

## 松代の表面波上下動振幅を用いてマグニチュードを決める式\*

檜皮久義\*\*・勝又 護\*\*

5503.34.042

### An Empirical Formula for Estimating Magnitude "MS" using Vertical Surface Waves Recorded by the Matsushiro Seismological Observatory

H. Hikawa and M. Katsumata

(Seismological Observatory, J. M. A.)

A practical method for estimating earthquake magnitude  $MS$  is studied, using vertical surface waves observed by Matsushiro Seismological Observatory. The magnitudes " $MS_{GS}$ " determined by U. S. Geological Survey were used as standard in this study and the following formula was obtained by the method of least squares;

$$MS = \log\left(\frac{Az}{T}\right) + 1.33 \log \Delta + 4.08,$$

where  $A$  is maximum vertical surface wave amplitude (in microns) with period approximately 20 seconds,  $T$  period in seconds, and  $\Delta$  epicentral distance in degrees.

In view of the accuracy of magnitude determination,  $T$  which exists in the range from 18 to 20 sec, can be regarded as 20 sec. And, use of trace amplitude in the magnitude determination is more convenient than that of ground motion.

After all, the above formula is transformed as follows

$$MS_{MAT} = \log A'z + 1.33 \log \Delta + 2.03,$$

where  $A'z$  is trace amplitude (peak to peak, in millimeters) on a record of WWSSN-LPZ.

" $MS_{MAT}$ " estimated by this formula agrees well with  $MS_{GS}$ . Formulae for the other types of seismograph are also developed. For example, the formula for Benioff-LPZ is as follows;

$$MS_{MAT} = \log A'z + 1.33 \log \Delta + 3.24.$$

#### § 1. はじめに

遠地地震のマグニチュードを、一か所の観測値だけから、精度よく定めることは一般に困難である。しかし、速報上の必要から、松代だけの資料にもとずいて、遠地地震のマグニチュードを推定しなくてはならないことも多い。そのためには、できるだけ簡単な方法で、しかも比較的精度の高いものを求める実際的な方法が必要である。

Gutenberg (1945) は、表面波の振幅から浅い遠地地震のマグニチュード (いわゆる  $MS$ ) を定めることを提唱した。その後、世界各地の地震観測所で、同様なもの

を求めるための方式を開発している。1967年 "IASPEI Committee on Magnitudes" は、これらを統一して次式の使用を推薦している (Bath, 1969)。

$$MS = \log\left(\frac{A}{T}\right) + 1.66 \log \Delta + 3.3 \quad (1)$$

$T$ : 表面波の周期 (sec.),  $18 \leq T \leq 22$  の波に適用。

$A$ : 上記  $T$  の範囲内の表面波の最大振幅 ( $\mu$ )。

$\Delta$ : 震央距離(度),  $20 \leq \Delta \leq 160$  に適用。

震源の深さ 50 km 以下の地震に適用。

現在(1)式が USGS を始め広く使用されている。また、最近では  $A$  として、従来使われていた水平成分の振幅にかわって、上下成分のものが用いられる傾向にある。

長宗・関(1958)は、松代で観測される周期約20秒およ

\* Received Dec. 13, 1976

\*\* 気象庁地震観測所

び30秒の Rayleigh 波の振幅と  $MS$  との関係を調べ、次式を得ている。

$$MS = \log\left(\frac{A}{T}\right) + 1.31 \log \Delta + 5.58 \quad (2-1)^*$$

$T$ : 波の周期 (sec.),  $T$  約20秒および30秒の波に適用。

$A$ : 上記  $T$  の表面波の最大振幅 (水平成分,  $\mu$ ).

$\Delta$ : 震央距離 (1,000 km 単位).

(2-1) 式は…1) 基準とした  $MS$  は BCIS 記載のもの (1954年末から約1年半の期間) によっている。すなわち、世界各地で種々の方法により定めた  $MS$  の平均値であり、現在のもとの多少違っている可能性がある。2) 振幅の測定に使った地震計 (Galitzin 式) は現在使用されていない。また、現用の地震計と特性が異なっている。3)  $A$  は水平両成分の合成値が用いられているが、読み取りの際、両成分の対応がむずかしく、最大水平動の検出が困難なことが少なくない。上下成分の場合は一成分の測定だけでよく、最大動の検出も容易である。これらのことを考慮して、表面波の上下成分の振幅を用い、現在 USGS で発表している  $MS$  と同等なものを得るための式を求めた。

## § 2. 資料について

1) 基準とする  $MS$  として、USGS の報告\*\* しているもの (以下  $MS_{GS}$ ) を用いた。1973年1月から75年4月までの期間に発生し、3か所以上の観測値にもとずいて  $MS_{GS}$  が決められている313個の地震 (震源の深さ 50 km 以下) を使用した。これらの  $MS_{GS}$  は、(1) 式の  $A$  に、各地の水平動振幅をいれて算出されたものである。表面波の振幅が発震機構や波の伝播経路によって、著しく影響されることはよく知られている。したがって、いろいろな方位、距離等について別々に調べることが望ましい。しかし、資料の数もあまり多くないので、一応すべてを一緒にして取扱うこととしたが、あとで述べるように、このことが結果に大きな影響を与えているとは思われない。この調査で使用した地震の規模別、震央距離別の分布を Fig. 1-a, b に示す。

\* その後の経験から (2-1) 式より求められる  $MS$  は USGS のものと比較して約0.2大きすぎることが判明したので、1975年4月からは、

$$MS = \log\left(\frac{A}{T}\right) + 1.31 \log \Delta + 5.38 \quad (2-2)$$

として使用している。

\*\* Preliminary Determination of Epicenter および Earthquake Data Report.

2) 周期  $20 \pm 2$  秒の範囲の表面波の上下成分の最大振幅 (以下  $A_z$ , 単位  $\mu$ , 主として Rayleigh 波と考えられる) を使用した。一般に、遠地地震の表面波では、周期20秒前後の波が卓越し、最大振幅もこの波群の中に出現することが多い。

3) 振幅の測定には、WWSSN-LPZ\* を使用したが、この地震計の記録がふり切った場合には、補助的に Benioff-LPZ を用いた。これらの地震計の特性曲線を Fig. 2 に示す。

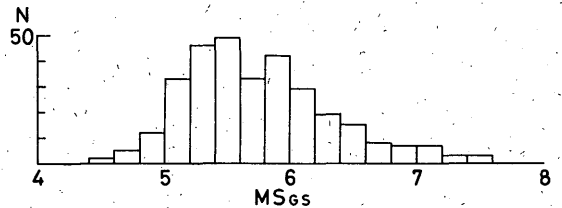


Fig. 1-a. Frequency distribution of  $MS_{GS}$  used in this study as standard.  $MS_{GS}$  indicates surface wave magnitude determined by U. S. Geological Survey.

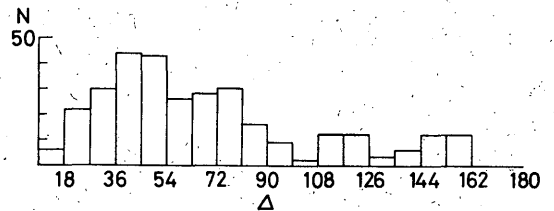


Fig. 1-b. Frequency distribution of epicentral distance ( $\Delta$ , in degrees) for earthquakes in Fig. 1-a.

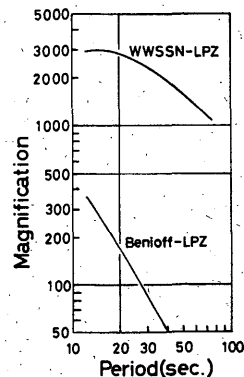


Fig. 2. Magnification curves for WWSSN-LPZ and Benioff-LPZ seismographs.

\* World-Wide Standard Seismograph Network, Long Period.

§ 3. マグニチュードを求める式

1)  $MS_{GS}$  と  $A_z$  との関係を

$$MS_{GS} = \log\left(\frac{A_z}{T}\right) + \beta \log \Delta + \gamma \quad (3)$$

であらわし、 $\beta, \gamma$  を最小二乗法によって求めると、 $\beta = 1.33, \gamma = 4.02$  となる。 $\beta$  は (2-1) 式の値とほとんど一致しているが、(1) 式のものとはかなり相違している。このことが、日本付近における表面波の伝播に関して本質的な意味を持つものか、あるいは定数間の相補性 (たとえば、早津(1955), 長宗・関(1958)等) による見掛上のものかは明らかではない。

2) Fig. 2 から、 $T: 18 \sim 22$  秒の範囲内の波に対しては、倍率を一定としてもさしつかえない程度の差であることがわかる。同様に  $T$  を一定とし、20 と置いても大きな差は生じない。これら両者の効果を総合しても結果に与える影響は、マグニチュードに換算して、 $\pm 0.03$  程度である。したがって実用上は記録紙上の最大全振幅 (以下  $A'_z$ , mm 単位) を用いるのが簡便である。このようにすると  $A'_z$  を用いて松代の  $MS$  (以下  $MS_{MAT}$ ) を定める式は、WWSSN-LPZ については、

$$MS_{MAT} = \log A'_z + 1.33 \log \Delta + 1.97 \quad (4-1)^*$$

となる。

3) (4-1) 式による  $MS_{MAT}$  と  $MS_{GS}$  とを比較したものを Fig. 3-a に示す。また、 $\Delta M (= MS_{GS} - MS_{MAT})$

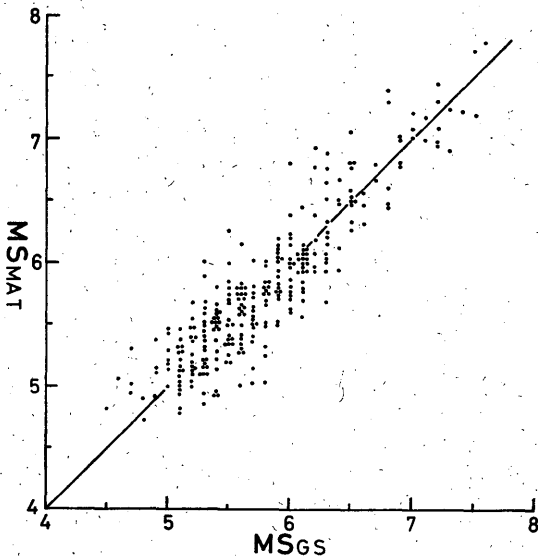


Fig. 3-a. Comparison of  $MS_{GS}$  and  $MS_{MAT}$ .  $MS_{MAT}$  is computed from formula (4-1).

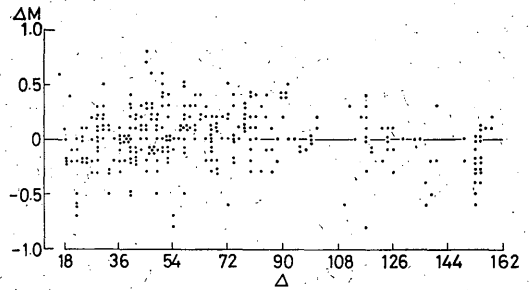


Fig. 3-b. Relation between  $\Delta M (MS_{GS} - MS_{MAT})$  and epicentral distance.

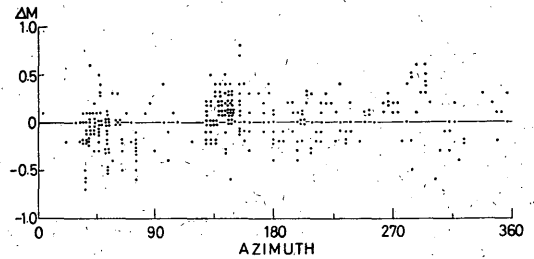


Fig. 3-c. Relation between  $\Delta M$  and azimuth.

と震央距離との関係を Fig. 3-b に、震央方位との関係を Fig. 3-c に示す。これらから、(4-1) 式による  $MS_{MAT}$  が  $MS_{GS}$  に対して、距離・方位・規模等に関して顕著な系統的な差を示さないことがわかる。

§ 4. 表面波の水平動振幅と上下動振幅

1) USGS では1975年5月以降、(1) 式の  $A$  に上下成分の振幅を適用して  $MS_{GS}$  を定めている。Rayleigh 波の場合、理論的には、上下動振幅は水平動振幅に比べかなり大きくなるのが知られている (Poisson 比  $\sigma: 1/4$  で約 1.5 倍、 $\sigma: 1/2$  で約 1.8 倍)。したがって、この影響について調べておく必要がある。

2) USGS の EDR に報じられている世界各地の観測所の上下動振幅と水平動振幅を比較してみると、Fig. 4 に示すように、その関係は大きくばらつくが、平均して上下動の方が、1.1~1.2 倍大きくなっている。松代の観測値についてもほぼ同様に平均 1.15 になる。したがって、(1) 式の  $A$  に上下動振幅をそのまま適用した場合には、 $\log 1.15 \approx 0.06$  だけ大きくなることになる。すなわち、(4-1) 式で基準としている  $MS_{GS}$  が、今後違ってくる可能性がある。実用的には無視できるオーダーではあるが、このことを考慮すると (4-1) 式は、

\* 他の地震計を使用した場合は § 5 参照

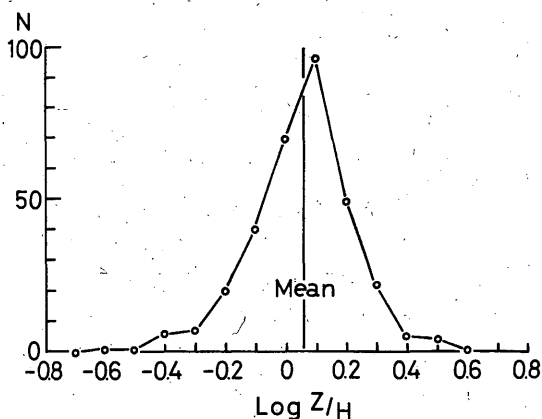


Fig. 4. Frequency distribution of  $\log Z/H$   
 $Z$ : Amplitude of vertical surface wave.  
 $H$ : Amplitude of horizontal surface wave  
 Data of amplitudes were obtained from EDR.

$$MS_{MAT} = \log A'_Z + 1.33 \log A + 2.03 \quad (4-2)$$

とするのが妥当である。

### § 5. おわりに

松代において、WWSSN-LPZ を用いて、周期約 20 秒 (18~22 秒) の表面波の最大動 (ここでは記録紙上の全振幅, mm 単位) を用いて遠地震の  $MS_{MAT}$  を求める式として、(4-2) 式を提唱する。この式は、 $MS_{GS}$  と同

等な  $MS_{MAT}$  を求めることを目的としているが、両者の対応はかなり良い。この式は上下動成分だけを使用していること、記録紙上の全振幅を用いていること等により、測定・計算等が簡単である。

実用上の便のため、他の地震計を用いた場合の式を記すと、各々次のようになる (すべて記録紙上の全振幅, mm)。

Benioff-LPZ 地震計では、

$$MS_{MAT} = \log A'_Z + 1.33 \log A + 3.24. \quad (4-3)$$

磁気テープ記録式長周期地震計のモニター高感度 (周期 20 秒で 220 倍) では、

$$MS_{MAT} = \log A'_Z + 1.33 \log A + 3.14. \quad (4-4)$$

モニター低感度 (周期 20 秒で 20.6 倍) では、

$$MS_{MAT} = \log A'_Z + 1.33 \log A + 4.17. \quad (4-5)$$

この調査にあたり、有益な御助言を載いた気象研究所長宗留男氏、計算を援助して載いた地震課山本雅博氏に厚くお礼申し上げます。

### 参考文献

- Båth, M. (Editor) (1969): Handbook on Earthquake magnitude Determinations, Second Revised Edition: September, 1968, Seismological Institute Uppsala, Sweden, p. 158.
- 長宗留男, 関 彰 (1958): 松代において遠地震の Magnitude を求める式および Magnitude と Energy との関係, 地震, II, 10, 79~85.