

過小評価判定手法及び 想定最大マグニチュードについて

平成25年2月13日

気象庁地震火山部地震津波監視課

津波警報の改善の概要

【背景】

気象庁では、東北地方太平洋沖地震において津波警報の第1報が過小評価であったこと等に鑑み、発表した津波警報の内容・タイミング等を検証し、津波警報をどのように改善すべきか検討を実施。

【これまでの取り組み】 平成23年9月12日 「津波警報改善の方向性」を公表
平成24年2月7日 「津波警報の発表基準等と情報文のあり方に関する提言」を公表

地震発生

3分

～15分

安全サイドに立った迅速な津波警報第1報の発表

- 地震規模の過小評価の可能性を速やかに認識する監視手法を導入し、過小評価の場合は、当該海域で想定される最大のマグニチュードを適用して津波警報第1報を発表。
- その場合には、定性的な表現で発表して、非常事態であることを伝え最大限の避難を呼びかけ。

より確度の高い津波警報への更新

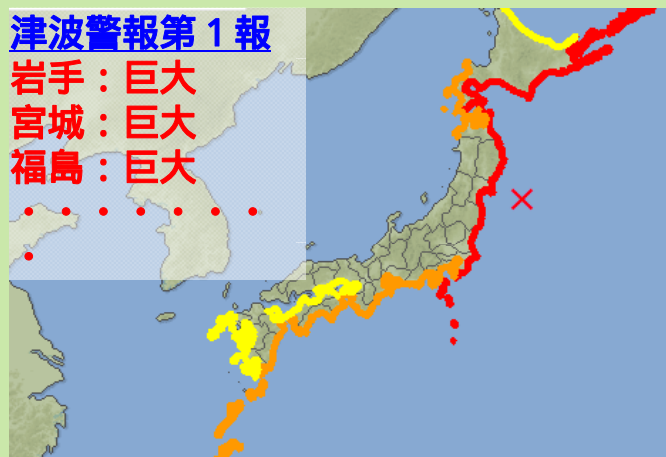
- 巨大な地震でも測定可能な広帯域強震計や、沖合津波計の整備・活用により、地震発生から15分以内に、より確度の高い津波警報へ更新。

改善後の 津波警報の 発表例

津波警報第1報

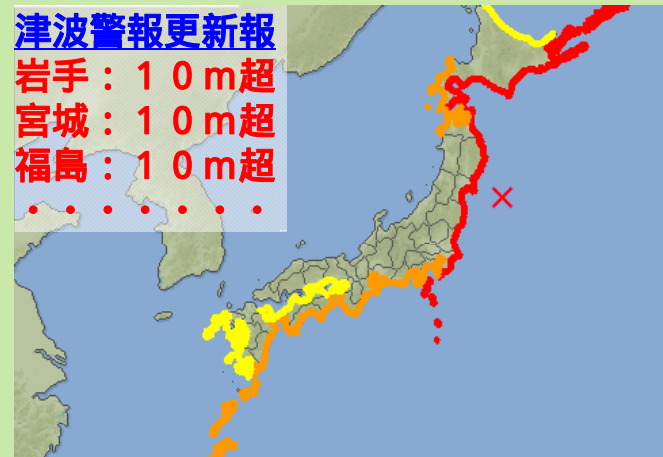
岩手：巨大
宮城：巨大
福島：巨大

地震規模を過小評価しているおそれがある場合に、「巨大」等の表現を使用



津波警報更新報

岩手：10m超
宮城：10m超
福島：10m超



【今後の取り組み】 提言に基づき改善した津波警報は平成25年3月7日に運用開始の予定

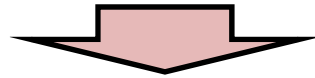
1. 過小評価判定手法

2. 想定最大マグニチュード

1. 過小評価判定手法

巨大な地震のマグニチュードを迅速に求める様々な手法

- 様々な周期帯波形によるマグニチュード (Katsumata *et al.* (2013))
- 高周波継続時間及び変位振幅によるマグニチュード (Hara (2007a,b))
- 長周期モニタ
- 強震域の拡がり (震央距離150～200kmの計測震度観測点の平均計測震度)
- 強震域の拡がり (震度5弱の範囲の拡がり)



これら手法により得られた成果から総合的にMj飽和可能性を判断

参考文献

- Hara, T., Measurement of the duration of high-frequency energy radiation and its application to determination of the magnitude of large shallow earthquakes, *Earth Planet Space*, **59**, 227-231, 2007a.
- Hara, T., Magnitude determination using duration of high frequency energy radiation and displacement amplitude: application to tsunami earthquakes, *Earth Planet Space*, **59**, 561-565, 2007b.
- Katsumata, A., H. Ueno, S. Aoki, Y. Yoshida and S. Barrientos, Rapid magnitude determination from peak amplitude at local stations, *Earth Planet Space*, submitted.

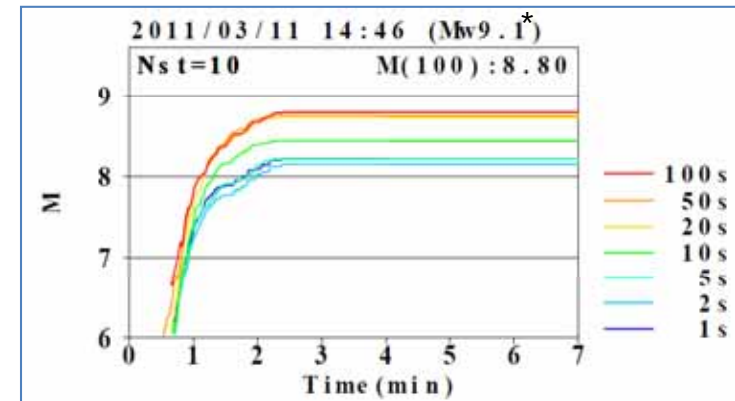
各手法の概要

手法	手法概要
様々な周期帯波形によるマグニチュード(M100s)	加速度積分変位記録の長周期(最大100秒)までのフィルタ波形の最大振幅を経験的M計算式($M=a*\log A+b*\log R+c$)にあてはめてMwを推定。
高周波継続時間及び変位振幅によるマグニチュード(Mhara)	巨大地震の場合、破壊継続時間と最大振幅が大きくなることを利用して、過去事例をもとに速度波形の高周波継続時間と最大変位振幅によるMw推定式を作成(Hara(2007a,b))、これをもとにMwを推定。
長周期モニタ	東北地方太平洋沖地震及び2003年十勝沖地震の広帯域強震計の振幅から推定したMと長周期(100～500秒フィルタ)の関係をもとに巨大地震の可能性を推定。
強震域の広がり(震央距離150～200kmの計測震度観測点の平均計測震度)(Mwi)	震央距離150～200kmの平均計測震度とMwとの関係をもとにMwを推定(2分半までに入電する震度により過小評価判定を行うことを考慮)。
強震域の広がり(震度5弱の範囲の広がり)	2003年十勝沖地震の震度5弱の範囲及び断層の広がりから求めた、震度5弱の広がりとMwの関係をもとに、巨大地震の可能性を推定。

注: 強震域の広がりから推定する手法の場合、アウターライズ地震等、震源が遠い沖合を震源とする地震については適用不可。

過小評価判定ツール例(1) M100s

年月日	震源	Mw	M100s
2003.9.26	十勝沖	8.3 *	約8.4
2004.9.5	紀伊半島沖	7.2 *	約7.0
2004.9.5	東海道沖	7.4 *	約7.4
2005.8.16	宮城県沖	7.2 *	約7.0
2006.11.15	千島列島	8.3 *	約7.7
2010.2.27	沖縄本島近海	7.0 **	約7.0
2010.12.22	父島近海	7.4 **	約7.3
2011.3.9	三陸沖	7.3 **	約7.6
2011.3.11	3.11本震	9.0 **	約8.8
2011.3.11	余震15:08	7.4 **	約7.5
2011.3.11	余震15:15	7.7 **	約7.8
2011.3.11	余震15:25	7.5 **	約7.5
2011.4.7	宮城県沖	7.1 **	約7.3
2012.12.7	三陸沖	7.3 **	約7.4
2010.2.27	チリ	8.8 **	約8.8 ***



東北地方太平洋沖地震における
M100sの成長曲線

*: Global CMTカタログによるMw

** : 気象庁によるMw

***: チリ国の強震波形を使用

M100sの上記の値は、ほとんどの事例において、地震発生後2分程度までに得られている。
(2006年(千島列島)、2010年(父島近海)では、付近に観測点が少ないこと等から、安定するまでに4~6分程度かかっている。また、千島列島の地震では精度は落ちる)。

過小評価判定ツール例(2) Mhara ①

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の遠地P波の高周波震動継続時間とマグニチュード

遠地で観測されるP波の高周波成分は、地震の震源時間(断層面上の滑りが始まってから終わるまでの時間)とよい相関を示し(Hara, 2007a)、震源時間の目安になる。高周波震動継続時間と最大変位振幅から地震のマグニチュードを計算する方法を考案した(Hara, 2007a)。この方法は、M9級の巨大地震に適用可能、マグニチュードを決めるのが困難な津波地震に適用可能(Hara, 2007b)といった利点を有する。

この方法を2011年3月11日に発生した平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(発生日時3月11日14時46分、震源位置: 北緯38.103度、東経142.860度、深さ24km。気象庁による)に適用した結果を以下に記す。解析には全地球的に設置された観測点の複数のデータを使用した。図1は高周波震動継続時間の測定例である。観測点は、オーストラリアのMarble Barに設置された広帯域地震観測点である。震源からの距離は約7000km。測定された高周波震動継続時間の中央値は170.5秒であった。高周波震動継続時間と最大変位振幅から求めたマグニチュードは8.96であった。気象庁による9.0、米国地質調査所のWphaseの解析による9.0、グローバルCMTプロジェクトによる9.1と整合的である。

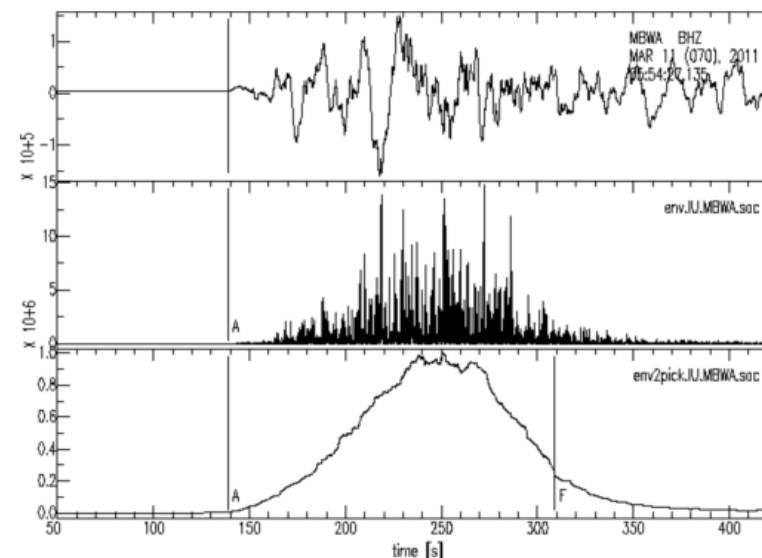


図1:高周波震動継続時間の測定例。観測点は、オーストラリアのMarble Barに設置された広帯域地震観測点である。震源からの距離は約7000km。上の波形は観測された速度記録。2番目は2-4 Hzのハイバンドパスフィルターを掛けた結果。下の図は2番目の波形の移動平均をとった時系列で、「A」が地震の到着時刻、「F」が高周波震動の終わりを表している。

参考文献

Hara, T., Measurement of duration of high-frequency energy radiation and its application to determination of magnitudes of large shallow earthquakes, *Earth Planets Space*, **59**, 227-231, 2007a.

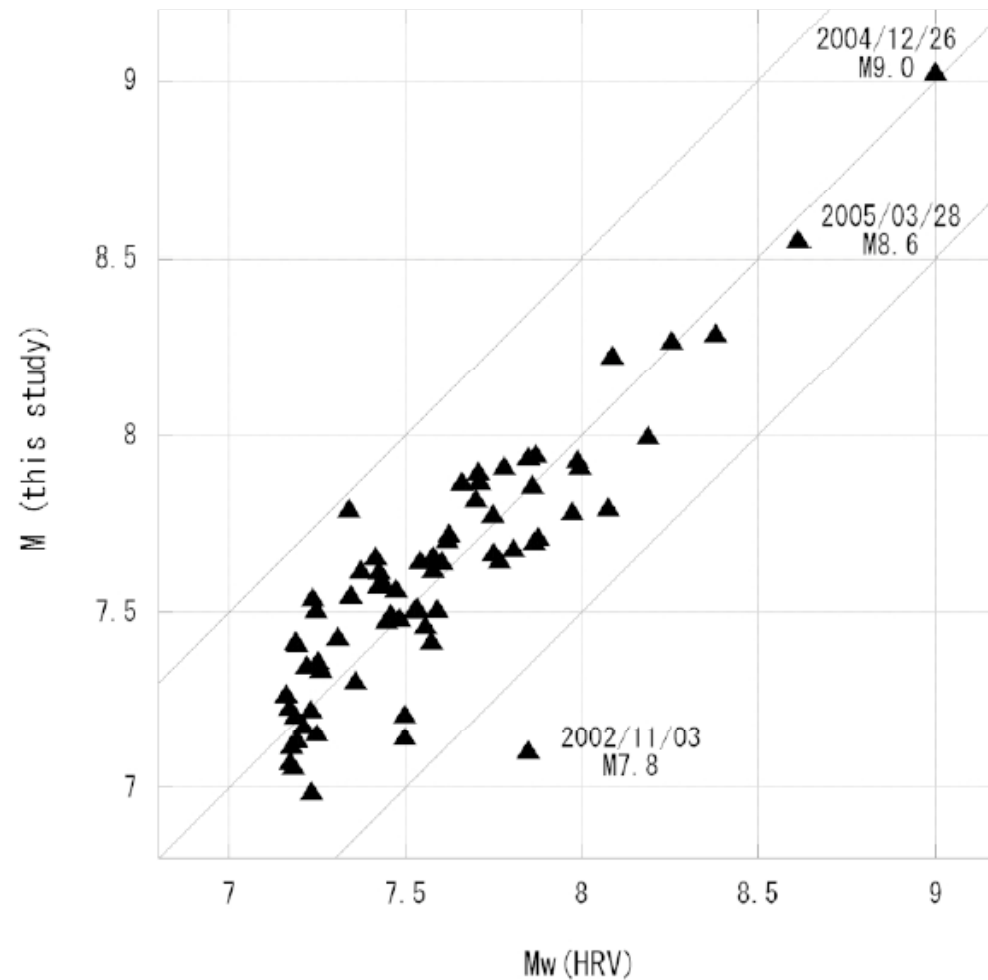
Hara, T., Magnitude determination using duration of high frequency energy radiation and displacement amplitude: application to tsunami earthquakes, *Earth Planets Space*, **59**, 561-565, 2007b.

(国際地震工学センター 原 辰彦)

Last Updated: 2011/03/13

過小評価判定ツール例(2) Mhara ②

当手法により求めたMとHarverd CMT catalogのMwとの比較
(1995～2006年、Mw 7.2、深さ 50km(Harverd CMT catalog))



Hara(2007a)より

過小評価判定ツール例(2) Mhara ③

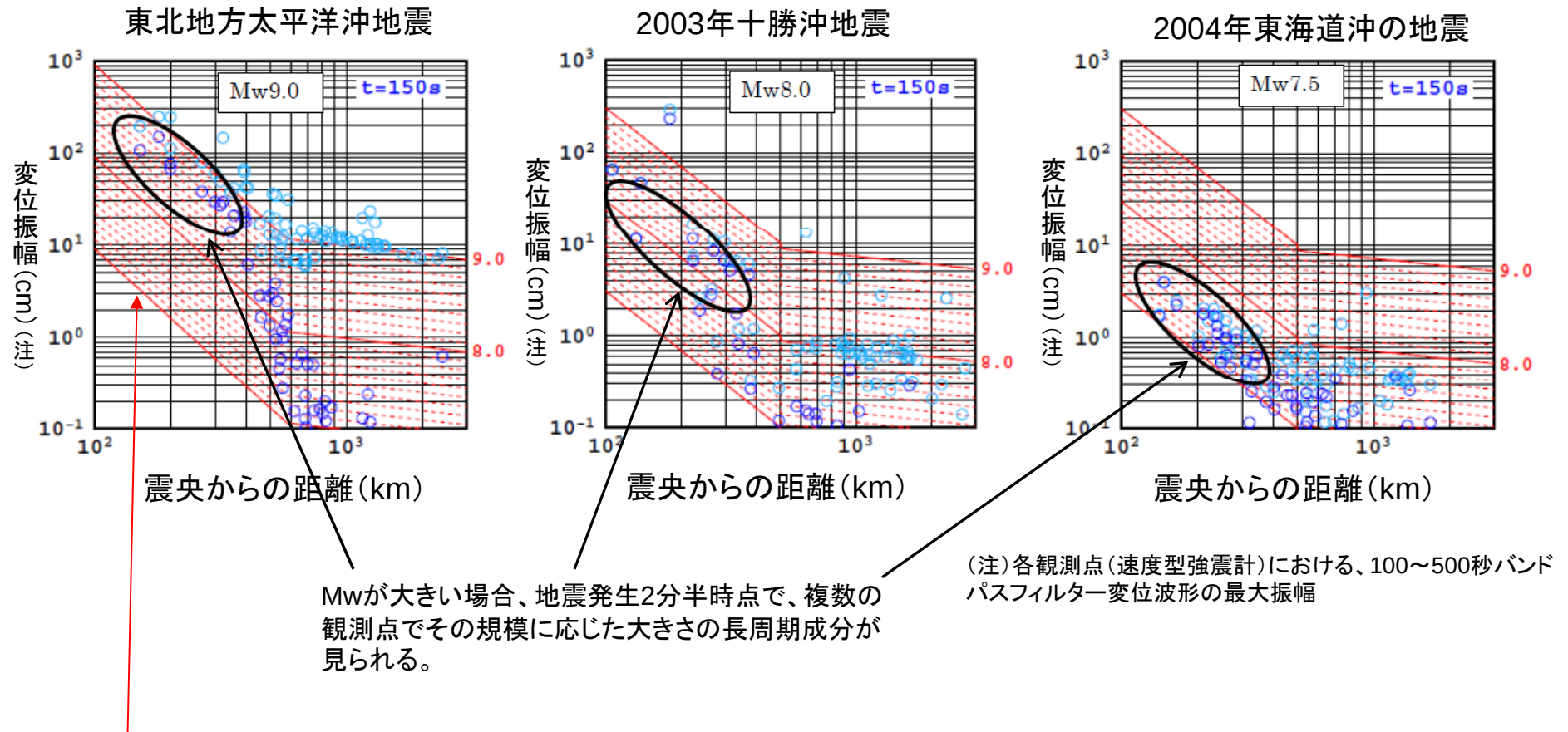
気象庁CMT解によるMwとMharaの比較

発生日	震源	Mw ^{*)}	Mhara(2分後)	Mhara(最終)
2003.9.26(十勝沖)	釧路沖	8.0	8.2	8.1
2011.3.11(東北地方太平洋沖地震)	三陸沖	9.0	8.5	8.9
2011.3.11(15:08余震)	岩手県沖	7.4	7.7	7.9
2011.3.11(15:15余震)	茨城県沖	7.7	8.2	8.2
2011.3.11(15:25余震)	三陸沖	7.5	7.7	8.0
2011.4.7	宮城県沖	7.1	6.8	7.2
2011.4.11	福島県浜通り	6.7	6.7	6.8
2011.7.10	三陸沖	7.0	6.7	6.8
2012.12.7	三陸沖	7.3	7.3	7.4

^{*)} 気象庁CMT解によるMw

過小評価判定ツール例(3) 長周期成分モニター ①

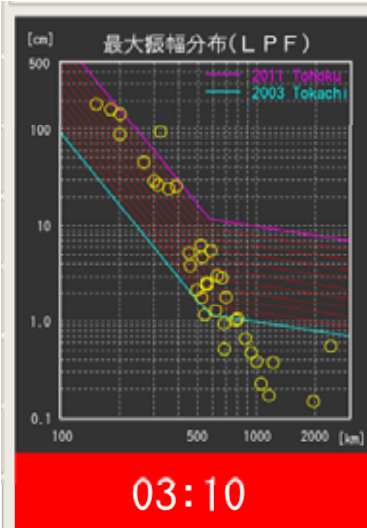
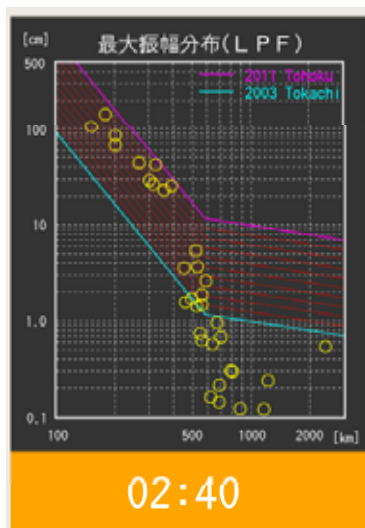
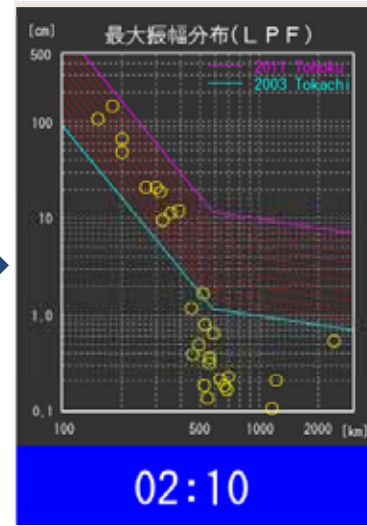
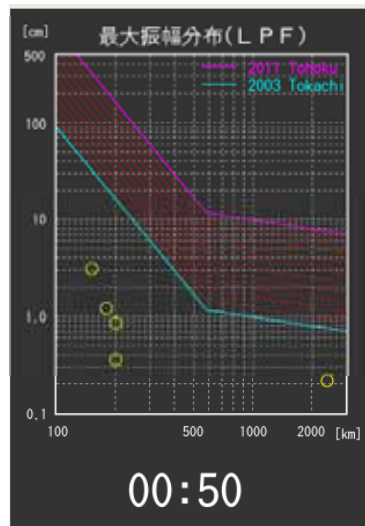
地震発生後2分半時点での各広帯域地震計観測点における最大振幅の例



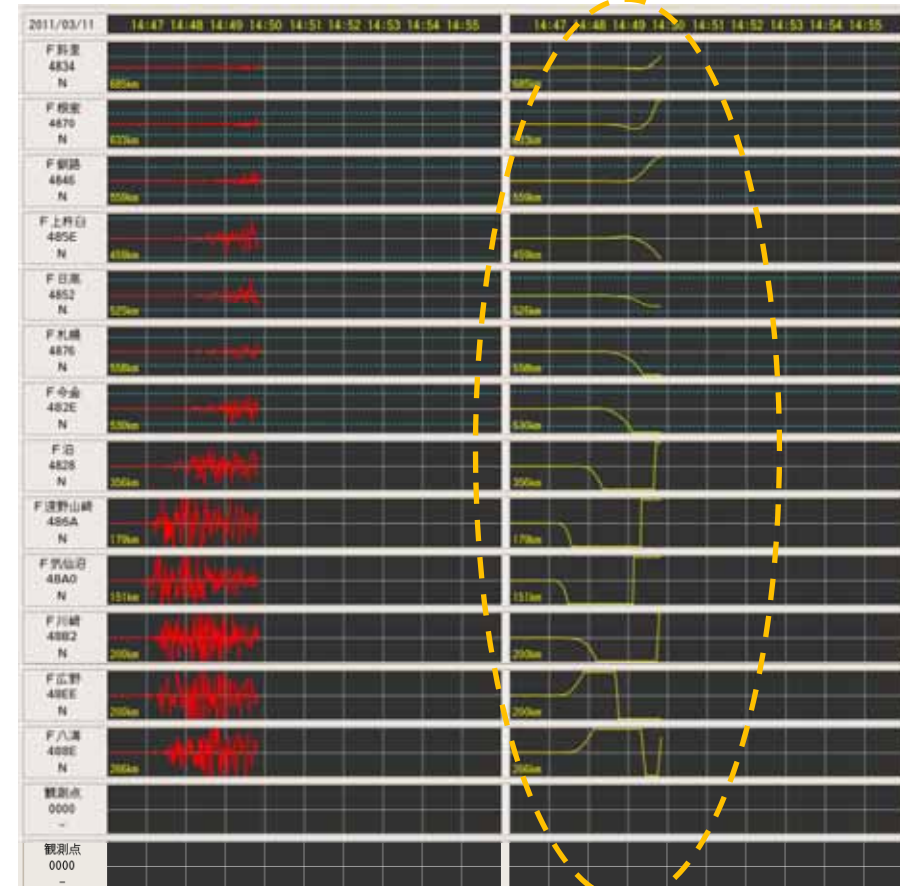
2003年十勝沖地震及び東北地方太平洋沖地震での事例から求めた、震央距離を横軸、変位振幅を縦軸にした等M線。直線では近似できなかったため、震央距離580kmで傾きを変えている。

過小評価判定ツール例(3) 長周期成分モニター ②

東北地方太平洋沖地震に例によるモニター画面の推移



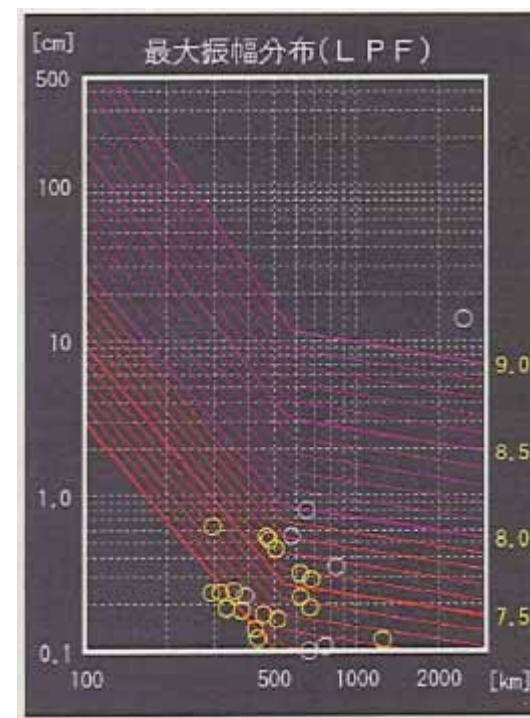
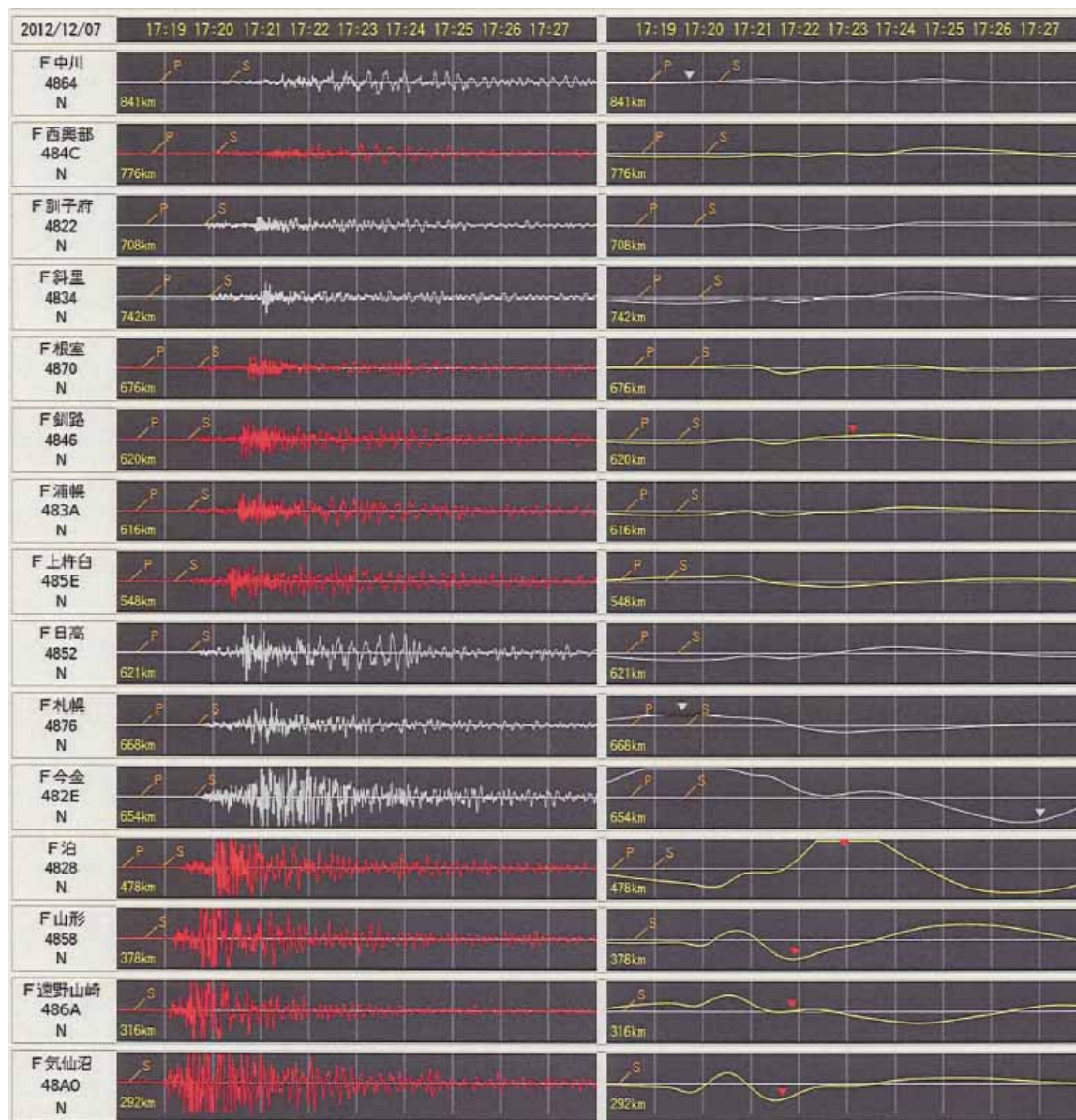
3分10秒時点での短周期(～6s)及び長周期(100～500s)波形



振幅を震央距離別に表示

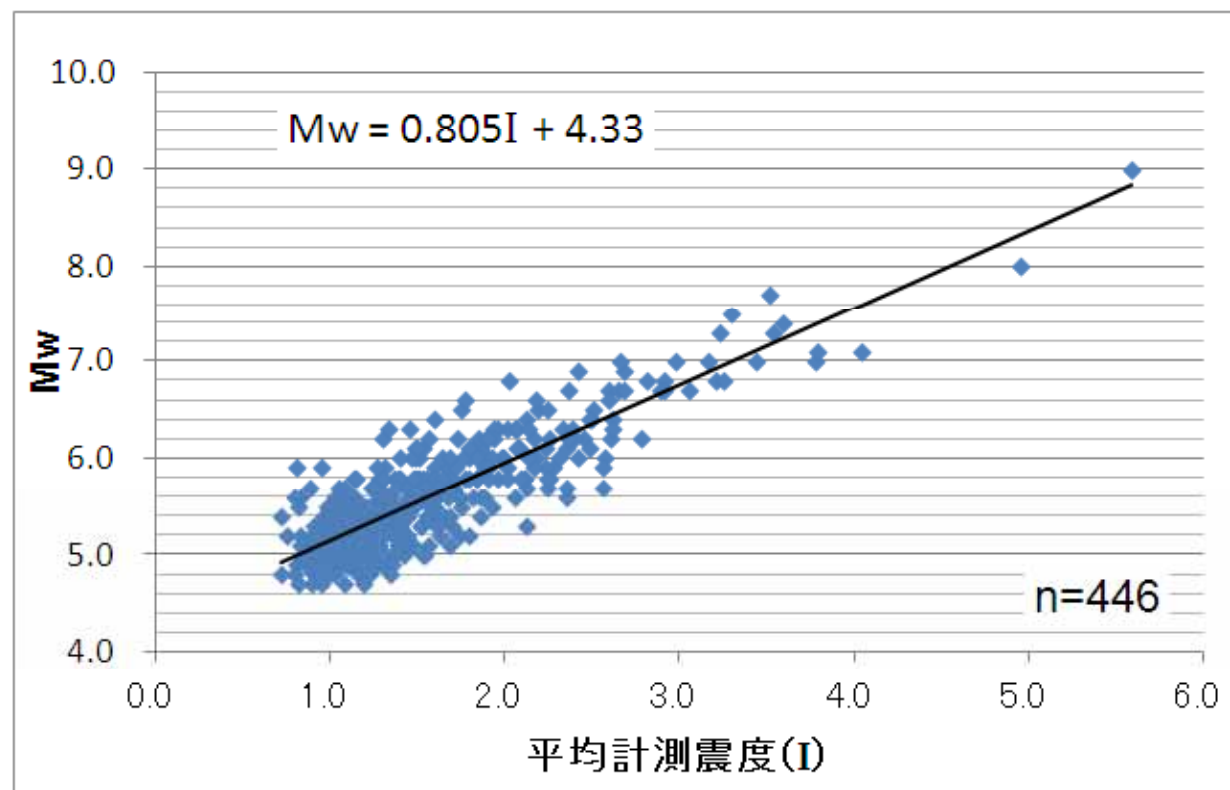
過小評価判定ツール例(3) 長周期成分モニター ③

H24.12.7三陸沖の地震(Mw7.3)におけるモニター画面



過小評価判定ツール(4) Mw ①

震央距離150kmから200kmまでの平均計測震度とMwの関係



大阪管区気象台作成資料より

・震央距離150～200kmの計測震度観測点の平均計測震度を求め、Mwとの相関式により、大まかな地震規模を推定。

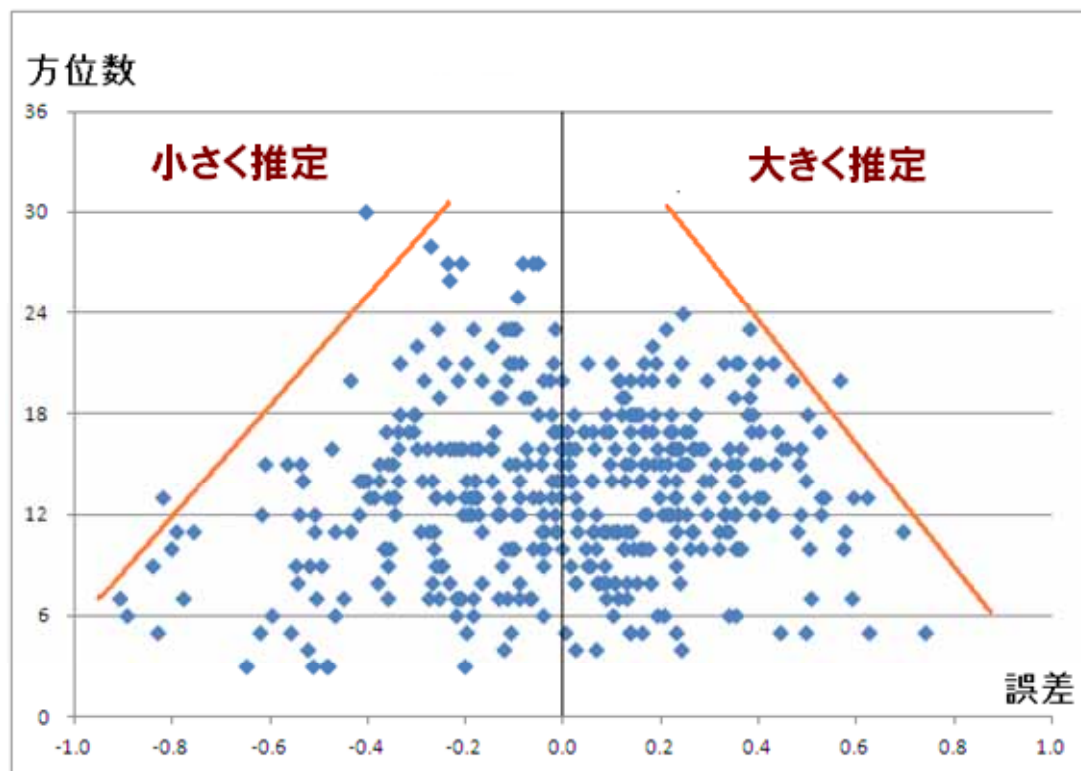
- ・地震発生後2分30秒時点で最大震度に近い震度が入電している範囲。
- ・海域の地震の場合、震源付近に震度データがないことも考慮。

過小評価判定ツール(4) Mwi ②

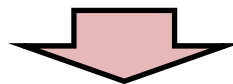
Mwi算出に用いた震度計分布の、震源から見た方位的な偏りと誤差との関係

震度計が全方位
に分布している
(方位的偏りが小
さい)

震度計が特定の
方位に分布して
いる(方位的偏り
が大きい)



大阪管区気象台作成資料より

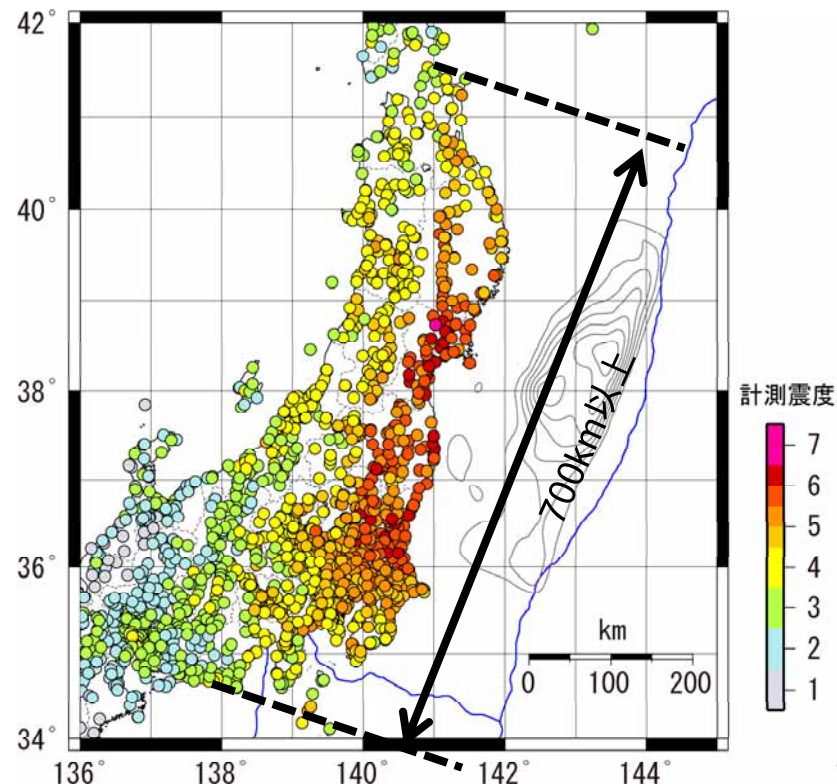


方位的偏りによる精度の相違も考慮することも検討

過小評価判定ツール(5) 強震域の拡がり(震度5弱の範囲の拡がり) ①

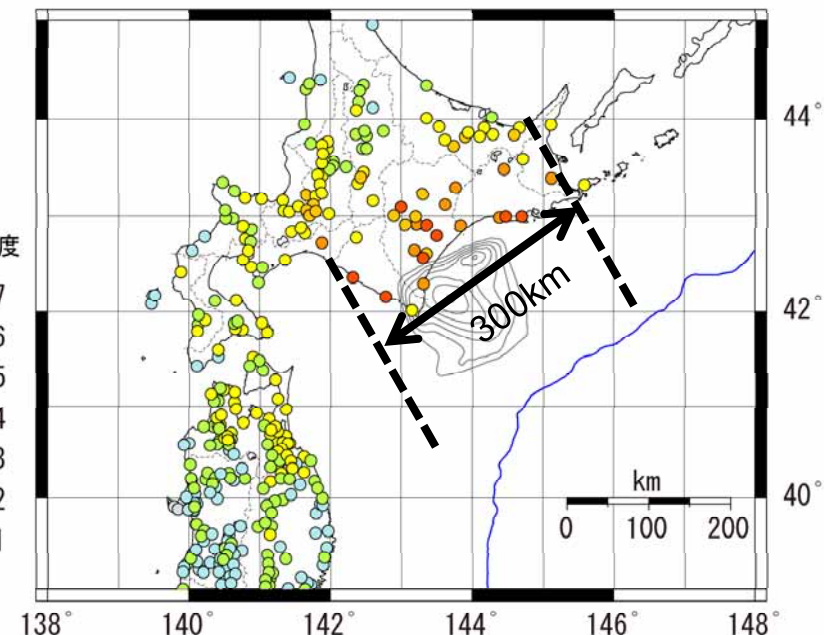
2003年十勝沖地震の震度5弱の範囲及び断層の拡がりから求めた、震度5弱の拡がりとMwの関係をもとに、巨大地震の可能性を推定。

2011年東北地方太平洋沖地震(M_w 9.0)



すべり分布はYoshida et al. (2011)による
コンター間隔は5m

2003年十勝沖地震(M_j 8.0)

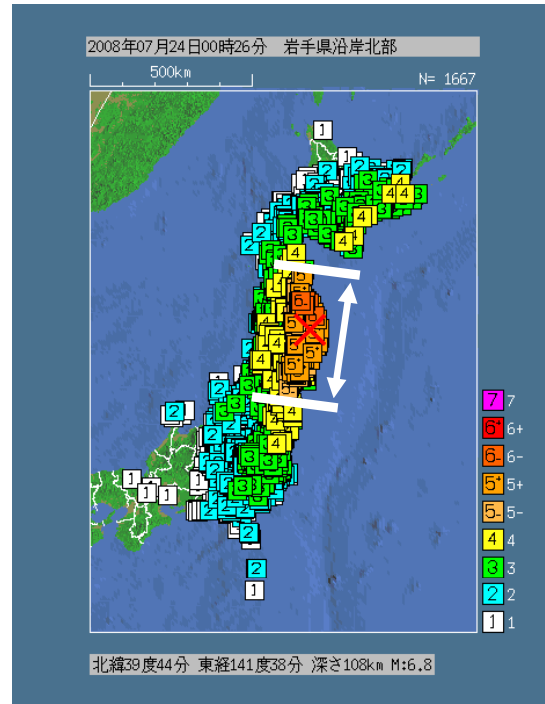


すべり分布は吉田(2005)による
コンター間隔は1m

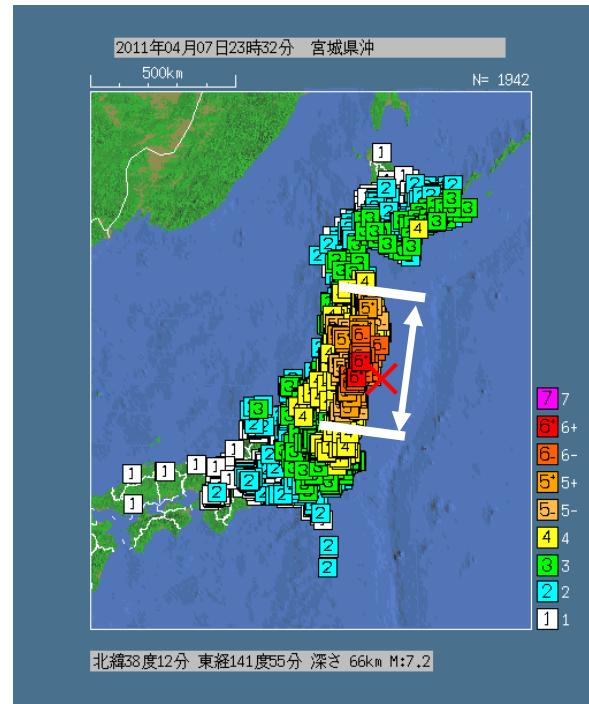
この方法によれば、例えば震度5弱範囲400km程度で M_w 8.2~8.4、700km程度で M_w 8.6程度となる。

過小評価判定ツール(5) 強震域の拡がり(震度5弱の範囲の拡がり) ②

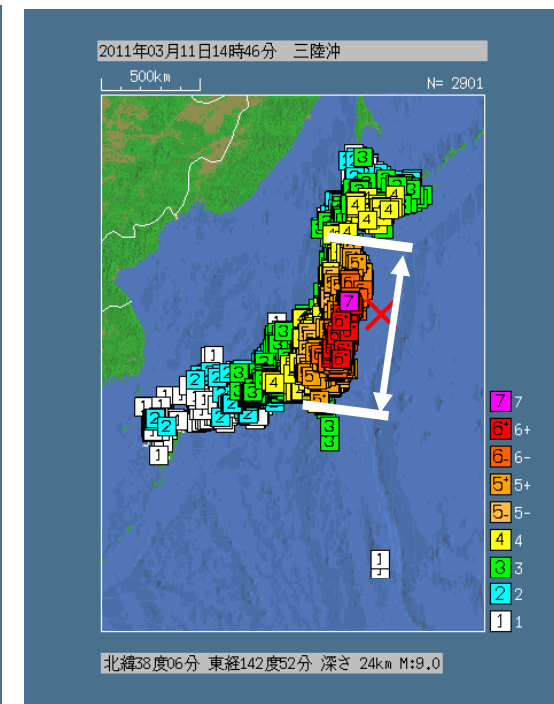
沈み込むプレート内部の地震などの深めの地震等で、震度の拡がりが大きくなる傾向がある。



2008年7月岩手県沿岸北部の地震
- M6.8, 深さ108km
- 震度5弱の拡がり約350km



2011年4月宮城県沖の地震
- M7.2, 深さ66km
- 震度5弱の拡がり約380km



(参考)東北地方太平洋沖地震
- M9.0, 深さ24km
- 震度5弱の拡がり約700km



異常震域の補正等を検討(気象研究所)

2. 想定最大マグニチュード

過小評価判定を行う基準と想定最大Mの設定の考え方

○過小評価判定を行うMj基準

1. Mjが8程度で飽和することを踏まえ、Mj 7.9の場合に過小評価判定を行う。
2. 津波地震のおそれのある海域（海溝軸沿い深さ20km程度まで）は、
7.0 Mj 7.8の地震についても過小評価判定を行う。

○想定最大Mの設定の考え方

1. 国の想定断層がある場合は、それを用いる。
2. 地震調査委員会の長期評価がある場合は、それを用いる。
3. 明確な想定がない範囲は、想定最大Mの下限を設定し、それを用いる。

国の想定断層

想定地震	M	出典
南海トラフの巨大地震(津波断層)	9. 1	南海トラフの巨大地震モデル検討会第2次報告(平成24年8月)
択捉島沖の地震(津波)	8. 4	中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(平成18年1月)
色丹島沖の地震(津波)	8. 3	//
根室・釧路沖の地震(津波)	8. 3	//
十勝沖・釧路沖の地震(津波)	8. 2	//
500年間隔地震(津波)	8. 6	//
三陸沖北部の地震(津波)	8. 4	//
宮城県沖の地震(連動)	8. 2	//
明治三陸タイプ地震	8. 6	//

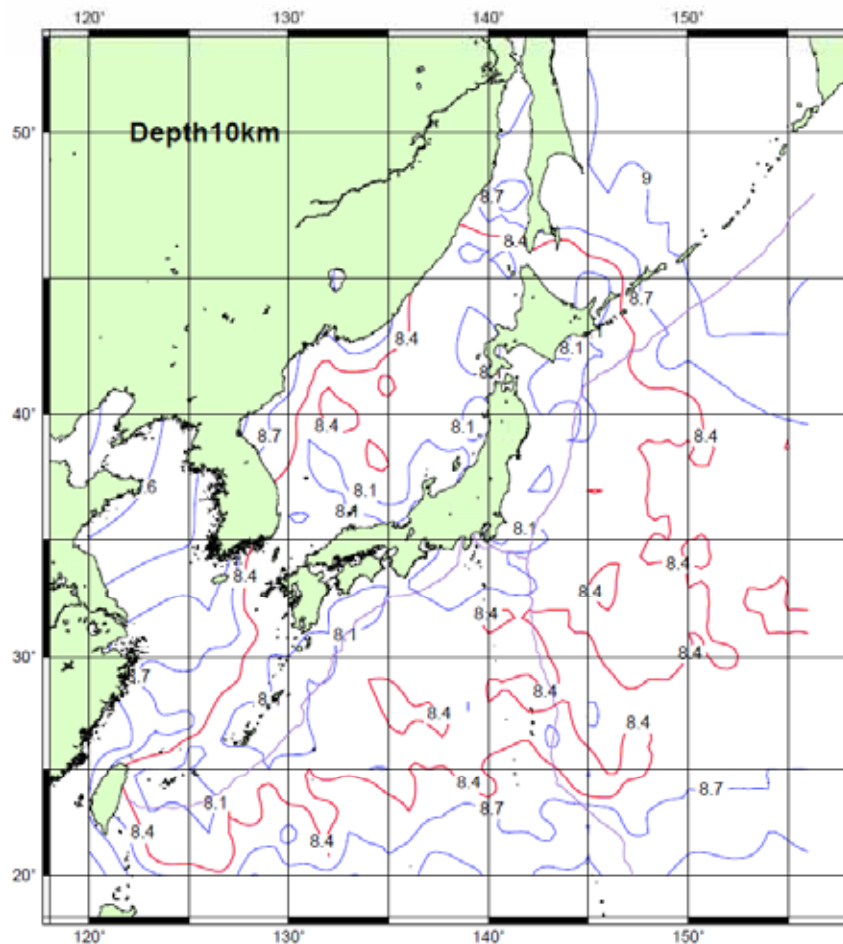
地震調査委員会の長期評価



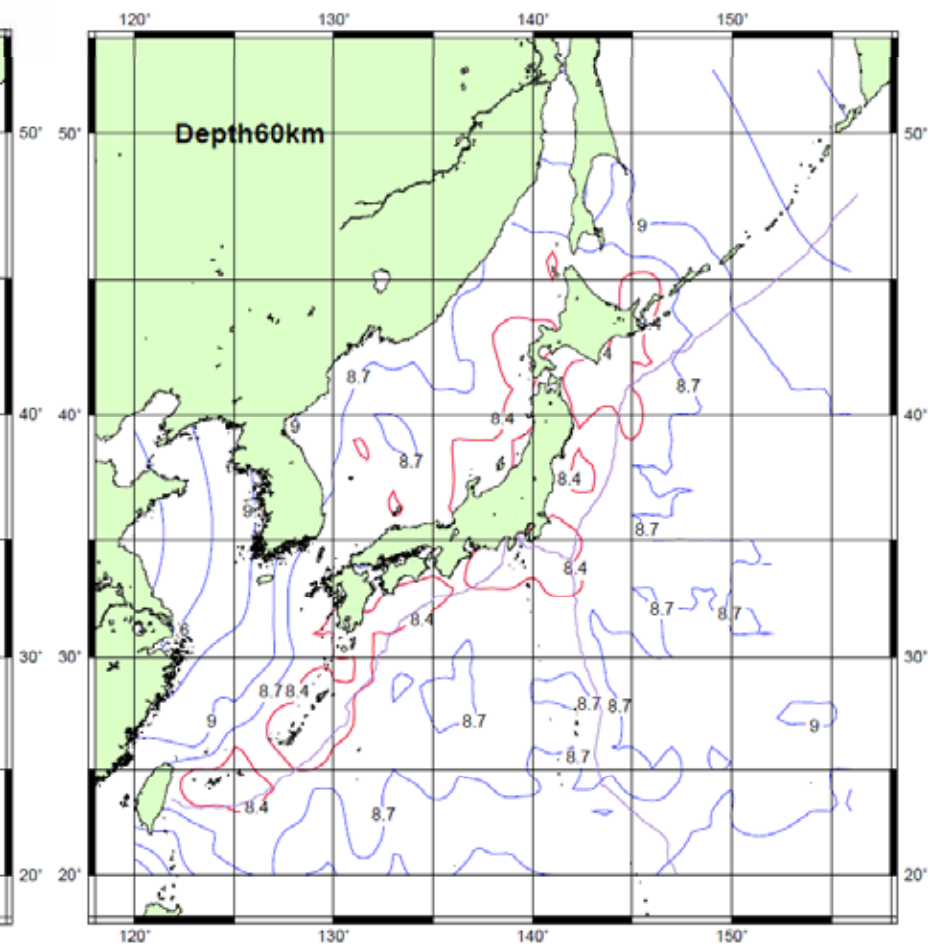
日本周辺海域の想定最大Mの下限設定の検討 ①

量的津波DBを検索した場合に予想高さ10m超となるMの下限

D=10km



D=60km

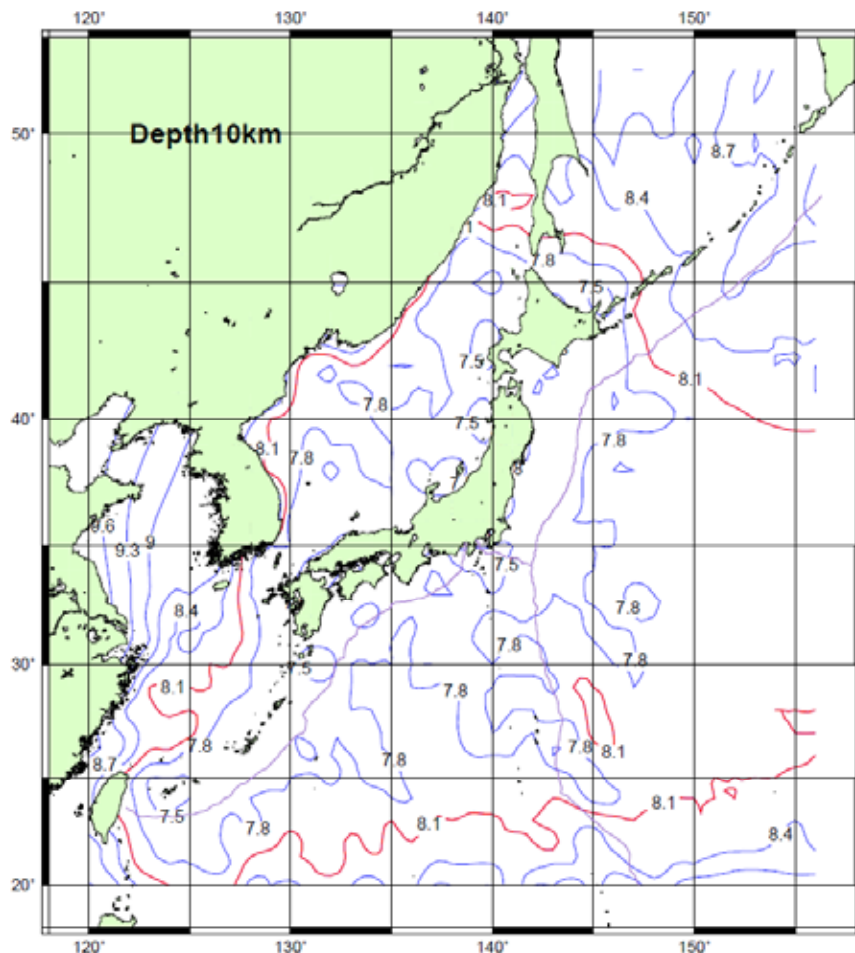


M8.4程度であれば、何れかの予報区で予想高さ10m超となる(深さ60kmでも、海溝軸陸側の広範囲で予想高さ10m超となる)。

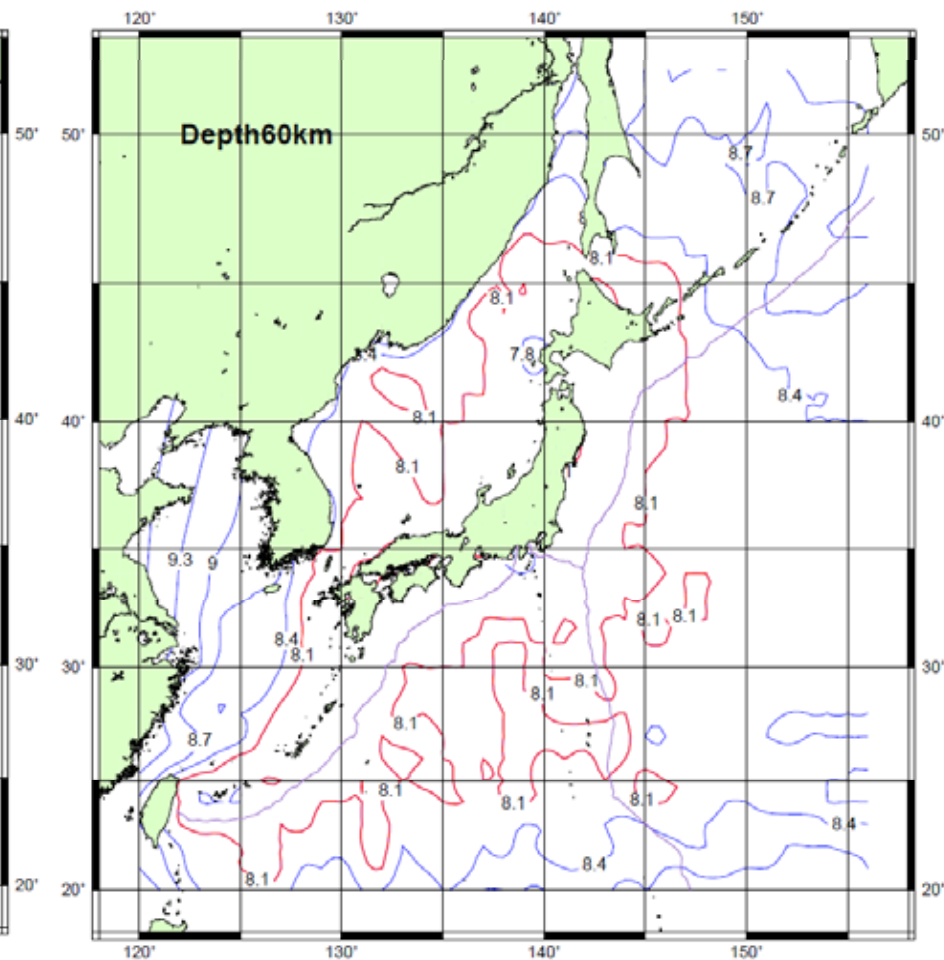
日本周辺海域の想定最大Mの下限設定の検討

量的津波DBを検索した場合に大津波警報となるMの下限

D=10km



D=60km



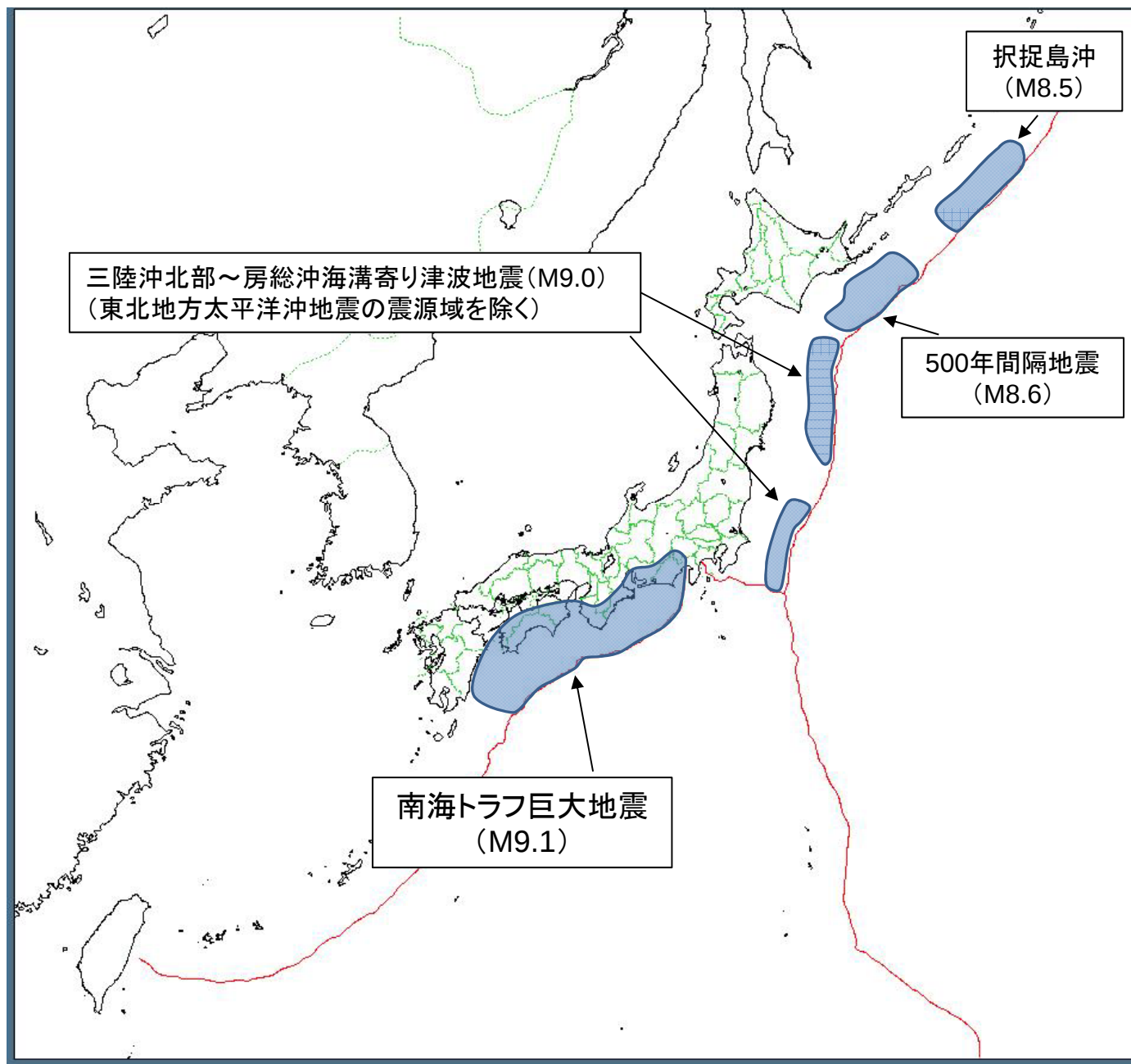
M8.1程度であれば、深さ60km程度であっても、何れかの予報区で大津波警報となる。

過小評価判定対象地震及び警報作成方法

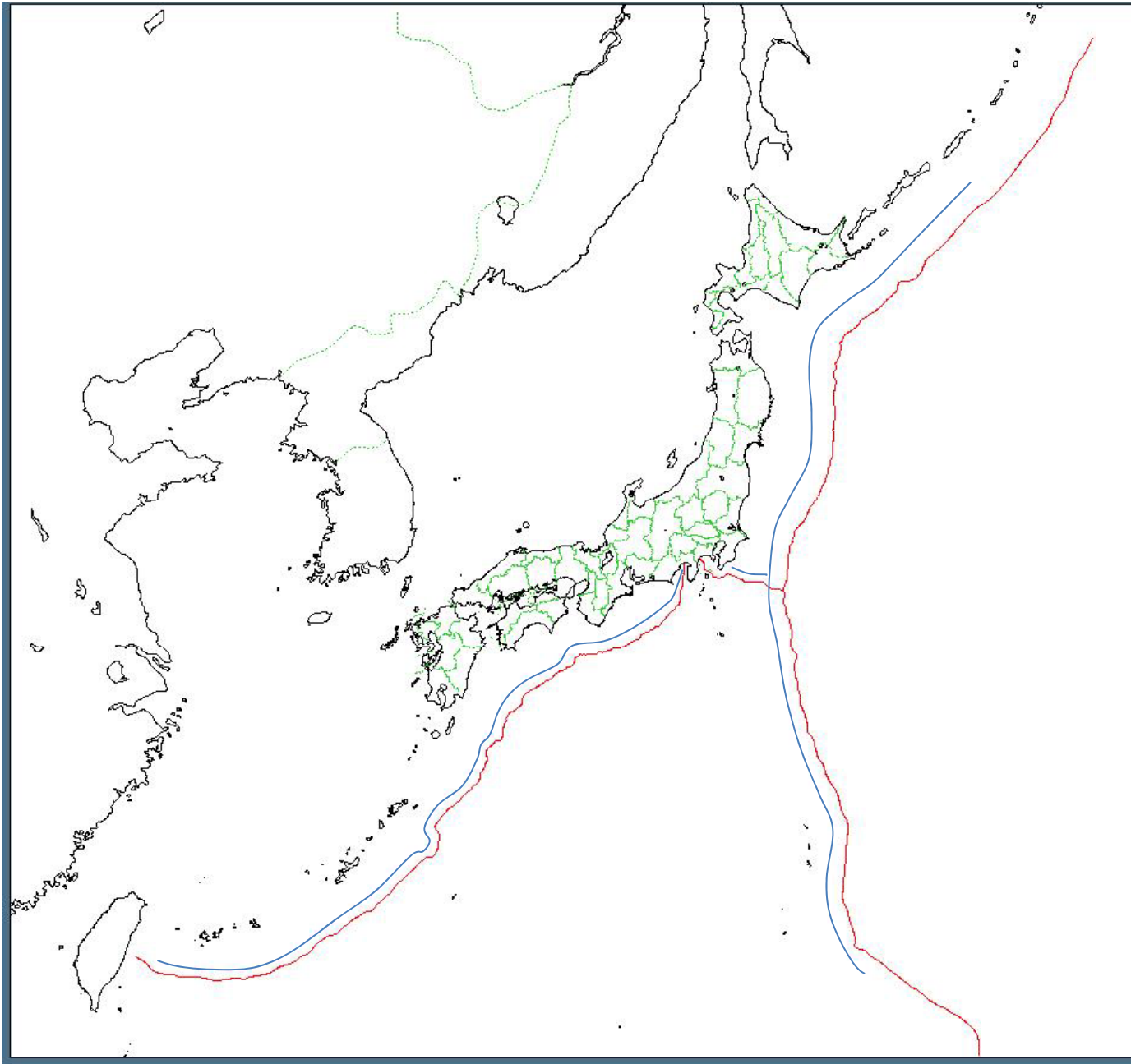
以上から、下記の想定最大地震または想定最大Mを設定する。

地震の種類	方法	備考
南海トラフ巨大地震	予め警報を設定	内閣府、中央防災会議
500年間隔地震	予め警報を設定	
択捉島沖	想定最大M(8.5)を用いた量的津波データベースによる予測	地震調査委員会
三陸沖北部～房総沖海溝寄り津波地震（東北地方太平洋沖地震の震源域を除く）	想定最大M(9.0)を用いた量的津波データベースによる予測	
その他の海域	Mj $\geq$ 7.9が過小評価の場合 → 8.4 7.0 $\leq$ Mj $\leq$ 7.8が過小評価の場合(津波地震を想定) → 8.1	どこかの予報区で最大の予想高さ(10m超)または大津波警報となるM

過小評価判定(巨大地震)を行う範囲



過小評価判定(津波地震)を行う範囲(海溝軸沿い深さ20km程度まで)

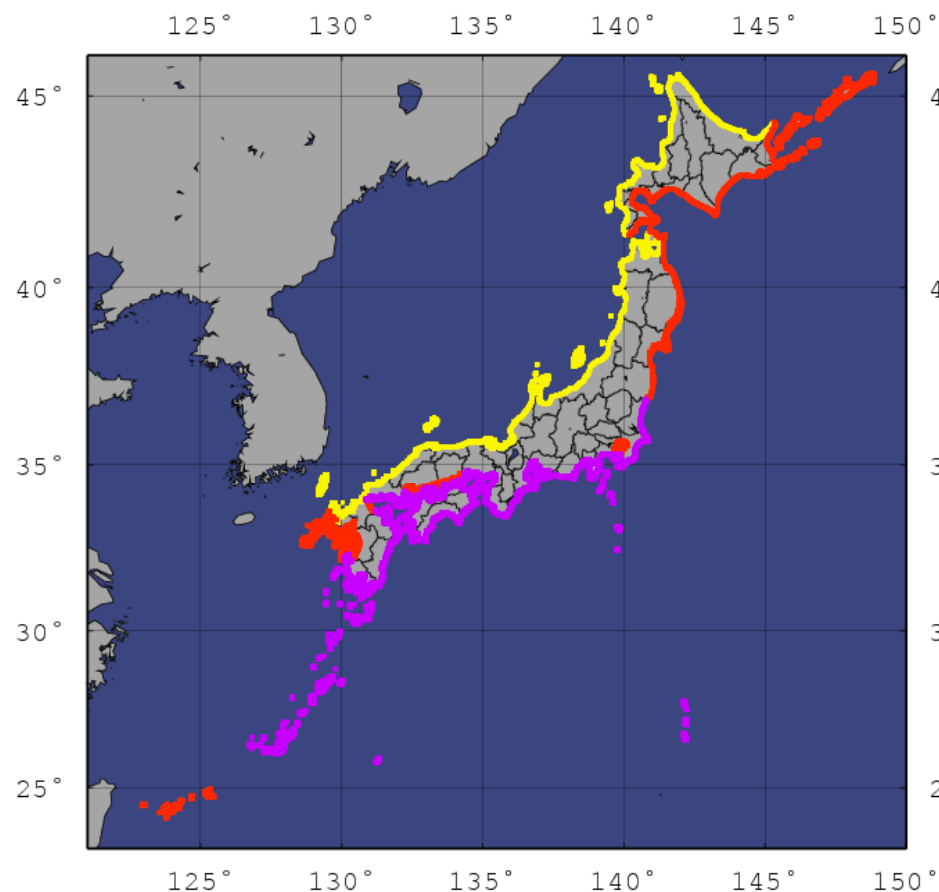


想定断層による警報の作成方法 (南海トラフ巨大地震、500年間隔地震)

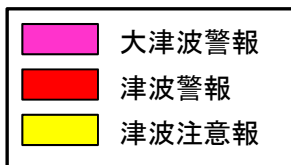
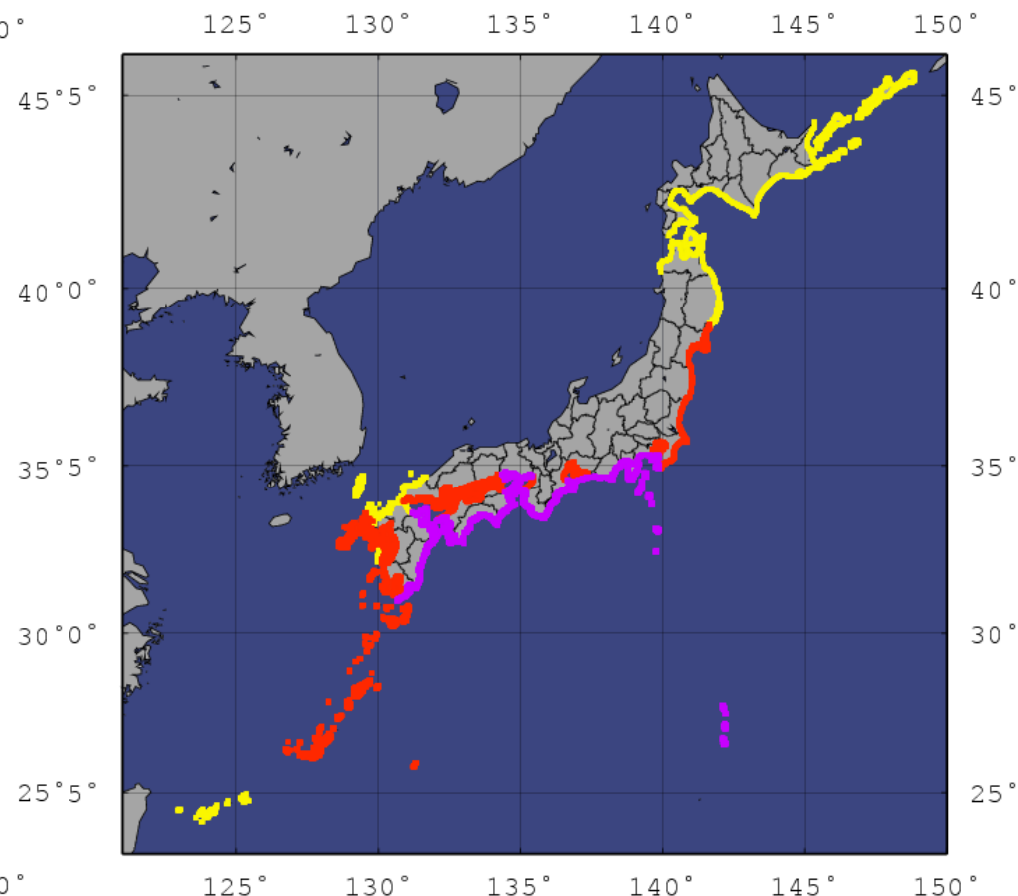
1. 内閣府、中央防災会議による津波高さの想定がある予報区については、満潮による潮位増分を差し引いたものから各予報区の津波の高さを設定(南海トラフ巨大地震については11ケースの最大値を使用)。
2. それ以外の予報区については、想定断層のパラメータを用いて、気象庁の近地地震用津波シミュレーションモデル(30秒メッシュ)により津波伝播計算を実施、その結果から各予報区の津波の高さを求める。
3. その他、以下について考慮。
 - ・北海道による想定(平成24年7月)における堆積物の知見を反映

想定最大地震による警報発表例（１）

南海トラフ巨大地震



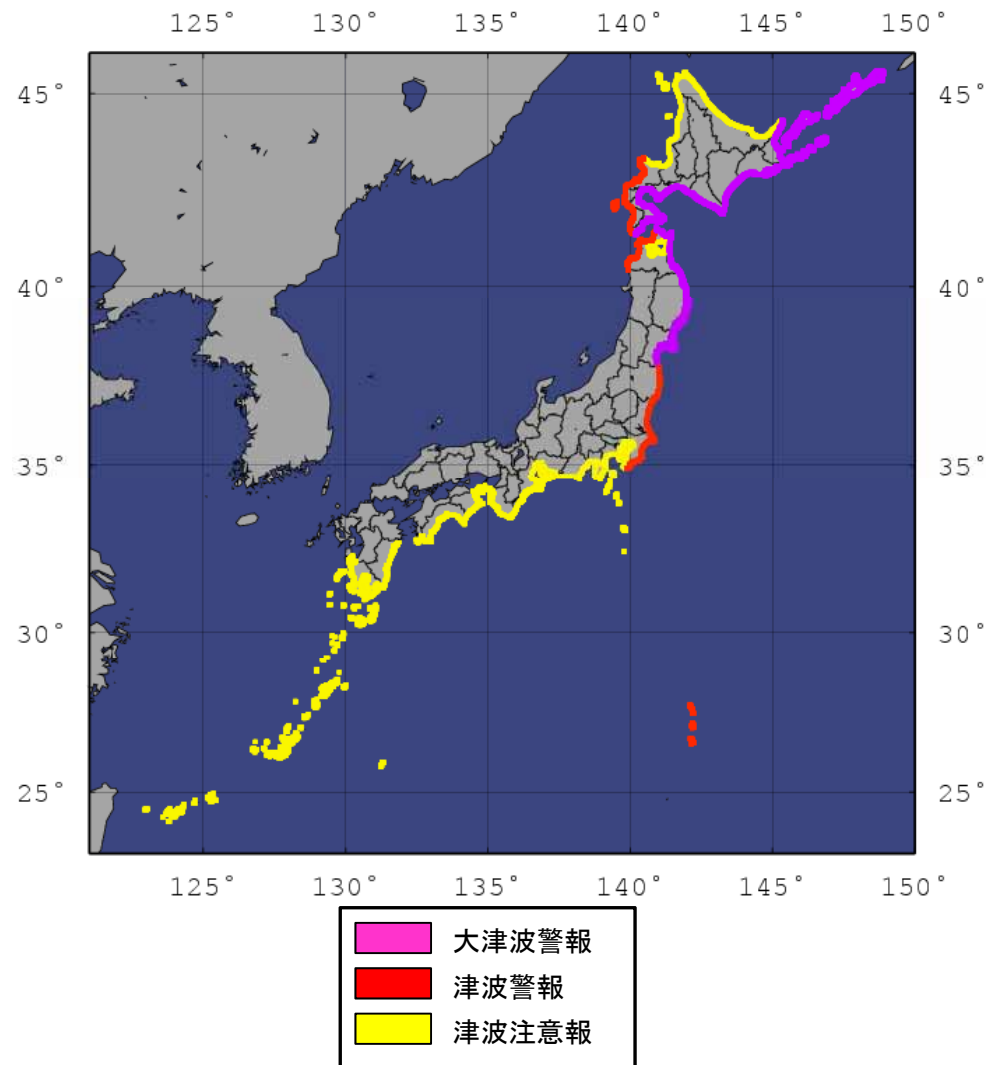
(参考)2003年中央防災会議想定による3連動地震



注：今後の精査により変更する可能性がある。

想定最大地震による警報発表例（2）

500年間隔地震



注：今後の精査により変更する可能性がある。

今後の予定

◎ 平成25年3月7日12時より新たな津波警報の運用を開始。

○M8を超える巨大地震等でMjが過小評価と判定した場合、非常事態を告げる

「巨大」や「東日本大震災クラス」など定性的表現を用いた津波警報第1報を発表。

○新たに整備する広帯域強震計(80箇所)で、地震発生から約15分後には巨大地震でもMwを適切に決定し警報更新に活用。

○沖合水圧計36基、GPS波浪計15基の津波観測データによる的確な警報更新と
沖合津波観測情報の発表

◎ 過小評価判定手法については、可能なものから運用に取り入れるとともに、引き続き手法の検証やさらに有効な手法の開発を進める。