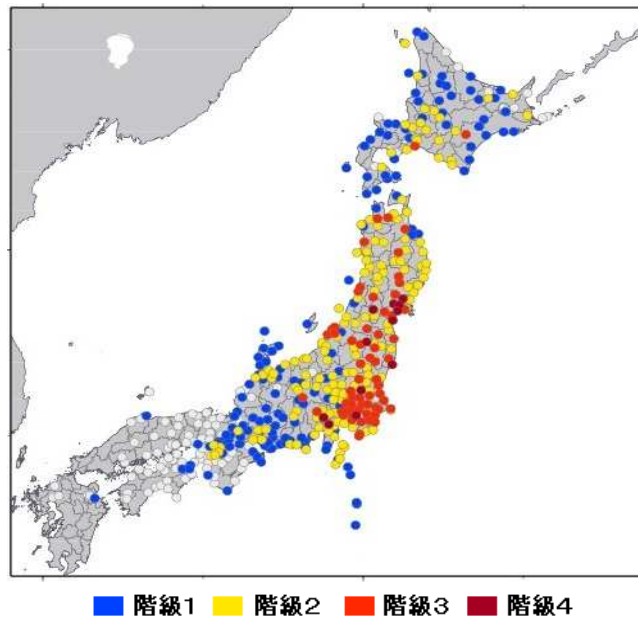


長周期地震動に関する情報のあり方について
(長周期地震動に関する情報検討会平成28年度報告書)

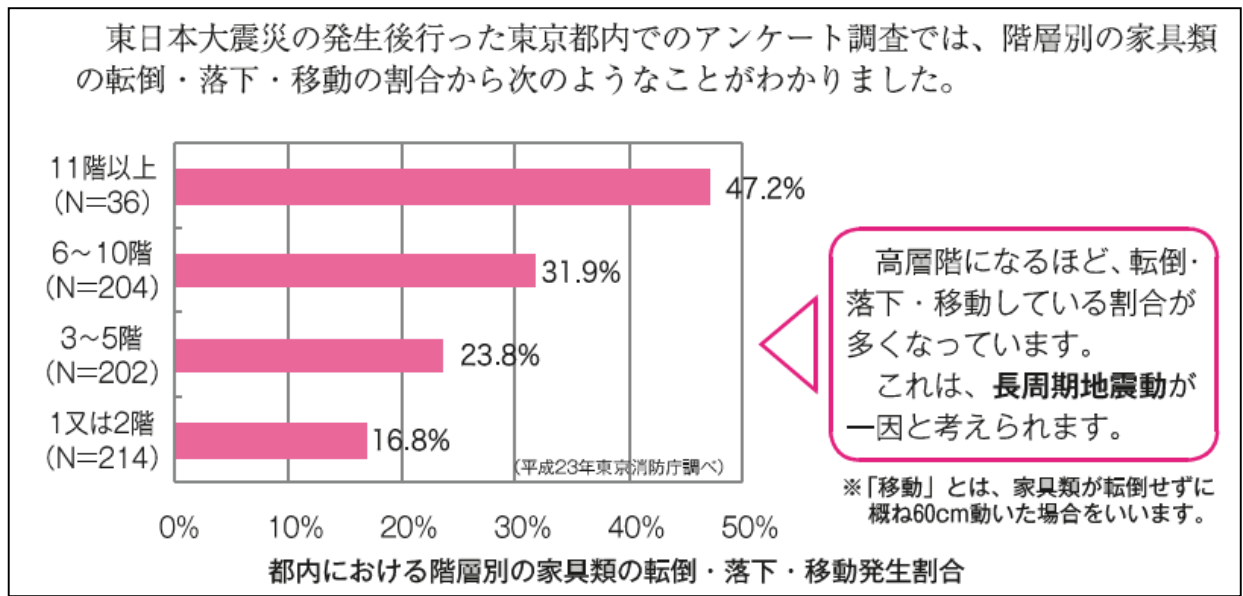
図表集

平成29年3月
長周期地震動に関する情報検討会
気象庁地震火山部

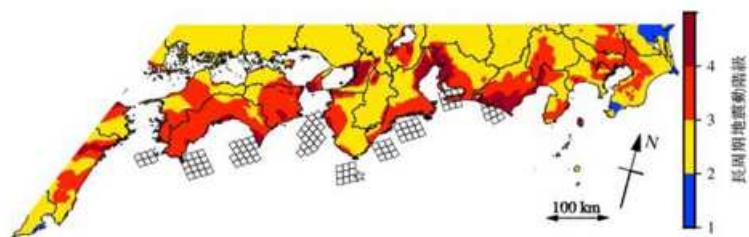
東京で長周期地震動階級3～4の揺れ



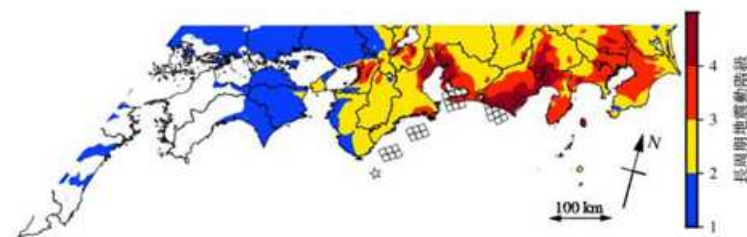
図II-1-1 東北地方太平洋沖地震の長周期地震動階級の分布
(気象庁観測点の地震波形を用いて作成)



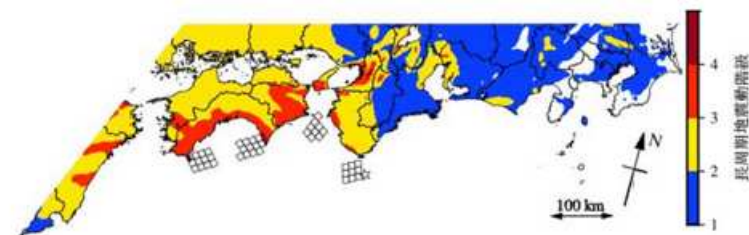
図II-1-2 東北地方太平洋沖地震での東京都内のビルの階層別被害
（東京消防庁「家具類の転倒・落下・移動防止対策ハンドブック」（参考文献[6]）より抜粋）



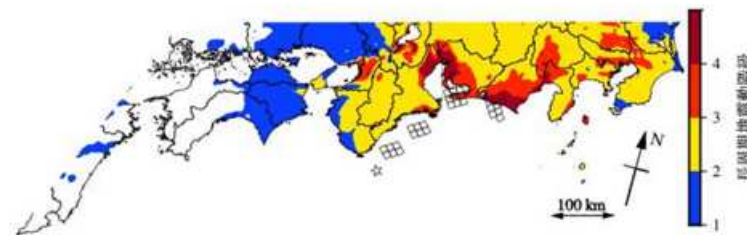
宝永地震



安政東海地震



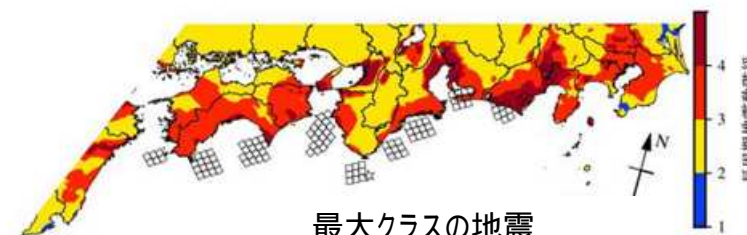
安政南海地震



昭和東南海地震



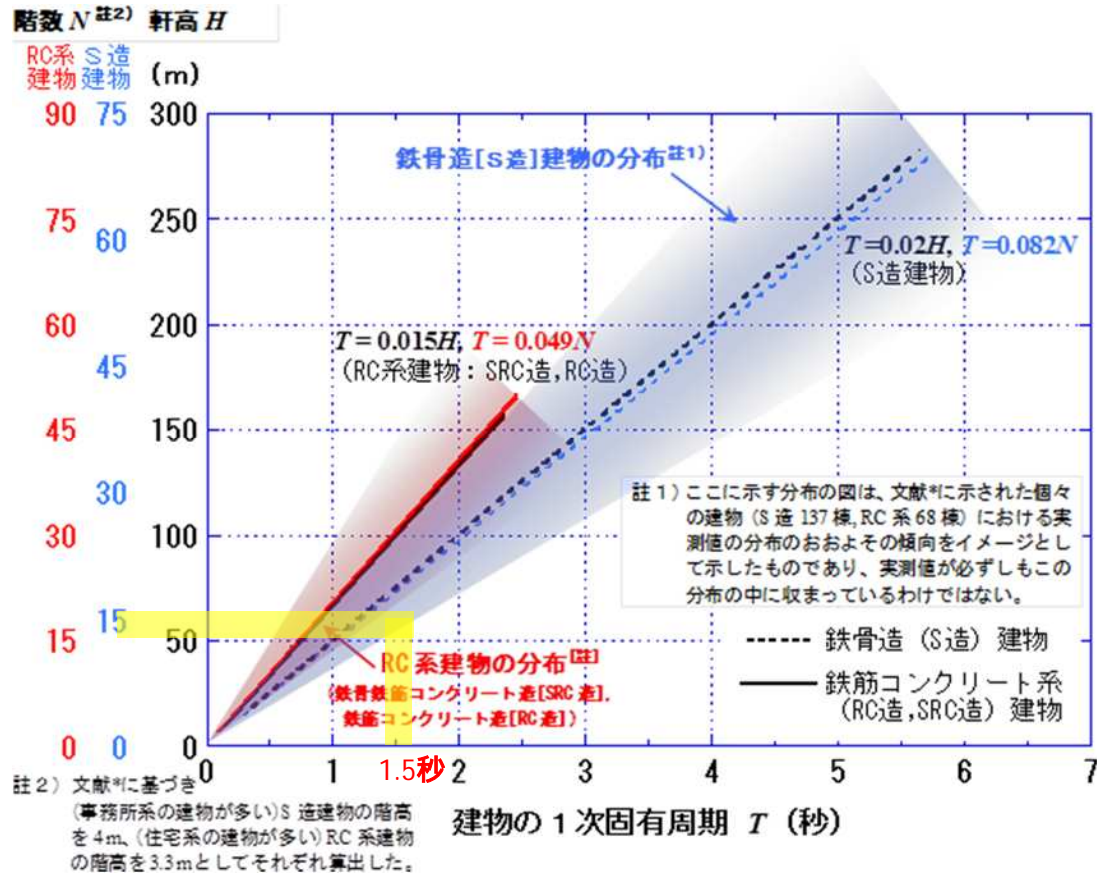
昭和南海地震



最大クラスの地震

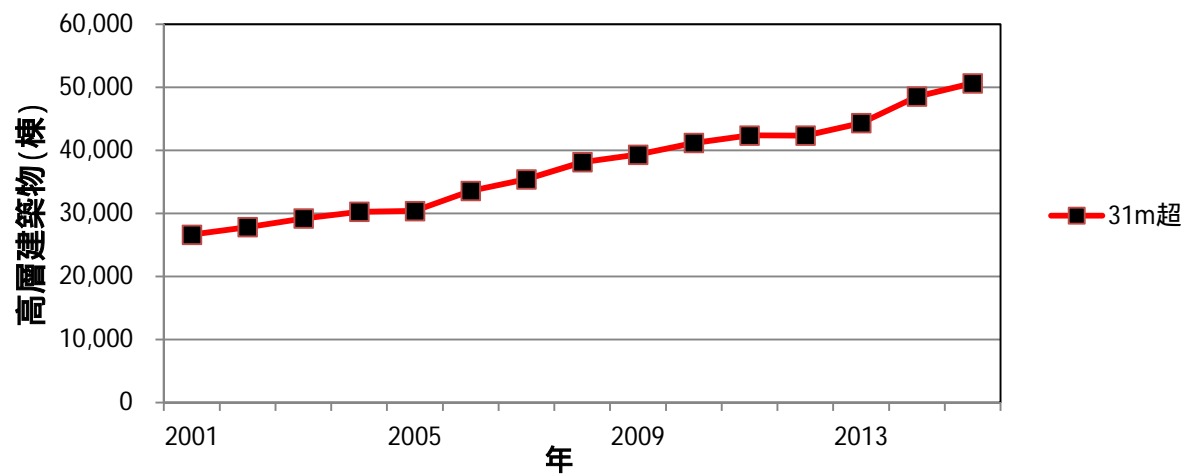
図II-1-3 内閣府「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」の推計結果を「長周期地震動階級」に適用した結果

(内閣府「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」(平成27年12月)(参考文献[3])より抜粋)



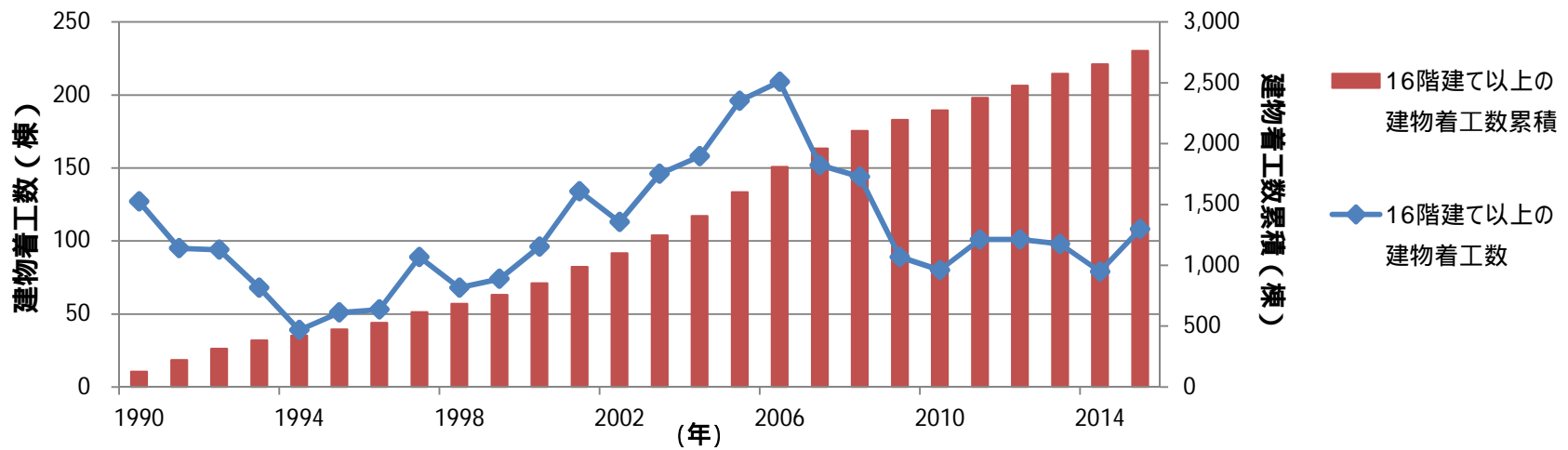
図II-1-4 高層建物の固有周期と建物高さ・階数との関係

(地震調査研究推進本部地震調査委員会「長周期地震動評価2016年試作版-相模トラフ巨大地震の検討-」(参考文献[5])に加筆)



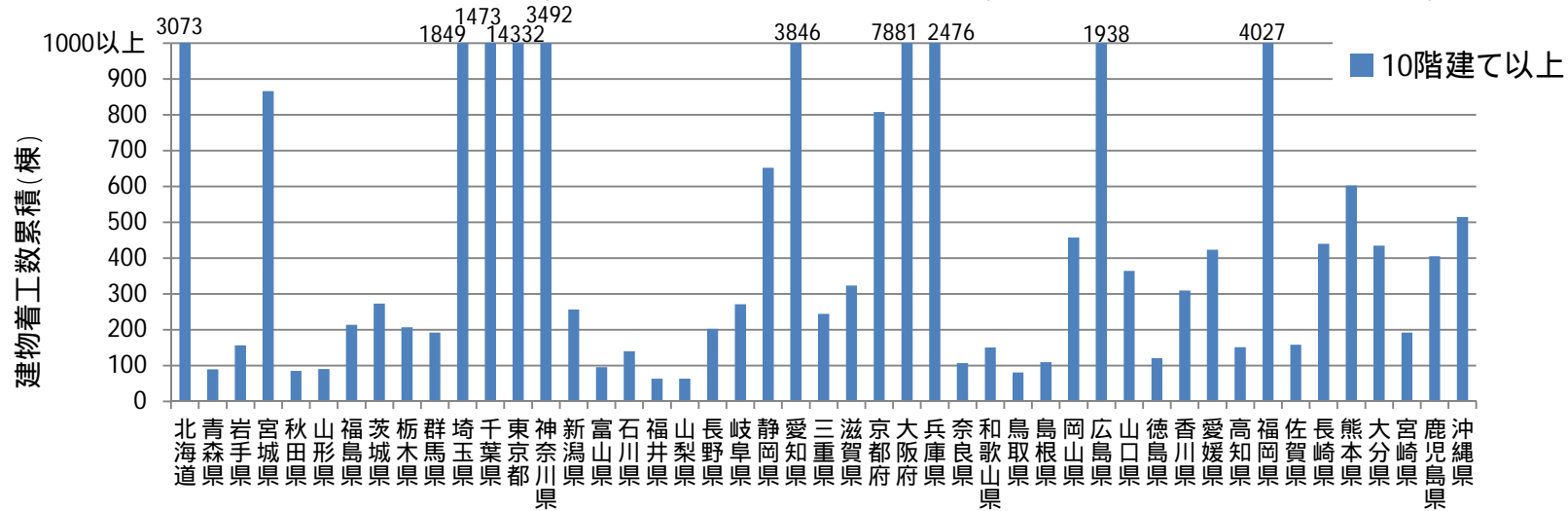
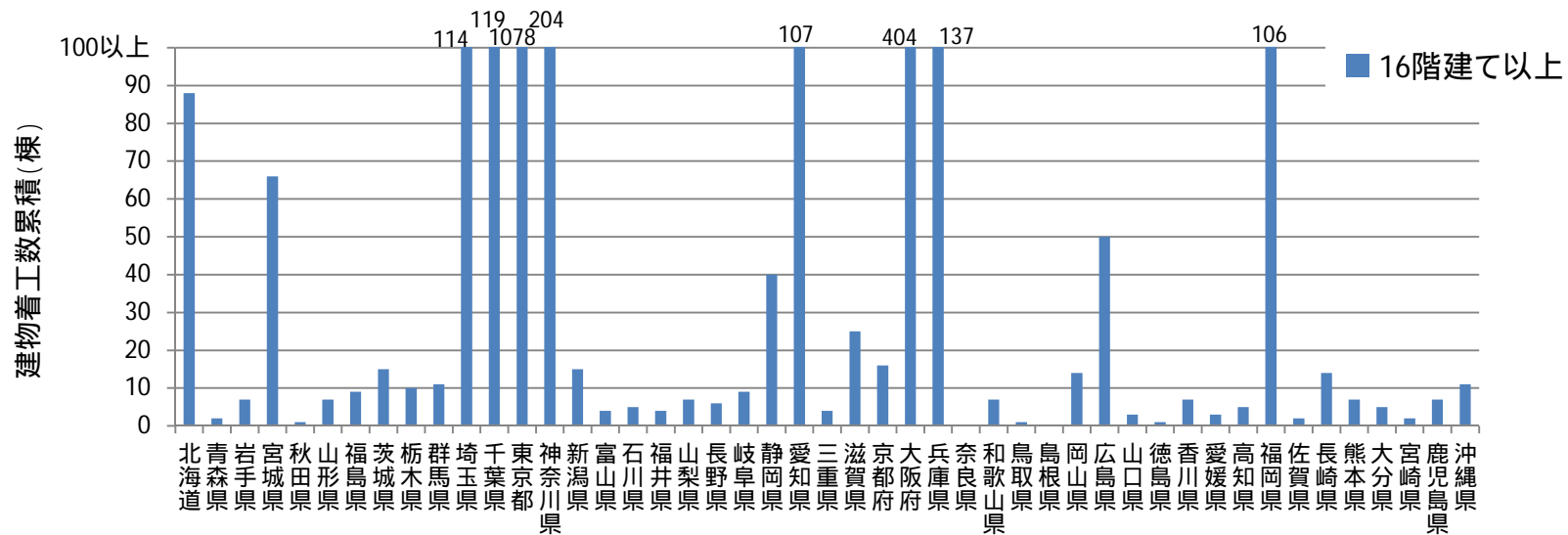
図II-1-5 高層建築物（31m超）棟数の推移

（総務省消防庁「消防白書」（参考文献[10]）より作成）

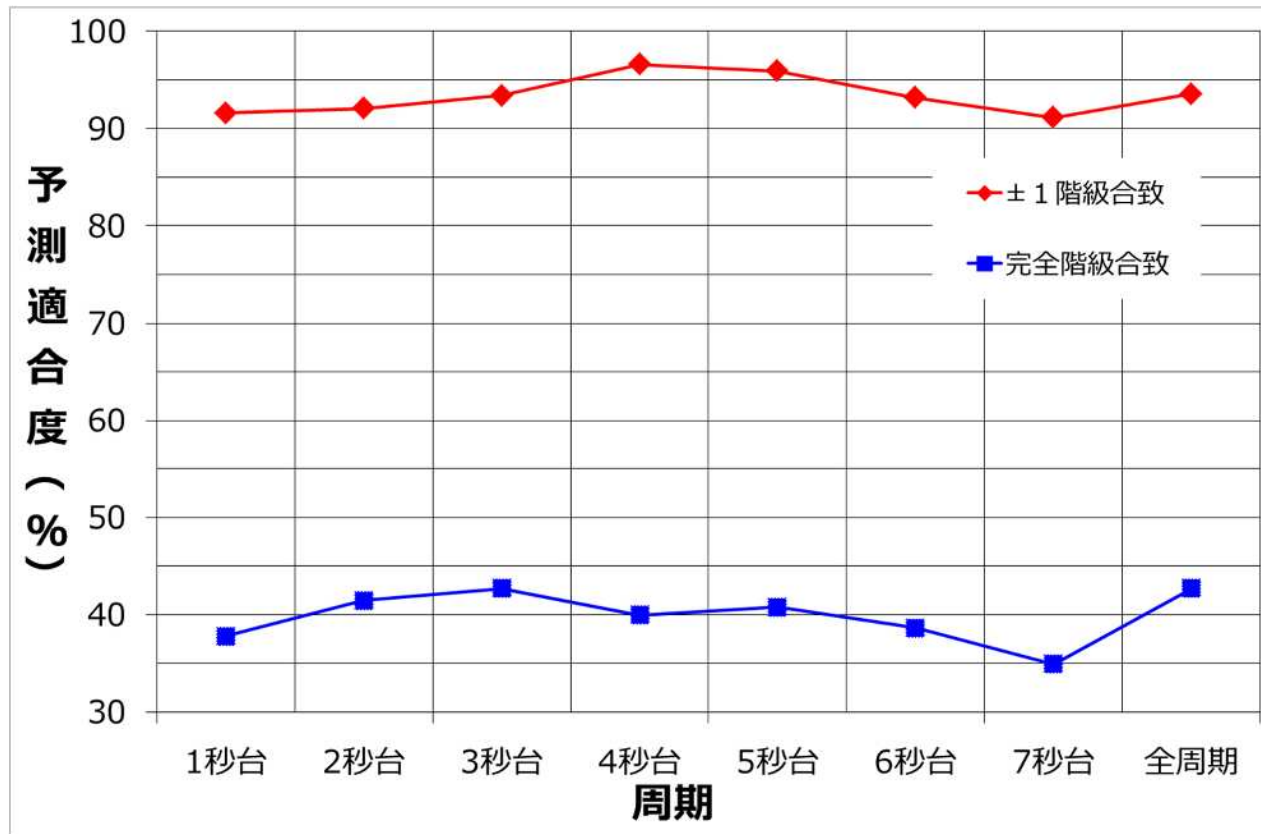


図II-1-6 1990年以降の建築着工数の累積

(国土交通省総合政策局建設経済統計調査室「建築着工統計調査」(参考文献[11])より作成)

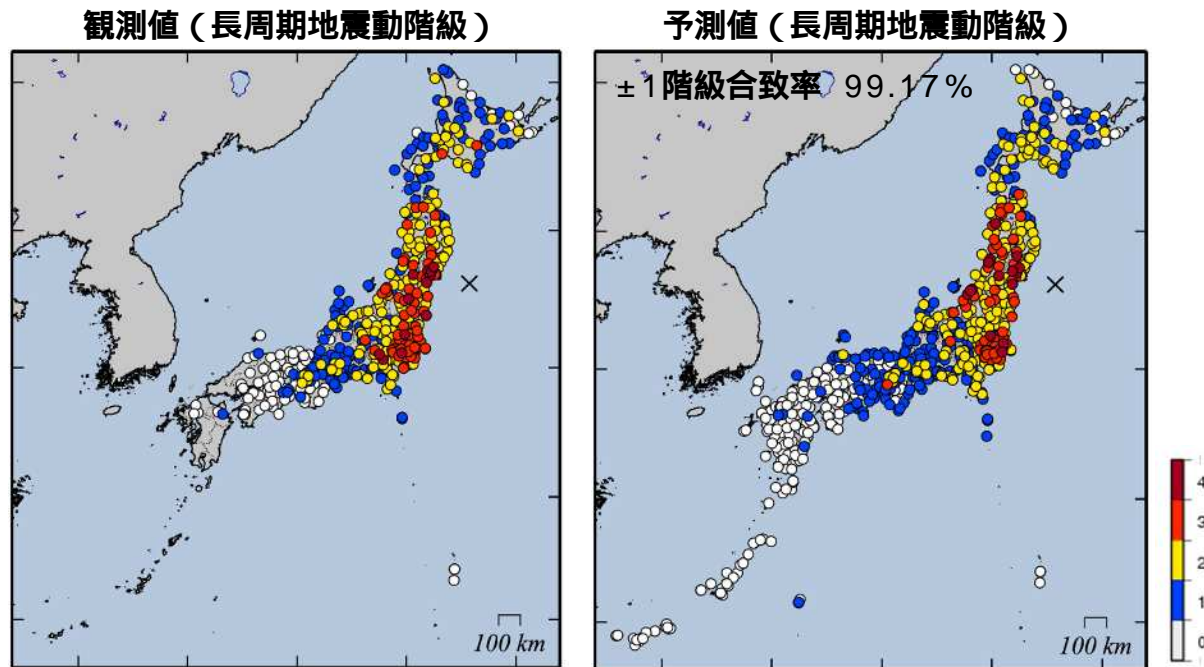


図II-1-7 1990年以降の地域別建築着工数の推移
 (国土交通省総合政策局建設経済統計調査室「建築着工統計調査」(参考文献[11])より作成)



「全周期」は長周期地震動階級（周期1～7秒台の長周期地震動階級データの最大値）を表す。

図II-1-8 1996～2013年のM6.0以上の地震を対象とした予測適合度
 （予測対象は気象庁観測点、ただし東北地方太平洋沖地震はデータ数に占める割合が大きくなるため集計の対象外としている）



各観測点の観測階級と予測階級 (気象庁観測点)

観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	48	45	0	0	0
階級 1	8	103	23	0	0
階級 2	0	14	112	16	0
階級 3	0	0	23	34	6
階級 4	0	0	2	4	6
完全階級合致 :		64.39%	± 1 階級合致 :		99.17%

図II-1-9 東北地方太平洋沖地震 (Mj8.4とした場合)
における長周期地震動階級の予測結果

ヒアリング調査の内容

事業者へ長周期地震動に関するヒアリング調査を実施した。対象は、デベロッパー（管理者含む）、予報事業者等6社、質問内容は、長周期地震動についての認知度、情報への期待度、活用計画等。主な意見を以下に示す。

➤ 長周期地震動に関する認知度について

- ・調査を行った事業者の担当者は、長周期地震動の特徴等について熟知（デベ、予報業務）
- ・企業ユーザーの認知度は分野によって差があり、個人ユーザーの認知度は低い傾向（デベ、予報業務）

➤ 長周期地震動情報への期待について

- ・長周期地震動の予測情報により、エレベーター停止時の早期復旧に期待（デベ、予報業務）
- ・長周期地震動について、独自の取り組みを模索する動きが見られる（デベ、予報業務）
- ・現行システムやエレベーター制御等へ活用していくことを想定（デベ、予報業務）
- ・長い揺れの継続時間や、個別周期毎の情報を提供して欲しい（デベ、予報業務）
- ・長周期の情報は高層階向けであり、低層階の人には邪魔となるのでは（デベ、予報業務）
- ・長周期の情報に対する潜在的なニーズはあると思う（予報業務）

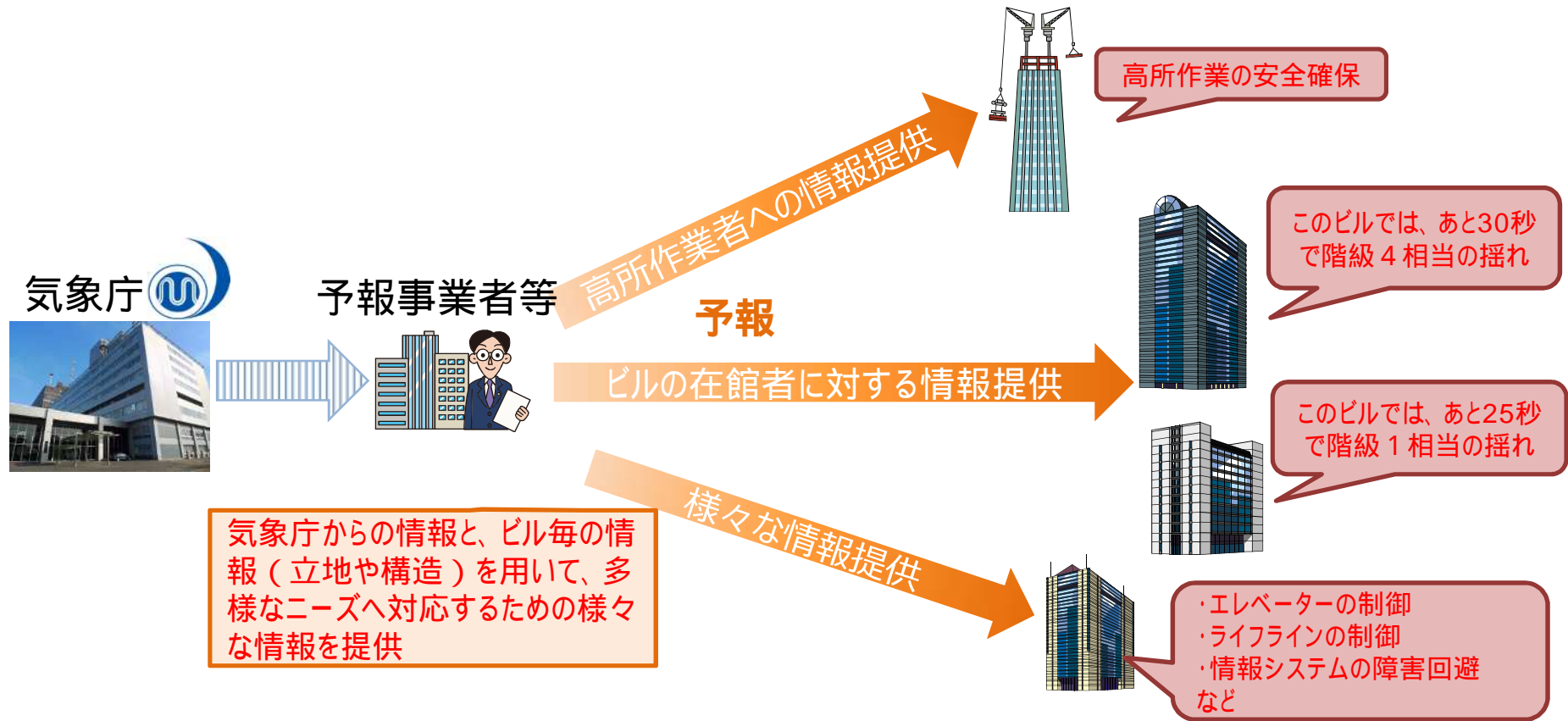
➤ 緊急地震速報と長周期地震動情報との関係について

- ・新たな情報が増えない方が良い。緊急地震速報と長周期地震動情報を分けずに出す方が良い（デベ、予報業務）
- ・国として是非やるべき。電文は分けた方が処理しやすいが、一緒にしても対応可能（予報業務）

➤ 気象庁への期待・要望について

- ・気象庁が長周期の情報を出す意味は大きく、情報を積極的に出していくべき（デベ）
- ・民間事業者の導入に向けて、ガイドラインの整備や検討の場を設けて欲しい（予報業務）
- ・事業者による情報の有効性を保てるようにして欲しい（予報業務）
- ・階級について、数字ではなくもっとわかりやすく伝えられる表現があると良い（予報業務）
- ・長周期とPLUM法によるソフト改修は1度で出来るよう配慮して欲しい（予報業務）

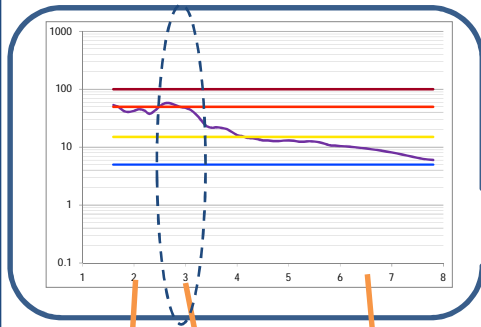
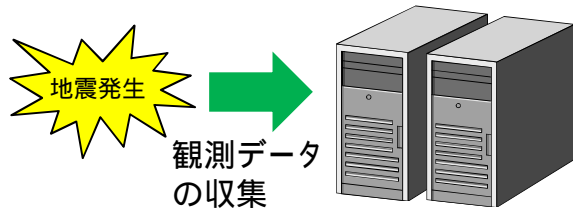
緊急地震速報での実績や、今回実施したヒアリング調査によれば、予報事業者やデベロッパー等において、長周期地震動の予測情報が活用される可能性が高い。



図II-1-11 多様なニーズに対応する予測情報の概念図

気象庁

気象庁は予測地点毎に様々な周期の揺れの大きさを計算し、「警戒・注意を呼びかける予測情報」、「震源情報・揺れの予想」を提供する。



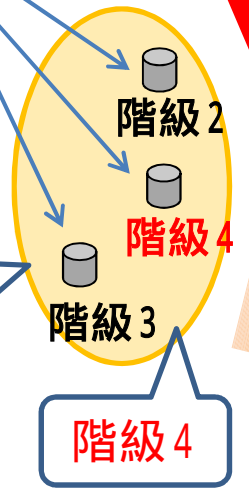
周期2秒で
階級2相当

周期3秒で
階級3相当

周期7秒で
階級1相当

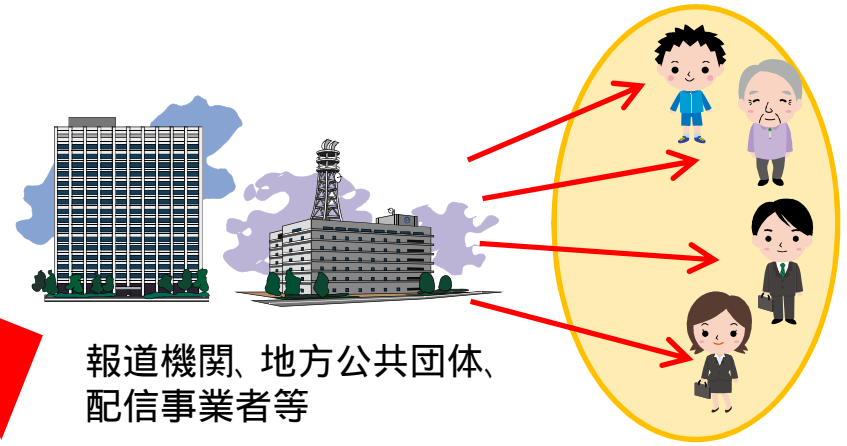
周期ごとに求めた値から最大のものでこの地点の長周期地震動階級を計算する

予報区内の予測のうち最大を予報区全体の階級として扱う



警戒・注意を呼びかける予測情報

警戒・注意を呼びかける予測情報



報道機関、地方公共団体、配信事業者等

大きな揺れが予測される地域全体に警戒・注意を呼びかける。

多様なニーズに対応する予測情報



気象庁からの情報と、ビル毎の情報(立地や構造)を用いて、多様なニーズへ対応するための様々な情報を提供

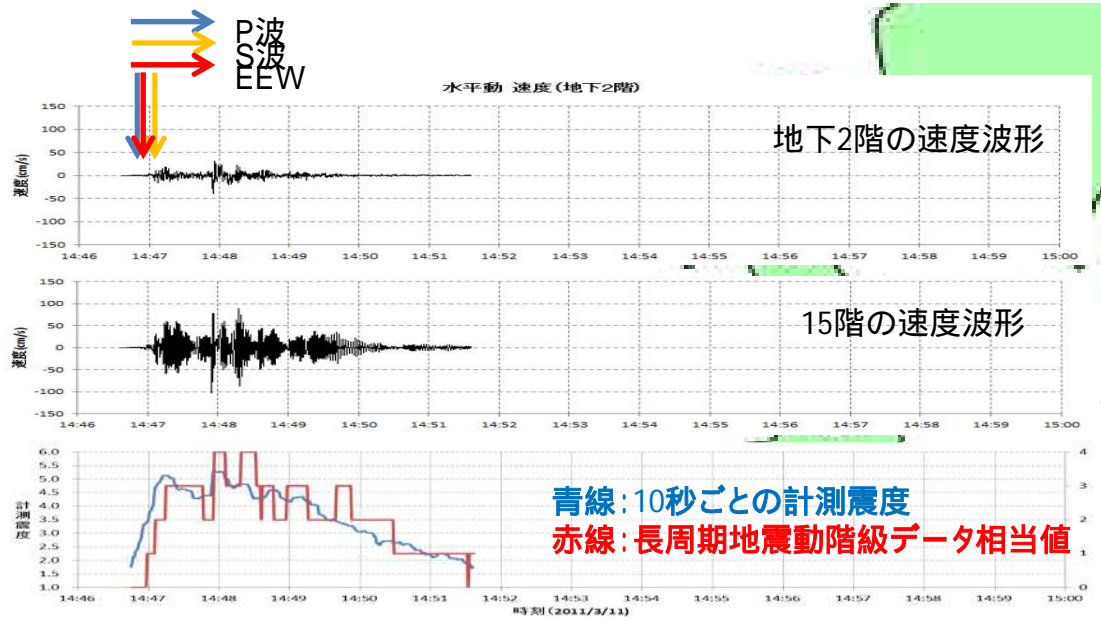
図II-2-1 長周期地震動に関する予測情報のあり方の概念図

前提：地震は巨大地震（東北地方太平洋沖地震時の実際の地震データを使用）、震源から比較的近いところ（仙台）、少し距離があるところ（東京）、距離が離れているところ（大阪）の3地点で高層階と低層建物のそれぞれの場合に、揺れや緊急地震速報（警報）の発表状況を踏まえて、揺れを体験した方へのヒアリング調査の結果や東京消防庁の報告書（参考文献[12]）を参考に作成した対応行動を比較。



- ・対応行動の検討には鹿嶋ほか(2012)(参考文献[15])による仙台(15階と地下2階)、東京(20階と地下1階)、大阪(52階と地上1階)のデータを使用した。
- ・警報となる緊急地震速報が発表された時間は、平成26年2月より導入された新しいマグニチュード決定手法を用いたものであり、実際に発表されたものと異なる
- ・図II-2-3～図II-2-5において、10秒ごとの計測震度は地上付近の記録に基づき算出したものであり、長周期地震動階級データ相当値は、実際の高層階の速度記録の振幅を長周期地震動階級の算出に利用している閾値により区分して表現したものである。

図II-2-2 想定される対応行動を作成する前提



- 14:46:44 P波到達 (揺れ始め)
- 14:46:53 緊急地震速報 (警報) 発表 (揺れ始めから約9秒後)
- 14:47:04 S波到達 (EEW 発表の約11秒後) 震度4
長周期地震動階級1相当
- 14:47:56 (EEW 発表1分後) 揺れ最大 震度5強
長周期地震動階級4相当
- 14:50:29 長周期地震動階級2相当→1相当
- 14:50:46 震度3→2 (震度3以上の継続時間約4分)

EEW : 緊急地震速報 (警報)

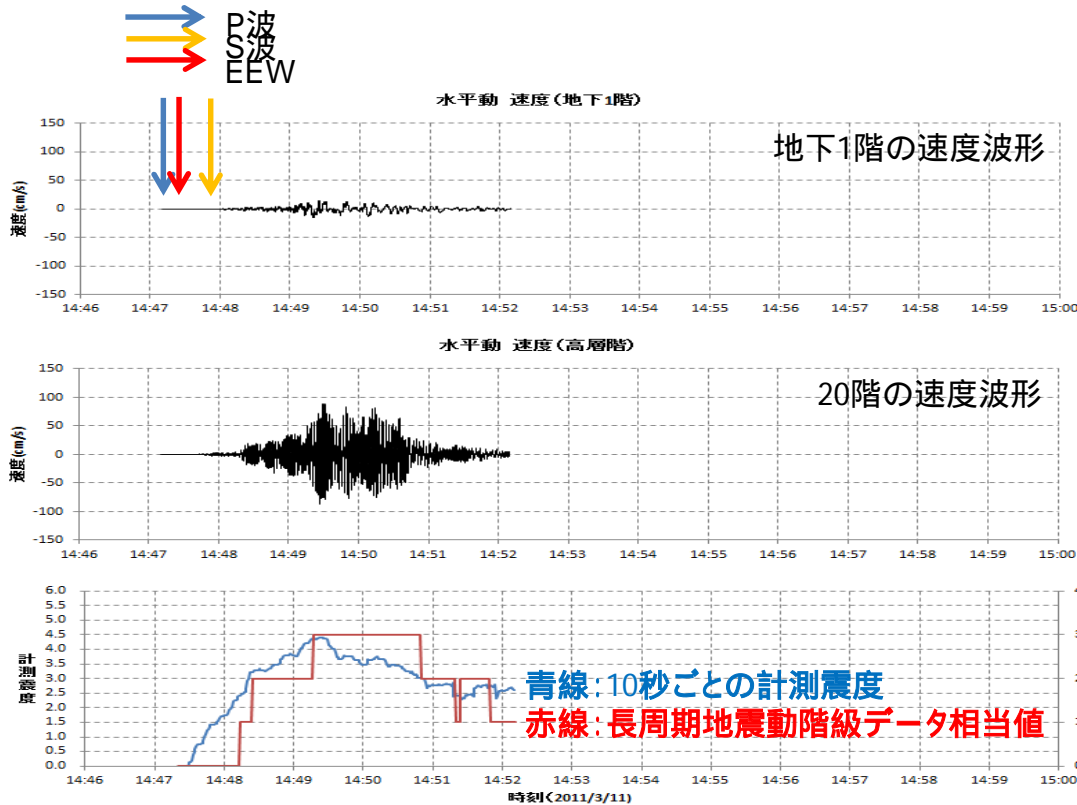
昼食の後片付け中に揺れを感じて、地震かなと思っていたら携帯から緊急地震速報を聞いた。
急いで台所から離れたところで大きな揺れが来た。しゃがみ込んで揺れに耐えた。



仕事中に急に揺れを感じる。
結構揺れてきたと思ったときに携帯から緊急地震速報、ビックリしつつ大きな地震だとわかったので、すぐに机の下に入って揺れに耐えた。

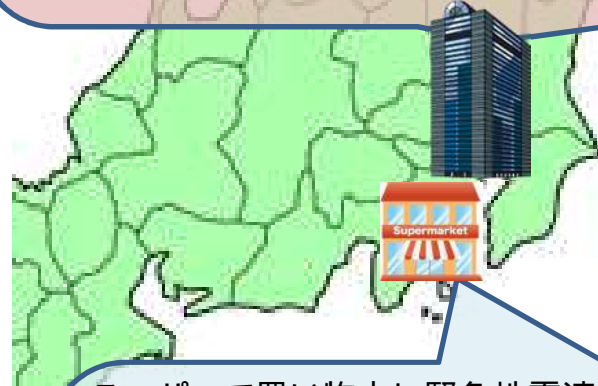
長周期と短周期の揺れがほぼ同時

図II-2-3 東北地方太平洋沖地震の観測結果から想定される対応行動 (仙台)



仕事中に携帯から緊急地震速報、すぐに書棚から離れて周りに危険なものがない打ち合わせスペースへ移動し揺れに備えた。

すぐに揺れ始めた。だんだんと揺れが大きくなり、大きな船に乗っているような感じになる。揺れは収まる気配がなく、どんどん大きくなり悲鳴や泣き声が聞こえる。建物は大丈夫なのかと不安になってきた。



スーパーで買い物中に緊急地震速報を聞いた。

周りでもみんなの携帯が鳴っており、店内は少し騒然としたが、すぐに近くの店員さんが安全な場所を示してくれたので、そこへ移動した。

途中でだんだんと大きく揺れ始めた。初めて経験する大きな揺れにビックリしつつしゃがんで揺れに耐えた。

- 14:47:12 P波到達
- 14:47:27 緊急地震速報(警報)発表(P波到達の約15秒後)
- 14:47:35 震度1(体感での揺れ始め、EEW 発表の約8秒後)
- 14:47:52 S波到達(EEW 発表の約25秒後)
- 震度1 長周期地震動階級1未満相当
- 14:48:17 (EEW 発表の約50秒後)震度2→3 長周期地震動階級1相当
- 14:49:17 (EEW 発表の約2分後)震度4 長周期地震動階級2相当→3相当
- 14:51:18 震度3→2 (震度3以上の継続時間約3分)
- 14:51:50 長周期地震動階級2相当→1相当

EEW: 緊急地震速報(警報)

長周期の揺れは、揺れ始めから時間をかけて大きくなる

図II-2-4 東北地方太平洋沖地震の観測結果から想定される対応行動(東京)

仕事をしているとなんだか少し揺れているように感じた。
 風でも強いのかなと外を見たりしていると揺れはどんどん大きくなり、気持ち悪くなる。

いったい何が起きたのか分からず、床に這いつくばりながらスマホで検索すると東北で大きな地震があったようだ。

東北の地震でこんなに揺れるのか？建物は大丈夫なのか？不安がつる。

テレビを見ていると緊急地震速報が東北地方で出た。かなり大きな地震みたい。

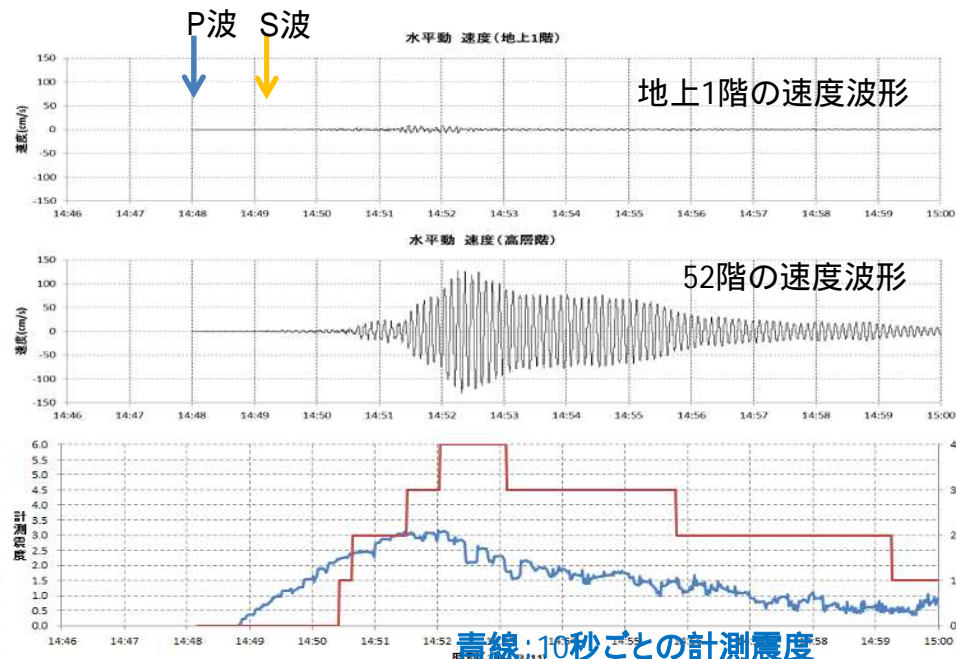
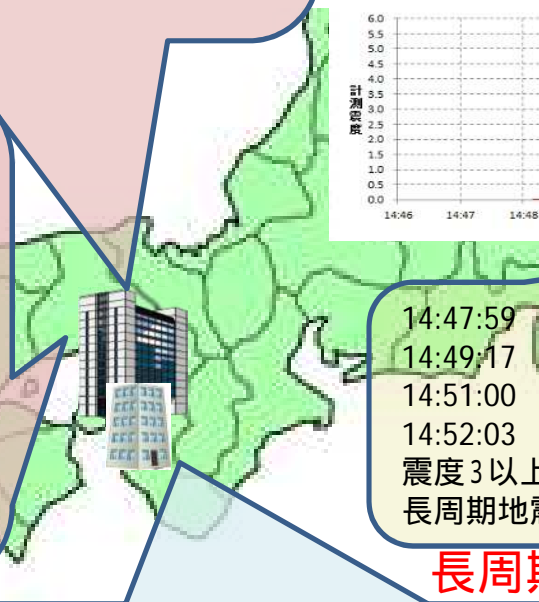
そのうち、東京も揺れていると言い出した。相当大きいんだなと見ていると自分のところも揺れ始めた。

こんなとこまで来るのかと思いながら、揺れに備えた。揺れはどんどん大きくなり、気持ち悪くなってくる。建物は壊れないのだろうかと不安を感じながら這いつくばっている。

机に座って資料を読んでいると地震を感じた。

激しい揺れではないが、結構揺れている。時間も長くなかなか揺れが収まらない。

何が起きたのかとテレビをつけると東北で大変なことが起こっているのが分かった。



青線: 10秒ごとの計測震度
 赤線: 長周期地震動階級データ相当値

- 14:47:59 P波到達
- 14:49:17 S波到達 震度1 長周期地震動階級1未満相当
- 14:51:00 震度3 長周期地震動階級2相当
- 14:52:03 震度3 長周期地震動階級4相当
- 震度3以上の継続時間1分半
- 長周期地震動階級3相当以上の継続時間約4分

長周期の大きな揺れが遅れてやってきた

図II-2-5 東北地方太平洋沖地震の観測結果から想定される対応行動（大阪）

表II-2-1 気象庁観測点において観測された震度と長周期地震動階級の対応（平成12年～平成28年）

対象：平成12年から平成28年までの地震において長周期地震動階級3以上が観測された地震（29地震）

		観測震度								
		1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7
観測長周期 地震動階級	階級1未満	682	1334	540	112	4	1	0	0	0
	階級1	48	245	587	291	36	11	2	0	0
	階級2	0	15	119	216	70	46	16	0	0
	階級3	0	0	0	30	32	33	20	1	0
	階級4	0	0	0	0	5	7	18	8	0

震度2以下は、波形未収集点があり網羅していない場合あり。

（長周期地震動階級は水平動合成より算出）

平成12年～平成25年3月28日14:00

マグニチュード4.0以上かつ最大震度3以上を観測した地震の気象庁観測点のみ対象として集計

なお、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の本震以降の本震当日内の地震は連続的に発生しており対象外としている

平成25年3月28日14:00～平成28年12月31日

長周期地震動に関する観測情報（試行）の掲載内容（原則として、気象庁震度観測点で震度1以上が観測された地点での計算結果を掲載）に基づき集計。

表II-2-2 長周期地震動階級1以上を観測した地震回数（平成12年～平成28年）

長周期地震動階級 1 以上を観測した地震の
最大値別の年別の回数

	階級1	階級2	階級3	階級4	合計
平成12年(2000年)	31	6	1	1	39
平成13年(2001年)	4	5	0	0	9
平成14年(2002年)	6	1	0	0	7
平成15年(2003年)	12	3	0	3	18
平成16年(2004年)	14	8	4	2	28
平成17年(2005年)	8	4	2	0	14
平成18年(2006年)	3	1	0	0	4
平成19年(2007年)	11	2	1	1	15
平成20年(2008年)	6	2	2	1	11
平成21年(2009年)	7	3	0	0	10
平成22年(2010年)	9	1	0	0	10
平成23年(2011年)	54	17	0	4	75
平成24年(2012年)	14	3	1	0	18
平成25年(2013年)	7	6	0	0	13
平成26年(2014年)	8	1	1	0	10
平成27年(2015年)	5	3	1	0	9
平成28年(2016年)	16	5	2	2	25
合計	215	71	15	14	315

（長周期地震動階級は水平動合成より算出）

- 平成12年～平成25年3月28日14:00
マグニチュード4.0以上かつ最大震度3以上を観測した地震の気象庁観測点のみ対象として集計
なお、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の本震以降の本震当日内の地震は連続的に発生しており対象外としている
- 平成25年3月28日14:00～平成28年12月31日
長周期地震動に関する観測情報（試行）の掲載内容（原則として、気象庁震度観測点で震度1以上が観測された地点での計算結果を掲載）に基づき集計。

【最大で長周期地震動階級4を観測した地震(14回)】

- 平成12年（2000年）鳥取県西部地震（M7.3）
- 平成15年5月26日の宮城県沖の地震（M7.1）
- 平成15年7月26日の宮城県北部の地震（M6.4）
- 平成15年（2003年）十勝沖地震（M8.0）
- 平成16年（2004年）新潟県中越地震（M6.8）
- 平成16年10月23日18時34分頃の新潟県中越地方の地震（M6.5）
- 平成19年（2007年）能登半島地震（M6.9）
- 平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震（M7.2）
- 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（M9.0）
- 平成23年4月7日の宮城県沖の地震（M7.2）
- 平成23年4月11日の福島県浜通りの地震（M7.0）
- 平成23年4月12日の福島県中通りの地震（M6.4）
- 平成28年4月15日の熊本県熊本地方の地震（M6.4）
- 平成28年4月16日の熊本県熊本地方の地震（M7.3）

【最大で長周期地震動階級3を観測した地震(15回)】

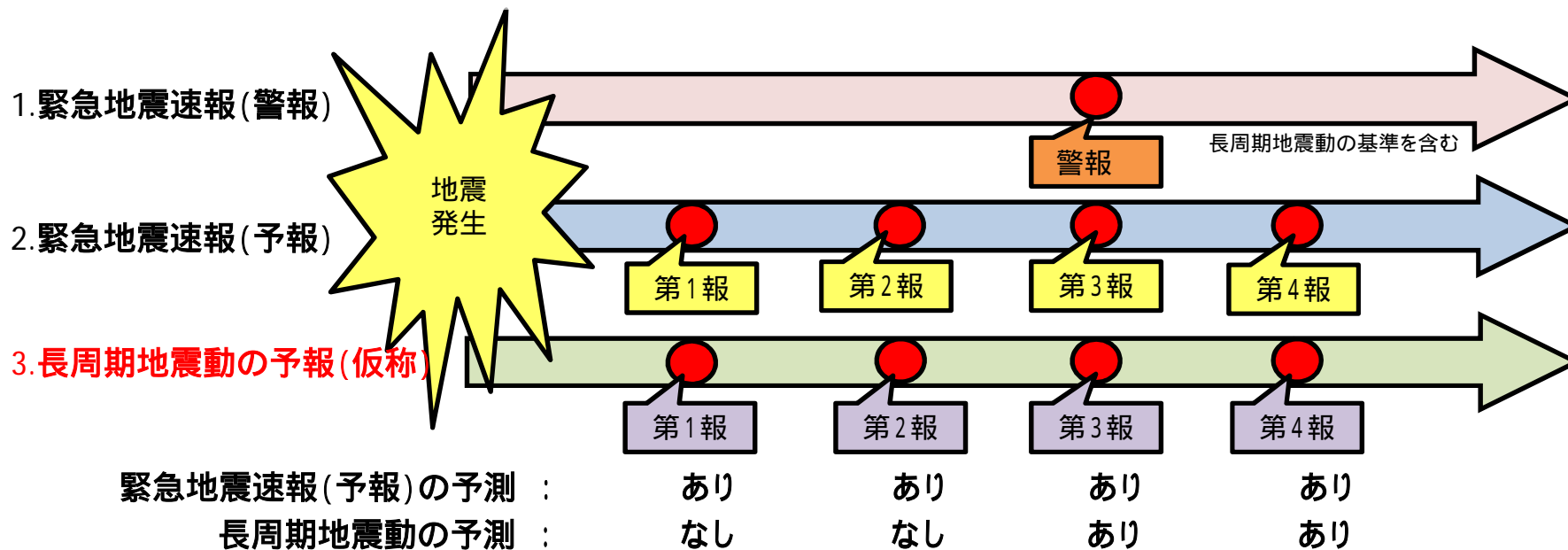
- 平成12年7月30日21時25分頃の三宅島近海の地震（M6.5）
- 平成16年10月23日18時11分頃の新潟県中越地方の地震（M6.0）
- 平成16年10月23日19時45分頃の新潟県中越地方の地震（M5.7）
- 平成16年10月27日の新潟県中越地方の地震（M6.1）
- 平成16年11月29日の釧路沖の地震（M7.1）
- 平成17年3月20日の福岡県西方沖の地震（M7.0）
- 平成17年8月16日の宮城県沖の地震（M7.2）
- 平成19年（2007年）新潟県中越沖地震（M6.8）
- 平成20年7月24日の岩手県沿岸北部の地震（M6.8）
- 平成20年9月11日の十勝沖の地震（M7.1）
- 平成24年3月27日の岩手県沖の地震（M6.6）
- 平成26年11月22日の長野県北部の地震（M6.7）
- 平成27年5月13日の宮城県沖の地震（M6.8）
- 平成28年4月14日の熊本県熊本地方の地震（M6.5）
- 平成28年10月21日の鳥取県中部の地震（M6.6）

表II-2-3 警戒・注意を呼びかける長周期地震動の予測情報の提供方法として考えられる方法の比較検討

		(a) <u>警戒の呼びかけ</u> の明確化の観点	(b) <u>確実な伝達</u> の観点	(c) 地震発生直後の <u>情報過多</u> の観点	(d) 伝達においてシステムの改修等の <u>受け手の負荷・負担</u> の観点	(e) 短周期と長周期の地震動で <u>対応行動に区別が必要な場合</u> の観点
(A)	新たな長周期地震動予報として発表	×	×	×	×	
(B)	新たな長周期地震動警報として発表			×	×	
(C)	<u>緊急地震速報（警報）</u> の発表基準に追加し発表（電文上は区別しない）					×
(D)	<u>緊急地震速報（警報）</u> の発表基準に追加し発表（電文上で区別できるようにする）			×	×	

情報の発表回数と情報の種類の増加の両者を含む

長周期地震動の予報は、従来の緊急地震速報（予報）に、長周期地震動の予測を追記したものを発表することを検討（従来の緊急地震速報（予報）も、引き続き発表を継続）



1. 緊急地震速報（警報）

- ・強い揺れ（震度5弱以上）及び震度4が予想される地域、長周期地震動階級3以上が予想される地域名
警報では、揺れへの警戒が必要なことのみを伝える！！

2. 緊急地震速報（予報）

- ・地震の発生時刻、地震の発生場所（震源）の推定値
- ・地震の規模（マグニチュード）の推定値
- ・予測される最大震度が震度3以下のときは、 - 予測される揺れの大きさの最大（最大予測震度）
- ・予測される最大震度が震度4以上のときは、地域名に加えて
 - 震度4以上と予測される地域の揺れの大きさ（震度）の予測値（予測震度）
 - その地域への大きな揺れ（主要動）の到達時刻の予測値（主要動到達予測時刻）

3. 長周期地震動の予報（仮称）（新たに発表するもの、予報のイメージは図II-2-7を参照）

図II-2-6 緊急地震速報と長周期地震動の予報の関係性

長周期地震動の予報（仮称）（第 報）

日 06時12分58秒頃
宮城県沖 M7.0程度
北緯38.9度 東経142.1度 深さ50km

< 主要動の到達予測 >		長周期地震動階級1以上が 予測される地域を掲載	予測震度は緊急地震速報（予 報）の内容を掲載
岩手県内陸南部	階級4程度	震度5強程度	06時13分19秒頃以降
宮城県北部	階級3程度	震度5強程度	06時13分22秒頃以降
宮城県中部	階級3程度	震度5強程度	06時13分22秒頃以降
岩手県内陸北部	階級3程度	震度4から5弱程度	06時13分29秒頃以降
岩手県沿岸北部	階級3程度	震度4から5弱程度	06時13分18秒頃以降
宮城県南部	階級2程度	震度4程度	06時13分35秒頃以降
青森県三八上北	階級2程度	震度4程度	06時13分43秒頃以降
山形県最上	階級2程度	震度4程度	06時13分34秒頃以降
福島県浜通り	階級2程度	震度4程度	06時13分40秒頃以降
秋田県内陸南部	階級2程度	震度3から4程度	06時13分41秒頃以降
山形県村山	階級2程度	震度3から4程度	06時13分42秒頃以降
福島県中通り	階級1程度	震度3から4程度	06時13分44秒頃以降
山形県庄内	階級1程度	震度2程度	06時13分46秒頃以降
山形県置賜	階級1程度	震度3程度	06時13分47秒頃以降
秋田県沿岸南部	-	震度3から4程度	06時13分44秒頃以降

緊急地震速報（予報）に掲載されている地域については、予測階級が1未満でも掲載（予測階級1未満は“-”と記載）

予測震度が3以下の地域でも、予測階級が1以上であれば掲載

< 主要動が既に到達したと思われる地域 >

岩手県沿岸南部 階級4程度 震度5強程度

< 警報対象の地域 >

岩手県内陸南部 宮城県北部 宮城県中部 岩手県沿岸南部 岩手県内陸北部
岩手県沿岸北部 宮城県南部 青森県三八上北 山形県最上 福島県浜通り 秋田県内陸南部
山形県村山 秋田県沿岸南部 福島県中通り

緊急地震速報（警報）が発表されている場合

強い揺れに警戒してください。

図II-2-7 気象庁が提供する長周期地震動の予報のイメージ

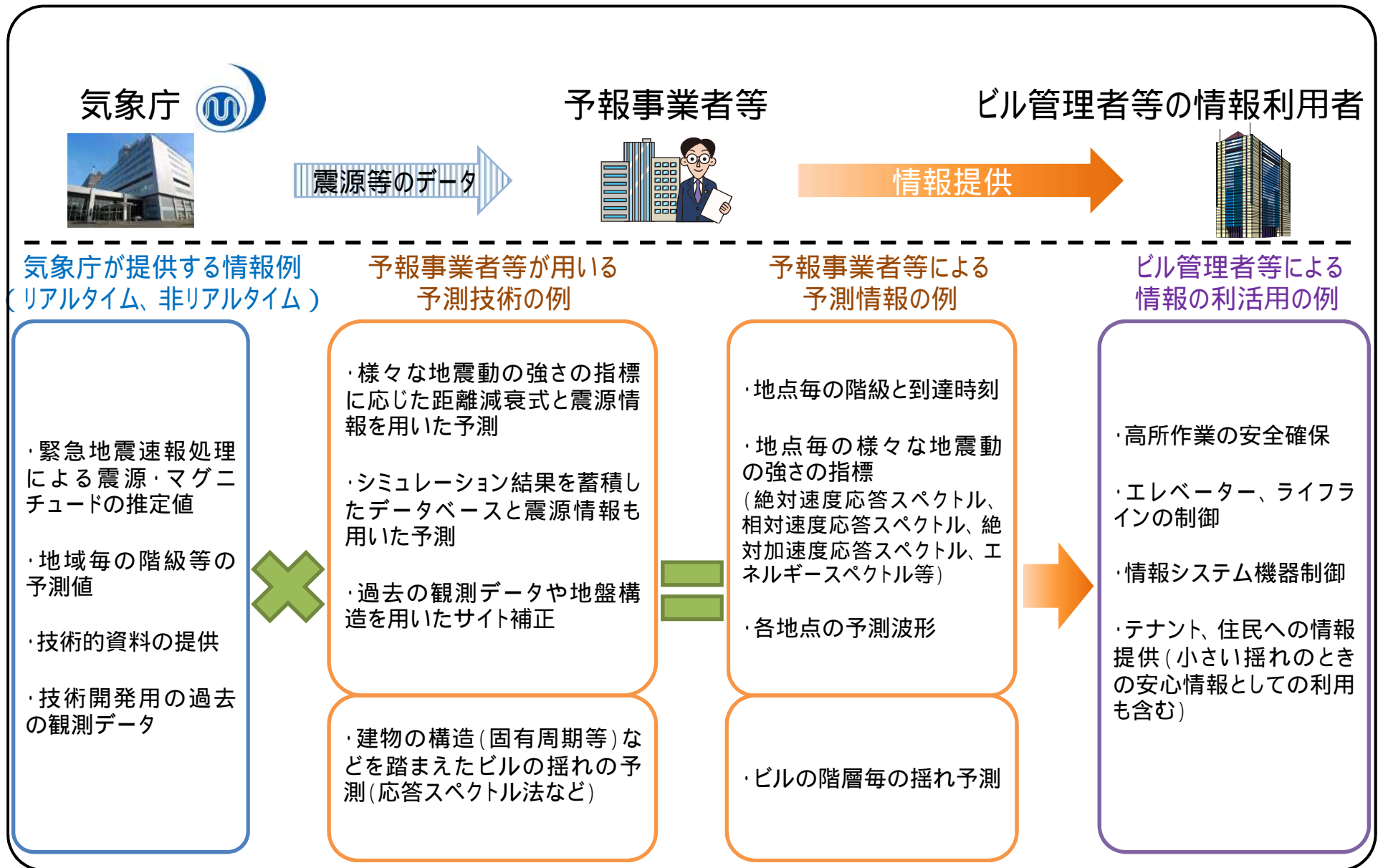


図11-2-8 多様なニーズに対応する予測技術や情報利活用のイメージ

【留意事項】
この情報の掲載は、当面の間、試行的に実施しています。
試行の間は、事前の予告なく、掲載基準や掲載内容、レイアウト等を変更することがあるほか、
場合によっては情報が掲載できないこともありますので、ご利用にあたってはご注意ください。
平成26年11月27日に、掲載内容の改善を行っています。詳しくは以下のお知らせページをご覧ください。
このページに関するお知らせ

長周期地震動に関する観測情報(試行)
2014年11月22日 22時08分ころ地震がありました。
震源地は、長野県北部(北緯36.7度、東経137.9度)で、震源の深さは約10km、地震の規模(マグニチュード)は約5.0と推定されています。

【長周期地震動階級1以上が観測された地域】
長周期地震動階級3 長野県北部
長周期地震動階級2 新潟県下越 新潟県中越 新潟県上越 富山県東部
長周期地震動階級1 埼玉県北部 群馬県北部 茨城県南部 千葉県西北部
東京都多摩東部 富山県西部 石川県能登 石川県能登半島 愛知県西部

長周期地震動階級1以上が観測された地域

長周期地震動階級の分布図

長周期地震動階級の凡例: 階級1 (青), 階級2 (黄), 階級3 (赤), 階級4 (黒)

各観測点の地動(計測震度、加速度、速度、変位)最大値csvファイル
各観測点の加速度ファイル

加速度波形の数値データのダウンロード(階級1以上の地震のみ)

観測情報(試行)

震度情報での震度: 5強, 3

長周期地震動階級データの周期帯別の最大値

観測点毎のページ

減衰定数 5.0%
減衰定数0.5%・2%・5%・20%で切り替え可

絶対速度応答スペクトル

【絶対速度応答スペクトル】 減衰定数 5.0%
【加速度波形】

減衰定数 5.0%
減衰定数0.5%・2%・5%・20%で切り替え可

絶対加速度応答スペクトル

【絶対加速度応答スペクトル】 減衰定数 5.0%
【速度波形】

絶対速度・変位の最大値

応答スペクトルの数値データのダウンロード

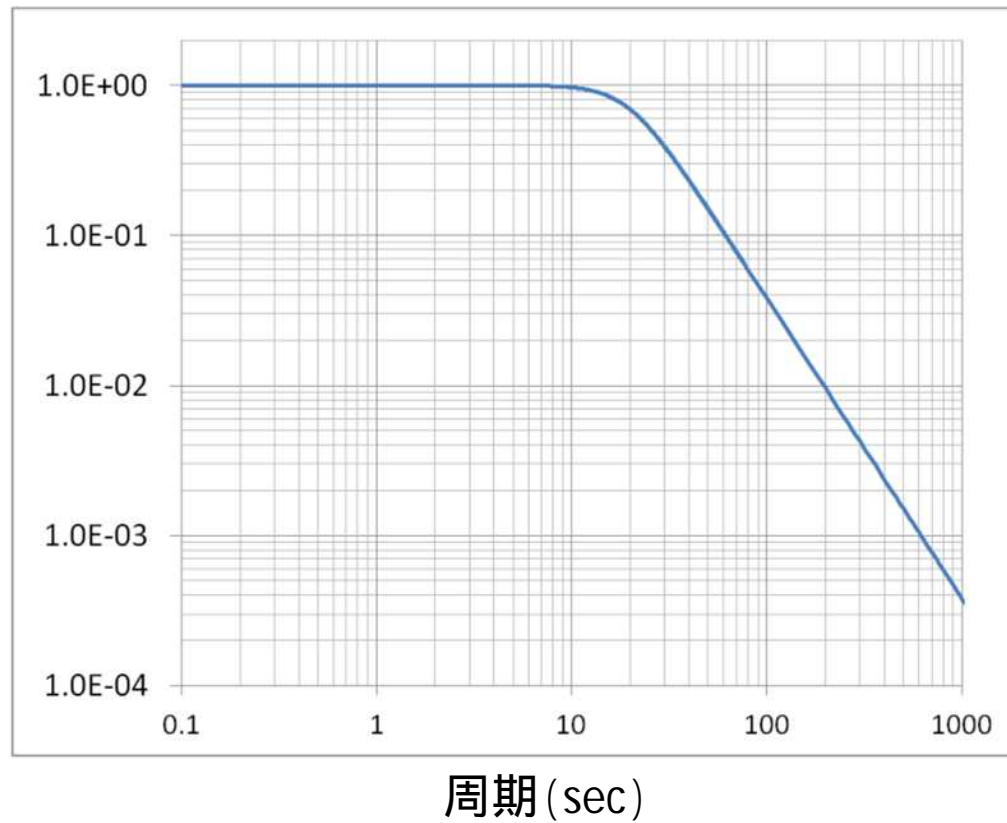
【地動最大値】	加速度NS	加速度EW	加速度UD	3成分合成加速度	速度NS	速度EW	速度UD	3成分合成速度	変位NS	変位EW	変位UD	3成分合成変位
	271.816	166.442	147.160	302.816	24.094	21.219	10.781	28.314	5.291	4.336	3.109	6.132

絶対加速度応答スペクトルcsvファイル
絶対速度応答スペクトルcsvファイル

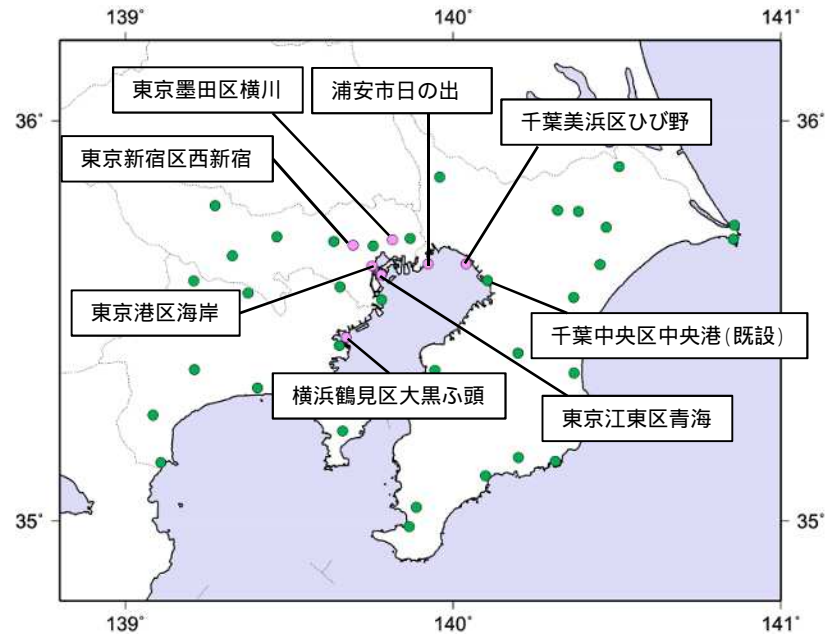
図III-1-1 気象庁ホームページで提供している長周期地震動に関する観測情報(試行)

表III-1-1 平成25年3月～平成28年12月に
長周期地震動階級1以上を観測した地震の月別回数

年 \ 月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
平成25年 (2013年)			1	4	1	0	0	1	1	1	1	1	11
平成26年 (2014年)	0	1	1	0	1	1	3	0	1	1	1	0	10
平成27年 (2015年)	0	3	0	1	2	0	2	0	0	0	1	0	9
平成28年 (2016年)	1	0	0	13	1	1	0	2	0	2	4	1	25



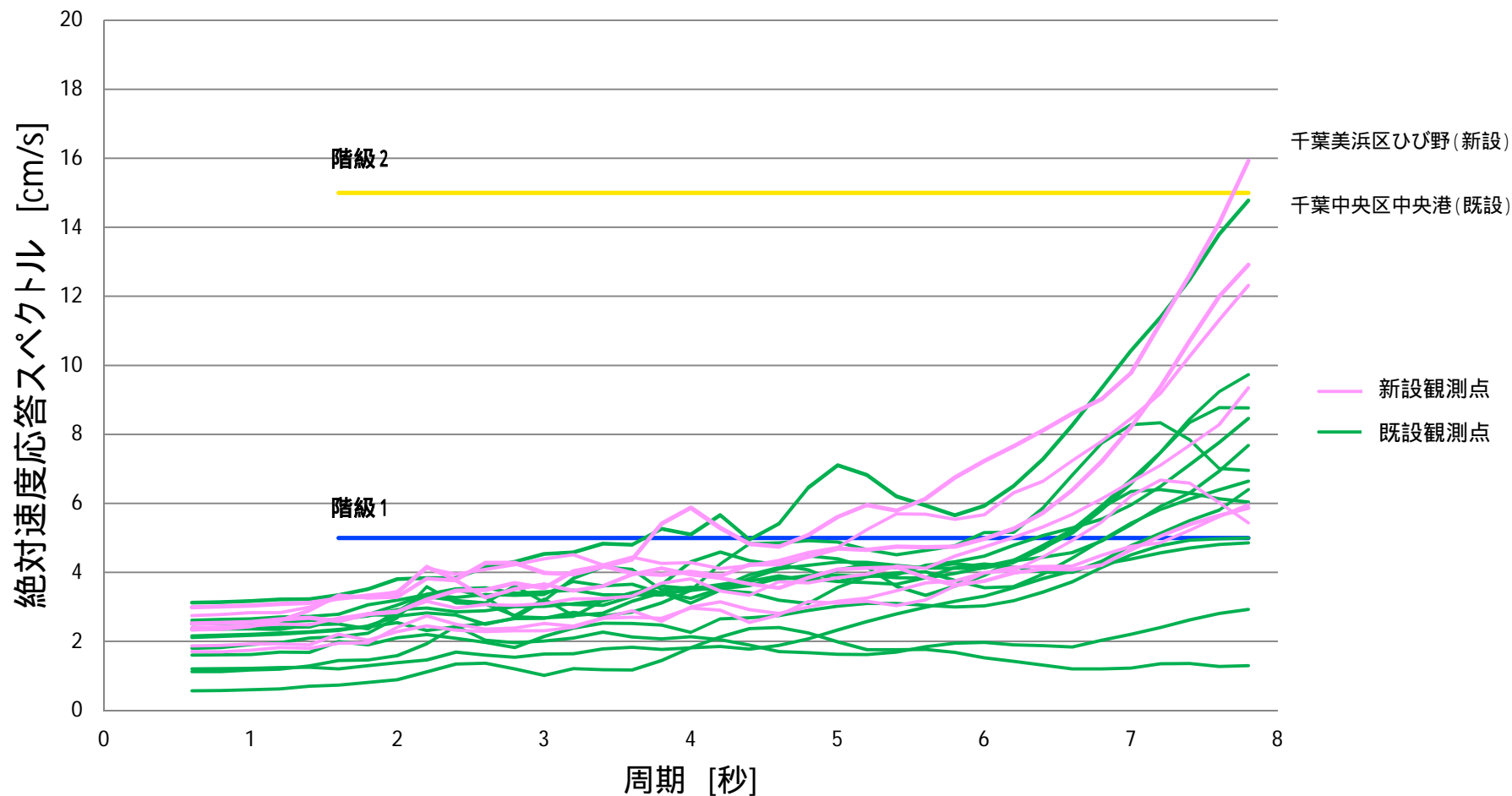
図III-1-2 絶対速度応答時刻歴の計算に用いるハイパスフィルター
(周期20秒、2次)の周波数応答



図III-1-3 千葉県、東京都、神奈川県観測点配置図

平成26年11月に運用開始した新設観測点（7箇所）についてはピンク、
気象庁の既設観測点については緑色で表示している。

絶対速度応答スペクトル 水平動合成 減衰率5%



図III-1-4 平成28年（2016年）熊本地震（4月16日01時25分M7.3）で観測された千葉県、東京都、神奈川県観測点の絶対速度応答スペクトル
 ピンクが新設観測点、緑が既設観測点

表III-1-2 新設観測点の運用開始（平成26年11月）以降千葉県、東京都、神奈川県の新設観測点で長周期地震動階級1以上を観測した地震と最大の長周期地震動階級を観測した地点

発生日時	震央地名	M	3都県の最大の長周期地震動階級	3都県で最大の長周期地震動階級を観測した観測点名
2015年5月30日 20時23分	小笠原諸島西方沖	8.1	階級2	柏市旭町
				東京国際空港
				横浜鶴見区大黒ふ頭
2016年4月16日 01時25分	熊本県熊本地方	7.3	階級2	千葉美浜区ひび野
2016年5月16日 21時23分	茨城県南部	5.5	階級2	横浜鶴見区大黒ふ頭
2016年10月20日 11時49分	千葉県北東部	5.3	階級1	香取市佐原平田
2016年11月22日 05時59分	福島県沖	7.4	階級2	千葉美浜区ひび野
				横浜鶴見区大黒ふ頭
				浦安市日の出 その他、既設観測点7点
2016年12月28日 21時38分	茨城県北部	6.3	階級1	浦安市日の出
				その他、既設観測点21点

太字は新設観測点を表す

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

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

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

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

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

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A-1 長周期地震動の予測技術として考えられるもの

(出典：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(参考文献[16]))

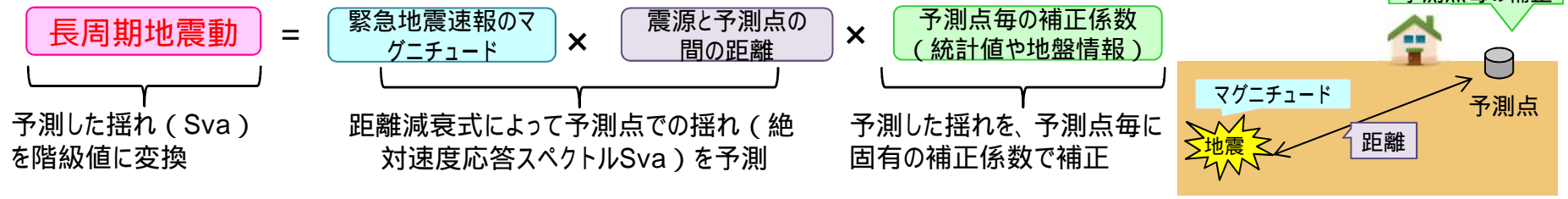
表A-1 長周期地震動の予測手法のメリット及びデメリット

(出典：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(参考文献[16]))

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を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い
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を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。 ・伝播経路の影響が同じという仮定が必要

どのように長周期地震動を予測するか？

緊急地震速報で推定したマグニチュードと、震源位置と予測対象地点間の距離から、距離減衰式 や予測対象地点毎の補正係数を用いて、長周期地震動階級を予測する。



図A-2 距離減衰式による長周期地震動の予測

気象庁が用いる予測手法について

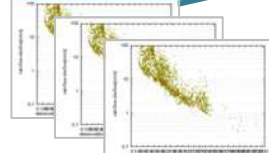
Dhakai et al.(2015)による絶対速度応答スペクトルの距離減衰式を使用

$$\log_{10} Sva(T) = c(T) + a(T)M_j - \log_{10} R - b(T)R + \text{siteFactor}(T)$$

絶対速度応答値
定数c
係数a
マグニチュード
震源距離
係数b
予測点毎の補正係数

(T) は周期毎であることを示す

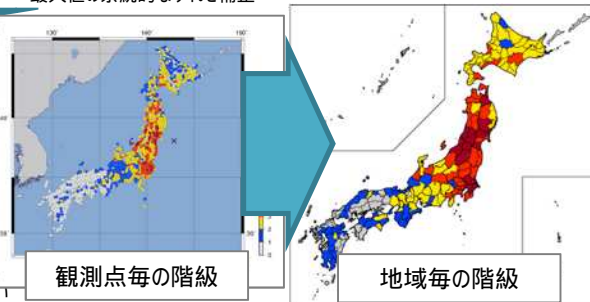
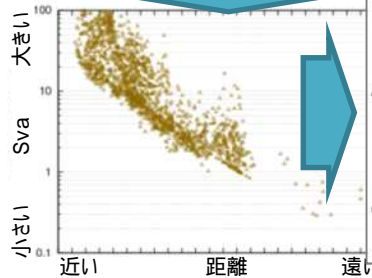
緊急地震速報の震源を用いて計算



周期毎に計算
(1.6~7.8秒 0.2秒毎)

全周期での最大値

最大値の系統的なずれを補正



階級の閾値

階級1	$5\text{cm/s} \leq Sva < 15\text{cm/s}$
階級2	$15\text{cm/s} \leq Sva < 50\text{cm/s}$
階級3	$50\text{cm/s} \leq Sva < 100\text{cm/s}$
階級4	$100\text{cm/s} \leq Sva$

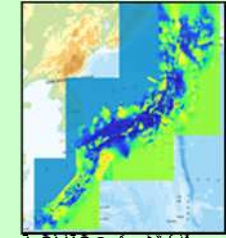
補正係数は以下のどちらかを使用

観測記録による補正係数
各観測点の実際の観測値から統計的に得られた補正係数。

地盤情報による補正係数
J-SHIS深部地盤構造モデルのS波速度1.4km/s上面深さとAVS30から算出する補正係数。

(がない場合は を使用する)(<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>)

深部地盤構造モデル
S波速度1.4km/s上面深さ



図A-3 気象庁が長周期地震動階級を予測する手法

長周期地震動階級および周期ごとの長周期地震動階級データの予測値と観測値を比較して、 ± 1 階級合致と完全階級合致の二通りで予測適合度を算出する

± 1 階級合致

階級2以上を観測もしくは予測した場合に、観測と予測の階級差が ± 1 以内になる割合を予測適合度とする。

	予測階級0	予測階級1	予測階級2	予測階級3	予測階級4
観測階級0	検証対象外			過大評価	
観測階級1					
観測階級2			合致		
観測階級3	過小評価				
観測階級4					

完全階級合致

階級1以上を観測もしくは予測した場合に、観測と予測の階級差が完全に合致する割合を予測適合度とする。

	予測階級0	予測階級1	予測階級2	予測階級3	予測階級4
観測階級0	対象外			過大評価	
観測階級1					
観測階級2			合致		
観測階級3	過小評価				
観測階級4					

図A-4 予測適合度の考え方

予測適合度（予測と観測の比較）

観測点単位（観測点数：11046）

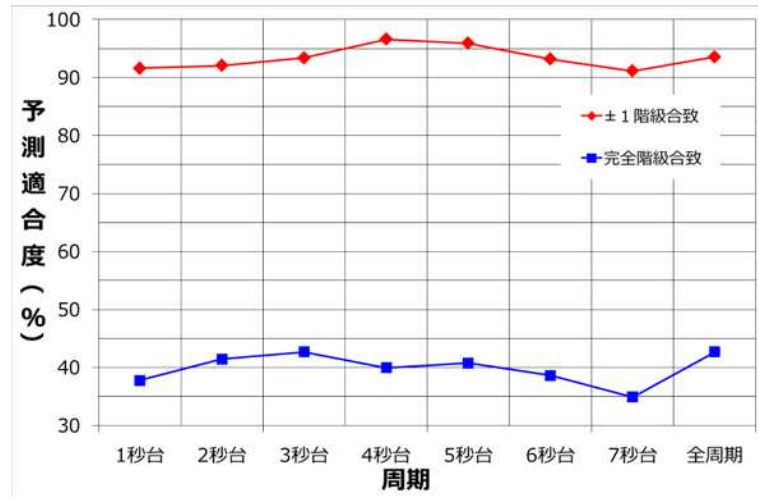
観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	8064	643	8	0	0
階級 1	635	1069	129	2	0
階級 2	18	214	183	15	3
階級 3	0	4	22	14	1
階級 4	0	0	6	9	7
完全階級合致：		42.69%	±1階級合致：		93.54%

予報区単位（予報区数：4585）

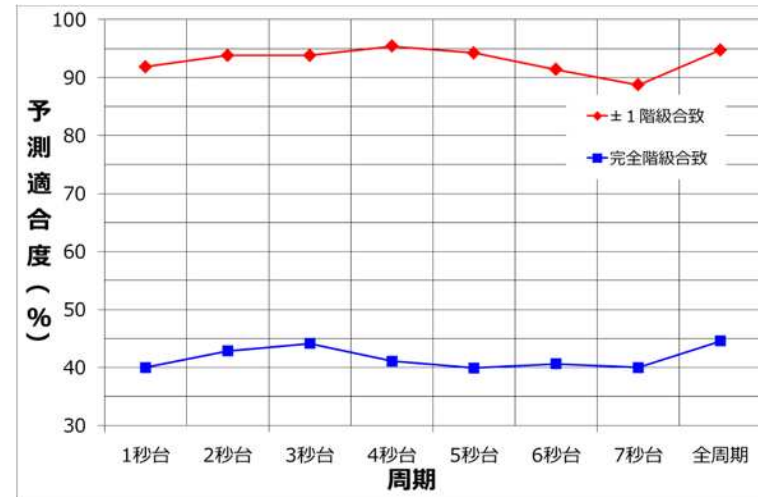
観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	3082	278	2	0	0
階級 1	306	536	60	1	0
階級 2	10	139	117	9	1
階級 3	0	3	16	10	0
階級 4	0	0	3	5	7
完全階級合致：		44.58%	±1階級合致：		94.78%

周期別の予測適合度

観測点単位



予報区単位

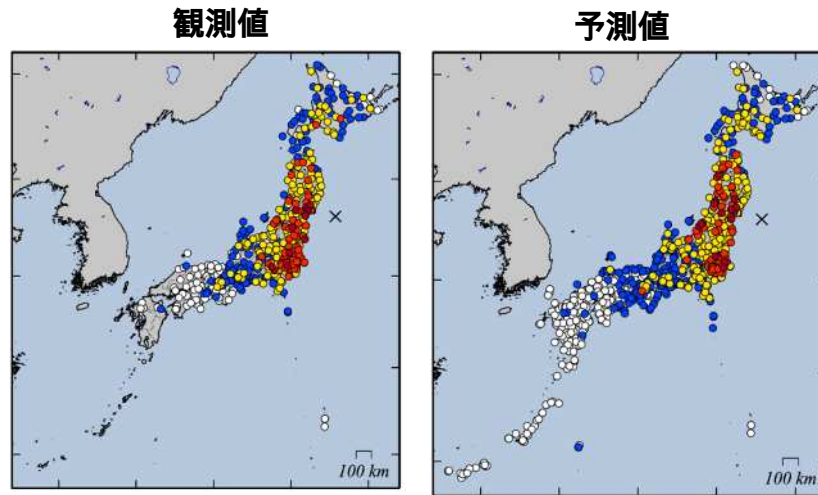


「全周期」は長周期地震動階級（周期1～7秒台の長周期地震動階級データの最大値）を表す。

図A-5 1996～2013年のM6.0以上の地震を対象とした予測適合度

（予測対象は気象庁観測点、ただし東北地方太平洋沖地震はデータ数に占める割合が大きくなるため集計の対象外としている）

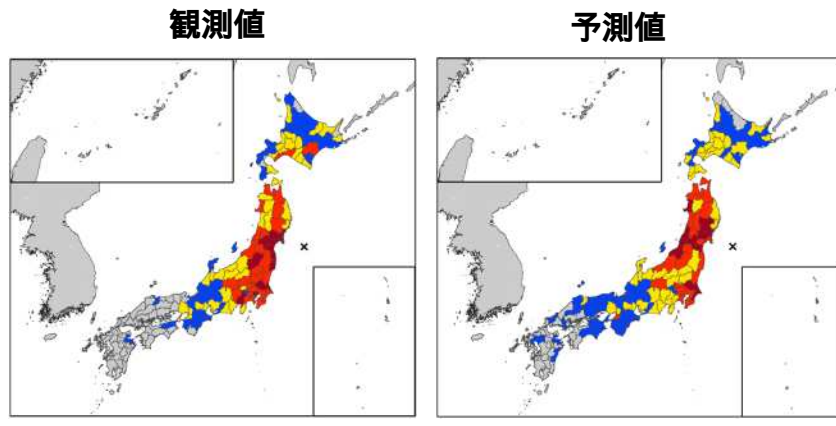
観測点単位



各観測点の観測階級と予測階級（気象庁観測点）

観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4	
階級 0	48	45	0	0	0	
階級 1	8	103	23	0	0	
階級 2	0	14	112	16	0	
階級 3	0	0	23	34	6	
階級 4	0	0	2	4	6	
完全階級合致：		64.39%		± 1 階級合致：		99.17%

予報区単位



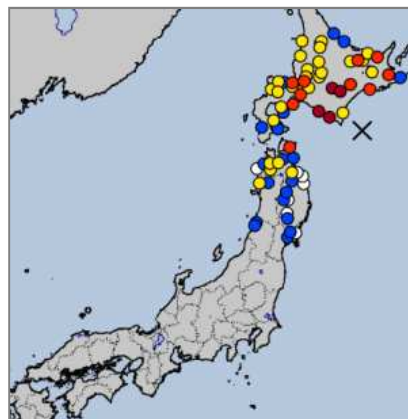
各観測点の観測階級と予測階級（気象庁観測点）

観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4	
階級 0	12	18	0	0	0	
階級 1	1	29	6	0	0	
階級 2	0	4	33	7	0	
階級 3	0	0	9	14	3	
階級 4	0	0	2	4	4	
完全階級合致：		59.70%		± 1 階級合致：		97.67%

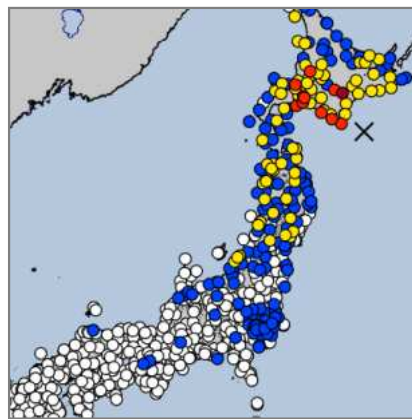
図A-6 東北地方太平洋沖地震（Mj8.4）における長周期地震動階級の予測結果

観測点単位

観測値

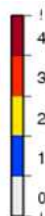


予測値



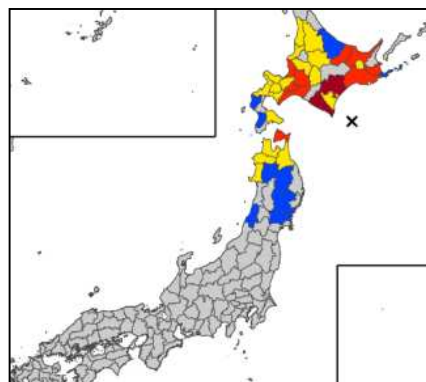
各観測点の観測階級と予測階級（気象庁観測点）

観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4	
階級 0	1	6	0	0	0	
階級 1	0	12	8	0	0	
階級 2	0	4	22	1	0	
階級 3	0	0	7	3	0	
階級 4	0	0	0	3	1	
完全階級合致：		56.72%			± 1 階級合致：	100.00%

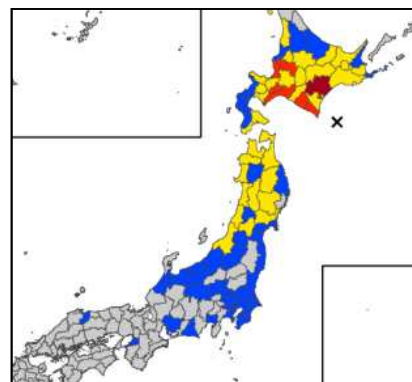


予報区単位

観測値

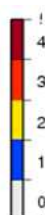


予測値



各観測点の観測階級と予測階級（気象庁観測点）

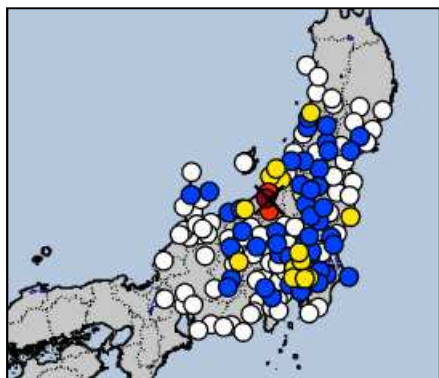
観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4	
階級 0	0	1	0	0	0	
階級 1	0	4	4	0	0	
階級 2	0	2	15	1	0	
階級 3	0	0	6	3	0	
階級 4	0	0	0	2	1	
完全階級合致：		58.97%			± 1 階級合致：	100.00%



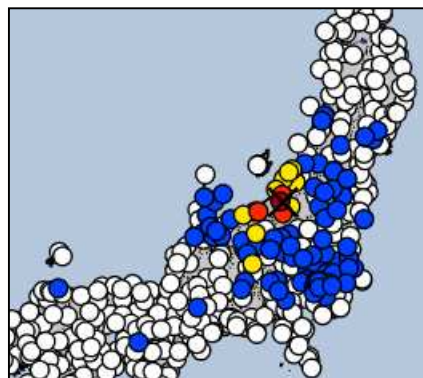
図A-7 平成15年（2003年）十勝沖地震（Mj8.0）における長周期地震動階級の予測結果

観測点単位

観測値



予測値



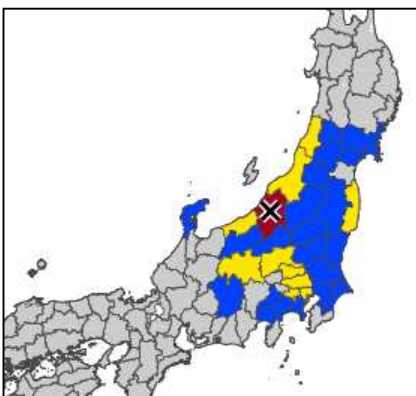
各観測点の観測階級と予測階級（気象庁観測点）

観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	66	18	0	0	0
階級 1	10	33	2	0	0
階級 2	0	10	4	1	0
階級 3	0	0	0	2	0
階級 4	0	0	0	0	1

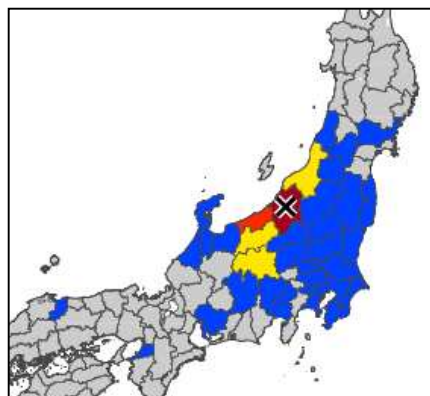
完全階級合致： 49.38% ± 1 階級合致： 100.00%

予報区単位

観測値



予測値



各観測点の観測階級と予測階級（気象庁観測点）

観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	19	5	0	0	0
階級 1	4	16	1	0	0
階級 2	0	7	2	1	0
階級 3	0	0	0	0	0
階級 4	0	0	0	0	1

完全階級合致： 51.35% ± 1 階級合致： 100.00%

図A-8 平成16年（2004年）新潟県中越地震（Mj6.8）における長周期地震動階級の予測結果

予測適合度(予測と観測の比較)

【改訂後】 観測点単位 (観測点数:11046)

観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	8064	643	8	0	0
階級 1	635	1069	129	2	0
階級 2	18	214	183	15	3
階級 3	0	4	22	14	1
階級 4	0	0	6	9	7
完全階級合致 :		42.69%	± 1 階級合致 :		93.54%

【改訂前】 観測点単位 (観測点数:11046)

観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	8091	617	7	0	0
階級 1	611	1120	104	0	0
階級 2	20	216	184	12	1
階級 3	0	3	22	15	1
階級 4	0	0	4	11	7
完全階級合致 :		44.87%	± 1 階級合致 :		94.23%

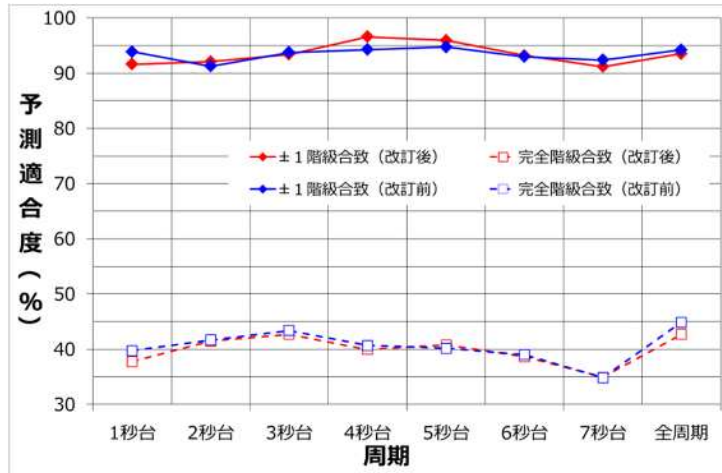
【改訂後】 予報区単位 (予報区数:4585)

観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	3082	278	2	0	0
階級 1	306	536	60	1	0
階級 2	10	139	117	9	1
階級 3	0	3	16	10	0
階級 4	0	0	3	5	7
完全階級合致 :		44.58%	± 1 階級合致 :		94.78%

【改訂前】 予報区単位 (予報区数:4585)

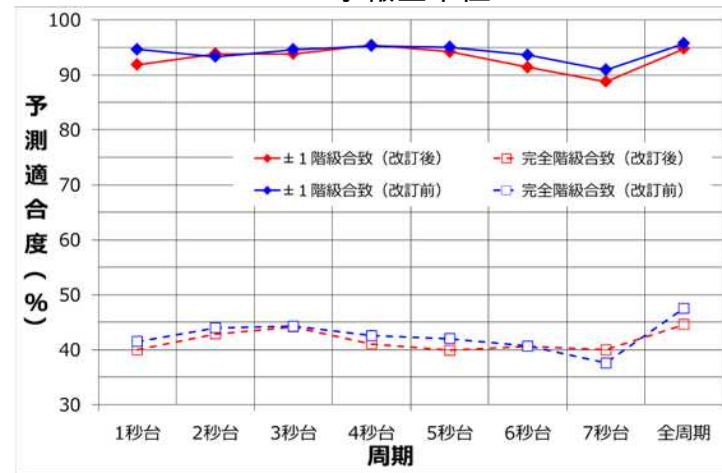
観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	3079	282	1	0	0
階級 1	273	576	54	0	0
階級 2	9	137	122	7	1
階級 3	0	2	16	11	0
階級 4	0	0	3	5	7
完全階級合致 :		47.54%	± 1 階級合致 :		95.73%

観測点単位



周期別の予測適合度

予報区単位



「全周期」は長周期地震動階級(周期1~7秒台の長周期地震動階級データの最大値)を表す。

図A-9 改訂前後の予測手法による予測適合度

(1996~2013年のM6.0以上の地震を対象、予測対象は気象庁観測点、ただし東北地方太平洋沖地震はデータ数に占める割合が大きくなるため集計の対象外としている)

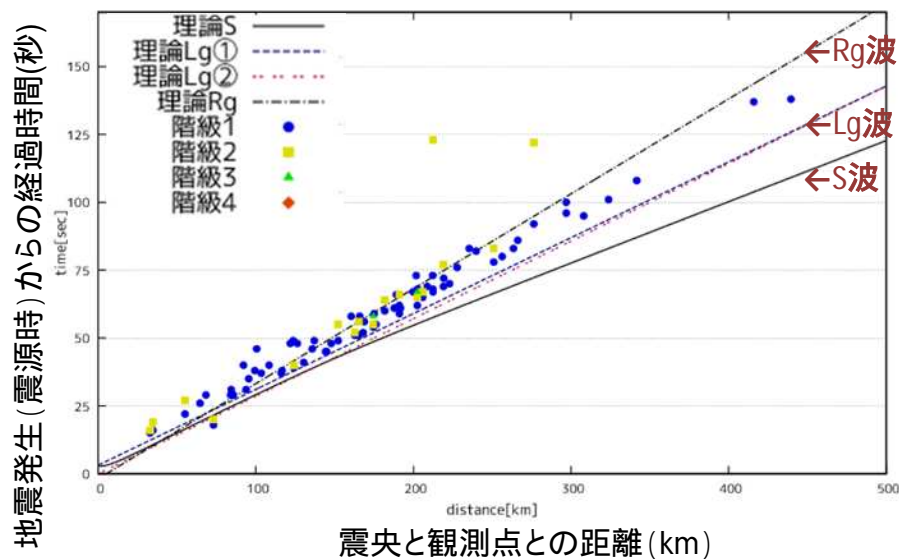
表A-2 補正係数の違いによる±1階級合致率の比較

	【方法A】 観測記録から統計的に得られる 補正係数を用いる手法	【方法B】 地盤情報から推定される 補正係数を用いる手法
1 秒台	91.5	74.8
2 秒台	90.9	81.0
3 秒台	92.5	84.2
4 秒台	96.3	85.7
5 秒台	95.1	86.6
6 秒台	91.6	88.3
7 秒台	91.0	89.8
全周期	93.5	77.9

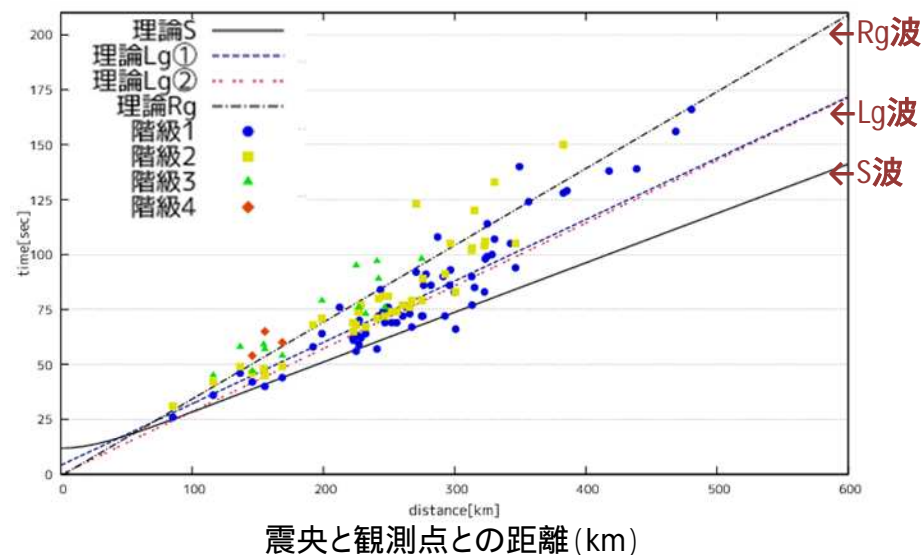
「全周期」は長周期地震動階級（周期1～7秒台の長周期地震動階級データの最大値）を表す。

- ・1996～2013年のM6.0以上、深さ150km以浅の地震を使用。
- ・合致率の計算には気象庁観測点を使用している。
- ・比較のため、「観測記録から統計的に得られる補正係数」が得られている観測点のみを用いて合致率の算出を行っている。
- ・方法Bでは深部地盤構造による補正のみを実施。

2000年10月06日 13:30 鳥取県西部地震(Mj7.3, d=9km)

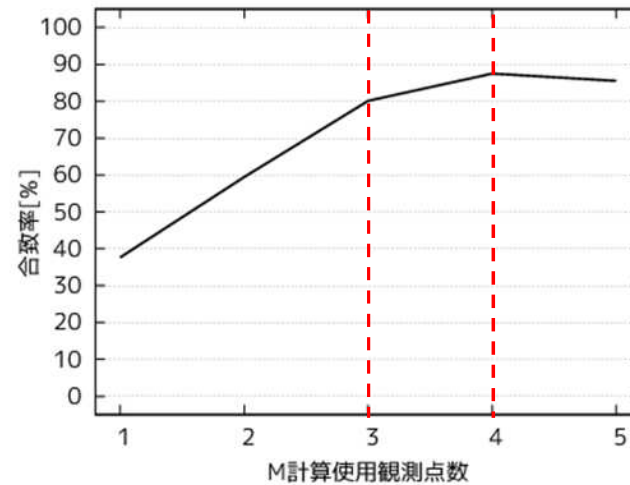


2003年09月26日 04:50 十勝沖地震(Mj8.0, d=45km)



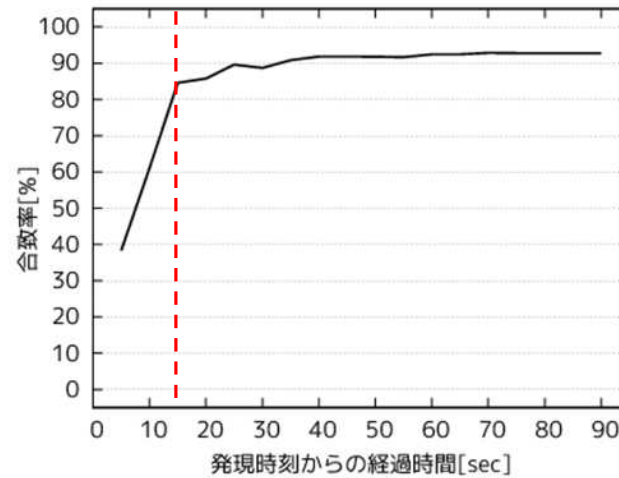
図A-10 各長周期地震動階級に初めて到達する時刻

気象庁観測点のみ利用。各点は、各観測点において、それぞれの長周期地震動階級に初めて達する時刻と震央からの距離の対応を表す。長周期地震動階級は、水平動合成ではなく、各水平成分の絶対速度応答スペクトルの最大値から算出。「S波」「Lg波」「Rg波」が示す線は、理論的に算出される各波の到達時刻を距離ごとにプロットしたもの。



図A-11 緊急地震速報のマグニチュード計算に利用する観測点数による予測適合度（±1階級合致率）の変化

計算方法：初めて該当のM利用観測点数になる緊急地震速報で予測適合度を計算
 気象庁観測点のみ利用。緊急地震速報（警報）を発表した地震を用いている（2008年～2013年、M5.5以上）。
 本調査の予測は、改訂前の予測手法を利用している。
 観測された長周期地震動階級は、水平動合成ではなく、各水平成分の絶対速度応答スペクトルの最大値から算出。



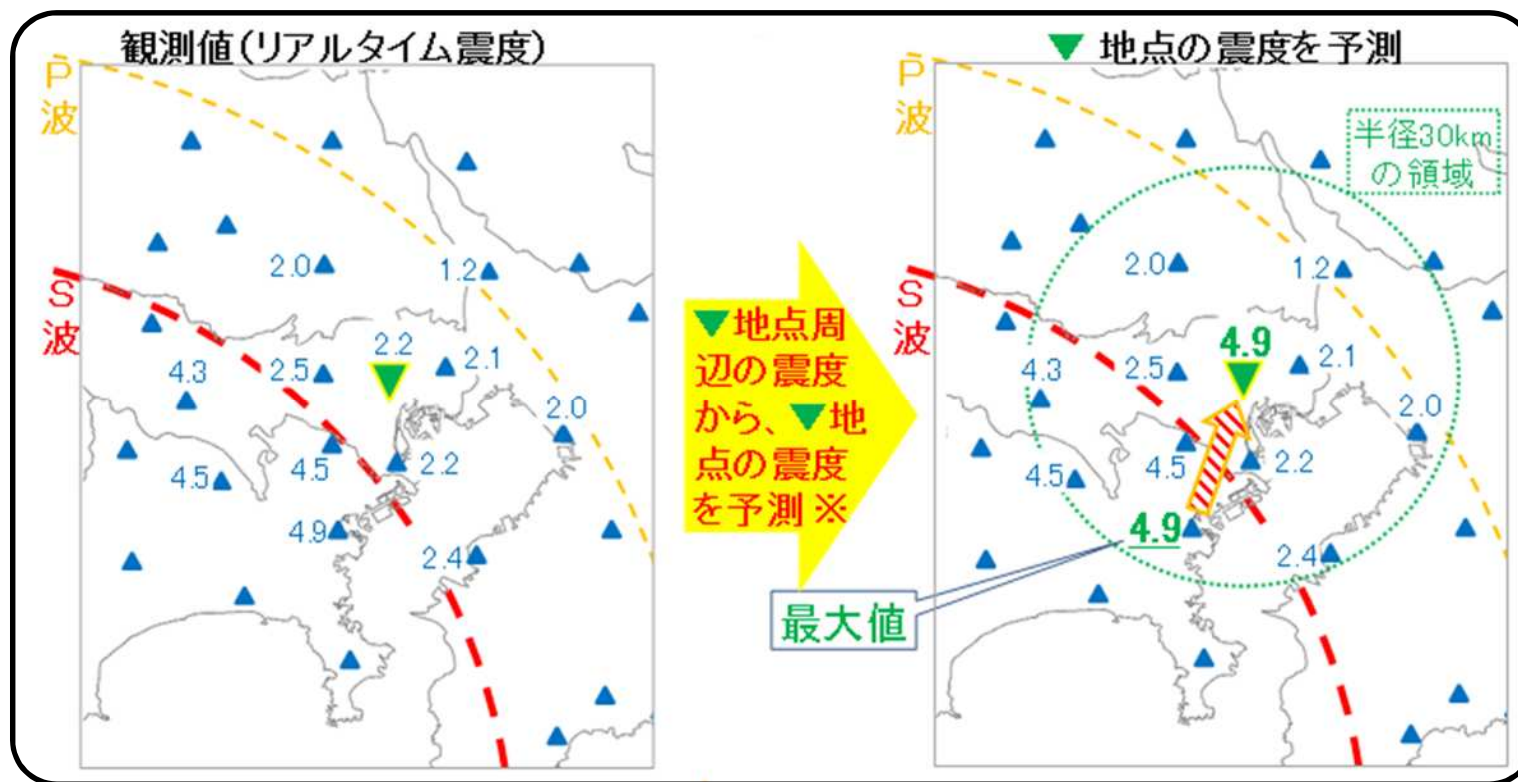
図A-12 緊急地震速報における地震検知からの経過時刻による予測適合度（ ± 1 階級合致率）の変化

計算方法：5秒刻みで、その時刻までに発表された最新の緊急地震速報で予測適合度を計算
 気象庁観測点のみ利用。緊急地震速報（警報）を発表した地震を用いている（2008年～2013年、M5.5以上）。
 本調査の予測は、改訂前の予測手法を利用している。
 観測された長周期地震動階級は、水平動合成ではなく、各水平成分の絶対速度応答スペクトルの最大値から算出。

PLUM法 (Propagation of Local Undamped Motion 法)

震源を推定せずに震度予測を行う

- 震度の観測値 (リアルタイム震度) を基に震度を予測するため、震源の位置に関係なく震度の予想が可能。
- 平成23年3月11日のような巨大地震の場合も、震源から遠い地域に対しても警報の発表が可能。
- PLUM法による震度予想は、近傍 (半径30km以内) で強い揺れを観測して以降に可能なものであるため、猶予時間は短い。



: 各地点の地盤の揺れやすさ = 増幅度 = も加味して 地点に対する予想値を計算する。

図A-13 気象庁が実施を計画している緊急地震速報の技術的改善 (PLUM法) について

表A-3 深さごとの予測適合度（％）と各階級を観測した最小のマグニチュード

深さ(km)	地震数	±1階級 合致率	完全階級 合致率	以下の階級を観測した最小のM			
				階級1	階級2	階級3	階級4
0 - 10	231	98.7	47.3	4.7	5.1	7.0	7.0
10 - 20	315	92.8	42.2	4.8	5.3	5.7	6.4
20 - 30	138	100.0	36.0	5.5	5.8	-	-
30 - 40	206	100.0	44.3	5.3	6.0	7.1	-
40 - 50	300	97.1	47.2	5.2	6.1	7.2	8.0
50 - 75	333	86.5	35.6	5.3	6.0	7.1	7.1
75 - 100	66	-	20.0	5.9	-	-	-
100 - 150	34	61.9	24.8	6.0	6.4	6.8	-
150 - 200	9	-	-	-	-	-	-
200 - 250	2	-	-	-	-	-	-
250 - 300	0	-	-	-	-	-	-
300 - 400	4	-	0.0	6.8	-	-	-
400 - 500	5	-	-	-	-	-	-
500 - 600	0	-	-	-	-	-	-
600 - 700	2	-	0.0	8.3	-	-	-

- ・1996～2013年のM4.5以上地震イベントを使用（深さの制限なし）。観測点は気象庁震度観測点を使用。
- ・本調査の予測は、改訂前の予測手法を利用している。
- ・観測された長周期地震動階級は、水平動合成ではなく、各水平成分の絶対速度応答スペクトルの最大値から算出。