

気象庁新地震観測網の震源決定能力*

市川 政治**

550.341(03)

Simulation on Epicenter Detection Capability of JMA Network for Local Earthquakes

M. Ichikawa

(Seismological Division, J. M. A.)

For the purpose of detecting local earthquakes whose magnitude is down to 3, the Japan Meteorological Agency (JMA) begun installing 20 sets of high magnification seismograph with a magnetic tape recording system at various points in Japan, from 1976 on a three years program.

A computer simulation is conducted in order to estimate the epicenter detection capability of the new network consisting of the new instruments as well as the conventional seismographs whose magnifications are 100 or 1000.

The result given by the simulation indicates that the minimum magnitude of shallow earthquakes whose hypocenter is detected by the network is 3 for events occurring in most regions of Japanese islands and $3\frac{1}{2}$ for events taking place in zones within about 200 km from coast lines of the Japanese islands.

A statistical study based on earthquakes occurring in and near Japan from 1926 to 1974 suggests that the numbers of earthquake records to interpret, and of events to locate will amount to 50,000 and 3,500 a year on the average, respectively.

§ 1. ま え が き

日本とその周辺に発生する規模 (M) 3 以上の地震の常時監視のため、気象庁は1967年から1973年にかけて磁気テープ記録式67型地震計を全国に設置した。

これに先だって筆者 (市川, 1969) は、この新観測網の震源決定能力に関するシミュレーションを行なった。その結果、新観測網は日本国内に発生する M 4 以上の浅発地震 (以下、単に地震と略す) は殆んど検知できるが、 M 3 以上の地震をもれなく検知するには、数千倍以上の有効倍率の地震計を全国に数十か所設置する必要があると言う結論に達した。

一方、最近、望月ら(1978)が行なった気象庁59型地震計記録、あるいは、59型地震計相当の記録に基づく地震検知力に関する統計結果は、上記シミュレーションのそれと良く調和している。このことは、少なくとも1973年

当時までの気象庁地震観測システムは、 M 3 までの地震の常時監視と言う線には達していなかったことを示している。

さらに、多くの地震観測気象官署では付近の都市化のため、人工的雑微動が急激に増大し、ためにトリガーシステムを採用している67型地震計の地震記録能力は著しく低下した。

そこで気象庁は、1976年から全国20か所に倍率1万倍以上の地震計の設置を開始した。67型地震計は気象官署内、あるいは構内に掘られた穴のなかに設置されていたが、今回は人工的振動源から離れた地点に、しかも相当な深さの穴を掘って地震計変換部を埋込み、最寄りの官署に信号を伝送する方式がとられているので、常時雑微動は67型地震計の場合に比べて小さくなるはずである。

76型地震計が加わった新観測網は、日本付近の地震に対してどの程度の検知能力を持つてであろうか、また、67型・76型からなる観測網は年間どの程度の地震記録をとるであろうかをシミュレーションによって推定してみる。

* Received May 1, 1977

** 気象庁地震課

§ 2. 新観測網の地震検知能力

59型・67型・76型地震計から成る新観測網の地震検知能力に関する今回のシミュレーションの手順は、次のとおりである。なお、これは、1969年に筆者が59型・67型地震計から成る地震観測網の検知力の推定のためのシミュレーションの手順と殆んど同じである。すなわち、

1) 設置された、あるいは設置予定の地震計の種類に従って、 P 波初動に対する有効倍率を100, 1,000および10,000とする。

2) 地震の規模(以下 M と書く)を仮定する。

3) 緯度・経度それぞれ 0.5° のメッシュ上に震源の深さ40 kmの地震が発生すると仮定する。

4) 1つの地震について、各観測点までの距離 d (km)を計算し、これと仮定した M から下記の式を使って P 波初動の地動振幅 $A_P(\mu)$ を計算し、地震計の倍率を加味して記録振幅を求める。

$$M = \log A_P + 2.58 \log d - 1.36.$$

5) 記録振幅が0.5 mm以上ならば震源要素の計算に使用可能な記録がとれるとする。

6) 5)の規準に入った観測点に対し、 P , S 波の伝搬時間を走時表から求める。

7) この理論走時に平均値0秒、適当な値の標準偏差の正規乱数を加える。これを各地の P 波・ S 波の観測発震時*とする。

8) これらの観測結果を、気象庁地震課における震源要素計算法に準じて処理し、震源・震源における発震時とそれらに対応する標準誤差を求め、計算に使用したデータ数と一緒に計算機中に記憶させておく。

9) 4~8の手順を2)に仮定した全地震に適用する。

Fig. 1は67型(小円)および76型(大円)地震計設置あるいは設置予定の地点である。震源決定能力の推定の場

合は、これらの地点のほかに59型地震計が設置されている官署も考慮されている。

上記の手順に従って $M: 2\sim 6$ の地震を各地に発生させ、それぞれの震央位置に、計算に使用したデータ数・仮定した震央と決定した震央のくい違い量(km単位)、決定した震央の緯度・経度に対する標準誤差 $d\phi$, $d\lambda$ の積 $d\phi \times d\lambda$ (単位 $^\circ$)等をプロットした。Fig. 2はその1例で、 $M=3.5$ の場合の震央のくい違い量の地理的分

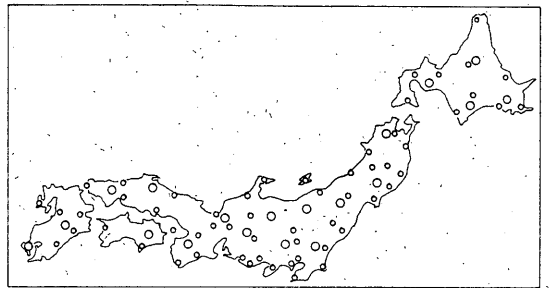


Fig. 1. Distribution of meteorological stations of JMA equipped with seismographs whose magnifications are the respective 1,000 (small circle) and 10,000 (large circle).

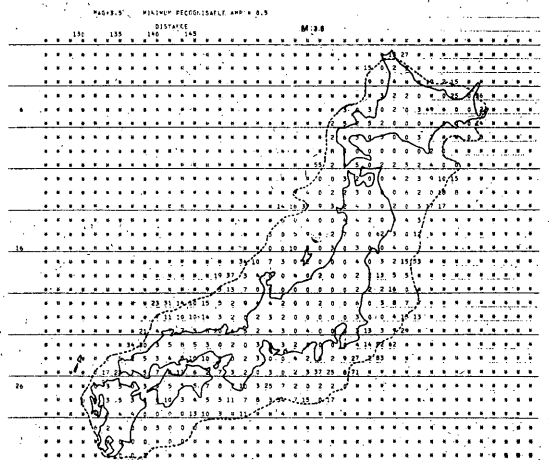


Fig. 2. A computer output showing discrepancies between presumed and computed epicenters for the earthquake magnitude $M=3.5$. Numerals in the plot indicate the discrepancies between presumed and computed epicenters in km, and * shows an event whose epicenter was not determined because of lack of data.

* ある地点の P 波・ S 波の初動振幅は M ばかりでなく、メカニズムや観測点付近の地質構造とも関係する。この初動が検出可能か否か、また検出結果の精度は、信号到着時間直前の雑微動振幅にも左右される。したがって、検出可能か否かは地震のメカニズムを仮定し理論振幅を求め、さらに、それぞれの地点の平均的雑微動振幅とその標準偏差から雑微動振幅を推定し、それらの振幅比から決めるべきである。また、検出結果の精度もこの比と関係する。一方、観測走時を作るために加える正規乱数は、それが正の値の場合は、雑微動振幅が初動振幅以上であるために、信号到着時よりも後を観測したことになるし、また、正規乱数が負の場合は、雑微動振幅が初動振幅より小さいため、前のほうを読みすぎたことになると考えてよからう。この観点から、理論走時に正規乱数を与えて観測走時を作り出すということは、検出可能か否かについて地震のメカニズムや時間的に変動する雑微動振幅の影響が、結果的には考慮されたことになる。

布図である。図中の点線内に $M=3.5$ の地震が起これば、絶対誤差 10km 以内で震央が決まると推定される。

M を変えて同様な contour を作り、一枚の図にまとめた結果が Fig. 3 である。この図から新観測網は 1) 東北地方から近畿地方の内陸に発生する $M 3$ 以上の地震は、ほぼ完全に検知出来る、2) 北海道や中国・四国・九州の各地では、検知力は多少落ち、ほぼ完全に震源決定出来る最小の M は $3\frac{1}{4}$ 程度であろう、3) 海岸から $150\sim 200\text{km}$ 以内ならば $M\geq 3.5$ の地震がほぼ完全に検知できそうである、などがわかる。いずれにせよ、76型地震計が期待どおり働いてくれば、気象庁の地震検知力は飛躍的に向上するものと考えられる。後述のように、得られるデータ数も幾何級数的に増大するから、データ処理の面でも、それに見合った手当てをしなければ、実効はあがらないことは言うまでもないことである。

以上の結果は、観測網で得た全データを中央で集中処理する場合に対応するものであるが、管内各所の記録をテレメータし、各管区ごとに即日処理する場合、地震検

知力はどのようになるだろうか。得られるデータ数は、全国規模でのデータ処理の場合より少なくなることはあっても多くなることはないで、震源計算の出来ない地震が相当出てくることは想像に難くない。特に各管区気象台観測網の境界地域に発生する地震に対する検知力は相当に落ちるであろう。さらに、震源決定に使用しうるデータ数の減少は、震源決定の精度にも影響を及ぼす。

管区気象台単位の観測網で震源計算を行なった場合、はたしてどの程度、地震検知能力が全国的な場合よりも低下するであろうか前と全く同じ方法でシミュレーションしてみた。

Fig. 4 は殆んどもれなく震源の決定出来る(決定された震央の絶対誤差は 10km 以内)最小の規模の地理的分布を示す図である。この図は Fig. 3 に対応するものであるから、両図の比較から、分散データ処理による震源決定能力の低下の程度がうかがえる。すなわち、検知力は全国規模のデータ処理に比べ、分散処理の場合は、 M にして 1 以上低下することがこの図からわかる。一方、 M

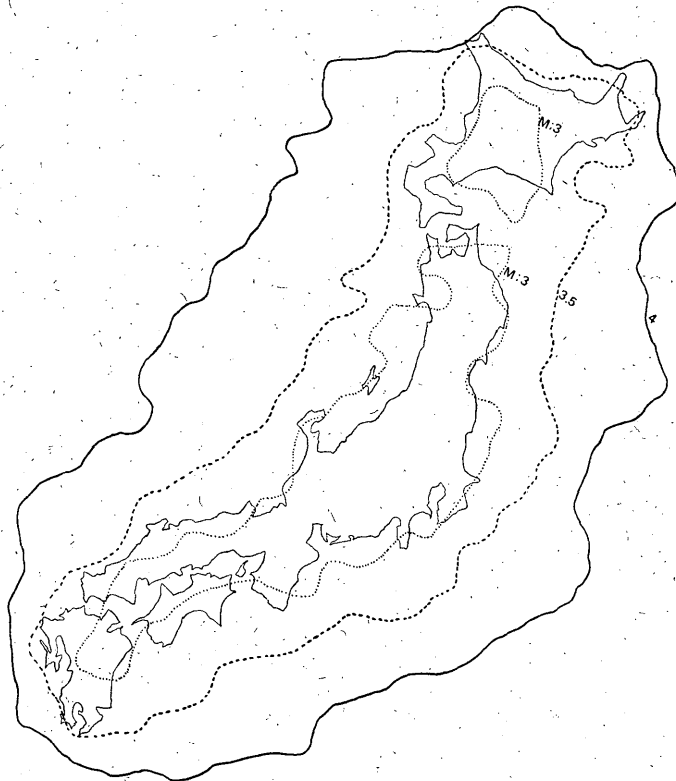


Fig. 3. Epicenter detection capability of the new network shown by areas within which epicenters of earthquakes having relevant magnitude should be determined with errors of not more than 10km .

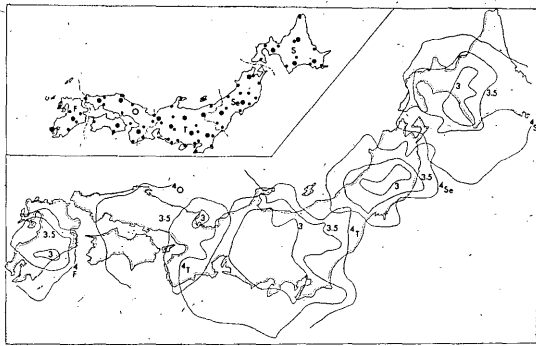


Fig. 4. The same as Fig. 3, except that the epicenter determination is performed by individual District Meteorological Observatories using data obtained by stations under their control. The insert plot shows the distributions of meteorological stations and border lines between each district.

S, Se, T, O and F indicate the respective areas controlled by Sapporo, Sendai, Tokyo, Osaka and Fukuoka District Meteorological Observatories.

の大きな地震になると、複数の管区气象台で、相当に違いの震源要素を算出することもしばしば起こるであろう。

かりに管内各点で1万倍以上の倍率の地震計が動いていたとするならば、相当小さな地震を多くの地点で記録するであろうから、それらの震源も殆んど決定しうであろう。しかし、1管区内でそのような高倍率地震計がただか4~5点しか存在しない場合、今回のシミュレーションの結果が示すように、地震検知能力は相当低下することのほかに、同一地震に対して各管区气象台で決定した食違った震源要素の調整など、データ分散処理にはいろいろ問題がある。

§ 3. 地震記録数の推定

高倍率地震計を含む新地震観測網の確立により、日本付近に発生する地震に対する検知能力は、 M にして1程度向上するであろうことが推定されたが、この観測網は、年平均どの程度の数の近地地震を記録するであろうか。

この推定のため、まず、日本付近の地震の平均的活動度を調べてみた。Fig. 5に示す規模別積算度数分布図から明らかのように、データ処理方法や観測網の整備拡充により、地震検知力は、年々向上して来ているが、年

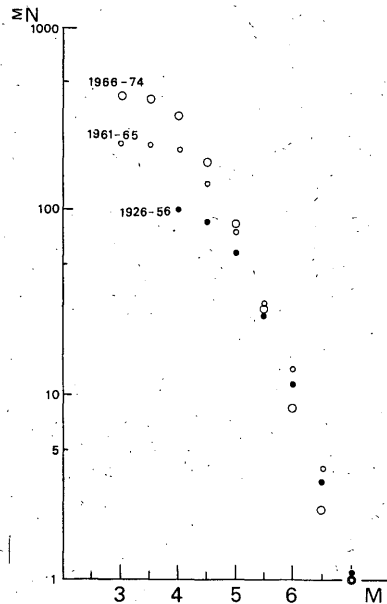


Fig. 5. Magnitude-cumulative frequency (annual average) relation for various periods. A considerable improvement in the epicenter detection capability is evident from the plot.

平均地震活動度は、図に示した三期間を通じほぼ同じである。すなわち、日本付近には、 $M7$ 程度の地震が平均して年一回発生し、 M が1小さくなるに従って、対応する地震の数はやく10倍増えている。

この統計結果と、内陸と海域における地震活動度の割合は1:9であるとの仮定から、Tab. 1に示す数の地震(浅発)の発生が予想できる。

次に67型と76型地震計からなる観測網がとらえる、 M 別の地震記録数を推定する必要がある。これには、§ 2で述べたシミュレーションの手順1~5が利用できる(この場合、地震計の有効倍率を67型で1,000、76型で10,000とする)。

たとえば、 $M=3.5$ の地震が各地に発生したとき、得られるであろう震源要素計算に有効な地震計記録はFig. 6に示すようなものになるであろう(図中の数字は、その位置に $M=3.5$ の地震が発生したときに観測網内のどこかの観測点で、震源要素計算に使える記録がとれるであろう箇所数を示す)。

さらに、この観測網の M 別地震検知力を知る必要がある。これは§ 2で述べたシミュレーションの結果から、Tab. 2のように仮定する。また、この表には、

Fig. 6 にその 1 例を示したシミュレーションから推定した M 別地震計平均記録数も示してある。

これら 2 つの表から、日本付近の平均的地震活動の場合に対して、67型と76型地震計からなる観測網がとらえる地震数と、震源要素計算に有効となる地震の記録数が求められる。これらの結果を Tab. 3 と Fig. 7 に示す。また、Fig. 8 は Fig. 5 と Fig. 7 に示したものを重ねあわせたもので、これから今回の新観測網の地震検

知力の程度と、気象庁観測網の地震検知力向上の歴史もうかがえる。

Fig. 7 に示した結果には、59型地震計の存在が考慮されてはいないが、その倍率から考えて、新観測網の地震検知能力に対する59型地震計群の貢献度はそれほど大きくはないと考えられるので、大勢は変わらないであろう。もちろん、59型地震計群により得られるデータは、震源決定精度向上に大いに貢献することは言うまでもない。

Tab. 1. Annual numbers N_I' and N_O' for shallow earthquakes occurring in Japanese islands and in zones within about 300 km from coast lines of Japanese islands.

M	N_I'	N_O'	Total.
7.0-6.51	0.0	0.9	0.9
6.5-6.01	0.3	2.5	2.8
6.0-5.51	1	8	9
5.5-5.01	3	25	28
5.0-4.51	9	84	93
4.5-4.01	29	252	281
4.0-3.51	90	810	900
3.5-3.01	280	2520	2800
3.0-2.51	900	8100	9000
2.5-2.01	2800	25200	28000

Tab. 2. Detection capabilities of earthquakes D_I and D_O and the number of earthquake records n_I and n_O which will be obtained by the new seismological network, as a function of earthquake magnitude M .

M	D_I	D_O	n_I	n_O
7.0-6.51	100%	100%	70	70
6.5-6.01	100	100	70	70
6.0-5.51	100	100	65	65
5.5-5.01	100	100	55	55
5.0-4.51	100	100	40	30
4.5-4.01	100	100	25	15
4.0-3.51	100	70	20	15
3.5-3.01	95	50	10	5
3.0-2.51	30	5	5	2
2.5-2.01	10	0	2	0

Tab. 3. Annual numbers of earthquake records N_I and N_O which will be available in the epicenter determination.

N_I : number of records for earthquakes occurring in Japanese islands.

N_O : number of records for earthquakes occurring in zones within about 300 km from coast lines of Japanese islands.

($N_I = N_I' \times D_I \times n_I$, $N_O = N_O' \times D_O \times n_O$ (cf: Tabs. 1 and 2)).

M	N_I	N_O	Total'
7.0-6.51	0	63	63
6.5-6.01	21	175	196
6.0-5.51	65	520	585
5.5-5.01	165	1375	1540
5.0-4.51	360	2520	2880
4.5-4.01	725	3780	4505
4.0-3.51	1800	8505	10305
3.5-3.01	2660	6300	8960
3.0-2.51	1350	810	2160
2.5-2.01	560	0	560

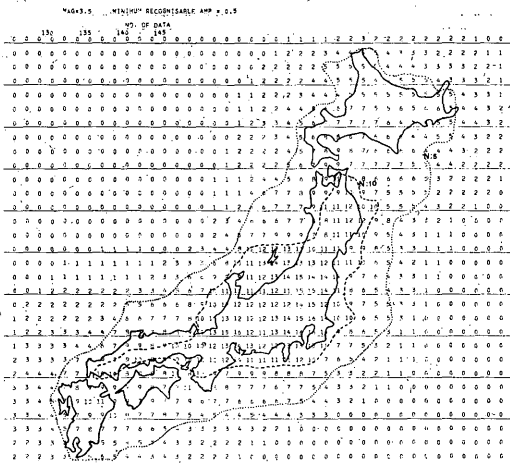


Fig. 6. Distribution of the number of P time data which will be obtained by the new network for earthquakes occurring in each location shown by numerals.

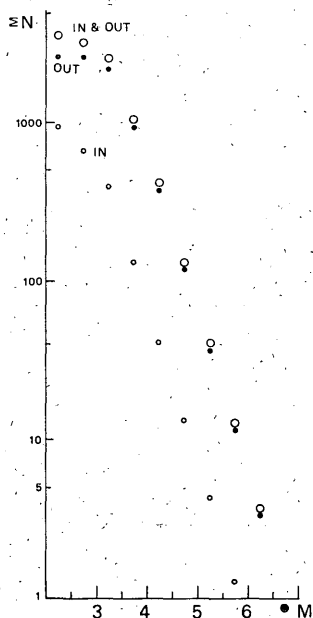


Fig. 7. Magnitude-cumulative frequency (annual average) relations estimated from the present simulation. IN and OUT indicate the frequency for events occurring in Japanese islands and in zones within about 200 km. from coast lines of Japanese islands.

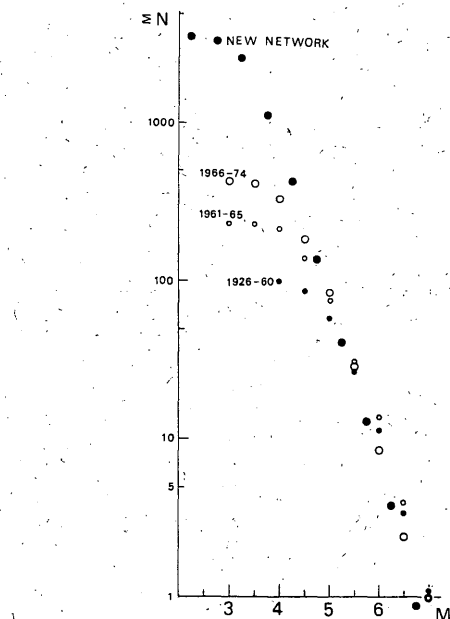


Fig. 8. Magnitude-cumulative frequency (annual average) relations in the past and future (cf. Figs. 5 and 7).

§ 4. む す び

1976年度から設置が始まった埋込み遠隔記録式の、いわゆる、76型地震計が加わった新観測網の日本付近に発生する浅発地震に対する検知能力と、67型および76型からなる観測網が、平均して、年間どの程度の近地浅発地震を記録するか推定してみた。

その結果によれば、M3以上の地震ならば観測網内のほとんどの地域に発生するものを大体もれなく検知できるだろうし、また、海岸から200 km以内の海域に発生するものに対しては、M3.5以上ならば大部分が検知可能であろうことがわかった。

また、震源要素の決定される地震の数と言う面からみると、平均的な地震活動の時で、年間約3,500個の近地浅発地震がとらえられることになる。その結果として、約32,000の有効地震記録が得られるものと予想される。このほか、震源決定には有効でない、微小な記録、深発

地震や遠地地震なども多数観測されるので、験測すべき地震記録数は年間4~5万に達するであろう。

また、人工的振動による記録も、相当多数磁気テープ中にため込まれるであろうから、一次処理を要する磁気テープ中の記録数は、おそらく、年間10万~15万に達するであろう。

以上の推定は、平均的地震活動に対するものである。しかし、実際の地震活動には、地震の空白域や大地震に伴う余震活動や群発地震などから明らかのように、時間的・空間的に相当な変動がある。したがって、定常的地震調査業務を円滑に行うためには、平均的な状態の3~4倍程度の地震活動に対処できるようなシステムを設計しておく必要がある。

参 考 文 献

- 市川政治 (1969): 気象庁地震観測網の震源決定の精度・能力, 研究時報 21, 297~308.
望月英志・小林悦夫・岸尾政弘 (1978): 1965年~1974年の気象庁の震源検知能力, 験震時報, 42, 23~30.