

気象庁速度マグニチュードの改訂について

舟崎 淳*・地震予知情報課

Revision of the JMA Velocity Magnitude

Jun Funasaki and Earthquake Prediction Information Division

(Received January 20, 2004 : Accepted February 13, 2004)

ABSTRACT

We introduce a new magnitude formula expressed in terms of the maximum amplitude A_z of the vertical component of velocity by

$$M_v = 1/0.85 \log A_z + B_v(\Delta, H) + C_v,$$

where $B_v(\Delta, H)$, called the attenuation function, represents a correction term depending on epicentral distance, Δ , and on the focal depth, H . The constant, C_v , depends on instrumental conditions of seismographs. The attenuation function is modified from Katsumata (2004) for short hypocentral distance.

The combination of the displacement magnitude and the velocity magnitude given in this special issue defines the new JMA magnitude scale, which has been effective since September 25, 2003. The new velocity magnitude scale has resolved essential problems in the old scale. Namely,

1. The new velocity magnitude shows appropriate attenuation with respect to hypocentral distance.
2. The velocity magnitude connects smoothly to the displacement magnitude.
3. The magnitude frequency distribution follows the Gutenberg-Richter relation.
4. Magnitude can be given to small earthquakes deeper than 60km.

1. はじめに

マグニチュード (以下, M と表現) は地震の規模を表す指標であり, 観測された地震の記録を用いて計算される. M の計算には, 地震計の種類や設置環境, 観測網の状況などに応じた様々な経験式が用いられている. その中で, 気象庁 M は約 80 年間にわたって一貫した方法で決定され, 日本の標準的な M として利用されている. 現在と過去の地震活動と比較し地震活動の長期的な変化を見たり, 工学的な基準を作る際のデータベースなどとして幅広く利用されている.

近年, 津波地震早期検知網の整備 (1994 から 1995 年) に伴い, 地震計の設置場所は従来の気象官署の敷地内 (多くは都市部) から, ノイズの少ない場所 (多くは山間部) に変更され, 観測環境が大きく変化した. このことにより, 気象庁 M の大きさに変化が生じた (上垣内, 2001). この問題は部内での調査 (例えば, 舟

崎ら, 1997 および 1998) の後に, 外部有識者による「気象庁マグニチュード検討委員会 (座長: 阿部勝征地震研究所教授)」で 2001 年 1 月から 4 月にかけて検討され, 観測網の変更に伴う補正を行うことが決定された. この委員会で主に検討されたのは, 変位振幅を用いる M (変位 M) であり, その計算式は勝間田 (2004, 本号) によって報告されている. 勝間田 (2004) による変位 M は, 浅い地震に関しては, 基本的に従来から用いられてきた変位 M (坪井 M , 坪井 (1954)) を継承するものであり, 実際に得られる両者の値にもほとんど差がない. 委員会では, この勝間田による変位 M を新しい変位 M (以下, 新変位 M と呼ぶ) とすることが決められた.

一方, より小さな地震に対しては, 1970 年代後半から導入された速度記録型地震計の速度振幅に基づく M (速度 M) が次の (1) 式により従来計算されてきた (神

* Volcanological Division 火山課

林・市川, 1977; 竹内, 1983).

$$M_v = \log A_z + 1.64 \log \Delta + \alpha \quad (\Delta \leq 700 \text{ km}) \quad (1)$$

ここで, M_v は速度 M , A_z は上下動成分記録の最大振幅 (単位は, 10^{-5} m/s), Δ は震央距離 (km), α は 0.22 (EMT 型, E93 型地震計の場合), または 0.44 (EMT76, 海底地震計の場合) である. 変位 M は比較的大きな地震で用いられ, 速度 M は比較的小さな地震で用いられていた.

ところが, 速度 M については変位 M との整合性など, これまでにいくつかの問題点が指摘されてきた (たとえば, 吉岡, 飯尾, 1988, など). このことは, 特に, 1997 年 10 月からの大学や防災科学技術研究所等の地震観測網データを用いた一元化業務の開始などにより, 従来よりも小さな地震活動まで捉えられ, 多くの地震のデータが蓄積されるようになるに伴い, 解決を急がなければならない問題となってきた. このため, 気象庁マグニチュード検討委員会では, 速度 M の改訂もあわせて行うことが決定された.

Katsumata(2004)は, 一元化以前のデータを用い, この速度 M の問題に対応するため新変位 M に接続する新しい速度 M の表現式を提案している. そこで, 本論文では, まず, 解決すべき速度 M の問題点を 2 節でまとめた後, 次の 3 節で Katsumata(2004)による速度式の検討を主に一元化後のデータを用いて行い, どの程度それらの問題点が解決されているかを吟味した上で, Katsumata(2004)を微修正した式を提案する. そして 4 節では, その修正した Katsumata の式が 2 節で述べる問題点を解決していることを示す.

2. 従来の気象庁速度 M の問題点と改訂の条件

従来の気象庁速度 M については, 下記のような問題点が指摘されてきた (たとえば, 吉岡・飯尾, 1988; 柿下・他, 1992, など)

- 1) 平均速度 M と平均変位 M ¹⁾ の接続性が悪い. およそ M 4 以下では, 平均速度 $M >$ 平均変位 M となるが, M 4 以上では, 平均速度 $M <$ 平均変位 M となって, M に依存する偏差がある (図 1).

- 2) 規模別度数積算図 (G-R 図) では, 検知能力以上の M で分布が直線になることが知られているが, 従来の気象庁 M (速度 M および変位 M) では, 速度 M と変位 M の接続部分に当たる M 4 付近で分布に不自然な折れ曲がりが見られる (図 2).

- 3) M 計算式の距離減衰項が適切でなく, 震央距離に依存した観測点毎の M の偏差がある (図 3).

- 4) 速度 M の計算式が定義されているのは震源の深さが 60km まで²⁾ なので, 60km より深い地震について, 速度 M が決定されない.

これらの欠点を含まない新しい速度 M 式を次節以降で検討する.

なお, 新しい式の条件としては, 実際の作業量を考えると波形レベルまで遡って検測をやり直すのは不可能であるので検測値から計算可能なこと, また, 全国の地震に一律に適用可能なこと, があげられる.

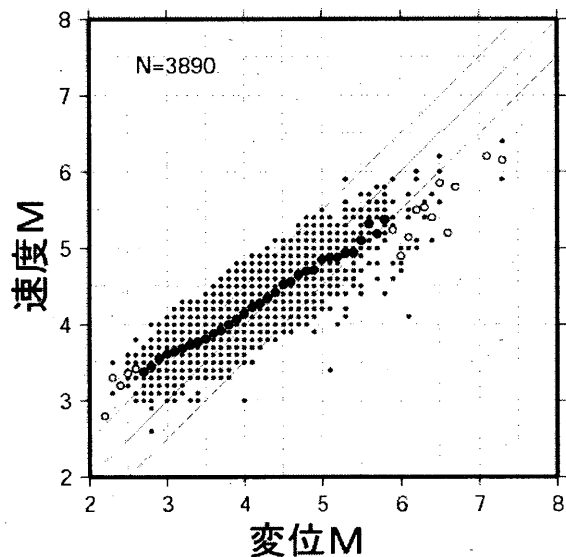


Fig.1 Comparison of velocity magnitude with displacement magnitude in the old JMA magnitude scale for Oct., 1997 to May, 2003. Each small dot represents the magnitude of each event. Closed circles mean the average of velocity magnitude for the case that the number of event samples is equal to or more than 10, and open circles do for the case of less than 10.

1) 「観測点 M 」は各観測点での振幅と震央距離、震源の深さから計算されるもので、用いる振幅の種類により、観測点変位 M あるいは観測点速度 M と呼ぶ。「平均 M 」は、各「観測点 M 」を平均したもので通常の M に相当する. 本文で特に「観測点 M 」としないかぎりは, M は「平均 M 」を指す.

2) 1997 年 10 月の一元化業務の開始以降は, 暫定的に深さ 90km までに適用していた.

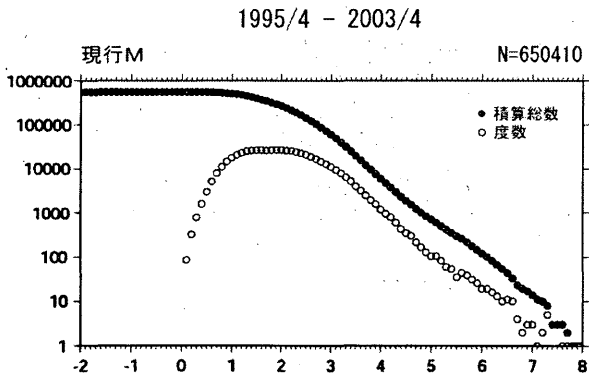


Fig.2 Gutenberg-Richter relation in the old magnitude scale, estimated from the data of April, 1995 to April, 2003. Open circles represent the frequency and closed circles represent the cumulative total.

3. 新しい速度 M の導入の検討

3.1 変位 M と速度 M の接続

2節の1)の問題点を解消するためには、新速度Mが変位Mになめらかに接続する必要がある。ここで、新速度Mに接続する変位Mとしては、「平均変位M」と「観測点変位M」の2通りが考えられるが、補録1に示すように、ダイナミックレンジの制限から、この接続に観測点Mを用いるのは必ずしも適当ではない。そこで、新速度Mと変位Mの接続は、観測点Mではなく、平均の変位Mとすることにし、速度Mの表現式を組み立てる。

3.2 Katsumata (2004) 式の検討

Katsumata (2004) は、平均変位Mを平均速度Mと比較することにより、2節での問題点を解決する速度Mの表現式として、

$$M_k = 1 / 0.85 \log Az + B_k(\Delta, H) \quad (2)$$

を提案している。ここで、Hは震源の深さ、 B_k は、 Δ とHの関数である。速度振幅項の係数は、渡辺による速度M計算式(渡辺, 1971)と同一の1/0.85である。距離減衰項 B_k は、平均速度Mが平均変位M(新変位M)に一致するように、4次B-スプライン関数を用いて表現されている。(2)式は震源の深さが0~700kmまでの地震について、適用可能である。

(2)式の導入により2節であげた問題点のうち、1), 2), 4)はほぼ全面的に解決された(Katsumata, 2004, 及び次節を参照)。ただし、3)に関しては、Katsumata (2004)で得られた平均Mと観測点Mの差を震央距離の関数として調べてみると、近距离の浅い地震に対して、距離依存性がある(図4)。この偏差は、Katsumata (2004)が距離減衰項の決定のために使用したデータに近距离のものが十分になかったため、近距离の地震について B_k の制約が十分では無いことに起因すると考えられる。このような距離依存性が存在することは、用いる観測点の距離によってMにも差が生じることになり、適当ではない。

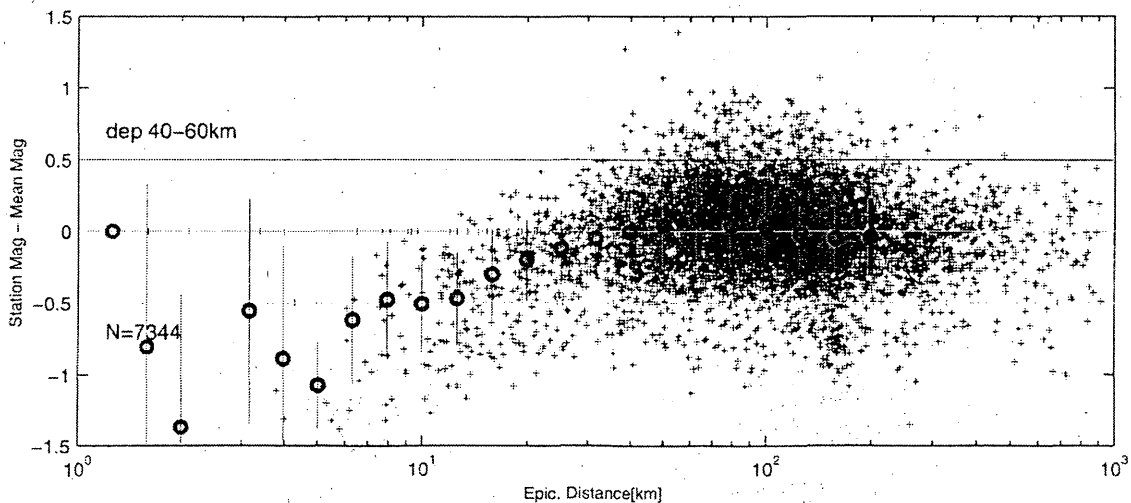


Fig.3 Epicentral distance dependence of old velocity magnitude. Vertical axis represents the deviation of station magnitude from averaged magnitude. Open circle means the average of the difference.

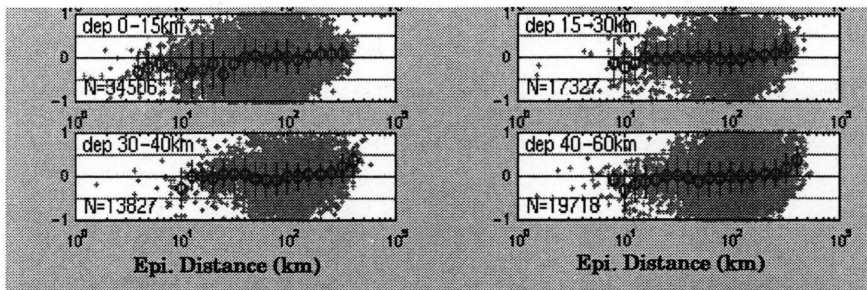


Fig.4 Epical distance dependence of Katsumata's(2004) velocity magnitude for some depth ranges. Vertical axis represents the deviation of station magnitude from average velocity magnitude.

3.3 Katsumata (2004) の修正

Katsumata (2004) に見られた近距離での距離依存性を修正することを試みる。

大学などの気象庁以外の機関では速度Mとして渡辺(1971)による式が採用されていることが多い。柿下ら(1992)によると、渡辺速度Mは、気象庁の変位Mに比べ定数項分だけ大きくなるが、M依存性はあまりない。その定数項に距離依存性が見られないことから、渡辺速度M式の距離減衰項が妥当であることが推定される。そこで、Katsumata (2004) で問題となった震源が浅い近距離の場合に限り、Katsumata (2004) の距離減衰項の表現を渡辺Mの表現に漸近させて(20km以浅、震央距離 20km 以内で渡辺速度Mの距離減衰とし、深さ 20~70km、震央距離 20~40km で勝間田速度Mになめらかに接続させる。)、かつ、定数項は試行錯誤により与え、Katsumata (2004) で近距離の場合に見られた距離依存性が改善されているかどうかを調べた。その結果、定数項として 0.3 を用いたところ、近距離での距離依存性はほとんどみられなくなることがわかった(図5)。そこで、これを新速度Mの候補として考えることにする(以後、修正勝間田速度Mとよぶ)。

なお、この修正勝間田速度Mは、

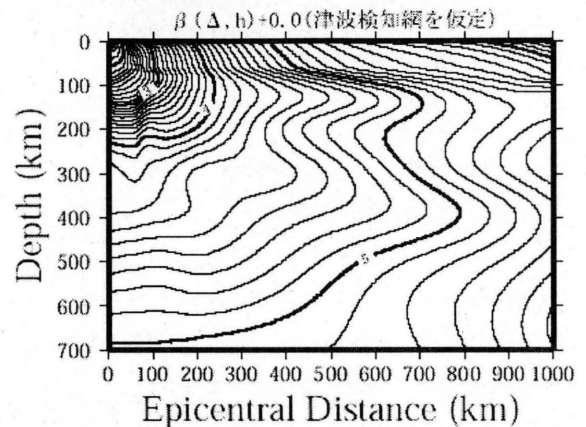


Fig.6 $B_v(\Delta, H)$, where Δ , H are epicentral distance and focal depth, respectively.

$$M_v = 1 / 0.85 \log A_z + B_v(\Delta, H) \quad (3)$$

で与えられ、 $B_v(\Delta, H)$ は、 Δ , H で与えられる距離減衰項で図6に示す通りである。

4. 議論

修正勝間田速度Mでは、深さ 700km までの地震について求めることができるので、2節の4)の問題は解決されている。この節では、1)から3)の問題点が解決されたかどうかを吟味する。

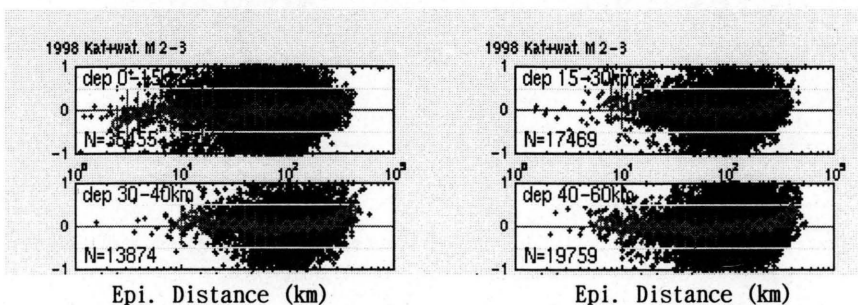


Fig.5 Same as Figure 4, but for modified Katsumata's velocity magnitude which is proposed in this paper.

4.1 修正勝間田速度Mと新変位Mの接続

修正勝間田速度Mと新変位Mとの比較を図7に示す。ここでは、新変位Mは、定義によって観測点震央距離が30~2,000kmのデータを用いて計算され、全観測点の観測点Mを平均値と比べ、0.5以上の差がある地点を除いて、標準偏差が0.35未満の場合に変位Mが採用される。勝間田速度Mの計算条件は、震央距離5~700kmまでの観測点の速度振幅データを用い、変位Mと同様に、仮平均から0.5以上はなれた地点を除き、標準偏差が0.35未満の場合に採用しており、同条件を修正勝間田速度Mでも用いる。なお、これらの平均Mの計算条件は、従来の気象庁Mの平均計算と同一方法である。図7を従来の気象庁速度M式による速度Mと変位Mとを比較した図1と比べると、図7の修正勝間田速度Mは、新変位Mとの整合性が改善されていることがわかる。なお、この修正勝間田速度M、従来の気象庁速度Mの両方とも、センサー埋設等の設置条件による影響がでないように、地上設置点だけで速度Mを計算したものである(以下、同様に地上設置点だけでM計算をしている)。

なお、図8は修正勝間田速度Mと新変位Mの接続を深さ別に見たものである。深い地震についても、修正勝間田速度Mと新変位Mの整合性は確保されている。

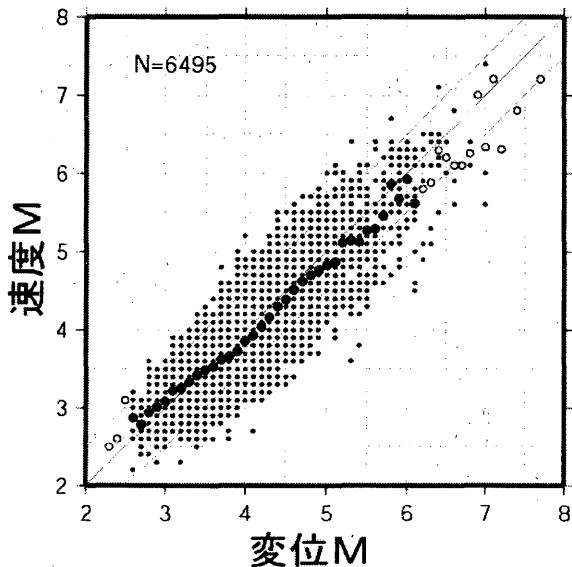


Fig.7 Same as Figure 1, but for modified Katsumata's velocity magnitude which is proposed in this paper.

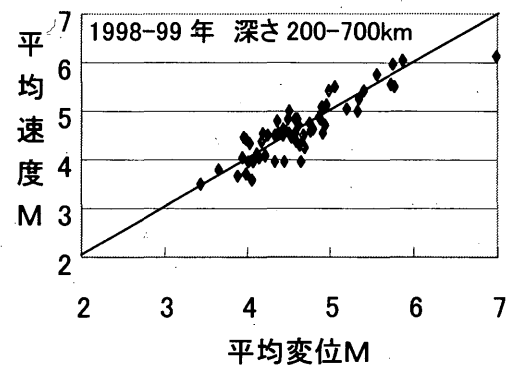
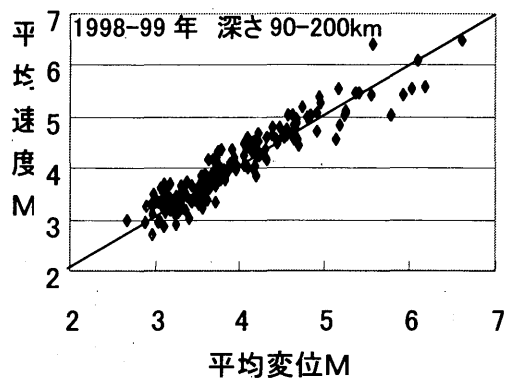
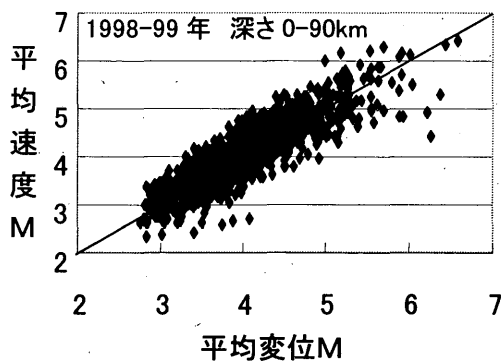


Fig.8 Comparison of mean displacement magnitude with mean velocity magnitude for some depth ranges.

4.2 規模別度数積算図の直線性

修正勝間田速度Mを用いた場合の規模別度数積算図(G-R図)を図9に示す。図2に示す従来の気象庁速度Mのものは、速度Mと変位Mとの接続が悪いため、M4の後半でグラフに折れ曲がりが見られたのに対して、図9の修正勝間田速度Mの場合にはそのような折れ曲がりは見られず、G-R式への適合性は改善されている。

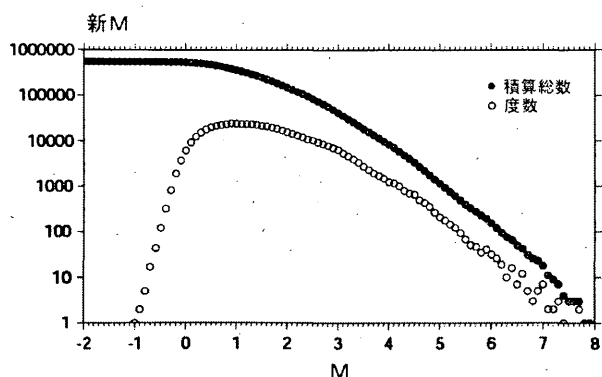


Fig.9 Same as Figure 2, but for modified Katsumata's velocity magnitude which is proposed in this paper.

4.3 距離減衰項

修正勝間田速度Mについて、距離減衰項の妥当性をみるため、観測点毎の修正勝間田速度Mと、全観測点の平均をした平均速度M（通常の地震のMをさす）の差をとり、震央距離に対する偏差を調べた。図 10 は、横軸に震央距離をとり、縦軸に観測点修正勝間田速度Mと平均修正勝間田速度Mの差をプロットしたものである。距離減衰係数が適正であれば、いろいろな震央距離にある各観測点での「観測点M-平均M」は、0 付近に分布するはずである。偏差のばらつきは±1 程度あって、大きいものの、0 付近に集中的に分布しており、震央距離に依存する、顕著な偏差の傾向はみられない。従来の気象庁速度M式に対する同様の図は図 3 であるが、この図 3 と比べると震央距離の依存性が改善されている様子がわかる。

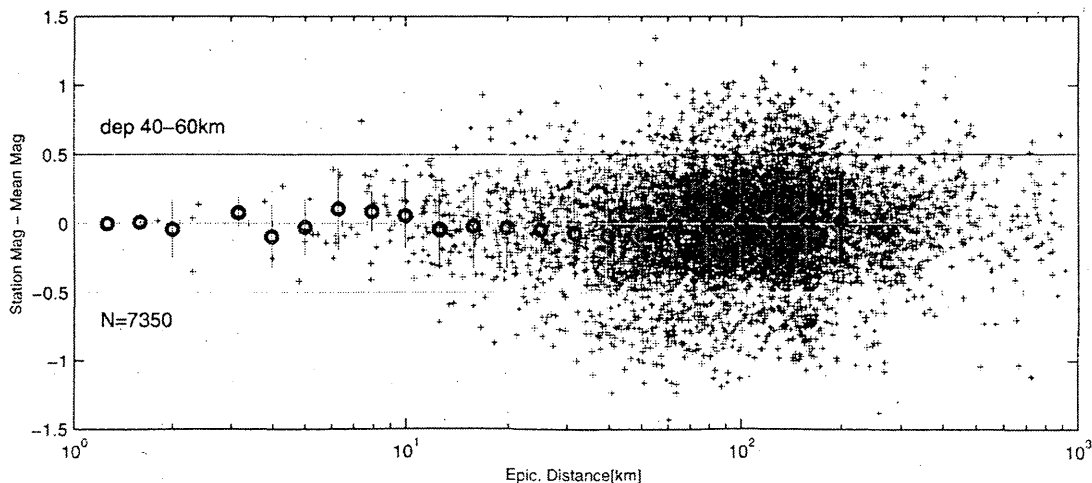


Fig.10 Same as Figure 3, but for modified Katsumata's velocity magnitude which is proposed in this paper.

5. まとめ

気象庁の変位振幅によるMについては、新しい方式の採用が決定された。この新しい変位Mに接続する、新速度Mの候補として、Katsumata(2004)による速度Mについて、その妥当性を調査した。その結果、勝間田速度Mは、近距離のところでの距離減衰項を修正することにより、従来の気象庁速度Mのもつ問題点を解消でき、新速度Mとして適当であることがわかった。

なお、速度Mでは、地震計の設置状態（地表か、埋設かなど）により、観測点Mに系統的な差が生じる。気象庁の地震計でも設置条件が異なるものがあるが、他機関の場合には特に、地表、ポアホール、横穴など様々である。このため、観測点種別に応じて、補正値を導入することにした。補録 2 には、気象庁だけでなく他機関の地震計の補正値もあわせて記す。

最後に、2003 年 9 月 25 日に気象庁Mの改訂が行われた。そこで採用された速度Mは、本論文で報告した修正勝間田速度Mである。

$$M_v = 1 / 0.85 \log A_z + B_v(\Delta, H) + C_v \quad (4)$$

ここで、 $B_v(\Delta, H)$ は、図 6 に示す通りで、また、 C_v は、観測点種別に応じた補正項で補録 2 に示す通りである。

謝辞

本報告の作成にあたっては、気象大学校の勝間田明男博士、気象研究所の濱田信生研究部長、そして望月英志元地磁気観測所長をはじめ気象庁部内の検討チームでの議論が大変参考になった。吉田明夫地磁気観測所長には多忙中のところ丁寧に原稿を読んで頂いたのをはじめ多くの有益なコメントいただいた。記して感謝します。この論文の解析の一部には、気象庁・文部科学省が協力してデータ処理した結果を用いた。その処理には、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、独立行政法人防災科学技術研究所、独立行政法人産業技術総合研究所、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市、海洋科学技術センター及び気象庁のデータが用いられている。以上の関係者、関係機関に感謝します。

参考文献

- 柿下毅, 笹川巖, 小林正志, 永井章, 浜田信生(1992): 気象庁 87 型電磁式強震計記録を用いた気象庁マグニチュード決定式の評価, 地震 2, 45, 263-277.
- 勝間田明男(2004): 気象庁変位マグニチュードの改訂, 験震時報, 67(本号), 1-10.
- 上垣内修(2001): これからの気象庁マグニチュード, 地震ジャーナル, 31, 59-67.
- 神林幸夫, 市川政治(1977): 気象庁 67 型地震計記録による近地地震浅発地震の規模推定について, 験震時報, 41, 57-61.
- 竹内 新 (1983): 気象庁 76 型地震計によるマグニチュードの決定, 験震時報, 47, 112-116.
- 坪井忠二(1954): 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, 7, 185-193.
- 舟崎淳, 勝間田明男, 望月英志(1997): 気象庁マグニチュードの検討について, 地震学会大会予稿集, C02.
- 舟崎淳, 望月英志, 吉田明夫, 勝間田明男(1998): 気象庁マグニチュードの検討について(その2), 地球惑星科学関連学会合同大会, Sa_01220019yz_7
- 吉岡克平, 飯尾能久(1988): 1 Hz 速度型地震計に対するマグニチュードの式の再検討, 地震 2, 41, 112-116.
- 渡辺晃, (1971): 近地地震のマグニチュード, 地震 2, 24, 189-200.
- Katsumata, A. (1999): Attenuation function of displacement amplitude for magnitude calculation., Pap. Meteor. Geophys., 50, 1-14.
- Katsumata, A.(2004): Magnitude determination of deep-focus earthquakes in and around Japan with regional velocity-amplitude data (2), Pap. Meteor. Geophys., in preparation.

補録 1 変位Mと速度Mの接続

津波地震早期検知網の整備により、速度振幅と変位振幅の両方が同一の気象庁観測点で得られるようになった。このため、変位Mと速度Mの接続法として、観測点Mを基準とするものと平均Mを基準とするものの2通りが考えられる。すなわち「観測点速度M=観測点変位M」、あるいは「平均速度M=平均変位M」の2方式である。Katsumata(2004)では「平均速度M=平均変位M」方式を採用している。

本来、平均Mは観測点Mを平均したものであるため、両方式は等価のように思われるが、実際に両者を比較してみると、分布に差が生じる(観測点速度Mと観測点変位Mの比較を図A1に示すが、これは平均速度Mと平均変位Mとの比較を示した図7と傾向が異なる)。これは、変位Mと速度Mの両方が求まるような大きな地震(概ねM3後半から4の前半)について、次のようなことがあるためと思われる。

- 1) 速度振幅は震央距離が小さなおとこではデータが少なく、100km以遠で多くのデータが得られている。平均速度Mは、それらの多くのデータの平均として算出されている。
- 2) これに対して、変位振幅、速度振幅の両者が得られるような観測点は、概ね震央距離40-50kmから300km程度のものに限られる。
- 3) 観測点速度M、観測点変位M両方のあるデータについて、観測点速度Mと平均変位Mとの差をみると、震央距離100~200kmよりも遠いところでは、観測点速度Mは平均変位Mよりも大きめのものが多く、差が負になるものが欠落したような形になっている(図A2)。

以上のことから、速度Mが検出できる振幅範囲と、変位Mが検出できる範囲が一致していないためと思われる。個々の観測点で観測点速度Mと観測点変位Mの両方ある場合だけを取り出したのでは、振幅データの分布に偏りが生じていると考えられる。観測点速度Mが得られている震央距離の大きな観測点で、変位Mが得られていないことから、このような観測点では、変位振幅がノイズに埋もれてしまい、変位Mが検出出来ないためと推測される。

このことを確かめるため、マグニチュードの大きな地震に注目し、観測点速度Mと観測点変位Mを比較することを試みる。しかし、このようなマグニチュードの大きい地震の場合、通常の処理で報告されているデータには、速度振幅が振り切れてしまい観測点速度Mが検出されていないことが多い。そこで、データの少ない観測点速度Mを増やすため、ダイナミックレンジの広い加速度波形を積分することで速度波形を作り、擬似的に観測点速度Mを検出することを考えた。津波地震早期検知網の各観測点は、速度波形を得るための速度センサーと、(2回積分をおこなうことで)変位波形を得るための加速度センサーがあるが、速度波形が振り切れた場合でも、加速度波形は振り切れていない場合が多い。こうして検出されたマグニチュードの大きな地震の速度振幅をもとに、観測点速度Mと観測点変位Mを比べると、図A3のように、通常処理の検出で得られている速度振幅だけを用いた場合よりも、「観測点変位Mと観測点速度M」の整合性が、改善されている。このことは、ノイズレベルよりも十分に大きな振幅が得られる条件では、勝間田速度Mは、観測点毎の変位Mとの比較においても、整合性がとれているこ

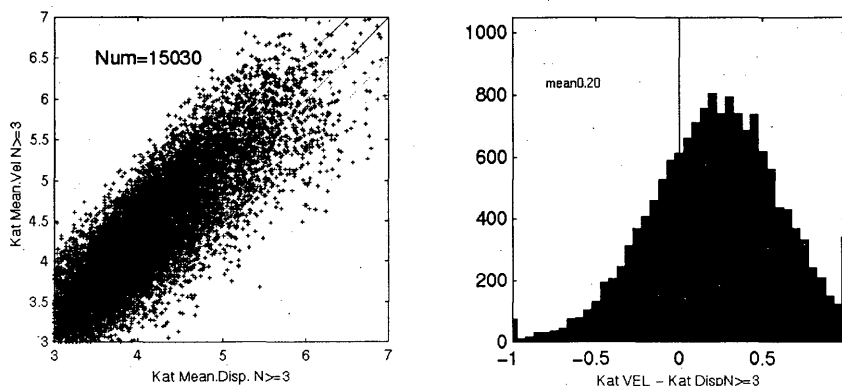


Figure A1 Left: Comparison of station velocity magnitude estimated from Katsumata's (2004) expression with station displacement magnitude from Katsumata (2004). Right: Frequency of the deviation of station velocity magnitude from station displacement magnitude.

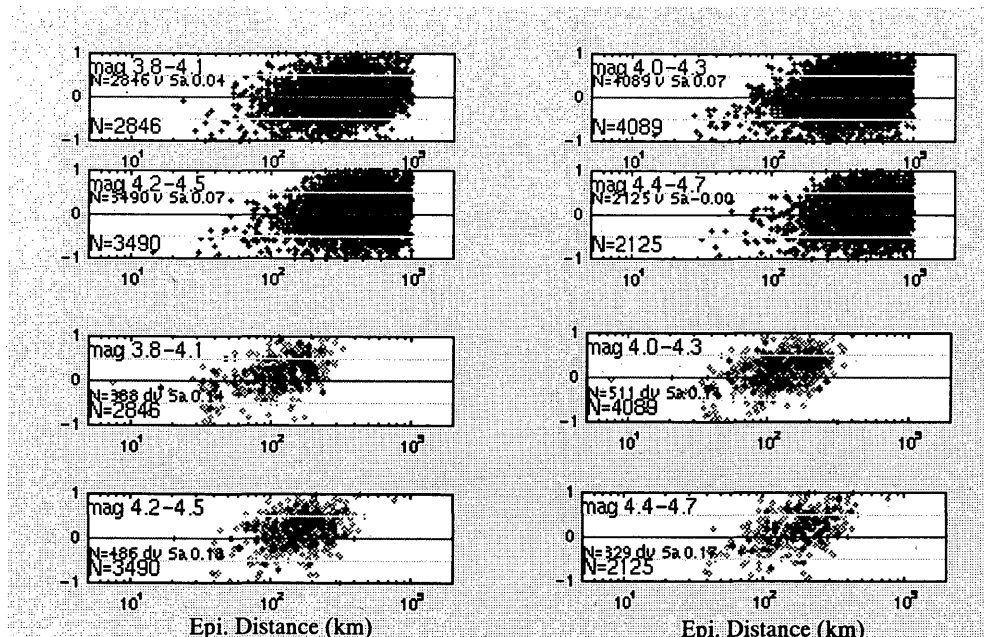


Figure A2 Epicentral distance dependence of Katsumata's(2004) velocity magnitude for some magnitude ranges. Vertical axis represents the deviation of station magnitude from displacement magnitude. The upper four figures are for stations where only velocity magnitude is reported, and the lower four figures are for the stations where both velocity and displacement magnitudes are reported.

とを示している。すなわち、「観測点速度M=観測点変位M」も成立していることが推定される。

以上のような理由から、新速度Mの変位Mとの接続は、観測点変位Mではなく平均の変位Mとすることを適当と考えた。

補録2 他機関観測点の設置条件による補正值について

防災科学技術研究所のHi-net等の他機関観測点では、地震計センサーがボアホールに埋設、あるいは、横穴に設置してあるものがある。埋設されている地点では、地上に設置してある観測点とくらべ、速度Mが小さく

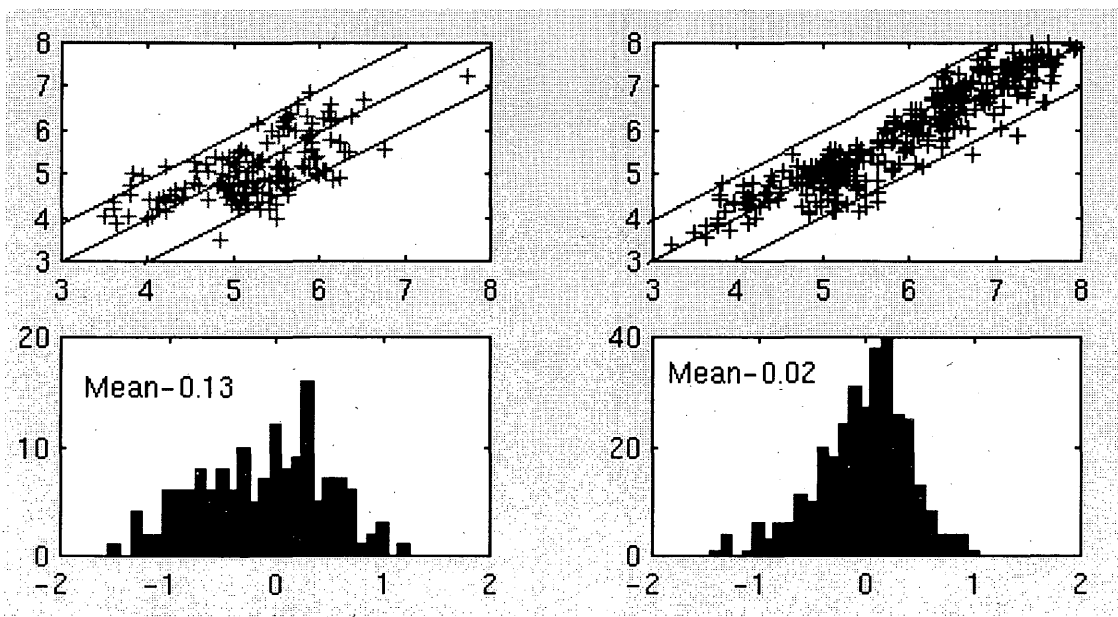


Figure A3 Same as Figure A1, but (left) the magnitudes are estimated using amplitude data of routine analysis for events of $M \geq 5.0$ of 1998 to 2001. (Right) using new velocity magnitude, which is estimated from integrals of acceleration seismogram.

なる傾向がある。気象庁の地震計では、埋設点（たとえば、気象庁 76 型地震計の場合）の補正值は、+0.22 になっている。

今回、地上設置点である、気象庁検知網の観測点データで計算された平均速度 M を基準と考え、設置条件別に観測点ごとの速度 M の偏差を求め、この値を設置条件による補正值とした。偏差を求めるには、全国の観測点について、観測点設置条件別に「観測点速度 M - 平均速度 M （地上設置点のみで計算した平均速度 M ）」を集計し、それを平均することで、その設置条件にたいする観測点補正とした（ここで検討したのは観測点種別の補正值であり、個々の観測点での補正值についての検討は今後の課題である）。

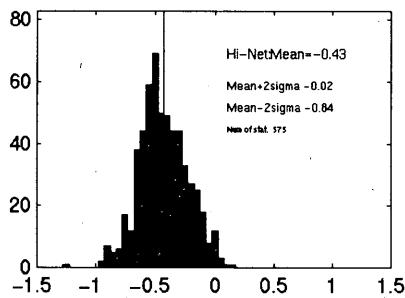
図 A 4 に、観測点の設置条件別に「観測点速度 M - 平均速度 M （地上設置点のみの平均速度 M ）」のヒストグラムを示す。図は全国の観測点について集計しており、震源の深さについては制限をつけていない。代表的な設置条件別の観測点補正值は下記のとおりである。

1995 年（検知網整備後）の期間について

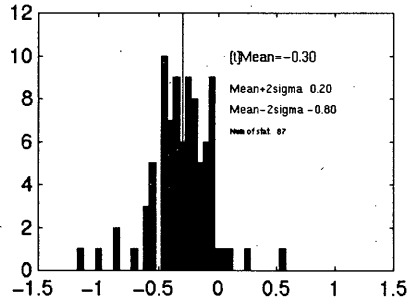
防災科研 Hi-net 観測点	+0.43
Hi-net 以外の関係機関の埋設置点	+0.48
関係機関の横穴設置点	+0.30
関係機関の地上設置点	+0.12
関係機関の海底地震計	+0.11

なお、1995 年以前の地震計については、下記のような観測点補正值となった。1995 年以前についても、気象庁の地上設置の地震計だけで計算した速度 M を基準とした。

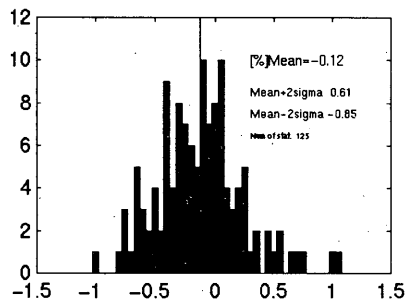
67 型対数圧縮アンプ	-0.02
隔測型埋設	+0.29
構内埋設対数圧縮アンプ	-0.11
構内地上設置	-0.02
海底地震計	+0.47
構内埋設	+0.50
隔測地上置（津波地震早期検知網以外）	+0.03



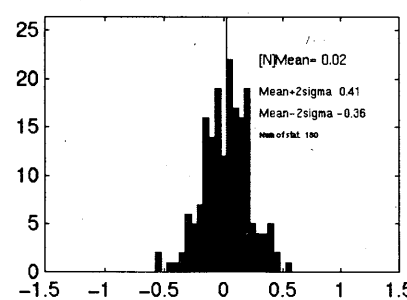
(a)



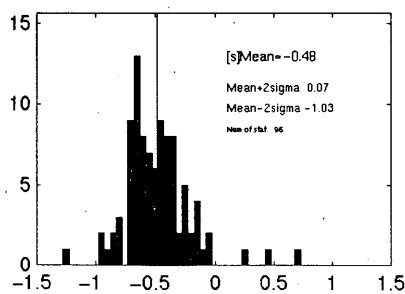
(d)



(b)



(e)



(c)

Figure A4 Frequency of the deviation of station velocity magnitude from average magnitude for some different station conditions: (a) Hi-net of National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, (b) stations whose sensors are installed on ground except for JMA stations, (c) stations whose sensors are installed in borehole except for Hi-net, (d) stations whose sensors are installed in horizontal vault except for JMA stations, (e) JMA stations whose sensors are installed on ground.