)と調和することがわかった。

更に多くの地震について、新走時表により震源要素の再決定を行ない、走時表の妥当性を確かめたいので、これを地震課の定常的地震調査業務に使用することを提案する。

#### 参考文献

- 高木章雄・長谷川昭 (1977): 東北日本における地震活動の特性と予知研究: 地震予知研究シンポジウム (1976), 15～20.  
市川政治・望月英志 (1971): 近地地震用走時表について。気象研究所研究報告, 22, 229～290.  
市川政治: 気象庁における震源要素新計算法と走時表。験震時報, 43, 13～  
Ichikawa, M. (1978): Lateral Heterogeneity under the Southern Kurile Trench and Its Vicinity and Systematic Discrepancy in Epicenter Locations. Geophys. Mag., 38, 1～19.