

1. 地震と地震動

1.1 震源と震度分布

1.1.1 本震

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃、三陸沖(牡鹿半島の東南東約 130km 付近)を震央(北緯 38 度 06.2 分、東経 142 度 51.6 分)、震源深さを 24km とする、マグニチュード M_w (モーメントマグニチュード) : 9.0(いずれも暫定値)¹⁾ の地震が発生した。

気象庁はこの地震を「平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震」(英語名 : The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake)と命名²⁾した。「平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震」の M_w : 9.0 は、国内観測史上最大規模となる¹⁾。

なお、本地震では、気象庁より発表される震源の規模を示すマグニチュードが 3 度に渡って訂正されており、地震発生直後の 11 日 14 時 49 分には速報値として M_J (気象庁マグニチュード) : 7.9 が発表されたが、16 時 00 分に暫定値として同じく M_J : 8.4、続いて 17 時 30 分に M_w : 8.8³⁾、地震発生から約 46 時間後の 13 日 12 時 55 分に M_w : 9.0⁴⁾が発表されている。

気象庁の発表による震度分布を図-1.1⁵⁾に示す。この地震により、宮城県栗原市で震度 7 を、宮城県、福島県、茨城県、栃木県で震度 6 強、上記に加え岩手県、群馬県、埼玉県、千葉県で震度 6 弱が観測されるとともに北海道から中部地方にかけての広い範囲で震度 4 以上を観測した。

本地震は、太平洋プレートと北アメリカプレートの境界における海溝型地震であり、気象庁によると、西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型の発震機構⁴⁾であり、岩手県沖から茨城県沖の長さ約 500km、幅約 200km の領域で余震が発生していることから、この領域が本震の震源域に相当する可能性が高い⁴⁾としている。

当該エリアで発生した近年の気象庁が命名した被害地震としては、「1978 年宮城県沖地震」(昭和 53 年 6 月 12 日、震源 : 宮城県金華山の東方沖約 60km、深さ 40km、 M_J : 7.4)があり、周辺地域などでは、「平成 6 年(1994 年)三陸はるか沖地震」(平成 6 年 12 月 28 日、震源 : 青森県八戸市東方沖 180km、深さごく浅い、 M_J : 7.6)、「平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震」(平成 20 年 6 月 14 日、震源 : 岩手県内陸南部、深さ 8km、 M_J : 7.2)などがある。

1.1.2 余震活動

本震および余震の震央の分布を図-1.2⁶⁾に示す。また、地震発生後 60 日間に震度 4 以上を観測した地震の発生回数⁷⁾を表-1.1 に地震発生からの経過日数と余震の発生回数について近年発生した地震と比較したものを図-1.3 に示す。

これより、地震発生以降、活発な余震活動が観測されており、近年の海溝型地震と比較しても圧倒的に多い。これは、余震活動が岩手県沖から茨城県沖の長さ約 500km、幅約 200km の広い領域で発生しているためであり、 M : 7.0 を越える余震も発生している。

6 月 17 日時点での最大余震は、3 月 11 日 15 時 15 分頃(本震発生から約 30 分後)、茨城

県沖深さ 43km を震源とする Mw : 7.7 の地震が発生しており、茨城県鉾田市で震度 6 強を観測している。

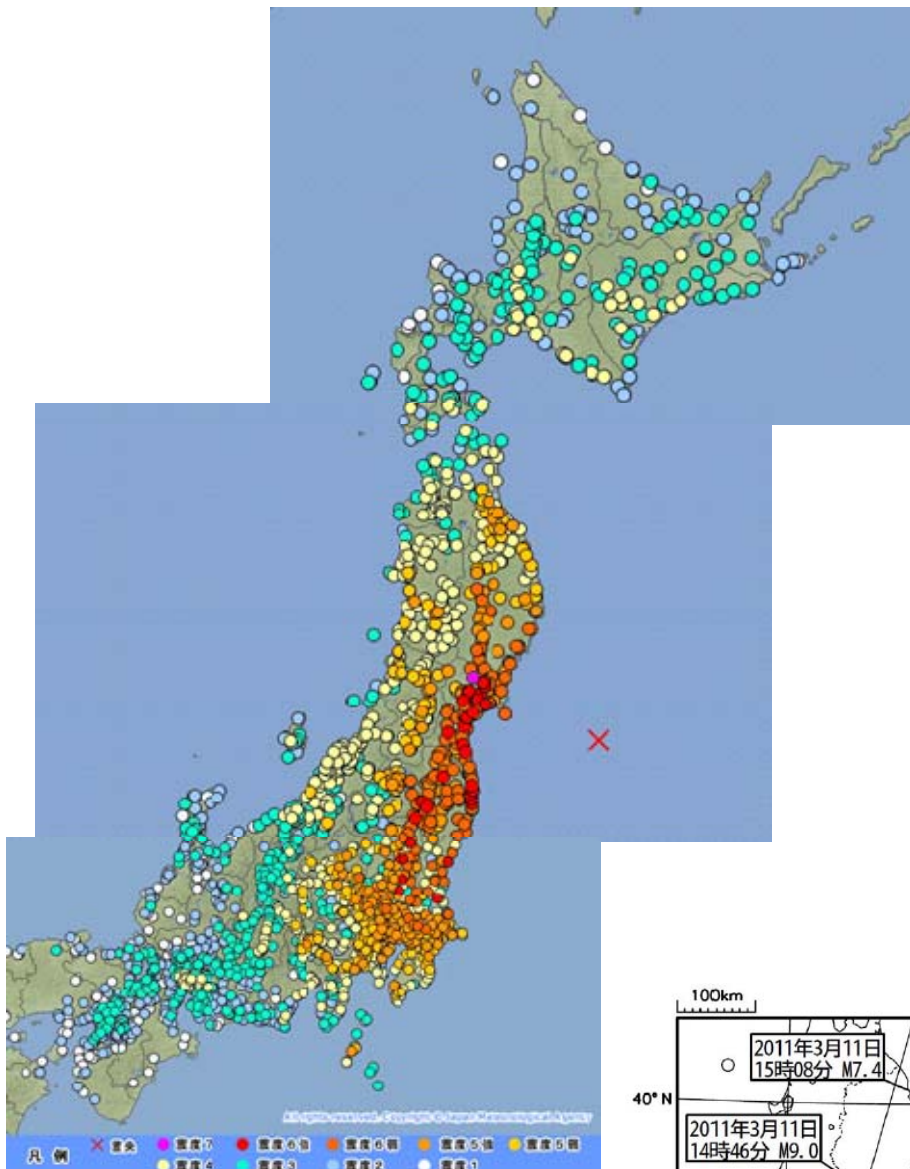


図-1.1 本震の震度分布⁵⁾

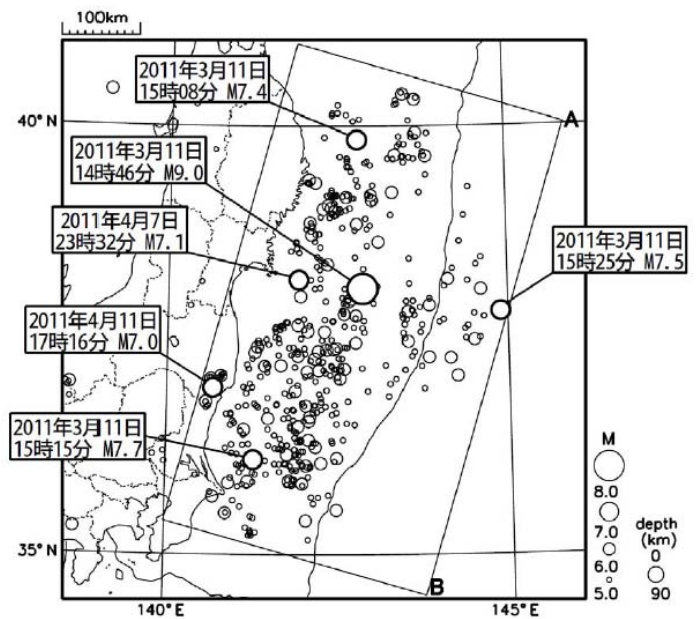


図-1.2⁶⁾ 本震および余震の震央分布
(深さ : 90km以浅、M : 5.0以上)

表-1.1 地震発生後60日間に震度4以上を観測した地震の発生回数⁷⁾
(本震発生から5月9日24時00分)

| 期間 | 最大震度別回数 | | | | | | 震度4以上を 観測した回数 |
|-------|---------|----|----|----|----|---|------------------|
| | 4 | 5弱 | 5強 | 6弱 | 6強 | 7 | |
| 3月11日 | 34 | 7 | 2 | 0 | 1 | 1 | 45 |
| 3月12日 | 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| 3月13日 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 3月14日 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 3月15日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3月16日 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 3月17日 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 3月18日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3月19日 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 3月20日 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 3月21日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3月22日 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 3月23日 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 3月24日 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 3月25日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3月26日 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 3月27日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3月28日 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3月29日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3月30日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3月31日 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4月1日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4月2日 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 4月3日 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 4月4日 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4月5日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4月6日 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 4月7日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| 4月8日 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4月9日 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4月10日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4月11日 | 7 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 10 |
| 4月12日 | 6 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 8 |
| 4月13日 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 4月14日 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 4月15日 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4月16日 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4月17日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4月18日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4月19日 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 4月20日 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4月21日 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 4月22日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4月23日 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 4月24日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4月25日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4月26日 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4月27日 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4月28日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4月29日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4月30日 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 5月1日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 5月2日 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5月3日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 5月4日 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5月5日 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5月6日 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 5月7日 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5月8日 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 5月9日 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

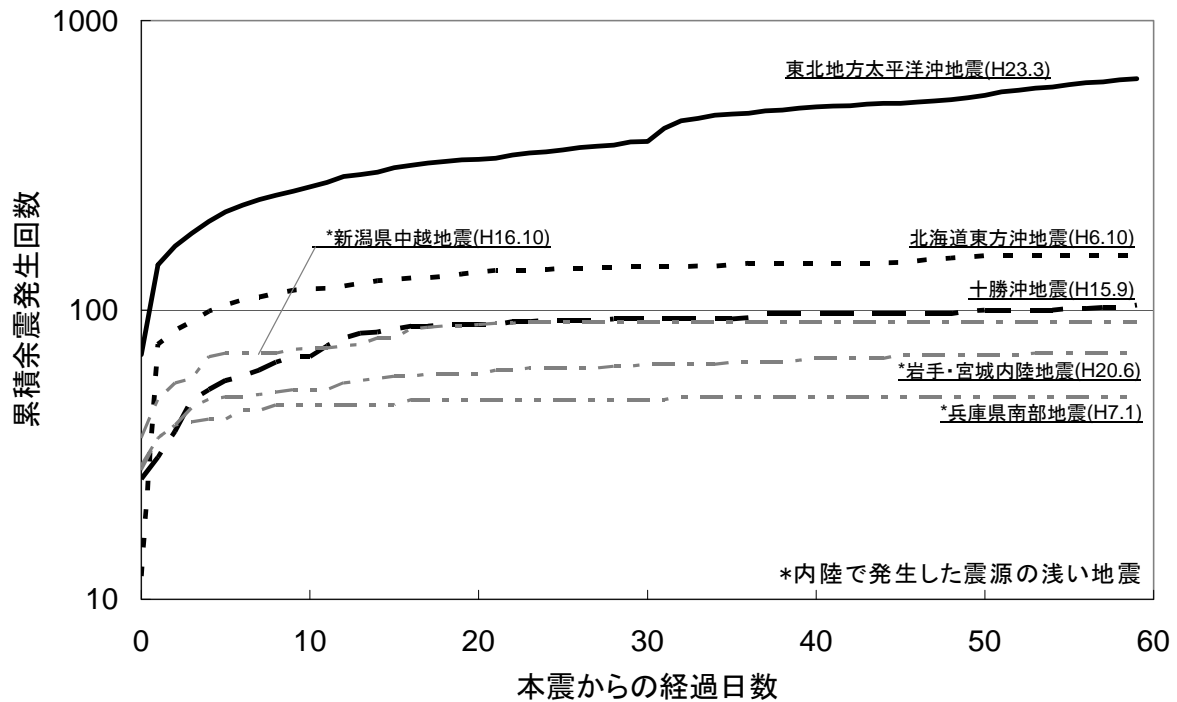


図-1.3 余震発生回数の比較
(本震発生から60日、M:4.0以上 気象庁震度データベース⁸⁾より作成)

1.1.3 長野県北部を震源とする地震および静岡県東部を震源とする地震

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震発生翌日(地震発生から約 13 時間後)の 3 月 12 日 03 時 59 分に、長野県北部(北緯 37 度 0.0 分、東経 138 度 36.0 分)、深さ 8km を震源とする M_J : 6.7(いずれも暫定値)の地震が発生した⁹⁾。気象庁の発表による震度分布を図-1.4⁵⁾に示す。この地震により、長野県栄村で震度 6 強、新潟県十日町市、津南町で震度 6 弱を観測したほか、新潟県、長野県、群馬県、埼玉県、茨城県、石川県の各県で震度 4 以上を観測した。

また、同じく本震発生から 4 日後の 3 月 15 日 22 時 31 分に静岡県東部(北緯 35 度 18.0 分、東経 138 度 42.0 分)、深さ 14km を震源とする M_J : 6.4(いずれも暫定値)の地震が発生した¹⁰⁾。気象庁の発表による震度分布を図-1.5⁵⁾に示す。この地震により、静岡県富士宮市で震度 6 強を観測したほか、静岡県、山梨県、神奈川県、長野県、東京都、千葉県各県で震度 4 以上を観測した。

これらの地震と「平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震」との関係については、さまざまな見解が出ており、十分な解明がなされていない。

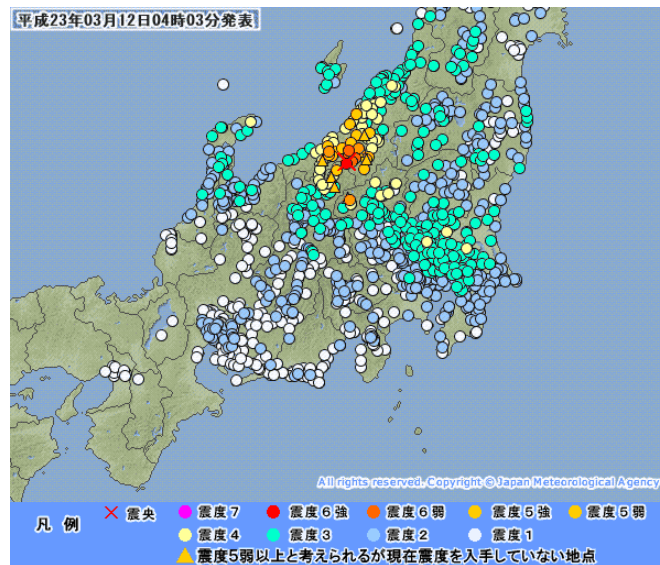


図-1.4 長野県北部を震源とする地震の震度分布⁵⁾

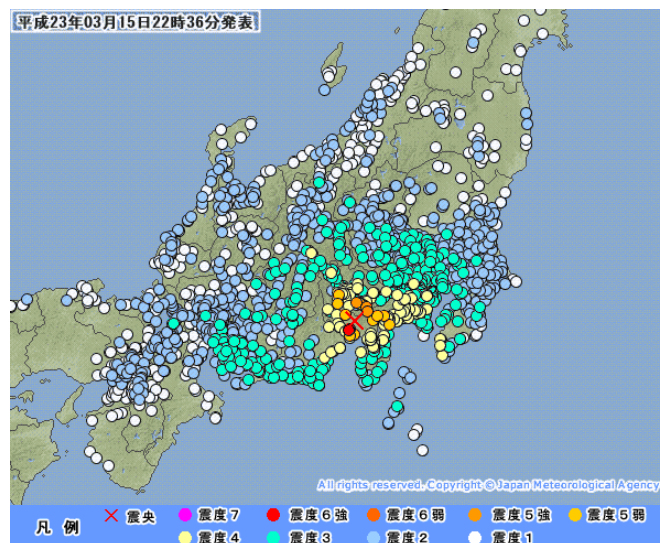


図-1.5 静岡県東部を震源とする地震の震度分布⁵⁾

1.2 国土交通省地震計ネットワーク

国土交通省では、施設の管理を目的として全国約 700 箇所に地震計を設置し、地震発生直後に観測した地震動の代表値を伝送する、地震計ネットワーク（以下：地震計 NW）を整備している。今回の地震においても東北地方整備局を中心に北海道開発局、関東、北陸、中部地方整備局管内の約 400 箇所で地震動を観測した。観測された記録の計測震度相当値、SI 値および最大加速度（SI 値および最大加速度は水平成分を合成して算出）は国総研ホームページ¹¹⁾にて公開中である。

1.2.1 観測記録と地震動分布

図-1.5 は本地震で得られた地震計 NW の観測記録の SI 値分布を示したものである。SI 値は、一般的な構造物に与える被害と相関が高い指標とされており、地震計 NW で観測された最大 SI 値は、大崎出張所で観測された 105kine(同地点での計測震度相当値：6.1, 最大水平加速度：484gal)であった。この他、気仙沼国道維持出張所：90kine(同：6.2, 607gal)、4号佐久間川橋：90kine(同：6.1, 551gal)、鳴瀬堰観測所：84kine(同：6.0, 659gal)、涌谷出張所：84kine(同：5.9, 523gal)、磐城国道事務所：76kine(同：5.8, 292gal)、岩瀬国道出張所：73kine(同：6.0, 903gal)、仙台河川国道事務所：71kine(6.0, 861gal)と 70kine を越える値が宮城県北部から茨城県の広い範囲で観測された。

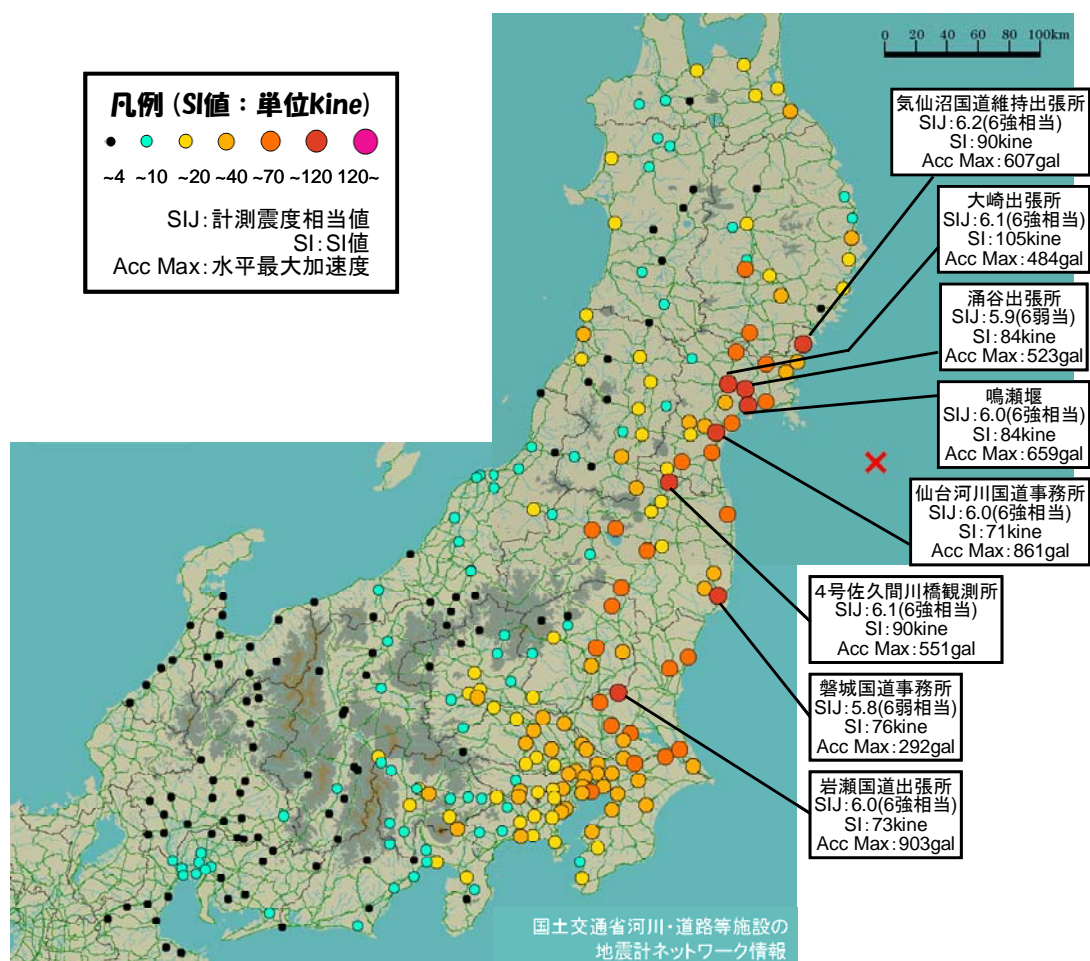


図-1.6 地震計ネットワークで観測された SI 値分布

1.2.2 SI 値の距離減衰特性

図-1.6 は、SI 値の距離減衰特性を示したものである。図中には、既往の強震観測記録の統計解析により導かれた SI 値の距離減衰式¹²⁾において、マグニチュード 9.0 および 8.0 とした場合の距離減衰曲線と平成 15 年十勝沖地震(2003 年 9 月 26 日：マグニチュード 8.0)による観測値を併せて示している。

これによると、距離減衰特性としては、マグニチュード 8.0 クラスの距離減衰式に近似しており、観測値としてもマグニチュード 8.0 であった十勝沖地震における観測記録に近い傾向であることが判る。これは、後述するように今回の地震による震源域の破壊は、いくつかの破壊が複合して発生している¹⁴⁾ことが影響していると考えられる。

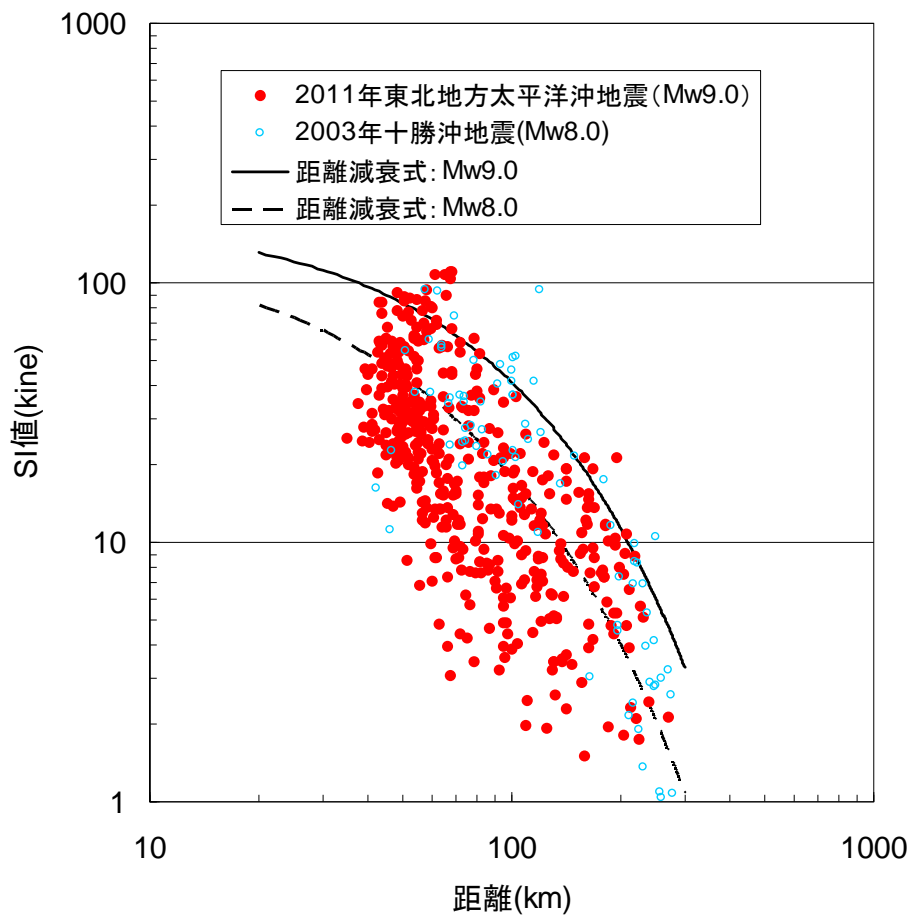


図-1.6 SI 値の距離減衰特性

1.2.3 推計地震動分布

図-1.7 は、SI 値の推計地震動分布図である。推計地震動分布とは、観測した地震動指標値をもとに地盤の特性等を考慮して地震動の面的な広がりを推定し、地図上に表示したものである¹³⁾。本推計地震動分布の作成にあたっては、地震計 NW の観測記録に加え防災科学技術研究所 K-NET¹⁴⁾および気象庁¹⁵⁾により観測された記録を用いた。本推計地震動分布については、今回の地震の地震動強さと構造物の被害などの関係の検討に資する資料として、国総研 HP で近く公開予定である。

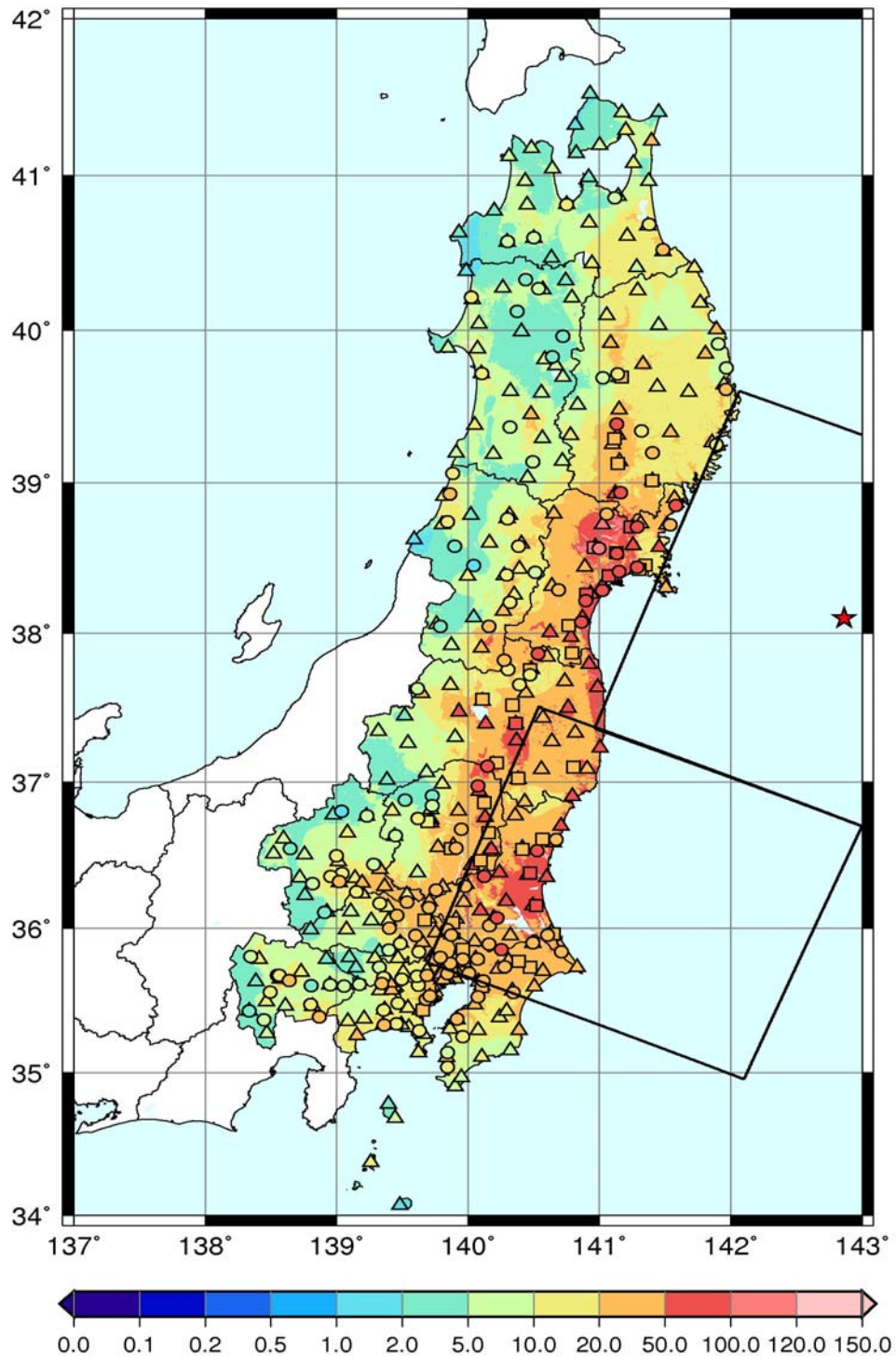


図-1.7 推計地震動(SI値)分布図

2.1.4 加速度応答スペクトルおよび加速度記録波形

図-1.8 は、本震で大崎出張所、気仙沼国道維持出張所および岩瀬国道出張所において観測された、水平成分の加速度時刻歴記録である。

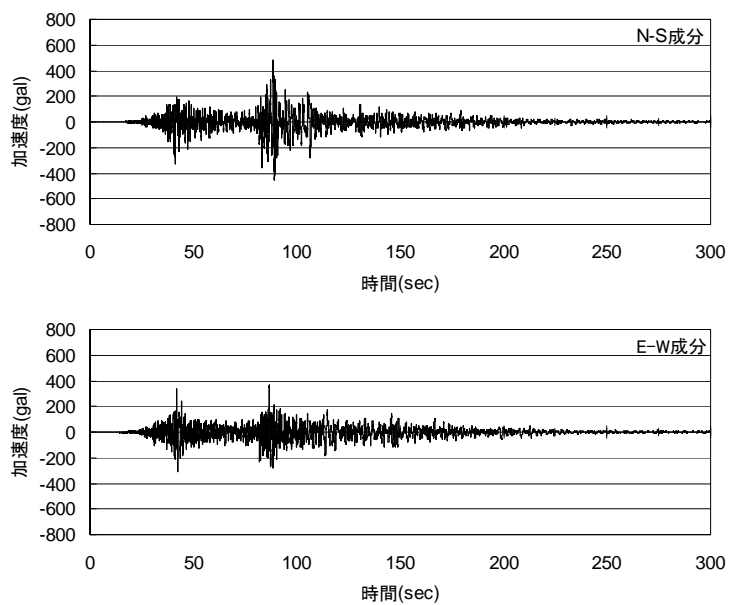
震源近傍の大崎出張所および気仙沼国道維持出張所の記録では、加速度波形に2つのフェーズがみられる。気象庁によると、今回の地震における震源域の破壊は、震源付近での2つの破壊と茨城県沖での1つの破壊が160秒程度の時間をかけて発生したと報告¹⁶⁾されており、加速度時刻歴における2つのフェーズは、このうちの震源近傍での2つの破壊による地震動によるものと考えられる。

一方、岩瀬国道出張所の観測記録では、複数のフェーズは見られないが、地震動の伝搬を含めた震源域の複雑な破壊過程が関係していると考えられる。

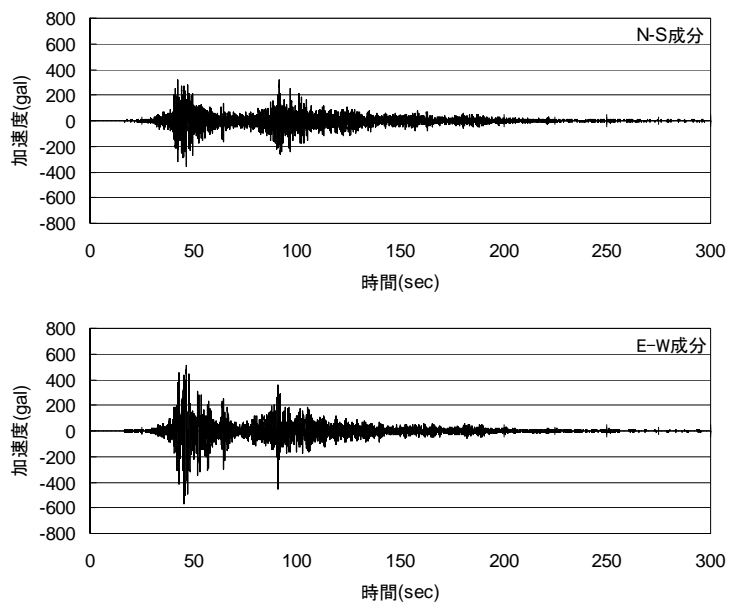
一方、図-1.9 に震源近傍の4箇所の観測点(大崎出張所(OSK)、気仙沼国道維持出張所(KSN)、鳴瀬堰観測所(NRS)、涌谷出張所(WKY))の加速度時刻歴波形より算出した加速度応答スペクトル($h=5\%$)を示す。比較のため、平成7年(1995年)兵庫県南部地震(M7.3)の神戸海洋気象台および鷹取駅における観測記録(いずれもNS成分)を示している。

今回の地震では多く記録が観測されており、震源からの距離や地盤条件に応じて、短周期(周期0.5秒以下)、中間周期(周期0.5~1秒)、やや長い周期(周期1秒以上)、それぞれにピークのある記録が観測されている。なお、橋や中低層建築物などの構造物への影響が大きい周期1~2秒程度の加速度応答スペクトルに着目すると、兵庫県南部地震の値と比較して同程度あるいは低い値となっている。

(a) 大崎出張所



(b) 気仙沼国道維持出張所



(c) 岩瀬国道出張所

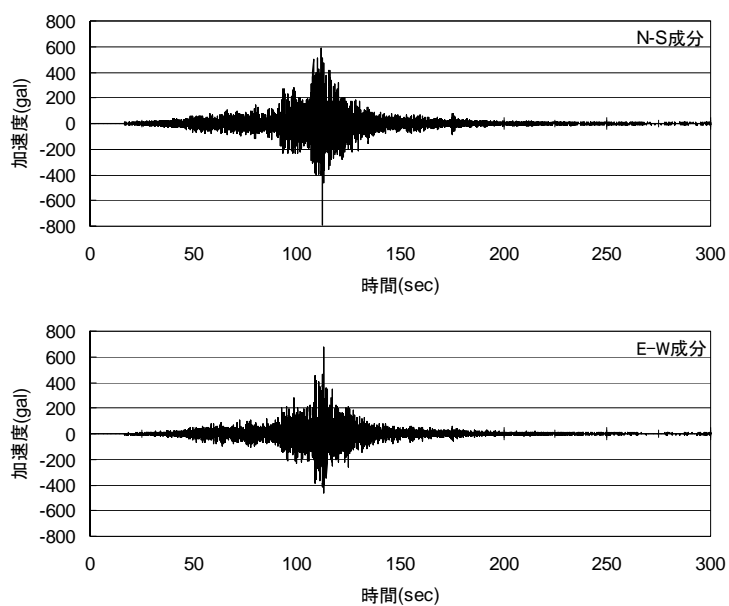


図-1.8 地震計ネットワークで観測された加速度時刻歴記録

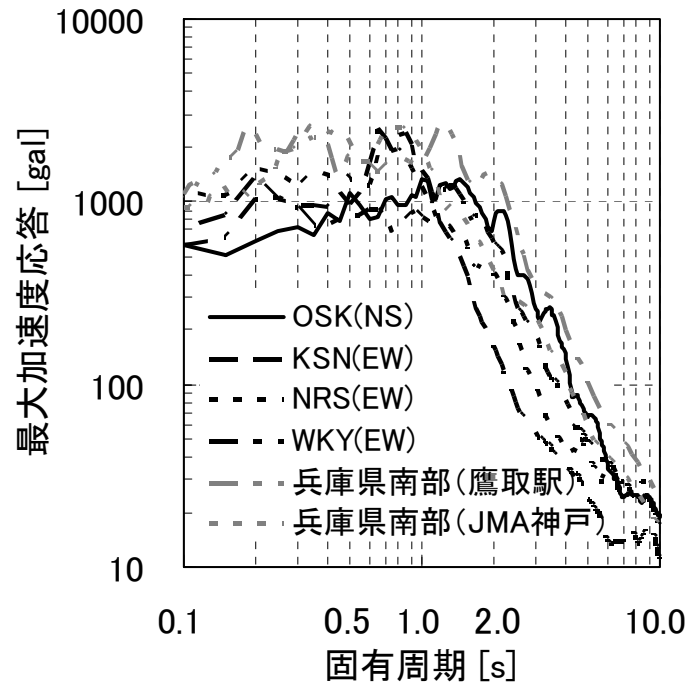


図-1.9 加速度応答スペクトル(h=5%)の比較

参考文献

- 1) 気象庁：地震・火山月報(防災編)、平成23年3月
<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/gaikyo/monthly201103.pdf>
- 2) 気象庁：「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第2報)平成23年3月11日16時20分
- 3) 気象庁：「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第3報)、平成23年3月11日17時30分
- 4) 気象庁：「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第15報)、平成23年3月13日12時55分
- 5) 気象庁HP：地震情報(各地の震度に関する情報)
<http://www.jma.go.jp/jp/quake/>、(それぞれ地震発生直後に閲覧)
- 6) 気象庁：「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第47報)、平成23年6月8日10時30分
- 7) 気象庁地震火山部：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震「震度4以上の最大震度別地震回数表」、平成23年6月20日
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/yukankako.pdf
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/yukan.pdf
- 8) 気象庁HP：震度データベース検索
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_db/shindo_index.html
- 9) 気象庁：平成23年3月12日03時59分頃の長野県北部の地震について、平成23年3月12日05時00分
- 10) 気象庁：平成23年3月15日22時31分頃の静岡県東部の地震について、平成23年3月16日00時00分
- 11) 国土技術政策総合研究所ホームページ：河川・道路等施設の地震計ネットワーク情報
<http://www.nilim.go.jp/japanese/database/nwdb/index.htm>
- 12) 片岡正次郎, 佐藤智美, 松本俊輔, 日下部毅明：短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木学会論文集A, Vol. 62 (2006), No. 4, pp.740-757
- 13) 末富岩雄, 石田栄介, 磯山龍二：空間補間による地震動分布推定の高精度化のための一検討, Proc. 28th JSCE Earthquake Engineering Symposium (2005),
- 14) 防災科学技術研究所：強震ネットワークK-NET
<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 15) 気象庁HP：主な地震の強震観測データ「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」
<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/index.html>
- 16) 気象庁：「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第28報)平成23年3月25日17時30分