

温泉地学研究所の地震観測網におけるマグニチュードの算出式

棚田俊収^{*}、田中 文博^{*2}

Earthquake Magnitude Determined by the Hot Springs Research
Institute of Kanagawa Prefecture
by
Toshikazu TANADA^{*} and Takehiro TANAKA^{*2}

Abstract

Empirical formulas based on Japan Meteorological Agency magnitudes (M_{jma}) were used to determine earthquake magnitude by the Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture (HSRI).

We estimated formulaic coefficients from the relationship between M_{jma} and oscillation, F-P time (sec) at 14 stations, using the least square method. The results correlated well. The formulas obtained in this study were

$$\begin{aligned} \text{Mf-p} &= -2.17 + 2.77 \log(\text{F-P}) \text{ at HIN,} & \text{Mf-p} &= -2.30 + 3.28 \log(\text{F-P}) \text{ at KIN,} \\ \text{Mf-p} &= -2.26 + 2.86 \log(\text{F-P}) \text{ at KZY,} & \text{Mf-p} &= -1.38 + 2.74 \log(\text{F-P}) \text{ at OAD,} \\ \text{Mf-p} &= -2.15 + 2.75 \log(\text{F-P}) \text{ at KZR,} & \text{Mf-p} &= -2.57 + 2.92 \log(\text{F-P}) \text{ at KOM,} \\ \text{Mf-p} &= -1.62 + 2.84 \log(\text{F-P}) \text{ at MOT,} & \text{Mf-p} &= -2.13 + 2.66 \log(\text{F-P}) \text{ at JZD,} \\ \text{Mf-p} &= -2.47 + 3.07 \log(\text{F-P}) \text{ at YGW,} & \text{Mf-p} &= -2.12 + 2.66 \log(\text{F-P}) \text{ at TNM,} \\ \text{Mf-p} &= -2.06 + 2.63 \log(\text{F-P}) \text{ at YDR,} & \text{Mf-p} &= -1.62 + 2.63 \log(\text{F-P}) \text{ at IWK,} \\ \text{Mf-p} &= -2.12 + 2.66 \log(\text{F-P}) \text{ at OMZ and} & \text{Mf-p} &= -2.03 + 2.92 \log(\text{F-P}) \text{ at ONK.} \end{aligned}$$

These formulas are applicable to the earthquakes with epicenter distances < 200km and focal depths < 50km.

Investigating the difference between the magnitude (M_{onk}) obtained by these formulas and M_{faa} , we found that M_{onk} were scaled to coincide within $\pm 0.3 M_{jma}$ and that there was no systematic bias for hypocenters in the observation network.

These formulas are not only simple and convenient but also reliable for estimating of local earthquake magnitudes in and around western Kanagawa.

1. はじめに

マグニチュードは、地震の規模を示す重要な値である。日本では、気象庁がマグニチュード (M_{jma}) を発表している。この M_{jma} は比較的大きな地震には実用的であるが、局地的にしか観測されないマグニチュード 3 未満の微

小・極小地震に対して不向きなことが多い。そのため、気象庁を除いた日本の各微小地震観測所では、速度振幅や振動継続時間(以下、F-P時間と記す)から独自にマグニチュード算出している。

^{*} 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

^{*2} 東海大学海洋学部海洋資源学科 〒424-0902 静岡県清水市折戸 3-20-1
神奈川県温泉地学研究所報告, 第 29 巻, 第 1・2 号, 41-46 (1999)

温泉地学研究所では、旧箱根火山観測所の時代より F - P 時間を用いて、マグニチュードを算出してきた。この方法を用いると、速度振幅算出方式より簡便にマグニチュードが計算できる。しかし、F-P 時間は地震計の特性や設置場所の地盤条件などに大きく影響されるので、旧観測点のマグニチュード算出式を新地震観測点に使用することはできない。

そこで本論では、1989 (平成元) 年から 1995 (平成 7) 年の間に、地震観測を開始した 14 点に対して、F-P 時間によるマグニチュードの算出式を求めた。基準となるマグニチュードは気象庁のものを採用した。F-P 時間は、速度型地震計の上下動成分記録から読みとった。最後に、新しく決定した温泉地学研究所のマグニチュードと気象庁マグニチュードを比較し、その決定精度を検討した。

2. F - P 時間とマグニチュードとの関係

F - P 時間による浅い近地地震のマグニチュードを推定する方法は、古くから利用されてきた。現在では、各地の観測網で、F-P 時間を使ってマグニチュードを算出している (たとえば、堀, 1973、石田・立川, 1982 永濱ほか, 1993 など)。当所においても、旧箱根火山観測では F-P 時間を用いてマグニチュードを決定していた (平賀・伊東, 1976)。

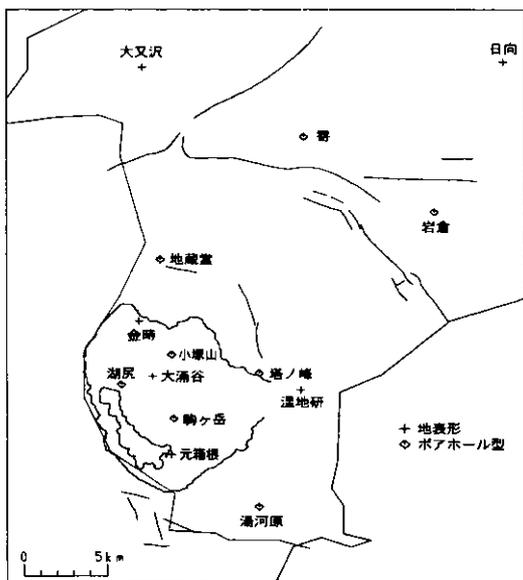


図1 観測点分布
Fig.1 Distribution of seismic stations (Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture).

一般に、F - P 時間を使ってマグニチュードを求める。式は、次の形となる。

$$M_{f-p} = A \log (F - P \text{時間}) + B + C$$

ただし、F - P 時間は秒、(震央距離) はキロメートル単位である。A、B、C は、観測点ごとの係数を示す。

津村 (1967) は、和歌山微小地震観測所のデータを用い、F-P 時間とマグニチュードとの関係式を導いた。その結果、(震央距離) が 200km 以内では、C 項の影響は、小さいことを明らかにした。

県内全域の地震活動を対象とした場合、その観測領域は 100 km × 100 km 程度である。

よって、本解析では C の項を省略した算出式

$$M_{f-p} = A \log (F - P \text{時間}) +$$

を用いた。

温泉地学研究所のマグニチュード (Monk) は、各観測点毎の M_{f-p} を平均した結果を最終値としている。

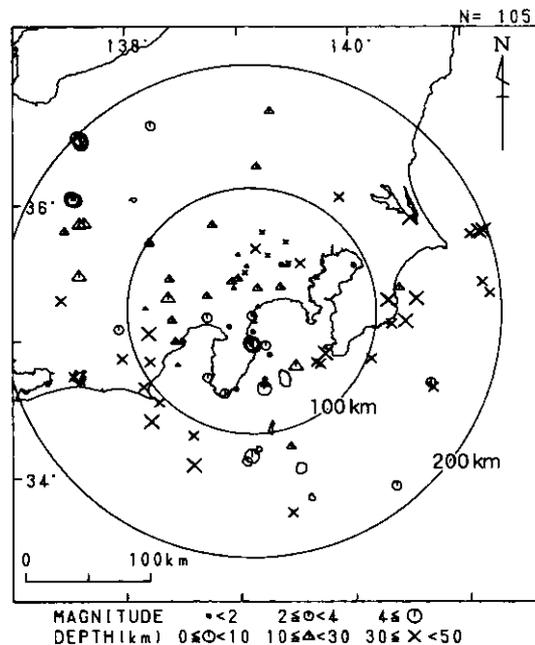


図2 解析に用いた地震の震央分布 (震央は気象庁発表のもの)
Fig.2 Epicentral distribution used in this study. The hypocenters were determined by the Japan Meteorological Agency (JMA).

表1 観測点情報

Table 1 Information of station.

観測点名	コード	固有周波数 Hz	感度 /kine	増幅 dB	ペン感度 v/cm	総合感度 mkine/cm	観測期間	係数A	係数B	備考
日向	HIN	1.0	5.70	54	1.00	0.35	89' 4/ 1-	2.77	-2.17	
金時	KIN	1.0	3.00	36	1.00	5.28	89' 4/ 1-	3.28	-2.30	
小塚山	KZY	1.0	2.79	54	1.00	0.72	89' 4/ 1-	2.86	-2.26	
大涌谷	OWD	1.0	3.00	36	1.00	5.28	89' 4/ 1-	2.74	-1.38	
湖尻	KZR	1.0	2.37	54	1.00	0.84	89' 4/ 1-	2.75	-2.15	
駒ヶ岳	KOM	1.0	2.79	60	1.00	0.36	89' 4/ 1-	2.92	-2.57	
元箱根	MOT	1.0	3.00	36	1.00	5.28	89' 4/ 1-	2.84	-1.62	
地蔵堂	JZD	0.9	1.46	60	1.00	0.68	90' 11/ 1-	2.66	-2.13	防災科学技術研究所
湯河原	YGW	3.0	3.60	60	1.00	0.28	90' 11/ 1-	3.07	-2.47	建築研究所
塔ノ峰	TNM	1.0	3.08	60	1.00	0.32	92' 4/ 1-	2.66	-2.12	
寄	YDR	1.0	2.19	66	1.00	0.23	93' 4/ 6-	2.63	-2.06	
岩倉	IWK	1.0	2.18	48	1.00	1.82	93' 4/ 6-	2.63	-1.62	
大又沢	OMZ	1.0	3.00	60	1.00	0.33	94' 4/ 27-	2.66	-2.12	(大滝より移設)
大滝	OTK	1.0	3.00	60	1.00	0.33	89' 4/ 1-94' 4/ 27	3.06	-2.75	(観測中止)
温地研	ONK	1.0	5.15	36	1.00	3.08	89' 4/ 1-92' 5/ 7 92' 5/ 8-95' 3/ 10 95' 3/ 21-	2.75 2.75 2.92	-1.96 -1.82 -2.03	(移設) (移設)

1997年 1月 28日現在

3. 解析

F - P時間の読みとりは、1989(平成元)年4月から1995(平成7)年12月までの期間に設置された14観測点を対象とした(図1)。14点の中、温泉地学研究所が設置した観測点数は12、残りの2点は科学技術庁防災科学技術研究所(地蔵堂観測点)と建設省建築研究所(湯河原観測点)のものである。観測点に関する情報は、表1にまとめた。

14点中8点はポアホール型で、残り6点は地表据え置き型である。

解析には、固有周波数1Hz、減衰係数0.7の速度型地震計の上下動成分記録を用いた。ただし、湯河原観測点(建設省建築研究所)の固有周波数は、3Hzである。

F - P時間は、紙送り速度1cm/秒のトリガー式多成分ペン書き記録から読み取った。トリガー式多成分ペン書き記録でF - P時間が読みとれない場合、もしくはトリガーが作動しなかった場合には、このペン書き記録と同感度で紙送り速度0.4cm/秒の長時間連続記録を利用した。

振動継続時間の読みとりにあたっては、初動の立ち上がりが見えれば記録だけを選んだ。振動終了の判定は、振動が初動到達以前の常時微動レベルに戻った時点とした。

振動継続時間とマグニチュードの関係は、観測点設置期間別に求めた。

1992(平成4)年までに完成したH観測点に対しては、気象庁が発表したデータを基準として係数AとBを求めた。

係数決定に用いた気象庁データの震央は、図2のとおりである。震源は、すべて50kmより浅い。地震数は105個で、 M_{jma} はおおよそ2から6の間に分布している。

最大マグニチュードは5.9、最小マグニチュードは1.4であった。

1992(平成4)年以後に増設または移転した4観測点に対しては、温泉地学研究所のMonkを基準として係数AとBを導いた。基準としたマグニチュードは1992(平成4)年までに完成した11観測点だけで決定された値(M_{onk})である。震源は神奈川県周辺で、深さ50km以浅とした。

基準としたマグニチュードは-1から4の間に分布している。

4. 結果および考察

1992(平成4)年までに完成した11観測点のF - P時間と気象庁マグニチュード(M_{jma})との関係を図3に示した。図4は1992(平成4)年以後に増設または移転した4観測点の結果である。ONK観測点の移設に伴うF - P時間とマグニチュードとの関係を、期間別に示した(図5)。図中の実線は、最小自乗法でもとめた係数AとBから描いた。係数値は、表1に記載した。F - P時間とマグニチュードとの相関はすべての観測点で良かった。

図3~5で求めた各観測点の係数AとBを用いて、マグニチュード (Monk) を再決定し、気象庁マグニチュード (Mjma) との相関を調べた (図6)。実線は、 $Monk = (Mjma)$ を示す。両者の差が1以上大きいものは、全体の約3%であった。Mjma ± 0.5 に収まったものは全体の約87%、±0.3以内は約69%となった。ほとんどのMonkは、気象庁マグニチュードによく適合していることがわかった。

次に、同一の地震に対するマグニチュード残差 (Monk - jma) を震源の位置で示した (図7)。震源は、温泉地学研究所で求めたものを用いた。神奈川県西部を中心

とした図7の範囲では、地震発生場所に対するマグニチュードの系統的な偏りは生じていなかった。ただし、残差が±1を越える地震は、観測点が少なかった時代に発生している。現在では、観測点が増設されているので解決済みの問題である。

一般に、マグニチュード算出の精度を高めるには、広域のデータが必要であると言われている (宇津, 1987)。

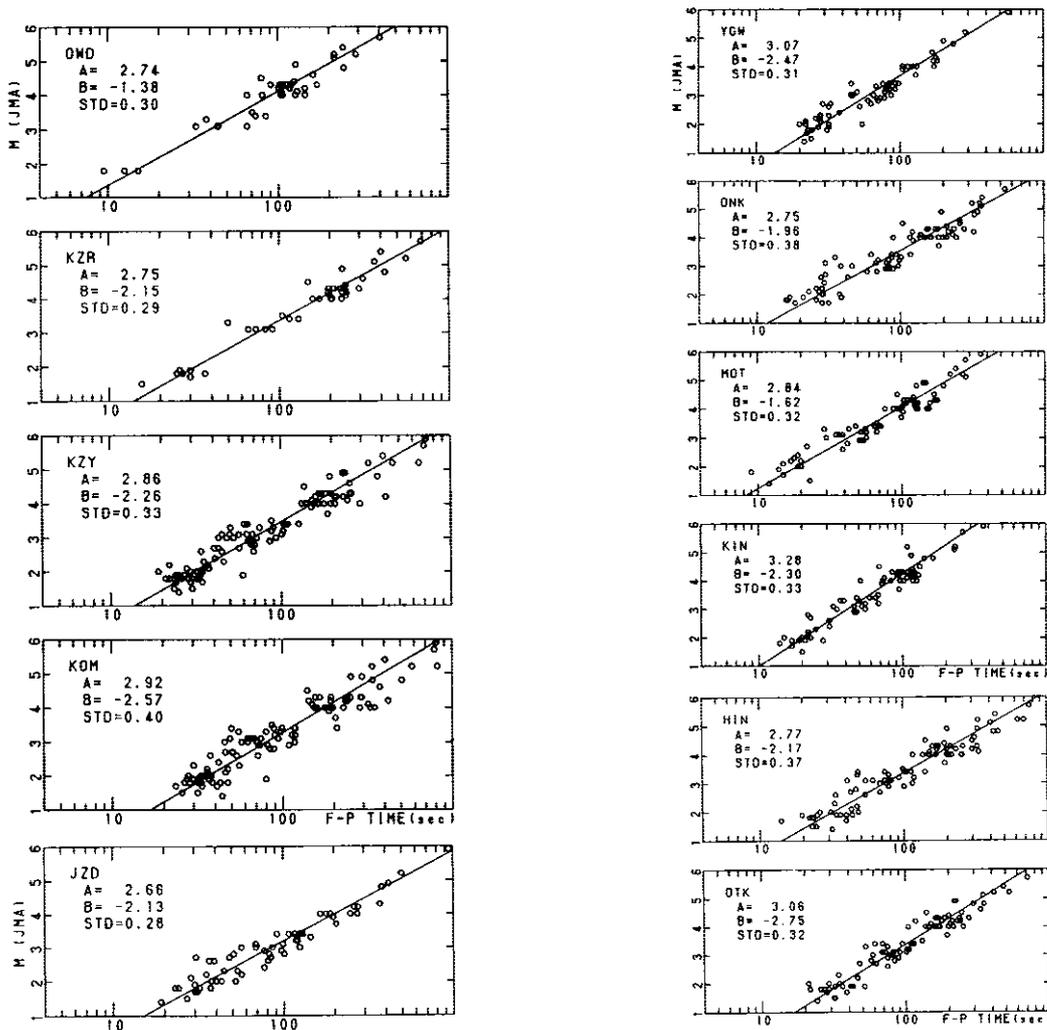


図3 F-P時間と気象庁マグニチュード(Mjma)との関係。これら11観測点は、1989(平成元)年から1992(平成4)年までに、観測を開始した。
Fig.3 JMA magnitude (Mjma) versus F-P time. 11 stations have been operating since 1989.

しかし、精度よくマグニチュードを求めた場合でも、宇津(1987)は±0.2程度、勝又(1993)は±0.3程度の誤差を含むと述べている。この誤差原因は、地震波が全方位に一樣に放射されないことや、各観測点の地盤条件が異なるためである。また、観測点の数や組み合わせによっても、マグニチュードの値は違ってくる。これらの要因が気象庁マグニチュードにも含まれているとすれば、今回得られた温泉地学研究所のマグニチュード算出精度は十分であると考えられる。

5. まとめ

1989(平成元)年4月に観測を開始した新地震観測網に対し、振動継続時間を用いてマグニチュード算出式の係数を決定した。その結果、各観測点の算出式は以下のとおりになった。なお、F-Pは振動継続時間を示し、単位は秒である。

日向	: $M_{f-p} = -2.17 + 2.771 \log(F - P)$
小塚山	: $M_{f-p} = -2.26 + 2.861 \log(F - P)$
湖尻	: $M_{f-p} = -2.15 + 2.751 \log(F - P)$
元箱根	: $M_{f-p} = -1.62 + 2.841 \log(F - P)$
湯河原	: $M_{f-p} = -2.47 + 3.071 \log(F - P)$
寄	: $M_{f-p} = -2.06 + 2.631 \log(F - P)$
大又沢	: $M_{f-p} = -2.12 + 2.661 \log(F - P)$
金時	: $M_{f-p} = -2.30 + 3.281 \log(F - P)$
大涌谷	: $M_{f-p} = -1.38 + 2.741 \log(F - P)$
駒ヶ岳	: $M_{f-p} = -2.57 + 2.921 \log(F - P)$
地蔵堂	: $M_{f-p} = -2.13 + 2.661 \log(F - P)$
塔の峰	: $M_{f-p} = -2.12 + 2.661 \log(F - P)$
岩倉	: $M_{f-p} = -1.62 + 2.631 \log(F - P)$
温地研	: $M_{f-p} = -2.03 + 2.921 \log(F - P)$

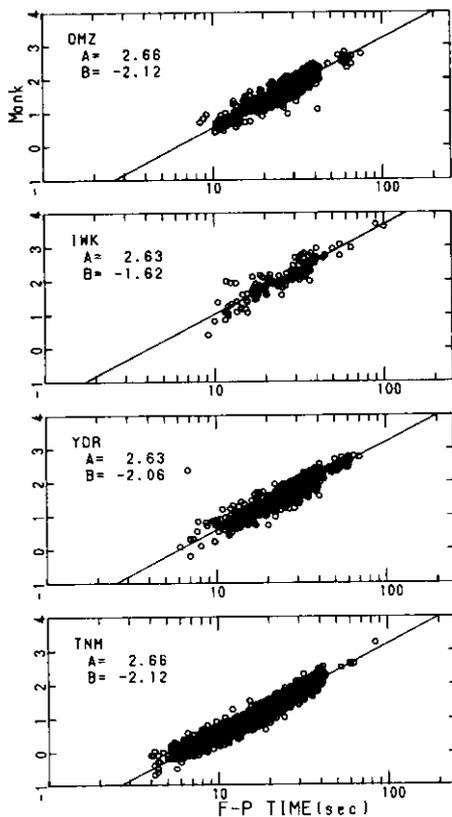


図4 F-P時間と温泉地学研究所マグニチュード(Monk)との関係。観測点は、1992(平成4)年以後に、観測を開始した。
Fig.4 Magnitude (Monk) calculated by the Hot Springs Research Institute versus F-P time. 4 stations have been operating since 1992.

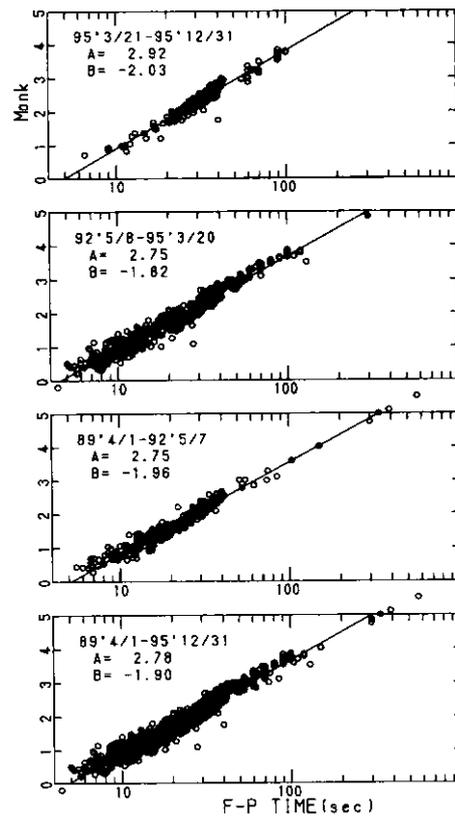


図5 ONK観測点移設に伴う期間別F-P時間と温泉地学研究所マグニチュード(Monk)との関係
Fig.5 Magnitude versus F-P time at ONK station.

この算出値を気象庁マグニチュードと比較検討した結果以下のことがわかった。

- (1) 各観測点の振動継続時間は、気象庁マグニチュードの大きさとよい相関を示した。
- (2) 温泉地学研究所マグニチュードのほとんどは、気象庁マグニチュードの ± 0.3 程度内に収まった。
- (3) 神奈川県西部地域内で発生した地震の分布に対して、現在の観測点分布で得られたマグニチュードには系統的な偏りはなかった。

参考文献

平賀士郎、伊東博 (1976) 箱根火山観測所における地震の振動継続時間とマグニチュードの関係, 神奈川県温泉研報告, Vo1.7, No.1, 11-18.

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.

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.

勝又護 (1993) 地震・火山の事典, 東京堂出版, 1-318.

永濱功治、角田寿喜、後藤和彦 (1992) 振動継続時間によるマグニチュード—南西島弧地震火山観測所における経験式—, 鹿児島大学理学部紀要, 25, 85-94.

津村建四郎 (1967) 振動継続時間による地震のマグニチュードの決定, 地震 2, 20, 30-40.

宇津徳治 (1987) 地震の事典, 朝倉書店, 1-568.

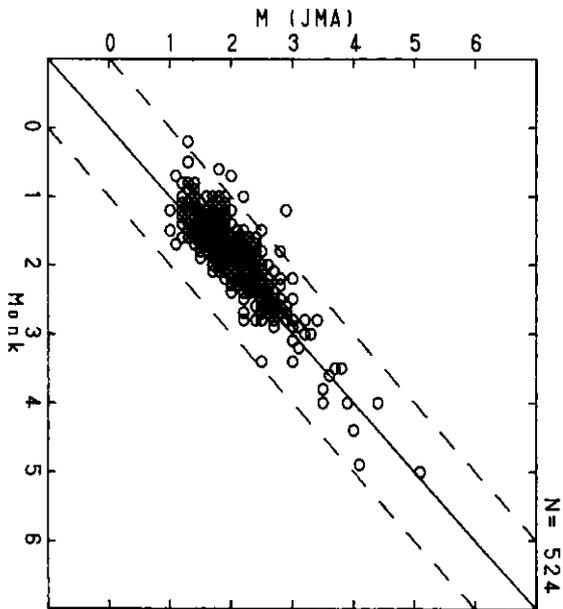


図6 マグニチュード(Monk)と気象庁マグニチュード(M_jma)との関係。実線は $Monk=M_jma$ 、点線は $Monk-M_jma=\pm 1$ の範囲を示す。
Fig.6 Relation between Monk and M_jma. The solid and broken lines show $Monk=M_jma$ and $Monk-M_jma=\pm 1$ respectively.

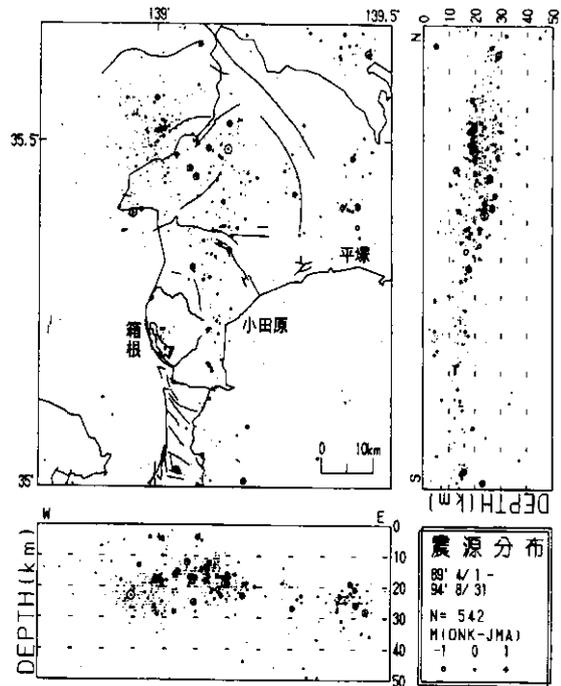


図7 マグニチュード残差(Monk-M_jma)分布
Fig.7 The distribution of magnitude residual(Monk-M_jma).