

日本の各地震観測点における地震の規模 M の系統的な偏差について*

市川政治**

550.341

Regional Corrections of Earthquake Magnitude for every Station in Japan

M. Ichikawa

(Seismological Section, J.M.A.)

In order to increase the accuracy of earthquake magnitude determinations based on Tsuboi's

$$M = 1.73 \log \Delta + \log A - 0.83,$$

formula the author calculated the regional corrections for every station in Japan from the shallow earthquakes which occurred in and near Japan during the period 1941~1956, and compared them with other corrections determined by various authors (cf. Tab. 1).

Applying the corrections to practical determination of magnitude a more accurate magnitude determination is possible (cf. Tab. 3).

§ 1.

地震計に記録される最大振幅はいろいろな要素の影響を受けているので、これから地震の規模 M を算出すると、その値は観測所間で相当の違いを示すのが常である。このばらつきには偶然的なものほかに地下構造などの影響による系統的なものが含まれているだろうから、各所の観測結果に適当な補正をほどこすことにより、そのばらつきを小さくすることができるはずである。この目的で、これまでに各地の地盤係数が三、四種求められている。

この地盤係数は規模 M を算出する標準式が、いかなる地盤の所の値によって決められたかによって、違ってくるはずである。気象庁では 1957 年から浅発地震の規模 M を 1954 年の坪井の式で決めているが、この式は比較的地盤の悪いといわれている東京など 6 か所の観測値を用いグーテンベルグ発表の M によく合うように決められた式であるので、これを日本の他の測候所に適用した場合、求められた M に系統的なずれが存在するかどうか、1941 年から 1956 年までに日本付近に起った 60km 以浅、小区域以上の地震について調査した。

§ 2.

ある地震のリヒター・グーテンベルグの規模 M が、 Δ を震央距離、 A を最大振幅とすると

* Received Jan. 20, 1958.

** 気象庁地震課

$$M = \alpha \log \Delta + \log A + \gamma \quad (1)$$

で与えられるとすると、これは

$$A = 10^{M - \gamma} \Delta^{-\alpha} \quad (2)$$

と書き直せる。

いま、ある観測所ではその付近の地下構造や地盤が標準値からずれていて、(2) 式中の α, γ がそれぞれ α', γ' であるとする、同規模の地震を等震央距離、同性能の地震計で観測するとき、その振幅 A' は

$$A' = 10^{M - \gamma'} \Delta^{-\alpha'} \quad (3)$$

となる。そこでこれら二観測所での振幅の比 k 、すなわち、地盤係数は (2), (3) から

$$k = \frac{A}{A'} = 10^{-\gamma + \gamma'} \Delta^{-\alpha + \alpha'} = 10^{\delta\gamma} \Delta^{\delta\alpha} \quad (4)$$

で与えられ、また、後者の値を標準式 (2) に代入して M を求めることによって生ずる M の偏差 δM は (1), (2), (3) から

$$\delta M = M' - M = \delta\gamma + \delta\alpha \log \Delta \quad (5)$$

となる。したがって地盤係数とこの規模の偏差との関係は (4), (5) から

$$\delta M = \log k \quad (6)$$

で与えられる。

(1) のかわりに

$$M = \alpha \log \Delta + \beta \log A + \gamma \quad (1)'$$

を考えると (3), (5) に対応する式は

$$k = \Delta^{-\frac{\gamma}{\beta} + \frac{\gamma'}{\beta'}} 10^{\frac{M - \alpha}{\beta} - \frac{M - \alpha'}{\beta'}} \quad (4)'$$

$$\delta M = \delta\alpha \log \Delta + \delta\beta \log A + \delta\gamma \quad (5)'$$

となり、 $\delta M = \log k$ が導ける。

実際に求められる δM は上の値のほかにも $N(0, \sigma^2)$ に従う x_i なるふらつきが加わり

$$\log k = \delta M_i = \delta\alpha \log \Delta + \delta\gamma + x_i \quad (7)$$

となる。

そこで、ある所の規模 M_i と各所の規模の平均値 \bar{M} との差 $\delta M_i = \bar{M} - M_i$ は (7) に相当するものであるから、多くの地震についてこれを求めることにより、各観測所の M の標準からの系統的なずれがどのくらいであるか推定できるはずである。ただ、 $\delta\alpha$ が 0 でない場合は (7) 式から、 δM は震央距離によって変るからこの点に注意すべきである。さいわい、地震課では 1926 年から 1956 年までに日本付近に起った 60km 以内、小区域以上の地震の規模を決めた。^{*} この作業は

* 地震月報別冊として出版予定。

震央距離 100~500km くらいのあいだに存在する測候所のうち地盤係数 1 (地震観測法記載の値)¹⁾ に近いところ 5 か所の資料を 1954 年の坪井の式²⁾

$$M = \log A + 1.73 \log \Delta - 0.83 \quad (8)$$

に代入しそれぞれの M を求め、それらの平均値を地震の規模とする方針で行われた。しかし、実際には上記の条件を満たす資料を 5 つ選びだすことは、 M を決めるべき地震の大部分が小区域~やや顕著程度のものであったので、多くの場合困難で一特に地盤係数を考慮することが一このため全国の測候所の資料が大かれ少なかれ用いられた。また、その組合せもいろいろであった。このときの資料のうち、1941 年以降 1956 年までのもの* から 5 か所の平均値 \bar{M} と各所の M_i との差 $\delta M_i = \bar{M} - M_i$ を求め、各測候所ごとにそのひん度分布を作ってみた。これらのうち、若干の例を Fig. 1 に示す。ただこの場合、資料の関係から Δ と δM との関係調べるまでには至らなかった。

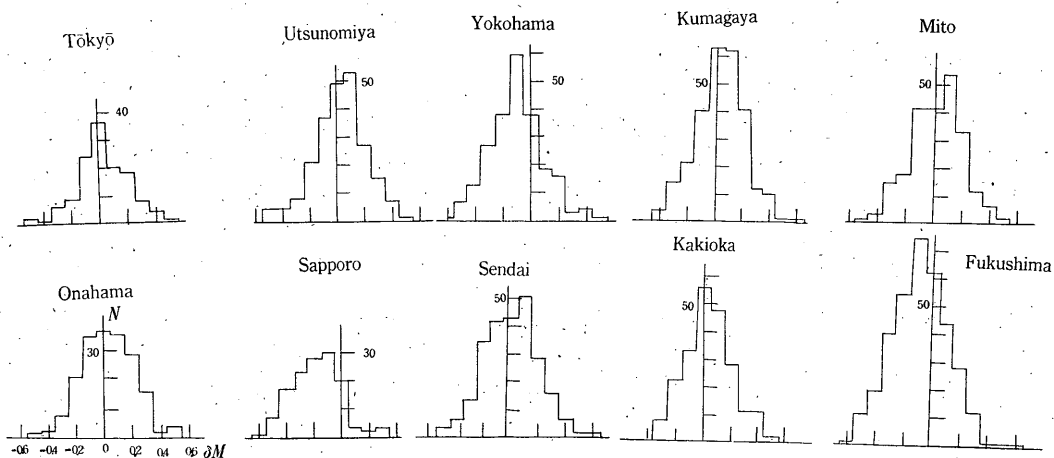


Fig. 1. Frequency distribution of δM

この結果から各所の δM の平均 $\bar{\delta M}$ を計算し、資料数 20 以上の観測所に対し $\bar{\delta M} = 0$ という仮説のもとに t 分布による検定をおこない、危険率 5% でこの仮説の棄却できる $\bar{\delta M}$ には*印を付しておいた。また、これらの各値に対しては信頼度 95% の信頼区間を計算してある (Tab. 1 参照)。

§ 3.

さて、これら $\bar{\delta M}$ は (9) の平均値

* 用いた地震は $M < 5$ のもの 608 個, $5 \leq M < 6$ のもの 591 個, $6 \leq M < 7$ のもの 115 個, $M \geq 7$ のもの 4 個, 計 1318 個である。

Tab. 1. Comparison of δM calculated by the present author and various authors. k_1 : Hata's ground factor, k_2 : Katsumata's one, k_3 : Kawasumi's one, k_4 : ground factor of J. M. A. N : Number of earthquake $\pm \varepsilon_{0.05}$: error with 95% confidence

* indicates that difference is significantly different from zero

 δM_{200} , δM_{400} and δM_{600} are corrections of epicentral distance at 200km, 400km and 600km calculated from the results of Hayatsu and of Tsuboi respectively.

Station	N	$\delta M =$ $\log k$	$\pm \varepsilon_{0.05}$	$\log k_1$	$\log k_2$	$\log k_3$	$\log k_4$	Hayatsu			Tsuboi			
								δM_{200}	δM_{400}	δM_{600}	δM_{200}	δM_{400}	δM_{600}	
Abashiri	13	0.07	0.12			0.15								
Aikawa	3	0.40			0.49	0.30	0.26							
Ajiro	6	0.03												
Akita	86	0.00	0.01	-0.20	-0.10	-0.08	-0.10							
Aomori	93	-0.17*	0.04	-0.30	-0.52	-0.30	-0.21	-0.43	-0.41	-0.40				
Asahikawa	12	-0.11	0.11	0.15	-0.31	-0.15		0.02	-0.04	-0.08				
Aso-san	5	0.32			-0.31		-0.10							
Chichibu	3	0.03			0.18	0.30								
Choshi	13	0.12	0.11	0.05	0.34	0.15	0.28							
Fukushima	250	-0.09*	0.03	0.52	0.20	0.00	0.00							
Fukui	13	0.03	0.09	-0.18	0.00	0.05								
Fukuoka	48	0.12*	0.06	-0.28	-0.05	-0.08	0.00	0.11	0.03	-0.02	0.06	0.01	-0.06	
Funatsu	118	0.01	0.03		-0.30	-0.15	0.04							
Gifu	17	0.15*	0.09	-0.15	0.08	0.15	0.21							
Hachinohe	96	0.22*	0.04	-0.11	0.36	0.40	0.36							
Hamamatsu	8	-0.15			-0.10	0.00	0.00	-0.12	-0.04	0.02				
Hakodate	31	-0.02	0.07	-0.54		-0.36	-0.29	-0.36	-0.40	-0.43				
Hamada	33	0.15	0.08	0.05	0.40	0.10	0.08	0.48	0.24	0.08				
Hikone	111	-0.09*	0.05	-0.11	-0.22	-0.04	0.08	-0.05	-0.02	0.00				
Himeji	4	0.03												
Hiroshima	14	0.18	0.11	0.05	0.45	0.22	0.23	0.46	0.37	0.33				
Ibukiyama	5	0.12		0.10	0.20									
Iida	20	0.15*	0.07	0.05	-0.15	0.00	0.08							
Inawashiro	27	-0.25*	0.08		-0.05	0.05								
Ishinomaki	32	0.17*	0.07		0.38	0.10	0.00							
Ito	9	-0.07	0.13		0.14	0.15								
Izuhara	3	-0.07				0.40								
Kagoshima	51	-0.13*	0.05		-0.40	0.20	0.00	-0.09	-0.12	-0.14				
Kakioka	224	0.04*	0.02	0.15	0.15	0.05	0.08							
Kameyama	82	0.06*	0.04	-0.15	-0.15		0.00							
Kanazawa	9	-0.02	0.17		-0.15	-0.30	-0.10							
Kashiwa	4	0.10												
Kobe	85	0.09*	0.05	-0.23	0.00	0.10	0.18				0.06	0.14	0.19	
Kochi	68	0.17*	0.05	-0.38	0.36	0.05	0.00							
Kofu	90	-0.14*	0.05	-0.28	-0.40	-0.30	-0.04							
Kumagaya	266	0.03*	0.02	-0.40	-0.15	-0.11	0.00							
Kumamoto	71	-0.04	0.06	-0.30	-0.22	-0.08	0.00	-0.12	-0.04	0.02				
Kushiro	70	-0.09*	0.05			0.10	0.08							
Kyoto	12	-0.08	0.18	0.10	0.11	0.15	0.34							
Maebashi	145	0.12*	0.03	-0.40	0.08		0.08	-0.18	-0.12	-0.09				
Maizuru	3	0.10				0.15								
Matsue	4	0.05				0.22								
Matsuyama	47	0.05	0.06	-0.38	0.15	0.15	0.12	0.20	0.14	0.11				
Matsumoto	111	0.07	0.09	0.22	-0.10	0.05	0.00	-0.34	-0.26	-0.22				
Mishima	97	0.06*	0.04	-0.08	-0.10	-0.08	0.04	-0.38	-0.13	0.04				

Station	N	$\delta M = \log k$	$\pm \epsilon_{0.05}$	$\log k_1$	$\log k_2$	$\log k_3$	$\log k_4$	Hayatsu			Tsuboi		
								δM_{200}	δM_{400}	δM_{600}	δM_{200}	δM_{400}	δM_{600}
Mizusawa	167	-0.07*	0.03			-0.08		-0.40	-0.35	-0.32			
Miyazaki	48	0.02	0.03	-0.04	-0.15	-0.04	0.15						
Mito	223	0.03*	0.02	-0.32	-0.05	-0.18	-0.15						
Miyako	80	0.25*	0.08	0.00	0.52	0.30	0.30	0.36	0.22	0.14			
Mori	73	-0.02	0.05	-0.22	-0.15	-0.18	0.00						
Morioka	146	-0.06*	0.03	-0.40	0.26	0.22	0.20	0.13	0.14	0.15			
Muroran	13	0.12	0.13			0.15	0.20						
Muroto	10	0.00	0.00	-0.23	0.48	0.22	0.20	0.50	0.26	0.12			
Nagano	42	-0.13*	0.05	-0.20	-0.15	0.00	0.00						
Nagoya	101	-0.03	0.05	-0.32	-0.30	-0.15	-0.10				-0.35	-0.12	0.01
Nagasaki	16	0.16	0.13			0.15	0.15	0.35	0.33	0.32			
Nagatsuro	1	-0.20											
Nara	7	-0.30											
Nemuro	27	0.24*	0.01	-0.04	0.54	0.30	0.32	0.33	0.20	0.13			
Niigata	32	-0.14*	0.08	-0.38	-0.30	-0.20	-0.15	-0.59	-0.56	-0.53			
Obihiro	37	-0.17*	0.10			-0.58	-0.30						
Onahama	200	-0.03*	0.03		-0.10	-0.15	-0.15						
Oiwake	23	-0.10*	0.09		-0.22		0.11						
Oita	33	-0.22*	0.06	-0.54	-0.30	-0.30	-0.15	0.13	-0.20	-0.40			
Okayama	21	-0.21*	0.08	-0.04	-0.05	0.22	0.18						
Omaezaki	10	0.02	0.15	-0.63	-0.30	-0.26	-0.15						
Osaka	83	-0.23*	0.02	-0.49	-0.40	-0.20	-0.10						
Oshima	32	0.00	0.08	-0.08	0.18	0.10	0.34						
Owashi	11	0.30*	0.15		0.45	0.30	0.34						
Saga	15	-0.25*	0.09		-0.70	-0.62	-0.22						
Saigo	7	0.06									-0.20	-0.12	-0.07
Sakata	25	-0.24*	0.09	-0.04	-0.52	-0.32	-0.15	-0.36	-0.16	-0.04	0.17	0.01	-0.08
Sapporo	135	-0.19*	0.03	-0.32	0.04	0.05	0.08	0.04	-0.13	-0.23			
Sendai	243	0.01	0.03	-0.11	0.11	0.00	0.00						
Shimonoseki	3	0.07		-0.04				0.23	0.28	0.31			
Shionomisaki	10	0.02	0.16	-0.20	0.32	0.30	0.26	0.80	0.54	0.37			
Shimizu	20	0.14*	0.10	0.05	0.48	0.30	0.32						
Shirakawa	94	0.03	0.03		0.18	0.10							
Shizuoka	30	0.07*	0.06		0.15	0.30							
Sumoto	23	0.01	0.11	-0.04	0.28	0.00	0.30						
Takada	11	-0.04		-0.04	0.08								
Tadotsu	3	0.00	0.12		-0.05	0.00	0.00						
Takamatsu	74	-0.11*	0.05		-0.10	-0.18	0.00						
Takayama	6	-0.14		-0.52	0.28	0.30	0.20						
Tokyo	130	0.00	0.03	-0.51	-0.22	-0.15	-0.15	-0.20	-0.25	-0.28	-0.06	-0.12	-0.16
Tokushima	92	-0.09*	0.05	-0.11		-0.15	-0.10						
Tomakomai	18	-0.05	0.06										
Tomie	—	—			-0.36	-0.30							
Tomisaki	65	0.07*	0.04	-0.20	-0.10	-0.05	0.11						
Tottori	13	0.04	0.09										
Toyama	41	0.01	0.07		-0.05	-0.08	0.04						
Toyooka	53	0.07	0.07	-0.08	0.00	0.10	0.08	-0.17	0.04	0.15			
Tsu	21	-0.14*	0.08		-0.40	-0.23	-0.15						
Tsukubasan	25	0.04	0.08	-0.52	0.45	0.10	0.34	0.45	0.34	0.25			
Tsuruga	12	-0.08	0.13		-0.10	0.10	0.11						
Unzendake	13	0.08	0.13			0.10	0.00						
Urakawa	90	-0.02	0.05			-0.20	-0.15	-0.22	-0.19	-0.18			
Utsunomiya	229	0.02	0.03	-0.08	-0.05	-0.04	-0.05						
Uwajima	25	0.07	0.07		0.49	0.10	0.08						
Wakkanai	5	-0.22											
Wakayama	34	-0.06	0.06	-0.18	0.11	0.15	0.18	0.24	0.23	0.22			
Wazima	30	-0.19*	0.09	-0.28	-0.15	-0.04	0.00	-0.40	-0.20	-0.08			
Yakushima	13	0.11	0.10			0.40							
Yamagata	50	0.12*	0.05	0.15	0.20	0.05	0.00						
Yokohama	230	-0.10*	0.03	-0.41	-0.30	-0.18	0.00						
Yonago	5	0.22				0.10	-0.15						

$$\overline{\delta M} = \frac{\sum \delta M_i}{n} = \delta\alpha \left\{ \frac{\sum \log \Delta}{n} \right\} + \delta\gamma \quad (8)$$

に相当するものであるから、 $\delta\alpha$ が 0 ならば $\overline{\delta M}$ は算出に用いた地震の震央距離 Δ に無関係であるが、 $\delta\alpha \neq 0$ のときは Δ に関係する。坪井³⁾、早津⁴⁾らの研究によると、各所の α の平均値からのずれはに Tab. 2, Fig. 2* 示すようになり、一概にこれを 0 とすることには問題があるようである。

Tab. 2

Station	Tsuboi		Hayatsu		Station	Tsuboi		Hayatsu	
	$\delta\alpha$	$\delta\gamma$	$\delta\alpha$	$\delta\gamma$		$\delta\alpha$	δr	$\delta\alpha$	$\delta\alpha$
Akita	-0.25	0.63	0.90	-2.54	Nagasaki	0.75	-2.07	-0.07	0.52
Aomori			0.05	-0.54	Nagoya			-0.43	1.33
Asahikawa			-0.20	0.48	Nemuro			0.14	-0.92
Fukuoka			-0.28	0.76	Niigata			-1.08	2.62
Hakodate			-0.50	0.68	Ooita			0.26	-0.79
Hamiada	0.27	-0.56	-0.82	2.37	Sapporo	-0.51	0.35	0.47	-1.39
Hamamatsu			0.27	-0.74	Sendai	-0.86	2.77		
Hikone			0.10	-0.29	Shimizu	0.17	-0.17		
Hiroshima			-0.27	1.08	Shionomisaki	-0.18	0.37		
Kagoshima			-0.07	0.07	Tokyo	0.67	-1.71		
Kobe			0.26	-0.71	Toyooka	-0.37	1.30		
Kumamoto			-0.19	-0.62	Tsukubasan	0.06	-0.37		
Maebashi			0.24	-0.89	Urakawa	-0.01	0.26		
Matsumoto			-0.17	0.59	Wakayama	0.65	-1.88		
Matsuyama			0.84	-2.31	Wazima	-0.03	0.05		
Mishima	-0.46	1.41	Yamagata						
Miyako	0.16	-0.77							
Mizusawa	0.02	0.08							
Morioka	-0.79	0.31							
Muroto									

Tab. 3

Date	Epicenter		Depth	N	M_G	M	σ	M'	σ'
	ϕ	λ							
Feb. 14, 1956	35.7°N	136.9°E	50km	23	5 ³ / ₄ ~6	5.9	0.31	5.9	0.17
Mar. 6, 1956	44.3	144.1	20	11	6 ¹ / ₂ ~6 ³ / ₄	6.2	0.42	6.2	0.35
Jan. 30, 1956	33.7	132.3	50	6		5.0	0.30	5.0	0.23

N: number of data, M_G : Gutenberg's magnitude

M, σ : magnitude value and its standard deviation without correction in determination

M', σ' : magnitude value and its standard deviation with correction in determination

* この図から、総体的にみて震央距離が小さなおとりの資料を用いると、各所の標準式からの系統的なずれ δM は大きくなるが、300km から 1000km くらいの範囲で、各所専用の式は近寄ることがわかる。坪井の標準式ないしは早津の標準式を用いて M を決定する際にはこの点を考えるとよい。

である。

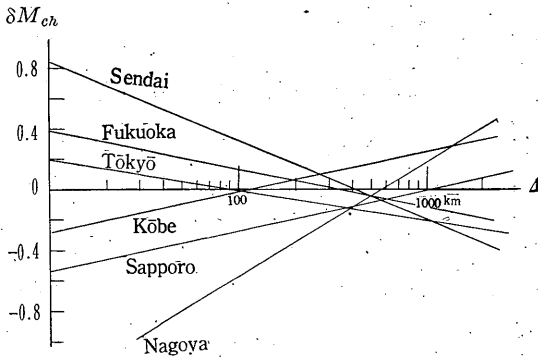


Fig. 2 (a) $\delta M_{ch} = (\alpha_i \log \Delta + \log A + \gamma_i) - (1.73 \log \Delta + \log A - 0.83)$

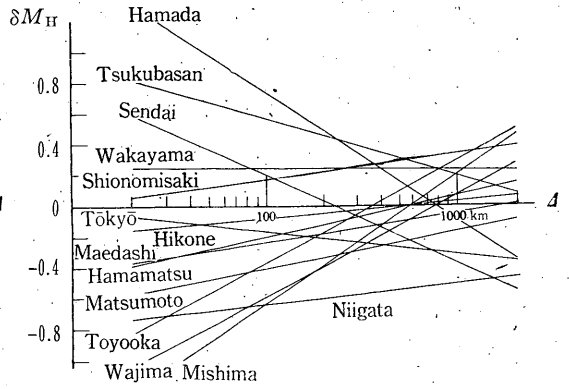


Fig. 2. (c)

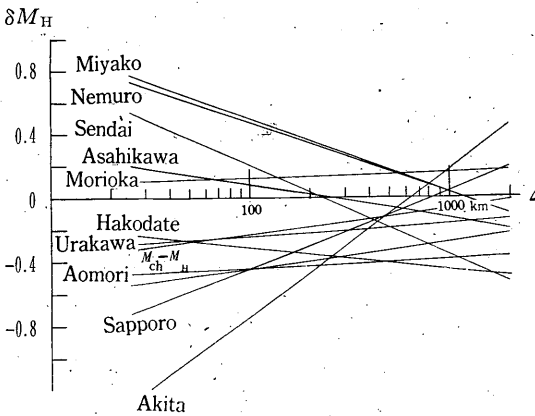


Fig. 2. (b) $\delta M_H = (\alpha_i \log \Delta + \log A + \gamma_i) - (1.57 \log \Delta + \log A - 0.28)$

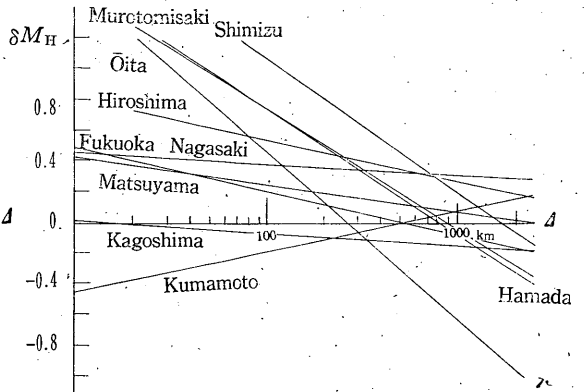


Fig. 2. (d)

ただ、Tab. 1 の $\delta \bar{M}$ は $\Delta: 100 \sim 500 \text{ km}$ 内で、特に、大部分が 200 km 前後の Δ から算出された M から求めたものであるから、この範囲の地震の M を決める際に生ずる系統的なずれであると考えればよいだろう。したがって、 $\Delta: 500 \text{ km}$ 以内の各所の観測値からある地震の M を決める際、各所の M にそれぞれの $\delta \bar{M}$ を補正してから平均すれば、ちらばりの小さな、より確かな M が求められるはずである。この観点から実際に、若干の地震についてこれらの値を考慮して M を求めてみると、Tab. 3 に示すようになりに標準誤差を小さくすることができるがわかる。しかし、 M そのものの値はほとんど変わらない。したがって、震央距離 500 km くらいまでの多くの観測所の資料から算出した M の平均値をもって、その地震の M とするような場合には、そのちらばりが多少大きくなるということに覚悟するならば、あえて系統的なずれに対する補正をしなくてもよいようである。また、(8) 式の決定にあたって、坪井博士は現在の M の精度からいって各

観測所ごとに式を区別することは当分考えないでよいらしいと述べられている⁵⁾が、上記の事柄はこれと一致する。ただ、一点ないし、二、三点の資料から M を決める際は補正をほどこすほうが無難であろう。

また、上に求めた値は $\Delta=100\sim 500\text{km}$ くらいの資料から M を求める際に適用できる値であることをふたたび記しておく。

参考までに、これまで波多⁶⁾、勝又⁷⁾、河角⁸⁾らの諸氏によって決められた地盤係数や、前記した地震観測法記載の地盤係数の常用対数 (δM に相当する) や Tab. 2 から求めた $\Delta = 200, 400, 600\text{km}$ における δM を Tab. 1 に示しておいた。これらの結果は、それら係数の求めかたはそれぞれ異なるが、大体において、同じ傾向にあることがわかる。

参 考 文 献

- 1). 中央気象台：地震観測法（昭和27（1957）年版） 3—1—3—5.
- 2). 坪井忠二：地震動の最大振幅から地震の規模 M を定めることについて，地震 II 7, No. 3 (1954), 185~193.
- 3). 同上.
- 4). 早津昭男：地震の最大振幅が距離に対して減衰する割合それと地下構造との関係，地震 II, 8, No. 2 (1955), 75~79.
- 5). 2) と同じ.
- 6). 波多正二：地震動の最大振幅と地盤との関係について，験震時報，16, No. 1 (1952), 88~94.
- 7). 勝又 護：地震動振幅の地盤係数（その一），験震時報，19, (1955), 77~80.
- 8). Hiroshi KAWASUMI: Intensity and Magnitude of Shallow Earthquakes, Série A Travaux Scientifiques, Fascicule 19 (1956), UGGI, 96~114.