

## 「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」について (第 28 報)

### 1. 本震の震源過程及び余震活動等の状況

#### ○本震 (M9.0) の震源過程について (別紙 1～2 参照)

国外の地震波形 (遠地実体波) を用いた震源過程解析により、本震の規模、断層の大きさ、断層のすべり量、主たる破壊の継続時間等を推定しました。

規模： Mw9.0 (Mw はモーメントマグニチュード)  
断層の大きさ： 長さ約 450km、幅約 200km  
断層のすべり量： 最大 20～30m 程度  
主たる破壊の継続時間： 3 分程度 (大きな破壊は 3 回)

地震の規模は、CMT 解析による規模と同じです。国内の強震波形 (近地強震波形) を用いて気象研究所が解析した結果は、断層の長さ約 450km、幅約 150km で、遠地実体波による解析結果と同程度の量となっています。

断層の破壊は、宮城県沖から始まり、岩手県沖の方向、福島県・茨城県沖の方向に伝播しました。大きな断層すべりは海溝側 (震源断層の浅い側) で発生しています。

#### ○余震活動等について (別紙 3 参照)

余震は、岩手県沖から茨城県沖にかけて、震源域に対応する長さ約 500km、幅約 200km の範囲に密集して発生しているほか、震源域に近い海溝軸の東側、福島県及び茨城県の陸域の浅い場所も含め広い範囲で発生しています。

これまでに発生した余震は、M7.0 以上は 3 回 (7.7、7.5、7.4)、M6.0 以上は 59 回、M5.0 以上は 352 回です。また、最大震度 4 以上を観測した余震は、73 回です。

余震は、次第に少なくなってきましたが、未だ活発な状況です。余震が発生している領域 (余震域) のなかの活動状況を見ると、岩手県及び宮城県沖の領域に比べ、福島県及び茨城県沖の領域の方が活動は活発です。

本震発生の日 (3 月 9 日) に、本震の震源の近くで、M7.3 の地震が発生しています。その後、本震が発生するまでの間の地震は、M6.0 以上は 8 回、M5.0 以上は 25 回です。

(注：余震及び地震の回数は後日の調査で変更になることがあります)

#### ○発震機構について (別紙 4 参照)

CMT 解析により求めた発震機構を見ると、本震の震源断層の領域では、本震のメカニズムと類似の逆断層タイプのものが比較的多く見られますが、正断層タイプのものも少なくありません。海溝軸の外側、陸域或いはその近くの余震は、正断層タイプのものです。

これら正断層タイプの余震は、海溝軸の外側のものを除くと、本震発生前には見ら

れていなかったタイプのもので、今回の巨大な本震が発生したことによるものと考えられます。

本震発生前の地震のメカニズムは、本震のメカニズムと同じ低角逆断層です。

### ○余震域以外の地震活動（別紙5参照）

本震の発生以降の地震活動を全国的に見ると、今回の地震以降、M6.0以上は3回、M5.0以上は8回発生しています。また、小さな地震が一時的に増加した地域も認められます。定常的に活動の高い地域を除き、これらの活動は既に低下あるいは低下傾向にあり、現在、特に地震活動が活発化した状況は見られていません。また、火山地域においても、噴火の兆候となる火山性微動や低周波地震は特段観測されていません。

## 2. 余震の見通し等

### ○余震の見通しについて（参考1～3参照）

余震は、やや活発な時期とやや少ない時期を繰り返しながら次第に少なくなってきましたが、未だ活発な状況です。

余震は、広い範囲で発生しているため、同じ規模の余震であっても、発生する場所により各地での震度は異なります。

今後も、震源地に近いところで最大震度5弱以上となる地震が発生する可能性があります。場合によっては、震度6弱～6強となる余震が発生する可能性もありますので警戒して下さい。

### ○防災上の留意事項

揺れの強かった地域では、土砂災害や家屋の倒壊などの危険性が高まっていますので、余震による強い揺れに引き続き警戒してください。

復旧活動など屋外で行動する場合は、余震の揺れによって二次災害のおそれがありますので、十分に安全を確認して行動するよう心がけてください。

また、大きな余震が発生すると津波が発生する可能性があります。海岸で強い揺れを感じた場合、また、揺れを感じなくても津波警報や津波注意報が発表された場合には、直ちに海岸から離れ高台等の安全な場所に避難してください。

本件に関する問い合わせ先

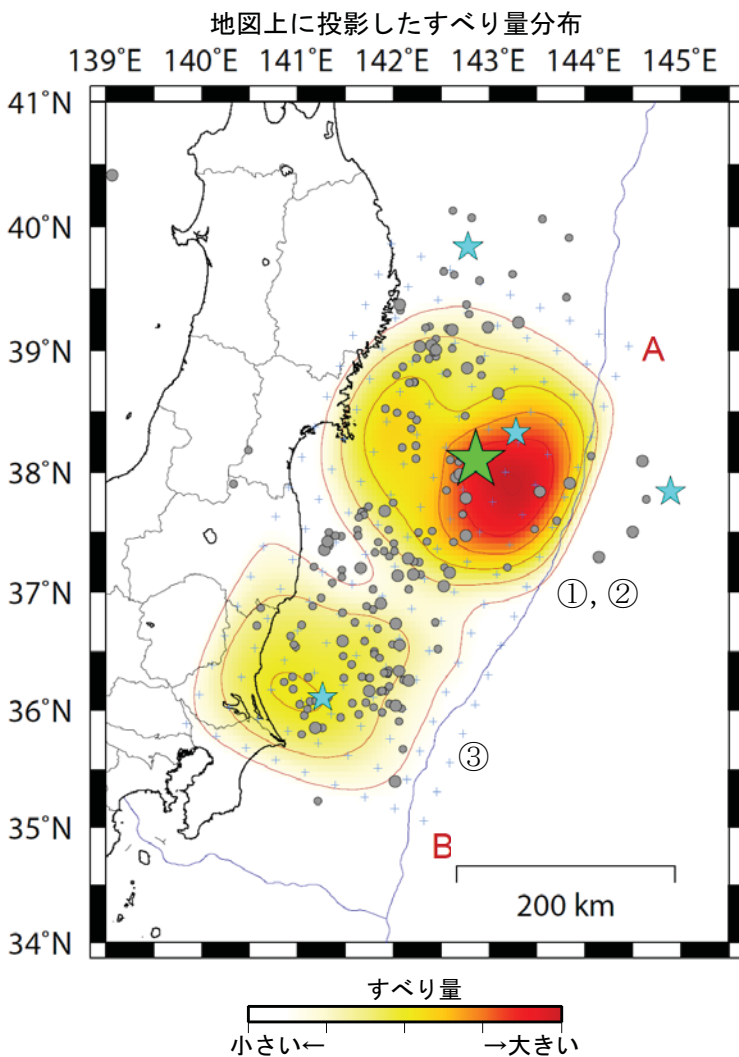
気象庁地震火山部 地震予知情報課 03-3211-4583

# 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震 — 遠地実体波による震源過程解析 (暫定) —

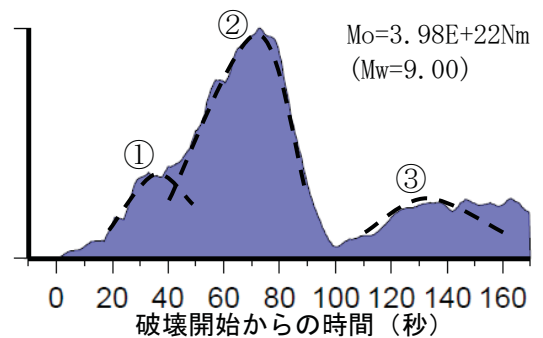
平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震について, 米国地震学連合 (IRIS) のデータ管理センター (DMC) より広帯域地震波形記録を取得し, 遠地実体波を利用した震源過程解析 (注 1) を行った. 破壊開始点は気象庁による震央の位置 (N38° 06.2', E142° 51.6', 深さ 24km) とした.

主な結果は以下のとおり.

- 主な破壊は 3 つに分けられる (図中の○数字参照).
- 主なすべりは初期破壊開始点よりもやや浅い場所と, 初期破壊開始点の南南西 200~300km の場所 (最大破壊伝播速度を 1.8km/s と仮定した場合) にあり, 主な破壊継続時間は約 160 秒間であった.
- 断層の大きさは長さ約 450km, 幅約 200km, 最大のすべり量は約 30m (剛性率を 30GPa と仮定した場合) であった.
- モーメントマグニチュードは 9.0 であった.

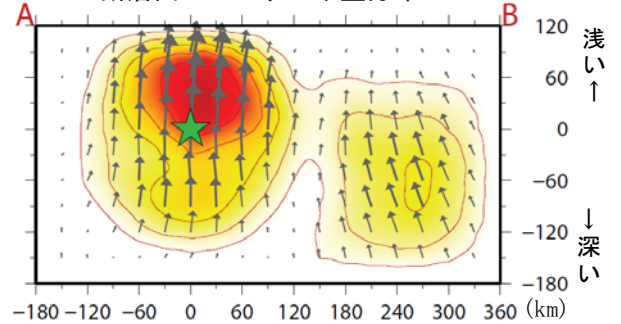


震源時間関数 (すべりの時間分布)

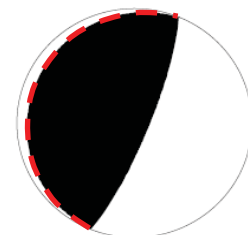


破線と○数字は 3 つの主な破壊に対応する.

断層面上でのすべり量分布



矢印は下盤から見た上盤の動きを表す. 緑色の星印は本震の破壊開始点を示す.



CMT 解

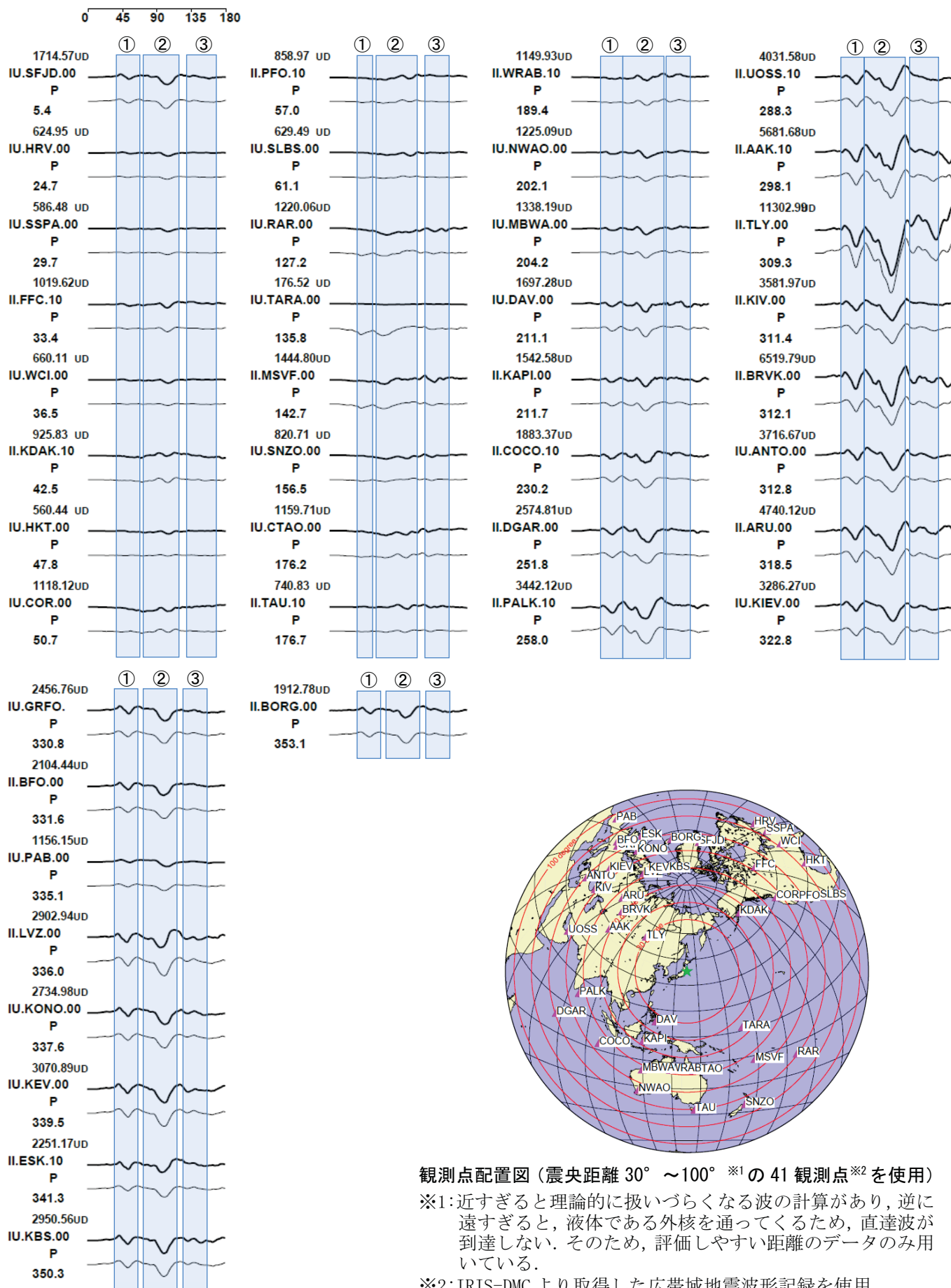
解析に用いた節面を赤線で示す.  
(走向 203°, 傾斜 10°, すべり角 91°)

(注 1) 解析に使用したプログラム

M. Kikuchi and H. Kanamori, Note on Teleseismic Body-Wave Inversion Program,  
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ETAL/KIKUCHI/>

※ この解析結果は暫定であり, 今後更新する可能性がある.

観測波形（上：0.002Hz-1.0Hz）と理論波形（下）の比較  
主な3つの破壊に対応する地震波を点線で示した。



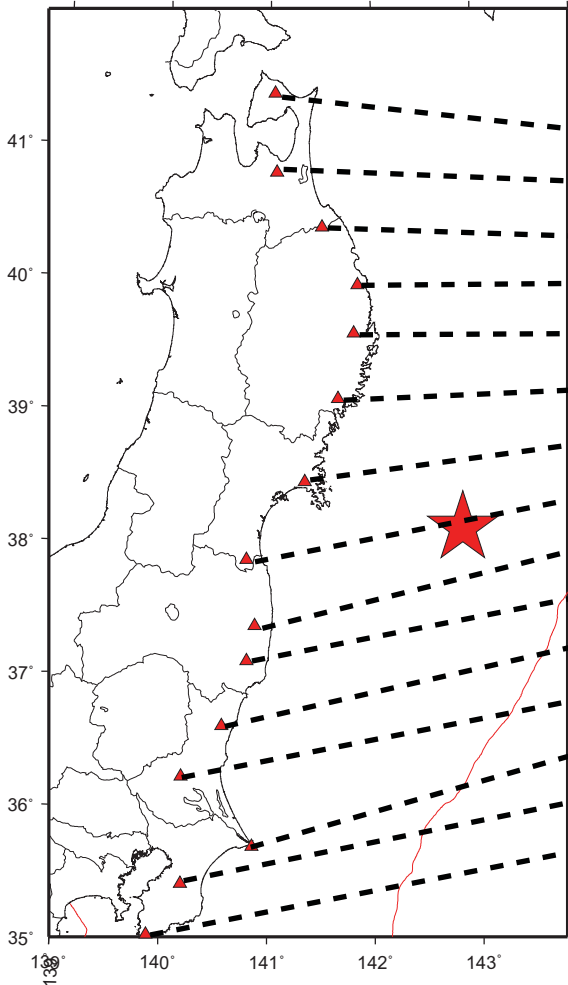
観測点配置図（震央距離 30° ~100° ※1 の 41 観測点※2 を使用）

※1: 近すぎると理論的に扱いづらくなる波の計算があり、逆に遠すぎると、液体である外核を通ってくるため、直達波が到達しない。そのため、評価しやすい距離のデータのみ用いている。

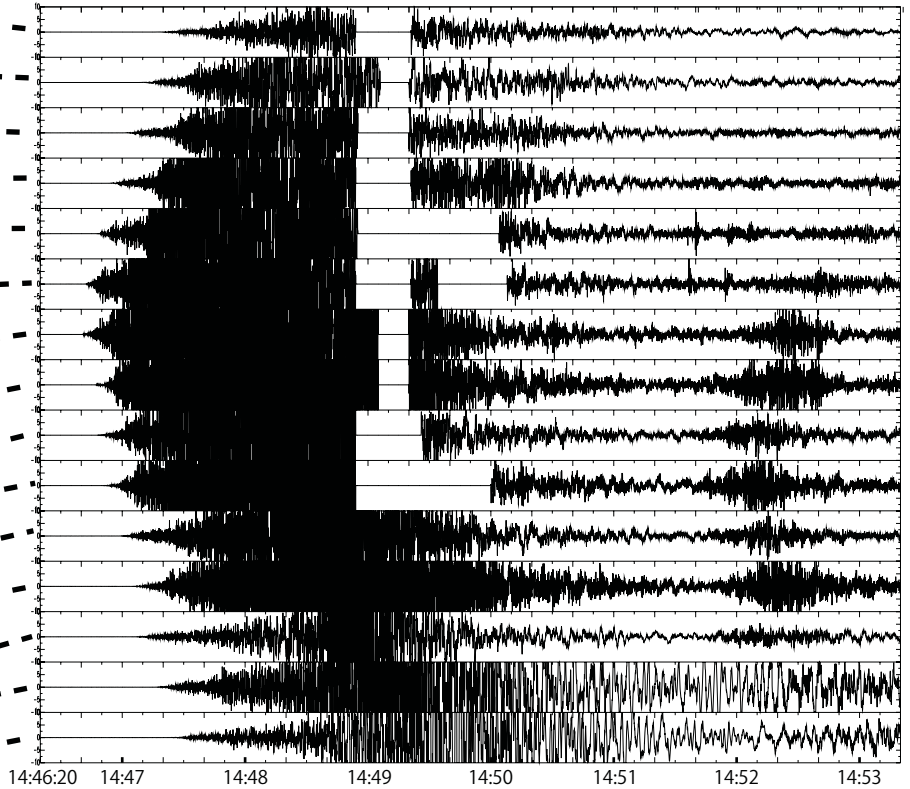
※2: IRIS-DMC より取得した広帯域地震波形記録を使用。

# 強震加速度波形から見た本震の揺れ

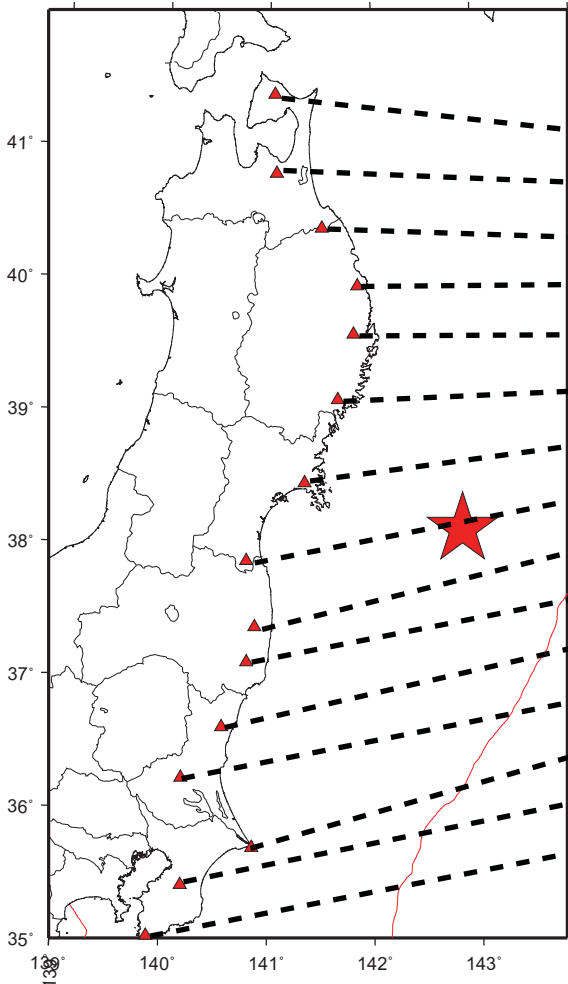
右図の観測点配置図



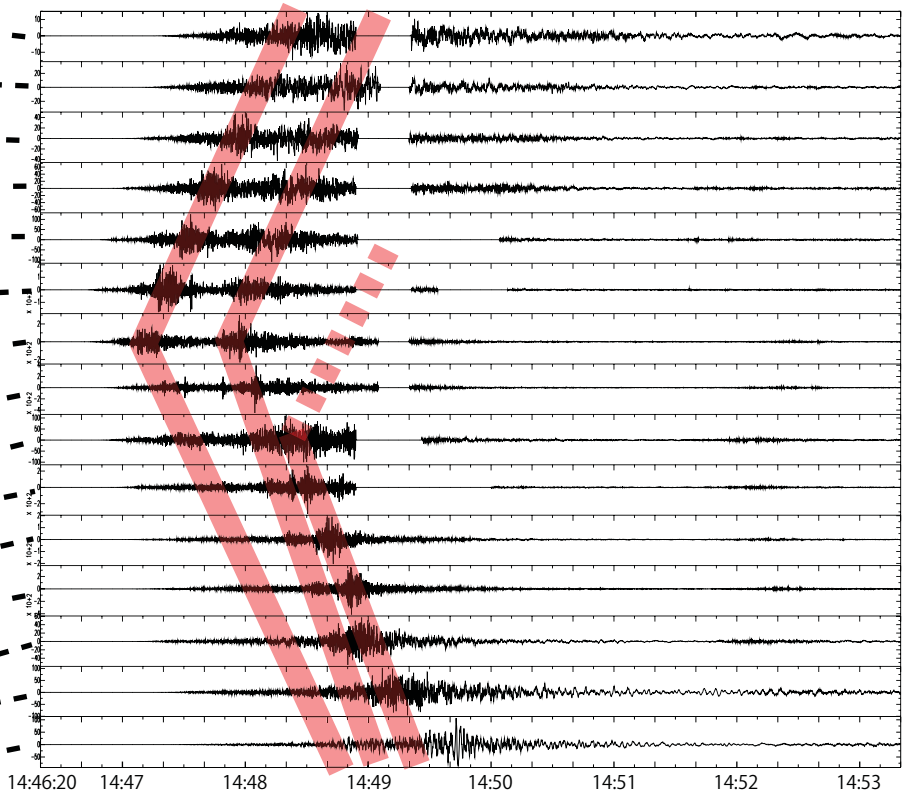
気象庁の強震加速度波形（上下動）  
（全ての観測点で同じスケールで表示）



※振幅は全て同じスケールで表示しており、±10gal（周期 0.4 秒～5 秒程度なら、震度 3 程度）。  
 ※本震発生時刻は 14:46:18.12。  
 ※1gal（周期 0.4 秒～5 秒程度なら、震度 1 程度）以上の揺れが 5 分以上にわたって、揺れていることが分かる。



（各観測点毎の最大振幅で正規化して表示）



※振幅は各々の観測点の最大値で正規化している。  
 ※3つの大きな振幅の波群を確認できる。

# 2011年03月11日14時46分頃の地震の発震機構解 CMT解

## 西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型

[CMT解]

Mw=9.0

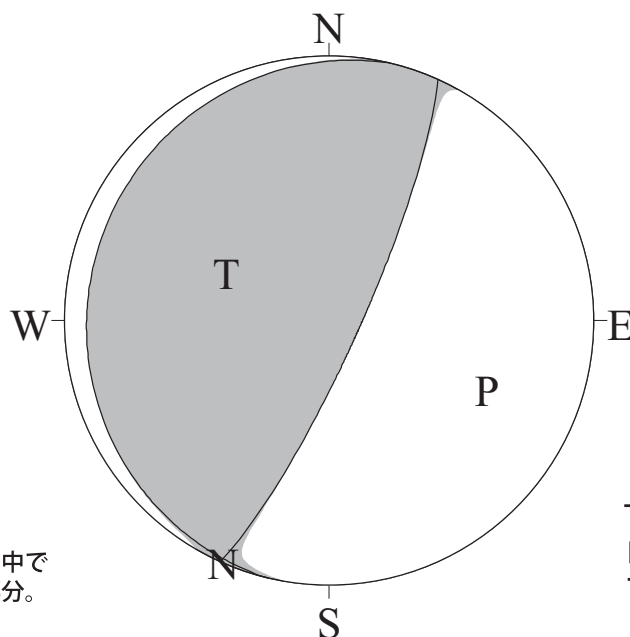
震源 (セントロイド)

北緯 37度49分

東経 143度3分

深さ 約10km

※セントロイドとは、地震を起こした断層面の中で地震動を最も放出した部分。



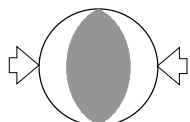
下半球等積投影法で描画

P：圧力軸の方向

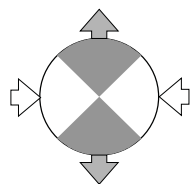
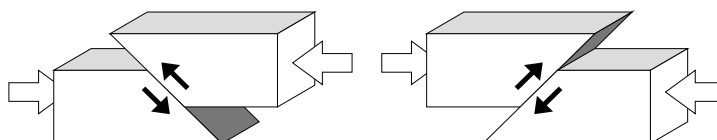
T：張力軸の方向

### 発震機構解 [CMT解] について

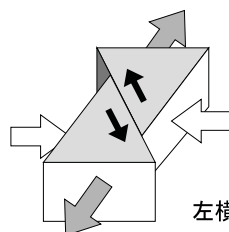
圧力軸に注目した場合の例



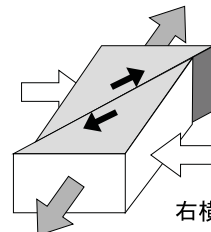
逆断層型



横ずれ断層型

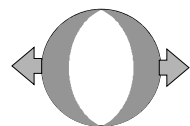


左横ずれ

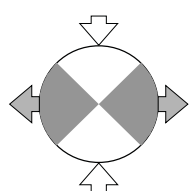
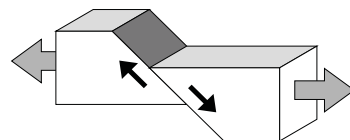


右横ずれ

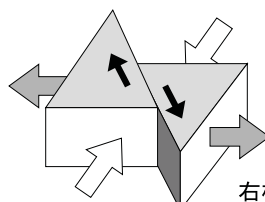
張力軸に注目した場合の例



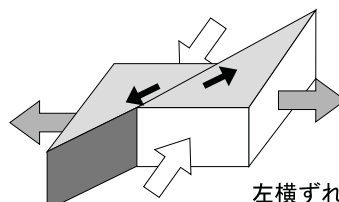
正断層型



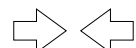
横ずれ断層型



右横ずれ



左横ずれ



圧力 (押す力)



張力 (引く力)



断層がずれる方向

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の前後に発生した地震の規模  
 -モーメントマグニチュード (Mw) と気象庁マグニチュード (Mjma) (速報) -

	Mw	Mjma
2011 年 3 月 9 日 11 時 45 分 (三陸沖)	7.3	7.3
2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分 (平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震)	9.0	8.4
2011 年 3 月 11 日 15 時 08 分 (岩手県沖)	7.4	7.4
2011 年 3 月 11 日 15 時 15 分 (茨城県沖)	7.7	7.4
2011 年 3 月 11 日 15 時 25 分 (三陸沖)	7.5	7.5
2011 年 3 月 19 日 18 時 56 分 (茨城県北部)	5.8	6.1
2011 年 3 月 23 日 07 時 12 分 (福島県浜通り)	5.7	6.0
2011 年 3 月 23 日 07 時 36 分 (福島県浜通り)	5.4	5.8

【参考】周辺で発生した地震

	Mw	Mjma
2011 年 3 月 12 日 03 時 59 分 (長野県北部)	6.3	6.7
2011 年 3 月 15 日 22 時 31 分 (静岡県東部)	6.0	6.4

過去に発生した地震

	Mw	Mjma
平成 6 年(1994 年)三陸はるか沖地震 (12 月 28 日)	7.8	7.6
平成 7 年 (1995 年) 兵庫県南部地震 (1 月 17 日)	6.9	7.3
平成 12 年 (2000 年) 鳥取県西部地震 (10 月 6 日)	6.8	7.3
平成 13 年 (2001 年) 芸予地震 (3 月 24 日)	6.8	6.7
平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震 (9 月 26 日)	8.0	8.0
平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震 (10 月 23 日)	6.7	6.8
平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震 (3 月 25 日)	6.6	6.9
平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震 (7 月 16 日)	6.7	6.8
平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震 (6 月 14 日)	7.0	7.2

※ 水色：プレート境界で発生した地震

黄色：地殻内で発生した地震

白色：プレート内部で発生した地震

# 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の断層すべり分布の推定 — 近地強震波形を用いた解析 —

東北地方と関東地方の太平洋側の観測点(図1の▲で示した18の観測点)で得られた地震波形記録を用いて、震源過程解析を行いました。解析結果の概要は、以下のとおりです。

- すべりの大きな領域は、破壊開始点の北東側(震源よりも浅い部分)にあり、最大すべり量は約25mです(図1)
- 主な断層の長さは約450km、幅は約150kmで、 $M_w$ は8.9です。
- 断層の破壊は、破壊開始点付近で徐々に拡大した後(0~50秒)、南北方向に分かれて進んでいきました(図2)
- 破壊継続時間は約3分間でした(図2)

注)主に短期成分を用いた解析のため、 $M_w$ は8.9と求まっているが、長周期成分を含めると $M_w$ 9.0となる。

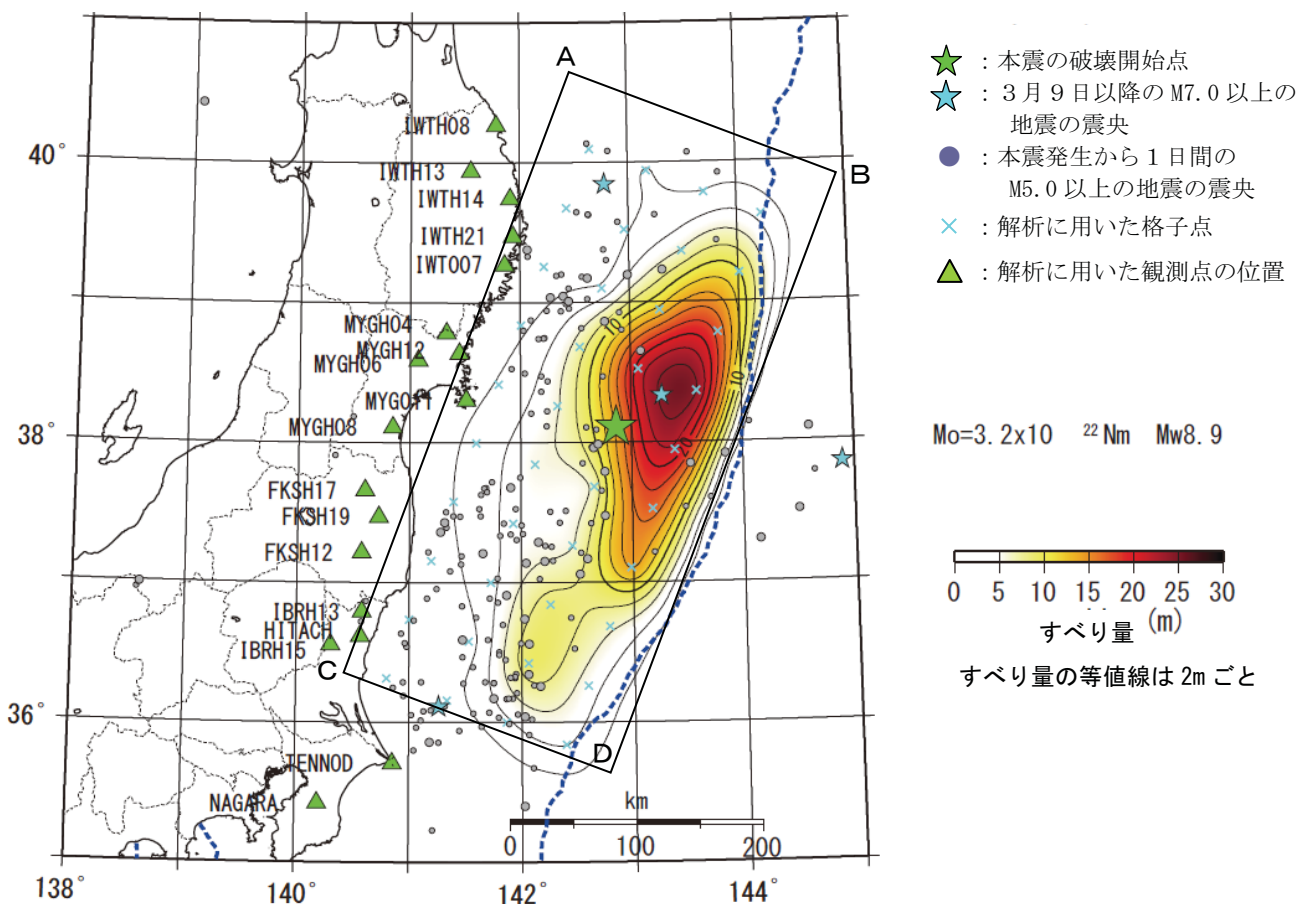


図1 震源過程解析から推定された、断層面上のすべり量分布

断層面はプレートが沈み込む方向と平行であると仮定し、気象庁による震源(北緯38.1° 東経142.9° 深さ24km)から破壊が始まったとして解析を行いました。大きくすべった領域の周辺で、余震が多く発生していることがわかります。

※ この解析結果は暫定であり、今後更新する可能性があります。

※ 解析には、(独)防災科学技術研究所及び気象庁により観測されたデータを使用しました。



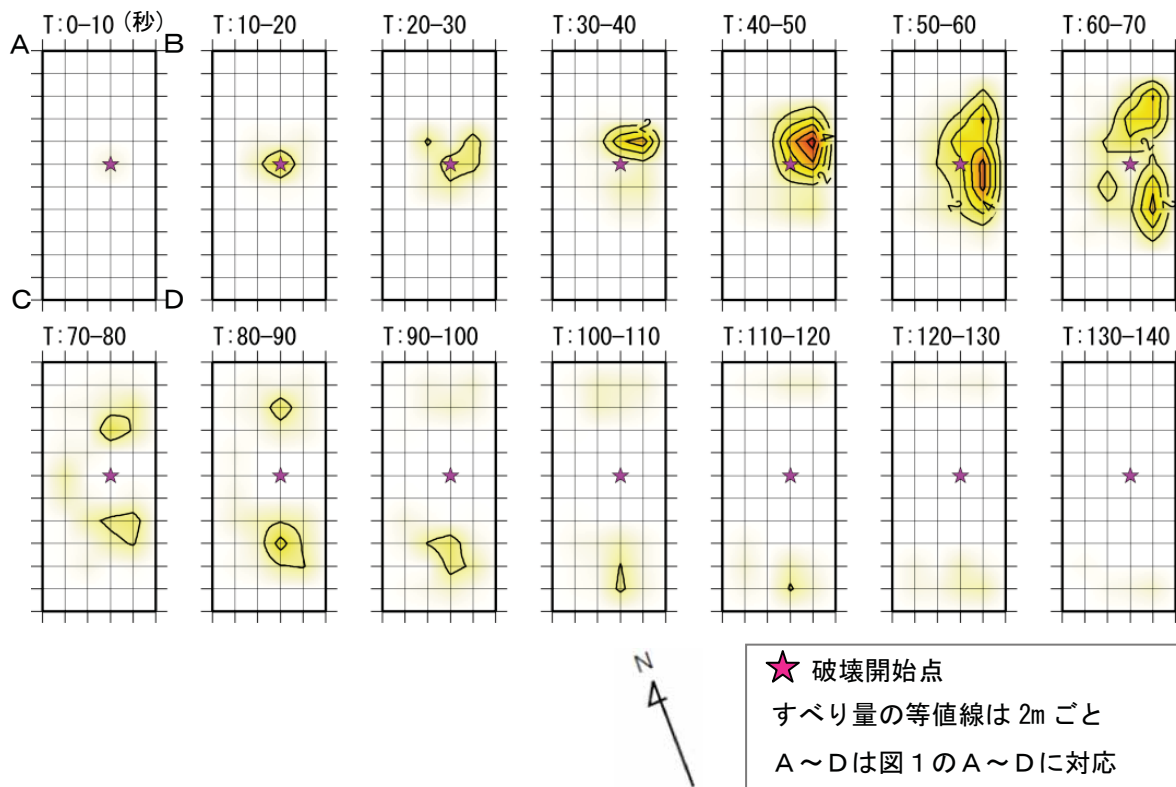


図 2 断層面における破壊の進行 (破壊開始から 10 秒毎のすべり量の分布を描いたもの)

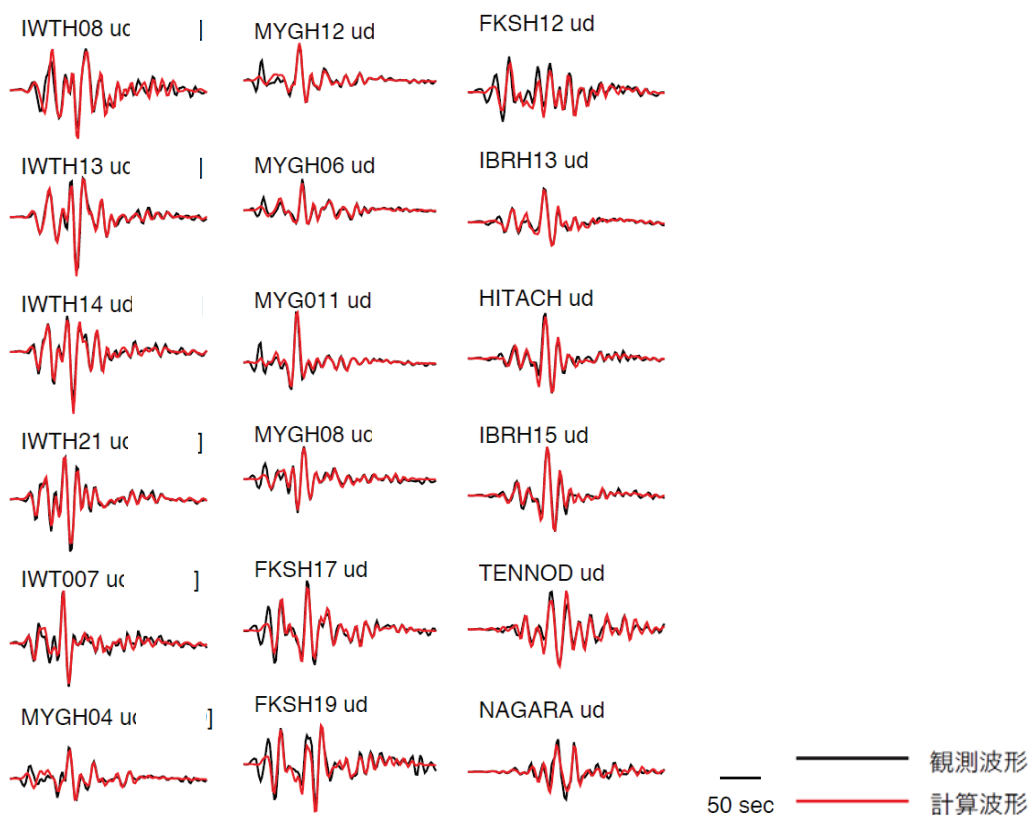


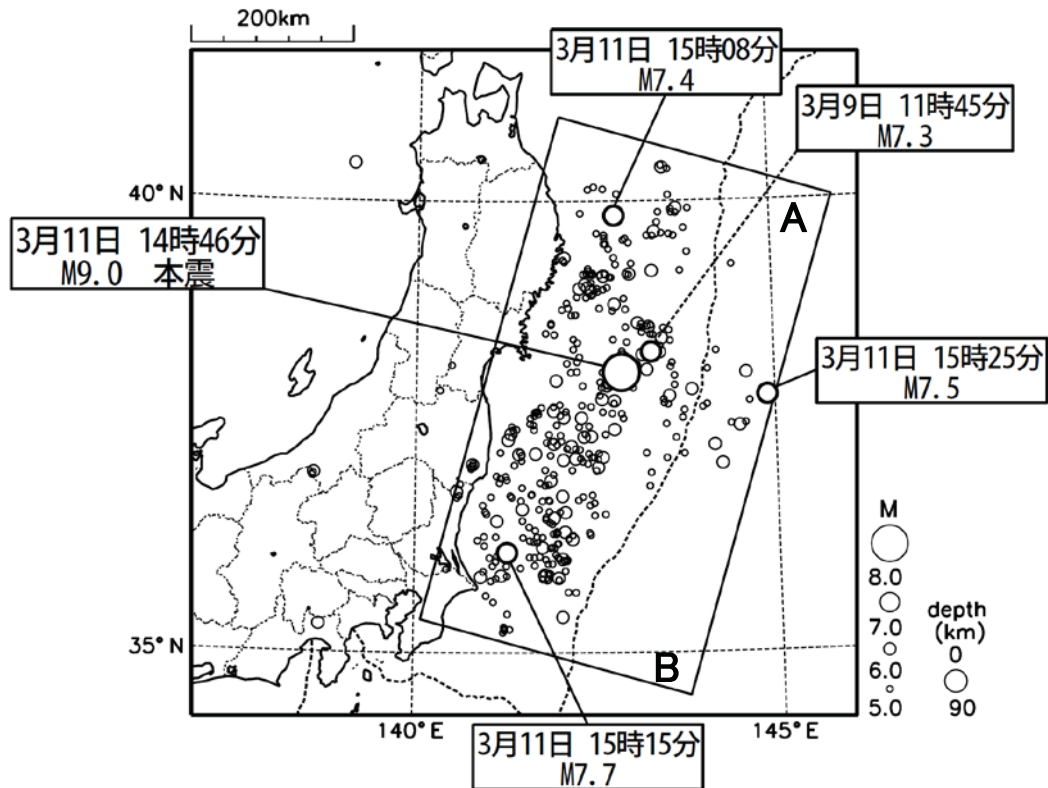
図 3 観測波形と計算波形の比較 (速度波形、上下成分のみ)

実際に観測された波形と推定したすべり分布から想定される理論計算波形の比較の図です。観測された波形と計算波形がよくあっていることがわかります。

# 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震 余震の発生状況

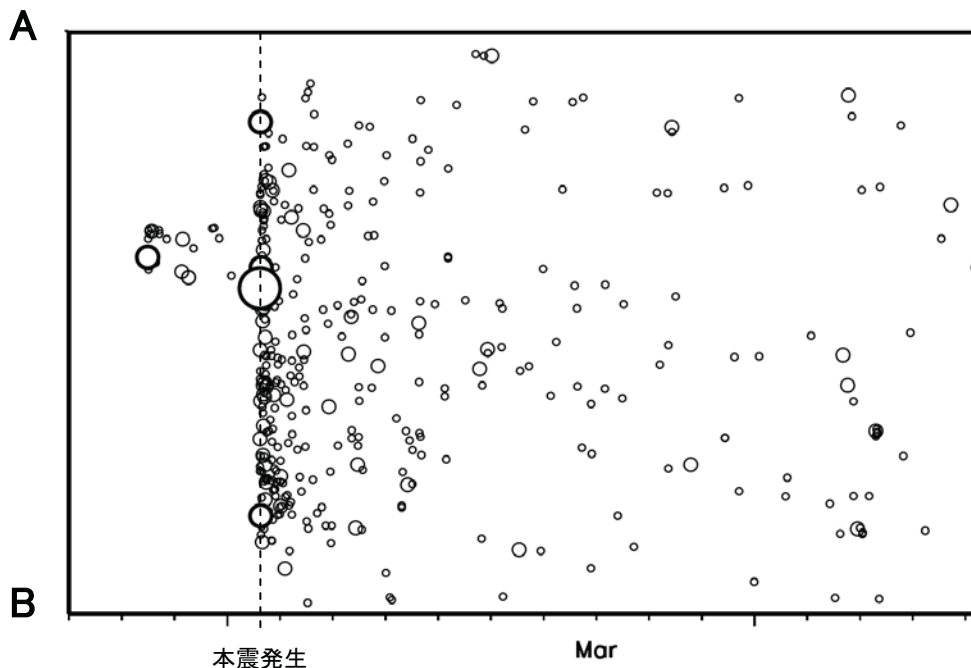
## 震央分布図

(2011年3月08日12時00分~25日12時00分、深さ90km以浅、 $M \geq 5.0$ )



丸の大きさはマグニチュードの大きさを表す。  
M7.0以上の地震に吹き出しをつけている。

## 上図矩形内の時空間分布図(A-B 投影)



横軸は時間、縦軸は上図のA-Bの範囲を示す。  
発生した時刻にマグニチュードの大きさに対応した丸を示した。

平成23年3月25日15時現在  
気象庁地震火山部

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(平成23年3月11日14時～)

震度4以上の最大震度別地震回数表(本震を含む)

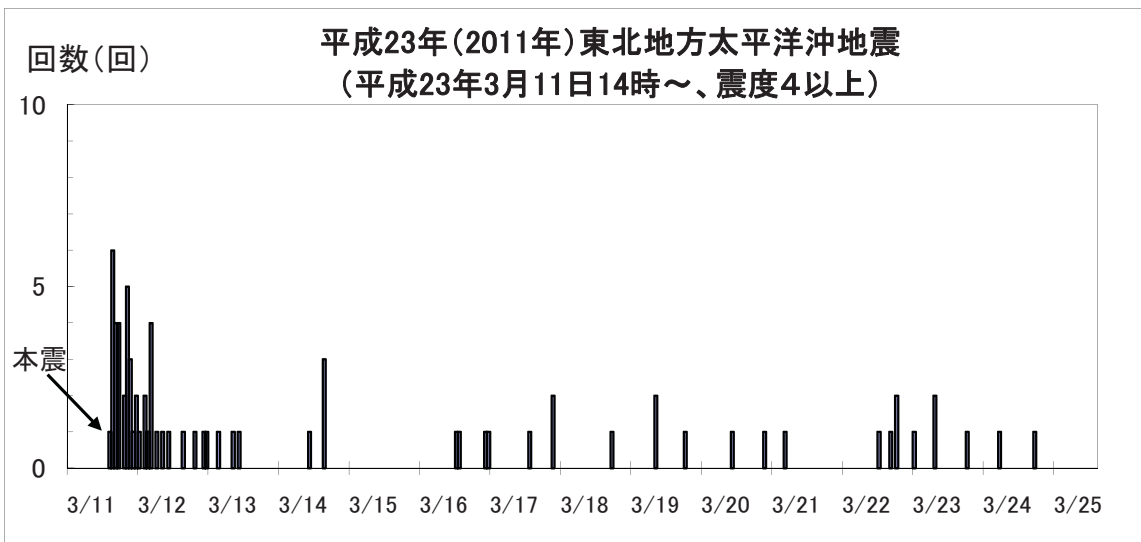
※この資料は速報値であり、本震発生直後や障害中の震度計のデータが反映されていません。

日別回数

期間	最大震度別回数							震度4以上を観測した回数		備考
	4	5弱	5強	6弱	6強	7	回数	累計		
3/11 14:00 - 24:00	22	2	2	1	0	1	28	28	震度7は本震	
3/12 00:00 - 24:00	14	1	0	0	0	0	15	43		
3/13 00:00 - 24:00	2	1	0	0	0	0	3	46		
3/14 00:00 - 24:00	3	1	0	0	0	0	4	50		
3/15 00:00 - 24:00	0	0	0	0	0	0	0	50		
3/16 00:00 - 24:00	3	1	0	0	0	0	4	54		
3/17 00:00 - 24:00	3	0	0	0	0	0	3	57		
3/18 00:00 - 24:00	1	0	0	0	0	0	1	58		
3/19 00:00 - 24:00	2	0	1	0	0	0	3	61		
3/20 00:00 - 24:00	2	0	0	0	0	0	2	63		
3/21 00:00 - 24:00	1	0	0	0	0	0	1	64		
3/22 00:00 - 24:00	4	0	0	0	0	0	4	68		
3/23 00:00 - 24:00	1	0	3	0	0	0	4	72		
3/24 00:00 - 24:00	1	1	0	0	0	0	2	74		
3/25 00:00 - 15:00	0	0	0	0	0	0	0	74		
総計	59	7	6	1	0	1	-	74		

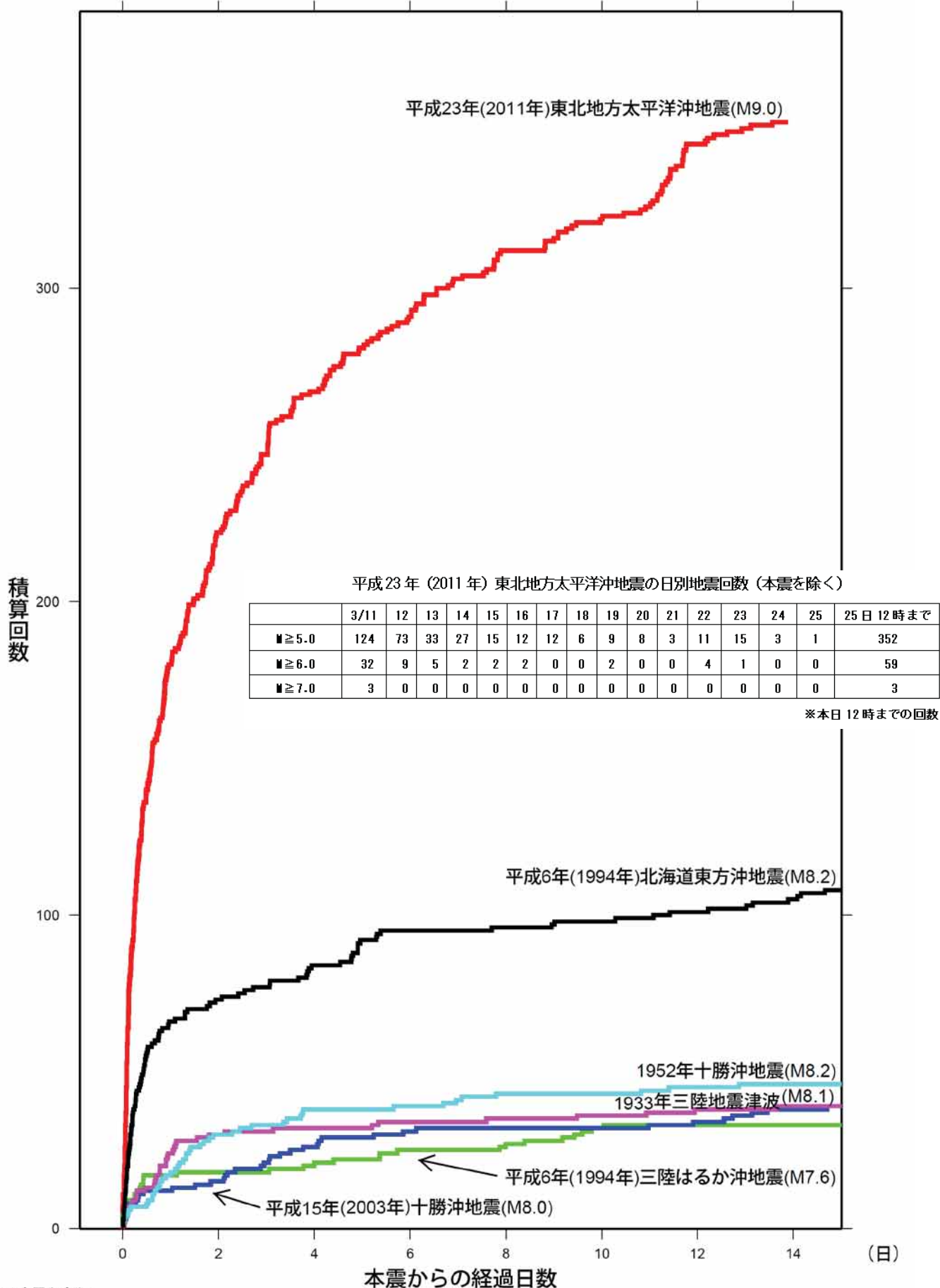
3月25日の時間別回数

時間帯	最大震度別回数							震度4以上を観測した回数		備考
	4	5弱	5強	6弱	6強	7	回数	累計		
00:00 - 01:00							0	74		
01:00 - 02:00							0	74		
02:00 - 03:00							0	74		
03:00 - 04:00							0	74		
04:00 - 05:00							0	74		
05:00 - 06:00							0	74		
06:00 - 07:00							0	74		
07:00 - 08:00							0	74		
08:00 - 09:00							0	74		
09:00 - 10:00							0	74		
10:00 - 11:00							0	74		
11:00 - 12:00							0	74		
12:00 - 13:00							0	74		
13:00 - 14:00							0	74		
14:00 - 15:00							0	74		
日累計	0	0	0	0	0	0	0	-		
総計	59	7	6	1	0	1	-	74		



## 海域で発生した主な地震の余震回数比較 (※本震を含む) (マグニチュード5.0以上)

2011年03月25日12時00分現在



※本震を含む。

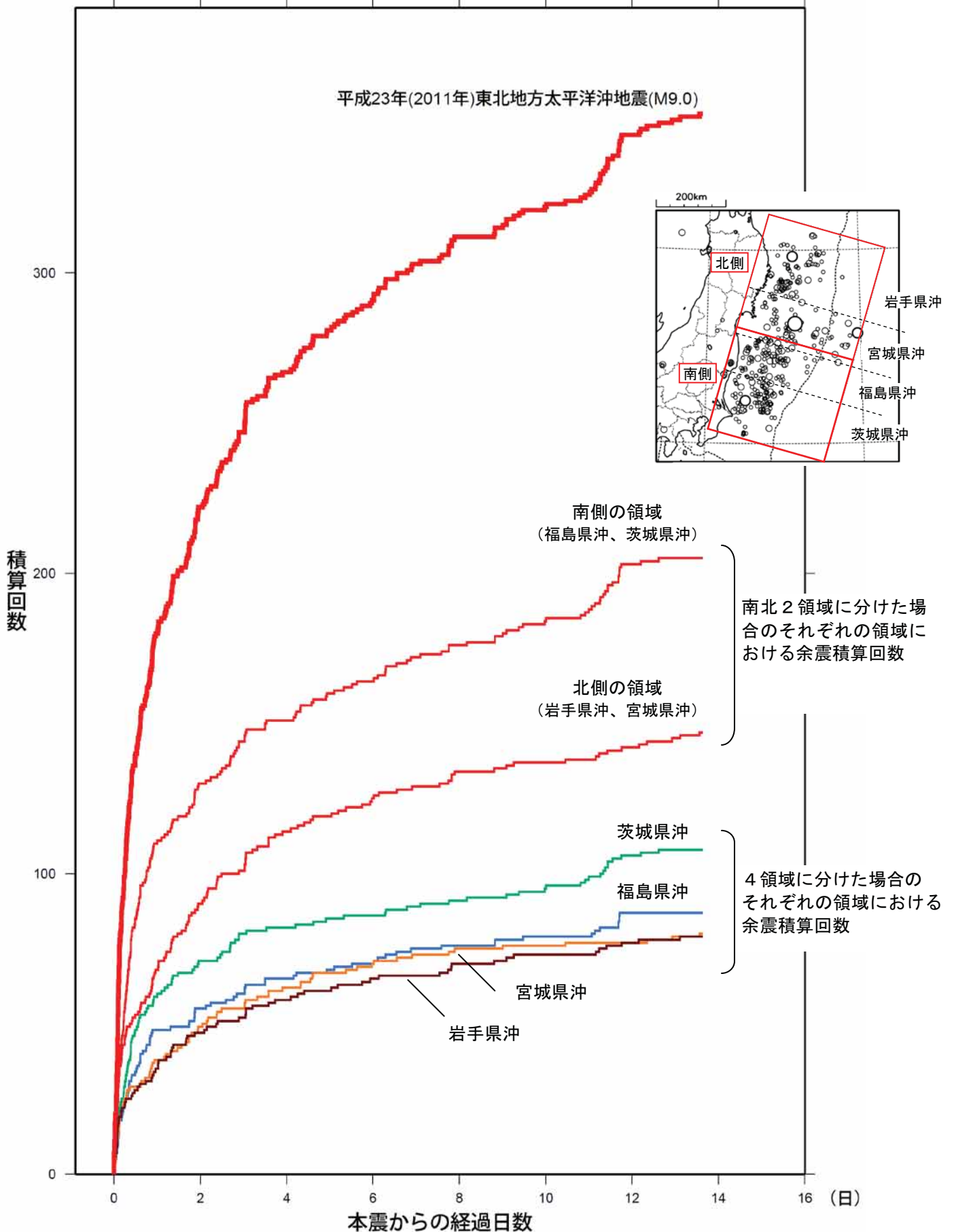
※この資料は速報値であり、後日の調査で変更することがあります。

気象庁作成

# 東北地方太平洋沖地震 領域別地震積算回数比較

(マグニチュード5.0以上)

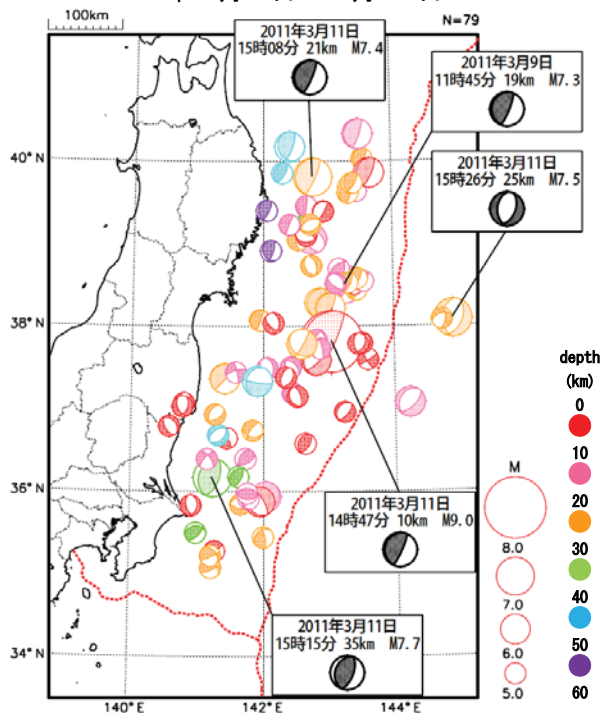
2011年03月25日06時00分現在



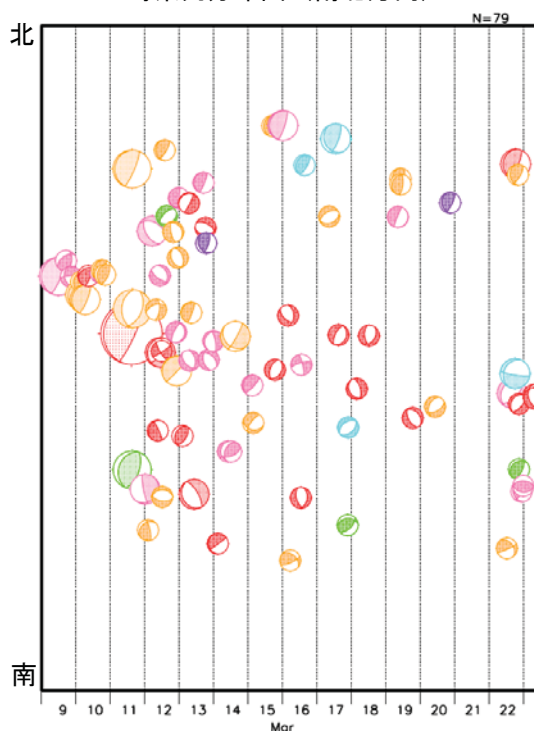
※この資料は速報値であり、後日の調査で変更することがあります。

「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」の発震機構解 (速報、CMT 解)

発震機構分布図 (CMT 解)  
2011 年 3 月 9 日 ~ 3 月 23 日



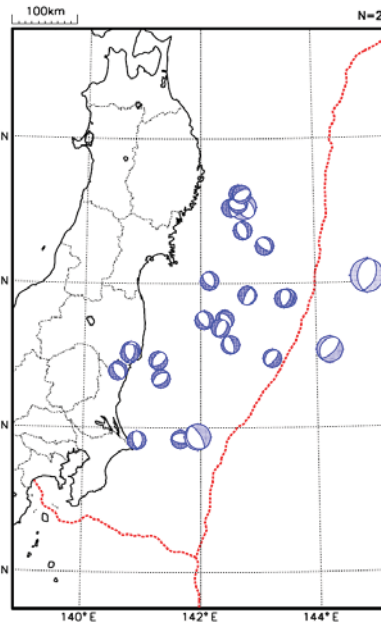
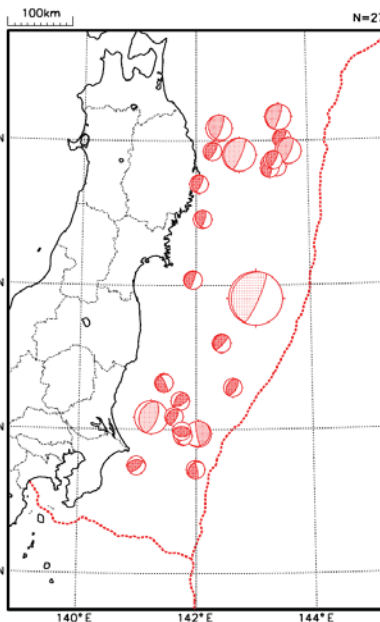
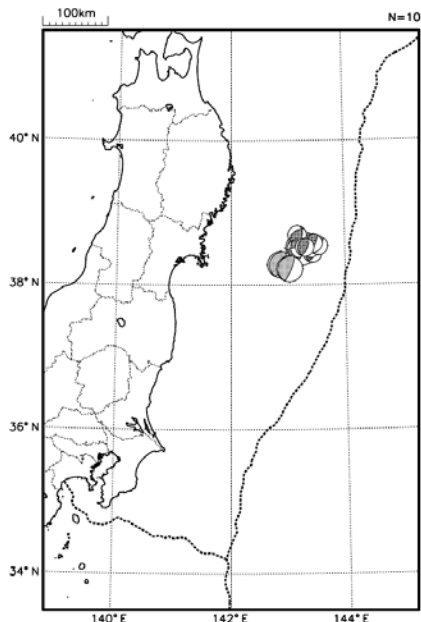
時系列分布図 (南北方向)



発震機構分布図 (CMT 解)  
本震後の逆断層の分布図

本震前の分布図

本震後の正断層の分布図

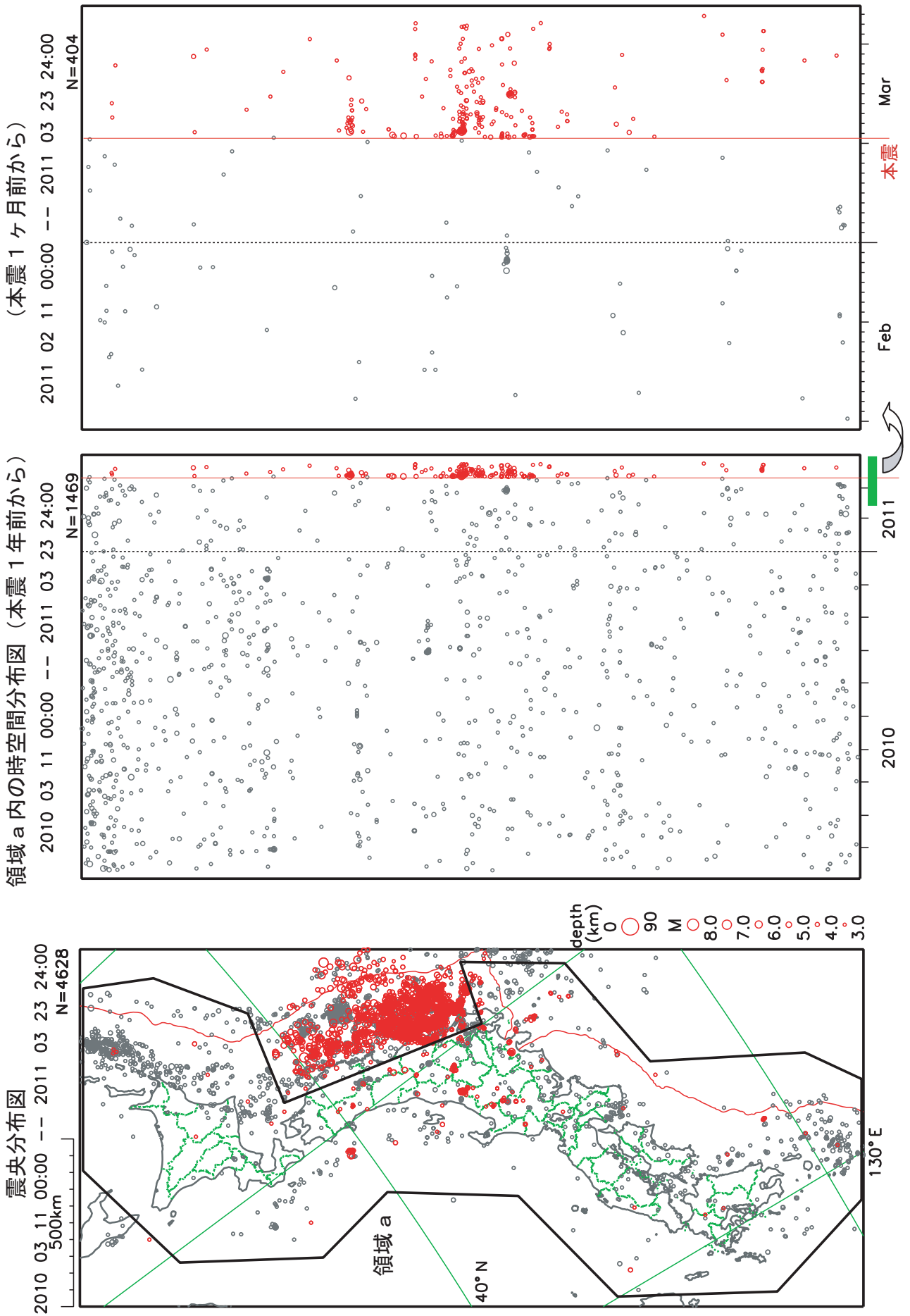


- 本震後は、逆断層 (中央下図) の他に、正断層の地震 (右下図) も多くみられる。
- 本震と同様な低角逆断層は、岩手県沖や茨城県沖などに多くみられる。
- 正断層の地震は、本震の周辺のほか、海溝軸の東側や、福島県から茨城県にかけての陸寄りの浅い場所にも分布している。

※ 3 月 16 日以降の発震機構解 (CMT 解) は速報解であり、今後の解析の結果変更となる場合がある。

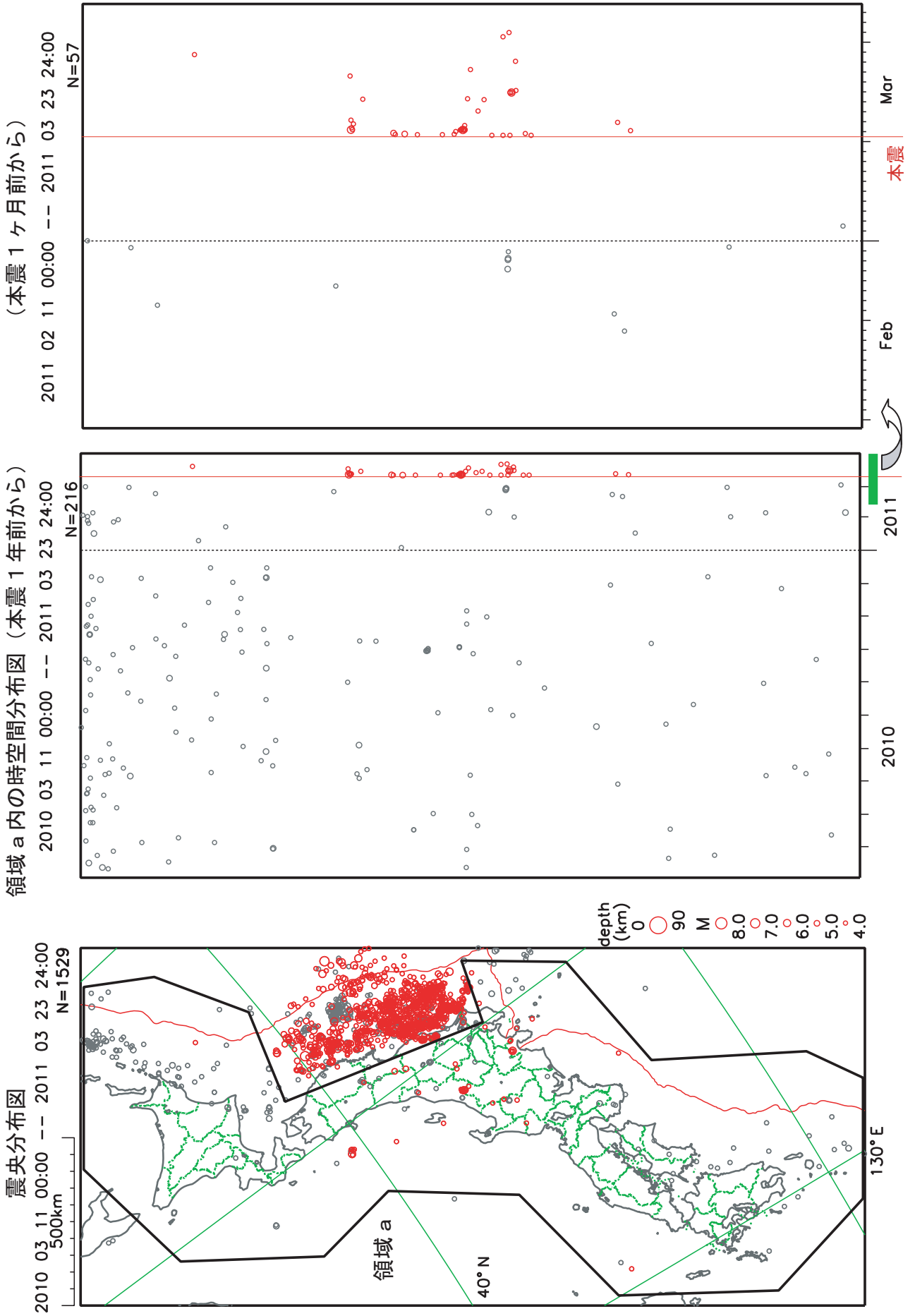
# 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」

## 本震前後の地震活動状況(マグニチュード3.0以上)



# 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」

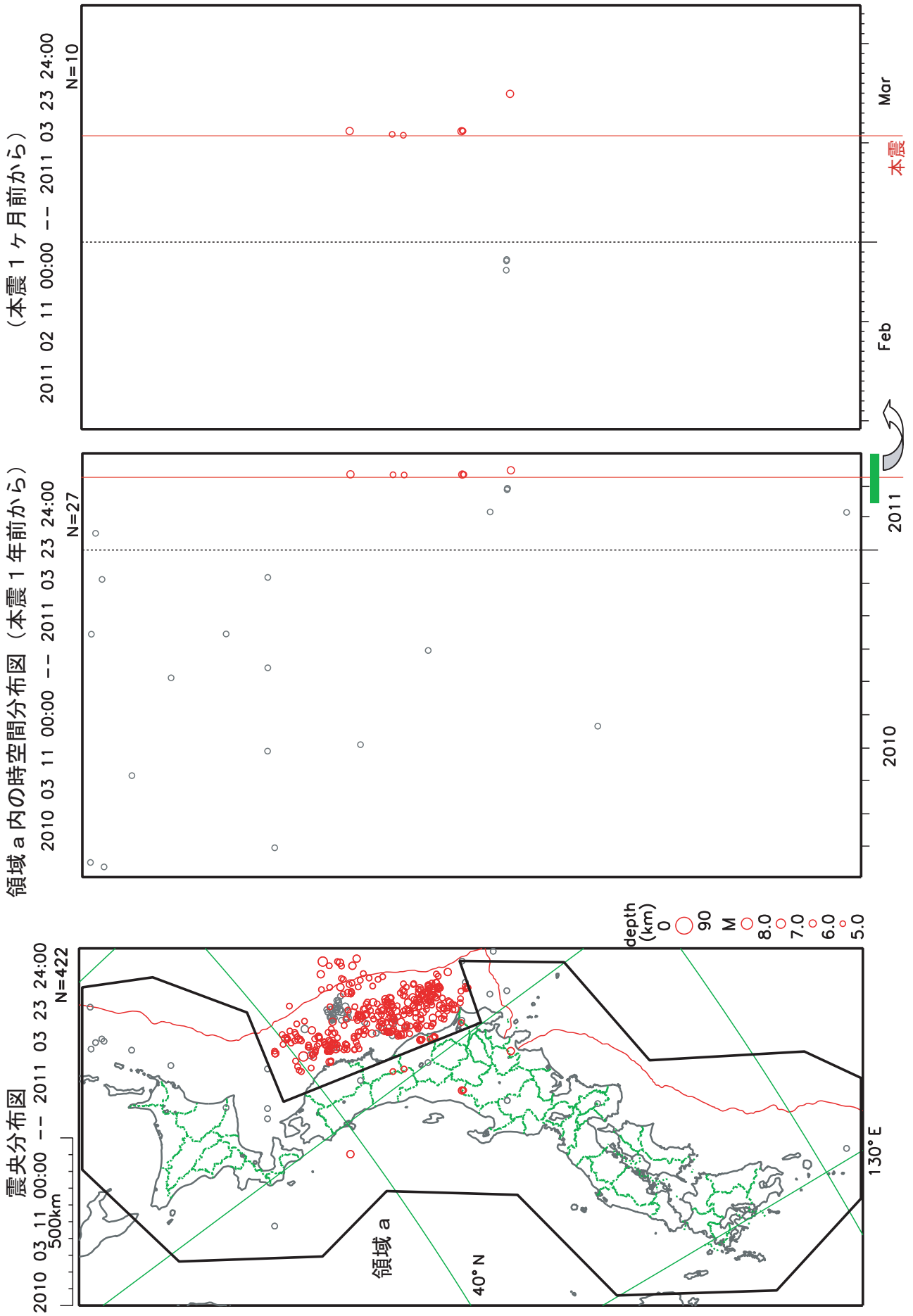
## 本震前後の地震活動状況(マグニチュード4.0以上)





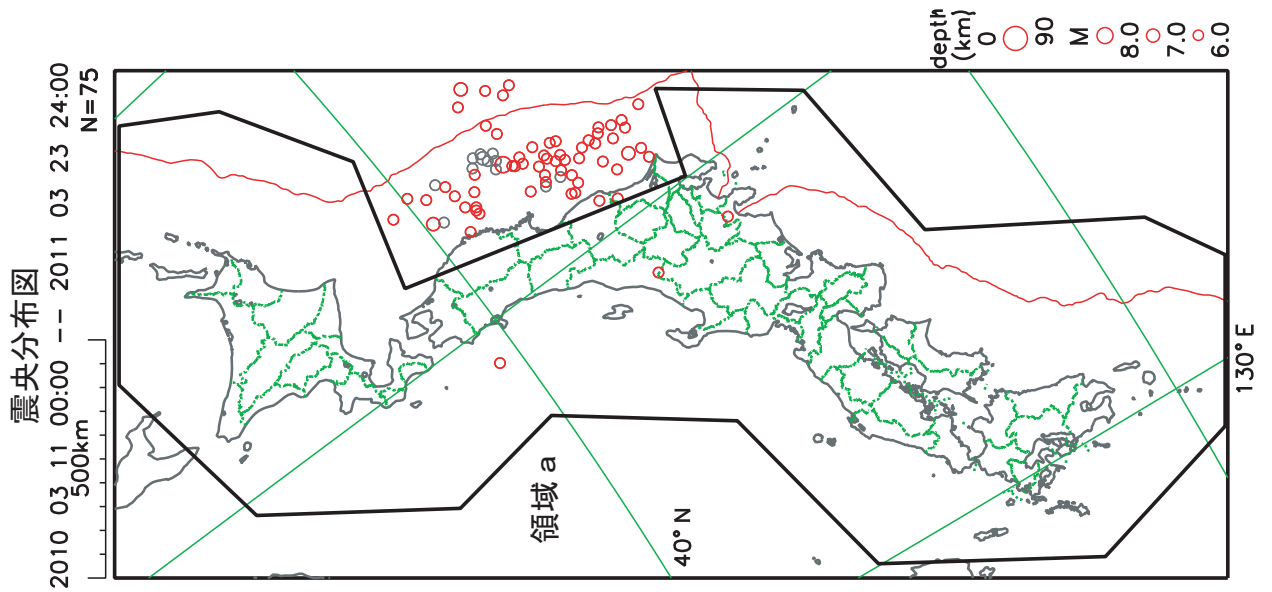
# 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」

## 本震前後の地震活動状況(マグニチュード5.0以上)

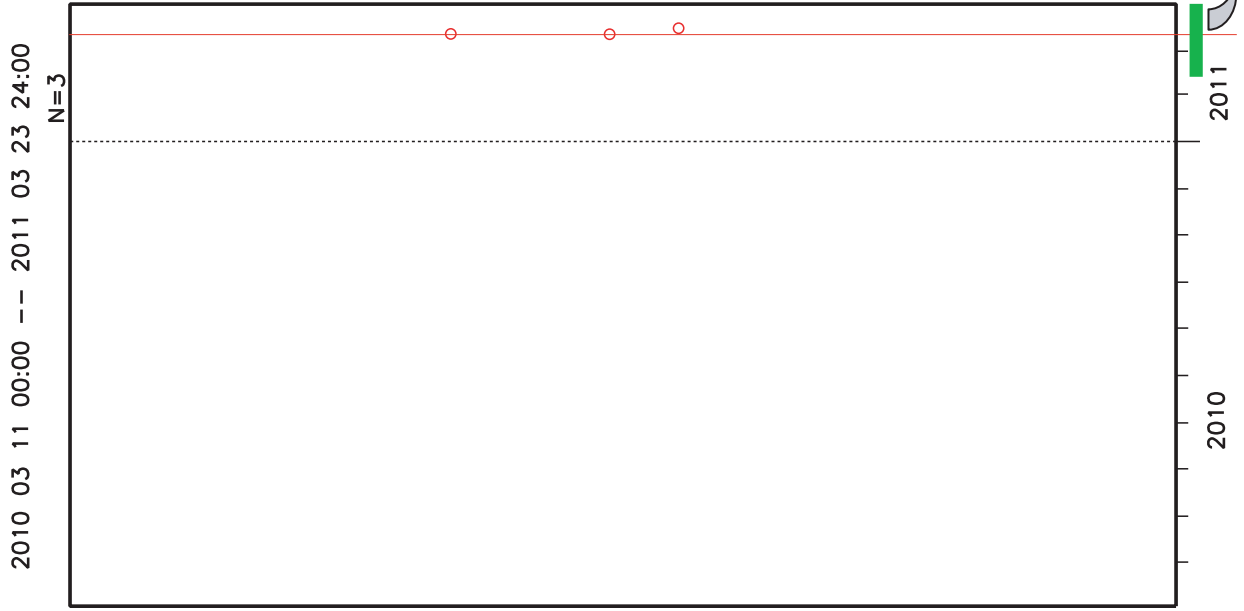


# 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」

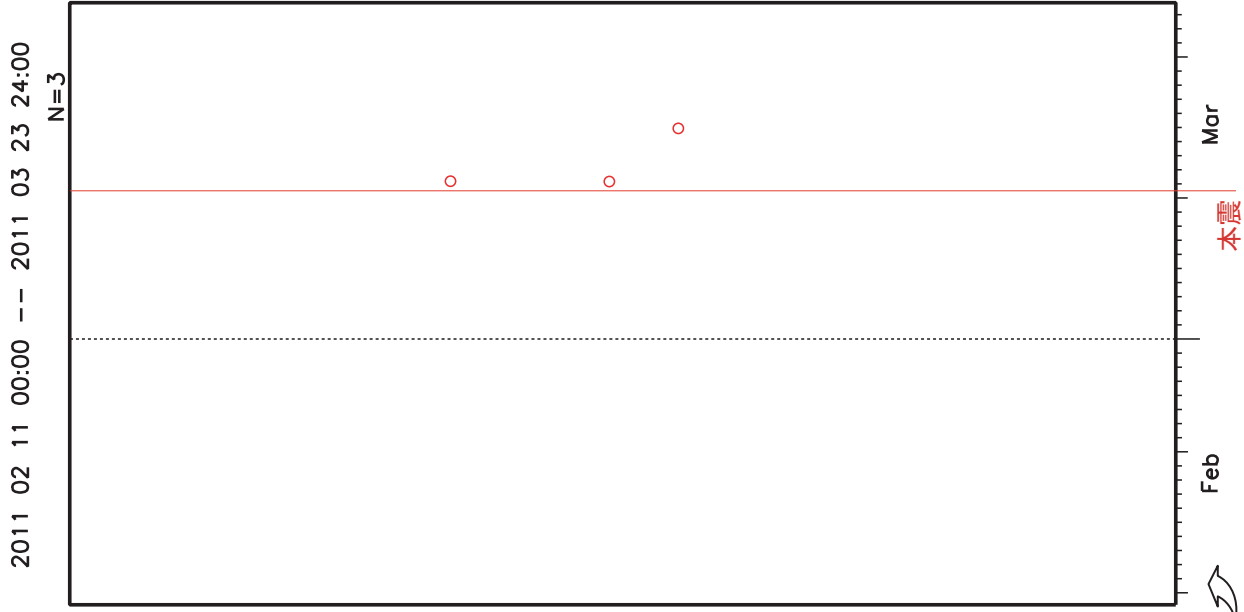
## 本震前後の地震活動状況(マグニチュード6.0以上)



領域 a 内の時空間分布図 (本震 1 年前から)



(本震 1 ヶ月前から)



## (参考)余震発生確率 (平成23年3月25日09時現在での推定)

現在までの余震発生状況から推定した余震発生確率は以下のとおりです。

	最大震度5強以上
3月25日12時から3日間以内	20%
3月28日12時から3日間以内	20%

\* 地盤の悪いところではこれよりも震度が大きくなる場合があります。

注 仮に余震が内陸や沿岸部で発生した場合、これよりも震度が大きくなる場合があります

余震発生確率は地震活動の活発さの目安ですが、これは現在までの余震発生状況から推定したもので、今後の活動の変化によって変わる可能性があります。

なお、上記の数値はM7.0以上の余震が発生する可能性をもとに計算したのですが、「マグニチュード7以上」の表現ではわかりにくいとの指摘がありますので、最大震度による表現にしております。

#### ・余震発生確率を算出するにあたっての前提

これまでの地震活動の推移から、本震—余震型であることを前提として、余震発生確率を算出しています。

#### ・本震—余震型の特徴

本震—余震型の地震活動では、最初に最も規模の大きい本震が発生し、それに続いて余震が多数発生します。余震の発生数は大局的には時間とともに徐々に減少していきます。ただし、余震の減少の仕方は様々で、単調に減少していくこともあります。場合によっては減少していく過程で増減を繰り返すこともあります。

#### ・余震発生確率の意味

ある大きさの余震に注目した場合に、その大きさの余震が、ある時点からある期間内に発生する確率を余震発生確率と言います。例えば、マグニチュード7.0以上の余震がある時点から3日間以内に発生する確率が10%である場合、3日間以内にマグニチュード7.0以上の地震が必ず発生するとは評価されませんが、全く発生するおそれはないという評価でもありません。同様な地震活動の場合、10回発表したうちの1回は3日間以内にマグニチュード7.0以上の余震が発生するという意味です。

なお、余震発生確率10%という確率は低いように思えますが、平常時、東北地方から関東地方の太平洋沿岸および沖合の地域で、マグニチュード(M)7.0以上の地震が3日以内に発生する確率は0.2%程度です。

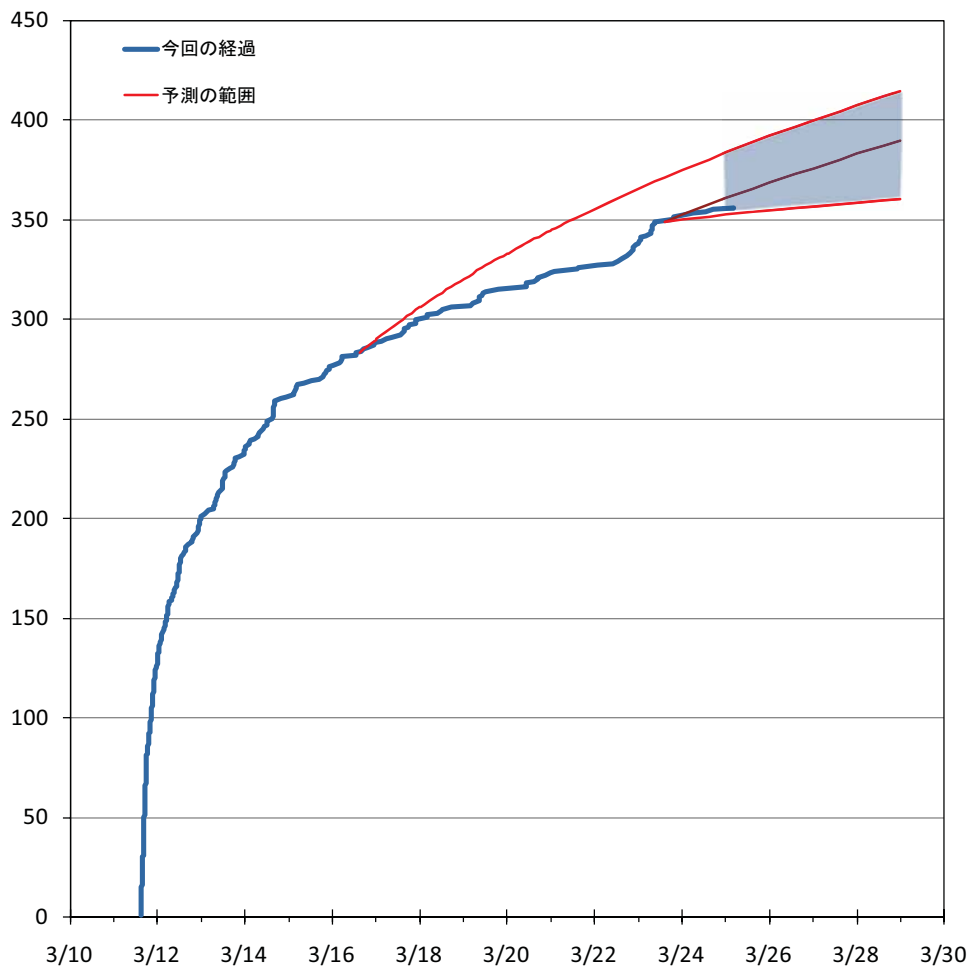
問い合わせ先： 気象庁地震火山部地震予知情報課 内線 4721、4724

(参考)余震回数予測 (平成23年3月25日12時現在での推定)

現在までの余震発生状況から推定した余震回数予測は以下のとおりです。

	M5.0以上の余震回数
3月25日00時から28日24時まで(4日間)	20~30回程度 (多い場合50回程度)

M $\geq$ 5.0の  
余震回数



余震回数予測図 (M $\geq$ 5.0)

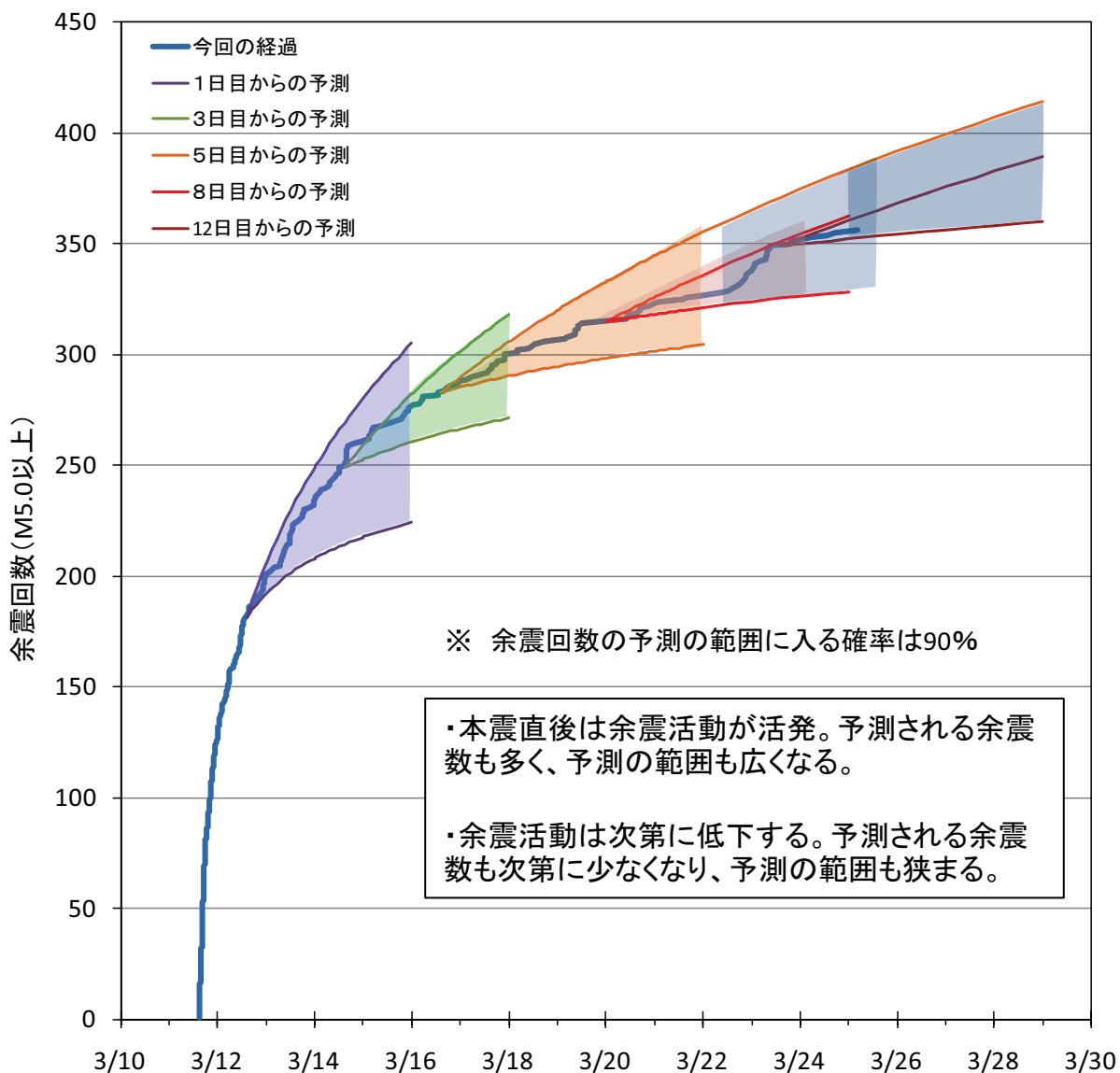
予測について

本震—余震型の地震活動では、本震直後に多数の余震が発生し、その後、増減を繰り返しながらも、大局的には、時間とともにほぼ同じ割合で余震は減っていきます。

余震の時間的な推移については、現在の減衰状況が今後も続くと仮定し、幅をもって予測回数を示しています。その予測値の範囲に入る確率は90%です。

この予測は、地震調査委員会によって取りまとめられた「余震活動の予測手法」に基づく。

(参考) 今回の余震活動の経過と予測の検証 (M5.0以上)



予想期間	予想回数	観測値(25日現在速報値)
3月13日～15日(3日間)	50回程度 (多い場合90回程度)	75回
3月15日～17日(3日間)	30～40回程度 (多い場合60回程度)	39回
3月18日～21日(4日間)	20～30回程度 (多い場合50回程度)	26回
3月22日～24日(3日間)	10～20回程度 (多い場合30回程度)	29回
3月23日～25日(3日間)	10～20回程度 (多い場合40回程度)	(19回) ※
3月25日～28日(4日間)	20～30回程度 (多い場合50回程度)	

※ 括弧内は予想期間途中までの観測値