

関東・東海地域地殻活動観測網における自動 観測による振動継続時間マグニチュードの決定

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 based on the Automatic Reading for the Kanto-Tokai Observational Net

By

Mariko Tatsukawa

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

Since October 1981, automatic reading of seismic waves and determination of earthquake hypocenters and magnitudes by using the data processing system have been carried out for the Kanto-Tokai observational net of the National Research Center for Disaster Prevention. For the purpose of supporting the routine of data processing, coefficients were determined for each station to compute earthquake magnitude from the total duration time (F-P) of automatic reading. The magnitude was so scaled as to coincide with the magnitude of the Japan Meteorological Agency, M_{JMA} by using the least square method. The results were found satisfactory provided poor data are excluded. Then follows a discussion of possible reasons why unfavorable F-P data are sometimes originated from the automatic reading of seismic waves.

1. はじめに

国立防災科学技術センターでは関東・東海地域地殻活動観測網の定常的地震データ処理において、最大振幅による方法と振動継続時間（F-P時間）による方法とによって2通りのマグニチュード決定を行っている。この定常的データ処理作業は、1979年7月以来可視記録の肉眼による読み取りに基づいて行われてきたが、1981年10月から専用のデータ処理システムによる半自動方式に移行された（浜田ほか、1982）。

気象庁マグニチュード M_{JMA} を基準として振動継続時間マグニチュード M_{F-P} を求める式は、可視記録上のF-P時間を用いた場合については石田・立川（1982）によって既に得ら

* 第2研究部地震活動研究室

れている。しかし振動終了(F)の判定は、可視記録上で人間が決めた場合と計算機が一定の基準で判断した場合とでは当然違って来る。上記の半自動方式に移行してから、 M_{F-P} の決定にはこれまでの可視記録に基づく M_{F-P} を基準として、計算機自動検測のF-P時間との関係を求めた関係式を暫定的に使用してきた。今回定常的データ処理における M_{F-P} の信頼度向上をはかるために、多数のデータを用いて M_{JMA} と計算機自動検測によるF-P時間との関係式を直接求めることにした。

防災センターでは1982年9月現在、45個所の地震観測点が稼動している。このうち1981年10月以来1年分のデータがあり、かつこの間に感度を変更していない25観測点について、 M_{JMA} とF-P時間の関係式を求めた結果を報告する。図1にこれらの25観測点を●で示し、他の観測点は+で示した。25観測点の名称・感度は表1に示した。

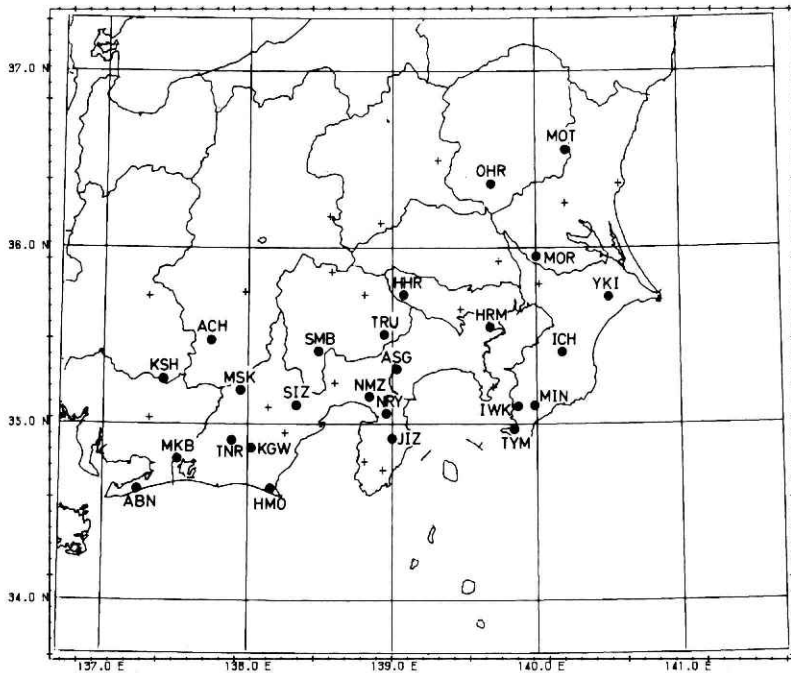


図 1 関東・東海地域地殻活動観測網の地震観測点。(1982年9月現在) ●印は今回解析に用いた観測点を示す。

Fig. 1 Seismographic stations of the Kanto-Tokai observational net of the National Research Center for Disaster Prevention as of October 1982. The twenty-five stations indicated by closed circles are used for this study.

2. 資料

対象とした地震は、1981年10月から1982年9月までの1年間に、北緯33°~38°、東経135°

～143°の範囲に防災センターで震源が決められたもの合計977個である。その震央分布を図2に示す。このうち各観測点から震央距離200 km 以内の地震のみを解析に用いた。震源の深さは0 kmから426 kmまで広範囲に分布しているが、深さ別による区分は行っていない。

基準としたマグニチュード M_{JMA} は気象庁の速報によった。そのうち最小地震はM 1.9、最大地震は1982年7月23日茨城県沖のM 7.0であった。(図2)

3. データ処理システムによる振動継続時間の験測方法

振動継続時間の験測は、テレメータシステムから直接とり込まれた80Hzサンプリングのデジタルデータに基づいて自動的に行われている。まずS/N比改善のために高周波および低周波を遮断するフィルタリングを行う。このバンドパスフィルタの特性は図3(a)に示すものである。そして1秒毎(80個のデータ)の絶対値の和(Z)がある設定値(high level)を超えるかどうかを常時監視している。この条件が同一観測点の2成分以上で満足され、か

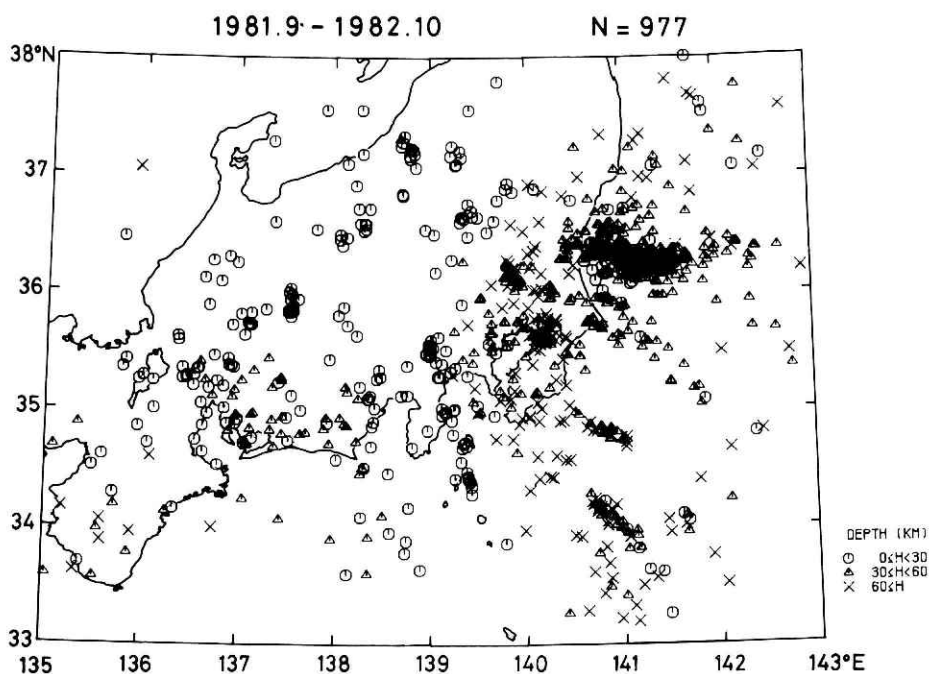


図 2 使用した地震の震央分布

Fig. 2 Epicentral distribution of earthquakes which are used for this study.

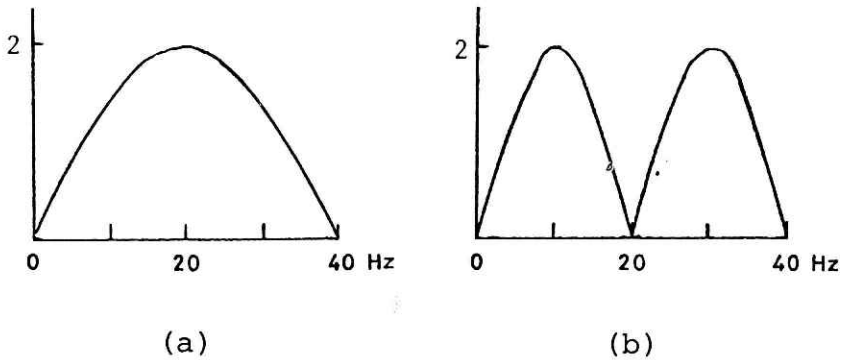


図 3 バンドパスフィルターの特性 [松村ほか, 1979より]

Fig. 3 Frequency characteristics of the band pass filter.
[after MATSUMURA, *et al.* (1979)]

つ3秒以上この状態が続いた時にP波を検出したものと判定する。振動終了(F)の判定はZが別の設定値(low level)を下まわった状態が2秒続き、かつ同一観測点の全成分でこの状態が満たされた時とする。F判定用には観測点によって、図3(a)または(b)のバンドパスフィルターを通した波形データを用いている。F-P時間は、P波が検出された時刻P(秒単位)と、Fと判定された時刻(秒単位)との差をとって算出する。従ってPとFは同一成分を採用しているとは限らないが、3つの成分ともほぼ同じ感度に設定してあるので問題はないと考える。このようにして一応F-P時間が求められるが、Pについては更に地震波形をディスプレイして人間が目で見えてチェックを行う。自動検測のPが悪い場合は、人間が読み取った値とおきかえる。しかし読み直したPはF-P時間にフィードバックされていない。詳しくは松村・浜田(1976)、松村ほか(1979)、浜田ほか(1982)を参照されたい。

4. 方法および結果

(1) マグニチュード決定式

M_{JMA} と $\log(F-P)$ との間に強い正の相関があることを基礎にして、これら2変数間に一次関係式を最小二乗法により当てはめることができる。図4に、自動検測のF-P時間と M_{JMA} の関係を南足柄観測点(ASG)について例示する。両者間に正の相関はみられるが、 M_{JMA} の大きさに比して、自動検測のF-P時間が20秒以下という極端に短いものが数多く分布している。

この原因を調べるために、可視記録上で対応する地震を一部見直した。これらの多くはP波の初動が検出されず、後続のS波などをPと判定したために自動検測によるF-P時間が

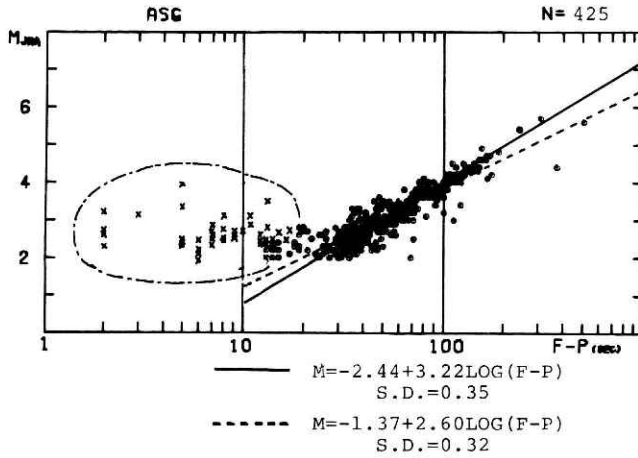


図 4 南足柄観測点 (ASG) の F-P 時間と M_{JMA} の関係. 精度の悪いものも含めて全データが示されている. 回帰直線は○印のデータを用いて最小二乗法により求めた. 実線は F-P 時間を最小にするように, 破線は M_{JMA} を最小にするように求めた.

Fig. 4 Relation between F-P time and M_{JMA} at ASG. The data plotted include those of poor quality (cross mark). Solid and broken lines indicate regression lines which are determined minimizing the root mean square residual of $\log(F-P)$, and M_{JMA} , respectively (data shown by cross marks are not used.)

短くなっていることがわかった. P の自動検測が誤っていても, 人間が読み直した P が F-P 時間にフィードバックされていないために, 極端な場合には F-P 時間が S-P 時間より短く与えられてしまうことがある. また, 図 3 に示したフィルター特性のために, 長周期の振動が継続しているにもかかわらず F と早く判定されたと考えられるものもある. F-P 数秒以下の多くは, 該当する地震に先行するノイズの継続時間を, 地震の F-P 時間として与えられたものである. F-P 時間が S-P 時間より短いデータは, 図 4 に × 印で示し一点鎖線で囲んである.

さてマグニチュード決定式を求めるために, まず $\log(F-P)$ の残差平方和を最小にするように $\log(F-P)$ と M_{JMA} の一次関係式の回帰直線

$$\log(F-P) = a_0 + a_1 M_{JMA}$$

を求める. F-P 時間は秒単位である. この係数 a_0, a_1 を用い, $C_0 = -a_0/a_1, C_1 = 1/a_1$ として, 振動継続時間マグニチュードを求める式

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

が得られる. 求めた回帰直線をもとに, マグニチュードの標準偏差 (S.D.) もあわせて計算した.

回帰直線を求める際に、 M_{JMA} ではなく $\log(F-P)$ の残差平方和を最小にするようにしたのは、データの分布状態を考慮したためである。すなわち、観測感度等の関係で、マグニチュード2未満の地震で気象庁マグニチュードが決められているものは殆んどなく、 M_{JMA} のデータは $M_{JMA}-2$ で足切りされたような分布になっている。そのため M_{JMA} の残差平方和を最小にするようにすると、この足切りの影響を強く受けるおそれがある。比較のために、 $\log(F-P)$ の残差平方和を最小にした場合と、 M_{JMA} の残差平方和を最小にした場合の計算を行い、図4にそれぞれの回帰直線を実線および破線で示した。なおこの計算には、図中×印で示したデータは除外した。

M_{F-P} 決定式はできるだけ精度のよいものを得る必要がある。しかし上記の計算に用いたデータから、 $F-P$ 時間が短いものや、地震が重なっておこったために2つ以上の地震を1つに判定しているものなどを、一つ一つ取り除くには非常に手数を要する。そこで $F-P$ 時間が $S-P$ 時間より短く与えられているデータを取り除き、さらに M_{JMA} と M_{F-P} との差が1以上の地震を取り除いて、再び同じ方法で係数 C_0 、 C_1 を決め直した。この最終結果を図5に示す。図4に例示した南足柄観測点(ASG)について見ると、回帰直線からのマグニチュードの標準偏差(S.D.)は0.35から0.31に改善されていることがわかる。これらの回帰直線が実際どの程度データに当てはまっているかを示す尺度として、相関係数 r を求めた。観測点ごとの各係数 C_0 、 C_1 、 r を表1に示す。相関の比較的悪い $r < 0.8$ のものは r 値に*印を付してある。

(2) 可視記録による $F-P$ 時間との比較

松村ほか(1979)は、自動検測による場合と可視記録より人間が読み取った場合と、 $F-P$ 時間は平均25秒の差があると報告している。今回調べた自動検測の $F-P$ 時間と M_{JMA} の関係と、可視記録から求めた関係(石田・立川, 1982)との比較を行った。図6に南足柄観測点(ASG)の比較結果を例示する。自動検測のデータに可視記録のデータを重ね合わせ、可視記録のデータ領域に斜線を施し、その回帰直線を破線で記した。自動検測による $F-P$ 時間は、可視記録による $F-P$ 時間に比べて25~40%短く、 M が大きくなるに従ってこの差が小さくなっている。他の観測点についてもほぼ同様の傾向が見られる。

5. 考察

振動継続時間から地震のマグニチュードを決める上で、振動終了(F)の安定した判定が行われる必要がある。自動検測の判定方法は第3節に述べたように、基本的には振幅に依存したものであり、従来の可視記録による方法と異なり振動周期の変化等は考慮されていない。しかし図5に見られるように自動検測の $F-P$ 時間と M_{JMA} はよい相関を示し、自動検測に基づく M_{F-P} 決定は十分有効に行えると判断される。神定(1982)も振動が一定振幅以下に

自動験測による振動継続時間マグニチュード—立川

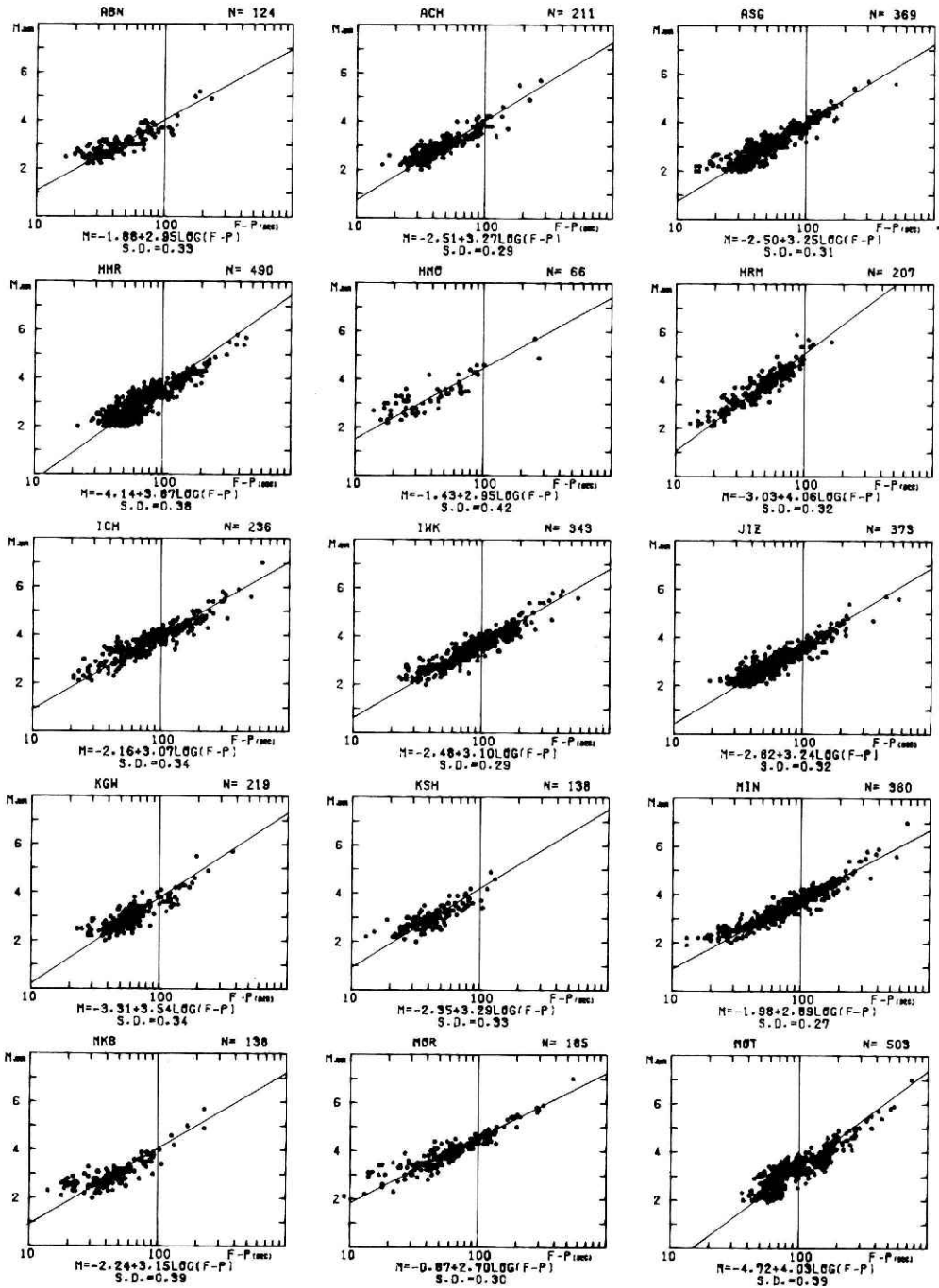


図 5 精度の悪いデータを取り除いたF-P時間とM_{JMA}の関係

Fig. 5 Relation between F-P time and M_{JMA} for each station. Data of poor quality are excluded.

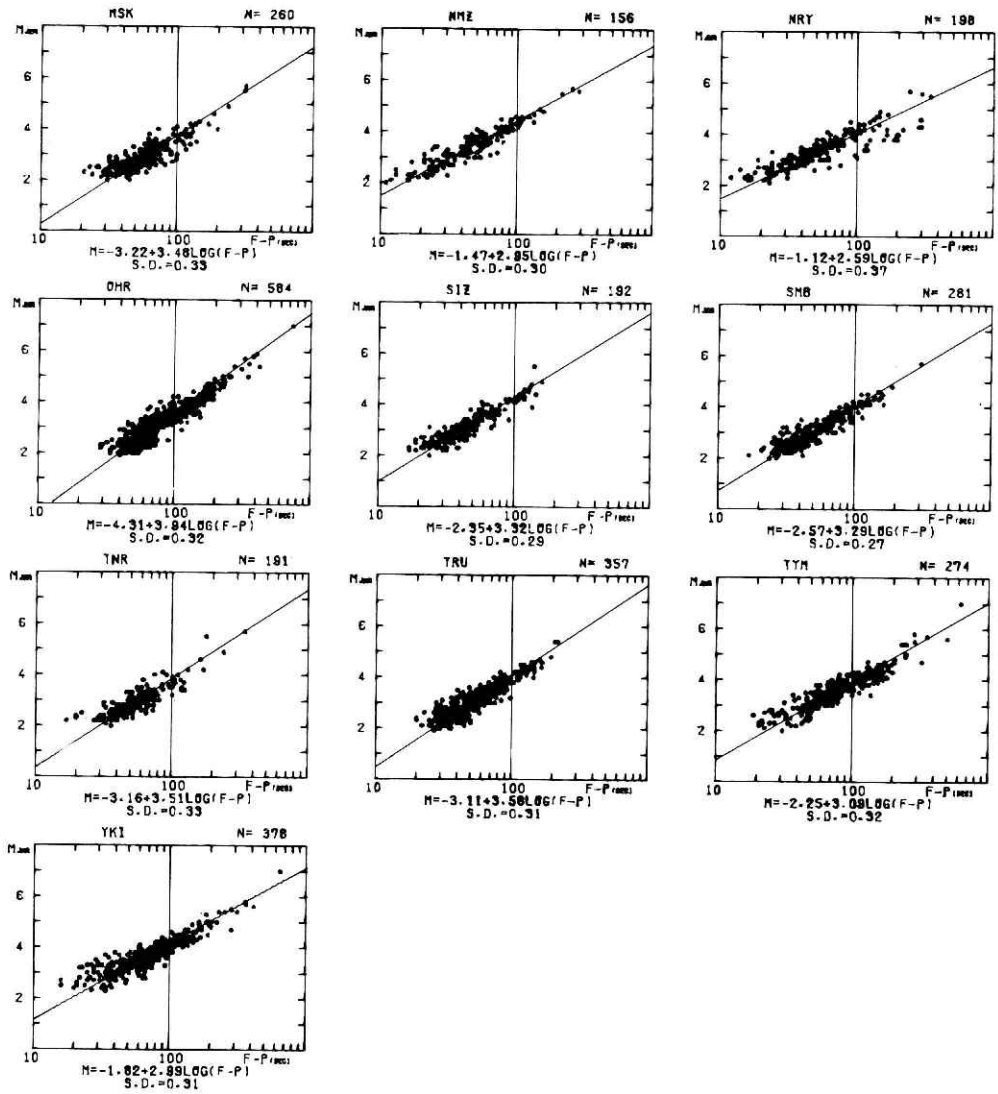


図 5 精度の悪いデータを取り除いたF-P時間とM_{JMA}の関係

Fig. 5 Relation between F-P time and M_{JMA} for each station. Data of poor quality are excluded.

表 1 各観測点の感度と係数 C_0 , C_1 , r

Table 1 Sensitivity and coefficients C_0 , C_1 , r for each station. * indicates the case for which correlation coefficient is less than 0.8.

Code	Station	Sensitivity (μ kine/digit)	C_0	C_1	r
ABN	Akabane	1.188	-1.88	2.95	0.741*
ACH	Achi	0.400	-2.51	3.27	0.860
ASG	Minamiashigara	1.667	-2.50	3.25	0.896
HHR	Hinohara	0.489	-4.14	3.87	0.846
HMO	Hamaoka	4.261	-1.43	2.95	0.794*
HRM	Kawasaki	1.471	-3.03	4.06	0.904
ICH	Ichihara	6.825	-2.16	3.07	0.906
IWK	Iwai-kita	1.295	-2.48	3.10	0.909
JIZ	Nakaizu	0.652	-2.82	3.24	0.868
KGW	Kegegawa	0.572	-3.31	3.54	0.804
KSH	Kushihara	0.305	-2.35	3.29	0.803
MIN	Mineoka	1.064	-1.98	2.89	0.924
MKB	Mikkabi	0.753	-2.24	3.15	0.688*
MOR	Moriya	20.967	-0.87	2.70	0.923
MOT	Motegi	0.953	-4.72	4.03	0.850
MSK	Misakubo	0.405	-3.22	3.48	0.818
NMZ	Numazu	3.113	-1.47	2.95	0.924
NRY	Nirayama	0.984	-1.12	2.59	0.784*
OHR	Ohhira	0.777	-4.31	3.94	0.903
SIZ	Shizuoka	0.387	-2.35	3.32	0.873
SMB	Shimobe	0.394	-2.57	3.29	0.901
TNR	Tenryu	0.419	-3.16	3.51	0.766*
TRU	Tsuru	0.259	-3.11	3.58	0.888
TYM	Tateyama	6.418	-2.25	3.09	0.898
YKI	Yohkaichiba	6.133	-1.82	2.99	0.875

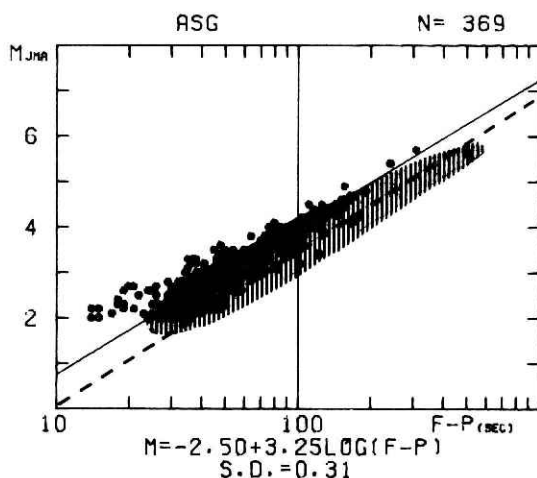


図 6 南足柄観測点 (ASG) における自動験測による F-P 時間および可視記録による F-P 時間と M_{JMA} の関係。それぞれの回帰直線を実線と破線で示す。

Fig. 6 Relation between M_{JMA} and F-P time based on the automatic reading and visual reading (shaded zone) at ASG. Corresponding regression curves are shown by solid and broken lines.

減衰した時点をFとみなす単純な方法を用い、こうして決められたF-P時間とマグニチュードとの関係は有意義であると報告している。上記の検討結果から、今回求めた M_{F-P} 決定式は定常的な地震データ処理に組み込んで使用できるものとする。ただデータの分散状況から見て、表1のr欄に*印を付したものは用いない方が安全だろう。

一方、本研究の過程で、F-P時間の自動検測等についていくつかの問題点も明らかになった。以下にこれらの問題点を記し今後の改善のための参考としたい。

- (1) 自動検測でP波を誤って検出した場合、とくにS波をP波として検出してしまった場合、小さい地震ほど M_{F-P} への影響が大きくなる。
- (2) 現行のシステムでは波形データの収録を効率的に行うために、収録を開始してから100秒毎に各観測点の振動レベルをチェックしている。第3節で述べたlow level以上の観測点が3点に満たない場合には収録が打ち切れ、振動が継続している観測点もその時点で振動終了(F)とみなされるようになっている。地震の振動が長く継続する傾向のある観測点では、このようなFの強制判定が頻繁に起こっている。地震データは30秒の遅延がかけられているために、図5に見られるようにとくにHHR、MOT、OHRでは、F-P時間70秒、170秒付近にこのFの強制打ち切りの影響が目だっている。高密度観測網では、2点以下でしか振動していないような地震はその後長く振動が継続するとは思われないが、 M_{F-P} が系統的に若干小さく求められることになる。
- (3) 地震が続いておこったり、地震の直前に自動検測の基準を満たすノイズが先行したりすると、1個の地震と判定されて誤ったF-P時間が与えられる場合がある。
- (4) 第3節で述べたP、F判定用のレベルは、P波検出(high level)にはノイズレベルの2倍～6倍ぐらい(平均およそ3.5倍)、Fの判定(low level)にはノイズレベルの1.5倍～3.5倍ぐらい(平均およそ2.5倍)の値に各観測点ごとに設定されている。これらの設定レベルは波形データ収録の開始・終了条件の設定にも使われているため、観測環境の悪化などに伴ってノイズレベルが大きく変動した場合には変更されることがある。このようにしてF-P時間の判定条件が変わってしまうのは好ましくないで、とくにF判定用のレベルはデータ収録終了用のレベルとは独立にすべきであろう。
- (5) 可視記録から M_{JMA} を基準に M_{F-P} を求めた過程で、2つの期間(1979年7月～1980年5月と1980年5月～1981年9月)のデータの間、 M_{JMA} またはF-P時間に有意なずれがおきていることがわかった(立川・石田, 1982)。気象庁官署の高感度地震計配備に伴い、 M_{JMA} のスケールに若干変化が生じた可能性も否定できない。図7は南足柄観測点(ASG)について、前の期間のデータ分布領域を破線で囲み、後の期間のデータ分布領域に斜線を施して比較したものである。それぞれの回帰直線は破線および実線で示した。この程度のずれなら実用上あまり問題がないので今回は公表された M_{JMA} をそのまま基準にとったが、将来再検討の必要が生じるかもしれない。

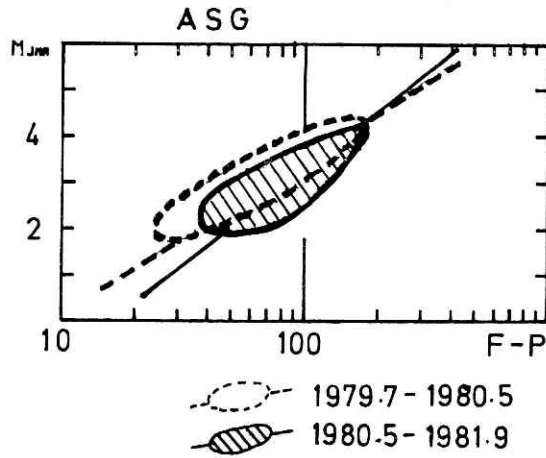


図 7 南足柄観測点 (ASG) における異なる期間の F-P 時間と M_{JMA} の関係

Fig. 7 Relation between F-P time and M_{JMA} for July 1979 - May 1980 and for May 1980 - September 1981 at ASG.

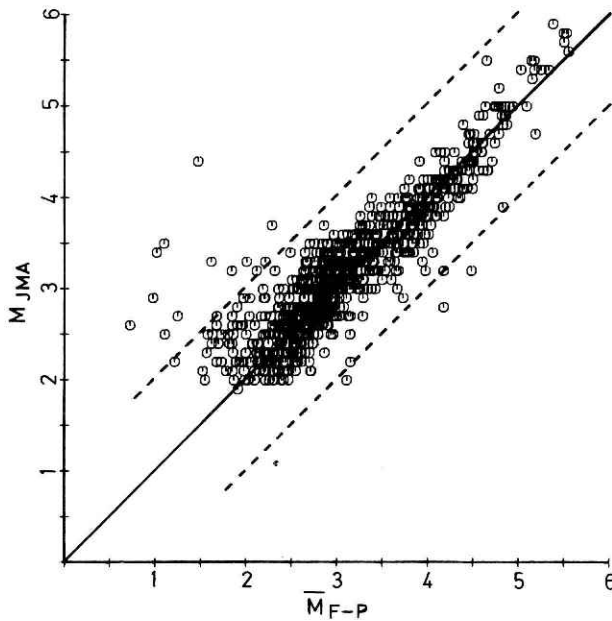


図 8 各観測点ごとの M_{F-P} の平均値 \bar{M}_{F-P} と M_{JMA} の関係

Fig. 8 Relation between M_{JMA} and \bar{M}_{F-P} , where \bar{M}_{F-P} is the average of M_{F-P} for each station.

最後に、図5で求めた各観測点の係数 C_0 、 C_1 を用いて決めた M_{F-P} の平均値 \bar{M}_{F-P} と、 M_{JMA} との相関を調べた(図8)。実線は $\bar{M}_{F-P} = M_{JMA}$ を示す。 \bar{M}_{F-P} と M_{JMA} の差が1以上大きい(破線の外側)のものは全体の約2%であり、その半分は1982年7月23日の茨城県沖地震の前震・余震で、地震が続けておきた状態にある。全体の約98%にあたる大部分の地震については、 \bar{M}_{F-P} が $M_{JMA} \pm 1$ の範囲で M_{JMA} によく適合していることがわかる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、国立防災科学技術センター第二研究部地震活動研究室大竹政和室長の御指導を頂いた。F-P時間の自動検測の問題点把握のために同松村正三研究員の御助力を頂いた。同佐藤春夫主任研究官には有益な御助言を頂いた。同石田瑞穂主任研究官には M_{F-P} に関して常日頃より御教示を頂いている。記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 浜田和郎・大竹政和・岡田義光・松村正三・山水史生・佐藤春夫・井元政二郎・立川真理子・大久保正・山本英二・石田瑞穂・笠原敬司・勝山ヨシ子・高橋博(1982)：関東・東海地域地殻活動観測網——国立防災科学技術センター。地震Ⅱ，35，401—426。
- 2) 石田瑞穂・立川真理子(1982)：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。国立防災科学技術センター研究報告，27，119—131。
- 3) 神定健二(1982)：一定振幅以上の振動継続時間と地震のマグニチュードとの関係。地震Ⅱ，35，139—142。
- 4) 松村正三・浜田和郎(1976)：計算機による地震波の自動読み取りについて。地震Ⅱ，29，383—394。
- 5) 松村正三・大久保正・勝山ヨシ子・浜田和郎(1979)：計算機による地殻活動観測データ処理システム。国立防災科学技術センター研究速報，35，1—18。
- 6) 立川真理子・石田瑞穂(1982)：関東・東海地域の地震マグニチュード決定(続報)。地震学会講演予稿集，1982，No.1，201。

(1983年4月6日 原稿受理)