

平成 25 年度長周期地震動予測技術検討ワーキンググループ報告書

1. はじめに

長周期地震動による高層ビル高層階で生じる揺れの大きさは、地上で観測された震度では表現できない。このため、気象庁では、高層ビルの管理者等の防災対応に資するよう、地上に設置している地震計の観測データから求めた絶対速度応答スペクトル S_{va} (減衰定数 5%) の周期 1.6 秒から周期 7.8 秒までの間における最大値を階級に分けた長周期地震動階級を導入し、平成 25 年 3 月より、長周期地震動に関する観測情報(試行)の発表を行っている。

長周期地震動は、短い周期の波に比べて減衰しにくいいため遠くまで伝わり、高層ビル等が揺れ始めてから揺れが大きく成長するまでの時間があるという性質を持つ。例えば、過去の地震における震度と長周期地震動階級の時間変化をみると、長周期地震動階級は、最大震度とほぼ同時間、もしくは、より遅い時間に最大値となる。このため、長周期地震動を即時的に予測できた場合、緊急地震速報で報じる震度予測に比べ猶予時間を長くとることができる。長周期地震動の予報が実現すれば、揺れが大きくなる前に高層ビル内の人や高所での作業者が安全を確保し、また、エレベータ等の設備を安全に停止させることが出来るなど、被害の軽減が期待される。

長周期地震動は、その距離減衰には周期依存性があるほか、深部地盤構造の影響を受け増幅しやすい周期が地域によって異なるなどの特性があり、長周期地震動の予報には、緊急地震速報の震度予測とは異なる予測技術を用いる必要がある。

このため、長周期地震動予測技術について専門的に検討するため、平成 25 年度に長周期地震動予測技術検討ワーキンググループ (以下、「本 WG」という。) を 3 回開催し検討を行った。

なお、本 WG では、緊急地震速報における震度予測のように、長周期地震動を即時的に予測して発表する情報を「長周期地震動予報」と呼ぶ。

2. 長周期地震動予報に向けて検討した予測事項

気象庁では、長周期地震動による高層ビル内の人の体感・行動や室内被害を特徴づける指標として、長周期地震動階級を導入し、長周期地震動に関する観測情報(試行)の発表を行っている。このため、長周期地震動階級を予測すべき基本的な事項として検討を進めた。また、長周期地震動による高層ビルの揺れは、その固有周期によって異なることから、周期帯毎の予測についても検討を加えた。

なお、高層ビル内では長周期地震動によって長時間にわたって揺れが継続することがあるため、継続時間の予測も重要である。しかし、地震動の継続時間については、いくつかの研究成果はあるものの、どのような定義をすべきかが明確ではないことを踏まえつつ、今後の研究の進展を待って検討することが必要である。

3. 長周期地震動を予測するための技術案

絶対速度応答スペクトル S_{va} (減衰定数 5%) の周期 1.6 秒から周期 7.8 秒までの間における最大値の階級である長周期地震動階級を予測する技術としては、これまでに提案されている長周期地震動の予測技術である、緊急地震速報で推定された震源、マグニチュードを用いて、①距離減衰式により応答スペクトル値を予測する技術、②過去に発生した地震や想定地震に対して予測した応答スペクトルのデータベースを利用する技術、があり、また、実時間波形を用いて、③観測された波動場の時間発展により応答スペクトル等を予測する技術、④観測点間の伝達関数を用いて応答スペクトル等を予測する技術、が考えられる (図 1)。また、これらの技術におけるメリットおよびデメリットを評価すると、表 1 のようになる。

長周期地震動の予測技術として考えられるもの

長周期地震動階級を即時的に予測するための技術のイメージ

緊急地震速報で推定した震源の位置やマグニチュードを用いて長周期地震動階級を予測

実時間に観測されたデータを地震波形等を用いて長周期地震動階級を予測する

①緊急地震速報で推定した震源と予測対象観測点間の距離とマグニチュードから、距離減衰式や地盤情報等を用いて、長周期地震動階級を予測する技術

③波動場の理論等を用いて、実時間の観測データから予測対象観測点の長周期地震動階級を予測する技術

②緊急地震速報で推定したマグニチュードと震源の位置から、予め計算しておいた想定地震における理論的な地震動予測結果や過去の地震動観測結果のデータベースを用いて、予測対象観測点の長周期地震動階級を予測する技術

④緊急地震速報で推定した震源の位置等から求めた地震波の到来方向と、実時間の観測データから観測点間の伝達関数等を用いて、長周期地震動階級を予測する技術

先行的な研究事例を元に作成

図 1 長周期地震動の予測技術として考えられるもの

表 1 長周期地震動の予測技術として考えられるもののメリットおよびデメリット

具体的な技術のイメージ	メリット	デメリット
①緊急地震速報で推定したマグニチュードと、震源と予測対象観測点間の距離から、距離減衰式や地盤情報等を用いて、絶対速度応答スペクトル等を予測する技術	<ul style="list-style-type: none"> 任意の震源の位置やマグニチュードから長周期地震動階級を予測することが可能 任意の位置における長周期地震動階級を予測することが可能 簡単な式で計算可能であり、予測結果の算出が速い 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急地震速報の震源位置やマグニチュードの推定精度に依存する。 距離減衰式を作成した事例よりも遠方は外挿となる。
②緊急地震速報で推定したマグニチュードと震源から、予め計算しておいた想定地震による理論的な地震動予測結果や過去の地震動観測結果のデータベースを用いて、予測対象観測点の絶対速度応答スペクトル等を予測する技術	<ul style="list-style-type: none"> 理論的な地震動予測を行う際に地盤や伝播経路の影響等を考慮しておくことが可能 任意の位置における長周期地震動階級を予測することが可能 データベースから選択するだけであるため、予測結果の算出が速い 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急地震速報の震源位置やマグニチュードの推定精度に依存する。 膨大なパターンでのシミュレーションを行う必要があり、データベースの作成に時間を要する。 モデル地震や過去の地震と規模や震源過程等が異なる地震では予測値が大きく異なる可能性が高い
③波動場の理論等を用いて、実時間の観測データから予測対象観測点の波形を予測する技術	<ul style="list-style-type: none"> 緊急地震速報の震源位置やマグニチュードの推定精度に依存しない 実際に観測されている波形用いるので精度が高まる 震源過程等の仮定の影響を受けにくい 	<ul style="list-style-type: none"> 波形予測精度は地震波形がリアルタイムで入電可能な地震観測点数に依存する(観測点密度が高い必要がある) 地震波が近づいてから予測を行うため、震源から離れた観測点でもリードタイムが長くなる
④緊急地震速報で推定した震源の位置、または、実時間の観測データから求めた地震波の到来方向と、観測点間の伝達関数等を用いて、長周期地震動階級を予測する技術	<ul style="list-style-type: none"> 緊急地震速報のマグニチュードの推定精度に依存しない 実際に観測されている波形用いるので精度が高まる 	<ul style="list-style-type: none"> 予測が可能な地点は過去に地震波形が得られている観測点のみとなる 数多くの観測点間の伝達関数を作成する必要があり、過去の地震での観測結果に依存する。 伝搬経路の影響が同じという仮定が必要

表 1 で示したとおり、長周期地震動予報の発表対象となる全ての地震に対するデータベースを構築するのは現実的ではない。また、実時間波形を用いる方法については、高密度の観測網やデータのリアルタイム伝送が必要など観測インフラに依存し、現在の観測網で

は必ずしも十分ではない。長周期地震動階級を即時的に予測するためには、緊急地震速報と同様、即時的に推定した震源の位置やマグニチュードと距離減衰式から長周期地震動を予測する技術が現実的な技術として提案出来るが、その技術だけを用いるのではなく、可能ならばデータベースを利用する方法や実時間波形を用いて予測する技術の併用が望ましいと考えられる。

4. 距離減衰式による予測技術とその長周期地震動階級予測適合度の検証

4-1. 応答スペクトルの距離減衰式による予測技術

応答スペクトルの距離減衰式は多数提案されている。本年度は、図2に示す、政府内での長周期地震動に関する各種検討に用いられ、距離減衰式の係数や観測点増幅率の詳細なデータが入手出来、かつ、式のタイプやサイト補正方法が異なる3つの距離減衰式を選び検討を行った。長周期地震動階級の計算には絶対速度応答スペクトル S_{va} (減衰定数 5%) を用いているが、図2の3式は絶対加速度応答スペクトル S_{aa} (減衰定数 5%) や相対速度応答スペクトル S_{vr} (減衰定数 5%) の距離減衰式である。このため、絶対加速度応答スペクトル S_{aa} から計算した擬似速度応答スペクトル pS_{va} (減衰定数 5%) や相対速度応答スペクトル S_{vr} (減衰定数 5%) が絶対速度応答スペクトル S_{va} (減衰定数 5%) に等しいと仮定して検討を行った。別添資料1に各式や係数、回帰に用いられているデータの特徴等を示す。

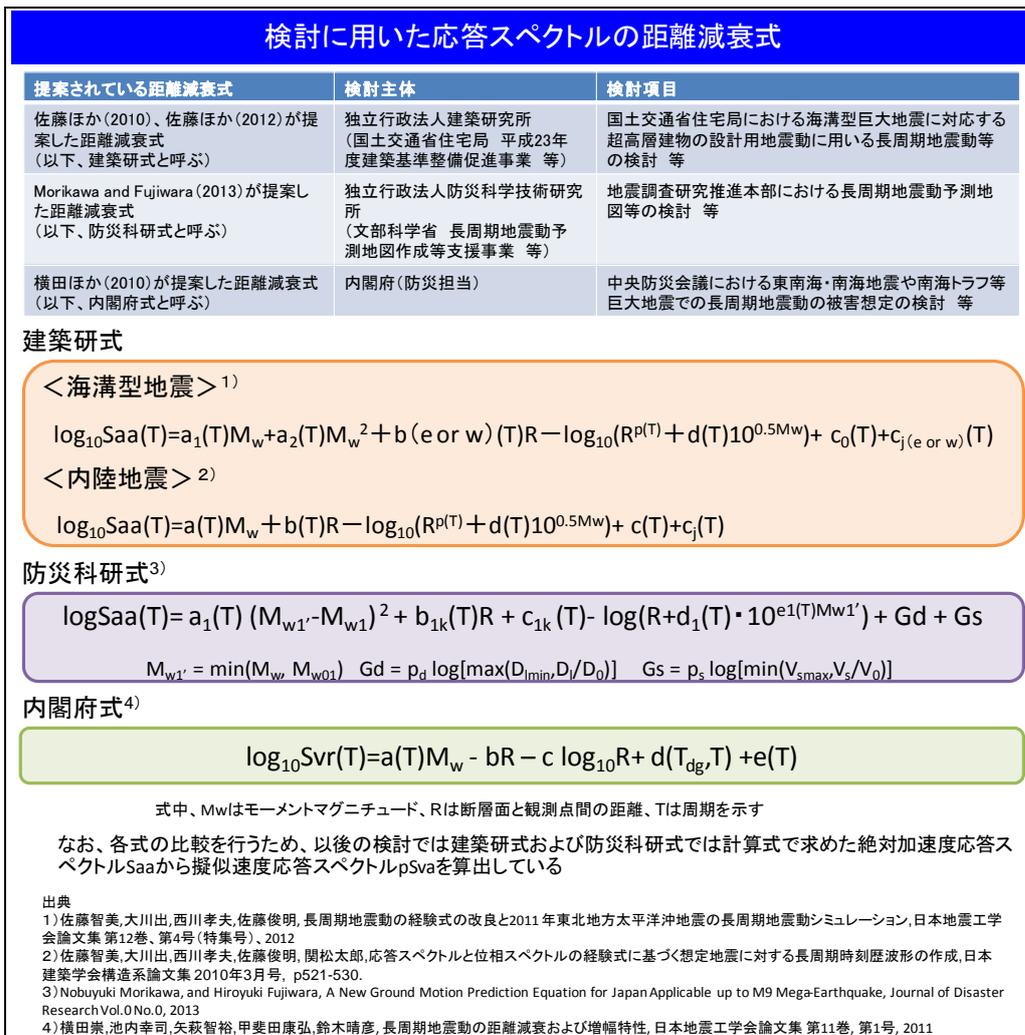


図2 検討に用いた応答スペクトルの距離減衰式

図2の各距離減衰式を用いる場合のメリットおよびデメリットを表2に示す。これら3式に限らず、距離減衰式を用いる場合には、地盤補正方法によって、予測対象点は観測データがある地点に限られるが深部地盤構造データが整備されていない場合でも予測が可能となるものと、予測対象点は任意の地点とすることが出来るが深部地盤構造データが整備されていなければ予測が出来ないもの、に大別出来る。

表2 各距離減衰式を用いる場合のメリット/デメリット

	メリット	デメリット
建築研式	・サイト補正係数の作成には応答スペクトルの観測データを用いているため、地盤構造モデルのない場所でも予測をすることが出来る。	・サイト補正係数の作成には応答スペクトルの観測データを用いているため、予測対象地点は地震波形データがある場所に限られる。
防災科研式	・地盤補正係数の作成には深部地盤構造モデルを用いているため、地震観測点以外でも予測をすることが出来る。	・地盤補正係数の作成には深部地盤構造モデルを用いているため、深部地盤構造モデルのない沖縄県や鹿児島県奄美地方は予測をすることができない。
内閣府式	・地盤補正係数の作成には深部地盤の一次固有周期モデルを用いているため、地震観測点以外でも予測をすることが出来る。	・地盤補正係数の作成には深部地盤の一次固有周期モデルを用いているため、深部一次固有周期モデルのない沖縄県や鹿児島県奄美地方は予測をすることができない。

4-2. 実際に発表した緊急地震速報を用いた検討結果

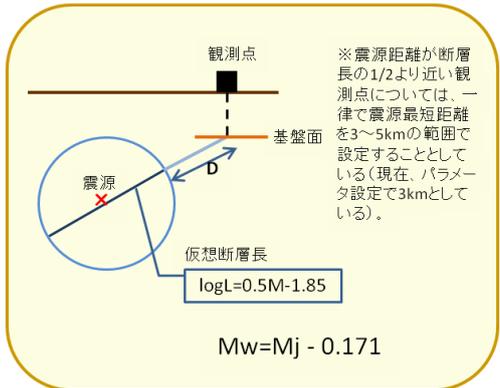
実際に発表した緊急地震速報で推定した震源の位置やマグニチュードと4-1. で選んだ距離減衰式を用いて、各々の固有周期に対する絶対速度応答時刻歴(減衰定数5%)の最大振幅から算出される長周期地震動階級データの予測値を計算した。これを用いて、周期1秒台~7秒台の各々の周期帯における長周期地震動階級データの最大値や、対象となる全周期帯における最大値である長周期地震動階級の予測値を算出し、観測値と比較して、どの程度長周期地震動階級を予測することが可能か(予測適合度)を検証した。

(1) 長周期地震動階級等の予測計算方法

検討を行った地震は、平成19年(2007年)10月から平成25年(2013年)12月にかけて、緊急地震速報(警報)を発表した地震のうち、気象庁一元化震源のマグニチュードが5.5以上となった地震である。予測計算を行った地震の一覧および予測結果の例を別添資料2に示す。

緊急地震速報の各報で推定した震源の位置およびマグニチュード、および気象庁一元化震源の震源の位置およびマグニチュードと、図2の距離減衰式を用い、表3に示す計算方法により、気象庁震度観測点および防災科学技術研究所の強震観測点(K-net及びKiK-net(地表))で予測される長周期地震動階級及び周期1秒台~7秒台の長周期地震動階級データの最大値を予測値として計算した。

表3 検討に用いた具体的な計算方法

計算に用いるデータ	計算方法
モーメントマグニチュードの計算	各距離減衰式ではモーメントマグニチュード (M_w) が用いられているため、緊急地震速報で推定したマグニチュードおよび気象庁一元化震源の変位マグニチュードを M_j として、緊急地震速報と同様、 $M_w = M_j - 0.171$ により計算
断層面距離の計算	緊急地震速報と同様に、点震源の周りにマグニチュードの大きさに基づく球面を仮定し、球面から観測点までの最短距離を計算 
長周期地震動階級や長周期地震動階級データの算出に用いた計算値	建築研式と防災科研式は擬似速度応答スペクトル pS_{va} 、内閣府式は相対速度応答スペクトル S_{vr} の計算値を用いて、長周期地震動階級および周期 1 秒台～7 秒台の長周期地震動階級データの予測最大値を計算
地域の長周期地震動階級(長周期地震動階級データ)の計算	全国を 188 に区分した地域を用い、地域内の観測点での最大の長周期地震動階級の予測値または長周期地震動階級データの予測値を地域の値として用いる

※評価に用いた観測点について

- ・防災科研式および内閣府式では、深部地盤構造モデル (J-SHIS) および深部地盤一次固有周期モデルが、沖縄県内および鹿児島県奄美地方については作成されていないため、沖縄県内および鹿児島県奄美地方の観測点は予測対象から除外した。
- ・建築研式では、サイト補正係数が作成出来ない、回帰の対象とした地震を観測していない観測点は予測対象から除外した。

(2) 予測適合度の計算方法

緊急地震速報では、震度 4 以上を観測もしくは予測した場合に、全国を 188 に区分した地域を単位として、震度差が ± 1 の範囲になる割合を求め、これを予測適合度としている。本 WG では、これと同様に、全国を 188 に区分した地域を単位として、表 4 に示す 3 通りの対象について、それぞれ、

- ① 長周期地震動階級 2 以上を観測もしくは予測した場合、また、周期 1 秒台～7 秒台のそれぞれについて、長周期地震動階級データの最大値が階級データ 2 以上を観測もしくは予測した場合に、階級差が ± 1 の範囲になる割合
- ② 長周期地震動階級 2 以上を観測もしくは予測した場合、また、周期 1 秒台～7 秒台のそれぞれについて長周期地震動階級データの最大値が階級データ 2 以上を観測もしくは予測した場合に、階級差が ± 2 を超える割合

階級差が ± 2 を超える割合については、さらに、予測が大きい場合 (過大評価) と観測が大きい場合 (過小評価) に区分した割合

を計算した。その上で、①の階級差が ± 1 の範囲になる割合を予測適合度とした。各割合の計算の考え方を図 3 に示す。

緊急地震速報の予測適合度の評価には最終報での適合度を用いているが、本 WG では、

緊急地震速報の警報発表をした報（2回以上一般向けに警報を発表した場合は最後のもの、以下、「警報発表報」とする。）、一連の緊急地震速報の中でマグニチュードが最大になった報（以下、「マグニチュード最大報」とする。）、及び、最終報を選び（図4）、緊急地震速報の発表のタイミングによる予測適合度の比較を行った。平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の際に宮城県および東京都で観測された、各周期帯における絶対速度応答時刻歴の最大振幅及び10秒ごとに算出した計測震度（参考値）の時間変化と、緊急地震速報で発表された各報の時間的關係を図5に示す。

表4 予測適合度の検証を行った対象地域

地域	予測適合度の検討目的
1) 計算した全地域	全国を188に区分した地域について、長周期地震動予報について発表した場合の予測適合度の検討
2) 1)の地域のうち、観測した震度が3以下の地域	緊急地震速報の予報や警報で地域名が発表されない震度3以下の地域における長周期地震動予報の予測適合度の検討
3) 1)の地域のうち、高層ビルが多く立地し、かつ長周期地震動が卓越しやすい地域	高層ビルが多く立地し、かつ長周期地震動が卓越しやすい地域における長周期地震動予報の予測適合度の検討 対象地域：埼玉県南部、千葉県北西部、東京23区、神奈川県東部、愛知県西部、大阪府北部、大阪府南部、兵庫県南東部

	階級0予測	階級1予測	階級2予測	階級3予測	階級4予測
階級0観測	3013	111	0	0	0
階級1観測	244	190	9	0	0
階級2観測	21	81	29	4	1
階級3観測	0	1	7	2	0
階級4観測	0	0	1	0	3

図3：予測適合度の計算方法（数字はサンプル）

対象とした地震毎に図で示す表を作成し、赤枠内、緑枠内および橙枠内の地域数を総数として、赤枠内の地域数の割合を階級差が±1の範囲になる割合として計算。また、緑枠内および橙枠内の地域数の割合を階級差が±2を超える割合として計算。さらに、緑枠内の地域数の割合を過大評価割合として、橙枠内の地域数の割合を過小評価割合として計算。なお、灰枠内は検証の対象外とした。

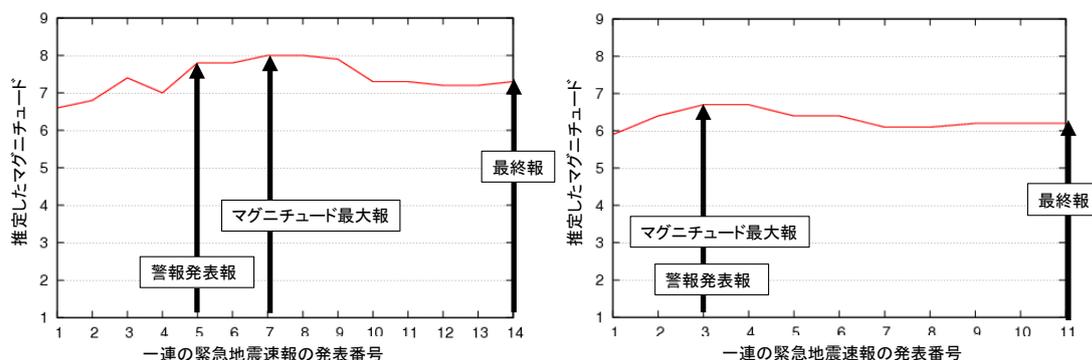


図4 予測適合度検証に用いた一連の緊急地震速報の報の取り方

予測適合度の比較は、対象とした地震における一連の緊急地震速報で、警報発表報、マグニチュード最大報および最終報を選んだ。マグニチュード最大報は、警報発表報や最終報と同じとなる場合がある。

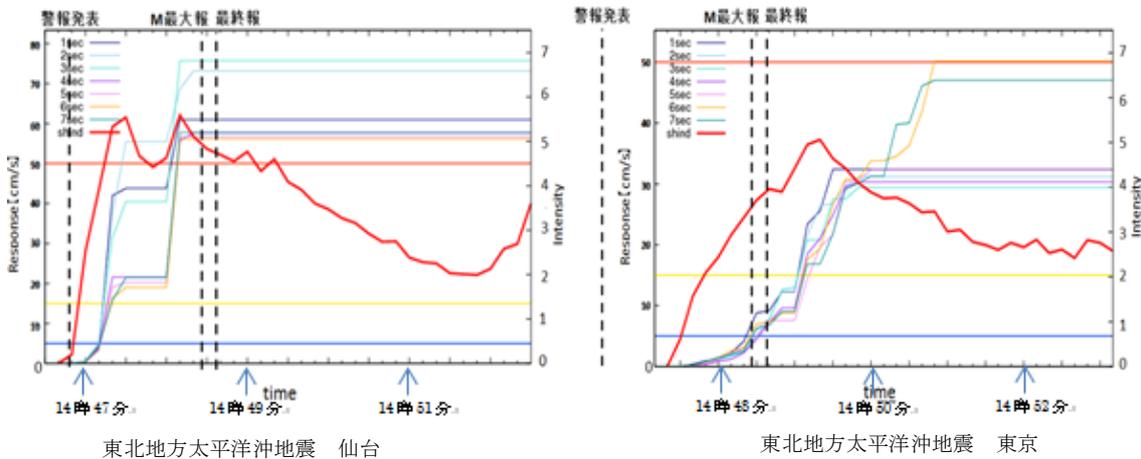


図5 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の際に観測された長周期地震動の時間変化

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の際に仙台宮城野区五輪観測点(左)および東京千代田区大手町観測点(右)で観測された、各周期帯における絶対速度応答時刻歴の最大振幅および10秒ごとに算出した計測震度(参考値)の時間変化と、緊急地震速報で発表された各報の時間的關係。

(3) 予測適合度の検討結果

検討に用いた地震における予測適合度の結果を以下に示す。なお、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の結果を加えると、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震のデータが占める割合が多い(表5)ため、全体の傾向が分からなくなることから、予測適合度の検討では平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震は除いて検討した。平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震での結果については(4)に示す。

予測適合度の検討結果の詳細は別添資料3に示す。

表5 予測適合度の計算に用いた総数に占める平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の割合の例

建築研式の最終報を用いた、1) 計算した全地域における予測適合度の計算に占める平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の割合

予測適合度計算に用いる地域数の総数 : 全地震の地域数	予測適合度計算に用いる地域数の総数 : 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の地域数	予測適合度計算に用いる地域数の総数に占める平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の地域数の割合
249 地域	90 地域	36.1%

1) 計算した全地域における最終報での予測適合度

計算した全地域における最終報での長周期地震動階級等の予測適合度は、表6に示すとおり概ね60%台~80%台である。

表6 計算した全地域における最終報での予測適合度(%)

	階級	1秒台階級 データ最大値	2秒台階級 データ最大値	3秒台階級 データ最大値	4秒台階級 データ最大値	5秒台階級 データ最大値	6秒台階級 データ最大値	7秒台階級 データ最大値
建築研式	84.9	87.0	83.5	84.3	87.5	87.8	90.3	100.0
防災科研式	62.4	63.0	69.1	77.0	71.4	69.2	77.8	83.3
内閣府式	69.2	68.3	70.5	83.1	80.9	87.3	80.4	66.7

2) 1) の地域のうち、観測した震度が3以下の地域における最終報での予測適合度

計算した地域のうち、観測した震度が3以下の地域における最終報での長周期地震動階級等の予測適合度は、表7に示すとおりである。長周期地震動階級で約30%～約80%台、各々の周期帯における長周期地震動階級データの最大値で約20%～100%であり、式や周期帯による違いが大きい傾向がある。

表7 計算した地域のうち、観測した震度が3以下の地域における最終報での予測適合度(%)

	階級	1秒台階級 データ最大値	2秒台階級 データ最大値	3秒台階級 データ最大値	4秒台階級 データ最大値	5秒台階級 データ最大値	6秒台階級 データ最大値	7秒台階級 データ最大値
建築研式		82.6	100.0	75.0	75.0	60.0	71.4	50.0
防災科研式		39.1	27.3	75.0	50.0	50.0	42.9	50.0
内閣府式		56.0	33.3	77.8	55.6	54.5	87.5	85.7

3) 1) の地域のうち、高層ビルが多く立地し、かつ長周期地震動が卓越しやすい地域における最終報での予測適合度

計算した地域のうち、高層ビルが多く立地し、かつ長周期地震動が卓越しやすい地域における最終報での長周期地震動階級および長周期地震動階級データの予測適合度を計算したが、総数が少なく、予測適合度の検討には至らなかった。

4) 1) 計算した全地域における緊急地震速報の発表のタイミングによる予測適合度の比較

計算した全地域における緊急地震速報の発表のタイミングによる長周期地震動階級や各々の周期帯における長周期地震動階級データの最大値の予測適合度を比較すると、警報発表報やマグニチュード最大報における予測適合度はやや悪く、最終報で良くなる傾向がある(図6)。警報発表報やマグニチュードが最大報では過大評価の割合が高い(図6)。

① 予測と観測の階級値が±1階級の範囲となる割合(%)

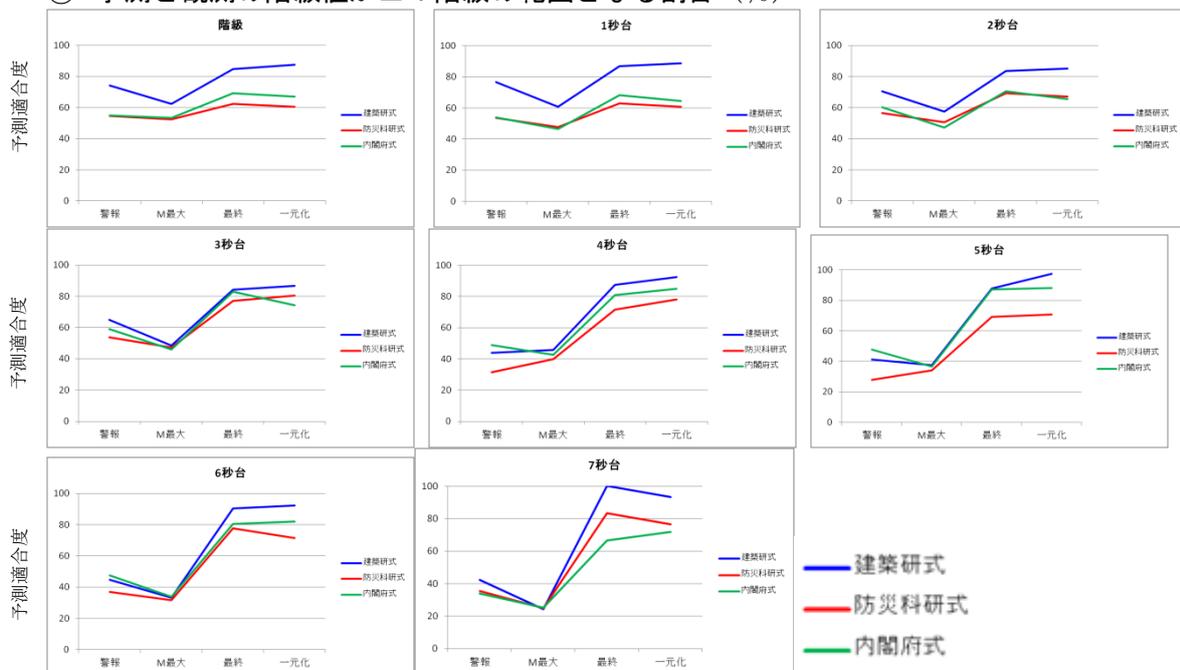


図6a 計算した全地域における緊急地震速報の発表のタイミングによる予測適合度の比較

② 予測と観測の階級値が±2階級を超える割合と内訳（%）

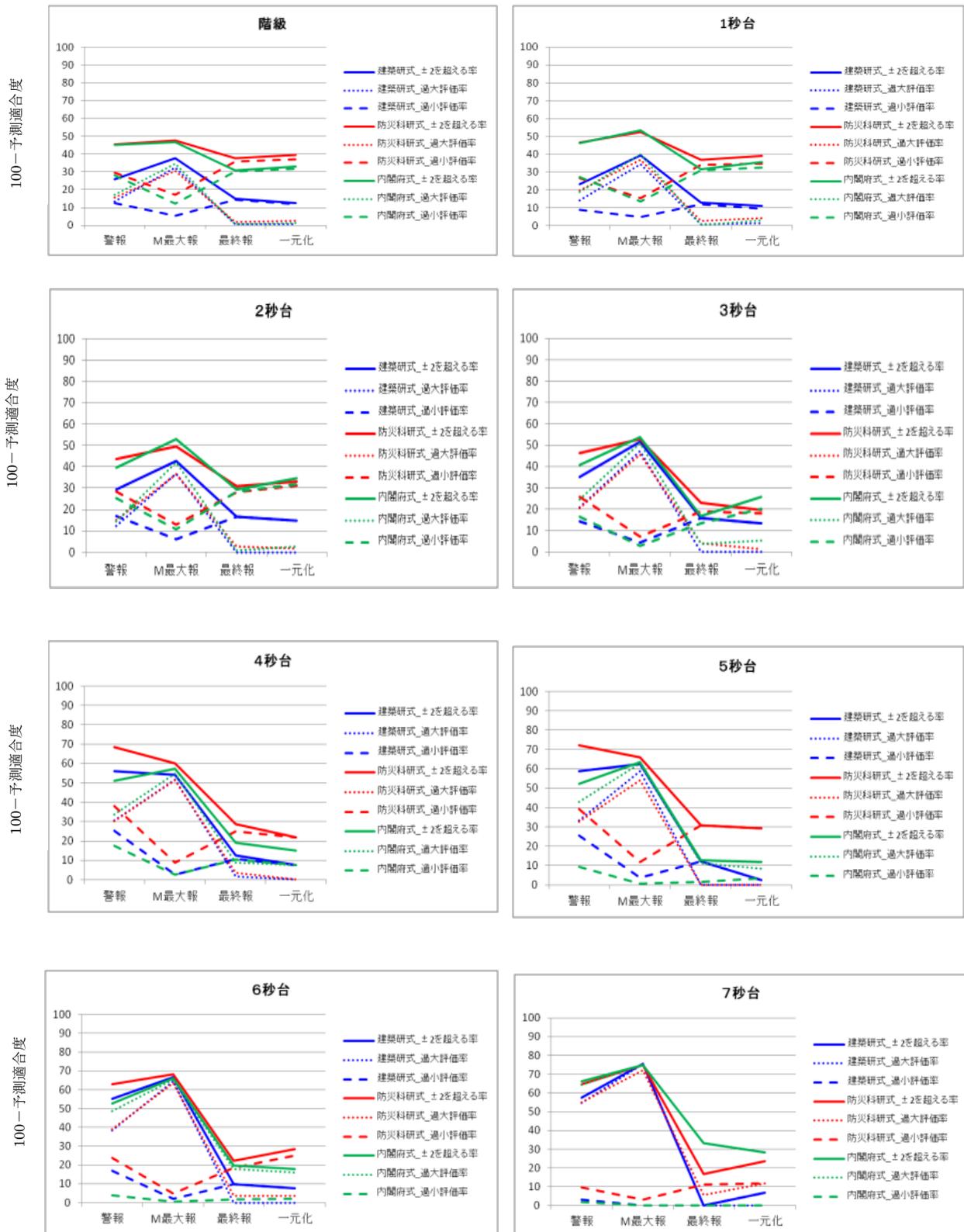


図 6b 計算した全地域における緊急地震速報の発表のタイミングによる予測適合度の比較

(4) 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に関する検討

平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震はモーメントマグニチュードが 9.0 の我が国観測史上最大の地震であり、事後の波形解析では北海道から近畿地方の広い範囲で長周期地震動階級 2 以上となるなど、広い範囲で長周期地震動が観測された。

本 WG では、緊急地震速報の各報、地震発生後 1 時間程度以内に最大変位振幅から求めたマグニチュードの暫定値、およびモーメントマグニチュードを用いて、長周期地震動階級を予測した。

緊急地震速報の各報における長周期地震動階級の予測適合度は、最終報でも 30%～70%であり、(4) で検討した平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震を除く全地震での割合に比べて予測適合度がやや低い結果となった (図 7)。緊急地震速報で推定したマグニチュードは、警報発表報が 7.2、マグニチュード最大報と最終報が 8.1 であり、9.0 より小さかった。また、地震発生後 1 時間程度以内に最大変位振幅から求めたマグニチュードの暫定値も 8.4 と、9.0 より小さかった。さらに、緊急地震速報では、断層面の広がり適切に反映できていなかった。このため、全体的に過小評価率の割合が大きく、予測適合度が悪くなったと考えられる。

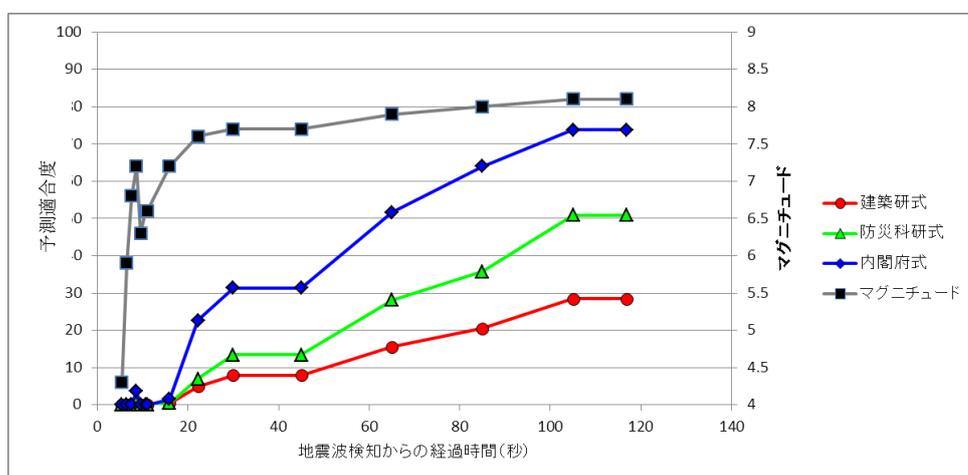


図 7 緊急地震速報の各報における長周期地震動階級の予測適合度 (%)

地震発生後 1 時間程度以内に最大変位振幅から求めたマグニチュードの暫定値であるマグニチュード 8.4 とモーメントマグニチュード 9.0 を用いて長周期地震動階級の予測値を計算したところ、モーメントマグニチュード 9.0 を用いることで、建築研式では予測適合度が改善したが、逆に、内閣府式では予測適合度が悪化した (表 8)。

表 8 最大変位振幅から求めたマグニチュードの暫定値であるマグニチュード 8.4 とモーメントマグニチュード 9.0 を用いた長周期地震動階級の予測適合度

	建築研式	防災科研式	内閣府式
マグニチュード 8.4	約 69%	約 85%	約 95%
モーメントマグニチュード 9.0	約 87%	約 86%	約 51%

モーメントマグニチュード 9.0 の場合、点震源の周りにマグニチュードの大きさに基づく球面を仮定し、球面から観測点までの最短距離を計算すると、図 8 のように、球面が陸地にかかる。このため、距離やマグニチュードの頭打ちが考慮されていない内閣府式では、広い範囲で長周期地震動階級を過大評価した。

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震のような巨大地震に対しては、震源の位置やマグニチュードが仮に正確に求まった場合でも、震源断層距離の計算方法が予測適合度を悪化させる原因となることがある。

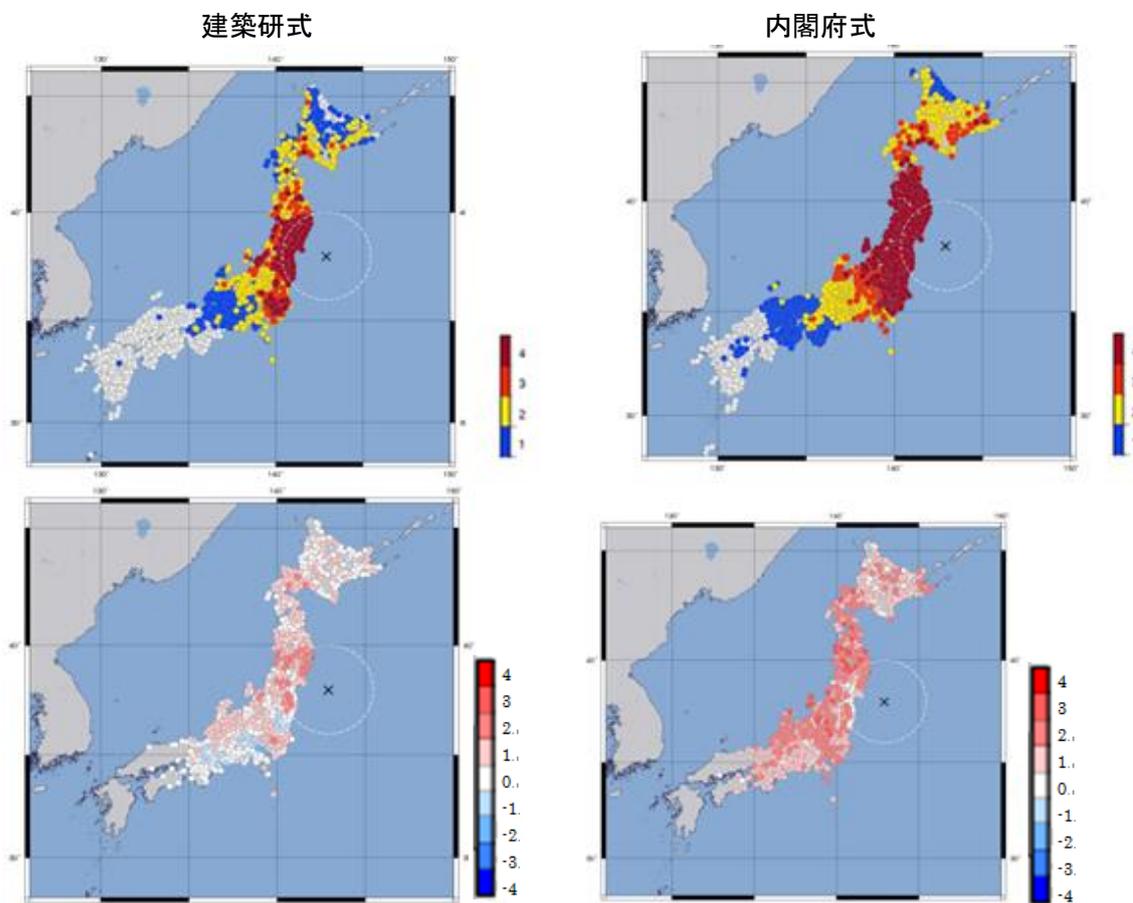


図 8 モーメントマグニチュード 9.0 を用いた長周期地震動階級の予測値と、予測値と観測値との階級差
 左上：建築研式での予測値 右上：内閣府式での予測値 右下：内閣府式での予測値と観測値との階級差 左下：建築研式での予測値と観測値との階級差

(5) 距離減衰式を用いた予測適合度の評価

距離減衰式は経験式であり、長周期地震動を観測したデータが少ないほか、予測技術としては単純な方式のため、高い予測適合度は望めないところではあるが、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震を除くと、長周期地震動階級が ±1 の範囲では 60% 台～80% 台の予測適合度を有することが示せることから、距離減衰式を用いた長周期地震動の予測技術は実用に耐えるレベルであると考えられる。

しかし、今回検討に用いた 3 式は、いずれも絶対速度応答スペクトル S_{va} (減衰定数 5%) を直接回帰したものではないため、回帰に用いたデータそのものに誤差が生じていると考えられる。そうであっても、長周期地震動階級の予測適合度は高いが、現在、絶対速度応答スペクトル S_{va} (減衰定数 5%) の距離減衰式について研究が進められており、このような最新の成果を取り入れる等の検討も行うべきである。

なお、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震のような巨大地震に対しては、現在用いられている球面を仮定した震源断層距離の推定方法ではなく、あらかじめ評価された想定断層面を仮定して震源断層距離を求める技術の検討を行うべきである。また、巨大地震については、距離減衰式が適用しにくいことから、距離減衰式による即時的な予報の補完として、シミュレーションによる地震動予測データベースを活用することについても検討すべきである。

5. 長周期地震動予報の実施に向けた検討課題

単純な方式である距離減衰式を用いた予測技術でも、実用に耐える程度の適合度で長周期地震動階級を予測することができており、長周期地震動予報を実現するにあたっての技術的な裏付けは十分にあるといえる。長周期地震動予報を実施する場合には、表 9 に示すような技術的な課題についてさらに検討が必要である。

6. まとめ

平成 25 年度、本WGでは長周期地震動予報の実現可能性について、技術的な検討・議論を行った。現在の緊急地震速報における震度予測と同様な方式である距離減衰式を用いた予測技術を検討した結果、緊急地震速報の最終報を用いた場合、長周期地震動階級の観測と予測の階級差が±1に入る割合が60～80%程度で予測が可能である。

なお、予報として求められる予測適合度や情報で伝えるべき内容等は、対象者や利用方法、発表手段等と一緒に考えていくことが必要である。

本 WG では、次年度も、長周期地震動予報の技術的な側面について、絶対速度応答スペクトルを直接推定する距離減衰式や、観測点補正技術の高度化、巨大地震に対応できるような技術等についてさらに議論を進め、長周期地震動予報の実用化に向けた予測方法の検討や課題抽出等を進めることとする。

表9 技術的な課題

距離減衰式を用いた技術に関する課題

課題	検討内容	対応方針
絶対速度応答スペクトルに対する距離減衰式を用いるべき。	・絶対速度応答スペクトル S_{va} と気象庁マグニチュード M_j を用いた距離減衰式について長周期地震動階級の予測適合度を計算し、これまでに検討した3式との比較等の検討を行う。	来年度早々に検討を行う。
応答スペクトルの観測点補正技術の高度化を図るべき。	・応答スペクトルの卓越周期等に、震源と観測点の位置との方位依存性があることが指摘されており、方位依存性を利用したサイト（観測点ごと）の補正方法の検討を行う。 ・緊急地震速報では実観測データを用いた補正を導入することで震度階級の予測適合度が向上しており、地盤構造データを用いた補正方法との比較等の検討を行う。	来年度に検討を始める。
・距離減衰式作成時のデータにそもそも含まれていない、震源から離れた地域や震源近傍への適用の是非について検討すべき	・距離減衰式の作成時には、震源から離れた観測点や震源近傍のデータが用いられていないことがある。 ・このため、作成時に用いられたデータ以上に震源から離れた地域について、外挿による推定が妥当か、観測値から検討を行う。 ・また、震源近傍への適用については、距離減衰式の距離頭打ち項の効果が妥当か、観測値から検討を行う。	来年度に検討を始める。
長周期地震動が卓越しやすく高層ビルが多い三大都市圏（東京、名古屋、大阪）における長周期地震動階級の予測適合度の向上を図るべき。	・三大都市圏における観測データの蓄積によるサイト（観測点ごと）の補正値を導入することで、長周期地震動階級の予測適合度の向上を図りつつ、今後の研究による三大都市圏に関する知見の進捗を踏まえて、適用可能な技術を検討する。	都市部強震計の整備を引き続き進めつつ、研究の進捗について情報を収集し、適用可能な技術を検討する。
・長周期地震動そのものを観測したデータが少ないことが最大の課題。	・長周期地震動を観測したデータが少ないことで不確定要素が多いという課題がある。 ・このため、さらに波形データの収集や分析等を進める。	中長期的な視野に立って検討を継続する。

その他の技術的課題

課題	検討内容	対応方針
現在用いられている球面を仮定した震源断層距離の推定方法ではなく、巨大地震に対応でき	・巨大地震における長周期地震動階級の予測適合度の向上には断層面の広がりへの考慮が重要である。 ・しかし、震源断層面を破壊過程の途	来年度に検討を始める

<p>るよう、即時的に震源断層面を推定し、震源断層距離を求める技術を検討すべき。</p>	<p>中で把握することは技術的には困難である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・このため、例えば海溝付近で推定したマグニチュードが8を超えたような場合に、地震調査研究推進本部が取り纏めている海溝型地震の想定断層面を仮定して決め打ち的に適用する等の技術について検討を行う。 	
<p>距離減衰式による即時的な予報の補完として、シミュレーションによって作成した地震動予測データベースを用いるべき。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・巨大地震など距離減衰式が対応しにくい地震に対しては、地震動予測データベースの活用は極めて有効である。 ・しかし、シミュレーションの蓄積や結果の評価には時間を要する。 ・また、シミュレーションにはモデル依存性があり、さらに、シミュレーション結果と実際の観測結果の整合が確認しづらいという課題がある。 ・このため、研究機関や関係府省庁、関係諸団体と連携し、今後の調査等の進捗を踏まえつつ、評価が定まったシミュレーション結果を取り入れる等、適用可能な技術を検討する。 	<p>引き続き、今後の調査等の進捗について情報を収集し、適用可能な技術を検討する。</p>
<p>地震動の継続時間に関する技術開発を進めるべき。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・地震動の継続時間については、研究成果はあるものの、どのような定義をすべきか等が明確ではない ・このため、今後の研究の進捗を踏まえて、適用可能な技術を検討する。 	<p>中長期的な視野に立って検討を継続する。</p>
<p>緊急地震速報で推定するMや震源、経験式を利用する場合、その長周期地震動階級の予測適合度に自ずと限界があるため、実時間の観測データの活用を図るべき。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・実時間の観測データの活用した予測技術は長周期地震動階級の予測適合度の向上に資する有効な手段である ・しかし、観測点の密度や波形のリアルタイム伝送といったインフラの課題がある。 ・また、猶予時間を長くするための迅速な計算等についての研究が必要である。 ・このため、今後の研究の進捗を踏まえて、適用可能な技術を検討する。 	<p>中長期的な視野に立って検討を継続する。</p>

別添 1 検討に用いた応答スペクトルの距離減衰式の特徴

1. 式および回帰等に用いたデータの特徴

検討に用いた応答スペクトルの距離減衰式

建築研式

<海溝型地震>

$$\log_{10}Saa(T)=a_1(T)M_w+a_2(T)M_w^2+b(e\text{ or }w)(T)R-\log_{10}(R^{p(T)}+d(T)10^{0.5M_w})+c_0(T)+c_j(e\text{ or }w)(T)$$

<内陸地震>

$$\log_{10}Saa(T)=a(T)M_w+b(T)R-\log_{10}(R^{p(T)}+d(T)10^{0.5M_w})+c(T)+c_j(T)$$

防災科研式

$$\log Saa(T)=a_1(T)(M_{w1'}-M_{w1})^2+b_{1k}(T)R+c_{1k}(T)-\log(R+d_1(T)\cdot 10^{e_1(T)M_{w1'}})+Gd+Gs$$

$$M_{w1'}=\min(M_w, M_{w01}) \quad Gd=p_d \log[\max(D_{\min}/D_0, 1)] \quad Gs=p_s \log[\min(V_{s\max}/V_s, 1)]$$

内閣府式

$$\log_{10}Svr(T)=a(T)M_w-bR-c \log_{10}R+d(T_{dg}, T)+e(T)$$

なお、各式の比較を行うため、以後の検討では建築研式および防災科研式では計算式で求めた絶対加速度応答スペクトルSaaから擬似速度応答スペクトルpSvaを算出している

出典

- ・佐藤智美, 大川出, 西川孝夫, 佐藤俊明, 長周期地震動の経験式の改良と2011年東北地方太平洋沖地震の長周期地震動シミュレーション, 日本地震学会論文集 第12巻, 第4号(特集号), 2012
- ・佐藤智美, 大川出, 西川孝夫, 佐藤俊明, 関松太郎, 応答スペクトルと位相スペクトルの経験式に基づく想定地震に対する長周期時刻歴波形の作成, 日本建築学会構造系論文集 2010年3月号, p521-530.
- ・Nobuyuki Morikawa, and Hiroyuki Fujiwara, A New Ground Motion Prediction Equation for Japan Applicable up to M9 Mega-Earthquake, Journal of Disaster Research Vol.0 No.0, 2013
- ・横田崇, 池内幸司, 矢萩智裕, 甲斐田康弘, 鈴木晴彦, 長周期地震動の距離減衰および増幅特性, 日本地震学会論文集 第11巻, 第1号, 2011

検討に用いた応答スペクトルの距離減衰式の特徴

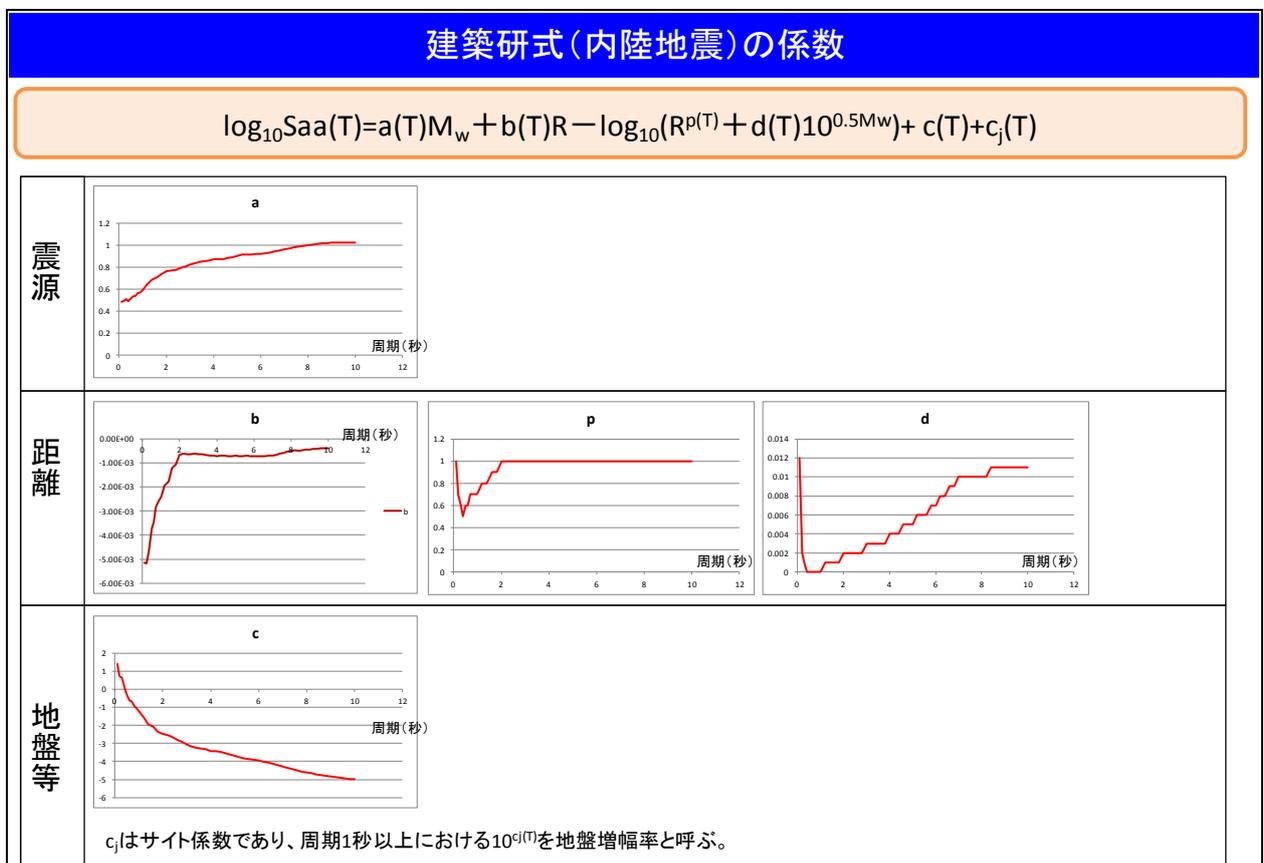
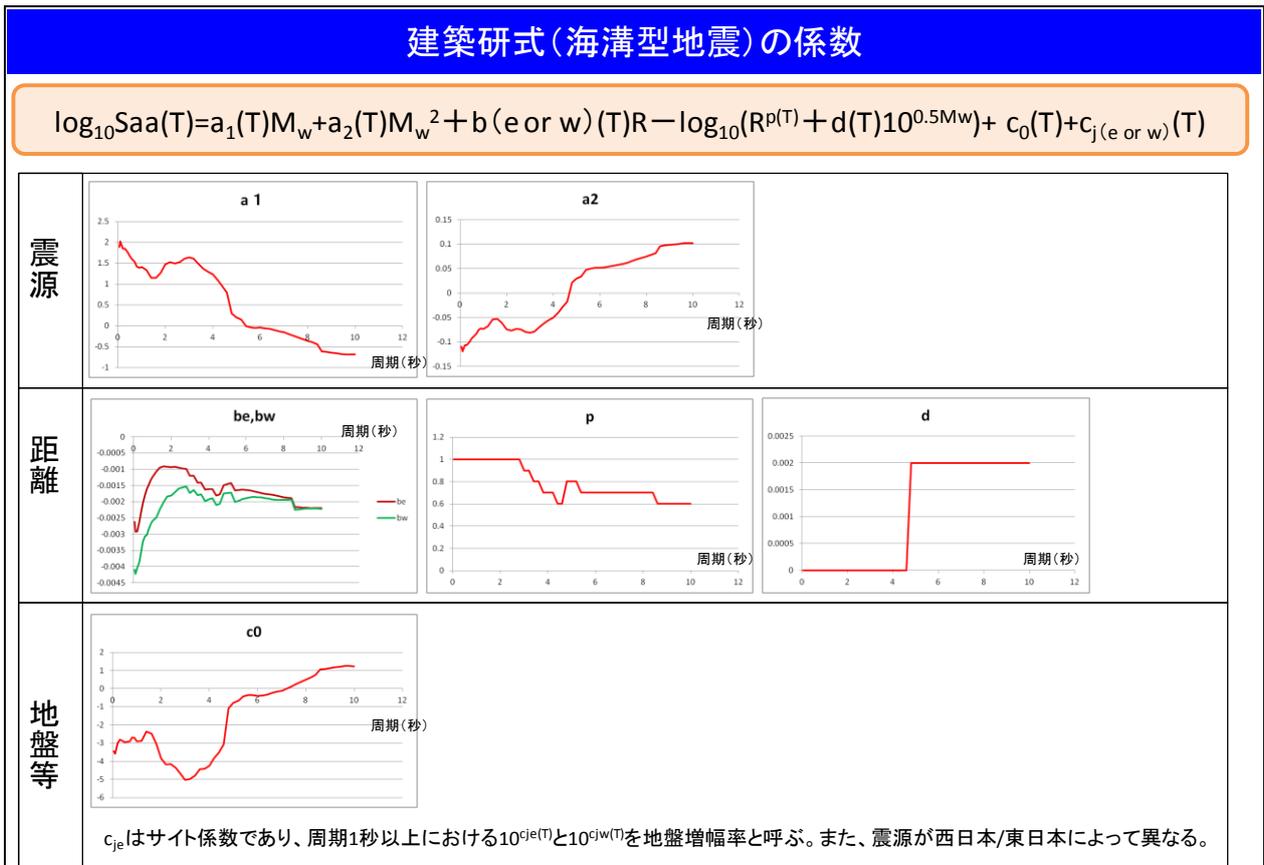
計算に用いられたデータ

式	対象とする応答スペクトル	対象M	震源深さ	震央距離	解析地震数
建築研式 (海溝型地震)	絶対加速度応答スペクトルSaa(周期0.05秒から周期10秒まで), 減衰定数5%	Mj ≥ 6.5	≤ 60 km	≤ 400km かつ 距離減衰式で最大加速度 ≥ 2gal	地震数: 52
建築研式 (内陸地震)	絶対加速度応答スペクトルSaa(周期0.1秒から周期10秒まで), 減衰定数5%	Mj ≥ 6.5	≤ 60 km	≤ 350km かつ 距離減衰式で最大加速度 ≥ 2gal	地震数: 26
防災科研式	絶対加速度応答スペクトルSaa(周期0.05秒から周期10秒まで), 減衰定数5%	≥ 5.5	記述なし (最深108km)	≤ 200km かつ 距離減衰式で最大加速度 ≥ 10gal	地震数: 333 検測値数: 21681
内閣府式	相対速度応答スペクトルSvr(周期2秒から周期15秒まで), 減衰定数5%	≥ 5.5	地殻内: ≤ 20km プレート境界: ≤ 60km	記述なし	地震数: 18

各式の特徴

式	対象地震	マグニチュード 頭打ち	距離 頭打ち	距離係数の区別	補正	観測点 補正手法
建築研式 (海溝型地震)	海溝型地震	有 (二次式)	有	有 太平洋プレートとフィリピン海プレートの地震で係数を変える。	周期別に地震基盤相当の観測点の増幅率で補正	観測点でのデータにより補正。太平洋プレートとフィリピン海プレートの地震で補正値を作成。
建築研式 (内陸地震)	内陸地震	無 (一次式)	有	無	周期別に地震基盤相当の観測点の増幅率で補正	観測点でのデータにより補正。
防災科研式	海溝型地震 内陸地震	有 (二次式に加えて、Mw8.2以上の場合Mw8.2とする)	有	有 海溝型プレート境界地震、海溝型プレート内地震、内陸地震で係数を変える。	周期別に海溝型プレート境界地震、海溝型プレート内地震、内陸地震に区別して補正値を与える	深部地盤モデル(Vs1.4km)と表層地盤モデル(AVS30)により補正
内閣府式	海溝型地震 内陸地震	無(一次式)	無	無	周期別に海溝型地震と内陸地震に区別して補正値を与える	深部地盤一次固有周期により補正

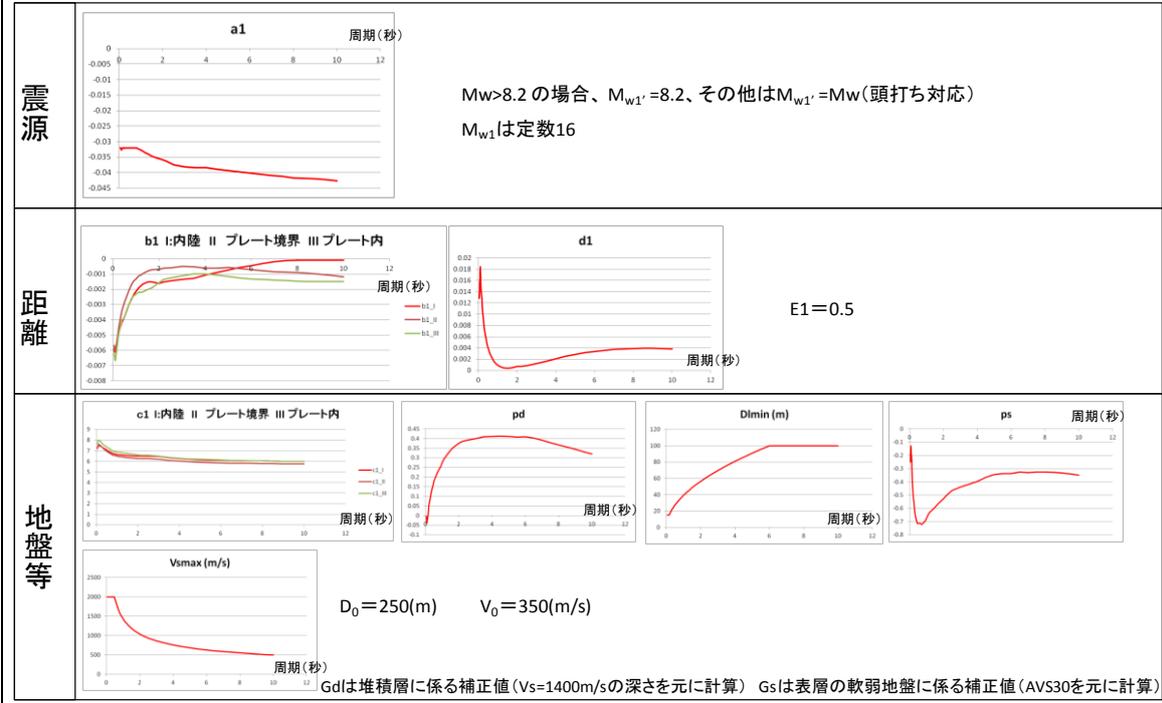
2. 回帰係数



防災科研式の係数

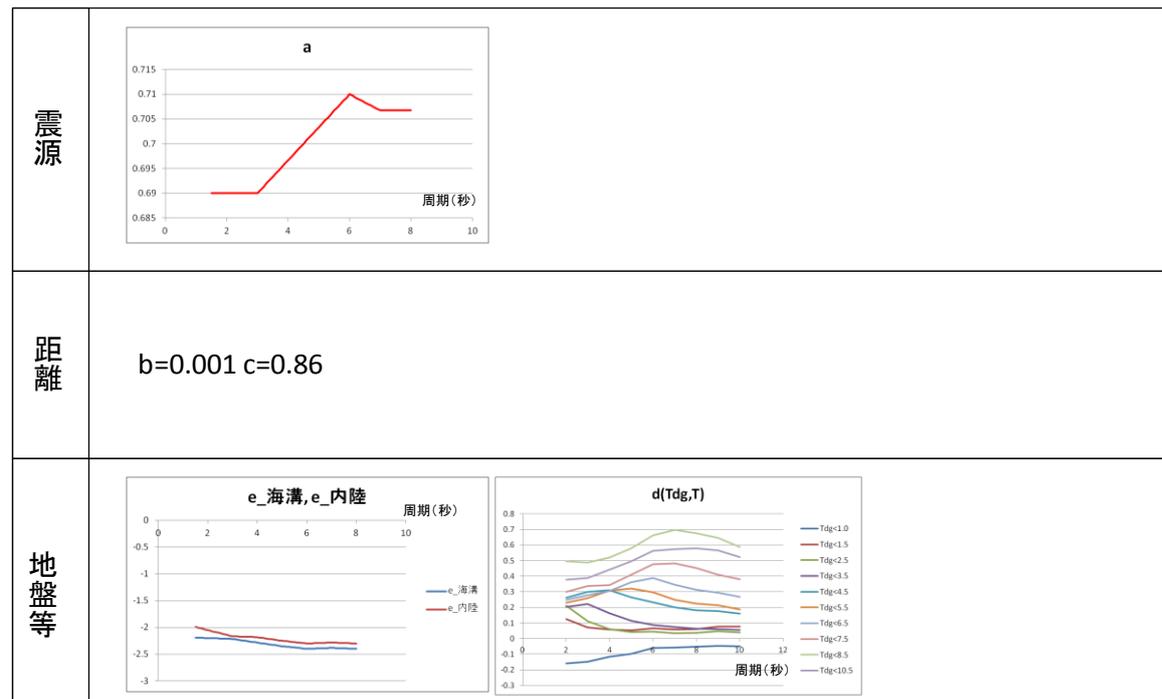
$$\log S_{aa} = a_1 (M_{w1'} - M_{w1})^2 + b_{1k} R + c_{1k} - \log(R + d_1 \cdot 10^{e_1 M_{w1'}}) + G_d + G_s$$

$$M_{w1'} = \min(M_w, M_{w01}) \quad G_d = p_d \log[\max(D_{lmin}, D_l/D_0)] \quad G_s = p_s \log[\min(V_{smax}, V_s/V_0)]$$



内閣府式の係数

$$\log_{10} S_{vr}(T) = a(T) M_w - bR - c \log_{10} R + d(T_{dg}, T) + e(T)$$



別添2 緊急地震速報で推定した震源の位置およびマグニチュードを利用した長周期地震動階級等の予測計算の例

1. 検討に用いた地震

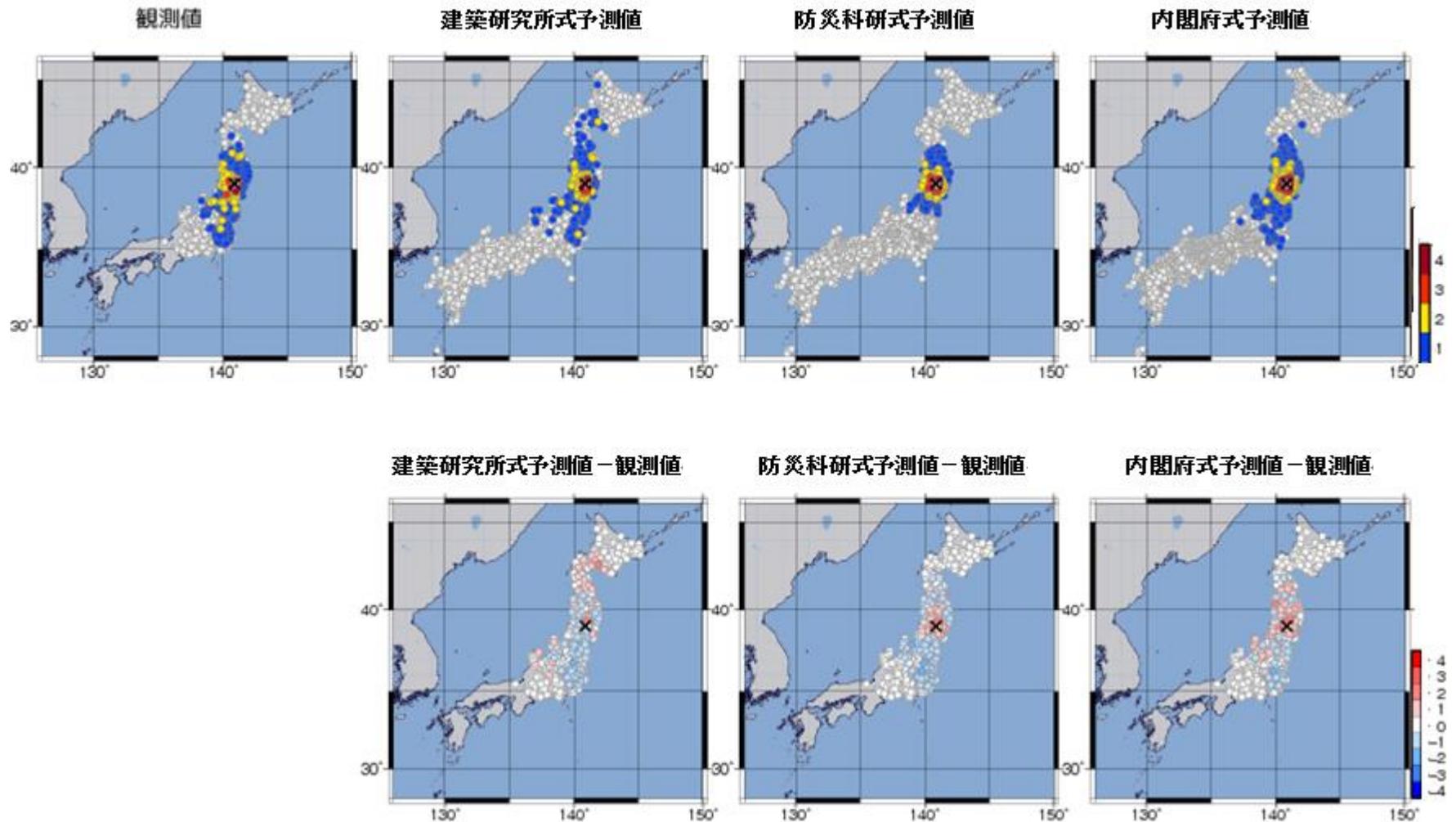
発生日時	震央地名	北緯	東経	深さ	M	注
2013年09月20日 02時25分08秒	福島県浜通り	37.05	140.695	16km	5.9	
2013年08月04日 12時28分50秒	宮城県沖	38.162	141.802	57km	6	
2013年04月17日 21時03分32秒	宮城県沖	38.46	141.618	57km	5.9	
2013年04月17日 17時57分34秒	三宅島近海	34.047	139.352	9km	6.2	
2013年04月13日 05時33分17秒	淡路島付近	34.418	134.828	14km	6.3	
2013年02月25日 16時23分53秒	栃木県北部	36.873	139.412	2km	6.3	
2013年02月02日 23時17分35秒	十勝地方中部	42.688	143.235	107km	6.5	
2012年12月07日 17時18分30秒	三陸沖	37.815	144.315	46km	7.4	
2012年06月18日 05時32分20秒	宮城県沖	38.873	142.09	47km	6.2	
2012年04月29日 19時28分51秒	千葉県北東部	35.715	140.6	48km	5.8	
2012年04月01日 23時04分24秒	福島県沖	37.077	141.132	53km	5.9	
2012年03月27日 20時00分42秒	岩手県沖	39.805	142.333	21km	6.6	
2012年03月14日 21時05分04秒	千葉県東方沖	35.747	140.932	15km	6.1	
2012年02月08日 21時01分37秒	佐渡付近	37.865	138.17	14km	5.7	
2012年01月12日 12時20分49秒	福島県沖	36.967	141.303	33km	5.9	
2011年11月24日 19時25分33秒	浦河沖	41.75	142.887	43km	6.2	
2011年08月19日 14時36分31秒	福島県沖	37.648	141.797	51km	6.5	
2011年08月12日 03時22分04秒	福島県沖	36.968	141.16	52km	6.1	
2011年08月01日 23時58分11秒	駿河湾	34.708	138.547	23km	6.2	
2011年07月31日 03時53分50秒	福島県沖	36.902	141.22	57km	6.5	
2011年07月25日 03時51分25秒	福島県沖	37.708	141.627	46km	6.3	
2011年07月23日 13時34分23秒	宮城県沖	38.873	142.09	47km	6.4	
2011年07月05日 19時18分43秒	和歌山県北部	33.99	135.233	7km	5.5	
2011年06月23日 06時50分50秒	岩手県沖	39.947	142.59	36km	6.9	※2
2011年06月04日 01時00分14秒	福島県沖	36.99	141.21	30km	5.5	※1
2011年04月21日 22時37分02秒	千葉県東方沖	35.675	140.685	46km	6	
2011年04月16日 11時19分31秒	栃木県南部	36.34	139.945	79km	5.9	
2011年04月13日 10時07分58秒	福島県浜通り	36.915	140.707	5km	5.7	※1
2011年04月12日 14時07分42秒	福島県浜通り	37.052	140.643	15km	6.4	
2011年04月12日 08時08分15秒	千葉県東方沖	35.482	140.867	26km	6.4	※1
2011年04月11日 20時42分40秒	茨城県北部	36.965	140.633	11km	5.9	
2011年04月11日 17時16分12秒	福島県浜通り	36.945	140.672	6km	7	
2011年03月25日 20時36分24秒	宮城県沖	38.728	142.107	45km	6.3	※2
2011年03月23日 07時36分56秒	福島県浜通り	37.063	140.77	7km	5.8	
2011年03月22日 12時38分34秒	千葉県東方沖	35.263	141.237	37km	5.9	※1
2011年03月19日 18時56分48秒	茨城県北部	36.783	140.57	5km	6.1	
2011年03月19日 08時32分59秒	岩手県沖	39.185	142.42	37km	5.7	※1
2011年03月17日 21時32分02秒	千葉県東方沖	35.63	140.978	28km	5.7	※2
2011年03月16日 12時52分02秒	千葉県東方沖	35.837	140.905	10km	6.1	※1
2011年03月15日 22時31分46秒	静岡県東部	35.308	138.713	14km	6.4	
2011年03月14日 10時02分38秒	茨城県沖	36.458	141.125	32km	6.2	
2011年03月13日 10時26分02秒	茨城県沖	35.827	141.972	11km	6.6	
2011年03月13日 08時24分46秒	宮城県沖	38.012	141.948	15km	6.2	
2011年03月12日 23時43分05秒	岩手県沖	39.47	142.695	9km	5.9	
2011年03月12日 22時15分41秒	福島県沖	37.197	141.425	40km	6.2	※2
2011年03月12日 04時31分55秒	新潟県中越地方	36.948	138.572	1km	5.9	
2011年03月11日 14時46分18秒	三陸沖	38.103	142.86	24km	9	
2011年03月09日 11時45分12秒	三陸沖	38.328	143.278	8km	7.3	
2010年09月29日 16時59分55秒	福島県中通り	37.285	140.025	8km	5.7	
2010年03月14日 17時08分04秒	福島県沖	37.723	141.817	40km	6.7	
2010年02月27日 05時31分25秒	沖縄本島近海	25.918	128.68	37km	7.2	
2009年10月30日 16時03分38秒	奄美大島北東沖	29.167	129.937	60km	6.8	
2009年08月11日 05時07分05秒	駿河湾	34.785	138.498	23km	6.5	
2008年09月11日 09時20分51秒	十勝沖	41.775	144.15	31km	7.1	
2008年07月24日 00時26分19秒	岩手県沿岸北部	39.732	141.635	108km	6.8	
2008年07月08日 16時42分10秒	沖縄本島近海	27.465	128.547	45km	6.1	
2008年06月14日 09時20分11秒	岩手県内陸南部	38.885	140.672	7km	5.7	
2008年06月14日 08時43分45秒	岩手県内陸南部	39.028	140.88	8km	7.2	
2008年05月08日 01時45分18秒	茨城県沖	36.227	141.607	51km	7	

※1 同時に発生した地震を分離して処理できずひとつの地震として処理したために、適切に発表できなかった事例

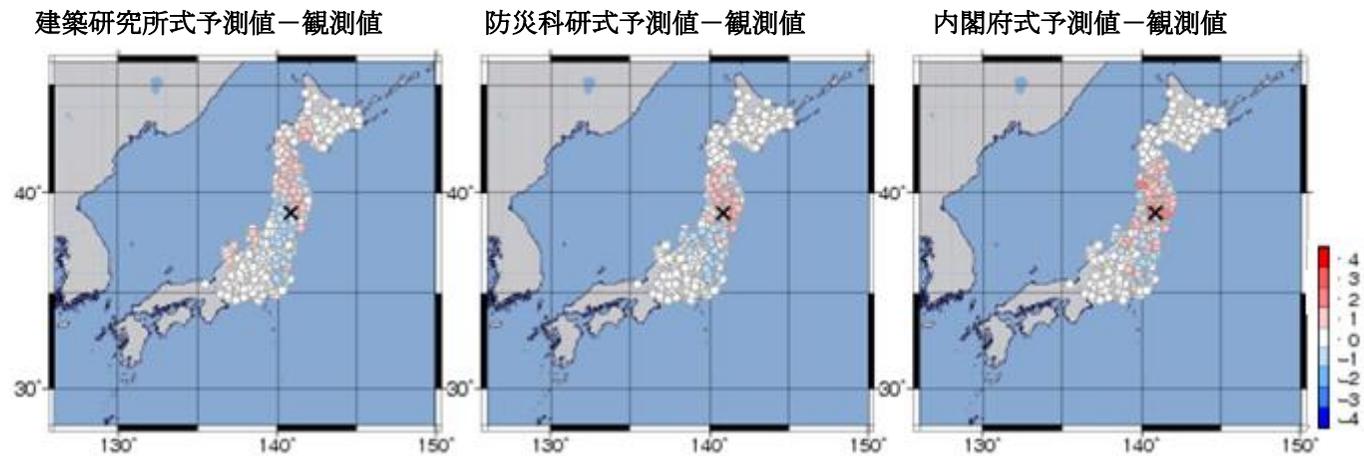
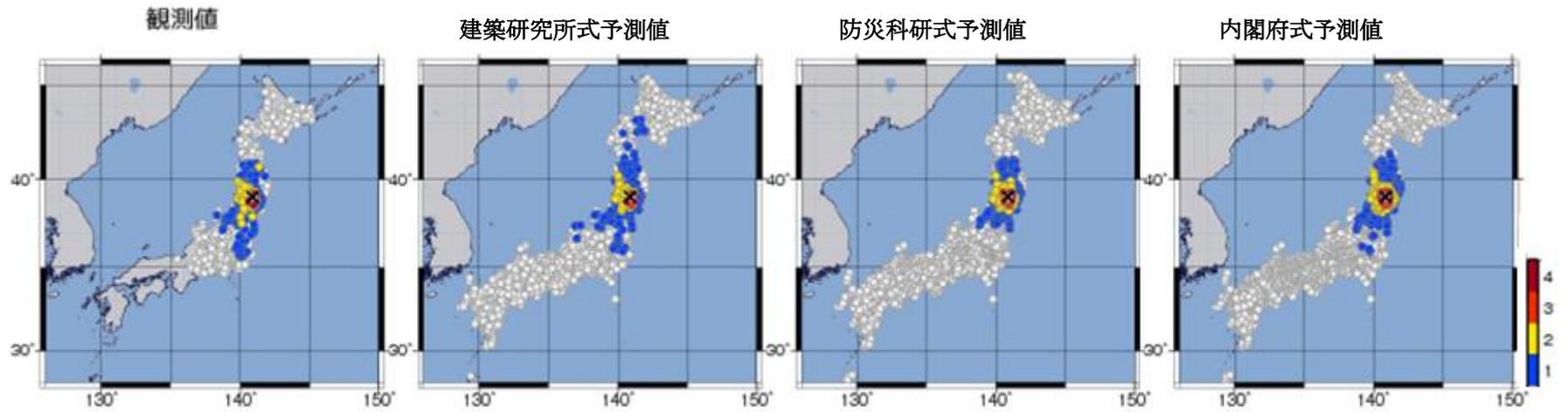
※2 停電や通信回線の途絶のため使用できる地震計の数が減少したことや、震源の推定、震度の予想の誤差などにより適切に発表できなかった事例

平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震における計算

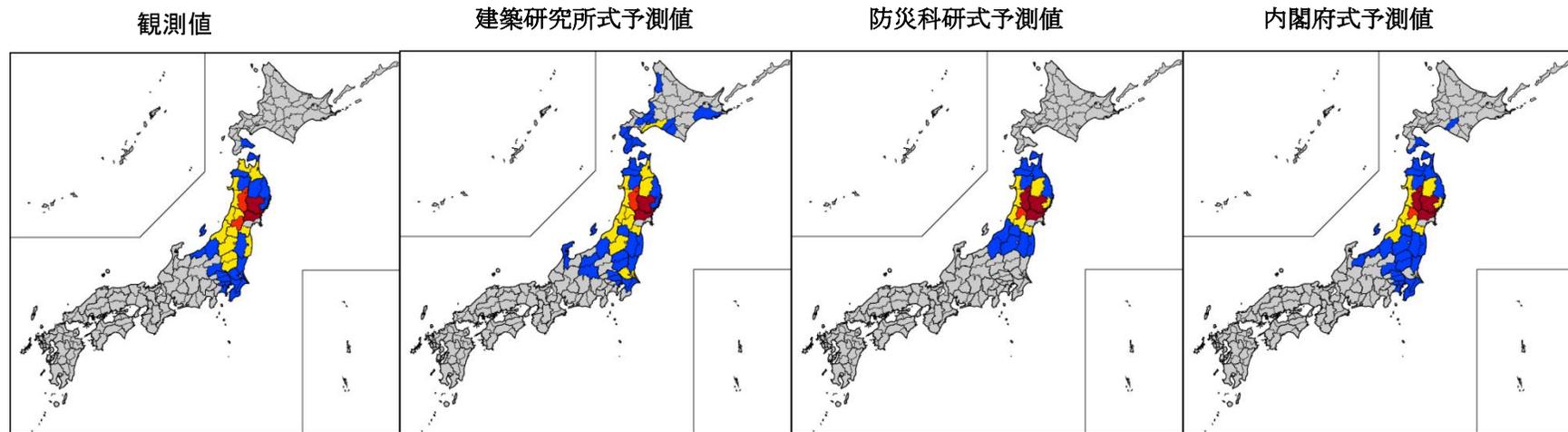
<観測点毎の長周期地震動階級の予想値と観測値（緊急地震速報の最終報）>



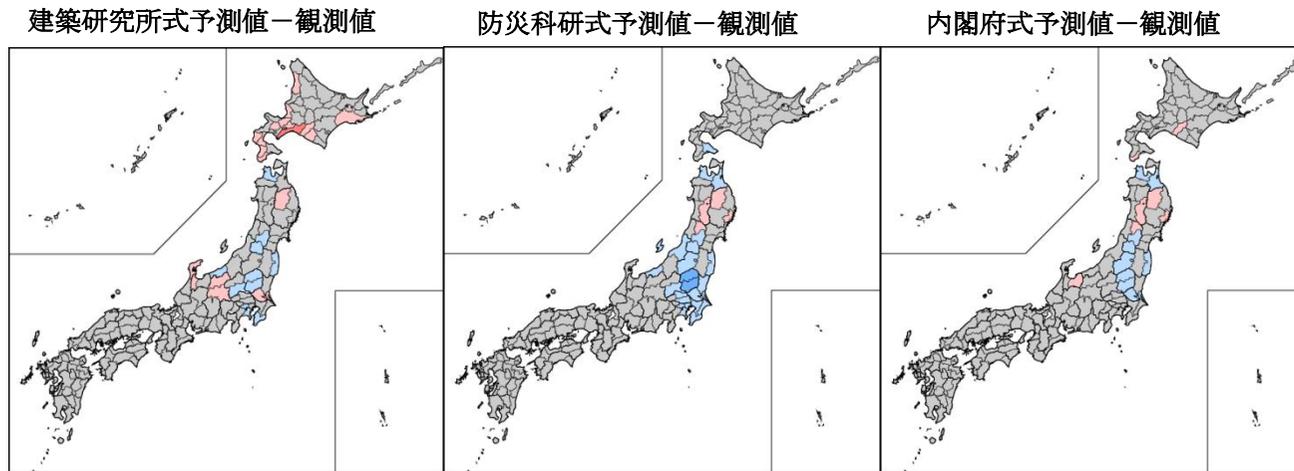
<観測点毎の周期3秒台の長周期地震動階級データの最大値の予測値と観測値（緊急地震速報の最終報）>



<地域毎の長周期地震動階級の観測値と予測値（緊急地震速報の最終報）>



■ 階級1 ■ 階級2 ■ 階級3 ■ 階級4



+4 +3 +2 +1 0 -1 -2 -3 -4

<観測点毎の長周期地震動階級の観測値と予測値（緊急地震速報の各報）>

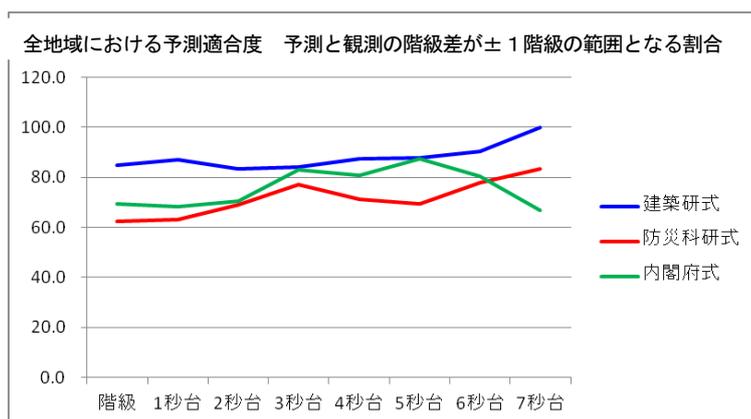


別添3 距離減衰式を用いた長周期地震動階級等の予測適合度検証の結果

1) 計算した全地域における予測適合度(%) (緊急地震速報の最終報)

① 予測と観測の階級差が±1階級の範囲となる割合

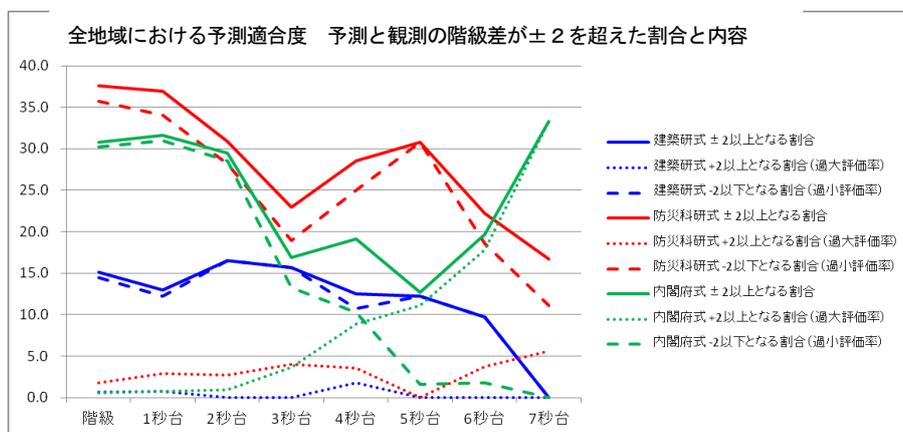
	階級	1秒台階級 データ最大値	2秒台階級 データ最大値	3秒台階級 データ最大値	4秒台階級 データ最大値	5秒台階級 データ最大値	6秒台階級 データ最大値	7秒台階級 データ最大値
建築研式		84.9	87.0	83.5	84.3	87.5	87.8	100.0
防災科研式		62.4	63.0	69.1	77.0	71.4	69.2	83.3
内閣府式		69.2	68.3	70.5	83.1	80.9	87.3	66.7



- ・長周期地震動階級の予測適合度は、建築研式が80%程度、防災科研式・内閣府式で概ね60~70%程度
- ・周期1秒台~7秒台のそれぞれにおける、長周期地震動階級データの最大値の予測適合度は、長周期地震動階級の予測適合度と同程度。

② 予測と観測の階級差が±2階級を超える割合と内訳

距離減衰式	評価内容	階級	1秒台階級 データ最大値	2秒台階級 データ最大値	3秒台階級 データ最大値	4秒台階級 データ最大値	5秒台階級 データ最大値	6秒台階級 データ最大値	7秒台階級 データ最大値
建築研式	±2以上となる割合	15.1	13.0	16.5	15.7	12.5	12.2	9.7	0.0
	+2以上となる割合 (過大評価率)	0.6	0.8	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0
	-2以下となる割合 (過小評価率)	14.5	12.2	16.5	15.7	10.7	12.2	9.7	0.0
防災科研式	±2以上となる割合	37.6	37.0	30.9	23.0	28.6	30.8	22.2	16.7
	+2以上となる割合 (過大評価率)	1.8	2.9	2.7	4.1	3.6	0.0	3.7	5.6
	-2以下となる割合 (過小評価率)	35.8	34.1	28.2	18.9	25.0	30.8	18.5	11.1
内閣府式	±2以上となる割合	30.8	31.7	29.5	16.9	19.1	12.7	19.6	33.3
	+2以上となる割合 (過大評価率)	0.6	0.7	0.9	3.6	8.8	11.1	17.9	33.3
	-2以下となる割合 (過小評価率)	30.2	30.9	28.6	13.3	10.3	1.6	1.8	0.0

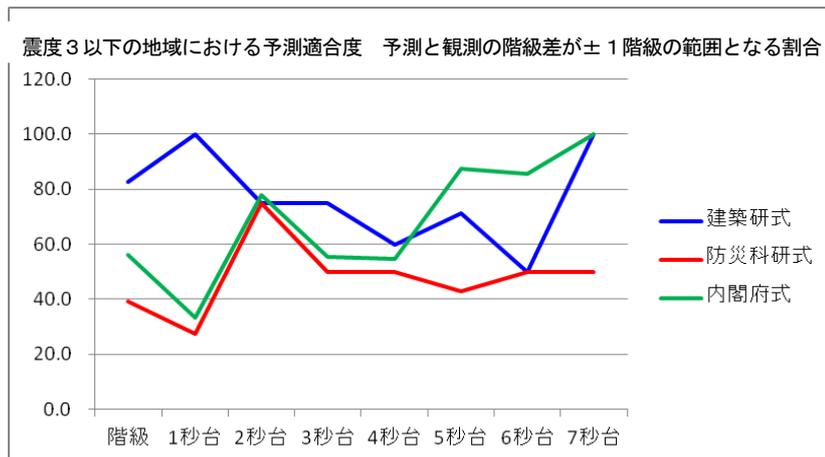


- ・建築研式および防災科研式では、予測された長周期地震動階級や、周期1秒台~7秒台のそれぞれにおける長周期地震動階級データの最大値が観測と比較して±2を超える大半は過小評価。
- ・内閣府式では、予測された長周期地震動階級では大半が過小評価だが、周期5秒台以上の長周期地震動階級データの最大値が±2を超える大半が過大評価。

2) 1) の地域のうち、観測した震度が3以下の地域における予測適合度 (%) (緊急地震速報の最終報)

① 予測と観測の階級差が±1階級の範囲となる割合

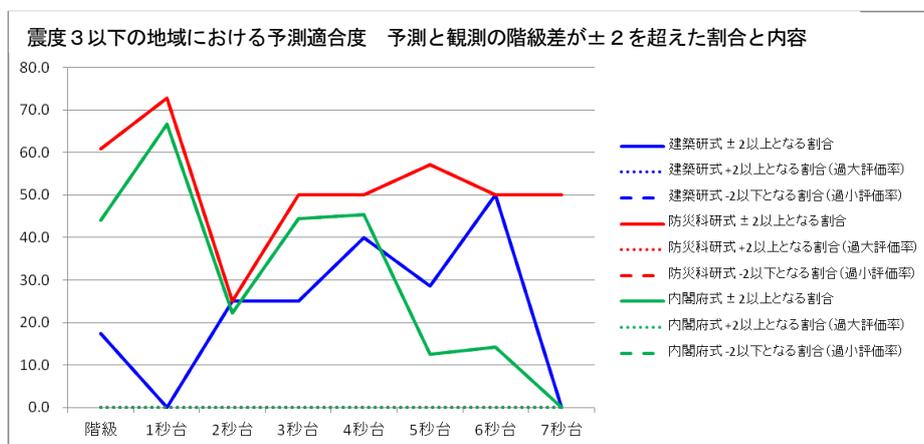
	階級	1秒台階級 データ最大値	2秒台階級 データ最大値	3秒台階級 データ最大値	4秒台階級 データ最大値	5秒台階級 データ最大値	6秒台階級 データ最大値	7秒台階級 データ最大値
建築研式	82.6	100.0	75.0	75.0	60.0	71.4	50.0	100.0
防災科研式	39.1	27.3	75.0	50.0	50.0	42.9	50.0	50.0
内閣府式	56.0	33.3	77.8	55.6	54.5	87.5	85.7	100.0



- ・長周期地震動階級の予測適合度は、建築研式が80%程度、防災科研式・内閣府式で概ね40~60%程度
- ・周期1秒台~7秒台のそれぞれにおける、長周期地震動階級データの最大値の予測適合度は、周期による違いが大きい。

② 予測と観測の階級差が±2階級を超える割合と内訳

距離減衰式	評価内容	階級	1秒台階級 データ最大値	2秒台階級 データ最大値	3秒台階級 データ最大値	4秒台階級 データ最大値	5秒台階級 データ最大値	6秒台階級 データ最大値	7秒台階級 データ最大値
建築研式	±2以上となる割合	17.4	0.0	25.0	25.0	40.0	28.6	50.0	0.0
	+2以上となる割合 (過大評価率)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	-2以下となる割合 (過小評価率)	17.4	0.0	25.0	25.0	40.0	28.6	50.0	0.0
防災科研式	±2以上となる割合	60.9	72.7	25.0	50.0	50.0	57.1	50.0	50.0
	+2以上となる割合 (過大評価率)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	-2以下となる割合 (過小評価率)	60.9	72.7	25.0	50.0	50.0	57.1	50.0	50.0
内閣府式	±2以上となる割合	44.0	66.7	22.2	44.4	45.5	12.5	14.3	0.0
	+2以上となる割合 (過大評価率)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	-2以下となる割合 (過小評価率)	44.0	66.7	22.2	44.4	45.5	12.5	14.3	0.0



- ・予測された長周期地震動階級や、周期1秒台~7秒台のそれぞれにおける長周期地震動階級データの最大値が、観測と比較して±2を超えるのは全て過小評価。

3) 1) の地域のうち、高層ビルが多く立地し、かつ長周期地震動が卓越しやすい地域における予測適合度 (緊急地震速報の最終報)

1) の地域のうち、高層ビルが多く立地し、かつ長周期地震動が卓越しやすい地域における最終報での長周期地震動階級及び周期1秒台～7秒台のそれぞれにおける長周期地震動階級データの最大値の予測適合度を計算した。しかし、予測適合度の計算対象となる地震の総数が0となる地域が多く、予測適合度の検討には至らなかった。

例として、東京23区および千葉県北西部における計算結果を示す。地震の総数は少ないが、建築研式や防災研式は階級差が±1の範囲になる。一方、内閣府式では、過大予測した事例が認められる。

東京23区

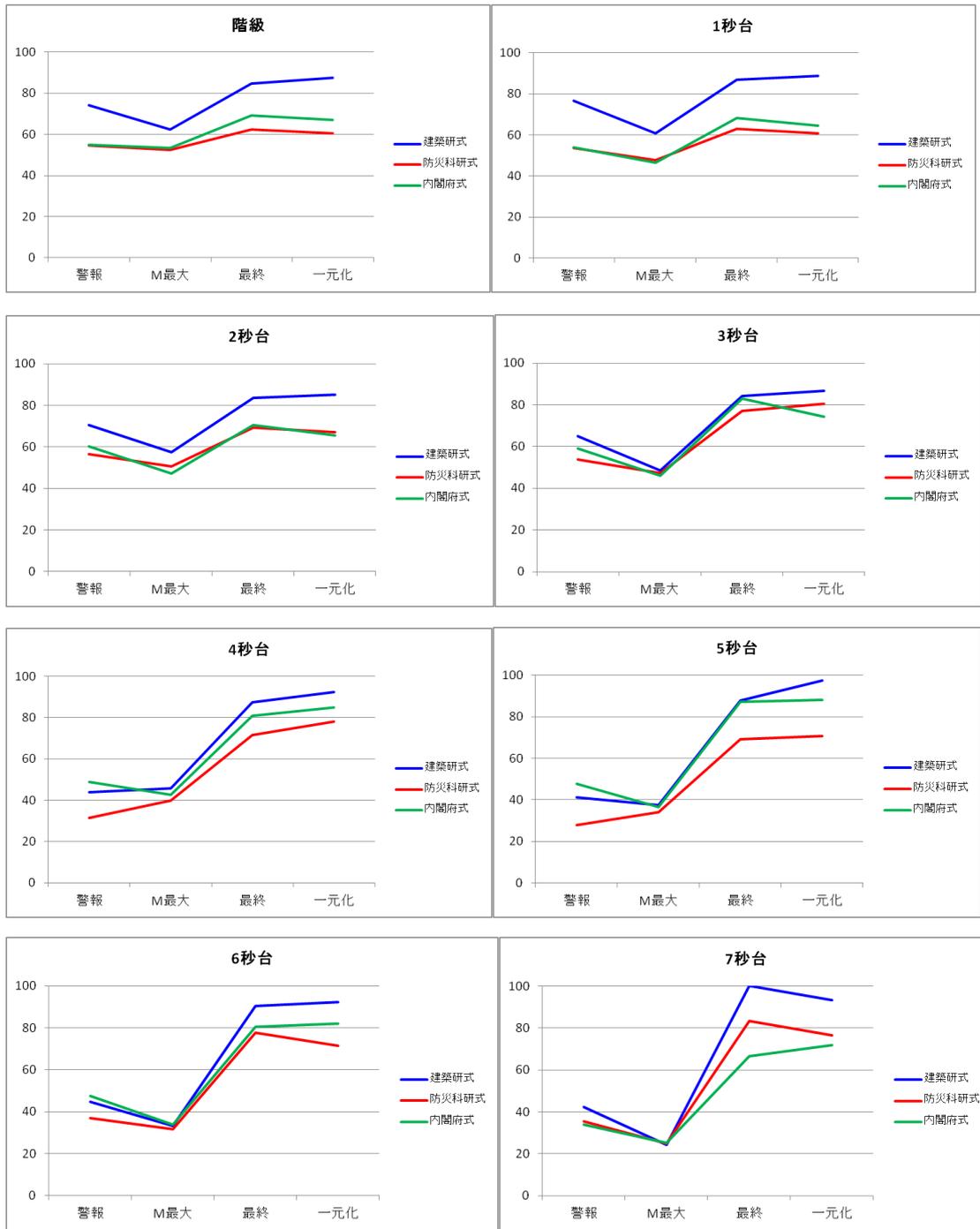
建築研式	長周期地震動階級	1秒台長周期地震動階級データ最大値	2秒台長周期地震動階級データ最大値	3秒台長周期地震動階級データ最大値	4秒台長周期地震動階級データ最大値	5秒台長周期地震動階級データ最大値	6秒台長周期地震動階級データ最大値	7秒台長周期地震動階級データ最大値
対象地震数	1	0	0	0	1	1	1	1
±1の範囲内の地震数	1	0	0	0	1	1	1	1
±2を超える地震数	0	0	0	0	0	0	0	0
過大予測した地震数	0	0	0	0	0	0	0	0
過小予測した地震数	0	0	0	0	0	0	0	0
内閣府式	長周期地震動階級	1秒台長周期地震動階級データ最大値	2秒台長周期地震動階級データ最大値	3秒台長周期地震動階級データ最大値	4秒台長周期地震動階級データ最大値	5秒台長周期地震動階級データ最大値	6秒台長周期地震動階級データ最大値	7秒台長周期地震動階級データ最大値
対象地震数	3	1	1	1	2	3	3	3
±1の範囲内の地震数	3	1	1	1	2	2	3	2
±2を超える地震数	0	0	0	0	0	1	0	1
過大予測した地震数	0	0	0	0	0	1	0	1
過小予測した地震数	0	0	0	0	0	0	0	0
防災研式	長周期地震動階級	1秒台長周期地震動階級データ最大値	2秒台長周期地震動階級データ最大値	3秒台長周期地震動階級データ最大値	4秒台長周期地震動階級データ最大値	5秒台長周期地震動階級データ最大値	6秒台長周期地震動階級データ最大値	7秒台長周期地震動階級データ最大値
対象地震数	3	2	1	0	2	1	1	1
±1の範囲内の地震数	3	2	1	0	2	1	1	1
±2を超える地震数	0	0	0	0	0	0	0	0
過大予測した地震数	0	0	0	0	0	0	0	0
過小予測した地震数	0	0	0	0	0	0	0	0

千葉県北西部

建築研式	長周期地震動階級	1秒台長周期地震動階級データ最大値	2秒台長周期地震動階級データ最大値	3秒台長周期地震動階級データ最大値	4秒台長周期地震動階級データ最大値	5秒台長周期地震動階級データ最大値	6秒台長周期地震動階級データ最大値	7秒台長周期地震動階級データ最大値
対象地震数	1	1	1	0	1	1	1	1
±1の範囲内の地震数	1	1	1	0	1	1	1	1
±2を超える地震数	0	0	0	0	0	0	0	0
過大予測した地震数	0	0	0	0	0	0	0	0
過小予測した地震数	0	0	0	0	0	0	0	0
内閣府式	長周期地震動階級	1秒台長周期地震動階級データ最大値	2秒台長周期地震動階級データ最大値	3秒台長周期地震動階級データ最大値	4秒台長周期地震動階級データ最大値	5秒台長周期地震動階級データ最大値	6秒台長周期地震動階級データ最大値	7秒台長周期地震動階級データ最大値
対象地震数	2	1	1	1	1	2	2	2
±1の範囲内の地震数	2	1	1	1	1	1	2	1
±2を超える地震数	0	0	0	0	0	1	0	1
過大予測した地震数	0	0	0	0	0	1	0	1
過小予測した地震数	0	0	0	0	0	0	0	0
防災研式	長周期地震動階級	1秒台長周期地震動階級データ最大値	2秒台長周期地震動階級データ最大値	3秒台長周期地震動階級データ最大値	4秒台長周期地震動階級データ最大値	5秒台長周期地震動階級データ最大値	6秒台長周期地震動階級データ最大値	7秒台長周期地震動階級データ最大値
対象地震数	2	2	1	0	1	0	0	0
±1の範囲内の地震数	2	2	1	0	1	0	0	0
±2を超える地震数	0	0	0	0	0	0	0	0
過大予測した地震数	0	0	0	0	0	0	0	0
過小予測した地震数	0	0	0	0	0	0	0	0

1) 計算した全地域における予測適合度 (%) (用いる震源要素の違いによる予測適合度の評価)

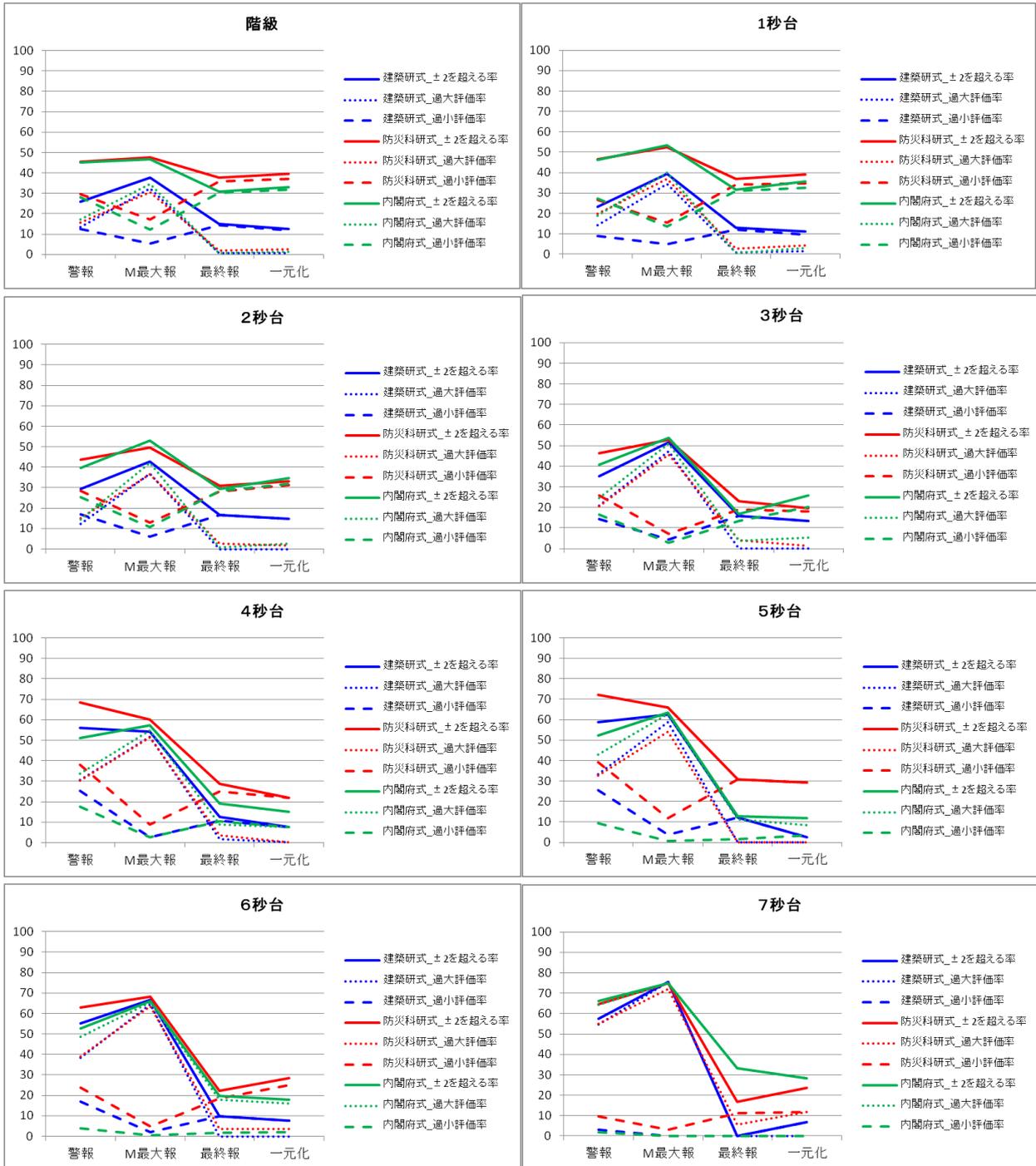
① 予測と観測の階級差が±1階級の範囲となる割合



警報：警報発表報；M最大：マグニチュード最大報；最終：最終報；一元化：気象庁一元化震源

- ・ いずれの式においても、最終報は、警報発表報やマグニチュード最大報より予測適合度が良い。
- ・ 警報発表報に比べ、マグニチュード最大報の方がやや予測適合度が悪い。

②予測と観測の階級差が±2階級を超える割合と内訳



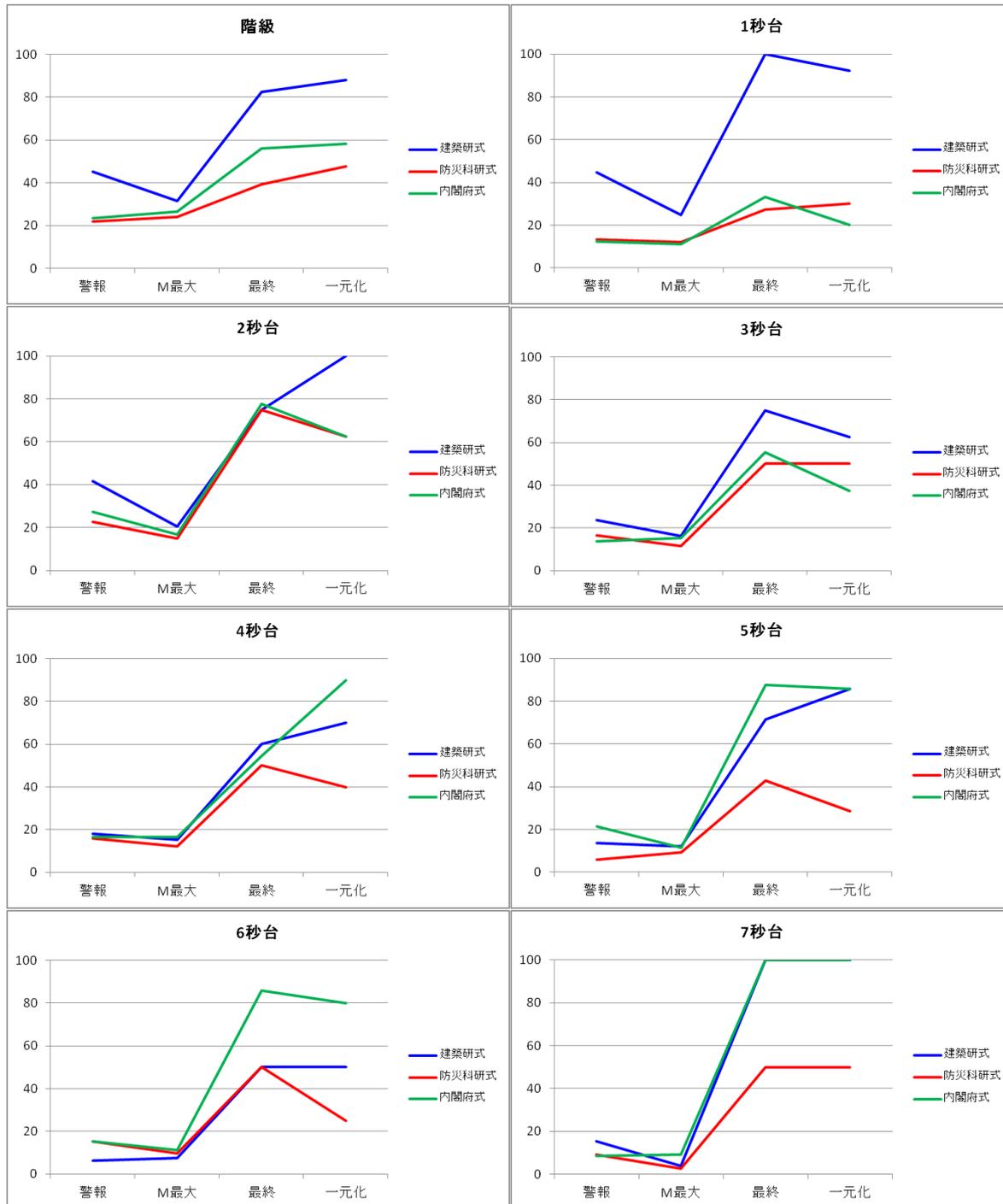
警報：警報発表報；M最大：マグニチュード最大報；最終：最終報；一元化：気象庁一元化震源

- ・ マグニチュード最大報における±2を超えるのは過大評価が大半を占めるが、最終報では大半が過小評価となる。
- ・ 警報発表報やマグニチュード最大報では、周期が長くなるにつれて、過大評価が多くなり、予測適合度が悪くなっている。

2) 1) の地域のうち、観測した震度が3以下の地域における予測適合度 (%)

(用いる震源要素の違いによる予測適合度の評価)

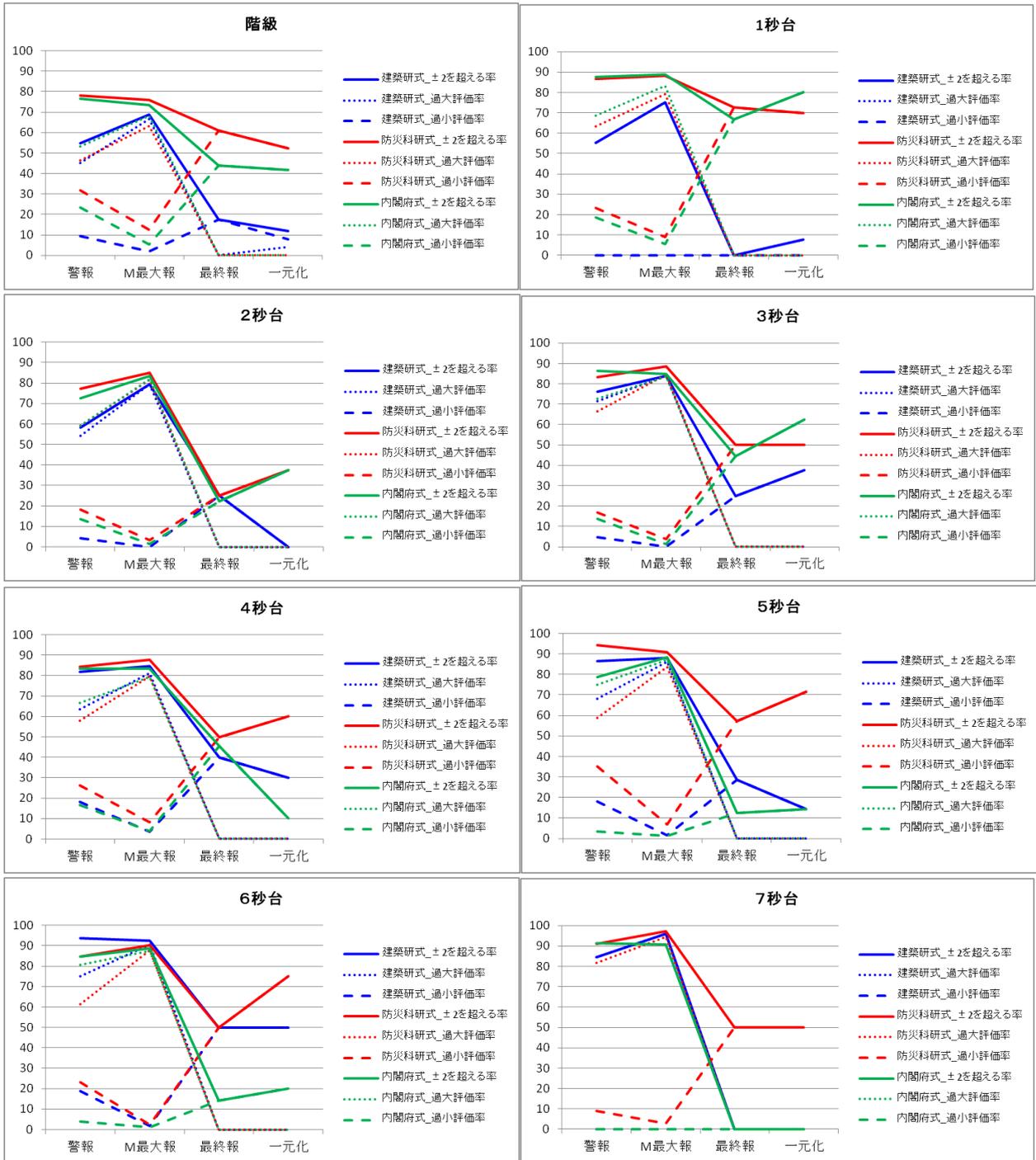
①予測と観測の階級差が±1階級の範囲となる割合



警報：警報発表報；M最大：マグニチュード最大報；最終：最終報；一元化：気象庁一元化震源

- ・ いずれの式においても、最終報は、警報発表報やマグニチュード最大報より予測適合度が良い。
- ・ 警報発表報とマグニチュード最大報の予測適合度は同程度。

②予測と観測の階級差が±2階級を超える割合と内訳



警報：警報発表報；M最大：マグニチュード最大報；最終：最終報；一元化：気象庁一元化震源

- ・ 警報発表報やマグニチュード最大報において±2を超えるのは過大評価が大半を占めるが、最終報では全て過小評価となる。