

深い地震の Magnitude を決める一方法*

勝 又 護**

550. 341

A Method of Determination of Magnitude for Near and Deep-focus Earthquakes

M. Katsumata

(Seismological Section, J. M. A.)

The author proposes a method of determining the magnitude similar to Gutenberg-Richter's, for deep-focus earthquakes in and near Japan, on basis of the seismometrical data obtained in the Japanese stations.

If a epicentral distance is fixed, the magnitude is to be determined by amplitude and focal depth. Therefore, the author prepared nomographs showing these relationships at certain epicentral distances, 500, 900 and 1,300 km.

Amplitudes were averaged of the observed values at the stations falling within a zone of 50 km of width on both sides, and they were the maximum horizontal amplitude, mainly in *S*-phase.

The Japanese seismometrical network is so dense that a magnitude can be determined easily with these three kinds of nomograph, which corresponds correctly with the Gutenberg-Richter's.

Moreover, the curves on the nomographs indicate clearly the condition of absorption for seismic waves in upper part of mantle.

§ 1. ま え が き

地震の規模のスケールとして、Richter (1935) が、Magnitude (M) を提唱して以来、多くの発展、拡張がなされ、現在広く用いられている。日本においても、河角 (1951) の M や、国内の資料を用いて、Richter-Gutenberg と同様な M を求めるための多くの手段が考え出されており、とくに坪井 (1954) の方法が広く用いられている。しかし、それらはいずれも、震源の浅い地震に対して用いられる方法で、深い地震には適用できない。

深い地震の M は、Gutenberg⁽¹⁾ (1945) による、表面波の振幅の深さに対する関係などを考慮に入れて、 M を求める方法がある。しかし、この方法は、そのまゝでは日本の観測資料には利用

* Received Dec. 23, 1957.

** 気象庁地震課

(1) B. Gutenberg: Magnitude Determination for Deep Focus Earthquakes, B. S. S. A. 35 (1945), 117~130.

できない。一方、わが国でも早くから、深い地震の規模と振幅、周期の関係や、あるいは、エネルギーを直接求めることなどについての多くの研究がある。

しかし、浅い地震は、最近の 30~40 年間のおもな地震につき M が求められ、Seismicity などの研究によく利用されているのに比べ、深い地震については、そのような資料が不備で、不便を感じる事が多い。

そこで筆者は、深い地震の M を求める簡単な方法を考え、これを用いて日本付近の地震の M を求めた。以下この方法につき述べるが、要するに、わが国の資料を用いて、いかにして、Richter-Gutenberg 流の M とよく合う値を求めたかということである。

§ 2. 振幅・深さと Magnitude との関係

浅い地震の M は、震央距離 (Δ) と振幅 (A) とで求めることができるが、震源の深さ (h) を無視できない深い地震では、 Δ, A, h の三つと M との関係を知る必要がある。このためには、広野・岩井⁽²⁾ (1952) のように、 $(A \sim \Delta)$ の関係を h ごとに求めるか、あるいは、 $(A \sim h)$ の関係を Δ 別に求めるかであるが、ここでは後者の方法を用いた。

すなわち、 Δ を一定とすれば、 M は A, h で求まる。たとえば、 $\Delta=900\text{km}$ 付近における、 A, h と M の関係は Fig. 1 に示すようになる (ここでは、まだ図上の曲線は引いてないものとする)。ここで用いる A とは最大水平動振幅 (主として S 波) で、 $\Delta=900\text{km} \pm 50\text{km}$ の間に存在する多数の観測点の値を平均したものである。日本は、観測網が密であるので、 Δ の幅を $\pm 50\text{km}$ にとると (震源距離、波の径路に大きな変化のない範囲として)、多数の観測値が得られることが多い。このようにして、平均した振幅を用いると、地盤による影響は平均化され、方位角に対する影響や、地域的差異を少なくするこ

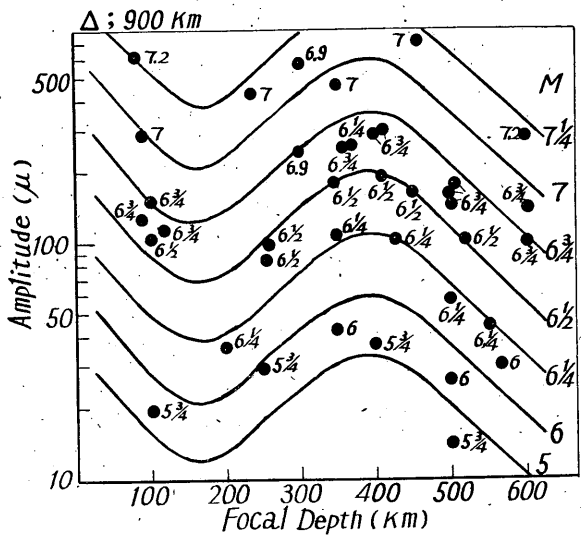


Fig. 1. Relation between magnitude and A, h at the epicentral distance of 900km

(2) 広野卓蔵・岩井保彦：深い地震の規模 (マグニチュード) を決める一方法，験震時報 16, No. 3~4 (1952), 14~22.
 (3) B. Gutenberg and C. F. Richter: "Seismicity of the Earth and Related Phenomena" 2nd Ed., Princeton University Press, Princeton, N. Y.

とができる。

Fig. 1 に示した, A, h, M の関係を見やすくするために, A を一定の M に対する値に補正した。それには, 浅い地震と同様, 常用対数で表わされる A と, M との関係が, そのまま深い地震でも成り立つとして, 振幅を $M=6$ の値に移動させた。このようにして出来た Fig. 2 を見ると, かなりよく一つの曲線で現されている。そこで, この曲線を, $\Delta=900\text{km}$ における, h と A との関係の標準曲線とし, おおのこの M に対応する曲線を求めた。これが Fig. 1 の各曲線であるが, そこにプロットされている各点をよく満足していることがわかる。したがって, Fig. 1 の曲線を用いて, $\Delta=900\text{km}$ 付近の A の観測値から, 任意の深さの地震の M が求められることになる。

この調査で, 基準として用いた M は, 主として, Gutenberg-Richter⁽³⁾ (1954) によったが,

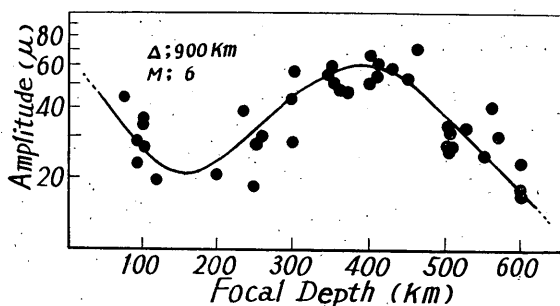


Fig. 2. Amplitudes (Fig. 1) reduced to magnitude 6, at the epicentral distance of 900km

Pasadena⁽⁴⁾ の報告, そのほかのものも補助的に用いた。また, 図の左端の浅い地震に対する A の値は, 坪井⁽⁵⁾ (1954) の求めた, 浅い地震の値 (深さ 30~40km として) をそのまま用いている。

同様にして, 距離別に, 多くの図を作らなければならないことになるが, ここでは, 500, 900, 1300km の三つの距離

に対するものを作製した。これは, 実際に作業してみた結果, この三つの距離に対するものがあれば, 日本付近の地震には, ほとんど間に合うからである。

§ 3. 曲線の示す性質と, 地震波の吸収

Fig. 1, Fig. 3 a, b に示したような曲線は, 地球内部における地震波の径路と, そこにおける吸収係数がわかれば, 推定できるはずである。実際には, 地球内部での地震波の吸収, とくにこの場合関係する浅い部分についての状態は, よくわかっていない。また, 周期との関係や, 地域的な違いなどについても未知なことが多い。しかし, 定性的に見ると, この曲線と, 吸収の状態についていわれていることとはかなりよく一致している。たとえば, Fig. 4 は, $\Delta=900\text{km}$ に到達する, いろいろな深さの震源からの波線の概略と, 和達・広野⁽⁶⁾ (1956) の求めた吸収係数と深さとの関係を図示したものである。これと, Fig. 1 の曲線とを比べてみると, 深さ 100km 付近の

(4) Seismological Laboratory Bulletin, California Institute of Technology, Pasadena, California.

(5) 坪井: 地震動の最大振幅から地震の規模 M を決めることについて, 地震 II, 7, (1954), 185~193.

(6) 和達・広野: Magnitude of Earthquakes—Especially of Near, Deep-focus Earthquakes, Geophys. Mag. 27 (1956), 1~10.

吸収係数の大きな層の影響により、ここを通過する径路が長くなるような深さの震源からの波の振幅は、いちじるしく小さく現れている。より深い、吸収係数が比較的小さい層を多く通過するような波は、しだいに振幅が大きくなっており、 $h=400\text{km}$ 前後の震源からの地震波が、 $\Delta=900\text{km}$ 付近では、いちばん大きく現れている。さらに深くなり、吸収係数も小さく、変化も少ないような深さからの地震波は（この場合は、浅い部分の径路は、深さによってもあまり変らない）深さに比例して、振幅は単調に減少している。 $\Delta=500, 1300\text{km}$

の図についても、同様な傾向がみられ、極小、極大の現れる深さの変化も、径路と吸収係数との関係で、よく説明できる。

しかし、これらの曲線の作製上基準として使った M_G 自身も、未知なものに対するの仮定をふくんでの結果であるから、詳細に論ずるのは適当でない。だが、これらの曲線を用いて、Gutenberg-Richter の求めたと同様な M を求めようとする目的は達せられると思う。

§ 4. M を決めた結果

Fig. 1, Fig. 3 a, b のノモグラフを用いて求めた M と、同じ地震について Gutenberg-Richter⁽⁷⁾ が決めた M_G と

(7) (3) に同じ。

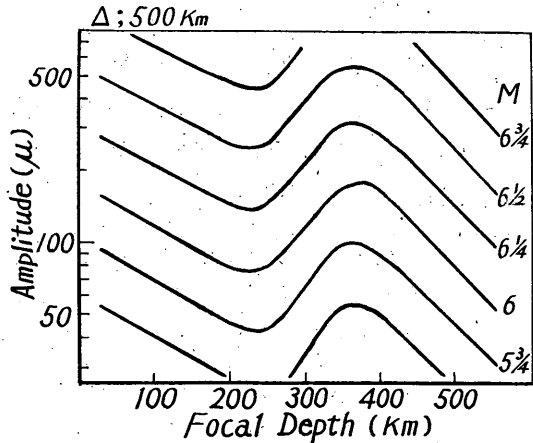


Fig. 3a. Nomograph applicable to determine a magnitude from focal depth and amplitude at $\Delta=500\text{km}$

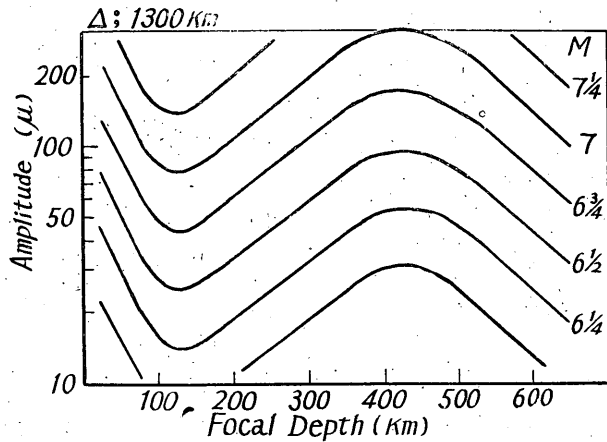


Fig. 3b. $\Delta=1300\text{km}$.

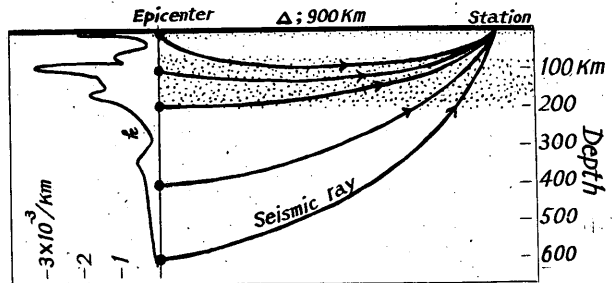


Fig. 4. Figure showing change of the absorption coefficient k with depth and seismic ray

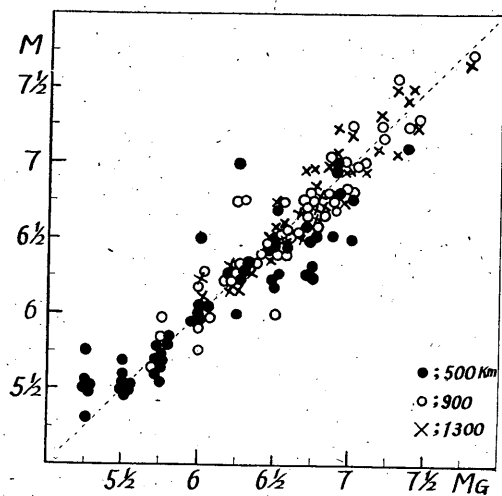


Fig. 5a. Comparison of M and M_G .
 M ; Writer's
 M_G ; Gutenberg-Richter's.
 Magnitudes were determined
 from the amplitudes at
 $\Delta = 500\text{km}$; ●
 $\Delta = 900\text{km}$; ○
 $\Delta = 1300\text{km}$; ×

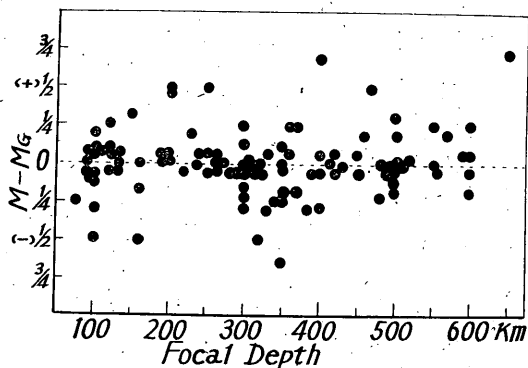


Fig. 5b. Relation between focal depth
 and $(M - M_G)$

を比較してみると、かなりよく一致している。また、Fig. 5 a, b に示したように、距離別の片寄りや、深さに対する系統的な誤差なども認められない。

なお、実際に M を計算する場合、途中の手續や、精度と考え合わせ、 $1/4 M$ ぐらいの刻みのスケールで用いるのが適当と思われる。振幅は、いろいろな誤差をさけるために、少なくとも、三つ以上の観測値の平均を用いることが望ましい。

以上の方法で、日本付近の深い地震の M が、国内の資料を用いて、簡単に求められる。その結果も実用上さしつかえない程度の精度と思われるので、この方法を用いて、1935年以降のおもな深い地震 ($h \geq 150\text{km}$) の M を求めてみた。(8)

(8) 後報の予定.