

長周期地震動の予測情報の あり方について（案）

長周期地震動の予測情報の必要性やあり方を検討するために、様々な調査結果の整理を行った。

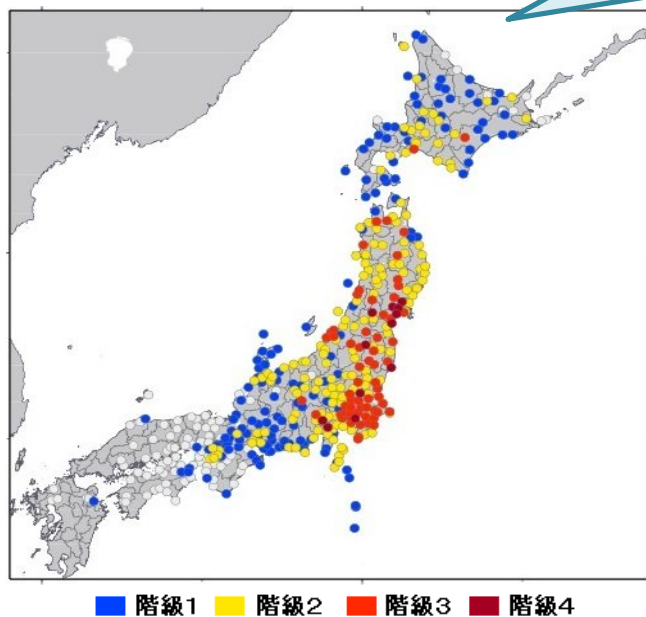
目次

重大な災害が起こる恐れがある長周期地震動	・・・P3
長周期地震動の影響を受ける高層ビルなどの増加	・・・P7
長周期地震動を予測する技術の確立	・・・P10
警戒・注意を呼びかける予測情報の必要性	・・・P15
多様なニーズに対応するための予測情報の必要性について	・・・P16
長周期地震動の予測情報のあり方（案）	・・・P18

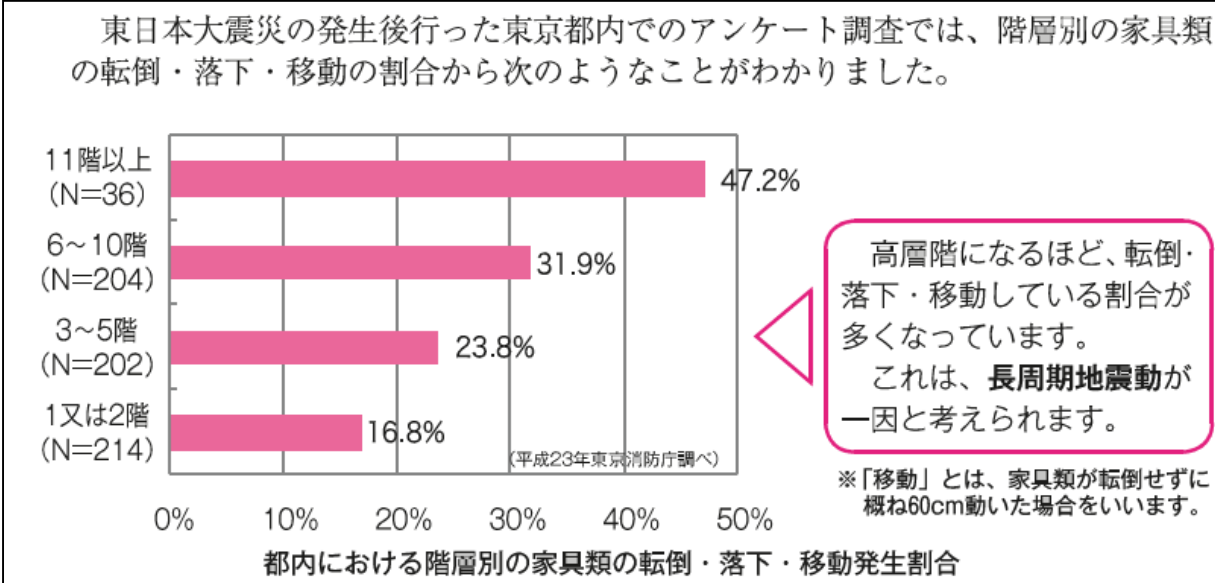
重大な災害が起こる恐れがある長周期地震動

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震での高層ビルの被害

東京で長周期地震動階級3~4の揺れ



東北地方太平洋沖地震の長周期地震動階級の分布
(気象庁強震観測報告に掲載した地震波形を用いて作成)



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」より抜粋

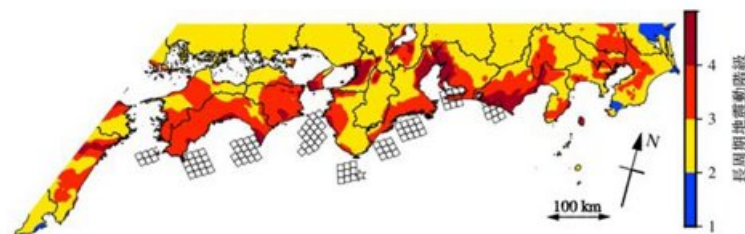
高層階になるほど人的被害が発生する恐れが高まる

重大な災害が起こる恐れがある長周期地震動

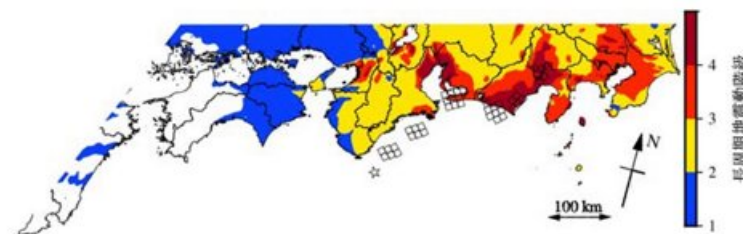
内閣府「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」

長周期地震動の推計結果を「長周期地震動階級」に適用した結果

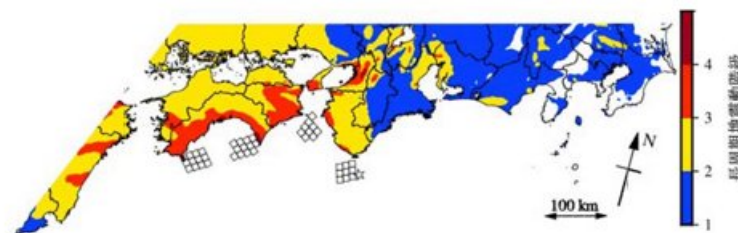
南海トラフ沿いでM8～9クラスの地震が発生した場合、広い範囲で長周期地震動階級3以上の揺れが予想
中部圏や近畿圏の沿岸部などの一部地域では、長周期地震動階級4も推計



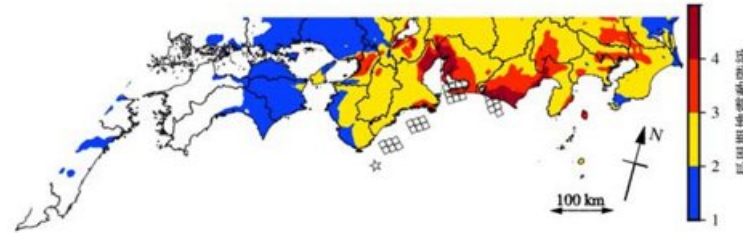
宝永地震



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

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）より抜粋

広範囲に東北地方太平洋沖地震の東京と同程度以上の揺れを予測

重大な災害が起こる恐れがある長周期地震動

長周期地震動階級3と4の際の高層ビルの揺れを再現したシミュレーション映像



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。物につかまらないうまく歩行が難しいなど、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。



長周期地震動階級関連解説表

本映像は、気象庁ホームページの以下のURLに掲載しています。

http://www.data.jma.go.jp/eqev/data/choshuki/choshuki_eq5.html

重大な災害が起こる恐れがある長周期地震動

長周期地震動階級4の高層ビルの揺れを再現したE-defenseの実験映像

提供 国立研究開発法人防災科学技術研究所 E-ディフェンス

南海トラフ地震で想定される神戸市内の高層ビル30階の床応答を再現した実験（周期3秒 220kine）

オフィス（地震対策なし）



キッチン（地震対策なし）



オフィス（書棚固定）



リビング（地震対策なし）

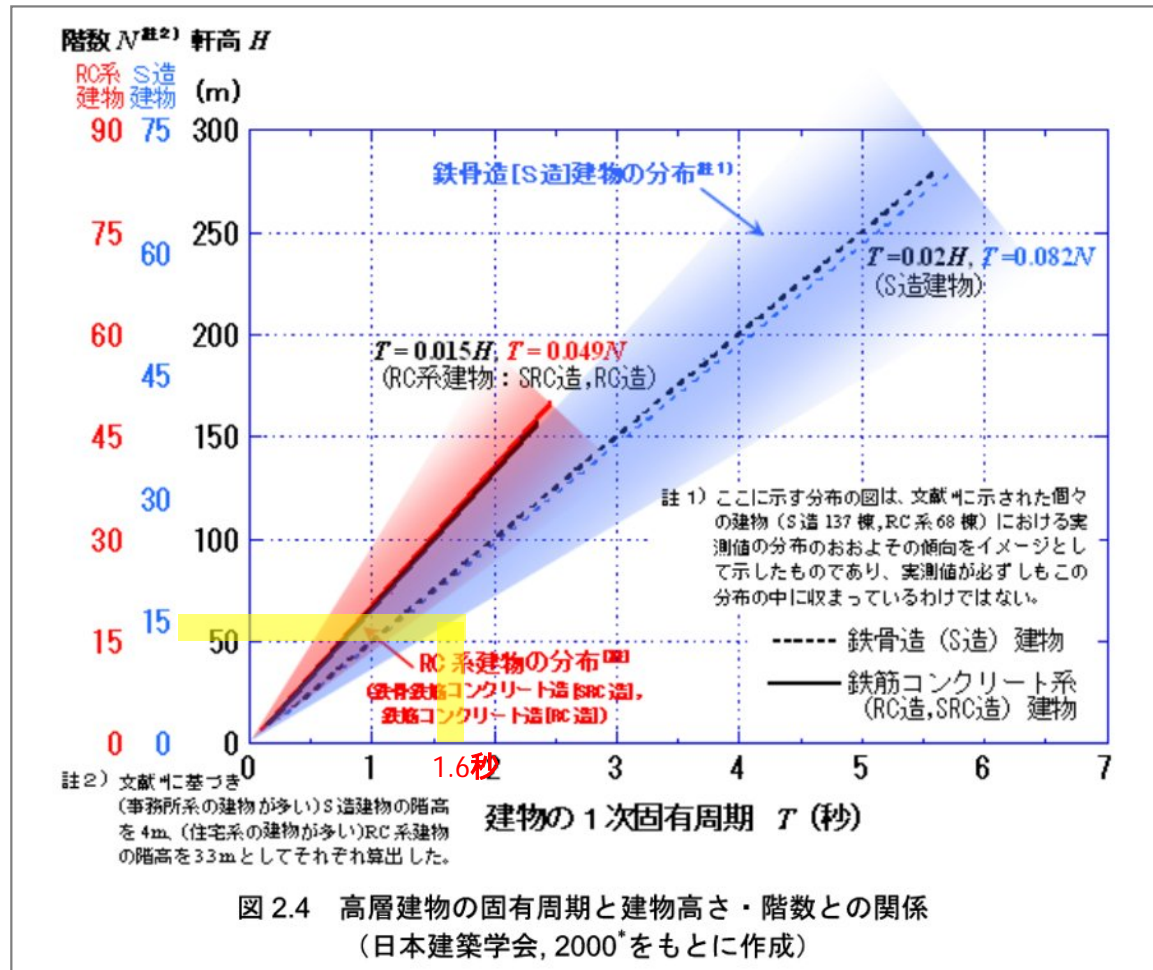


長周期地震動階級4に相当する揺れにより重大な災害が発生する恐れ

長周期地震動の影響を受ける高層ビルなどの増加

長周期地震動階級の対象となる高層ビル

長周期地震動階級は固有周期1.6～7.8秒(概ね14～15階建以上)の高層ビルを対象とした指標



地震調査研究推進本部「長周期地震動予測地図2012年試作版」に加筆

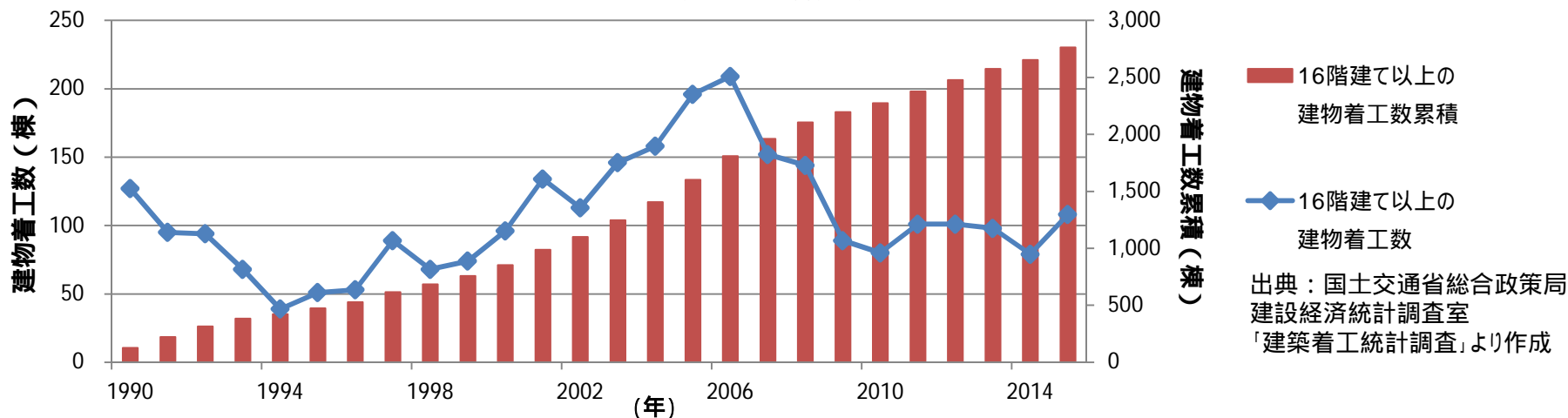
長周期地震動階級の対象は、
いわゆる超高層ビルだけでなく、14～15階建以上のビルも対象

長周期地震動の影響を受ける高層ビルなどの増加

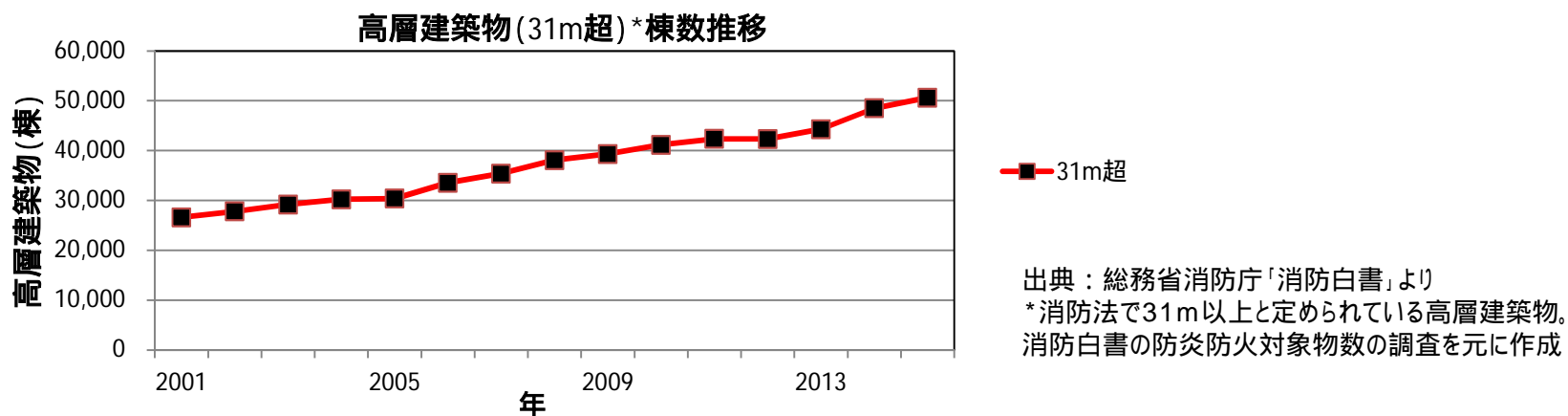
近年の高層ビルの増加

16階建て以上は毎年100棟程度着工しており、高層ビルの数は年々増加している。

1990年以降の建築着工数推移



概ね10階建て以上の棟数（2015年現在）は2001年に比べ約2倍に増加している。

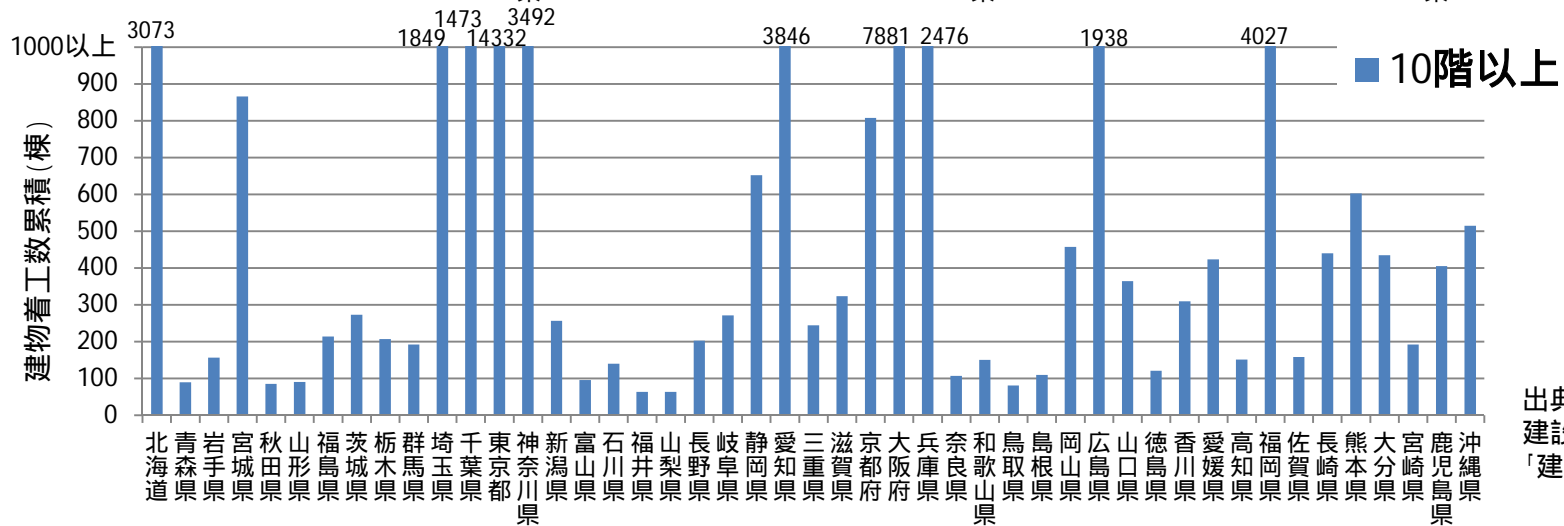
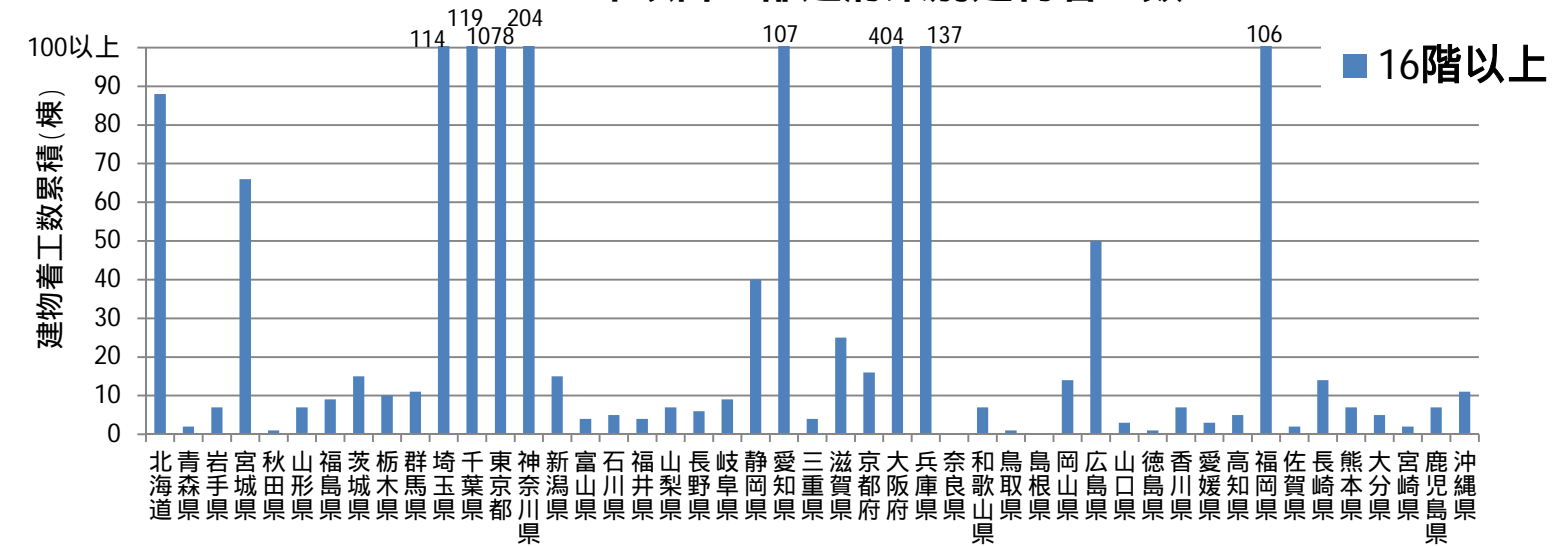


近年、ビルの増加により長周期地震動の影響を受ける人口が増加

長周期地震動の影響を受ける高層ビルなどの増加

近年の高層ビルの増加(都道府県別)

1990年以降の都道府県別建物着工数



出典：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」より作成

地域的な偏りはあるが、高層ビルは全国的に増加している

長周期地震動を予測する技術の確立

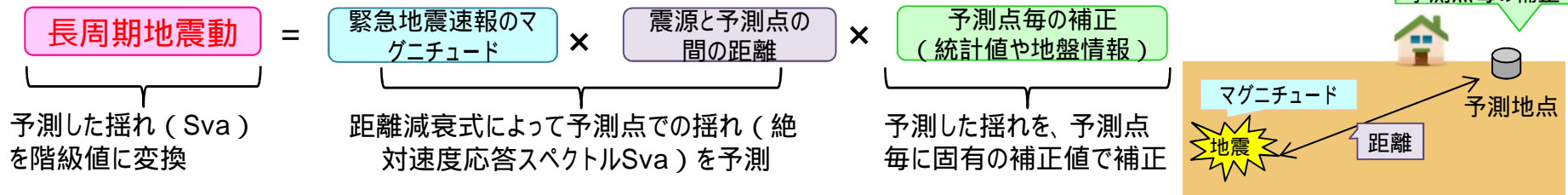
長周期地震動の予測手法について

第8回長周期地震動情報検討会資料より抜粋

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 や予測地点毎の補正值を用いて、長周期地震動階級を予測する。

距離減衰式 地震の揺れの強さと震源からの距離との関係を統計値から式に表したもの



気象庁が用いる予測式について

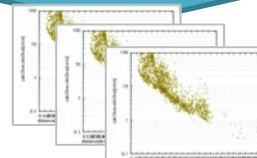
(研) 防災科学技術研究所によるSva距離減衰式を使用

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

絶対速度応答値 (Sva) = 定数c (c) + 係数a (a) × マグニチュード (M_j) - 震源距離 (R) × 係数b (b) + 予測値点毎の補正量 (siteFactor)

(T) は周期毎であることを示す

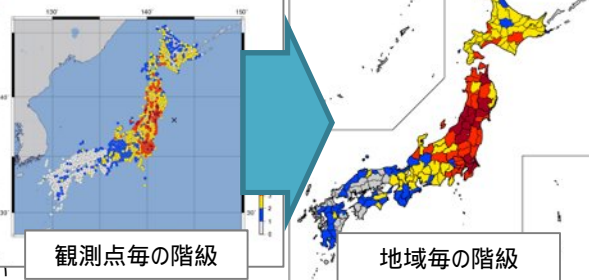
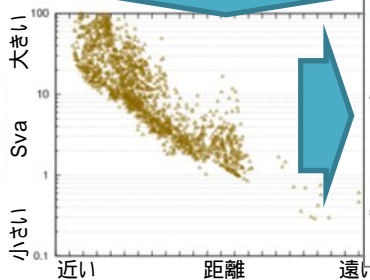
緊急地震速報の震源を用いて計算



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

補正值は以下のどちらかを使用

観測記録による補正值

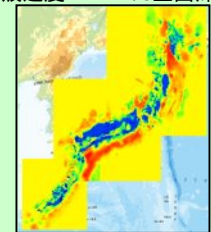
各観測点の実際の観測値から統計的に得られた補正值。

深部地盤構造による補正值

J-SHIS深部地盤構造モデルのS波速度1.4km/s上面深さから算出する補正值。

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

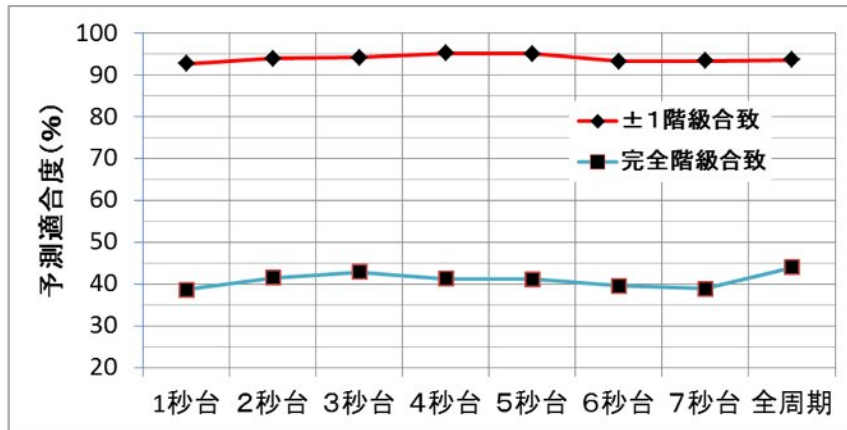
深部地盤構造モデル S波速度1.4km/s上面深さ



長周期地震動を予測する技術の確立

距離減衰式を用いた予測の適合度について

Sva距離減衰式を用いた予測結果



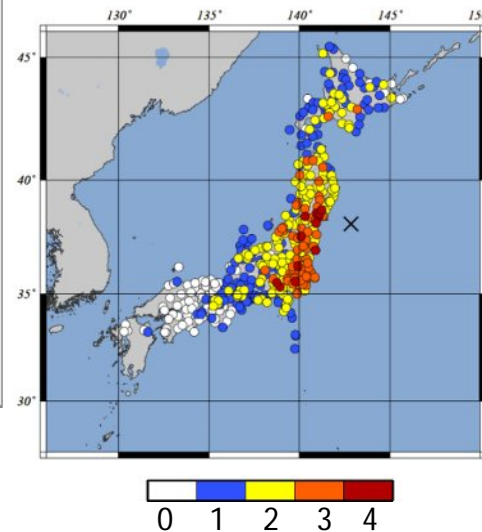
強震観測報告に掲載されたM6.0以上の地震 (1996~2013年)についての予測結果

「全周期」とは、1.6-7.8秒の周期ごとの最大値である長周期地震動階級
第4回長周期地震動予測技術検討WG資料のデータに基づき作図

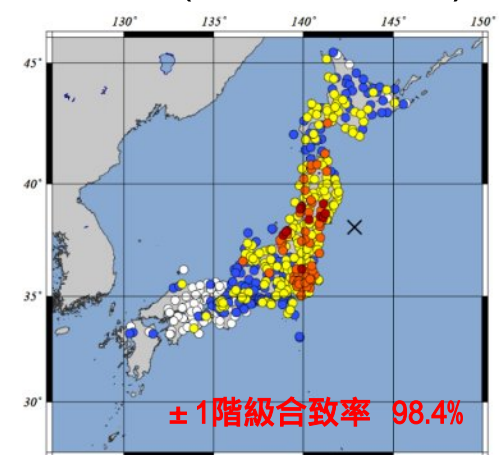
Sva距離減衰式では、観測と予測の階級が完全に一致する割合は4割程度であるが、±1以内になる割合が9割程度である。

平成23年東北地方太平洋沖地震の事例

観測値(長周期地震動階級)



予測値(長周期地震動階級)



東北地方太平洋沖地震の事例

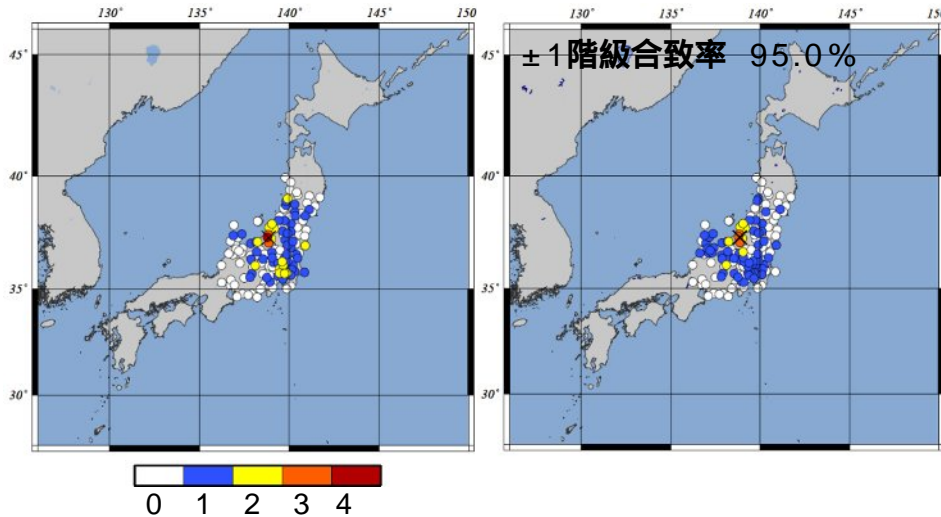
- ・Mj8.4の場合の計算では、**高い予測適合度**を示した。
- ・ただし、**Mjの推定の正確さが予測結果に影響**を与えることもわかった
- ・**巨大地震**に対する長周期地震動の予測技術については、**今後も検討を進める必要**

Sva距離減衰式で予想地点における絶対速度応答スペクトルを推定し長周期地震動階級を予想した結果、±1階級内で9割程度の予測適合度を有する

(参考) 過去の地震での長周期地震動階級予測事例

平成16年（2004年）新潟県中越地震 Mj6.8

観測値（長周期地震動階級） 予測値（長周期地震動階級）



各観測点の観測階級と予測階級（気象庁観測点）

		予測 (記録数: 149)				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	68	16	0	0	0
	階級1	10	35	1	0	0
	階級2	1	9	6	0	0
	階級3	0	0	0	2	0
	階級4	0	0	0	1	0

各予報区ごとの観測階級と予測階級

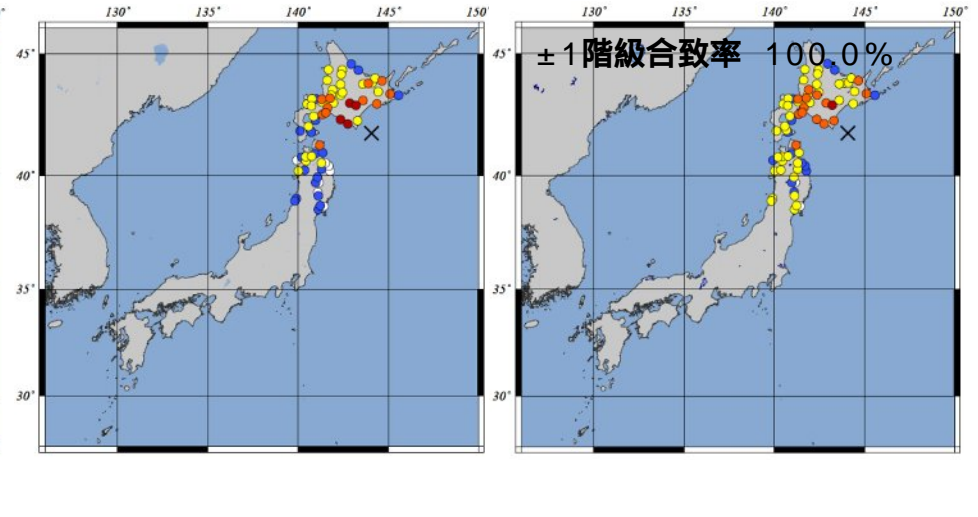
		観測階級		
		4	3	3未満
予測階級	3以上	1	0	0
	3未満	0	0	-

長周期地震動階級3以上を予測した予報区における予測震度

		予測震度		
		5弱以上	4	4未満
予測階級	3以上	1	0	0

平成15年（2003年）十勝沖地震 Mj8.0

観測値（長周期地震動階級） 予測値（長周期地震動階級）



各観測点の観測階級と予測階級（気象庁観測点）

		予測 (記録数: 69)				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	2	5	0	0	0
	階級1	0	8	12	0	0
	階級2	0	0	24	3	0
	階級3	0	0	3	8	0
	階級4	0	0	0	3	1

各予報区ごとの観測階級と予測階級

		観測階級 (予報区数)		
		4	3	3未満
予測階級数 (予報区数)	3以上	3	7	3
	3未満	0	2	-

長周期地震動階級3以上を予測した予報区における予測震度

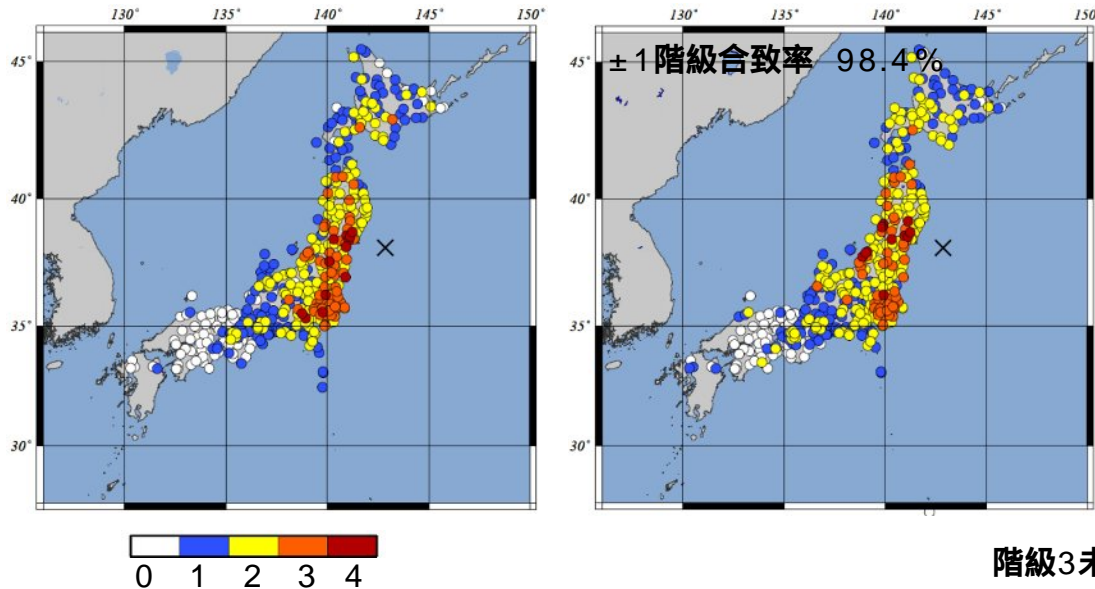
		予測震度		
		5弱以上	4	4未満
予測階級	3以上	13	0	0

(参考) 過去の地震での長周期地震動階級予測事例

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震 Mj8.4とした場合

観測値(長周期地震動階級)

予測値(長周期地震動階級)



各観測点の観測階級と予測階級(気象庁観測点)

		予測 (記録数: 449)				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	71	22	2	0	0
	階級1	6	94	35	0	0
	階級2	0	10	121	13	0
	階級3	0	0	19	38	6
	階級4	0	0	2	5	5

各予報区ごとの観測階級と予測階級

		観測階級		
		4	3	3未満
予測階級	3以上	8	20	6
	3未満	2	6	-

階級3未満を予測し、階級3以上を観測した予報区

地域	予測階級	観測階級	予測震度	観測震度	観測震度(気象庁のみ)
静岡県東部	2	4	4	5弱	5弱
山梨県東部・富士五湖	2	4	4	5強	5弱
岩手県内陸北部	2	3	6弱	6弱	5強
栃木県北部	2	3	5弱	6強	5強
十勝地方中部	2	3	4	4	4
神奈川県西部	2	3	4	5強	5弱
栃木県南部	2	3	5弱	6強	6弱
山梨県中・西部	2	3	4	5強	5弱

長周期地震動階級3以上を予測した予報区における予測震度

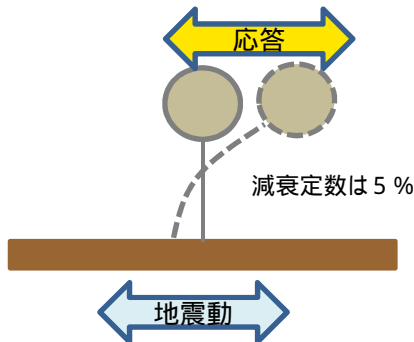
		予測震度		
		5弱以上	4	4未満
予測階級	3以上	26	7	1

(参考) 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

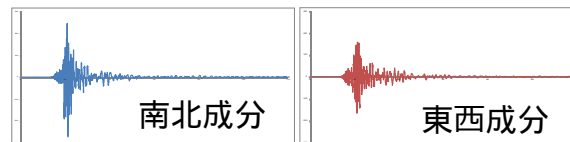
地震動を外力とした振り子の揺れで代用

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。

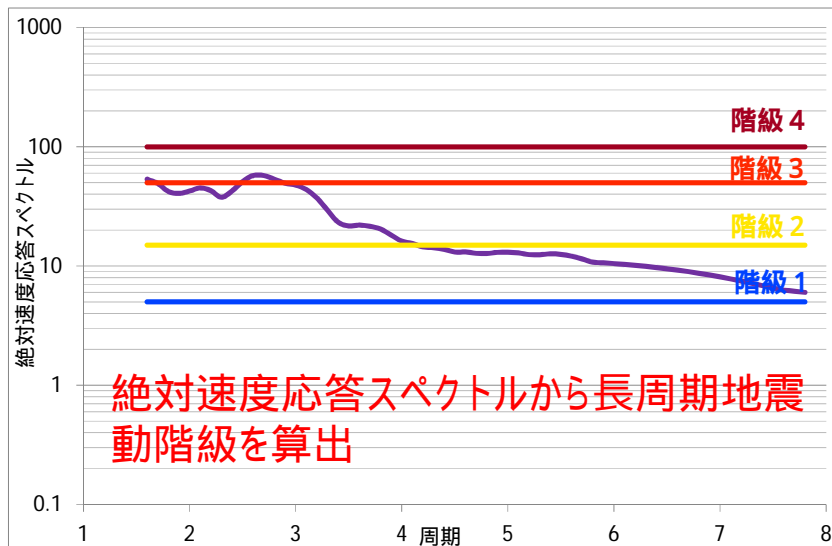
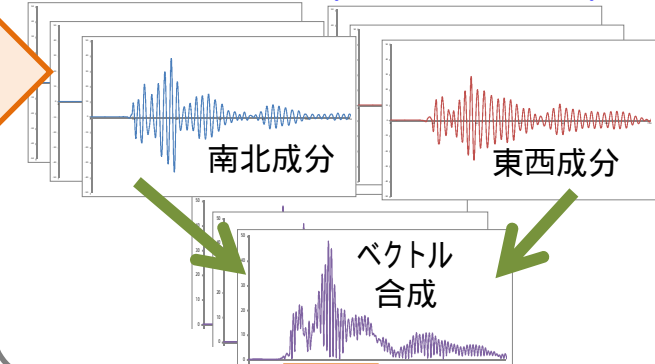
加速度波形 (地震計で観測)



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)



絶対速度応答スペクトルから長周期地震動階級を算出

【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。

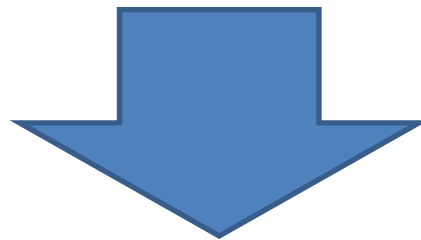
階級1	5cm/s Sva < 15cm/s
階級2	15cm/s Sva < 50cm/s
階級3	50cm/s Sva < 100cm/s
階級4	100cm/s Sva

警戒・注意を呼びかける予測情報の必要性

重大な災害が起こる恐れがある長周期地震動

- ・南海トラフ沿いの巨大地震が発生した場合、広範囲に階級3～4の長周期地震動を予想
- ・長周期地震動階級4の揺れでは、什器の移動や転倒が発生し、重大な災害が発生する恐れ

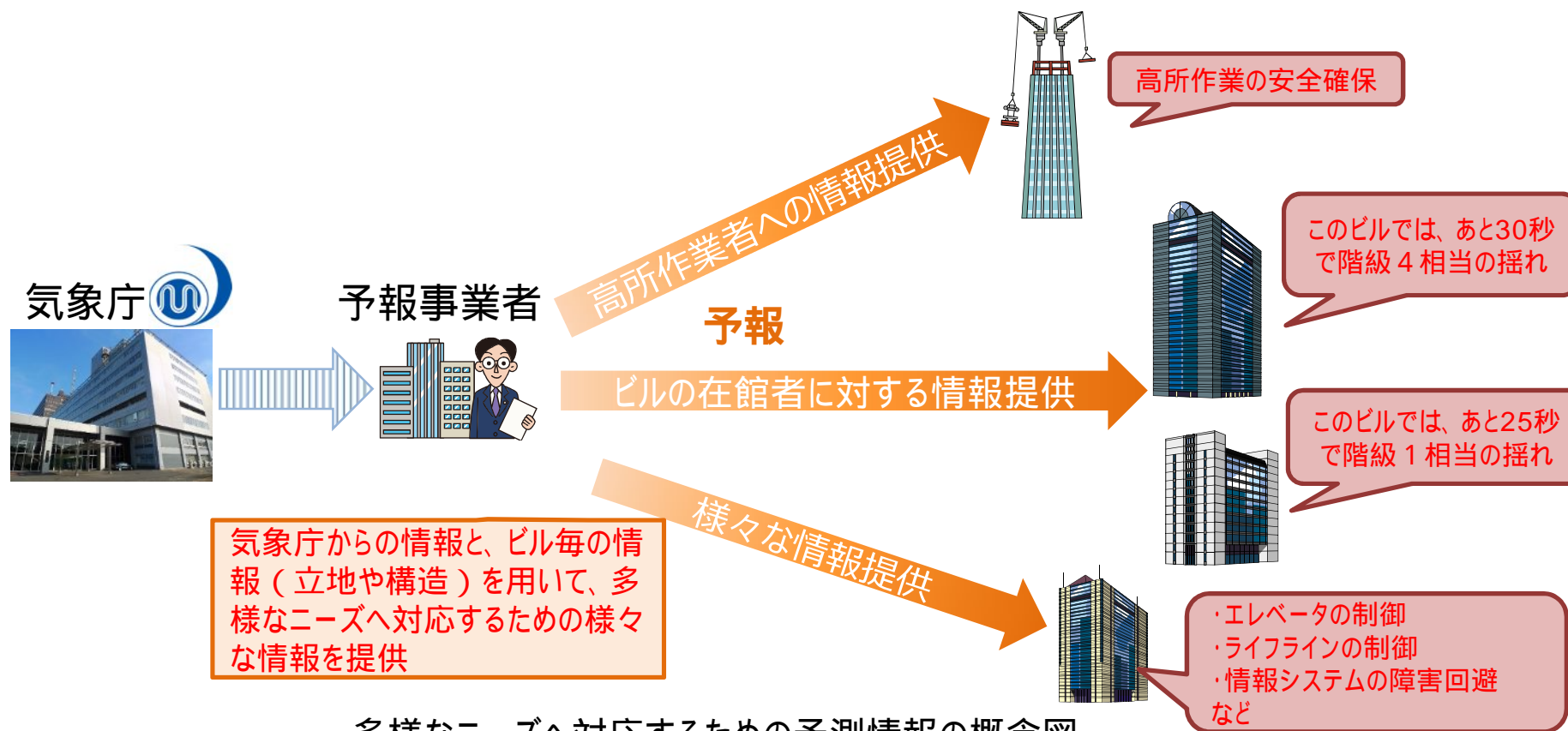
長周期地震動の影響を受ける高層ビルなどの増加
長周期地震動を予測する技術の確立



長周期地震動により**重大な災害が発生するならば、気象庁は一般に向けて警戒・注意を呼びかける予測情報を発表する必要がある。**

多様なニーズに対応するための予測情報の必要性について

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。



多様なニーズへ対応するための予測情報の概念図

個別の高層ビルに対する予測情報を、予報事業者が適切に実施できるよう、技術情報の開示や制度の整備を行う。

(参考) 事業者へのヒアリング結果

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よい。緊急地震速報と長周期地震動情報を分けずに出す方がよい（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）

長周期地震動の予測情報のあり方(案)

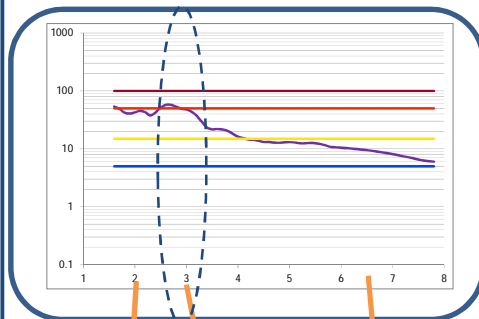
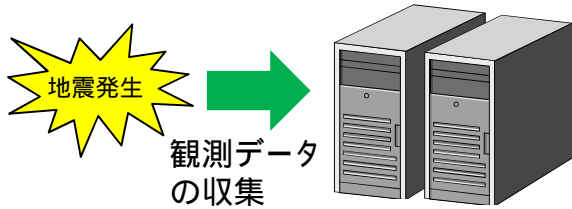
「警戒・注意を呼びかける予測情報」と「多様なニーズに対応するための予測情報」について、その目的や発表主体、内容、発表基準、主な利用方法を整理した。

目的	発表主体	内容	発表基準	主な利用方法
<p>警戒・注意を呼びかける予測情報</p> <p>重大な災害を起こす恐れがある長周期地震動に対して身の安全を確保するため、広く警戒・注意を呼びかける</p>	<p>気象庁が発表</p>	<p>長周期地震動により重大な災害が起こる恐れがあることを発表</p>	<p>長周期地震動により重大な災害が起こる恐れがあると予測された地域に対して発表。</p>	<p>身の安全を確保するため、広く一般に伝達</p>
<p>多様なニーズに対応するための予測情報</p> <p>ビルごとの揺れの予測や機器制御等の多様なニーズに応じて利用する</p>	<p>予報事業者が多様なニーズに応じた情報を発表</p>	<p>気象庁からの情報と、ビルごとの情報（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発表</p>	<p>多様なニーズに応じて発表</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・在館者への揺れの大きさや猶予時間などの情報提供 ・高所作業の安全確保 ・エレベータやライフラインなどの機器制御 ・情報システムの障害回避など

長周期地震動の予測情報のあり方(案)

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。



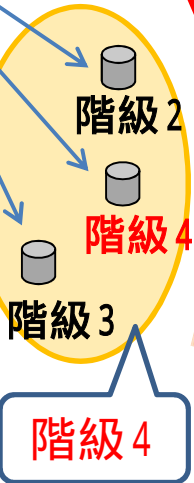
周期2秒で
階級2相当

周期3秒で
階級3相当

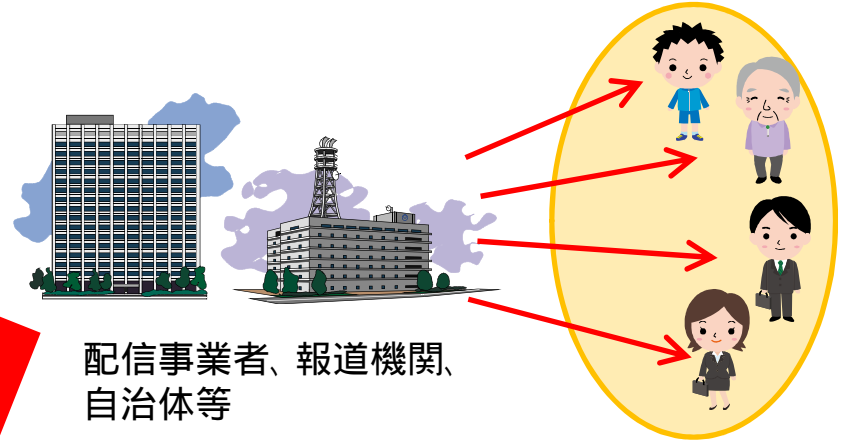
周期7秒で
階級1相当

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の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



配信事業者、報道機関、自治体等

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ための予測情報



予報事業者

予報

高所作業者への情報提供

ビルの在館者に対する情報提供

様々な情報提供

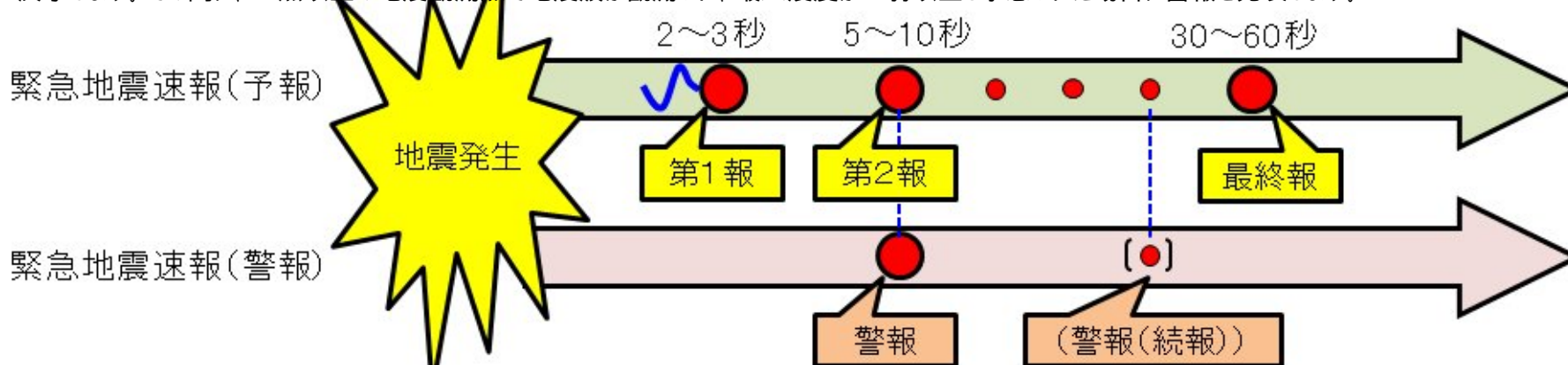
建物の高さ、構造、地盤のデータ等

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

(参考) 現行の緊急地震速報の警報と予報について

緊急地震速報には、大きく分けて「警報」と「予報」の2種類があります。

気象庁は緊急地震速報(予報)として下図のように地震を検知してから数秒~1分程度の間回数(5~10回程度)発表します。第1報は迅速性を優先し、その後提供する情報の精度は徐々に高くなっていきます。ほぼ精度が安定したと考えられる時点で最終報を発表し、その地震に対する緊急地震速報の提供を終了します。その間に、2点以上の地震観測点で地震波が観測され、最大震度が5弱以上と予想された場合に警報を発表します。



1. 緊急地震速報(予報)の内容

- ・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)

例: 地震発生時刻: 01時25分14.0秒 発生場所 北緯32.7 東経130.8 深さ10km M5.9

予想最大震度: 東京23区 震度4 到達予想時刻01時25分18.0秒

神奈川県北西部 震度3から4程度 到達予想時刻01時25分21.0秒

※緊急地震速報(警報)のうち震度6弱以上の大きさの地震動が予想される場合を「特別警報」に位置付けます。

2. 緊急地震速報(警報)の内容

- ・地震の発生時刻、発生場所(震源)の推定値、地震発生場所の震央地名
- ・強い揺れ(震度5弱以上)が予想される地域及び震度4が予想される地域名(全国を約200地域に分割)

例: 地震発生時刻: 01時25分14.0秒 発生場所 北緯32.7 東経130.8

強い揺れが予想される地域: 東京23区

警報では、予想震度や猶予時間を伝えていない(予想技術、予報エリア、伝達上の制約等のため)