

気象庁76型地震計によるマグニチュードの決定*

竹内 新**

Magnitude Determination of small shallow Earthquakes with JMA Electromagnetic Seismograph Model 76

Hajime Takeuchi

(Earthquake Prediction Information Division, J. M. A.)

The magnitudes for shallow earthquakes have been calculated by the Tsuboi's formula by use of the ground displacement amplitudes observed with seismographs with periods of approximately 5 seconds. For small shallow earthquakes, however, the following formula is also applied to the data of the electromagnetic seismographs model 67.

$$M = \log A + 1.64 \log \Delta + 0.22$$

where A and Δ are the maximum velocity amplitude of vertical component in milli-kine (10^{-5} m/s) and the epicentral distance in km, respectively.

Recently, the electromagnetic seismographs model 76 of higher sensitivity than the model 67, were installed at 20 stations in Japan in order to observe small or micro earthquakes.

In this paper, it is demonstrated that the third term of the right-hand side of the above equation should be read as 0.44 for the data obtained with the seismographs Model 76.

This might be because of the location of the sensor, that is, it is installed in the deep and stable basement.

§1 はじめに

従来気象庁では、深さ60kmよりも浅い地震のマグニチュード(M)は、坪井の式

$$M = \log A + 1.73 \log \Delta - 0.83 \quad \dots\dots\dots (1)$$

によって求めている。ここでAは、一倍強震計、59型電磁地震計等、固有周期5~6秒の変位地震計の水平動の合成最大振幅(μm)、 Δ は震央距離(km)である。

一方、昭和51年(1976年)に67型磁気テープ記録式地震計(67型地震計)による観測網の整備が完了したことにより、震源要素が求められる地震数が倍増した。しかし67型地震計は、速度振幅になっているので、(1)式をそのまま適用するわけにはいかない。したがってMの決定できないものが、これらの約半数近くのもの、地震活動の監視のためにも67型地震計のデータによるMの決定が必要となった。そこで67型地震計(標準倍率1000倍)の最大速度振幅を使って、神林ら(1977)は、従来とほぼ同等のMを与える式として、

$$M = \log A + 1.64 \log \Delta + 0.22 \quad \dots\dots\dots (2)$$

を求めた。ここでAは67型地震計の上下動の最大速度振幅(milli-kine, 10^{-5} m/s)、 Δ は震央距離(km)である。それ以来(2)式と(1)式によって、現在までMの決定が行われている。

昭和53年(1978年)8月には、さらに高倍率(標準倍率1万倍)の76型磁気テープ記録式地震計(76型地震計)の整備が完了した。76型地震計は、従来の67型地震計と同じ周期特性を持つ速度型地震計なので(Fig. 1)、Mの計算に(2)式を適用していた。しかし、この式をそのまま適用することには問題があるので、1981年1年間分のデータについて検証してみた。その結果、76型地震計の速度振幅から(2)式を使って求めたMは、それまでの59型地震計や67型地震計等を使って求めたMよりも、系統的に0.2程度小さくなっていることがわかった(Fig. 2)。

そこで、ここでは76型地震計によるMを与える式として、(2)式右辺第3項を0.44とすることを提案する。

* Received Feb. 17, 1983

** 気象庁地震予知情報課, 現大阪管区気象台

§2 方法と結果

Mを与える式は、従来どおり

$$M = \log A + \alpha \log \Delta + \gamma$$

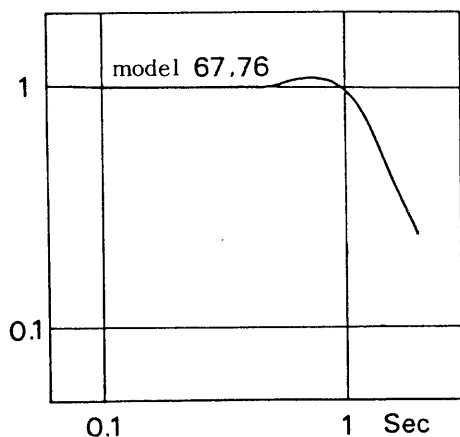


Fig. 1 Response curve of the seismographs model 67 and model 76. (relative sensitivity)

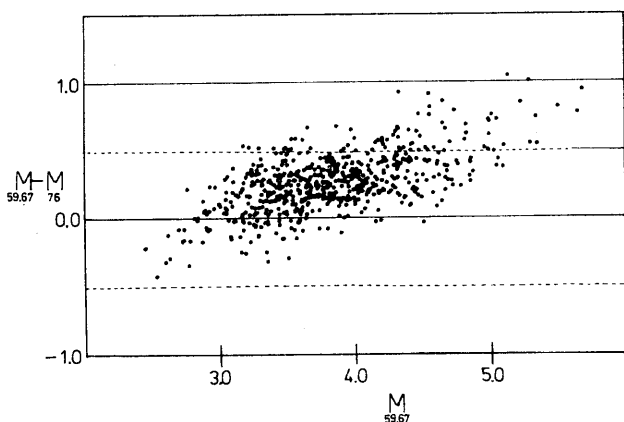


Fig. 2 Difference between magnitudes determined by formulae(1) and(2) from seismographs model 59 and model 67 ($M_{59.67}$) and those determined by the formula(2) from model 67 (M_{76}).

とし、係数 α , γ を決定する。資料は1981年の地震月報に記載された地震のうち、59型地震計、61型地震計または1倍強震計による振幅データが3個以上あり、しかもMの分散が0.35以下に決まるものに限った。またこの際、合わせて67型についても係数を求めた。両地震計ともに、比較的Mの小さな地震を対象とするので、その部分で最もよく従来の方法によるMに一致するような式を求める必要がある。ここでは、使用する

データのMに上限を設定し、その上限の値をいくつか変化させて、それぞれの場合について α , γ を求めてみた。その結果を Fig.3 に示した。

Fig.3 (a)はMの上限値を5.0, (b)は4.0, (c)は3.8にそれぞれ設定したものであり、67, 76は各々の地震計について(M-logA)とlogΔとの関係を示してある。従来の変位型の地震計は、67型、76型地震計に比べて低倍率なので、Mの上限値を小さくするにつれ、急速にデータ数が減じているのがわかる。また67型、76型地震計は、Mが少し大きくなるとΔの小さい所では振り切れやすい。従ってMの上限値が大きいものでは、Δの大きい地点のデータの重みが増すことになる。実線で示したのが最小自乗法で求めた両者の関係で、Mの上限値が小さくなるにつれ、67型、76型地震計ともに傾きが小さくなっている。各々の係数はTable 1に示したとおりである。

Tab.1 List of coefficients α and γ in the formula

$$M = \log A + \alpha \log \Delta + \gamma$$

Mの上限	76型地震計		67型地震計	
	α	γ	α	γ
M < 5.5	—	—	1.87	-0.21
M < 5.0	2.03	-0.39	1.79	-0.04
M < 4.5	1.95	-0.21	1.70	-0.15
M < 4.0	1.76	0.20	1.43	-0.64
M < 3.8	1.65	0.43	—	—
M < 3.6	1.46	0.80	—	—

Fig.4は、これらの係数を図示したものである。図からわかるように、 α が大きく(小さく)なると、 γ が小さく(大きく)なり、 α と γ は1次式で近似されるような関係になる。このことは、坪井(1957)以来指摘されていたことで、この直線関係の存在は、安芸(1961)、宇津(1964)によって、確率論的に偶然のものとして説明されている。図中*印で示してあるのが、現行の係数(2式)であり、67型地震計に関して求められた直線にはほぼ乗っている。

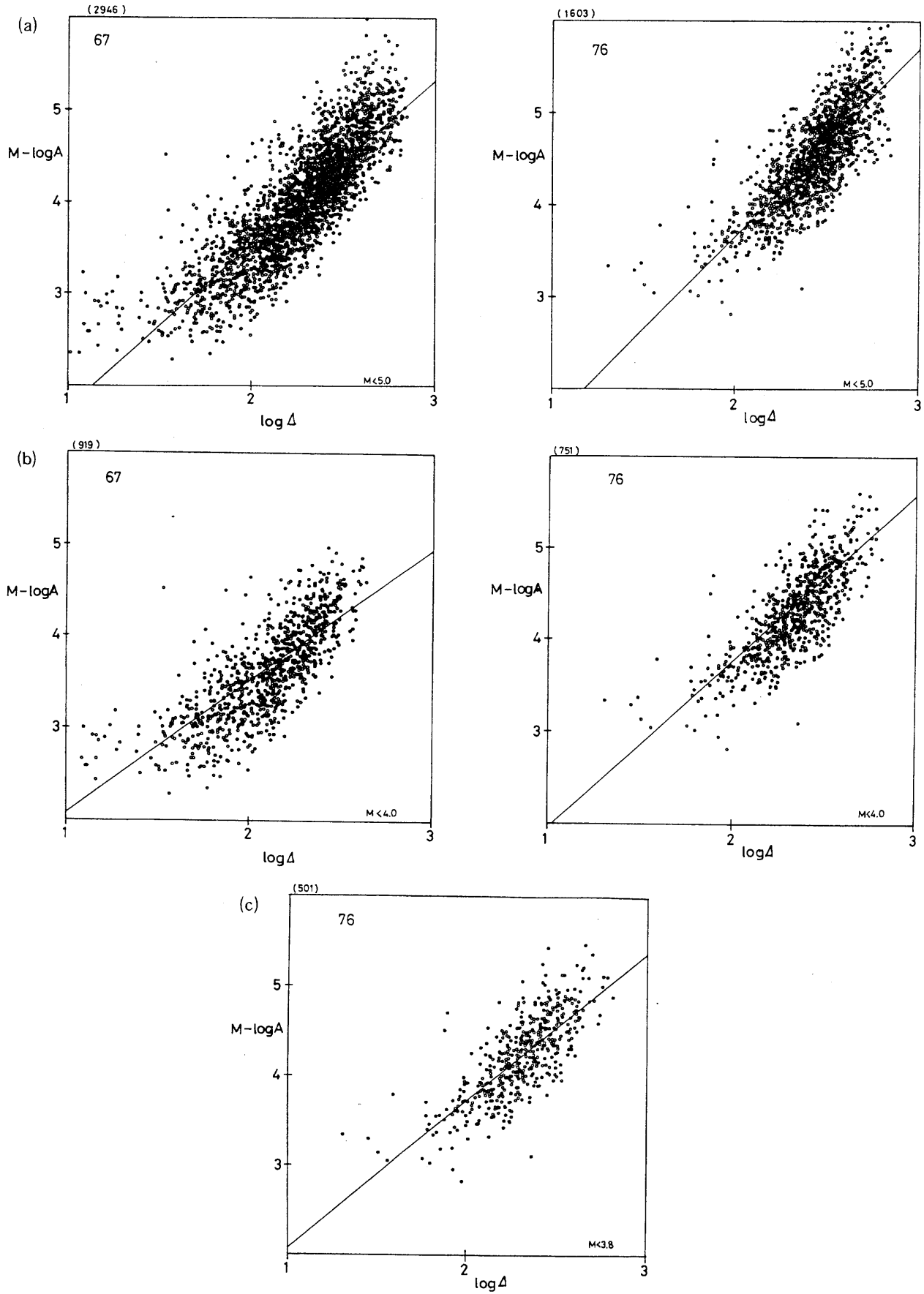


Fig. 3 Relationship between $(M - \log A)$ and $\log \Delta$

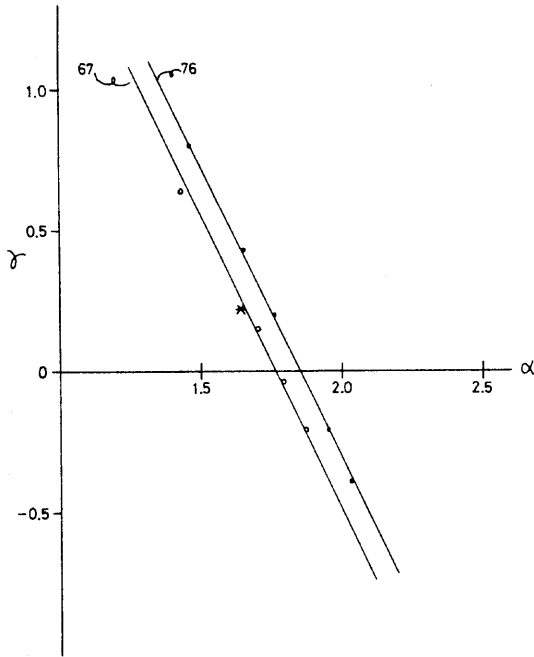


Fig. 4 Relationship between α and γ in the formula $M = \log A + \alpha \log \Delta + \gamma$

Fig. 5は76型地震計について得られた式より求めたMと、(1)式によるMを比較したもので、使用したMの上限をいくつか変化させて設定した場合について、それぞれ示してある。(a)はMの上限を5.0、(b)は3.8に設定した場合である。全体的に、系統的に右上りの傾向を示しているが、前にも述べたように、76型地震計によるデータが気象庁で求めるMの値に寄与するのは、特に小さい地震についてである。(M5.5以上の地震のMの決定には59型、強震計等による変位振幅だけが使用されている。それ以下の地震についても、比較的Mの大きい場合には変位振幅のデータの占める割合が大きくなる)したがって、Mの小さい部分で従来のMと良く一致するような式を採用するのが適切である。このためには、図からわかるように α 、 γ を求めるために使用した「Mの上限」が小さい場合が良いことになる。例えば、「Mの上限」が3.8として求められたFig. 5-(b)式は

$$M = \log A + 1.65 \log \Delta + 0.43 \quad \dots\dots (3)$$

である。この式と67型に対する現行の(2)式とを比べると、 α で0.01、 γ で0.21の差である。すなわち(3)式によって求められるMの値は、(2)式から求められる値に0.2を補正したものとほとんど同じになる。

76型地震計によるデータに適用する式として、(3)式を採用するのも1つの方法であるが、(3)式における $\log \Delta$ の係数と常数項の値は、Fig. 4の関係を満足し

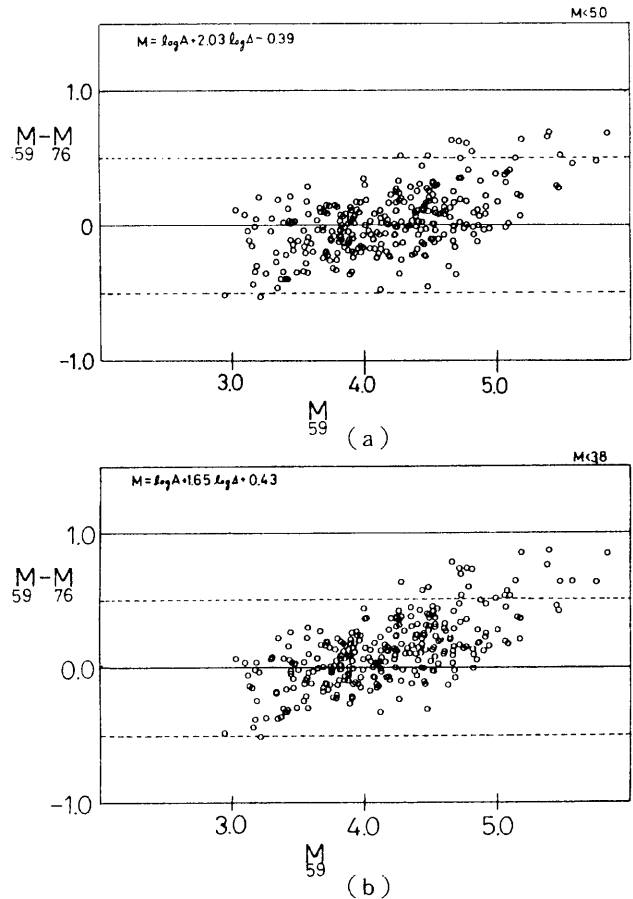


Fig. 5 Comparison of magnitudes determined by the Tsuboi's formula (M59) and those by the new formula for 76 type (M76)

ていれば、多少数値が変わっても(あまり大きな変化でない限り)、ほとんど同じ結果になると考えられる。そこで、現在同じ周期特性を持つ67型地震計に対しては、(2)式が適用されているので、76型地震計に対しても $\log \Delta$ の係数は、(2)式と同じ値を採用することにする。Fig. 4の76型地震計に対する α と γ の関係から、 $\alpha = 1.64$ に対する γ を求めると0.44になるので、ここでは次式を採用することにする。すなわち

$$M = \log A + 1.64 \log \Delta + 0.44 \quad \dots\dots (4)$$

1979～1981年までの地震について、従来の地震月報記載のMと、(3)式を使って再計算した結果を比較したものがFig. 6である。Mが4程度までは、ほぼ現行のものと同じだが、それ以下の部分では0.1強現行のものが小さく決められていたことがわかる。

§ 3 まとめ

現在小さい地震については、67型地震計によるデータから、Mを計算するための式(2)がすでに求められている。76型地震計の標準倍率は、67型地震計のそれよ

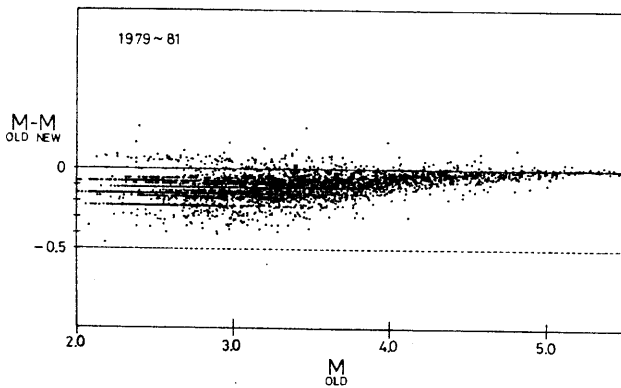


Fig. 6 Comparison of magnitudes determined by the old formula and the new formula for model 76.

りおよそ1桁大きくなっているが、周期特性は両者同じになるよう設計されている。76型地震計に対しても(2)式が適用できるはずであるが、実際には76型地震計の資料から(2)式によって求められたMは、0.2程度小さくなっていることがわかった。このことは、76型地震計による振幅は、平均的に63%(4dB)へと小さくなっていることを意味している。これは67型地震計が、原則的に気象官署に設置され、地上型が多いのに対し、76型地震計は極力ノイズレベルの低い場所を選び、変換器も地中100メートル前後の安定した基盤に埋設されているためだと思われる。

76型地震計は、全国で20地点と設置数は少ないが、

小地震のMの決定には大きく寄与する。このため76型地震計についても、(1)式より求めた従来のMと良く一致する式を用いるのが望ましい。今回1981年のデータを使って、76型についての式をいくつか求めた。67型地震計に対する式をも考慮し(4)式を採用することが望ましいと考える。

謝辞

この報告をまとめるにあたり、御指導いただいた地震予知情報課長長宗留男博士、また終始、御助言、御援助いただいた地震予知情報課データ処理係長山本雅博氏に感謝致します。

参考文献

- 安芸敬一(1961) : 最小自乗法によって決めた係数相互の関係について, 地震2, 14, 199-201
- 宇津徳治(1964) : マグニチュードの計算式 $M = \log A + \alpha \log d + \gamma$ における α と γ の間の関係について, 地震2, 17, 236-238
- 神林幸夫, 市川政治(1977) : 気象庁67型地震計記録による近地浅発地震の規模決定について, 験震時報41, 57-61
- 坪井忠二(1957) : 地震のマグニチュードMについて, 地震2, 10, 6-23
- 吉田弘(1972) : 磁気テープ記録式電磁地震計による地震のマグニチュードの決定, 験震時報37, 49-54