関東・東海地域地殻活動観測網における振動継続時間を用いた地震マグニチュウードの決定

著者	石田 瑞穂, 立川 真理子
雑誌名	国立防災科学技術センター 研究報告
巻	27
ページ	119-131
発行年	1982-03
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00000861

国立防災科学技術センター研究報告　第27号　1982年3月

550.34.042:550.34.06

関東・東海地域地殻活動観測網における振動継続時間を用いた地震マグニチュードの決定

石田瑞穂*・立川真理子**

国立防災科学技術センター

Determination of Earthquake Magnitude from Total Duration Time of Seismic Waves in the Kanto-Tokai Observational Network of the NRCDP

By

Mizuho Ishida and Mariko Tatsukawa

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

In May 1980, twenty-six seismic stations were operating under the Kanto-Tokai observational network of the National Research Center for Disaster Prevention (NRCDP). All of the data from these stations are being telemetered to the NRCDP and have been routinely processed since 1979.

By using those data, a linear relation between logarithmic total duration time of seismic waves (F-P time) and earthquake magnitude determined by the Japan Meteorological Agency (JMA) was obtained for the eighteen stations that had been in operation since July 1979. The earthquakes analyzed are those which occurred during the period bounded by latitudes 33.7°N and 37.3°N, and longitudes 136.7°C and 141.7°E by the JMA. Their magnitude was distributed from 1.7 to 5.7 in JMA magnitude scale (M_{JMA}). JMA. Their magnitude was distributed from 1.7 to 5.7 in JMA magnitude scale (M_{JMA}).

The relations between F-P time and magnitude obtained from seismograms of different sensitivities and personal errors in reading F-P times were examined. It is concluded that the relations obtained in this study are applicable to a wide range of magnitude from 1.7 to 5.7. This method is not only simple and convenient but also very reliable for the estimation of the magnitude of local earthquakes.

* 第2研究部

** 第2研究部　地震活動研究室

The relations between magnitude and F-P time obtained in the present study have been used for the determination of F-P magnitude in the routine-base data processing at the NRCDP. Those relations will be examined also for the stations newly established since June 1980.

1. はじめに

国立防災科学技術センター（防災センター）の関東・東海地域地殻活動観測網においては，地震波形データがテレメータで当センターに集められ，それに基いて震源決定，マグニチュード決定などの定常的処理が行われている．マグニチュードの決定は，地震波の最大振幅による方法と振動継続時間（$F-P$）による方法を併行して用いている．1980年5月現在稼動している地震観測点は26点あるが，これらのうち定常的処理が開始された1979年7月

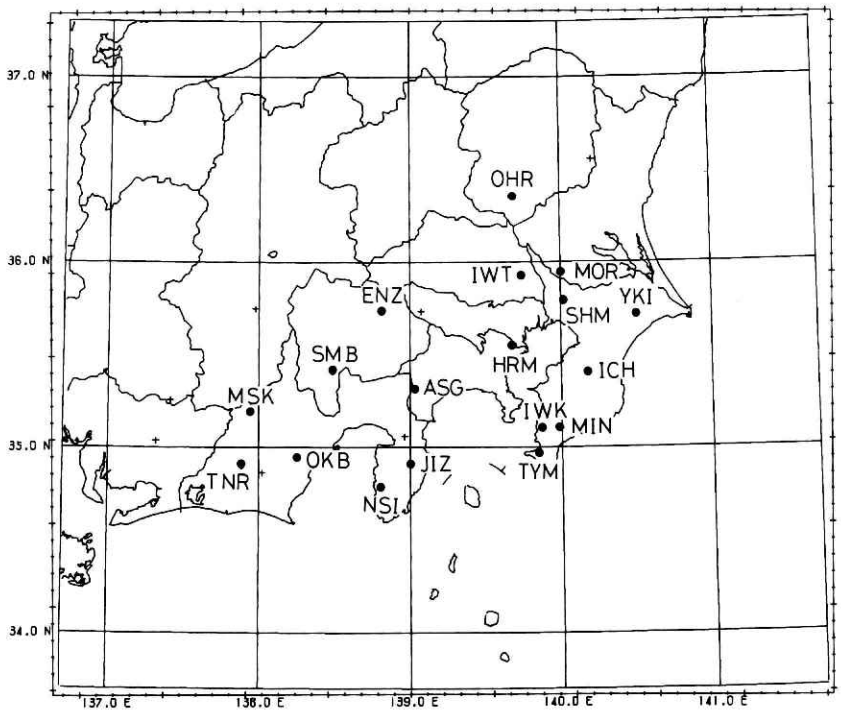

図　1　関東・東海地域地殻活動観測網の地震観測点（1980年5月）．丸印は今回解析に用いられた観測点を示す．

Fig. 1　The seismic stations of the Kanto-Tokai observational network of the National Research Center for Disater prevention (NRCDP). All the data from these stations are being telemetered to the NRCDP. The circles with three letters show the stations used in this study. The coordinates and the sensitivity and paper speed of the record of each station are shown in Table 1. The crosses show the stations that have been in operation since May 1980 and the data from those stations were not used in this study.

以来稼動している１８点（図１参照）について，$F-P$時間（地震記象上での地震動の継続時間)と，気象庁で決められた地震マグニチュード（M_{JMA}）との関係を求めたのでその報告をする．

2. $F-P$時間とマグニチュード

総振動継続時間（$F-P$時間）を用いて，浅い近地地震のマグニチュードを推定する方法は，地震記象上で波動が振り切れ最大振幅が読取れないような場合でも有効なため，古くから用いられてきた（Kawasumi，1956）．しかし，今回の報告からも解るように，$F-P$時間は，観測状況（地震計の特性，あるいは観測点での地盤の応答特性等）に大きく影響される（渡辺，1973）ため，観測点ごとにマグニチュードとの関係を求める必要がある．

一般に，$F-P$時間を使ってマグニチュードを求める式は，次の形で与えられている．

$$M_{F-P}=C_0+C_1\log(F-P)+C_2\Delta \qquad (1)$$

ここで，M_{F-P} は$F-P$を用いて決められた地震のマグニチュードである．$F-P$時間は秒，Δ（震央距離）はキロメートル単位で与えられる．C_0，C_1，C_2は観測点ごとに求められる定数である．ただし，$C_2\Delta$の項は小さいため省略される事が多い．

Tsumura（1967）は,和歌山微小地震観測所のデータを使って

$$F-P=-2.53+2.85\log(F-P)+0.0014\Delta$$

又は

$$M_{F-P}=-2.36+2.85\log(F-P) \quad (\Delta<200Km)$$

という式を得ている．又，堀（1973）は堂平微小地震観測所の，羽田・酒井（1974）は大峰観測点（北信微小地震観測所）の浅い近地地震の記録を用いて，それぞれ$F-P$時間とマグニチュードの関係を求めている．

ここでは，$F-P$時間とマグニチュードの関係式として，距離の項を省いた式

$$M_{F-P}=C_0+C_1\log(F-P) \qquad (2)$$

を用い，その係数C_0，C_1を，防災センターの各々の観測点（図１）について求めた．

3. 資　　料

解析に用いたデータは，1979年7月1日から1980年5月20日までの期間，北緯33.7度から37.3度，東経136.7度から141.7度の範囲に，気象庁により震源を決められた408個の記録である．これらの地震の震源位置は，防災センターの観測網で決め直し，震央分布を図2に示した．解析の際には各観測点ごとに，震央距離２００Km以内の地震のみを用いている．基準（M_{JMA}）になるマグニチュードとしては，気象庁マグニチュードを採用した．それらのマグニチュード別頻度分布は，表1に示されている．大部分の地震は気象庁マグニチ

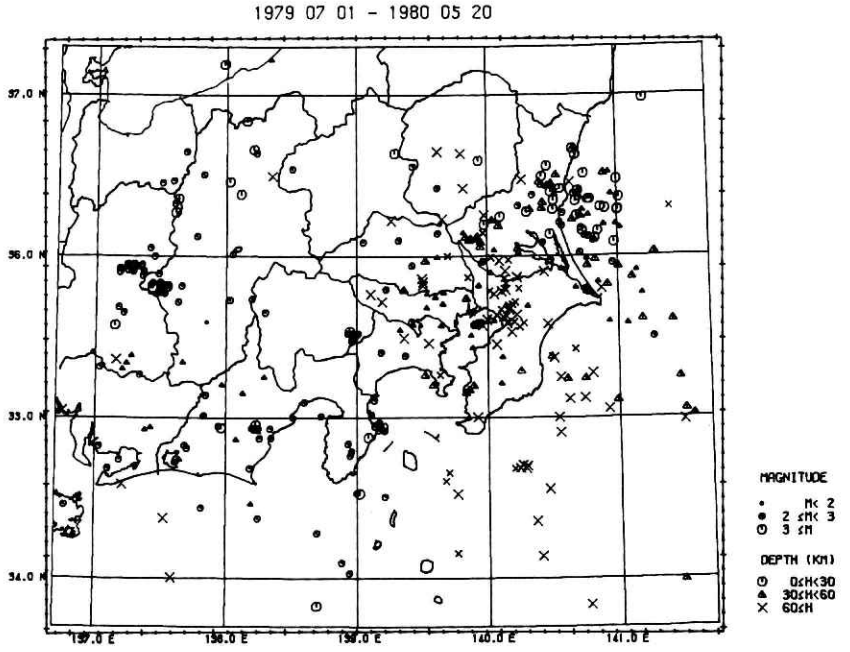

図　2　解析に用いられた地震の震央分布

Fig.2　Epicentral distribution used in this study. The hypocenters were relocated by using the data from the seismic stations of the NRCDP.

ュードで，2から4の間に分布している．又最大マグニチュードは5.9，最小は1.7である．

$F-P$時間の読みとりには，主に定常業務で読取りに用いている固有周期1秒，減衰係数0.7の地震計の上下動成分で，紙送り速度1cm／秒の多成分ペン書き記録を用いた．この記録は，地震時にトリガー信号により記録器が自動的に起動する方式でとられているので，以下これを「トリガー記録」と呼ぶことにする．いくつかの大きい地震に関しては，紙送り速度0.4cm／秒，総合感度がトリガー記録の2分の1の長時間連続記録も合わせて用いた．観測点の座標及び記象上の感度（トリガー記録）は表1の第2－5行めに，観測開始時期は表1の第6行めに示した．

ここでは，まず定常業務の読取り値のみを

表　1　解析に用いた地震のマグニチュード分布

Table 1　Frequency distribution of earthquake magnitude examined in this study.

M*	$n\ (M)\ dM$	$N(M)$
5.9－5.5	6	6
5.4－5.0	3	9
4.9－4.5	8	17
4.4－4.0	31	48
3.9－3.5	84	132
3.4－3.0	115	247
2.9－2.5	117	364
2.4－2.0	39	403
1.9－1.5	5	408

* JMA magnitude scale.

表 2 観測点の座標，観測開始日，求められた式 (2) の係数

Table 2

station code	Lat (° N)	Long (° E)	Height (m)	Sensitivity* (μ kine/cm)	Starting date	C_0 **	C_1 **
ASG	35.3138	138.0279	386	683	1979. 7	−3.31	3.42
ENZ	35.7360	138.8053	807	167	1979. 7	−4.35	3.87
HRM	35.5506	139.6792	−536	5420	1975.10	−1.73	2.89
ICH	35.4009	140.1768	−146	2800	1979. 7	−3.39	3.45
IWK	35.0981	139.8741	0	1370	1971. 5	−3.75	3.59
IWT	35.9258	139.7381	−3601	103	1973. 3	−6.12	4.53
JIZ	34.9129	138.9968	263	267	1976.12	−4.68	4.04
MIN	35.1019	139.9908	100	616	1971. 5	−3.66	3.54
MOR	35.9425	140.0044	1	8590	1977. 3	−2.38	3.06
MSK	35.1934	137.9391	754	166	1979. 7	−4.88	4.13
NSI	34.7870	138.8040	−422	178	1979. 7	−3.50	3.64
OHR	36.3600	139.6924	250	318	1978. 3	−5.64	4.37
OKB	34.9500	138.2538	−30	124	1977. 4	−4.64	4.02
SHM	35.7934	140.0238	−2277	99	1978. 4	−5.22	4.10
SMB	35.4157	138.4834	202	162	1979. 7	−3.94	3.70
TNR	34.9078	137.8852	66	172	1979. 7	−4.64	4.01
TYM	34.9708	139.8481	30	1700	1971. 5	−4.12	3.79
YKI	35.7185	140.5088	−142	2510	1979. 7	−3.03	3.29

* On multi-channel pen-recorder
** Based on the formulas in Fig. 6.

用いて得られた結果を示し，次に，この結果を補うため，さらに何をしたか，結論としてどんなデータを用いたら適当かを検討した結果を示す．

4. 結　　果

$F-P$時間を読みとる際，地震動の終了時刻としては"初動到達時刻以前の常時微動と同じ状態に戻ったとみなされる時刻"を判定基準としている．こうして，定常処理の一環として読取られた$F-P$時間とM_{JMA}の関係が図3に各観点ごとに示されている．図3の実線は，観測点ごとにM_{JMA}（図3の縦軸）を底にして最小二乗法で求めた。直線の係数（(2)式のC_0，C_1）及びマグニチュードの標準偏差はそれぞれの図の下に示されている．

5. 考察および結論

図3で用いたデータには，検討すべき次のような問題点が残されている．

1) 振動終了時刻の判定には，読取りの任意性が伴うために，$F-P$時間の値に個々人の

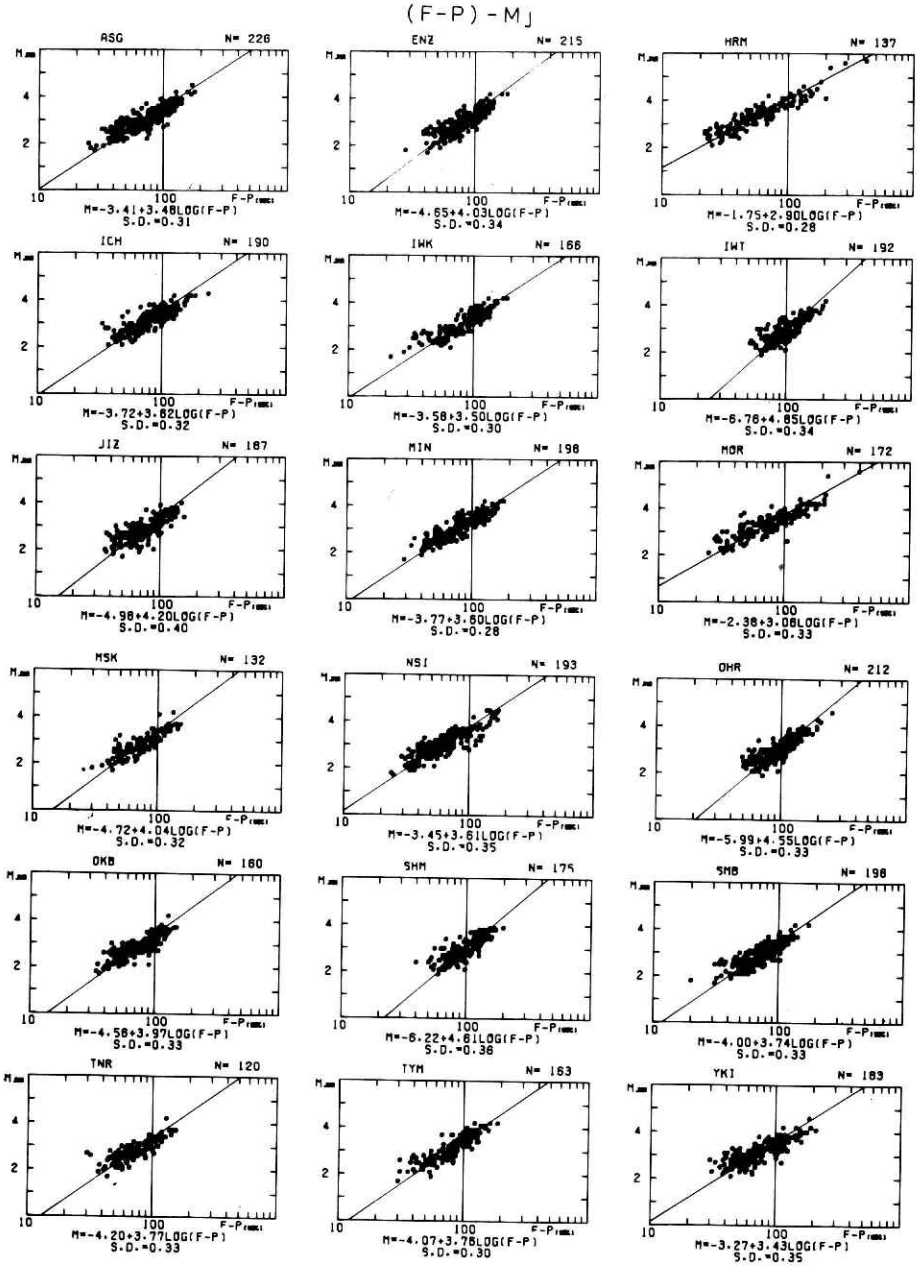

図　3　定常業務の $F-P$ 時間読取り値と気象庁マグニチュード（M_{JMA}）の関係

Fig. 3　JMA magnitude (M_{JMA}) versus $F-P$ time obtained from the routine-base data of the NRCDP, at which multi-channel pen-recorders are employed. Solid line in each figure shows the relation between JMA magnitude and $F-P$ time obtained by using the least-squares method. The formula and the standard deviation for each solid line are shown on the bottom on each figure.

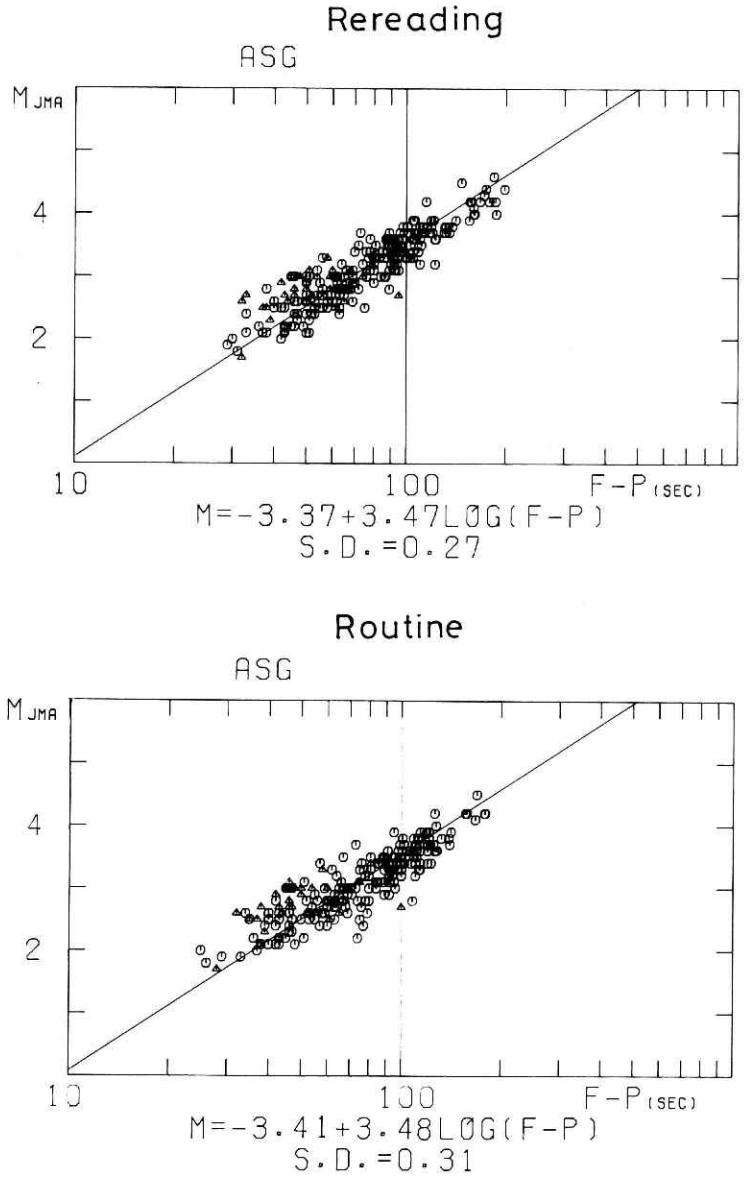

図 4 上図：著者らによって読み直された南足柄観測点の$F-P$時間と気象庁マグニチュード（M_{JMA}）
下図：図3と同じ
△印は長周期成分が卓越しているため，初動と振動終了時刻の判別が困難な地震を示す．

Fig. 4 JMA magnitude versus $F-P$ time at ASG (Minami-Ashigara). The $F-P$ time of the upper figure was reread by one of the authors from data on multi-channel pen-recorder. The lower figure is the same as one in Fig. 3. Solid triangles show the earthquakes which are characterized by very low frequency seismic waves. It is noticed that personal errors in reading $F-P$ time are very small.

影響が含まれるのではないか．

2) マグニチュードが大きくなると，$F-P$時間の求められていない地震（詳細は後述するが定常処理では＊印で示されている）が増えるため，$M_{JMA}>4$では使用可能な$F-P$のデータが非常に少なくなっている．特に，気象庁マグニチュードが4.5以上の地震は，HRM, MOR，OHR, YKI等感度の比較的低い観測点を除くと，図3には全く示されていない．こうした大きい地震については，トリガー記録が使えない場合の工夫が必要ではないか．

まず，問題1）については，$F-P$時間の読取り値に及ぼす個人差を調べるため，筆者等の一人により，振動終了時刻の読み直しが行われた．その際，観測網のほぼ中央に位置し，使用し得る地震数の最も多かった観測点ASG（南足柄）の記録が用いられた．その結果が図4の上図に示されている．比較のため，定常業務で読取られた値（図3と同一）に基づく$(F-P)-M_{JMA}$関係が下図に示されている．図中*Low Frequency*として示された印(△)は，長周期成分に富んでいるため，初動及び終了の時刻が極めて不明瞭な地震の読取り値である．読み直した事により，データの分散はいくらか小さくなっている．その傾向は*Low Frequency*として示されている地震では，やや顕著である．しかし，図に示されているように，どちらの読取り値を用いても求められた回帰係数には，ほとんど差がない．同じ$F-P$時間に対するM_{F-P}の違いは表3に示す程度であって，この差は実用上問題にならない．定常業務での読取りは，習熟した人達によって成されているため，比較的安定した基準で読まれていると考えることもできる．今回読み直した経験から，おそらく誰でも少し練習すれば安定した$F-P$時間の読取りをする事は可能であると考えられる．$F-P$読取りの個人差は，実用上はほとんど考慮しなくてよいものと判断される．

次に問題2）について，なぜ$M_{JMA}>4$の地震では，使用可能な$F-P$のデータが少なくなっているかを調べた．定常業務の読取りに用いられているトリガー記録は，トリガー条件が満たされなくなってから90秒で終了する．しかし，今回$M_{JMA}>4.0$の地震を調べてみると，まだ地震動が終了していないように見えるにもかかわらず，トリガーが起動せず，そのまま終ってしまっている記録が度々ある．これは，地震の自動判定にハイパスフィルターを通った波形を用いているためである．このような地震について，長時間連続記録（記録感度はトリガー記録の1／2）の$F-P$時間を用いてマグニチュードを推定する事ができる

表　3　著者等の読み直した$F-P$時間と定常業務の読取り直しから$F-P$時間とから求めたマグニチュード

Table 3　M_{F-P} obtained from the data on the top and the bottom figures in Fig. 4.

F–P time	Magnitude	
(sec)	Rereading	Routine
200	4.4 − 4.7	4.1 − 4.7
100	3.2 − 3.8	2.8 − 3.9
50	2.2 − 3.0	2.1 − 3.1
30	1.8 − 2.2	1.8 − 2.2

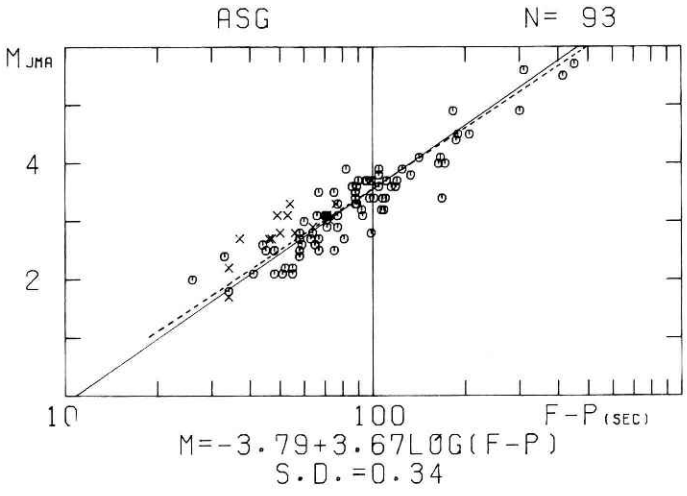

図 5　定常業務の読取りに用いている記録（多成分ペン書き記録・紙送り速度は１ｃｍ／ｓｅｃ）の半分の倍率の記録（長時間連続記録・紙送り速度は0.４ｃｍ／ｓｅｃ）を用いて読み直した南足柄観測点の$F-P$時間と気象庁マグニチュード（M_{JMA}）．最小二乗法を用いて決めた$F-P$時間とM_{JMA}の関係を実線で示す．求められた関係式は図の下に示してある．破線は図３の実線と同一である．×印は長周期成分の卓越した地震を示す．

Fig. 5　$F-P$ time at ASG obtained from the seismograma on log-term recordrs whose sensitivity is nearly half as that of the multi-channel pen-recorder and whose paper speed is 0.4cm/sec. Solid line indicates the relation between $F-P$ time and JMA magnitude obtained by employing the least-squares method. Dashed line is the same as the solid line in Fig. 3. Crosses show low-frequency seismic waves. The formula and the standard deviation for the solid line are shown on the bottom. It is noticed that there is little difference between the solid and the dashed lines.

かどうか調べてみた．用いたデータは，１９７９年７年から１０月の４カ月間に起こった地震９３個（$1.7 \leq M_J \leq 5.7$）で，ＡＳＧの長時間記録の読取りに基づいている．図５にその結果を示す．比較のため，同時に図３の直線を破線で示した．この図から，$F-P$時間とマグニチュードとの関係は，記録上の感度には殆んど影響されていないと考えてさしつかえない．羽田・酒井（１９７４）によっても，同様の事が報告されている．そこで，トリガー記録上，振動波形が切断されたまま終ってしまったかに見えるため，図３で使われなかった地震について長時間連続記録から$F-P$時間を求め，図３のデータに追加した．こうして求められた値が図６に示されている．図６を見る限り，異なった記録計の読取り値を用いた事によるデータの不連続は認められない．M_{F-P}推定には，図３に比べ，広範囲のマグニチュード（1.7～5.7）に対して適用可能な図６の値を採用するのが，適当と考えられる．

今まで，トリガーが起動しないため，終了時刻が不明瞭な地震の場合，定常業務で$F-P$時間の読取り値に＊印を付加し，このような$F-P$時間から求めたマグニチュードを，M_{F-P}の下限と見なしている．この様な地震の$F-P$時間を，図３のデータに追加し，図７に

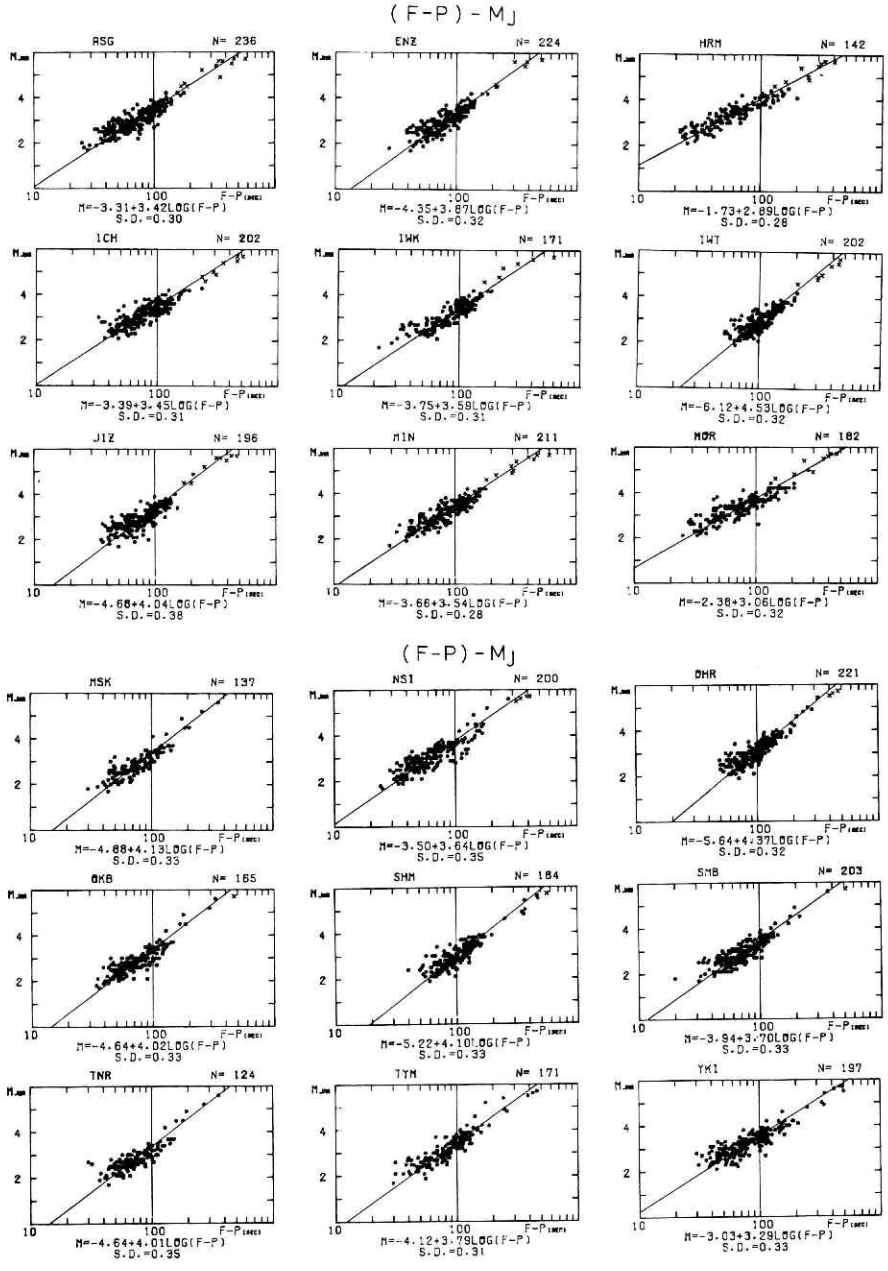

図　6　図3のデータに長時間連続記録の読取りを加えた$F-P$時間と気象庁マグニチュード（M_{JMA}）.

Fig. 6　JMA magnitude versus $F-P$ time obtained from the seismograms on multi-channel pen-recorder and long-term recorder. Open circles represent the same data as those in Fig. 3, using the multi-channel pen-recorder. Crosses show the $F-P$ time obtained with the long-term recorder. The relations between magnitude and $F-P$ time obtained in these figures have been used for the determination of F−P magnitude in the routine-base data processing at the NRCDP. The formula and the standard deviation obtained are show on the bottom on each figure.

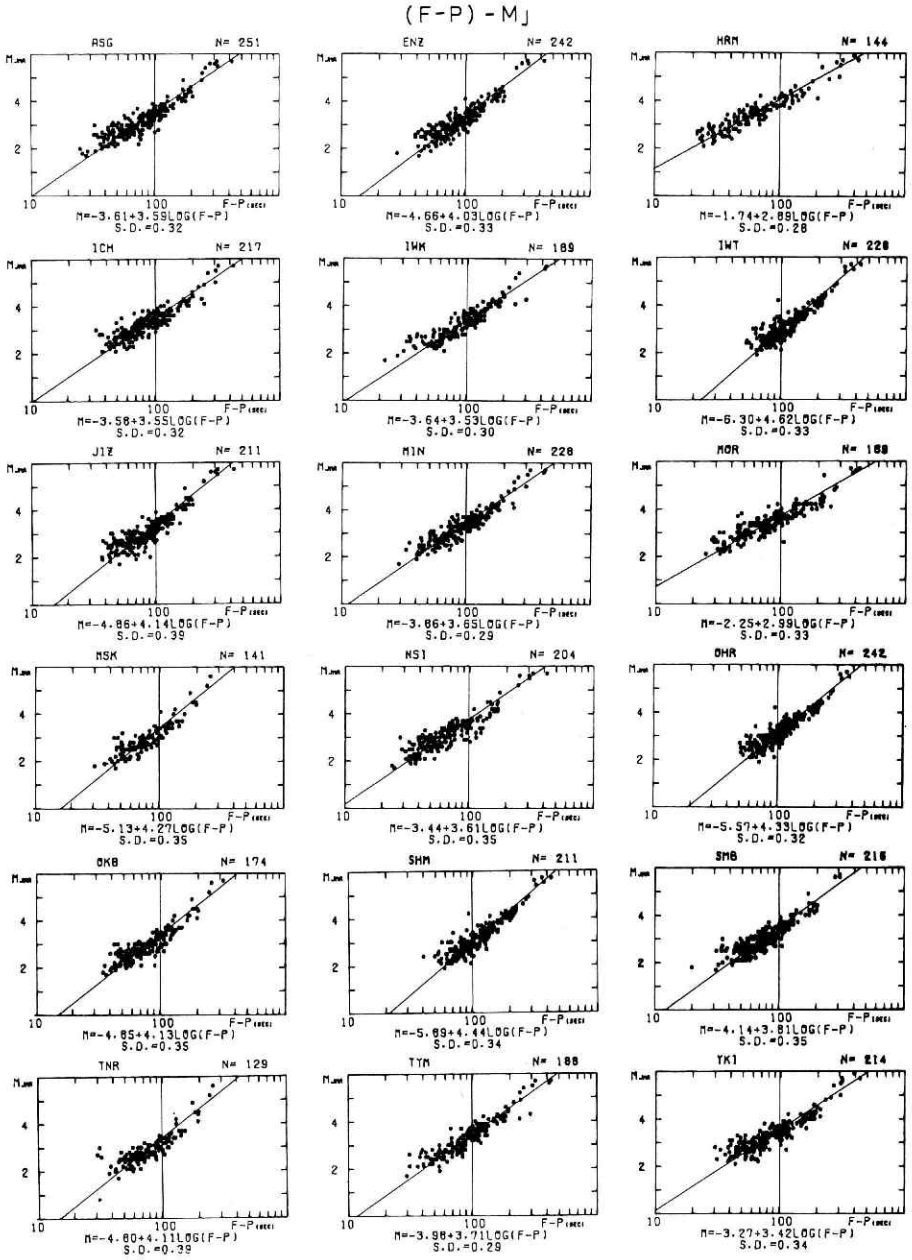

図 7 振動が続いているにも拘わらず記録が終ってしまったため図3では省かれていた$F-P$時間も加えて，気象庁マグニチュード（M_{JMA}）との関係を示す．

Fig.7 JMA magnitude versus $F-P$ time obtained from the routine-base data The $F-P$ time used for larger evnts ($M_{F-P}>4$) was those that were not used in Fig. 3 because of the ambiguous identification of seismic waves.

示してみた．図6との比較から，トリガーが起動しないような振動は，記録終了の時刻を地震動終了の時刻とみなして，M_{F-P} の推定に用いても大きな違いはないといえる．定常業務では，この様な場合のみならず，連続して地震が起こったため（群発地震あるいは余震等），あるいは他の何等かの原因で，初動又は振動終了時刻の読取りが不明瞭になり，$F-P$ 時間の推定が不可能になった場合でも＊印で示してある．このため，必ずしも報告書からだけでは，どの理由により $F-P$ 時間の読取りが不可能なのか区別がつけ難い．従って，記録の見直しをしない限り，こうしたデータの使用には注意が必要である．

結論として，図6に示されたように，一度トリガー記録や長時間連続記録等できる限り多くのデータを用いて，観測点ごとに $F-P$ 時間と M_{F-P} の関係式を求めておけば，総振動継続時間を読取るだけ（震源位置等の情報を必要としない）で，誰にでも簡単にマグニチュードを推定する事ができるようになる．それ故，M_{F-P} は非常に実用的な値であると言える．利用者の便宜のため，図6の式に基づいて，観測点ごとの $F-P$ 時間に対する M_{F-P} の値を，表4に示した．それぞれの観測点の係数 C_0，C_1 は表1の第7，8行めに示してある．

6. おわりに

現在，防災センターの報告書（*Seismological Bulletin for July to December*, 1979）に載っている M_{F-P} の値は，図6の関係式に基づいている．報告書の中で，$F-P$ 時間に＊印をつ

表　4　図6の式に基づいて，$F-P$ 時間から求めた各観測点のマグニチュード

Table 4　M_{F-P} calculated from $F-P$ time at individual stations based on the formulas in Fig. 6.

station code	$F-P$ time (sec)												
	20	25	30	40	50	70	100	150	200	250	300	400	500
ASG	1.1	1.5	1.7	2.2	2.5	3.0	3.5	4.1	4.6	4.9	5.2	5.6	5.9
ENZ	0.7	1.1	1.4	1.8	2.2	2.8	3.4	4.1	4.6	4.9	5.2	5.7	6.1
HRM	2.0	2.3	2.5	2.9	3.2	3.6	4.1	4.6	4.9	5.2	5.4	5.8	6.1
ICH	1.1	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.5	4.1	4.5	4.9	5.2	5.6	5.9
IWK	0.9	1.3	1.5	2.0	2.3	2.9	3.4	4.1	4.5	4.9	5.1	5.6	5.9
IWT	0.2	0.2	0.6	1.1	1.6	2.2	2.9	3.7	4.3	4.7	5.1	5.7	6.1
JIZ	0.6	1.0	1.3	1.8	2.2	2.8	3.4	4.1	4.6	5.0	5.3	5.8	6.2
MIN	0.9	1.3	1.6	2.0	2.4	2.9	3.4	4.0	4.5	4.8	5.1	5.6	5.9
MOR	1.6	1.9	2.1	2.5	2.8	3.3	3.7	4.3	4.7	5.0	5.2	5.6	5.9
MSK	0.5	0.9	1.2	1.7	2.1	2.7	3.4	4.1	4.6	5.0	5.4	5.9	6.3
NSI	1.2	1.6	1.9	2.3	2.7	3.2	3.8	4.4	4.9	5.2	5.5	6.0	6.3
OHR	0.0	0.5	0.8	1.4	1.8	2.4	3.1	3.9	4.4	4.8	5.2	5.7	6.2
OKB	0.6	1.0	1.3	1.8	2.2	2.8	3.4	4.1	4.6	5.0	5.3	5.8	6.2
SHM	0.1	0.5	0.8	1.3	1.7	2.3	3.0	3.7	4.2	4.6	4.9	5.4	5.8
SMB	0.9	1.2	1.5	2.0	2.3	2.9	3.5	4.1	4.6	4.9	5.2	5.6	6.0
TNR	0.6	1.0	1.3	1.8	2.2	2.8	3.4	4.1	4.6	5.0	5.3	5.8	6.2
TYM	0.8	1.2	1.5	2.0	2.3	2.9	3.5	4.1	4.6	5.0	5.3	5.7	6.1
YKI	1.3	1.6	1.8	2.2	2.6	3.0	3.6	4.1	4.5	4.9	5.1	5.5	5.8

けて印してある値は，M_{F-P}の平均値を求める際には省かれている．今回用いた地震には，稍深発・深発地震（最深３６３ｋｍ）も含まれている．１９７９年７月から９月の３ヶ月間の地震について，震源の深さ０ｋｍから３０ｋｍ，３０ｋｍから６０ｋｍ，６０ｋｍ以深に分けて，$F-P$時間とマグニチュードの関係を調べた結果，震源の深さによる系統的差は見つからなかった。しかし，調べた期間も短いので，詳細は今後検討していくつもりである．

筆者等は，ひき続き１９８０年６月以降稼動し始めた８点（図１の＋印）についても，同様の関係式を求めるため仕事を進めている。今後，新たに観測点が増設されるごとに，同様の方法で$F-P$時間とM_{F-P}の関係式を求めていくつもりである。

謝　　辞

M_{F-P}の決定のために，気象庁地震課の貴重なデータを使わせていただき深謝申し上げます．本研究に対し，多くの有益な助言を頂き，原稿を読んで頂いた国立防災科学技術センターー大竹政和地震活動室長に感謝いたします．

参 考 文 献

1) 羽田敏夫・酒井要（１９７９）：振動継続時間マグニチュード決定上の二三の問題．地震研究所研究速報，**１２**，９９－１０４．
2) 堀実（１９７３）：堂平微小地震観測所の観測による近地地震のマグニチュードの決定，地震研究所研究速報，１０（４），１－４．
3) Kawasumi, H.（１９５４）Intensity and magnitude of shallow earthquakes. *Bureau Central Seism. Intern. Ser. A.*, Trav. Sci. 19, ９９－１１４.
4) 気象庁：地震速報（１９７９，７－１９８０，５）．
5) National Resarch Center For Disaster Prevention（１９８０）：*Seismological Bulletin of the NRCDP*, １９７９, No. 7.
6) Tsumura, K.（１９６７）：Determination of earthquake magnitude from to total duration of oscillation. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **４５**, ７－１８.
7) 渡辺晃（１９７３）：近地地震のマグニチュード（続報）．地震〔ⅱ〕，**２６**，１６０－１７０．

（１９８１年１１月１７日　原稿受理）