

## 最大振幅推定の区間長がP波マグニチュードに及ぼす影響

Effect of window length for maximum amplitude estimation on P wave magnitude

干場充之<sup>1</sup>, 岩切一宏<sup>1</sup>, 大竹和生<sup>1</sup>

Mitsuyuki HOSHIBA<sup>1</sup>, Kazuhiro IWAKIRI<sup>1</sup> and Kazuo OHTAKE<sup>1</sup>

(Received July 17, 2009; Accepted October 8, 2009)

**ABSTRACT:** The formula of P wave magnitude used in Earthquake Early Warnings (EEW) of Japan Meteorological Agency was determined from a data set of maximum displacement amplitude measured between P wave and S wave onset time. In the actual application of the formula for EEW, however, the estimation of maximum amplitude is performed even before the arrival of S wave. Because the time window of actual estimation of maximum amplitude is shorter than the S-P time, the estimated maximum amplitude is usually an underestimate, as compared with that of the whole time window of the S-P time. We investigate how large this underestimation is, depending on the time window length. When the time window is 0.7 times the S-P time, magnitude is underestimated by 0.15, and when it is 0.5 times the underestimation is 0.28. Because the short time window introduces an underestimation of magnitude, the application of a short time window should be used only for areas where hypocentral determination is inaccurate.

### 1 はじめに

緊急地震速報は、地震災害の軽減を目指して、2007年10月からその本格的な運用が始まった (Hoshiba et al., 2008; Kamigaichi et al., 2009)。緊急地震速報では、震源に近い観測点で得られた地震波形を迅速に解析し、その解析結果をもとに、各地の震度を予測するものである。気象庁の処理では、マグニチュード (以下、M) を求め、距離減衰式、地盤増幅度から震度を予測し、時間の経過とともにその処理を繰り返している。迅速かつ精度のよいMの決定は、緊急地震速報にとって、重要な要素である。現在の緊急地震速報におけるMの決定は、それぞれの観測点で、P波の着信とS波の着信の間の最大変位振幅から求める「P波M」と、波形全体の最大変位振幅から求める「全相M」を独立に推定し、早い段階ではP波Mを、時間が経過した段階では全相Mを用いている (中村, 2007; 気象庁地震火山部, 2008)。実際の運用におけるP波Mの計算では、震源決定に誤差があることを考慮し、S波の大振幅をP波Mとして計算することを防ぐため、P波の着信から理論S-

P波時間の1.0倍の区間ではなく、0.7倍の区間までの最大振幅を用いてMを推定している。

通常の験測におけるMの推定と、緊急地震速報におけるMの推定が異なる点はいくつかあるが、そのうちの1つが、験測に用いる時間幅の違いである。通常の験測では、最大振幅の出現から十分時間が経ってから験測するので時間幅を意識することなく最大振幅を求めるが、緊急地震速報では“その瞬間”までの限られた時間幅の中での最大振幅を求めている (さらに、P波Mについては、「S波の着信まで」という時間幅の制約がある)。干場・他 (2009) は、震源距離が100kmまでの近距離の波形記録を解析し、P波の着信とS波の着信の間で変位振幅が最大になるのは、Mが5程度地震でも、P波着信の直後 (S-P時間の前半) よりも、むしろ、S波着信の前 (S-P時間の後半) であることが多いことを報告している。このことは、早い区間から求めるP波Mは過小評価になる可能性を示唆している。また、Mが5程度の地震でもこの傾向が見られることから、この最大振幅の遅れる理由は、震源での破壊の継続時間

<sup>1</sup> 気象研究所地震火山研究部, Seismology and Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute

の影響というよりも伝播の影響やフィルター特性等の解析の処理による影響であることを示している。

緊急地震速報の警報が発表された最初のイベントは 2008 年 4 月 28 日の宮古島近海で発生した地震(M 5.2)である。この地震では、緊急地震速報(警報)の発表時点では、M6.9 と過大評価し、これに伴い、震度も過大に予測する結果となった(気象庁, 2009)。この過大評価の理由は、P 波Mを求める区間に S 波が混入していたためである(気象庁, 2009)。島しょ部ゆへの観測点配置の制約による震源決定の誤差により、真の震源よりも遠い場所に震源を推定し、このため「S 波がまだ到着していない」と判断した区間で既に S 波が着信していたためである。震源距離の過大評価とともに、最大振幅を過大評価し、その結果、M が過大となった。

この宮古島近海の地震での M の過大評価を解消するために、従来は P 波の着信から理論 S-P 時間の 0.7 倍の区間での最大変位振幅を用いたものをさらに縮め、理論 S-P 時間の 0.5 倍の区間から求めることが検討された。しかし、上記のように、早い区間だけから求める M は過小評価になりやすい。震源決定の誤差の問題がない場合には、M を過小評価する可能性がある。

そこで、P 波Mを求める区間を縮めると、どの程度、M 推定に影響するのかについて調査した。本解析では、この最大振幅推定の区間の長さが P 波M 推定に及ぼす大きさについて報告する。

## 2 データ

震源要素は、気象庁一元化震源カタログを用いた。また、地震波形記録は、2002 年から 2008 年までの防災科研 KiK-net の地表観測点の波形データを利用した。KiK-net の記録は加速度であるが、これを強震観測報告 2007 (気象庁, 2008, 一部式の訂正は 2009 年)にある 1 倍強震計相当の周波数特性に変換するフィルターを通し、変位記録を求めた。このフィルターは、因果律を満たすフィルターである。さらに、3 成分合成波形を求め、これから最大振幅を推定した。この最大変位振幅の求め方は、現在、気象庁の緊急地震速報で用いている方法と同じである。

通常、S 波の着信の前後で、地震波の振幅は大きく変化する。この解析では、P 波の着信から S 波の着信の直前までの最大振幅を求めるが、その区間で

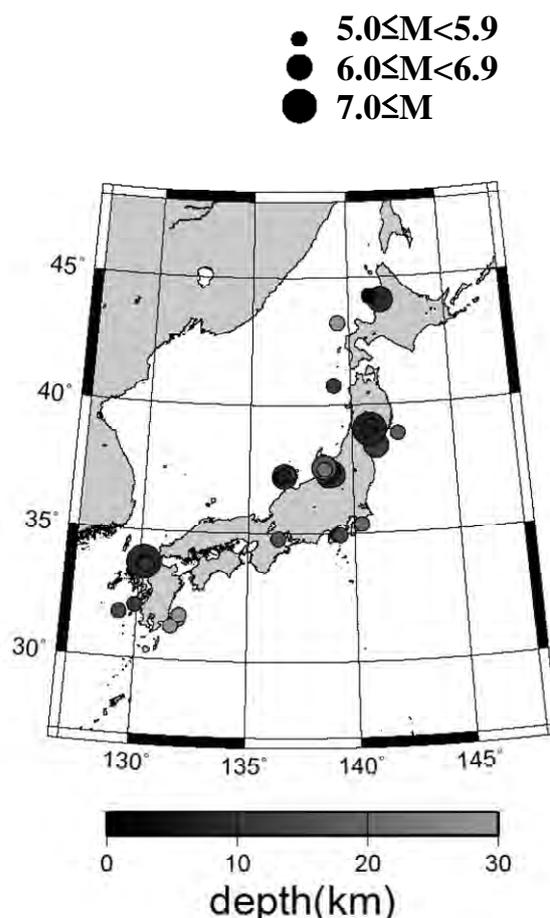


Fig. 1. Distribution of earthquakes used in this analysis.

の最大振幅を見積もるためには、S 波の正確な着信時の情報が必要である。そこで、KiK-net に併設されている防災科研 Hi-net の地震計に注目し、気象庁一元化験測値カタログで、P 波、S 波ともに験測値の報告がある波形のみを用いた。これにより、S 波着信時に関して、験測者のチェックが入った正確な情報を扱うことができる。

緊急地震速報では、特に、M の大きな地震、浅い地震、震源距離が小さい地点での評価が重要である。そこで、この解析では、M が 5 以上、深さが 30 km 以浅、震源距離が 100 km までのデータを用いることとする。さらに、前後に別の地震が発生しているもの、ノイズが大きいものを除外した。その結果、54 地震が対象となった。Fig. 1 には解析に用いた地震の震源分布を、Table 1 には震源要素を示す。震源距離が 100 km までのデータのみを用いているため、ほとんどは内陸の地震である。

Table 1. Earthquakes used in this analysis.

Origin time		Latitude	Longitude	Depth	Mag.	Region Name
YYYY-MM-DD	HH:MM:SS.S	(degree)	(degree)	(km)		
2003-07-26	07:13:31.5	38.40	141.17	11.9	6.4	NORTHERN MIYAGI PREF
2004-04-21	12:20:53.2	31.56	131.84	25.0	5.0	HYUGANADA REGION
2004-10-23	17:56:00.3	37.29	138.87	13.1	6.8	MID NIIGATA PREF
2004-10-23	18:03:12.6	37.35	138.98	9.4	6.3	MID NIIGATA PREF
2004-10-23	18:11:56.8	37.25	138.83	11.5	6.0	MID NIIGATA PREF
2004-10-23	18:34:05.7	37.31	138.93	14.2	6.5	MID NIIGATA PREF
2004-10-23	18:57:26.3	37.21	138.86	7.5	5.3	MID NIIGATA PREF
2004-10-23	19:36:46.0	37.22	138.82	11.0	5.3	MID NIIGATA PREF
2004-10-23	19:45:57.2	37.30	138.88	12.4	5.7	MID NIIGATA PREF
2004-10-23	21:44:27.6	37.27	138.94	14.6	5.0	MID NIIGATA PREF
2004-10-23	23:34:45.7	37.32	138.91	19.9	5.3	MID NIIGATA PREF
2004-10-24	14:21:35.0	37.24	138.83	11.5	5.0	MID NIIGATA PREF
2004-10-24	23:00:30.0	37.18	138.95	1.6	5.1	MID NIIGATA PREF
2004-10-25	00:28:08.9	37.20	138.87	10.1	5.3	MID NIIGATA PREF
2004-10-25	06:04:57.6	37.33	138.95	15.2	5.8	MID NIIGATA PREF
2004-10-27	10:40:50.2	37.29	139.03	11.6	6.1	MID NIIGATA PREF
2004-11-01	04:35:49.2	37.21	138.90	8.5	5.0	MID NIIGATA PREF
2004-11-04	08:57:29.5	37.43	138.92	18.0	5.2	MID NIIGATA PREF
2004-11-06	02:53:21.4	37.36	139.00	0.2	5.1	MID NIIGATA PREF
2004-11-08	11:15:58.5	37.40	139.03	0.0	5.9	MID NIIGATA PREF
2004-11-08	11:32:17.2	37.39	139.05	5.8	5.1	MID NIIGATA PREF
2004-11-09	04:15:59.7	37.35	139.00	0.0	5.0	MID NIIGATA PREF
2004-11-10	03:43:08.4	37.37	139.00	4.6	5.3	MID NIIGATA PREF
2004-12-12	14:28:43.4	31.77	129.18	14.7	5.1	SW OFF KYUSHU
2004-12-14	14:56:10.5	44.08	141.70	8.6	6.1	RUMOI REGION
2004-12-28	18:30:36.8	37.32	138.98	8.0	5.0	MID NIIGATA PREF
2005-03-18	09:38:28.1	44.23	141.11	0.0	5.0	NW OFF HOKKAIDO
2005-03-20	10:53:40.3	33.74	130.18	9.2	7.0	NW OFF KYUSHU
2005-03-22	15:55:33.5	33.73	130.18	10.5	5.4	NW OFF KYUSHU
2005-04-10	20:34:37.9	33.67	130.28	4.7	5.0	CENTRAL FUKUOKA PREF
2005-04-20	06:11:26.8	33.68	130.29	13.5	5.8	CENTRAL FUKUOKA PREF
2005-04-20	09:09:42.9	33.68	130.28	13.3	5.1	CENTRAL FUKUOKA PREF
2005-05-02	01:23:57.7	33.67	130.32	11.4	5.0	CENTRAL FUKUOKA PREF
2005-05-21	07:01:10.0	38.86	142.26	18.0	5.1	E OFF MIYAGI PREF
2005-05-31	11:04:14.7	31.31	131.55	28.6	5.8	SE OFF OSUMI PEN
2005-06-20	13:03:13.2	37.23	138.59	14.5	5.0	MID NIIGATA PREF
2005-08-21	11:29:30.2	37.30	138.71	16.7	5.0	MID NIIGATA PREF
2005-10-18	01:13:40.7	40.75	139.16	12.1	5.4	W OFF AOMORI PREF
2005-12-13	06:01:37.6	43.21	139.41	29.2	5.5	NW OFF SHAKOTAN PEN
2006-02-04	00:11:55.6	32.08	129.88	11.6	5.1	W OFF AMAKUSA ISLAND
2006-04-21	02:50:39.5	34.94	139.20	7.1	5.8	E OFF IZU PENINSULA
2006-05-02	18:24:31.0	34.92	139.33	15.0	5.1	E OFF IZU PENINSULA
2007-03-25	09:41:57.9	37.22	136.69	10.7	6.9	OFF NOTO PENINSULA
2007-03-25	18:11:45.2	37.30	136.84	13.4	5.3	NOTO PENINSULA REGION
2007-03-26	07:16:36.5	37.17	136.49	0.0	5.3	OFF NOTO PENINSULA
2007-04-15	12:19:29.5	34.79	136.41	16.0	5.4	NORTHERN MIE PREF
2007-06-11	03:45:13.9	37.24	136.65	7.3	5.0	OFF NOTO PENINSULA
2007-07-16	10:13:22.5	37.56	138.61	16.8	6.8	OFF S NIIGATA PREF
2007-07-16	15:37:40.4	37.50	138.64	22.5	5.8	OFF S NIIGATA PREF

Table 1. (continue).

2007-08-18	16:55:08.8	35.34	140.35	20.2	5.2	KUJUKURI COAST BOSO PEN
2008-03-10	10:44:29.1	31.76	131.92	28.6	5.1	HYUGANADA REGION
2008-06-14	08:43:45.4	39.03	140.88	7.8	7.2	SOUTHERN IWATE PREF
2008-06-14	12:27:32.8	39.14	140.94	10.4	5.2	SOUTHERN IWATE PREF
2008-06-16	23:14:38.5	39.00	140.84	7.1	5.3	SOUTHERN IWATE PREF

3 解析と結果

P波の着信時から、S—P時間の  $x$  倍の区間での最大振幅を、 $A[(S-P)*x]$  で表すこととする ( $0 < x \leq 1$ )。Fig. 2 には、S—P時間の全体の区間から求めた最大振幅と、0.7 倍、0.5 倍、0.3 倍の区間から求めた最大振幅の比、つまり、 $A[(S-P)*1.0]/A[(S-P)*0.7]$ 、 $A[(S-P)*1.0]/A[(S-P)*0.5]$ 、および、 $A[(S-P)*1.0]/A[(S-P)*0.3]$  を示す。また、それぞれの比を  $H$  で示し、20km 間隔ごとの  $\log_{10}H$  の平均も図中に示す。

$x$  が小さくなるにつれて、 $H$  は大きくなる。 $x$  が 0.7 で  $\log_{10}H$  の平均 ( $\langle \log_{10}H \rangle$ 、ここで、 $\langle \rangle$  は平均を表す) は 0.11 であるが、0.5 で 0.20、0.3 で 0.31 と大きくなる。このことは、最大振幅を求める期間を短くするほど  $M$  を過小評価しやすいことを示している。また、 $H$  には、距離依存性があり、震源距離が大きいほど小さくなる傾向がある (震源距離 100

km までではあまりはっきりしないが、200 km までを見ると顕著に見える (Fig. 3))。

次に、 $H$  の  $M$  依存性について検討する。Fig. 4 には、 $x$  が 0.7 の場合について、 $M$  が 5.0 から 5.9 までのものと、6.0 以上のものに分けて示した。 $H$  の値には、 $M$  依存性が認められ、 $M$  が大きい方が、 $H$  が大きい。したがって、 $M$  の過小評価は、 $M$  が大きくなるほど顕著に現れる。

4 議論

4.1 区間を区切ることが P 波  $M$  決定に及ぼす大きさ

明田川・他 (2010) では、P 波  $M$  式の改定を検討しており、

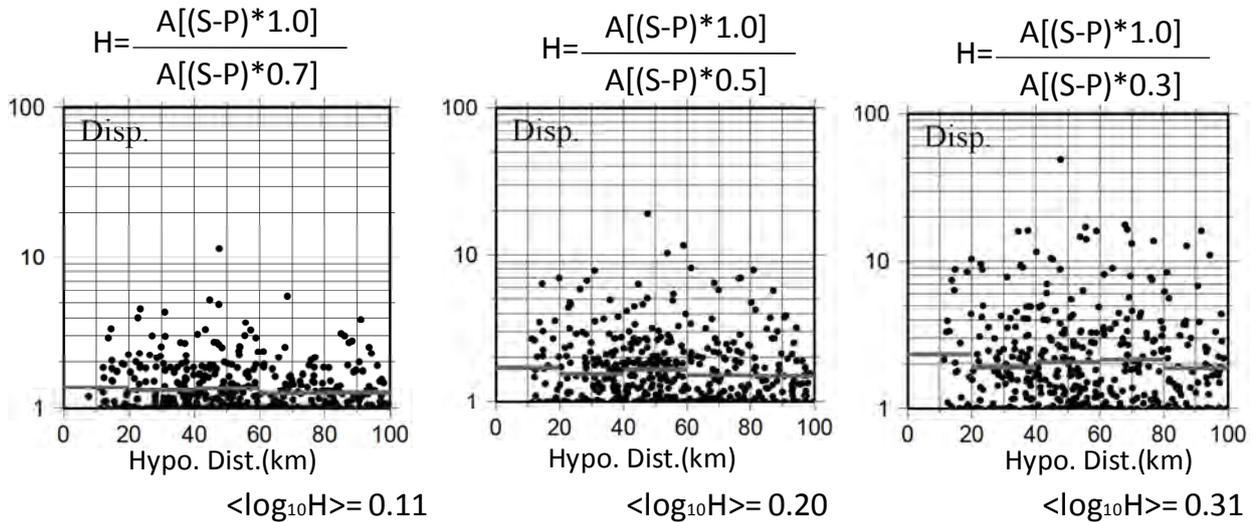


Fig. 2. Hypocentral distance versus  $H$  ( $=A[(S-P)*1.0]/A[(S-P)*0.7]$ ,  $A[(S-P)*1.0]/A[(S-P)*0.5]$  and  $A[(S-P)*1.0]/A[(S-P)*0.3]$ ), where  $A[(S-P)*x]$  means the maximum amplitude in the range of (S-P time)\* $x$ .  $10^{**}\langle \log_{10}H \rangle$  is shown by gray bars with hypocentral distance intervals of 20km. Here  $\langle \rangle$  represents the average. The average of  $\log_{10}H$  of the entire range up to 100km is also shown at the bottom of each case.

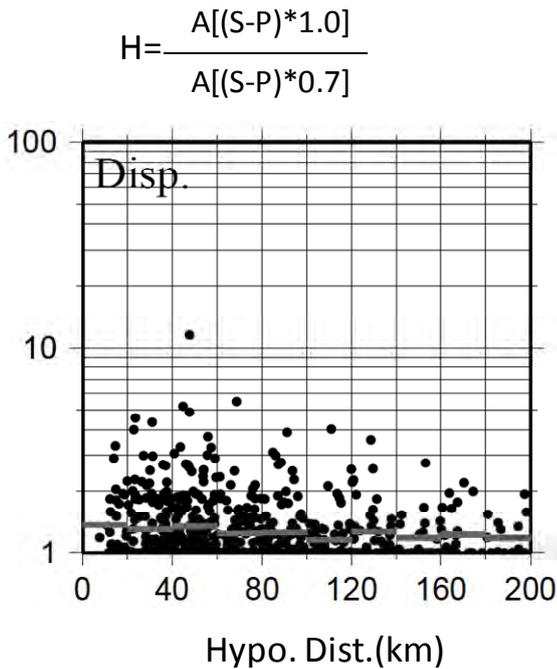


Fig. 3. Same as Fig. 2 to the left, but for a hypocentral distance up to 200km.

$$0.72 * M = \text{Log}A + 1.2 * \text{log}R + 5.0 * 10^{-4} * R - 5.0 * 10^{-3} * D + 0.46 \quad (1)$$

という式を提案している. ここで,  $A$ はP波部分(P波の着信とS波の着信の間)の最大変位振幅(3成分合成,  $10 \mu\text{m}$ 単位),  $R$ は震源距離(km),  $D$ は震源の深さ(km)である. この式を決定するために用いら

れたデータセットは, P波の着信とS波の着信の間の全体から読み取った3成分合成の変位振幅の最大値である(森脇, 2009, 私信). つまり, (1)式は,  $x=1.0$ で得られた $A$ の値を用いて作られている. 実際の緊急地震速報の運用を考えると, “その瞬間”までの最大振幅から求めることになるので,  $x$ が1より小さい状況でも検測しなければならない. また, ある程度時間がたつたとしても, 上記のように震源決定の誤差を考えて, 現在の処理では $x=0.7$ までしか用いていない. (1)式は, 本来 $x=1.0$ までを用いたデータから作られているので,  $x < 1.0$ の範囲で評価した $A$ の値を代入すれば, 必然的に $M$ を過小評価する. つまり,  $x$ が1より小さい状況では, 最大振幅を過小評価し, さらに $M$ を過小評価することにつながる. この $x < 1.0$ の範囲から最大振幅を求めることによる $M$ の過小評価の度合いを見積もってみると,  $x$ が0.7の場合に, 読み取った最大振幅はP波部分全体の最大振幅の $10^{0.11}$ 倍(つまり,  $\langle \log_{10} H \rangle = 0.11$ )だけ平均的には小さいので, この大きさを(1)から $M$ に換算すると,  $0.11/0.72=0.15$ だけ過小評価につながることを示している. 同様に,  $x$ が0.5の場合は $0.20/0.72=0.28$ ,  $x$ が0.3の場合は $0.31/0.72=0.43$ の過小評価になる.

$M$ の過小評価として, 0.15だとそれほど顕著な影響はないものと思われるが, 0.28では少なからず影響があるものと思われる.

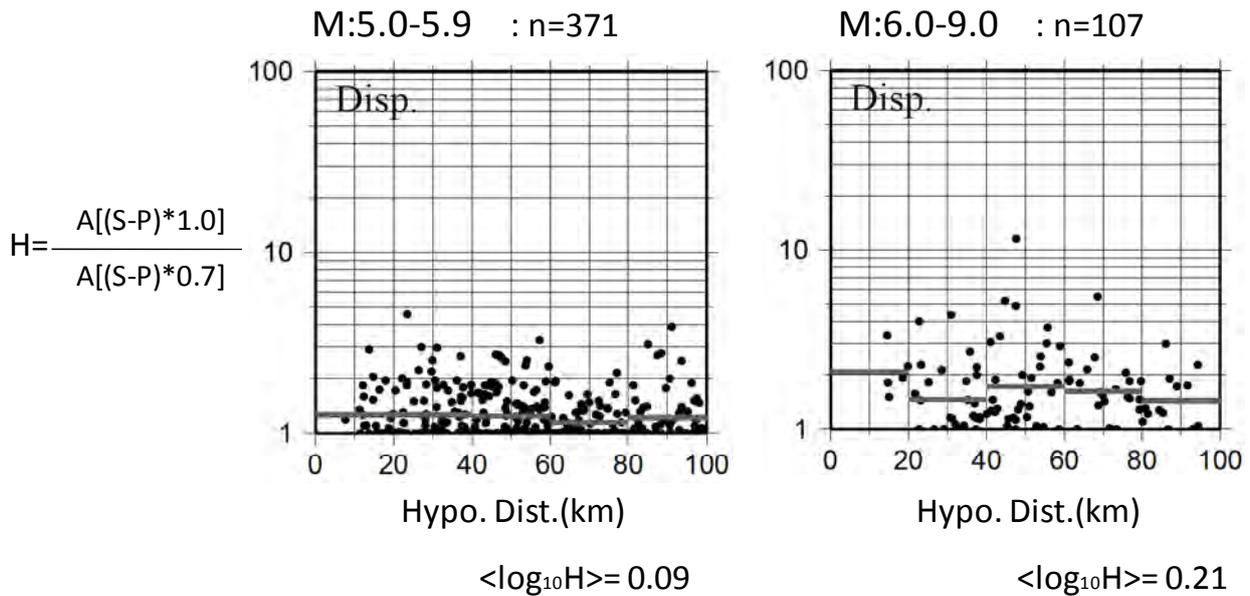


Fig. 4 Magnitude dependence of  $A[(S-P)*1.0]/A[(S-P)*0.7]$ . Left, for cases where  $M5.0-5.9$ . Right, for  $M6.0$  or larger.

#### 4.2 M 依存性と震源距離依存性

まず、Fig. 4 に見られるマグニチュード依存性について考察する。干場・他 (2009) は、加速度波形では、P 波の着信と S 波の着信の間で最大振幅が現れるのは、P 波着信の直後 (S-P 時間の前半) であることが多いのに対して、変位波形では後半が多いことを報告している。よって、 $x$  が小さい時点での験測では、高周波の波 (加速度波形) よりも低周波の波 (変位波形) を用いた場合には、より顕著に最大振幅を過小評価する影響を受ける。Fig. 4 で、 $M$  が大きいほど、 $H$  が大きい (つまり、S-P 時間の後半でより大きな振幅になる) のは、 $M$  が大きいほど震源での破壊継続期間が長い、ということのほか、 $M$  が大きいほど低周波の波が卓越するための影響が表れているものと思われる。

次に、Fig. 3 のように震源距離依存性が現れることについて考察する。P 波の着信から最大振幅が現れる時間が震源距離によらず同じであっても、震源距離が短いところでは、S-P 時間も短いため、S-P 時間の後半になる可能性が高い。一方、震源距離が長いところでは、S-P 時間も長く、比較的 S-P 時間の前半になる可能性が高いものと思われる。最大振幅を験測する区間として、S-P 時間の何倍のところまでか、という指標だけでなく、P 波の出現時からの絶対時間 (たとえば、P 波の着信から 3 秒間) という区間の取り方を考える必要があるかも知れない。実際、Wu et al.(2006) や Wu and Zhao(2006) は、最初の 3 秒間の最大変位振幅から  $M$  を求めることを提案している。S-P 時間の何倍のところまでかという指標と、P 波の出現時からの絶対時刻、のどちらが適切か (あるいは、その組み合わせがより適当か) について、今後考慮していく必要がある。

#### 5 結論

P 波  $M$  を求める区間を縮めると、どの程度、 $M$  推定に影響するのかを調査する目的で、 $M$  が 5 以上、震源距離が 100 km 以下、震源の深さが 30 km 以浅の地震のデータを解析した。その結果、現在の運用である理論 S-P 時間の 0.7 倍から求める場合には、平均して 0.15 の過小評価、また、0.5 倍では 0.28、0.3 倍では 0.43 の過小評価につながる事が分かった。

理論 S-P 時間の 1.0 倍ではなく、0.7 倍で運用しているのは、震源決定精度の限界によって S 波着信時間の推定に誤差が生じることを考慮に入れたものである。最大振幅を験測する時間幅を、理論 S-P 時間の 0.7 倍の場合における  $M$  の過小評価の度合いは、0.15 であるので、 $M$  推定への影響は比較的小さい。今回の 0.7 倍からさらに縮めると議論のきっかけとなった、2008 年 4 月 28 日の宮古島近海で発生した地震 ( $M5.2$ ) は、気象庁の観測網では震源決定精度が悪い場所で発生した地震である。このような震源決定精度が悪い地域での処理においては、時間幅を 0.7 倍よりも縮めて運用することは必要であると思われるが、震源決定精度が良い地域においても時間幅を縮めて運用すると、今度は過小評価を起しやすくなる。時間幅を縮めて運用する地域は、震源決定精度が悪い場所のみに限定した方がよいものと思われる。気象庁 (2009) には、2007 年 10 月から 2008 年 9 月までに発表された緊急地震速報の結果に基づいて、理論 S-P 時間の 0.7 倍の範囲にどの程度 S 波が混入したか、を示す資料が掲載されている。それによると、南西諸島の地震の場合には、震源決定精度の限界により 23% の地震で S 波が混入しているのに対して、陸域の地震では 1% に満たない。よって、南西諸島では、時間幅を 0.7 倍よりも縮めて運用することは必要であると思われるが、陸域の地震では必要ない (かえって、 $M$  を過小評価する副作用を導くおそれが大きくなる) と思われる。

緊急地震速報では、波形全体ではなく、“その瞬間”までの限られた時間幅での波形記録しか用いることができない。この限られた時間幅のなかで最大振幅を験測すると、本来の最大振幅よりも小さな値となる。したがって、この限られた時間幅のなかでの最大振幅をそのまま使って  $M$  を計算すると、必然的に  $M$  を過小評価することにつながる。緊急地震速報の初期段階では、 $M$  を過小評価する可能性が高いと考えられる。これは、P 波  $M$  ばかりでなく、全相  $M$  についても言えることである。この過小評価を抑えるためには、時間幅に応じた補正を施す、あるいは、時間幅を区切ったデータを用いて  $M$  推定の式を組み立てること、などが考えられる。あるいは、速度や加速度波形では最大振幅は S-P 時間の前半に現れることが多いので、変位波形よりもこの過小評価の

度合いが比較的少なく、これらの波形を利用することも考えられる。これらを考慮することにより、将来的には、M推定の迅速性や精度が高まることが期待される。

#### 謝辞

本報告は、「緊急地震速報評価・改善検討会技術部会」での議論が発端となった。

査読者からのコメントは、原稿を修正する上で有益であった。地震予知情報課の森脇健氏には、地震津波早期検知網の波形データから読みとったP波部分の最大振幅データの提供を受けた。また、地震火山部管理課の土井恵治地震情報企画官、地震津波監視課の明田川保調査官、下山利浩調査官、清本真司係長、渡邊幸弘氏には、緊急地震速報の処理の詳細を教えていただき、また、議論していただいた。

解析には、独立行政法人防災科学研究所のKiK-netの波形データを使用した。また、同研究所のHi-netの地震計の位相の読取値は、気象庁一元化観測値カタログを用いた。震源要素は気象庁一元化震源カタログを使用した。気象庁一元化処理には、独立行政法人防災科学技術研究所、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、気象庁、独立行政法人産業技術総合研究所、国土地理院、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市及び独立行政法人海洋研究開発機構による地震観測データを利用している。これらの観測の維持や処理に携わっていただける方々に感謝します。

なお、この研究の一部は、科研費（19310118, [巨大地震に対応した高精度リアルタイム地震動情報の伝達システムの構築]）の助成を受けたものである。

#### 文献

明田川保・清本真司・下山利浩・森脇健・横田崇(2010):緊急地震速報におけるP波マグニチュード推定方法の改善, 験震時報, 73, 123-134.  
干場充之・岩切一宏・大竹和生(2009): 最大動の出現時間について —緊急地震速報におけるより迅速なM推定を目指して—, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, Y230-004.  
気象庁(2009): 第1回緊急地震速報評価・改善検討会技術部会資料,

[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/Meeting\\_HYOUKA/t01/shiryu.pdf](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/Meeting_HYOUKA/t01/shiryu.pdf).

気象庁(2008): 強震観測報告 2007 (平成 19 年)  
気象庁地震火山部(2008): 緊急地震速報の概要や処理手法に関する技術的参考資料,  
[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/Whats\\_EEW/reference.pdf](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/Whats_EEW/reference.pdf).

中村浩二(2007): 緊急地震速報について, 物理探査, 60, 5, 367-374.

Hoshiba, M., O.Kamigaichi, M.Saito, S.Tsukada and N.Hamada(2008): Earthquake early warning starts nationwide in Japan, EOS Tans., 89, 73-74.

Kamigaichi, O., M. Saito, K. Doi, T. Matsumori, S. Tsukada, K. Takeda, T. Shimoyama, K. Nakamura and M. Kiyomoto, Y. Watanabe(2009); Earthquake Early Warning in Japan – Warning the general public and future prospects -, Seis. Res. Let., 80, 717-726.

Wu, Y.M., H.Y. Yen, L. Zhao, B.H. Huang and W.T. Liang(2006): Magnitude determination using initial P wave: single-station approach, Geophys. Res. Let., 33, doi:10. 1029/2005GL025395.

Wu, Y.M. and L. Zhao(2006): Magnitude estimation using the first three seconds P-wave amplitude in earthquake early warning, Geophys. Res. Let., 33, L16312, doi:10. 1029/2006GL026871.