

気象庁が行う長周期地震動の予測手法と 提供する予測情報について

長周期地震動階級について

気象庁では、平成23年度以降、有識者による検討会を開催し、長周期地震動に関する情報のあり方について検討を進めてきた。

平成24年度に震度では表現できない長周期地震動による揺れに対する指標として長周期地震動階級を定めた。

長周期地震動階級および長周期地震動階級関連解説表

長周期地震動階級	人の体感・行動	室内の状況	備考
長周期地震動階級1	室内にいたほとんどの人が揺れを感じる。驚く人もいる。	ブラインドなど吊り下げものが大きく揺れる。	—
長周期地震動階級2	室内で大きな揺れを感じ、物に掴まりたいと感じる。物につかまらなると歩くことが難しいなど、行動に支障を感じる。	キャスター付き什器がわずかに動く。棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。	—
長周期地震動階級3	立っていることが困難になる。	キャスター付き什器が大きく動く。固定していない家具が移動することがあり、不安定なものは倒れることがある。	間仕切壁などにひび割れ・亀裂が入ることがある。
長周期地震動階級4	立っていることができず、はわないと動くことができない。揺れにほんろうされる。	キャスター付き什器が大きく動き、転倒するものがある。固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。	間仕切壁などにひび割れ・亀裂が多くなる。



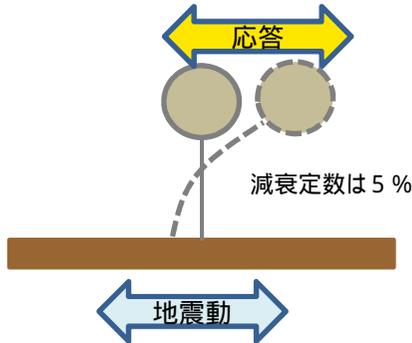
・長周期地震動階級は、長周期地震動による揺れによる行動の困難さなどの状況を区分しやすい観測値が最大床応答速度であることを踏まえ、高層ビル高層階の最大床応答速度を合理的に表現した絶対速度応答スペクトル S_{va} （減衰定数5%）の周期1.6秒から周期7.8秒までの間における最大値に基づいて算出（詳細は次頁参照）

長周期地震動階級の算出方法

地震時の高層階の床の揺れ

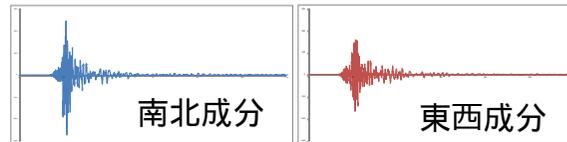
地震動を外力とした振り子の揺れで代用

高層ビルをモデル化 (1質点減衰系)



【ステップ 1】地震計で観測した加速度波形を、振り子モデル (周期1.6~7.8秒 0.2秒刻み) の地面の揺れとして入力する。

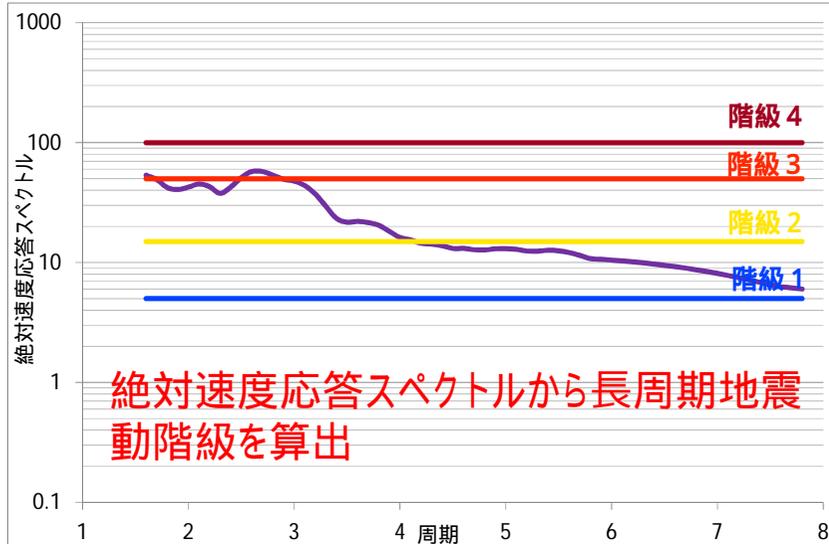
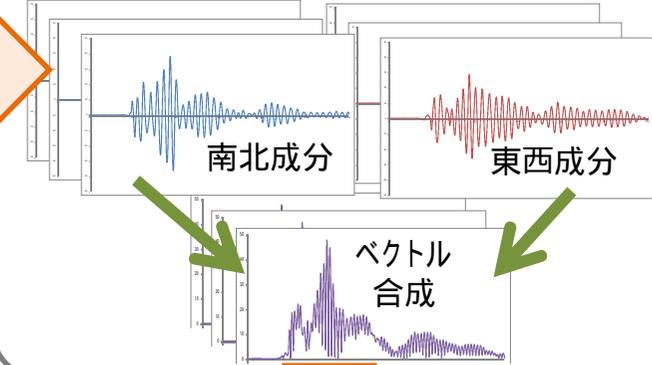
加速度波形 (地震計で観測)



振り子の揺れを計算

【ステップ 2】各周期ごとに振り子の揺れ (絶対速度応答波形) が得られるので、得られた波形をベクトル合成する。

絶対速度応答波形 (実際には各周期ごと)



【ステップ 3】各周期での振り子の揺れ (絶対速度応答波形) の最大値を周期ごとにプロットし、絶対速度応答スペクトル (Sva) を得る。

【ステップ 4】絶対速度応答スペクトル (Sva) の値を、以下の表を用いて長周期地震動階級にする。

階級1	5cm/s Sva < 15cm/s
階級2	15cm/s Sva < 50cm/s
階級3	50cm/s Sva < 100cm/s
階級4	100cm/s Sva

長周期地震動に関する観測情報(試行)

- 震度 1 以上を観測した気象庁観測点について、長周期地震動階級その他、それらの元となる、各観測点における周期毎の長周期地震動階級データや、応答スペクトルの計算結果、加速度波形等の詳細な内容を画像や電子データで提供。
 - 加速度波形の電子データについては長周期地震動階級 1 以上を観測した場合

なお、データの作成や公開サーバへのアップロードの関係から、地震発生後20~30分程度で気象庁ホームページに公開

トップページ

【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分ご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、地震の規模は約M2.9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	新潟県中越	新潟県上越	富山県東部
長周期地震動階級 2	新潟県下越	群馬県北部	茨城県南部	千葉県西北部
長周期地震動階級 1	埼玉県北部	東京都多摩東部	富山県西部	石川県能登

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

観測点毎のページ

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

階級	1秒帯	2秒帯	3秒帯	4秒帯	5秒帯	6秒帯	7秒帯
階級3	3	3	2	2	1	1	1

【観測地点】
地点名: 長野市穂清水
地域名: 長野県北部
観測時間: 2014.11.22 22:08:10~22:13:10

【絶対速度応答スペクトル】 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

【絶対加速度応答スペクトル】 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

【加速度波形】

加速度波形

【速度波形】

速度波形

加速度・速度・変位の最大値

【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

応答スペクトルの数値データのダウンロード

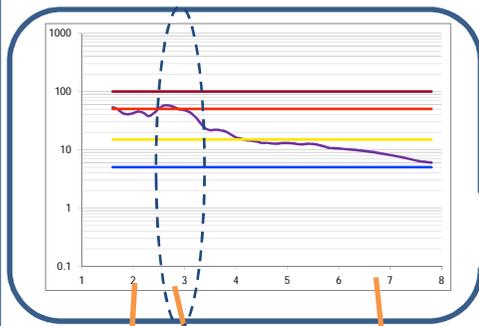
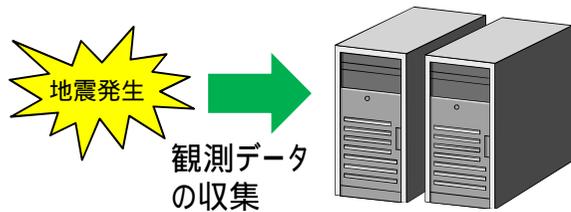
絶対加速度応答スペクトルcsvファイル
絶対速度応答スペクトルcsvファイル

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)

長周期地震動に関する予測情報のあり方の概念図

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

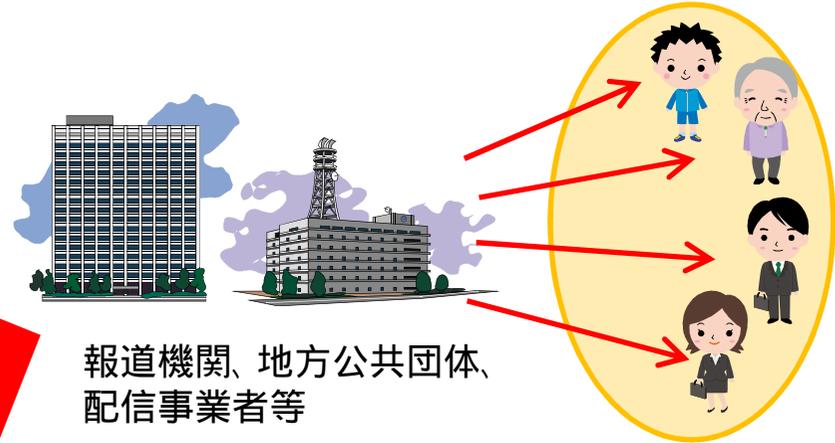
周期ごとに求めた値から最大のものでこの地点の長周期地震動階級を計算する

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

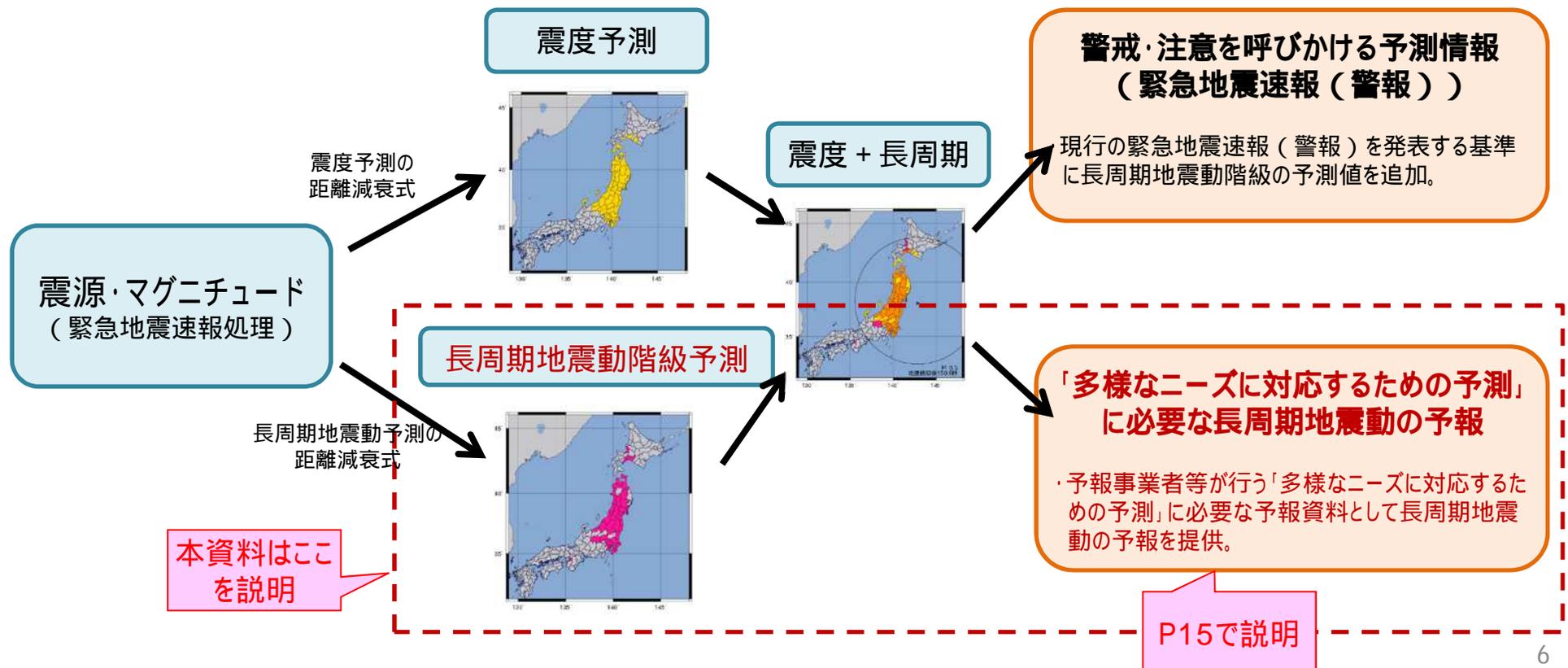


気象庁からの情報と、ビル毎の情報（立地や構造）を用いて、多様なニーズへ対応するための様々な情報を提供

気象庁が行う長周期地震動の予測の流れ

気象庁は、長周期地震動階級を即時的に予測するため、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、距離減衰式により絶対速度応答スペクトルを予測する。

予測結果は「警戒注意を呼びかける予測情報」及び「多様なニーズに対応するための予測」に必要な予報資料となる長周期地震動の予報に用いられる。



気象庁が用いる予測手法について

検討会での議論により、気象庁が長周期地震動階級を予測する際には、Dhakai et al.(2015)による予測手法を用いることとされた。

$$\log_{10} \underbrace{Sva(T)}_{\text{絶対速度応答値}} = \underbrace{c(T)}_{\text{定数c}} + \underbrace{a(T)}_{\text{係数a}} \underbrace{M_j}_{\text{マグニチュード}} - \log_{10} \underbrace{R}_{\text{震源距離}} - \underbrace{b(T)}_{\text{係数b}} R + \underbrace{\text{siteFactor}(T)}_{\text{予測点毎の補正係数}}$$

(T) は周期毎であることを示す

【距離減衰式の回帰計算に用いられたデータ】
・Mj 6.3、深さ50km以下の1996年～2012年に発生した地震
・震央距離800km以下の観測点
東北地方太平洋沖地震を含む36地震、12,401の強震データ

補正係数は以下のどちらかを使用

観測記録から統計的に得られる補正係数

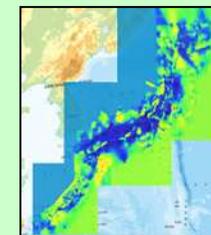
・各観測点の実際の観測値から統計的に得られた補正係数。

地盤情報から推定される補正係数

・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)

深部地盤構造モデル
S波速度1.4km/s上面深さ



J-SHISのページより

(<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>)

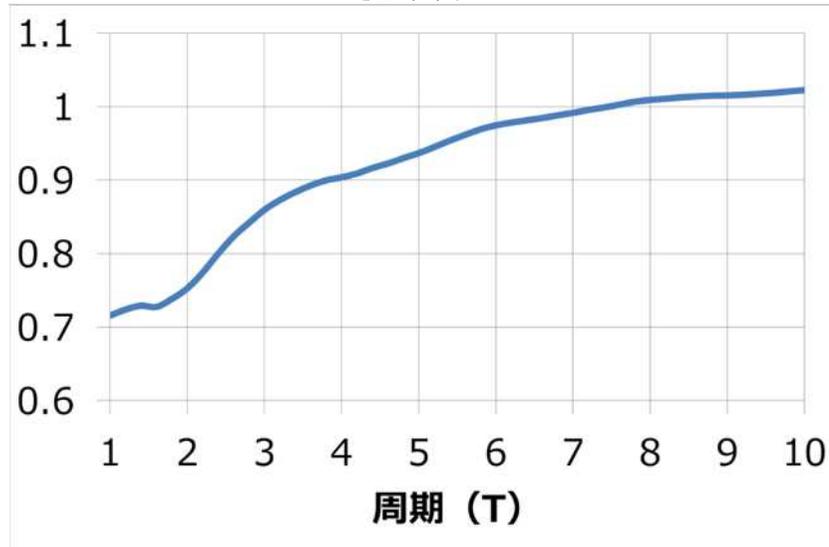
【本手法の特徴等】

- ・長周期地震動階級を算出するために必要な絶対速度応答スペクトルを直接算出。
- ・距離減衰式に入力する距離とマグニチュードが、点震源からの震源距離とMjを直接利用。
- ・この手法を用いて長周期地震動階級を予測した場合、予測と観測の適合度は、± 1 階級以内で一致する割合が9割程度となる (P10参照)。

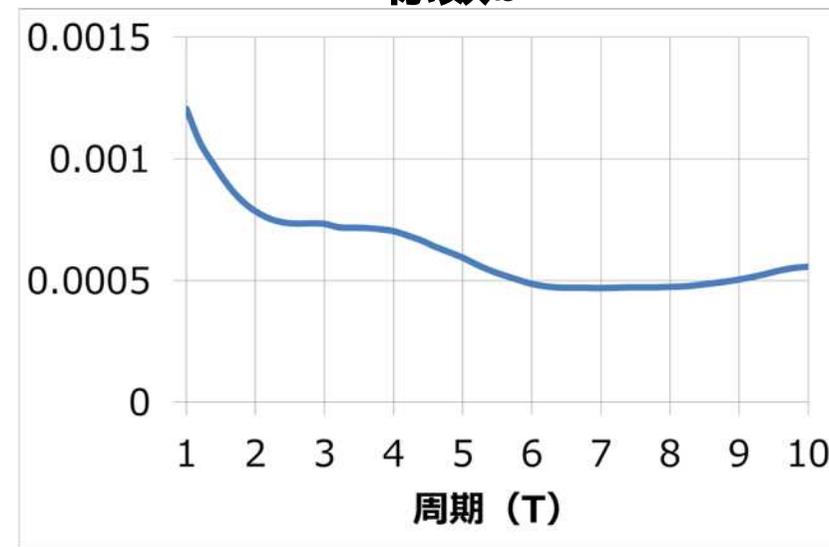
気象庁が用いる予測手法について（係数の例）

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

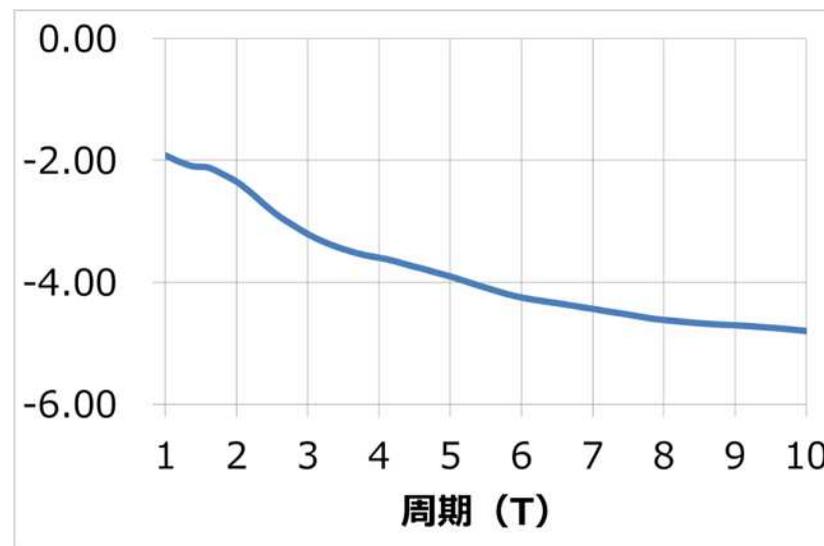
係数a



係数b



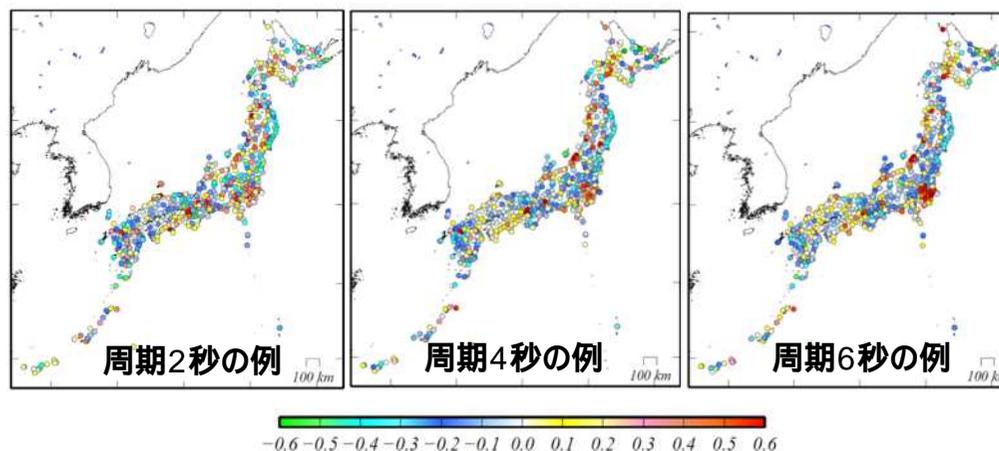
定数c



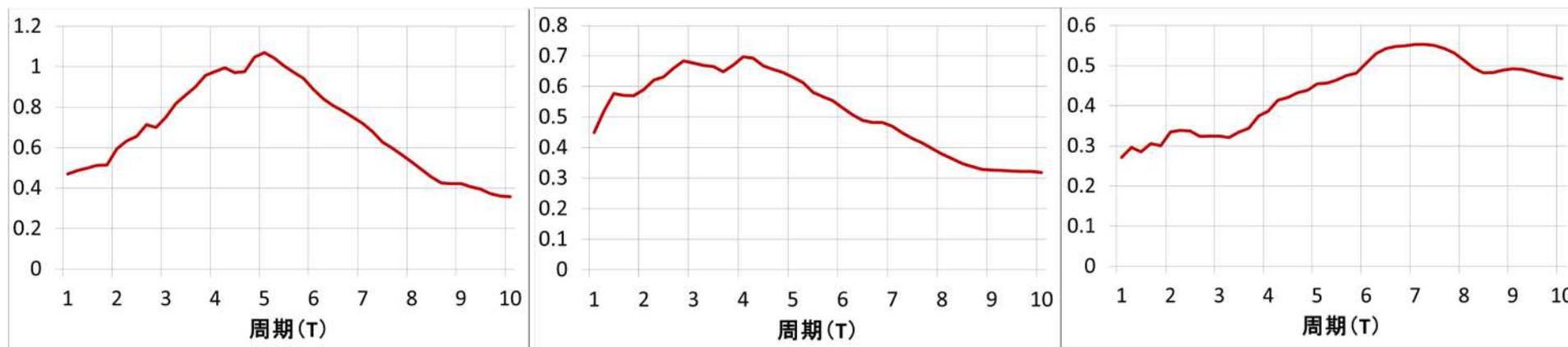
気象庁が用いる予測手法について (SiteFactorの例)

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

気象庁観測点において「観測記録から統計的に得られる補正係数」
を算出した場合の観測点分布



「観測記録から統計的に得られる補正係数」の例



関西国際空港 (大阪府)

愛西市稲葉町 (愛知県)

東京千代田区大手町

気象庁が用いる予測手法の検証結果について

1996～2013年のM6.0以上の地震を対象とした予測適合度

予測適合度（予測と観測の比較）

観測点単位（観測点数：11046）

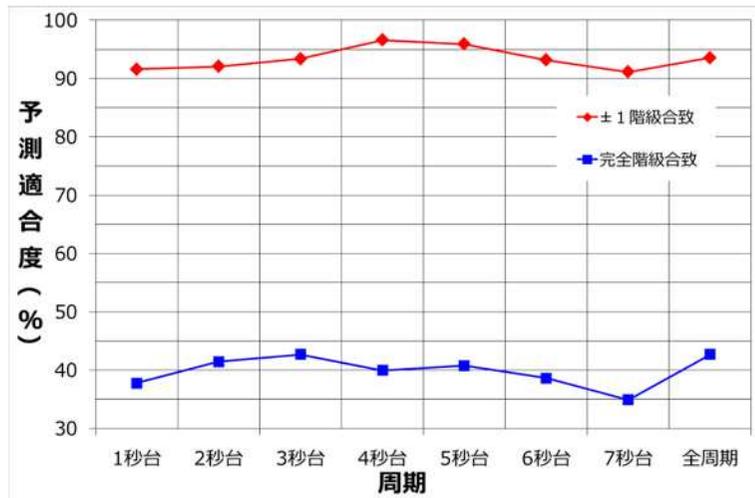
観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	8064	643	8	0	0
階級 1	635	1069	129	2	0
階級 2	18	214	183	15	3
階級 3	0	4	22	14	1
階級 4	0	0	6	9	7
完全階級合致：		42.69%	±1階級合致：		93.54%

予報区単位（予報区数：4585）

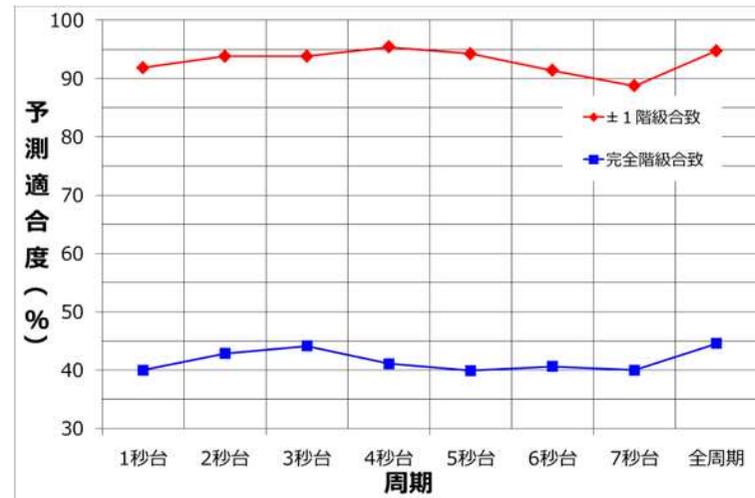
観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	3082	278	2	0	0
階級 1	306	536	60	1	0
階級 2	10	139	117	9	1
階級 3	0	3	16	10	0
階級 4	0	0	3	5	7
完全階級合致：		44.58%	±1階級合致：		94.78%

周期別の予測適合度

観測点単位



予報区単位



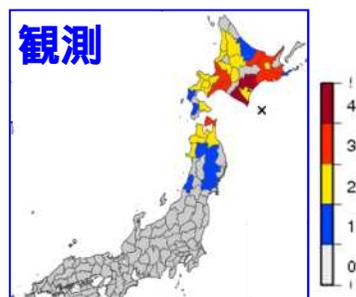
「全周期」は長周期地震動階級（周期1～7秒台の長周期地震動階級データの最大値）を表す。

- ・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。
- ・Dhakar et al.(2015)によれば、地盤情報から推定される補正係数は、各観測点におけるAVS30の実測値を用いた補正が行われているが、気象庁観測点においては、AVS30の実測値が必ずしも得られないことから、今回の検証では深部地盤構造による補正のみを実施。

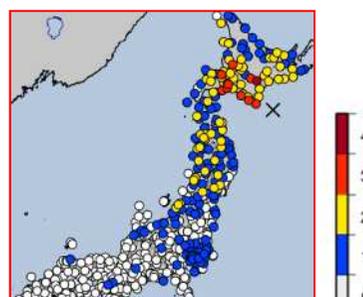
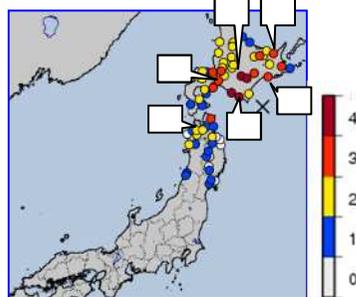
顕著な地震での例

平成15年（2003年）十勝沖地震（ M_j 8.0）

予報細分区域 単位の比較



観測点単位 の比較

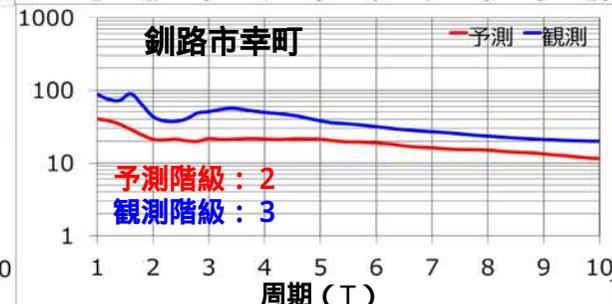
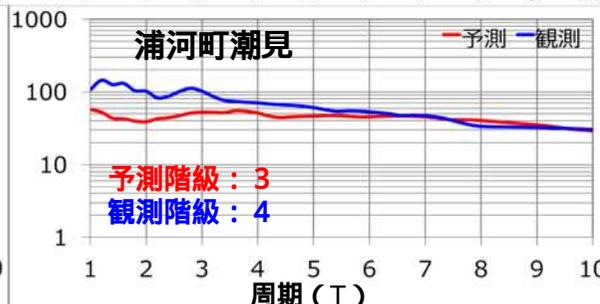
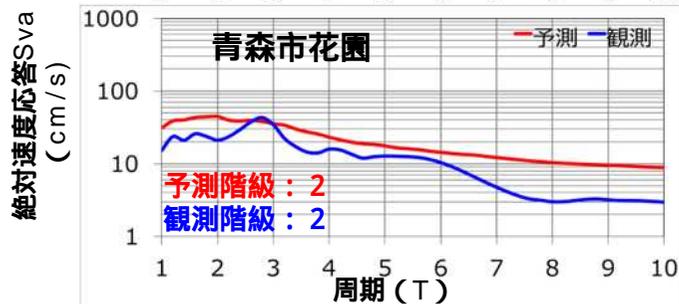
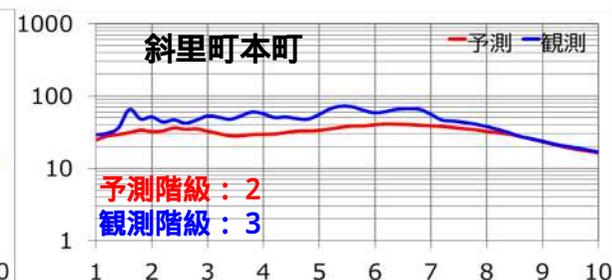
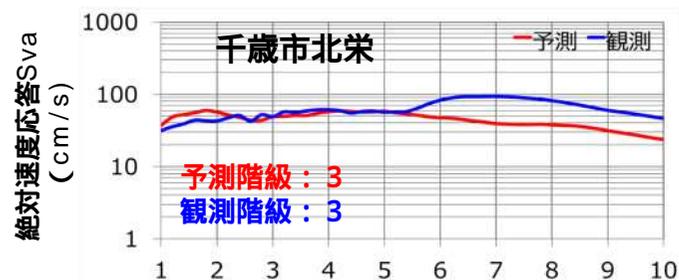


予報適合度（予報と観測の比較）

予報 \ 観測	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%	

予報 \ 観測	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%	

絶対速度応答スペクトルS_{va}での比較



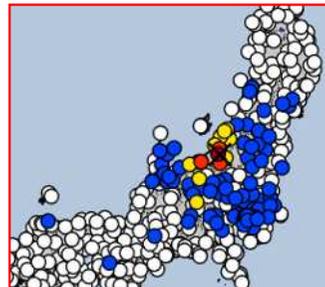
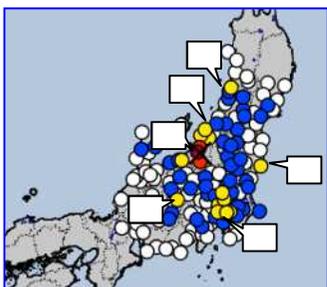
顕著な地震での例

平成16年（2004年）新潟県中越地震（ M_j 6.8）

予報細分区域
単位の比較



観測点単位
の比較



予測適合度（予測と観測の比較）

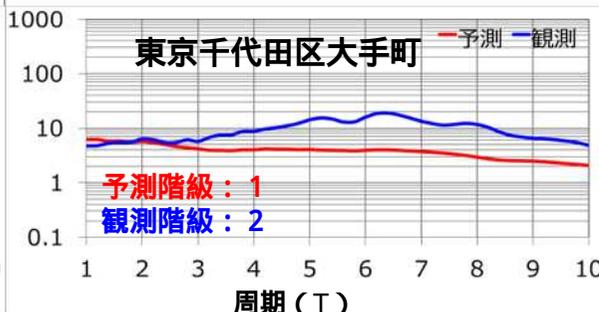
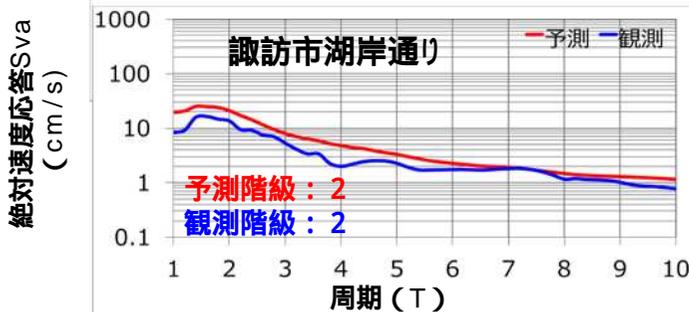
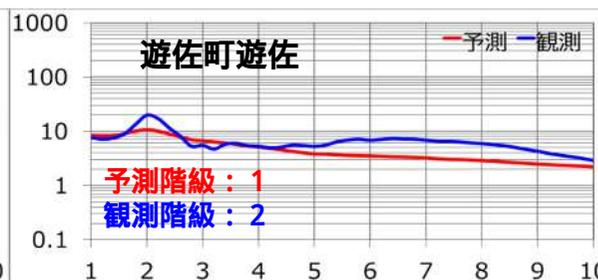
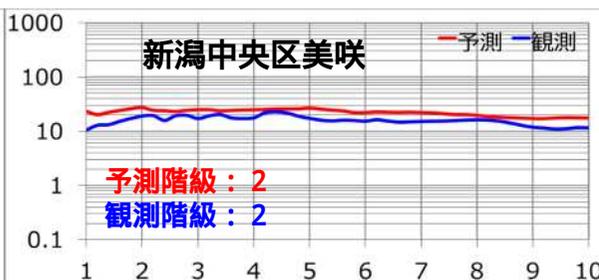
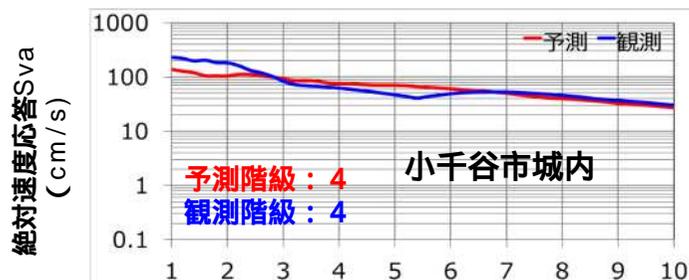
観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	19	5	0	0	0
階級 1	4	16	1	0	0
階級 2	0	7	2	1	0
階級 3	0	0	0	0	0
階級 4	0	0	0	0	1

完全階級合致： 51.35% ± 1階級合致： 100.00%

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%

絶対速度応答スペクトルS_{va}での比較

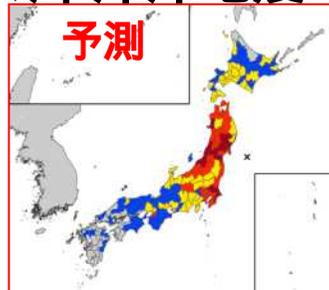
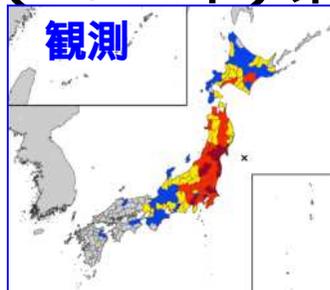


顕著な地震での例

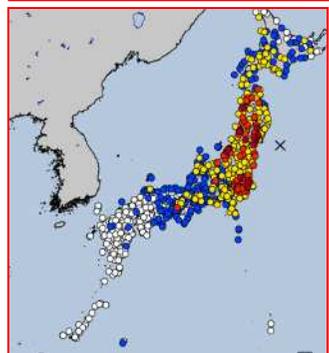
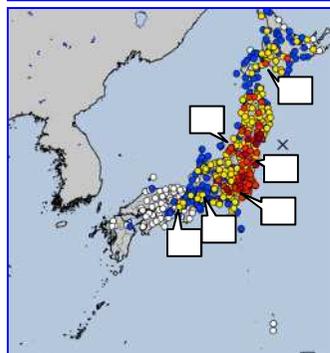
平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（ M_j 8.4）

この地震イベントは、P10の予測適合度の集計には含まれていない。

予報細分区域
単位の比較



観測点単位
の比較

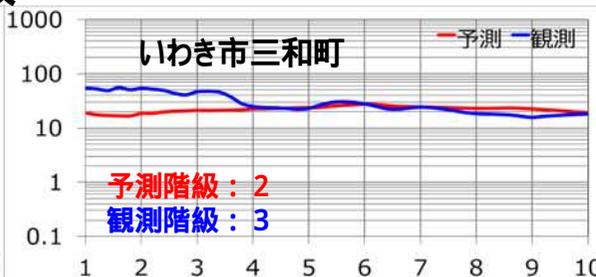
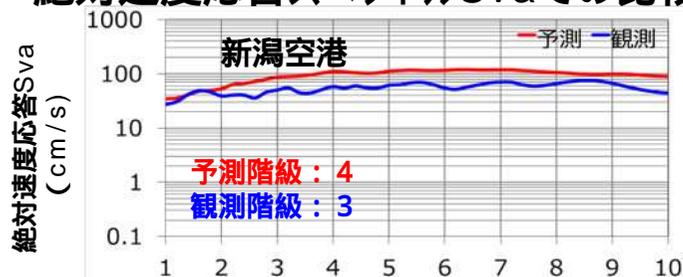


予測適合度（予測と観測の比較）

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%	

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%	

絶対速度応答スペクトルS_{va}での比較

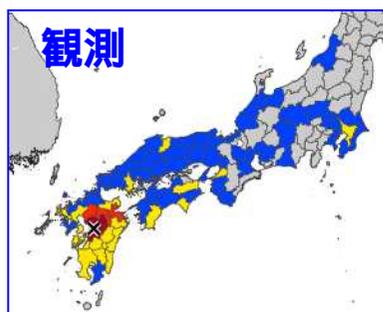


顕著な地震での例

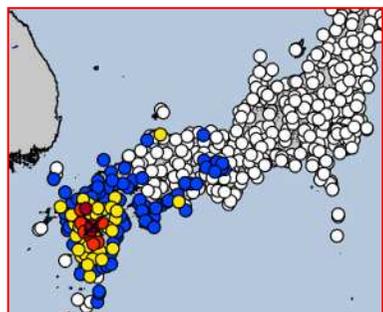
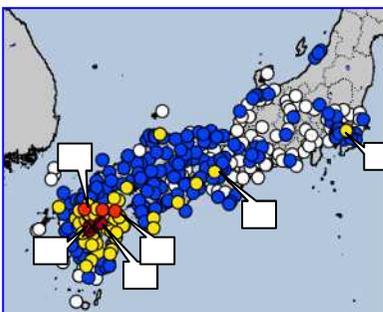
平成28年（2016年）熊本地震（4月16日01時25分 熊本県熊本地方（ M_j 7.3））

この地震イベントは、P10の予測適合度の集計には含まれていない。

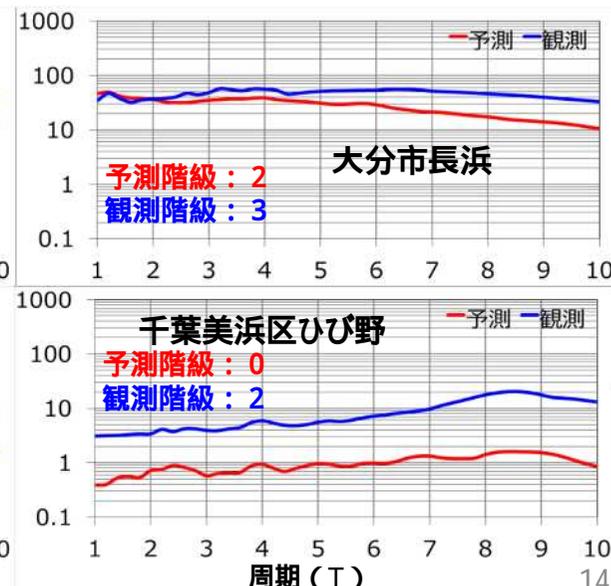
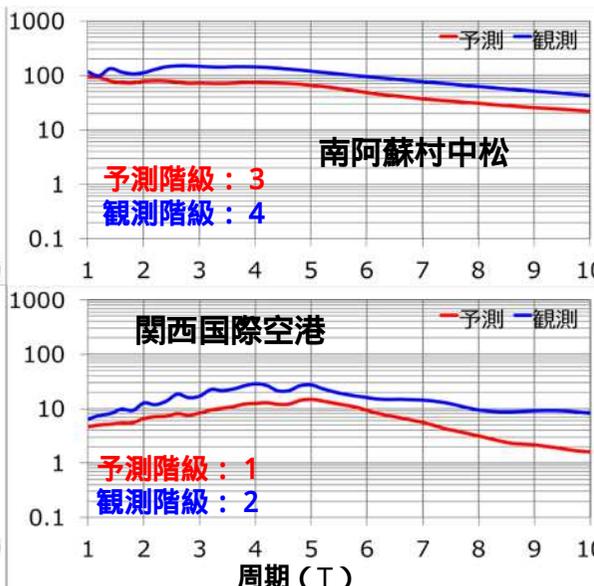
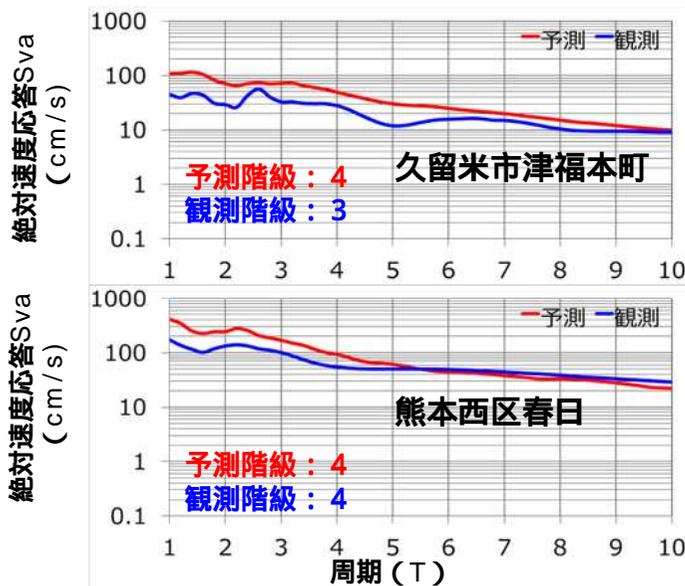
予報細分区域
単位の比較



観測点単位
の比較



絶対速度応答スペクトルS_{va}での比較



予測適合度（予測と観測の比較）

観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	19	1	0	0	0
階級 1	35	17	2	0	0
階級 2	1	5	9	4	0
階級 3	0	0	2	0	1
階級 4	0	0	0	1	1

完全階級合致：34.18% ±1階級合致：96.15%

観測 \ 予測	階級 0	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4
階級 0	97	5	0	0	0
階級 1	97	57	11	0	0
階級 2	1	14	21	6	0
階級 3	0	0	2	0	1
階級 4	0	0	0	1	2

完全階級合致：36.70% ±1階級合致：98.31%

気象庁が提供する長周期地震動の予報

(1) 目的

多様なニーズに対応する予測情報の提供を民間が担うにあたり、気象庁は予報事業者等における予報業務の普及と信頼性の確保に資するため、予測に必要な震源情報等を予報資料として提供する必要がある。また、警戒・注意を呼びかける予測情報の補足・参考としても活用できる。

(2) 主な内容

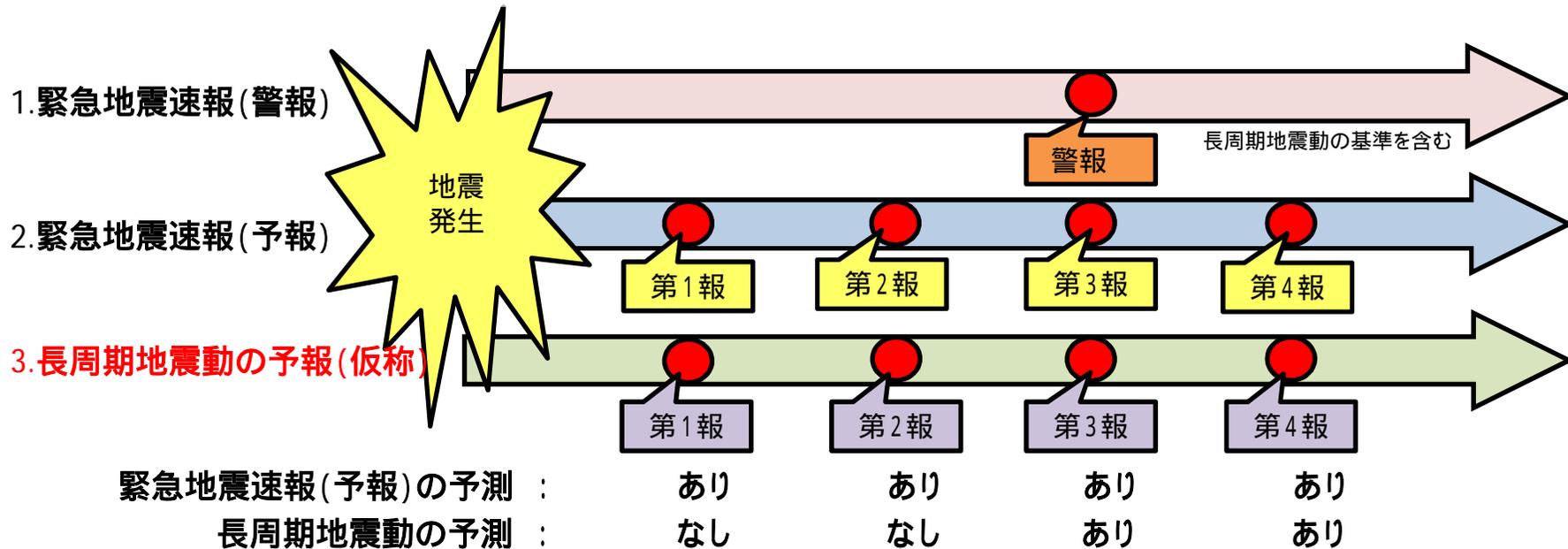
- ・緊急地震速報処理による**地震の発生時刻、地震の発生場所**の推定値
- ・緊急地震速報処理による**地震のマグニチュード**の推定値
- ・**予報区毎の長周期地震動階級及び震度の予測値と予報区の名称**¹
- ・上記の予報区への大きな揺れ（主要動）の**到達時刻の予測値**²

1 気象庁が提供する長周期地震動の予報には、予測された震度との比較も重要なことから、緊急地震速報（予報）の内容と長周期地震動の予測結果を含む。これにより、緊急地震速報と長周期地震動の予測をあわせて使いたい利用者の利便性を図る。

2 長周期地震動の到達時刻は、S波走時付近の場合もあれば、より遅い表面波付近の場合もあるため、防災上の観点から、より早いS波到達時刻（緊急地震速報での到達時刻の予測値と同一のもの）を到達時刻の予測値とする。

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、予報のイメージは次頁を参照）

気象庁が提供する長周期地震動の予報のイメージ

実際には電文とよばれる機械判読可能な形式
(XML等)で配信される。

平成 年 月 日 06時13分14秒
気象庁発表

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5.0km

緊急地震速報の処理により
推定された震源の情報

< 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)

< 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

強い揺れに警戒してください。

緊急地震速報(警報)が発表されている場合

【参考資料】予測適合度の考え方

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				
観測階級1					
観測階級2					
観測階級3					
観測階級4					

【予測適合度】

$$\frac{\text{黄の数}}{(\text{黄} + \text{赤} + \text{青})\text{の数}} \times 100\%$$

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				
観測階級1					
観測階級2					
観測階級3					
観測階級4					