

# 距離減衰式を用いた長周期地震動 予測に関する検討について

気象庁地震火山部地震津波監視課

# 各距離減衰式を用いた予測の 手法とデータ

# 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><sub>1)</sub>

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

<内陸地震><sub>2)</sub>

$$\log_{10} Saa(T) = a(T)M_w + b(T)R - \log_{10}(R^{p(T)} + d(T)10^{0.5M_w}) + c_0(T) + c_j(T)$$

## 防災科研式<sub>3)</sub>

$$\log_{10} Saa(T) = a_1(T)(M_{w1'} - M_{w1})^2 + b_{1k}(T)R + c_{1k}(T) - \log_{10}(R + d_1(T)10^{e_1 M_{w1'}}) + G_d(T) + G_s(T)$$

$$M_{w1'} = \min(M_w, M_{w01}) \quad G_d(T) = p_d(T)\log_{10}[\max(D_{lmin}(T), D)/D_0] \quad G_s(T) = p_s(T)\log_{10}[\min(V_{smax}(T), V_s)/V_0]$$

## 内閣府式<sub>4)</sub>

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

## 防災科研式<sub>5)</sub>

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

Site Factor: 観測点補正值or深部地盤モデルによる補正 d: 最大値の系統的なずれ

Rは断層最短距離(防災科研式の場合は震央距離)を表す。

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

1)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 日本地震工学会論文集 第12巻、第4号(特集号)、2012

2)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暦波形の作成 日本建築学会構造系論文集 2010年3月号

3)Nobuyuki Morikawa, and Hiroyuki Fujiwara, A New Ground Motion Prediction Equation for Japan Applicable up to M9 Mega-Earthquake, Journal of Disaster Research Vol.8, No.5, 2013

4)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、日本地震工学会論文集 第11巻、第1号、2011

5)長周期地震動予測技術検討ワーキンググループ第3回資料

## 検討に用いた応答スペクトルの距離減衰式の特徴

### 各式の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 6.0	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%	Mw 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 記録数: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%	Mw 5.5	地殻内: 20km プレート境界: 60km	記述なし	地震数:17
防災科研式	絶対速度応答スペクトルSva (周期1秒から周期10秒ま で),減衰定数5%	Mj 6.3	50 km	800km	地震数:36 記録数:12513

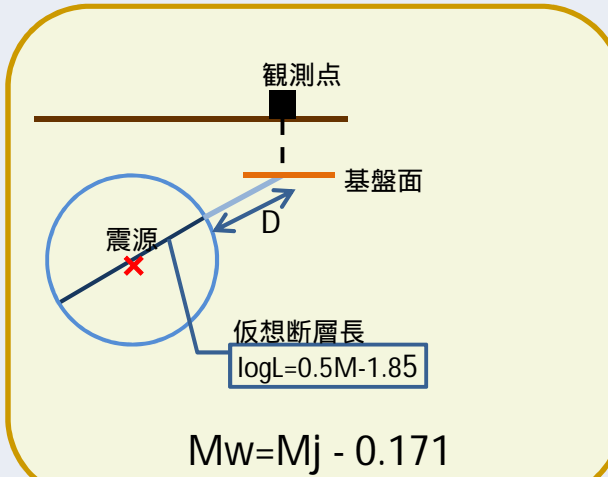
防災科研式 のみが平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震を距離減衰式推定に利用

# 検討に用いた応答スペクトルの距離減衰式の特徴

## 各式の特徴

式	対象地震	マグニチュード	距離	距離係数の区別	式の算出方法	観測点補正手法
建築研式	海溝型地震	Mw 頭打ち有 (二次式)	断層最短距離 頭打ち有	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。	地震基盤相当の観測点1点を基準とし、周期別の係数を算出。求められた式に対する各観測点の増幅率を求める。	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值を作成。
	内陸地震	Mw 頭打ち無 (一次式)	断層最短距離 頭打ち有	無 (今回は内陸地震の係数のみ使用)	上に同じ	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	Mw 頭打ち有 (二次式に加えて、Mw8.2以上の場合 Mw8.2とする)	断層最短距離 頭打ち有	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。	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周期別の係数を算出。求められた式に対する補正值を地盤モデルより求める。	深部地盤モデル(Vs1.4km)と表層地盤モデル(AVS30)により補正 (J-SHIS 深部地盤モデルv2)
内閣府式	海溝型地震 内陸地震	Mw利用 無(一次式)	断層最短距離 頭打ち無	有 海溝型地震と内陸型地震で周期別の定数項を変える。	海溝型地震と内陸地震に区別して周期別の係数を算出。求められた式に対する補正值を地盤モデルにより求める。	深部地盤一次固有周期により補正
防災科研式	海溝型地震 内陸地震	Mj 利用 無(一次式)	震源距離 頭打ち無	無	周期別の係数を算出し、求められた式に対する各観測点の補正值を算出。(地盤モデルによる補正值も算出)さらに最大値の系統的なずれを補正值とする。	・観測点でのデータによる補正 ・求められていない観測点は深部地盤モデル(Vs1.4km/s)により補正 (J-SHIS 深部地盤モデルv2)

# 本検討での各距離減衰式を用いた絶対速度応答スペクトルの計算方法

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	防災科研式を除いて、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。防災科研式は $M_j$ をそのまま利用。
断層最短距離の計算	<p>防災科研式を除いて、各距離減衰式では距離として断層最短距離を利用しているため、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。震源距離が断層長の1/2より近い場合3km以内の観測点については、断層最短距離を3kmと設定する。防災科研式は震源距離を利用。</p>  <p style="text-align: center;"><math>M_w = M_j - 0.171</math></p>
長周期地震動階級や周期帯ごとの長周期地震動階級データの最大値の算出に用いた計算値	<p>建築研式と防災科研式：擬似速度応答スペクトル <math>pS_{va}</math> を <math>S_{va}</math> とみなす (<math>pS_{va}</math> は絶対加速度応答スペクトル <math>S_{aa}</math> から算出)</p> <p>内閣府式：相対速度応答スペクトル <math>S_{vr}</math> を <math>S_{va}</math> とみなす</p> <p>防災科研式：計算した <math>S_{va}</math> をそのまま</p> <p>長周期地震動階級および周期1秒台～7秒台の値は、周期0.2秒ごとの長周期地震動階級データの最大値に基づき計算。</p>
地域の長周期地震動階級の計算	全国を188に区分した地域を用い、地域内の観測点（気象庁および防災科研K-NET, KiK-net)での最大の長周期地震動階級の予測値または周期帯ごとの最大の予測値を地域の値として用いる。

検討に用いた観測点について

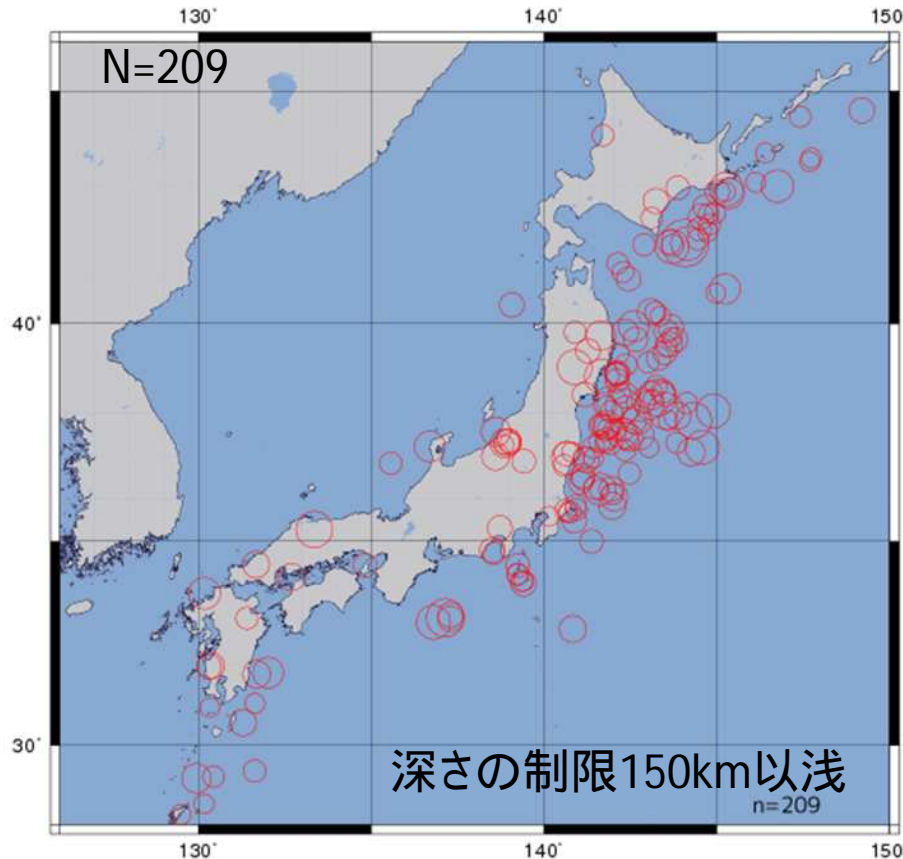
- ・内閣府式では、深部地盤一次固有周期モデルが、沖縄県内および鹿児島県奄美地方については作成されていないため、沖縄県内および鹿児島県奄美地方の観測点は予測対象から除外した。
- ・建築研式では、サイト補正係数が作成出来ない、回帰の対象とした地震を観測していない観測点は予測対象から除外した。

# 検討に利用した地震について

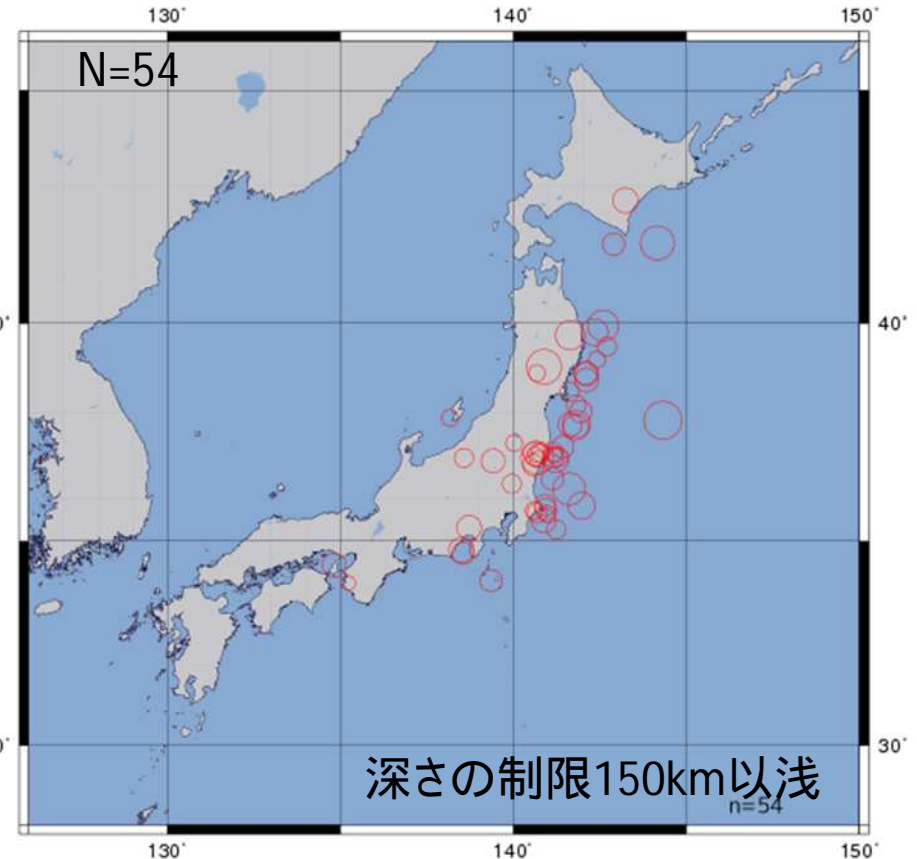
本調査では、下記の2種のデータセットを用いて検討

データセット1: 強震観測報告に掲載された  
M6.0以上の地震(1996~2013年)

震源は気象庁が事後に決定している値を利用



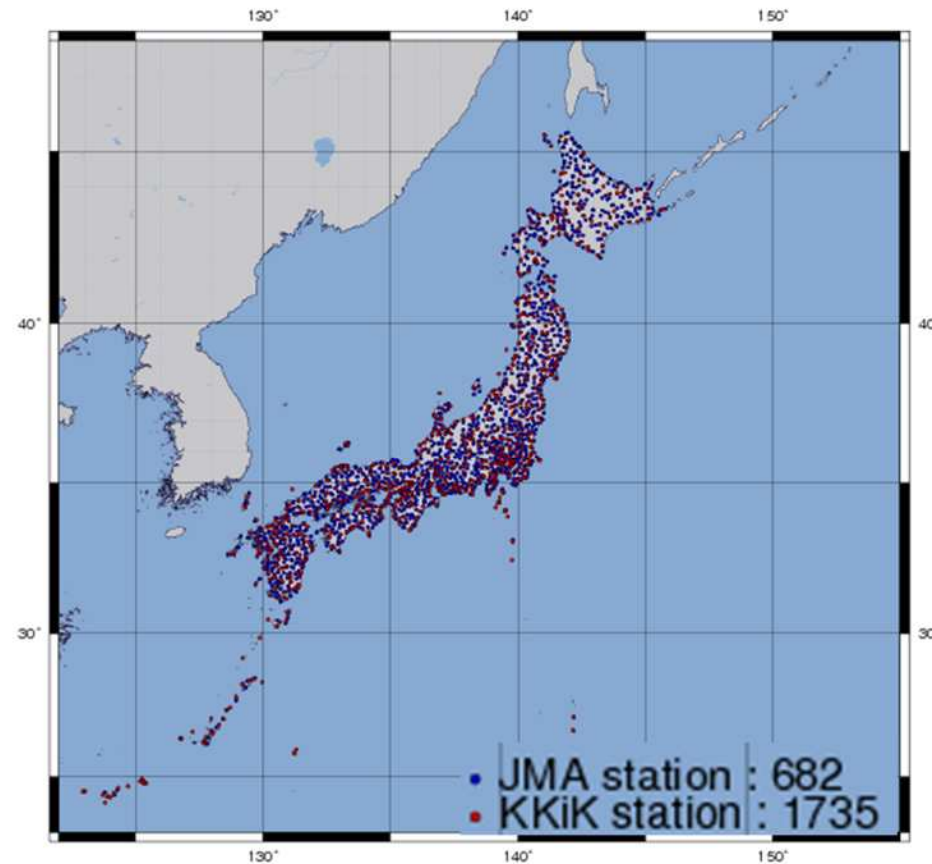
データセット2: 緊急地震速報(警報)を発表した地震(2008~2013年、M5.5以上)



平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震については対象外(データ数に占める割合が多くなるため)  
2011/3/11の上記本震以降の地震は連続的に発生しており対象外

## 検討に利用した観測点について

- ・気象庁震度観測点
- ・防災科学技術研究所の強震観測網 (K-NETとKiK-netの地表観測点)





## 予測適合度の考え方

階級値 (固有周期1.6-7.8sのうちの最大Svaに基づく階級) および、各周期ごとの階級データの最大値とともに、 $\pm 1$ 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

### $\pm 1$ 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 $\pm 1$ 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					

# 各距離減衰式を用いた予測の検討

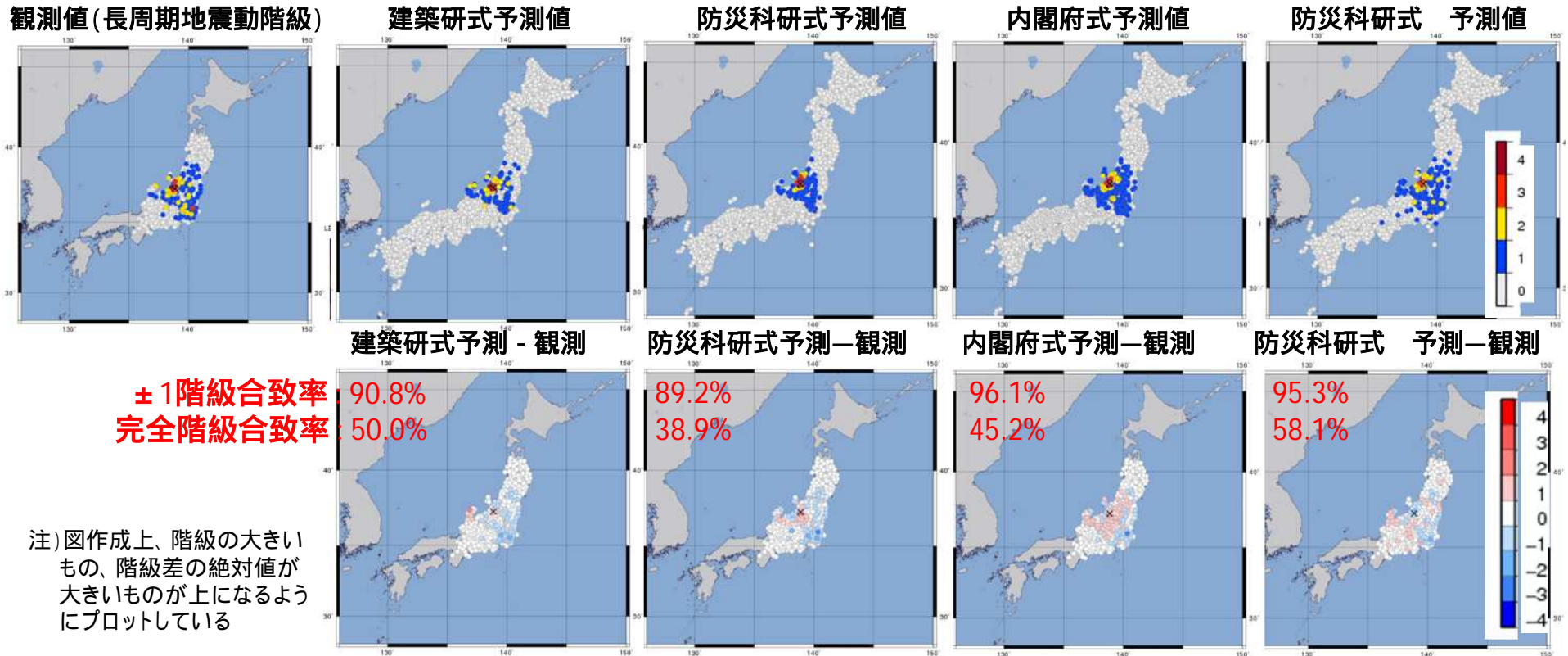
本項の震源データは、データセット1

強震観測報告に掲載されたM6.0以上の地震(1996～2013年)

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震については対象外

# データセット1での顕著な地震での各式ごとの比較

平成16年(2004年)新潟県中越地震 Mj6.8 長周期地震動階級(1.6-7.8sでの最大値)を各観測点でプロット



建築研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	503	9	1	0	0
	階級1	81	101	1	0	0
	階級2	5	24	21	1	0
	階級3	0	0	2	3	2
	階級4	0	0	0	2	3

防災研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	487	28	0	0	0
	階級1	88	94	2	0	0
	階級2	4	34	8	3	2
	階級3	1	0	1	1	4
	階級4	0	0	0	1	4

内閣府式

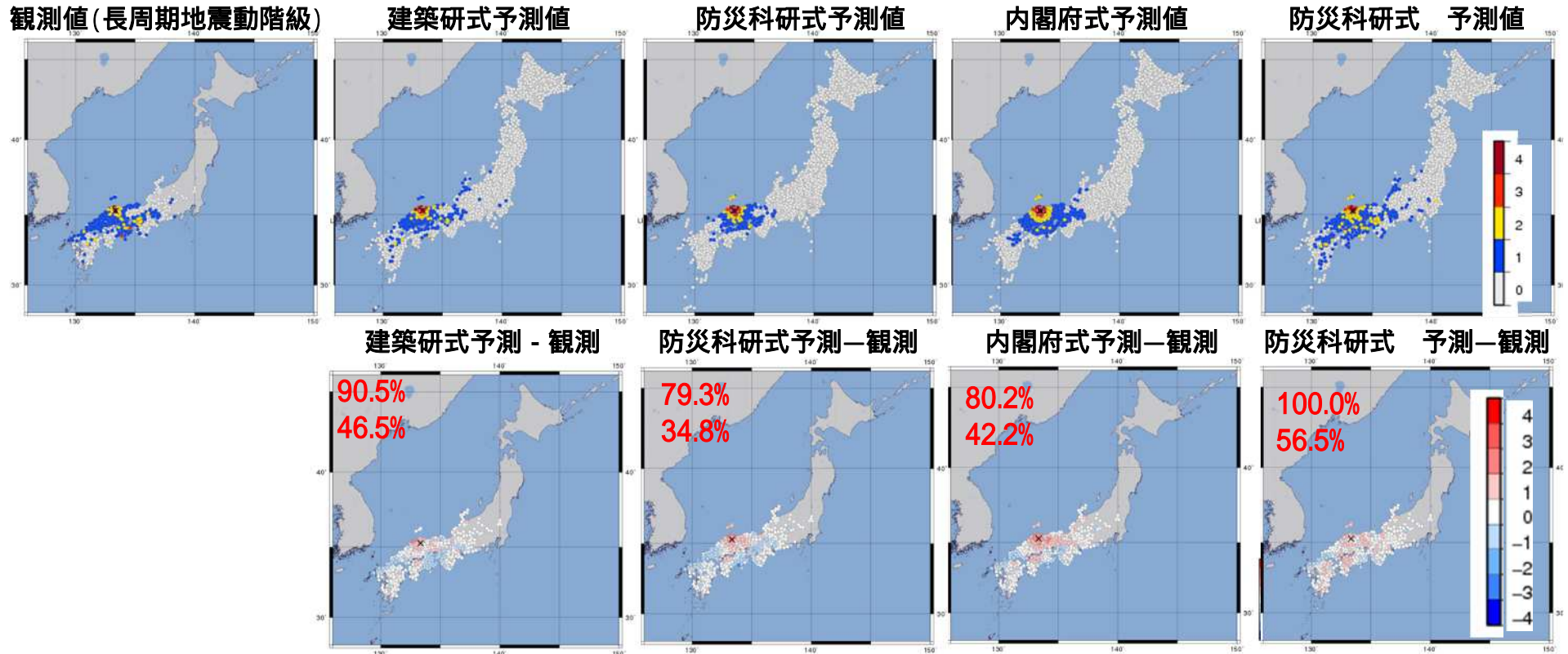
		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	421	93	1	0	0
	階級1	40	132	12	0	0
	階級2	0	30	17	3	1
	階級3	1	0	1	1	4
	階級4	0	0	0	1	4

防災研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	461	54	0	0	0
	階級1	34	149	1	0	0
	階級2	2	25	23	1	0
	階級3	0	0	4	3	0
	階級4	0	0	1	4	0

# データセット1での顕著な地震での各式ごとの比較

平成12年(2000年)鳥取県西部地震 Mj7.3 長周期地震動階級(1.6-7.8sでの最大値)を各観測点でプロット



90.5%  
46.5%

建築研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	289	25	0	0	0
	階級1	102	139	19	0	0
	階級2	0	19	16	7	6
	階級3	0	1	2	1	0
	階級4	0	0	0	1	2

防災研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	284	32	0	0	0
	階級1	117	112	32	0	0
	階級2	4	20	6	6	12
	階級3	1	1	0	0	2
	階級4	0	0	0	0	3

内閣府式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	234	79	3	0	0
	階級1	61	157	41	2	0
	階級2	1	21	8	6	12
	階級3	0	2	0	0	2
	階級4	0	0	0	0	3

防災研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	248	68	0	0	0
	階級1	43	180	38	0	0
	階級2	0	5	32	11	0
	階級3	0	0	2	2	0
	階級4	0	0	0	0	3

# データセット1での顕著な地震での各式ごとの比較

平成17年3月20日の福岡県西方沖の地震 Mj7.0  
 長周期地震動階級(1.6-7.8sでの最大値)を各観測点でプロット

観測値(長周期地震動階級)

建築研式予測値

防災科研式予測値

内閣府式予測値

防災科研式 予測値

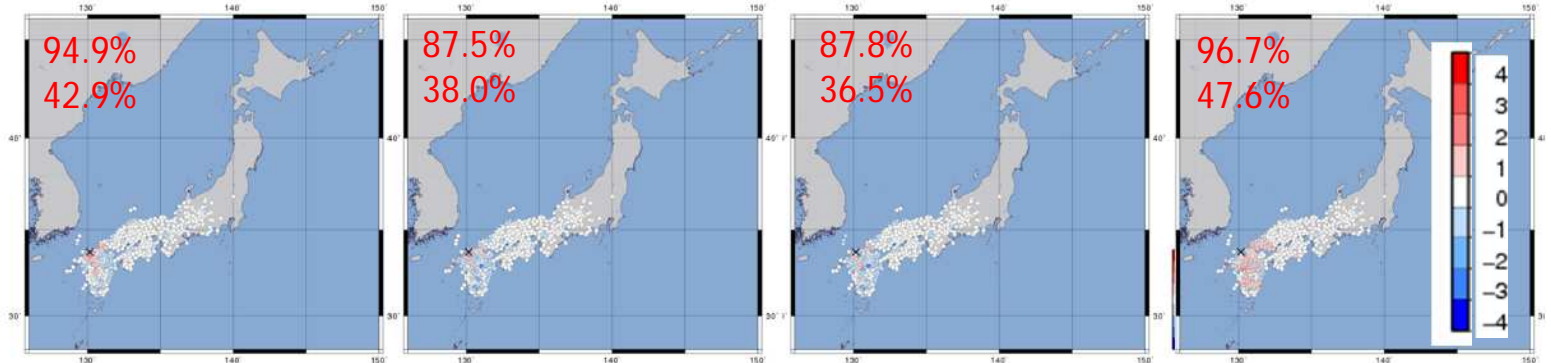


建築研式予測 - 観測

防災科研式予測-観測

内閣府式予測-観測

防災科研式 予測-観測



建築研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	507	10	0	0	0
	階級1	56	58	7	0	0
	階級2	0	10	11	6	2
	階級3	0	0	0	0	1
	階級4	0	0	0	1	1

防災科研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	516	10	0	0	0
	階級1	71	58	5	0	0
	階級2	3	18	9	1	1
	階級3	0	0	0	1	0
	階級4	0	1	0	1	0

内閣府式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	514	12	0	0	0
	階級1	71	57	6	0	0
	階級2	3	18	9	2	0
	階級3	0	0	1	0	0
	階級4	0	1	1	0	0

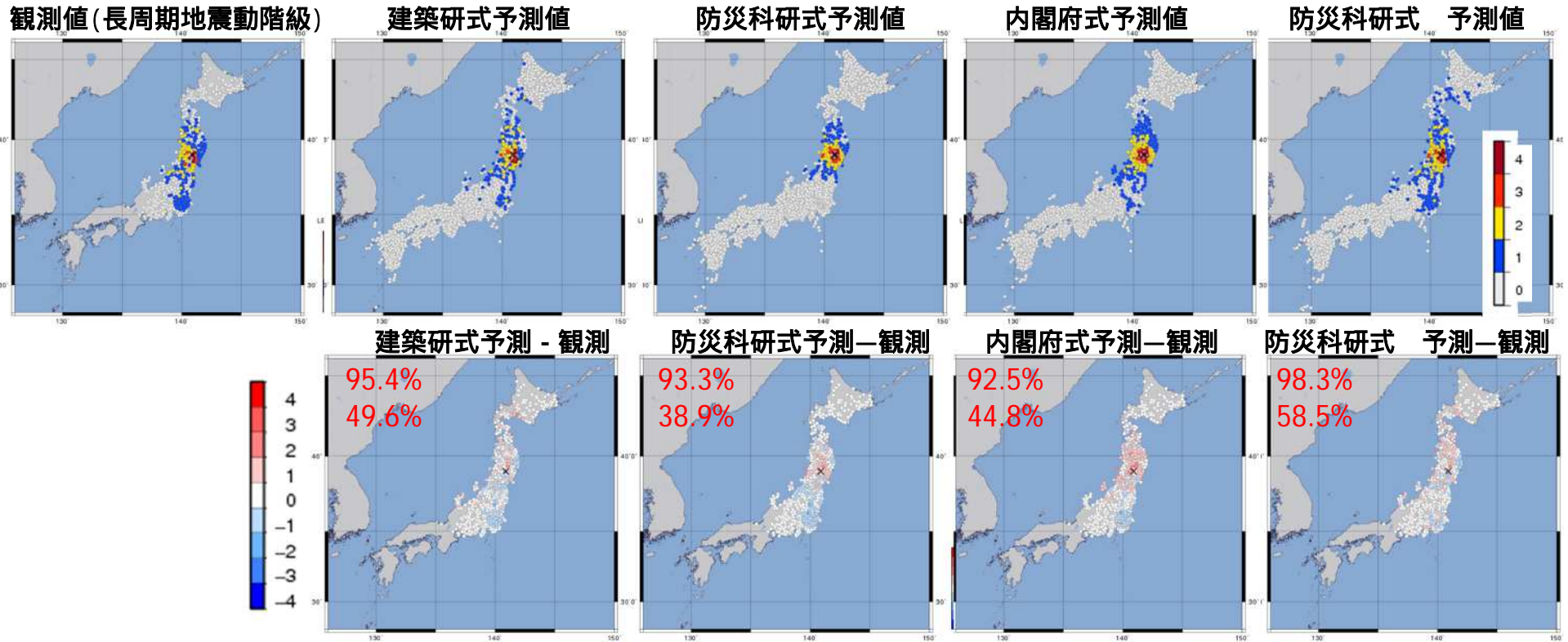
防災科研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	467	57	1	0	0
	階級1	23	86	25	0	0
	階級2	0	7	22	3	0
	階級3	0	0	1	0	0
	階級4	0	0	1	1	0



# データセット1での顕著な地震での各式ごとの比較

平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震 Mj7.2  
 長周期地震動階級(1.6-7.8sでの最大値)を各観測点でプロット



**建築研式**

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	420	45	1	0	0
	階級1	97	154	20	0	0
	階級2	2	22	42	4	1
	階級3	0	0	3	1	4
	階級4	0	0	1	4	4

**防災科研式**

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	447	20	1	0	0
	階級1	141	102	30	1	0
	階級2	3	20	38	7	3
	階級3	0	0	3	3	2
	階級4	0	0	0	3	6

**内閣府式**

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	390	76	2	0	0
	階級1	69	148	56	1	0
	階級2	1	16	40	7	7
	階級3	0	0	3	2	3
	階級4	0	0	0	2	7

**防災科研式**

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	394	73	1	0	0
	階級1	46	198	30	0	0
	階級2	0	15	50	5	1
	階級3	0	0	2	4	2
	階級4	0	0	0	6	3

# データセット1での顕著な地震での各式ごとの比較

長周期地震動階級(1.6-7.8sでの最大値)を各観測点でプロット

## 平成16年9月5日の東海道沖の地震 Mj7.4

観測値(長周期地震動階級)

建築研式予測値

防災科研式予測値

内閣府式予測値

防災科研式 予測値

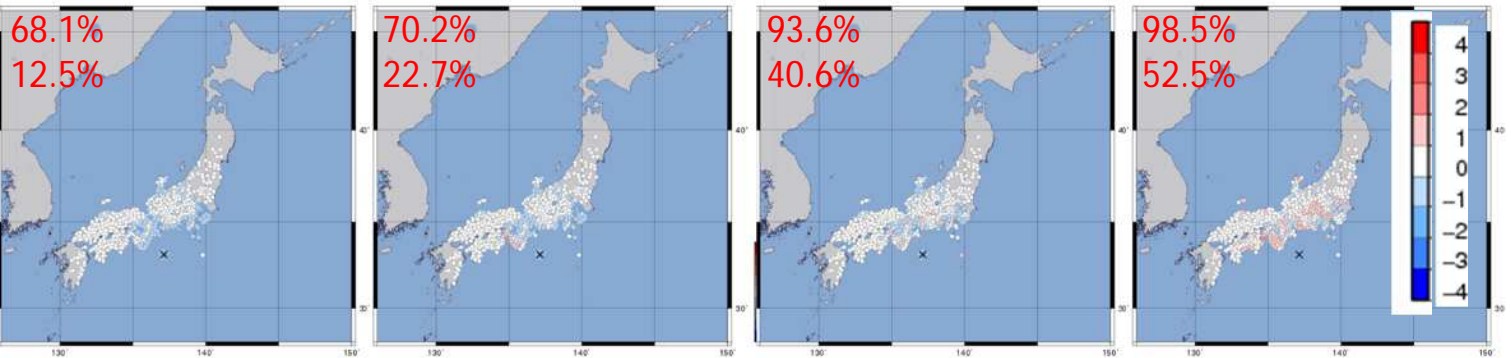


建築研式予測 - 観測

防災科研式予測 - 観測

内閣府式予測 - 観測

防災科研式 予測 - 観測



建築研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	683	0	0	0	0
	階級1	163	30	0	0	0
	階級2	14	32	0	0	0
	階級3	0	1	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

防災科研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	669	14	0	0	0
	階級1	136	58	0	0	0
	階級2	13	33	0	0	0
	階級3	0	1	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

内閣府式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	658	25	0	0	0
	階級1	86	108	0	0	0
	階級2	3	43	0	0	0
	階級3	0	0	1	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

防災科研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	600	82	1	0	0
	階級1	32	144	18	0	0
	階級2	0	20	26	0	0
	階級3	0	0	1	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

# データセット1での顕著な地震での各式ごとの比較

長周期地震動階級(1.6-7.8sでの最大値)を各観測点でプロット

平成17年8月16日の宮城県沖の地震 Mj7.2

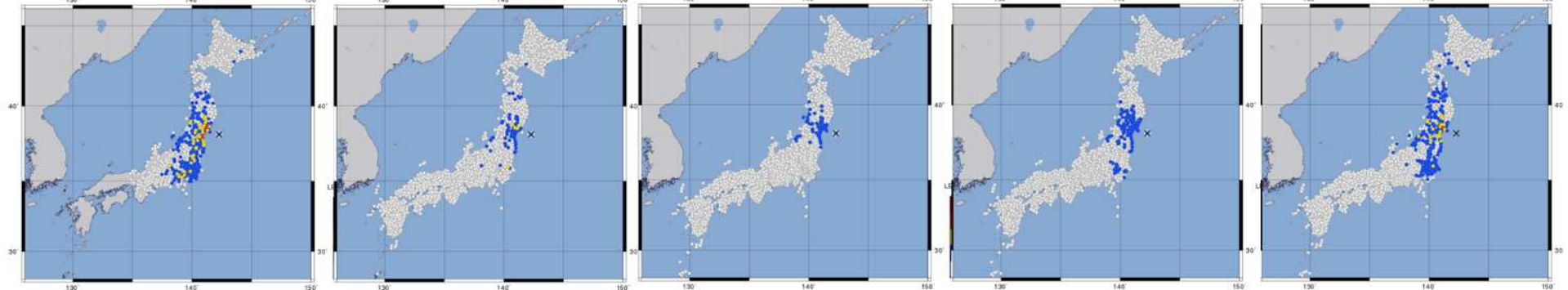
観測値(長周期地震動階級)

建築研式予測値

防災科研式予測値

内閣府式予測値

防災科研式 予測値



建築研式予測 - 観測

69.8%  
10.7%

防災科研式予測 - 観測

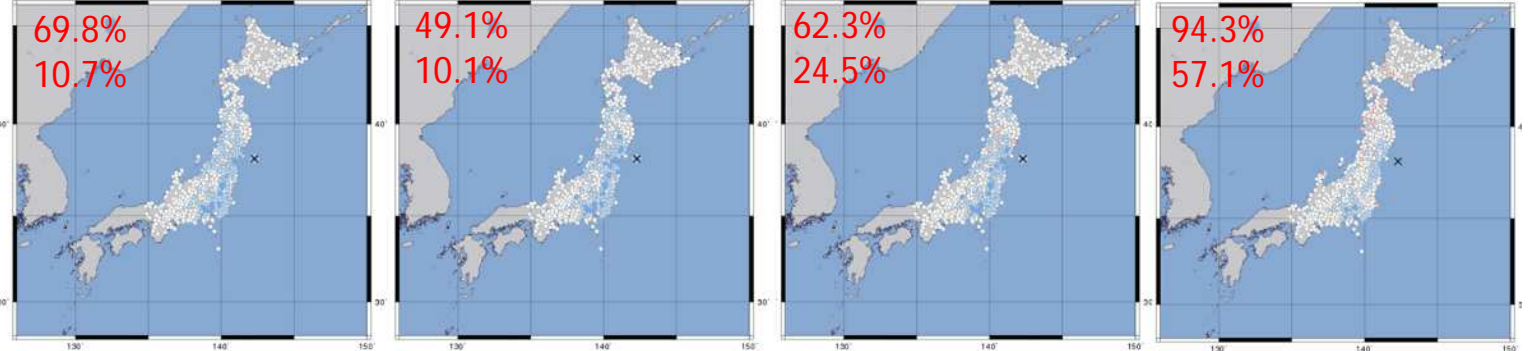
49.1%  
10.1%

内閣府式予測 - 観測

62.3%  
24.5%

防災科研式 予測 - 観測

94.3%  
57.1%



建築研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	704	1	0	0	0
	階級1	284	37	0	0	0
	階級2	14	32	3	0	0
	階級3	0	2	2	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

防災科研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	704	2	0	0	0
	階級1	283	38	0	0	0
	階級2	23	26	0	0	0
	階級3	0	4	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

内閣府式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	693	13	0	0	0
	階級1	226	95	0	0	0
	階級2	16	33	0	0	0
	階級3	0	4	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

防災科研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	674	32	0	0	0
	階級1	108	213	0	0	0
	階級2	3	28	18	0	0
	階級3	0	0	3	1	0
	階級4	0	0	0	0	0



# データセット1での顕著な地震での各式ごとの比較

長周期地震動階級(1.6-7.8sでの最大値)を各観測点でプロット

## 平成20年9月11日の十勝沖の地震 Mj7.1

観測値(長周期地震動階級)

建築研式予測値

防災科研式予測値

内閣府式予測値

防災科研式 予測値

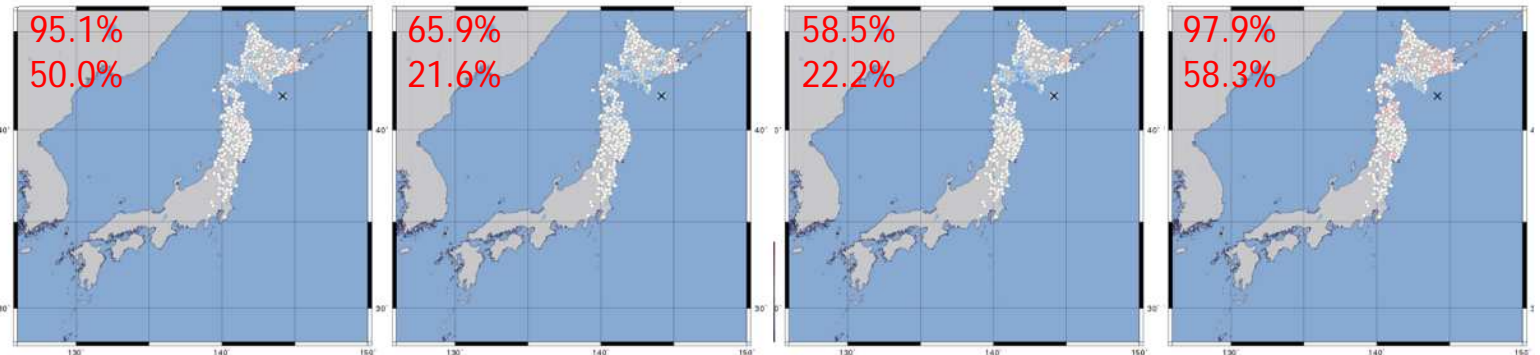


建築研式予測 - 観測

防災科研式予測 - 観測

内閣府式予測 - 観測

防災科研式 予測 - 観測



建築研式

防災科研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	325	11	0	0	0
	階級1	43	77	0	0	0
	階級2	0	28	9	0	0
	階級3	0	2	2	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	334	6	0	0	0
	階級1	84	36	0	0	0
	階級2	10	27	0	0	0
	階級3	0	4	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

内閣府式

防災科研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	334	6	0	0	0
	階級1	83	37	0	0	0
	階級2	13	24	0	0	0
	階級3	0	4	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	297	43	0	0	0
	階級1	11	103	6	0	0
	階級2	0	21	16	0	0
	階級3	0	1	3	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

# データセット1を顕著な地震での各式ごとの比較

平成15年(2003年)十勝沖地震 Mj8.0

長周期地震動階級(1.6-7.8sでの最大値)を各観測点でプロット

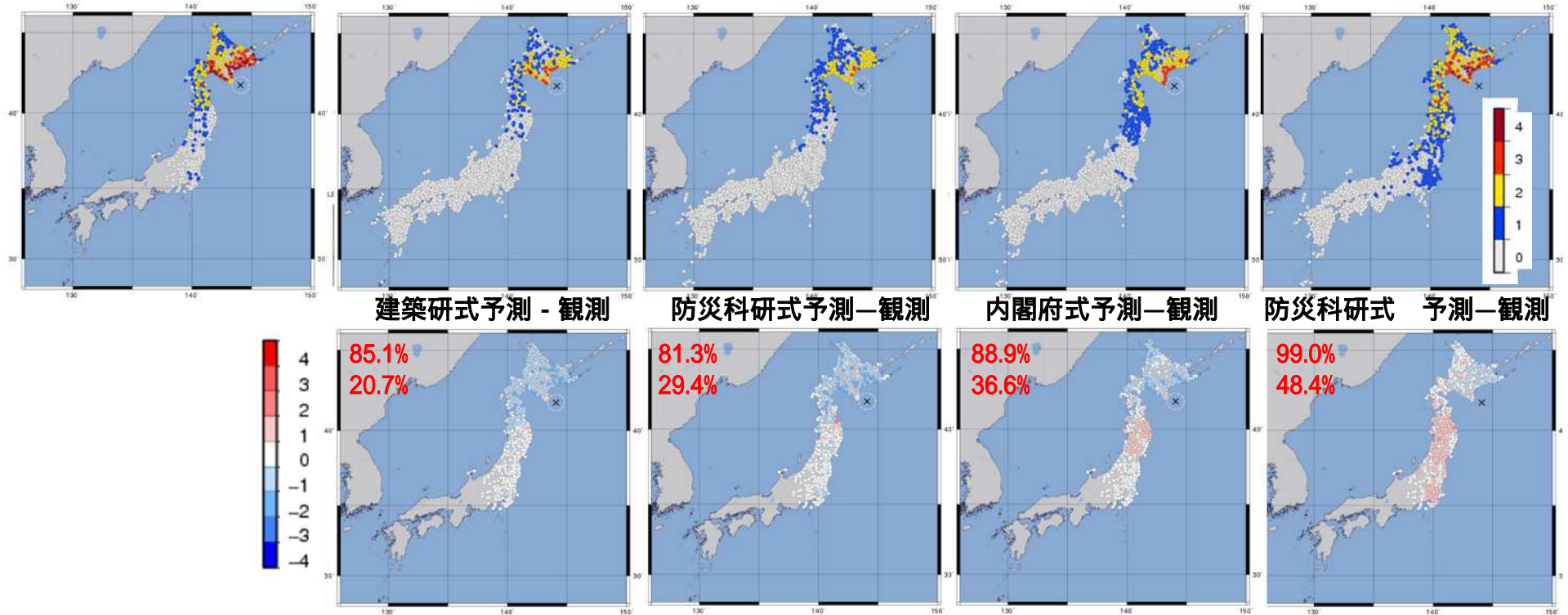
観測値(長周期地震動階級)

建築研式予測値

防災科研式予測値

内閣府式予測値

防災科研式 予測値

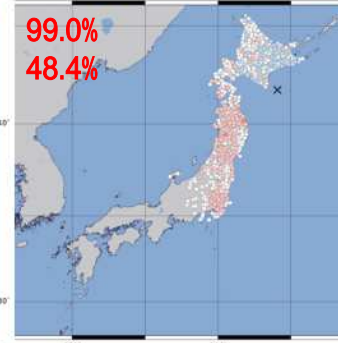
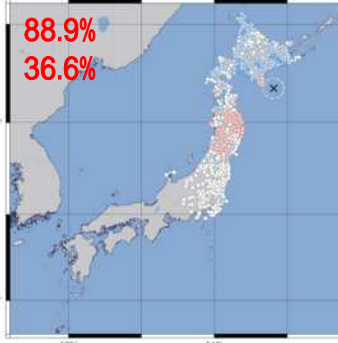
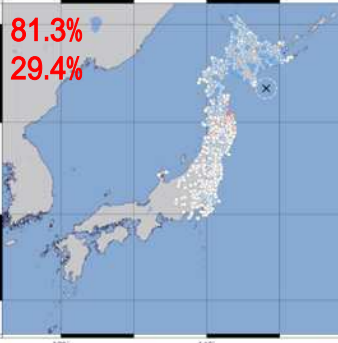
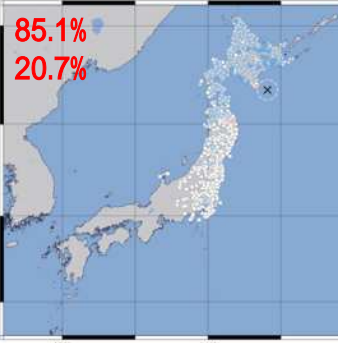


建築研式予測 - 観測

防災科研式予測-観測

内閣府式予測-観測

防災科研式 予測-観測



建築研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	308	4	0	0	0
	階級1	110	48	0	0	0
	階級2	8	110	34	1	0
	階級3	0	9	52	2	0
	階級4	0	0	20	12	1

防災科研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	301	10	2	0	0
	階級1	62	96	3	0	0
	階級2	7	120	29	0	0
	階級3	0	10	53	0	0
	階級4	0	0	29	4	0

内閣府式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	226	87	0	0	0
	階級1	32	120	9	0	0
	階級2	5	89	58	4	0
	階級3	0	2	56	5	0
	階級4	0	0	22	11	0

防災科研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	145	166	2	0	0
	階級1	0	110	51	0	0
	階級2	0	18	123	15	0
	階級3	0	0	28	35	0
	階級4	0	0	1	19	13

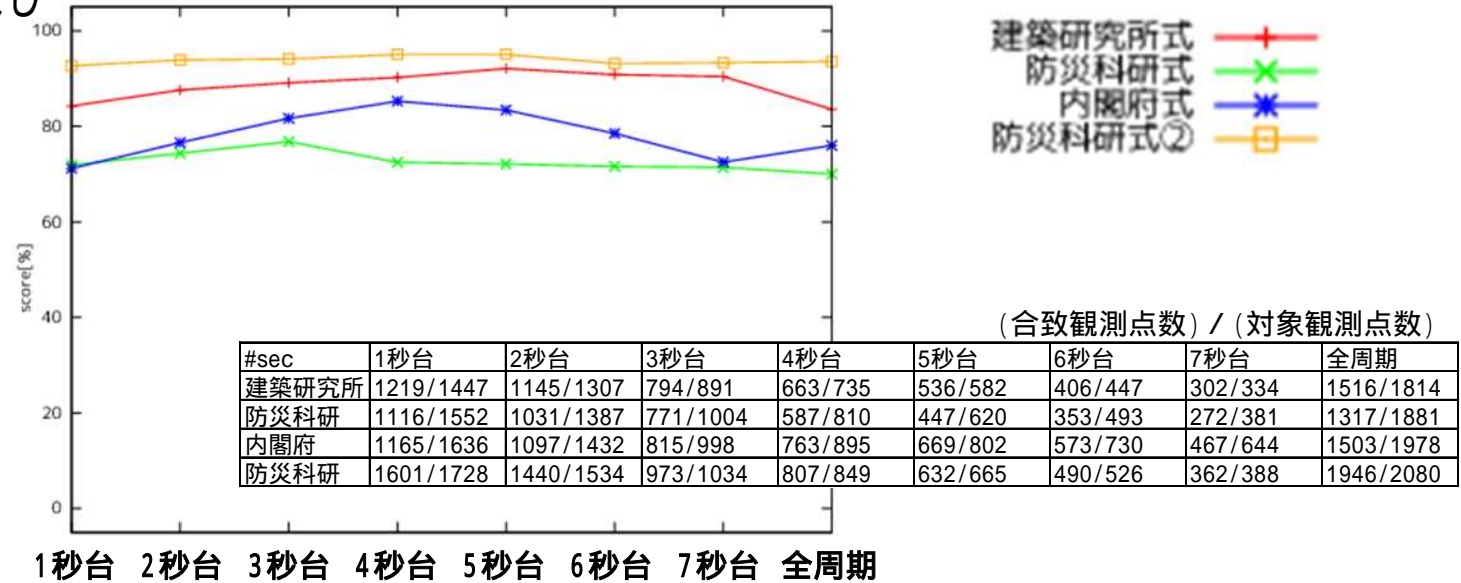
# データセット1を利用した長周期地震動予測の検討

予測適合度: ±1階級合致  
震源データ: データセット1  
震度による制限: なし

図中の「全周期」とは、1.6-7.8秒の周期ごとの長周期地震動階級データの最大値である長周期地震動階級を示す

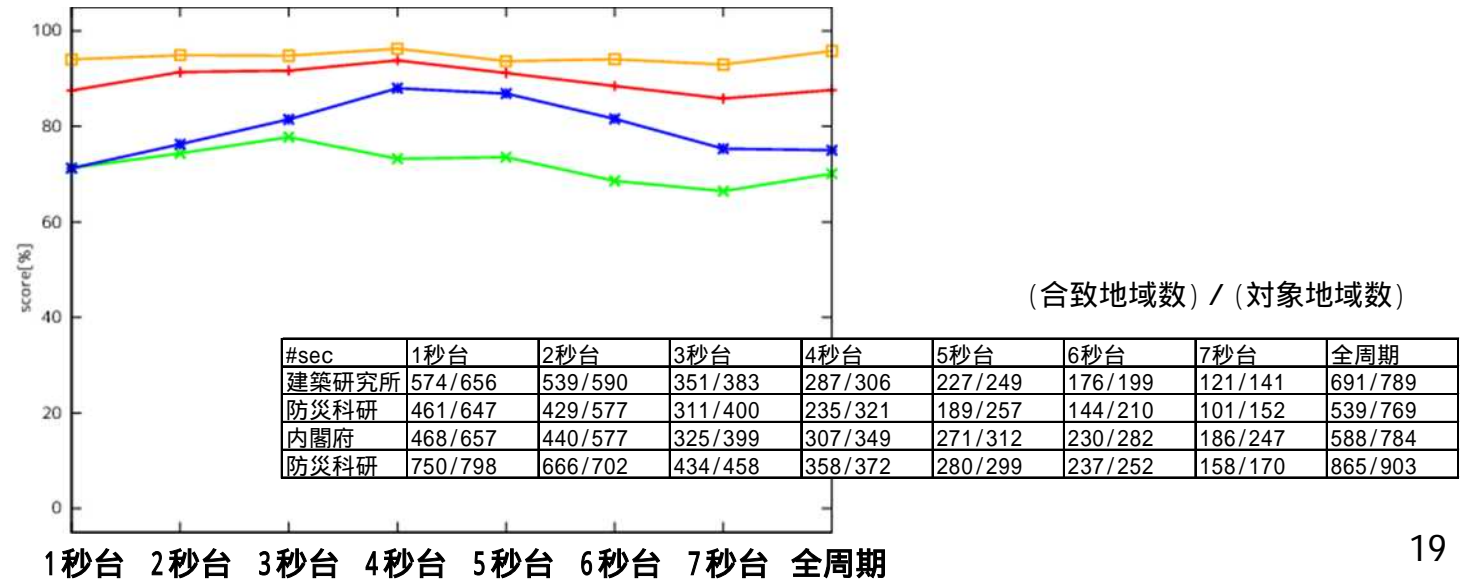
全て(観測点単位)

予測適合度(%)



全て(地域単位)

予測適合度(%)



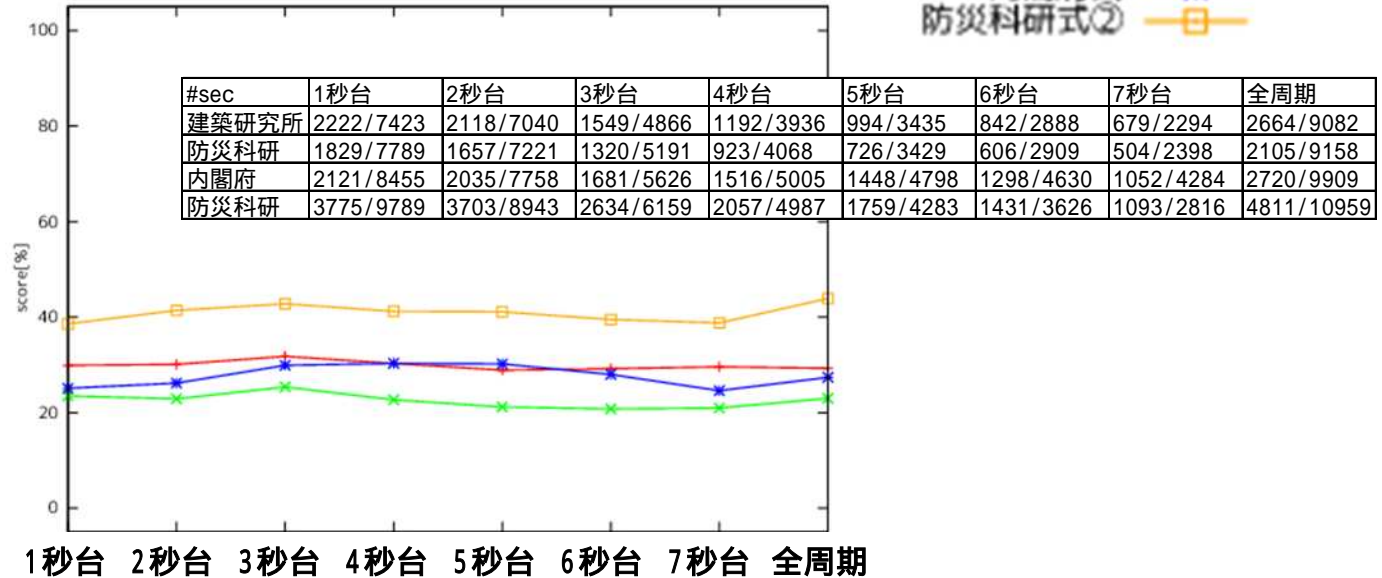
# データセット1を利用した長周期地震動予測の検討

予測適合度: 完全階級合致  
 震源データ: データセット1  
 震度による制限: なし

建築研究所式 +  
 防災科研式 x  
 内閣府式 \*  
 防災科研式② □

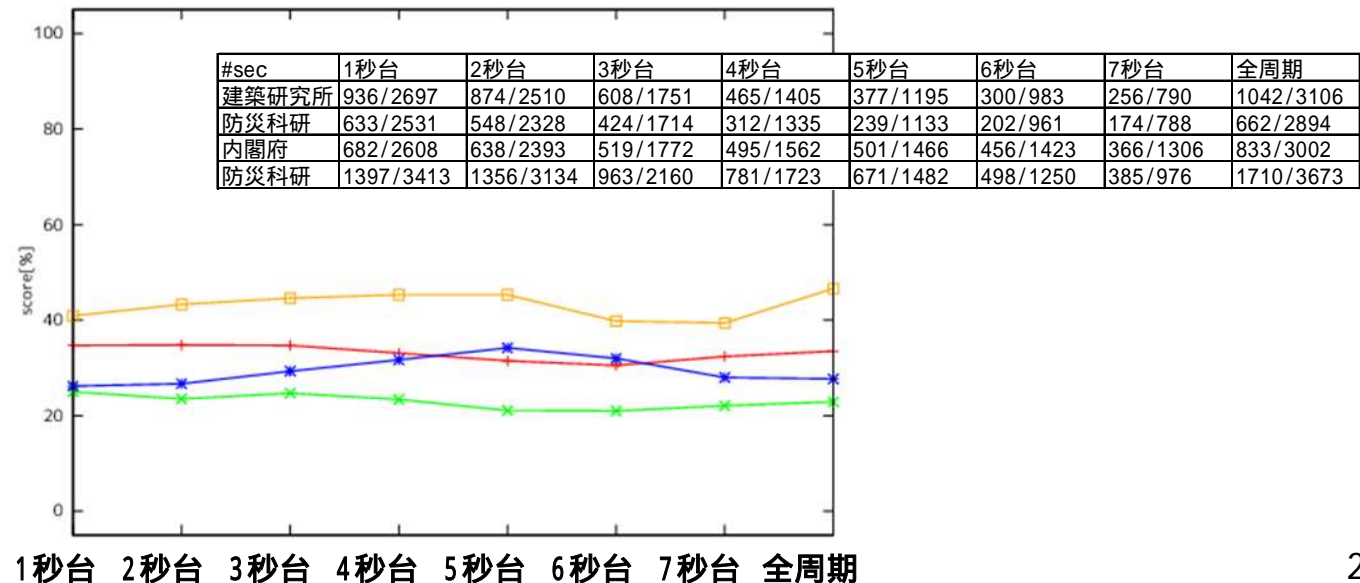
全て(観測点単位)

予測適合度 (%)



全て(地域単位)

予測適合度 (%)





# データセット1を利用した長周期地震動予測の検討

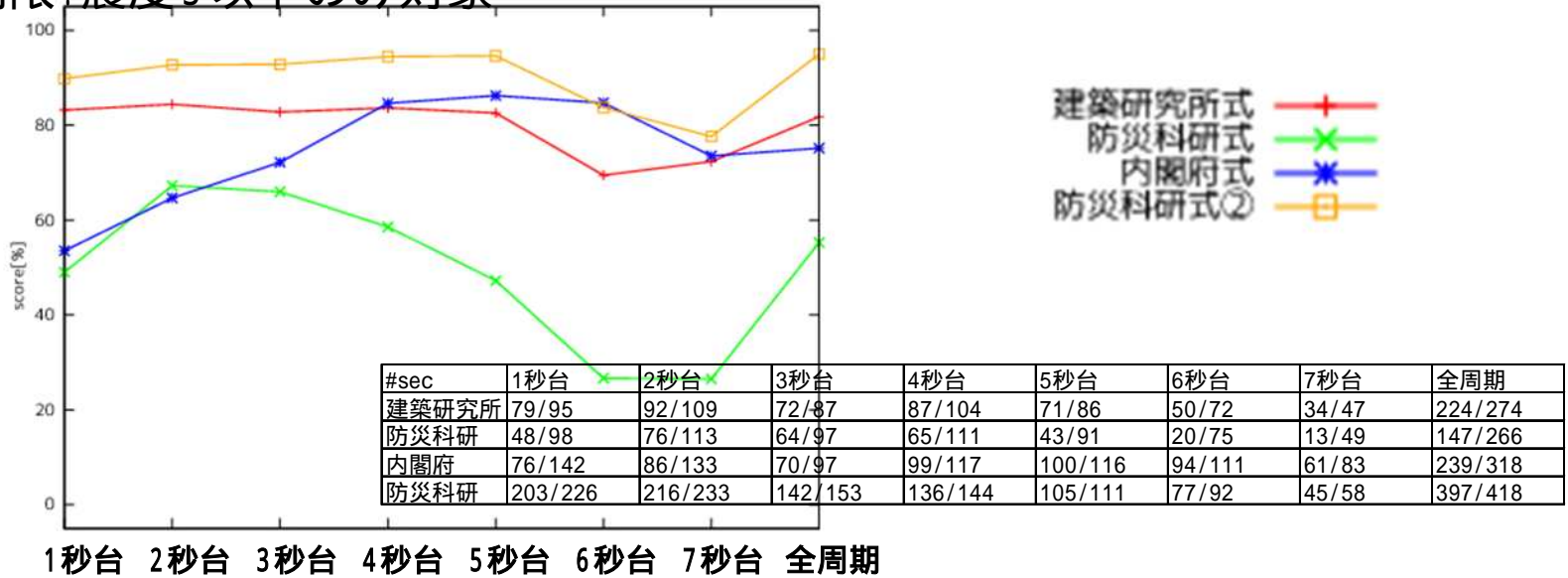
予測適合度: ±1階級合致

震源データ: データセット1

震度による制限: 震度3以下のみ対象

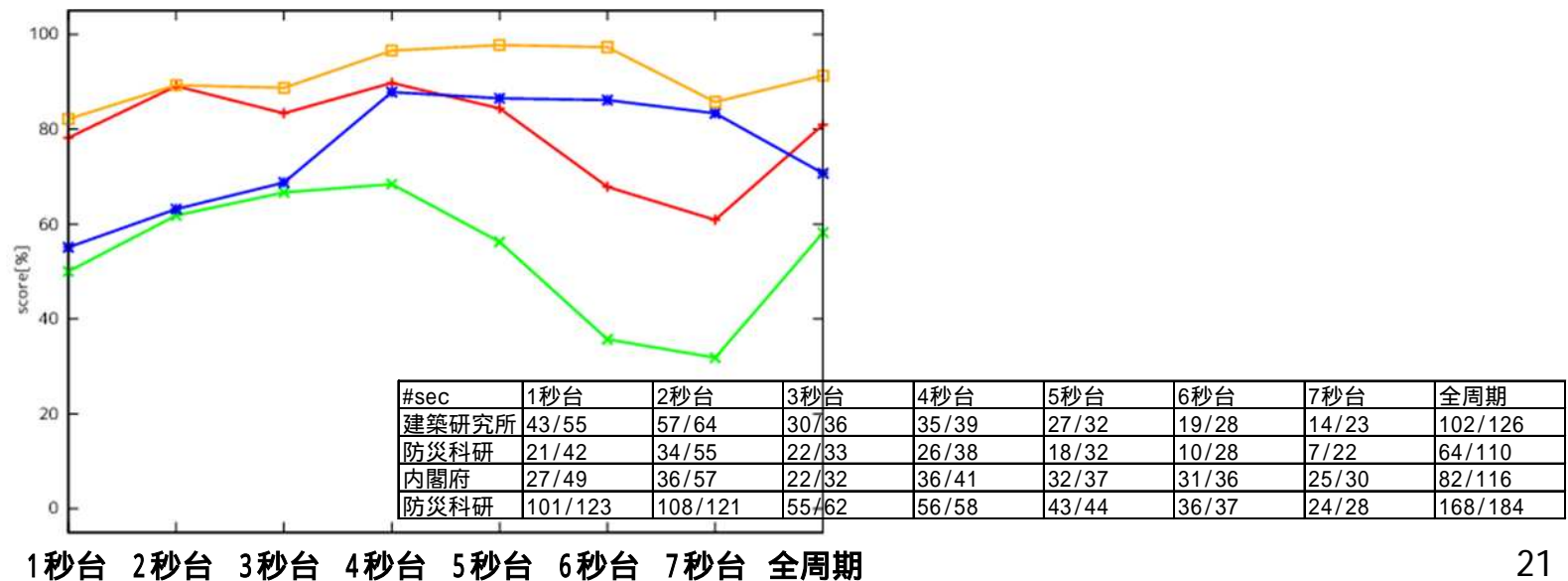
震度3以下  
(観測点単位)

予測適合度 (%)



地域最大  
震度3以下  
(地域単位)

予測適合度 (%)



# データセット1を利用した長周期地震動予測の検討

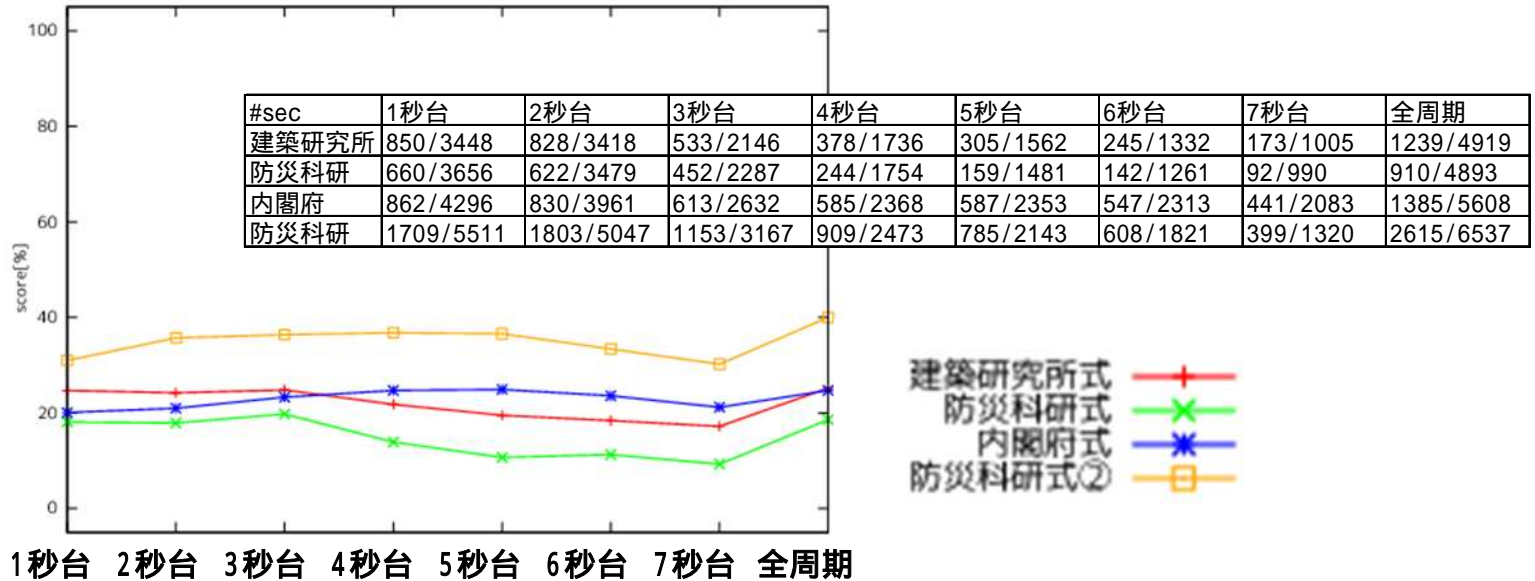
予測適合度: 完全階級合致

震源データ: データセット1

震度による制限: 震度3以下のみ対象

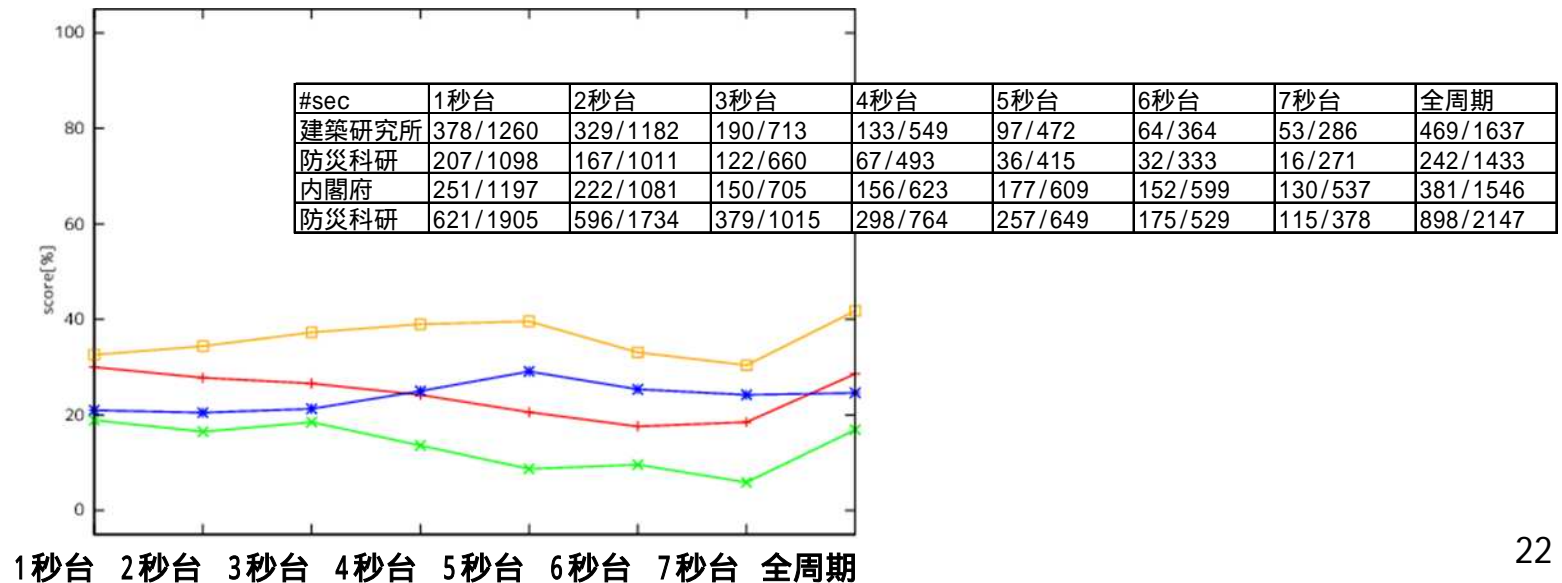
震度3以下  
(観測点単位)

予測適合度 (%)



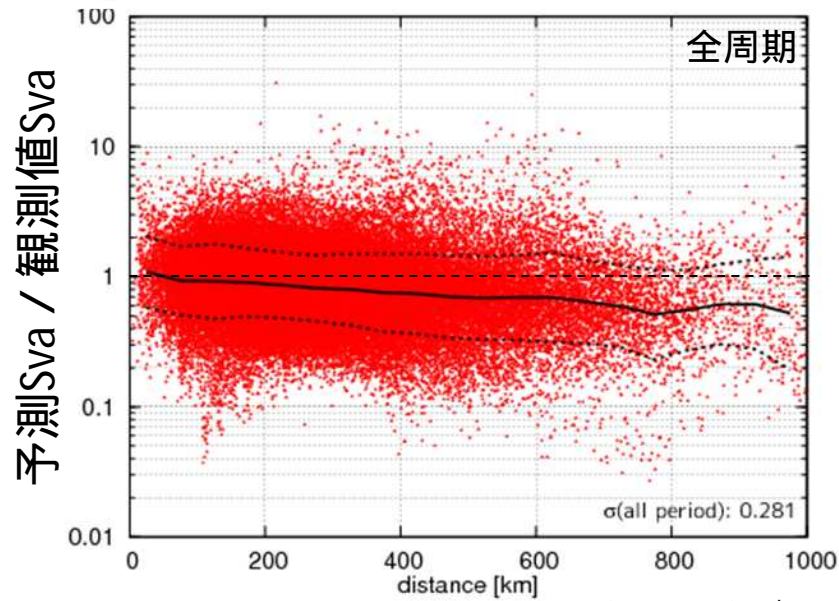
地域最大  
震度3以下  
(地域単位)

予測適合度 (%)

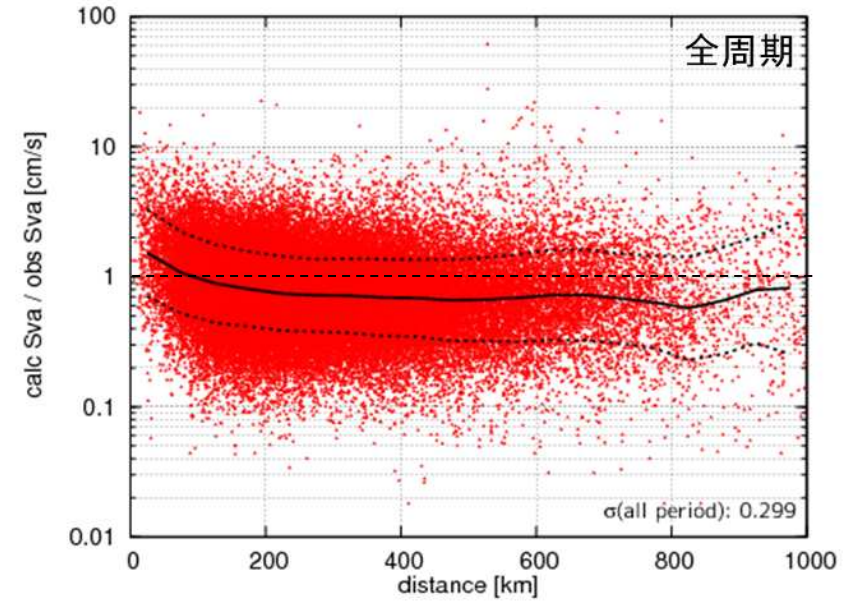


# データセット1を利用した長周期地震動予測の震源距離依存性

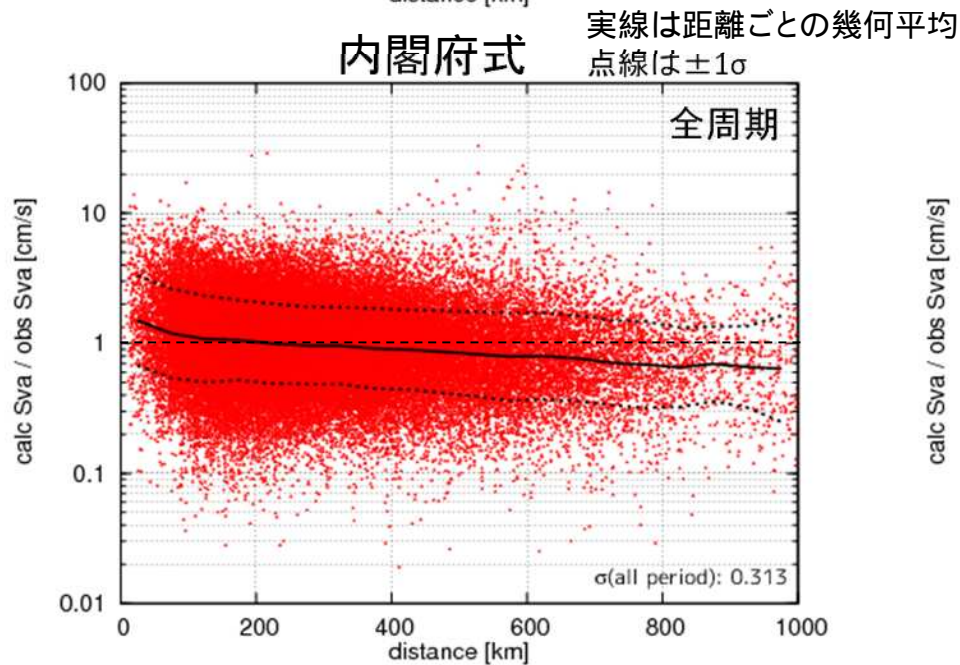
## 建築研式



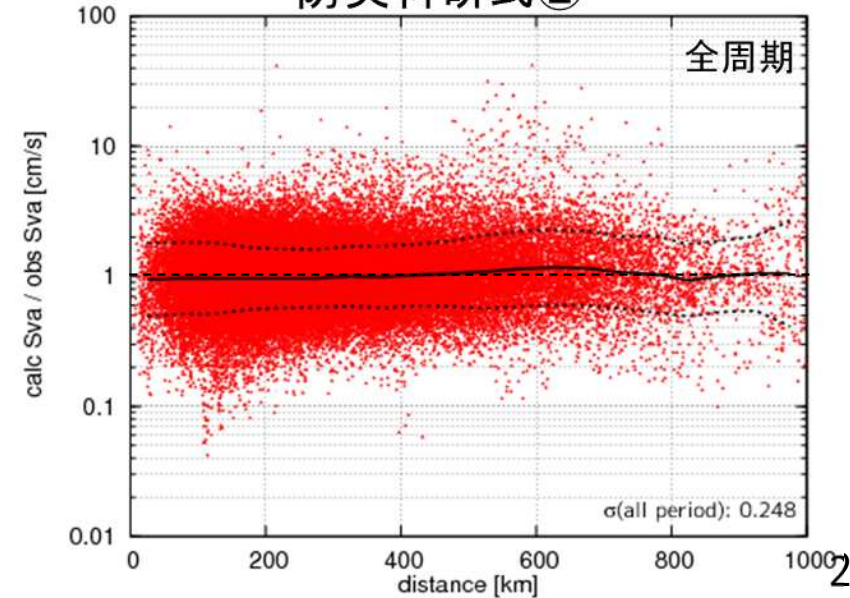
## 防災科研式



## 内閣府式



## 防災科研式



# 各距離減衰式を用いた予測の検討のまとめ

- ・ 1996年以降に発生した強震観測報告に掲載されたM6以上の地震の震源を利用して、予測と観測の適合度を調べた。
- ・ 周期帯ごとの長周期地震動階級データの最大値や長周期地震動階級(全周期(1.6-7.8s)の最大値に対する階級)における観測点ごと・地域ごと(地域内の最大値)の予測に関し、4式とも予測適合度(±1階級合致)が概ね6割以上となった。
- ・ なかでも、防災科研式を用いた予測は、±1階級合致で8～9割程度の予測適合度を示し、今回行った比較において予測適合度が最も高い距離減衰式である場合が多かった。



## 防災科研式 の予測適合度が高い理由

- ・防災科研式 は、長周期地震動階級を算出する際の観測量である絶対速度応答スペクトルを直接算出する唯一の距離減衰式であった点
- ・防災科研式 以外の式は、断層面からの断層最短距離や $M_w$ を利用した距離減衰式であった。そのため、本調査は即時的予測のための検討であることから、 $M_j$ から $M_w$ を簡易的に推測し、矩形断層ではなく球震源から断層最短距離を計算している。一方、防災科研式 は、緊急地震速報処理において直接推定されている、点震源(からの震源距離)と $M_j$ を直接利用した唯一の距離減衰式であった点

### 留意事項

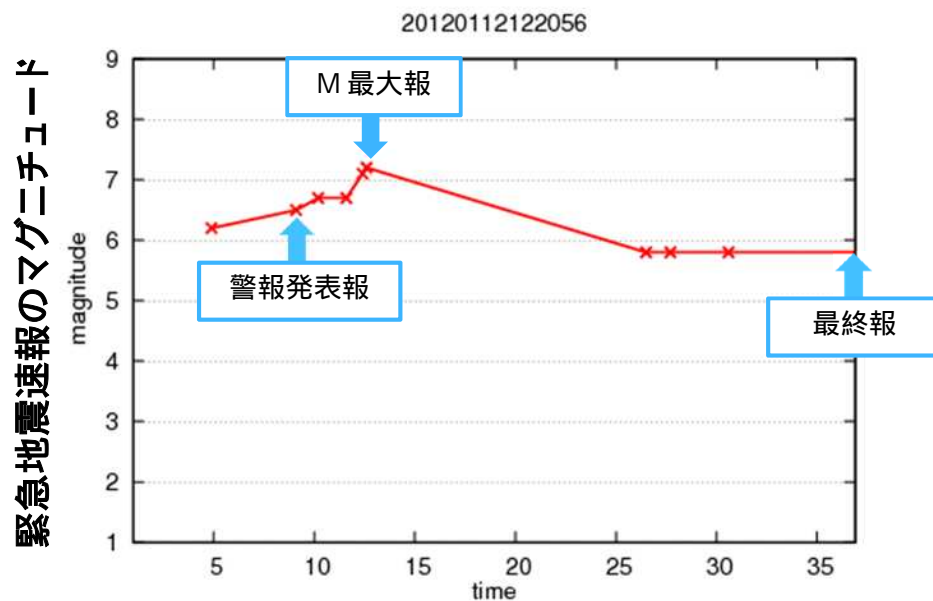
今回の調査は、気象庁による長周期地震動階級の予測のための、緊急地震速報の段階で得られる震源(破壊開始点)や $M_j$ のみを利用した評価であり、防災科研式 を除いて、 $M_w$ を $M_j$ から簡易的に推定している点、矩形断層ではなく球震源を利用している点、対象とする震源距離を超えて利用している点、疑似絶対速度応答( $pSva$ )や相対速度応答( $Svr$ )を絶対速度応答( $Sva$ )と同一とみなしている点など、各式の作成者が想定する範囲外の利用をしており、その距離減衰式の一般的な評価をしているわけではないことに留意する必要がある

# 緊急地震速報の各報を用いた検討

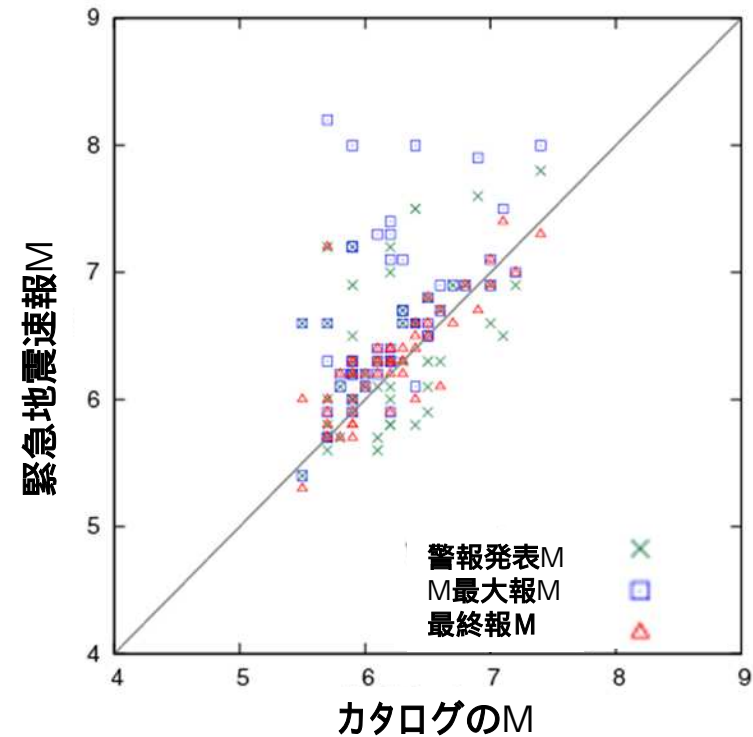
本項の震源データはデータセット2  
(緊急地震速報(警報)を公表した地震(M5.5以上))

## データセット2を利用した長周期地震動予測の検討

緊急地震速報の震源を利用しての検討は、一連の緊急地震速報で、警報が発表された報、M最大となった報、最終報を選び合致率の比較を行った。



検討に用いた一連の緊急地震速報の報の取り方



緊急地震速報の各報のMと  
カタログのMの比較

カタログとは気象庁が事後に決定している震源データを示す

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震については検討の対象外とする。  
(データ数に占める割合が多いため)

# データセット2を利用した長周期地震動予測の検討

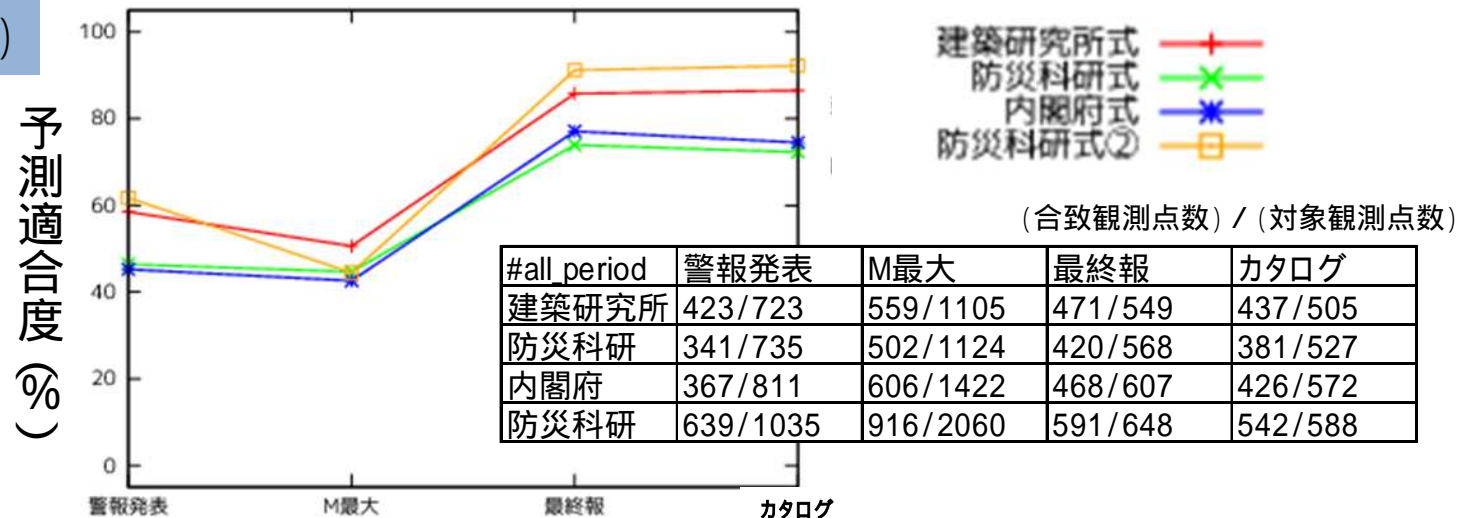
予測適合度:  $\pm 1$ 階級合致

震源データ: データセット2 (緊急地震速報)

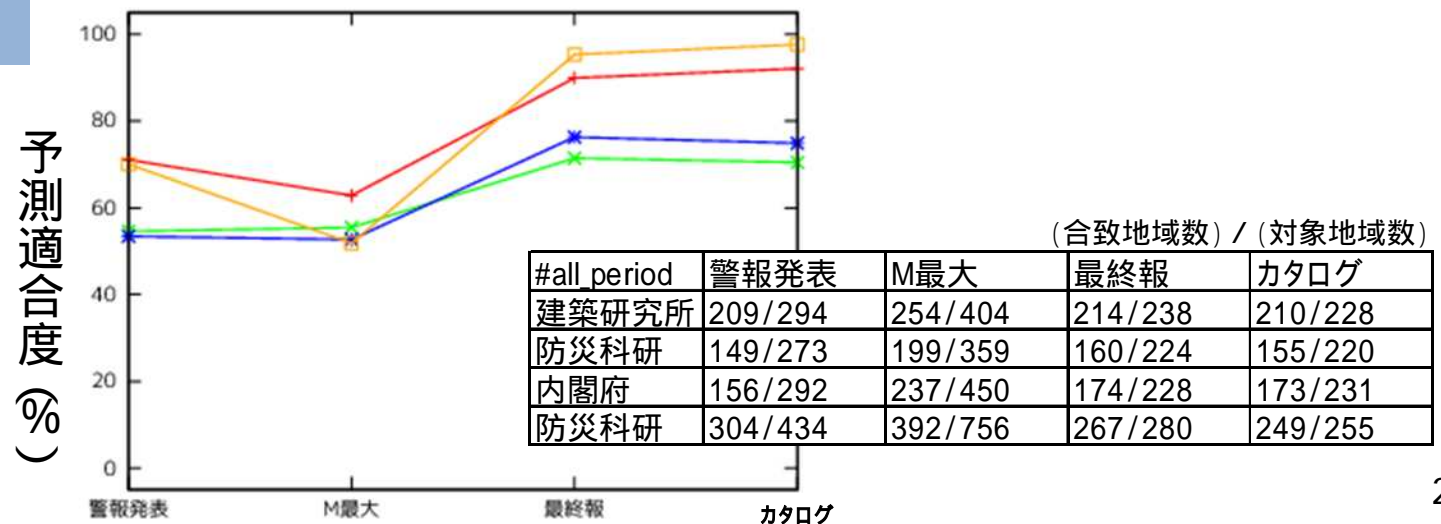
震度による制限: なし

対象周期帯: 長周期地震動階級 (全周期 (1.6-7.8s) の最大値に対する階級)

全て (観測点単位)



全て (地域単位)



# データセット2を利用した長周期地震動予測の検討

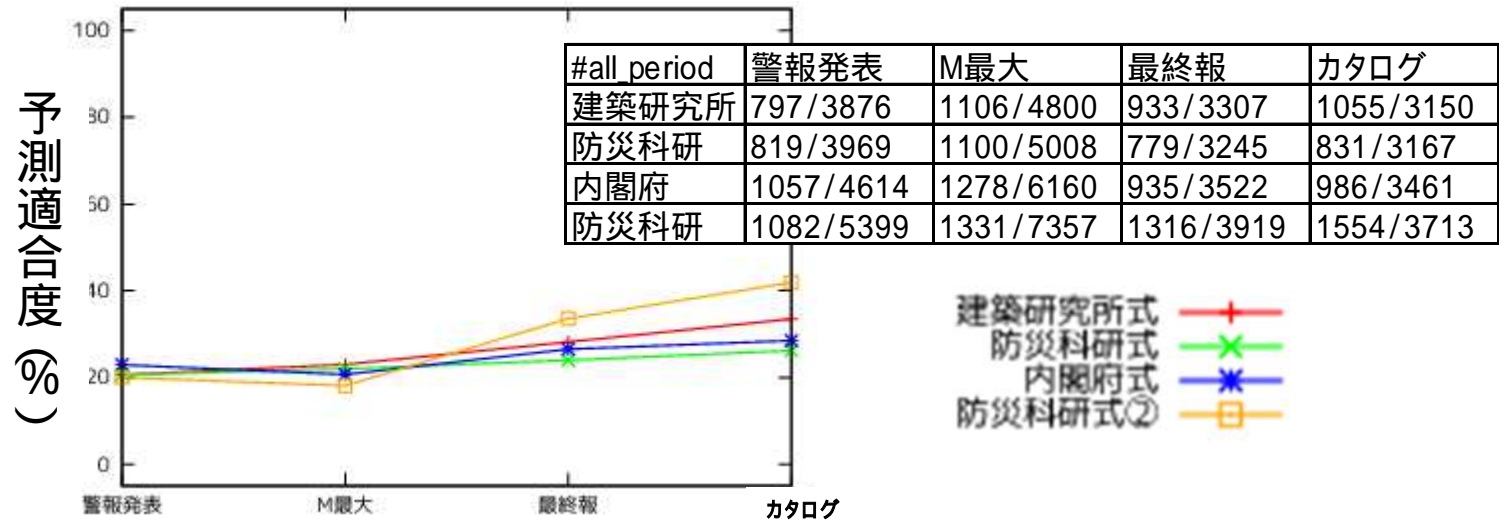
予測適合度: 完全階級合致

震源データ: データセット2 (緊急地震速報)

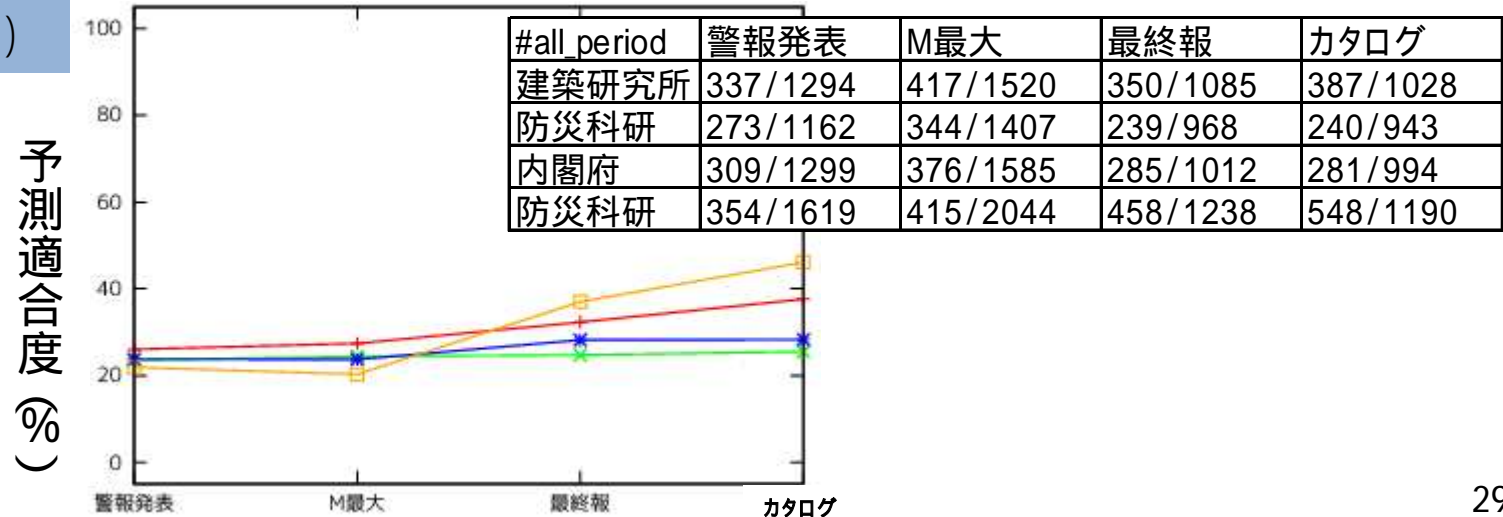
震度による制限: なし

対象周期帯: 長周期地震動階級 (全周期 (1.6-7.8s) の最大値に対する階級)

全て  
(観測点単位)



全て(地域単位)



# データセット2を利用した長周期地震動予測の検討

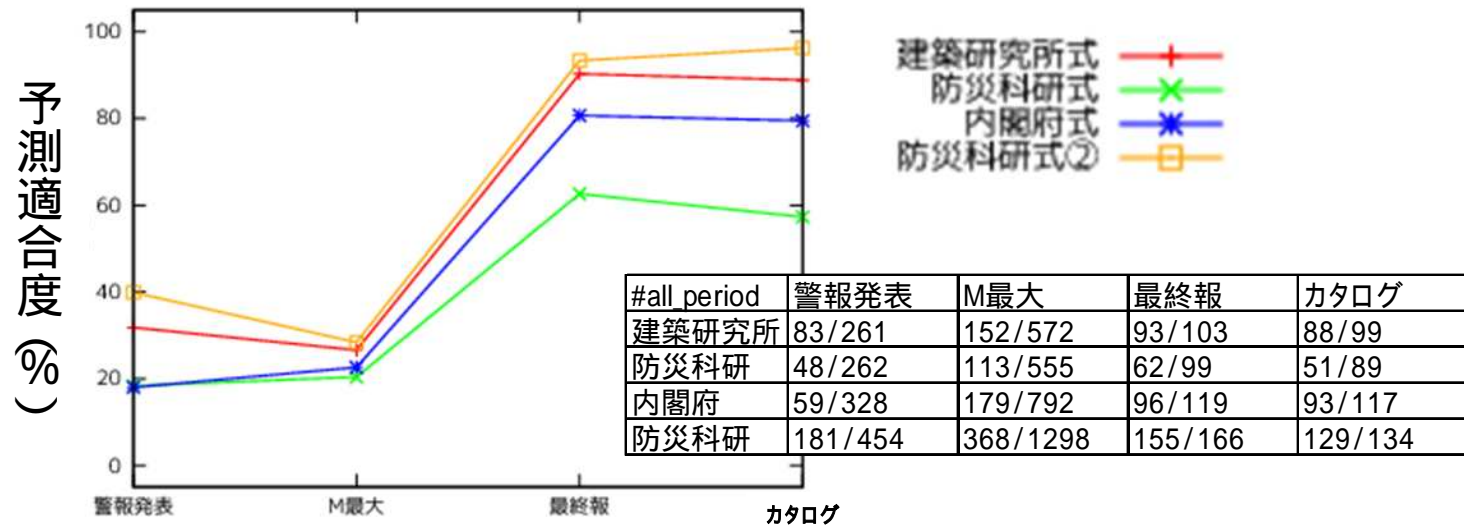
予測適合度:  $\pm 1$ 階級合致

震源データ: データセット2 (緊急地震速報)

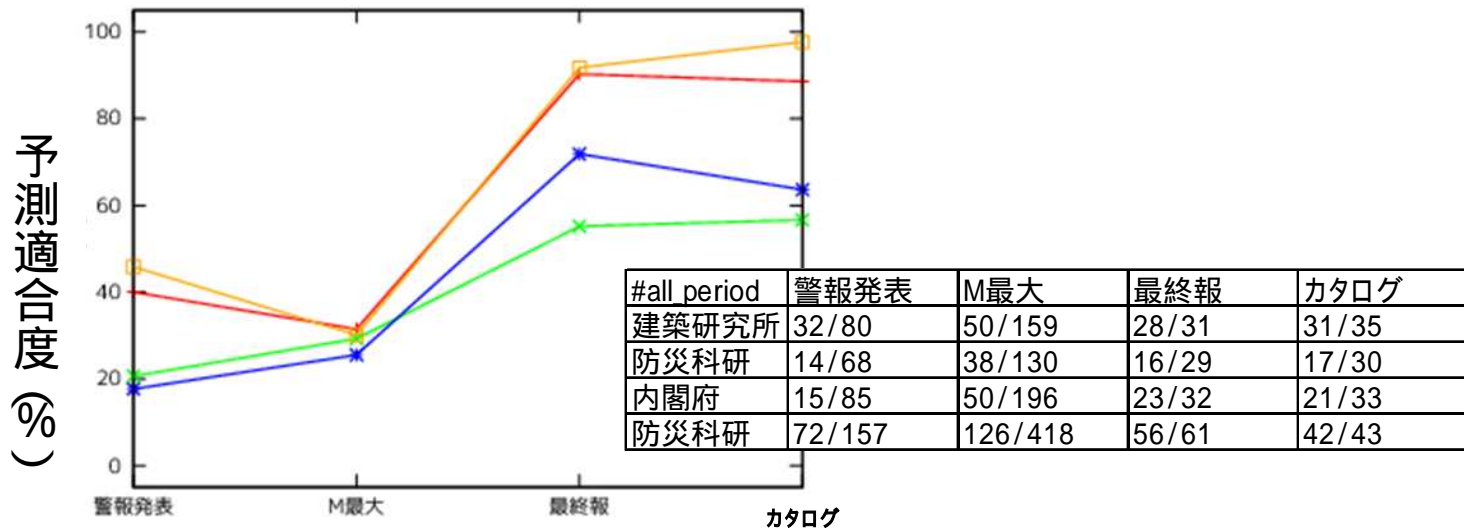
震度による制限: 震度3以下のみ対象

対象周期帯: 長周期地震動階級(全周期(1.6-7.8s)の最大値に対する階級)

震度3以下  
(観測点単位)



地域最大  
震度3以下  
(地域単位)



# データセット2を利用した長周期地震動予測の検討

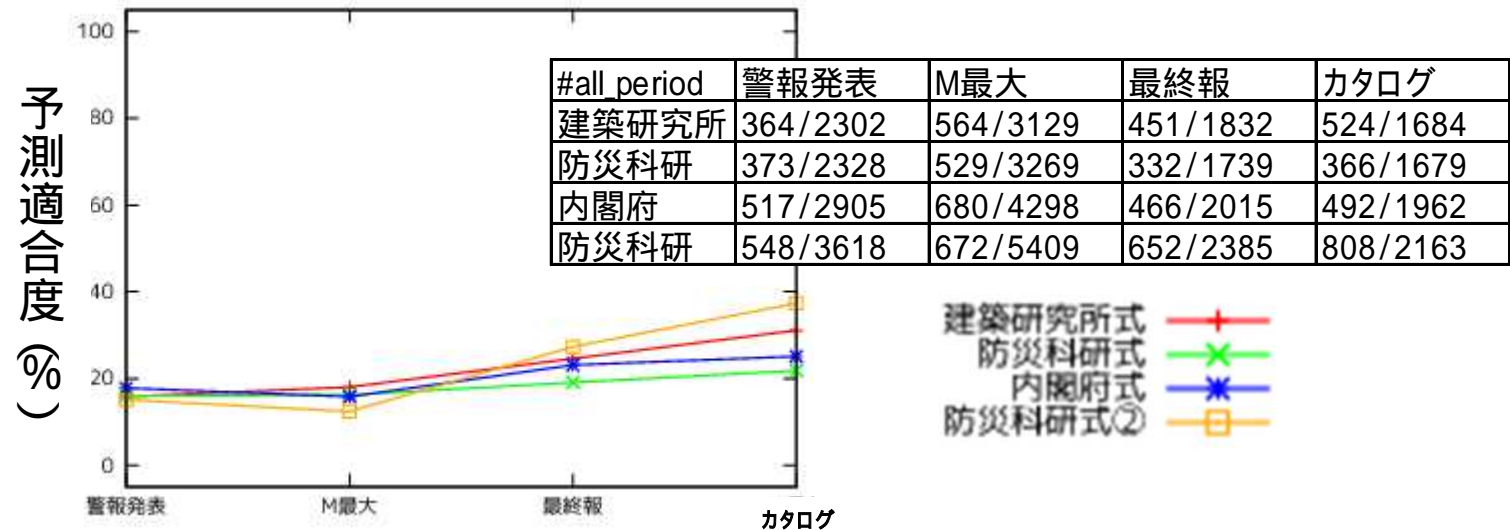
予測適合度: 完全階級合致

震源データ: データセット2 (緊急地震速報)

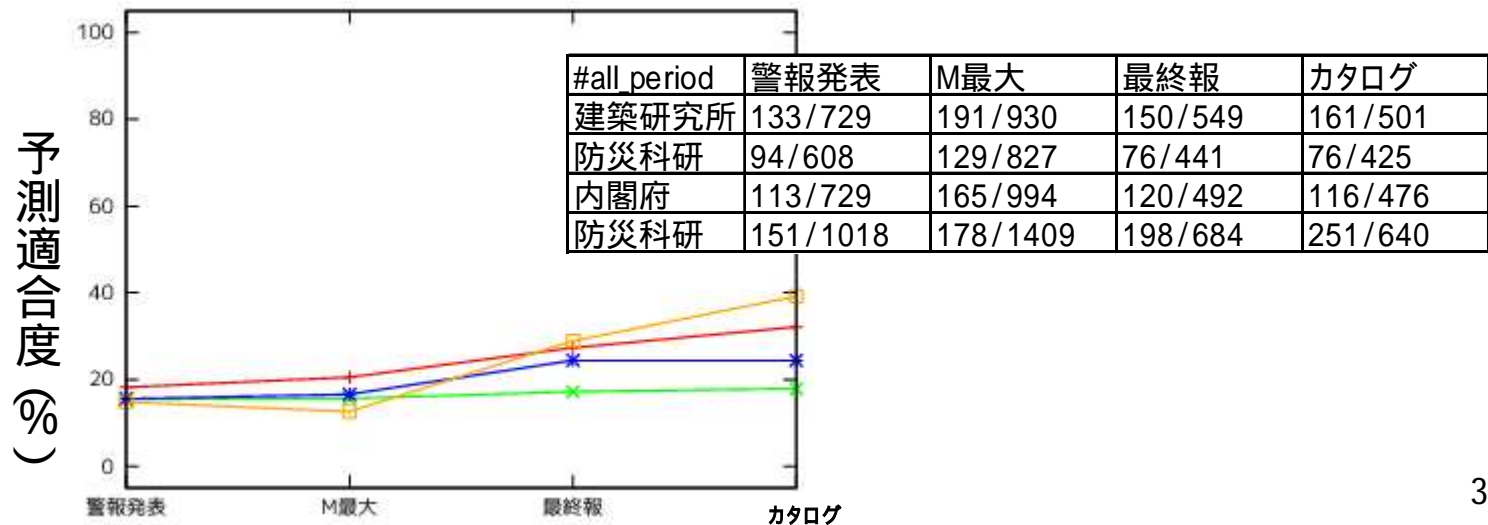
震度による制限: 震度3以下のみ対象

対象周期帯: 長周期地震動階級(全周期(1.6-7.8s)の最大値に対する階級)

震度3以下  
(観測点単位)



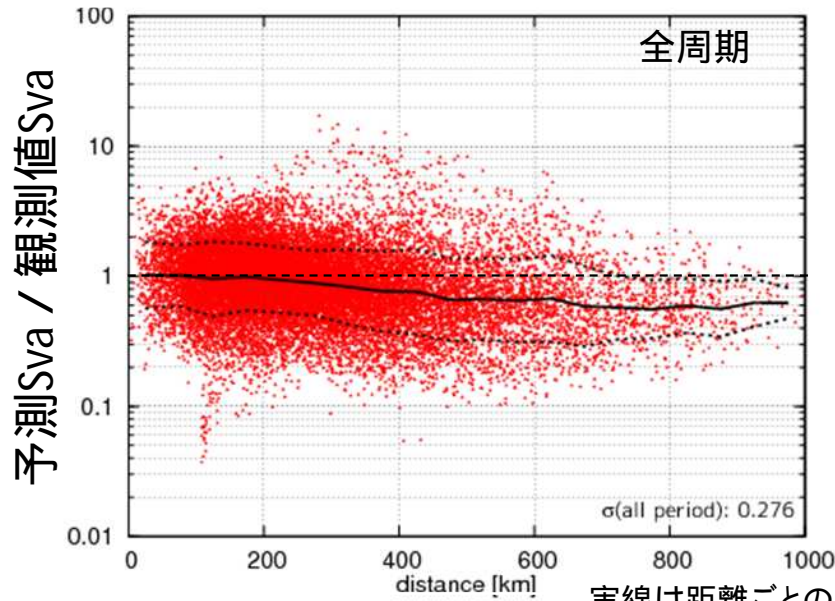
地域最大  
震度3以下  
(地域単位)



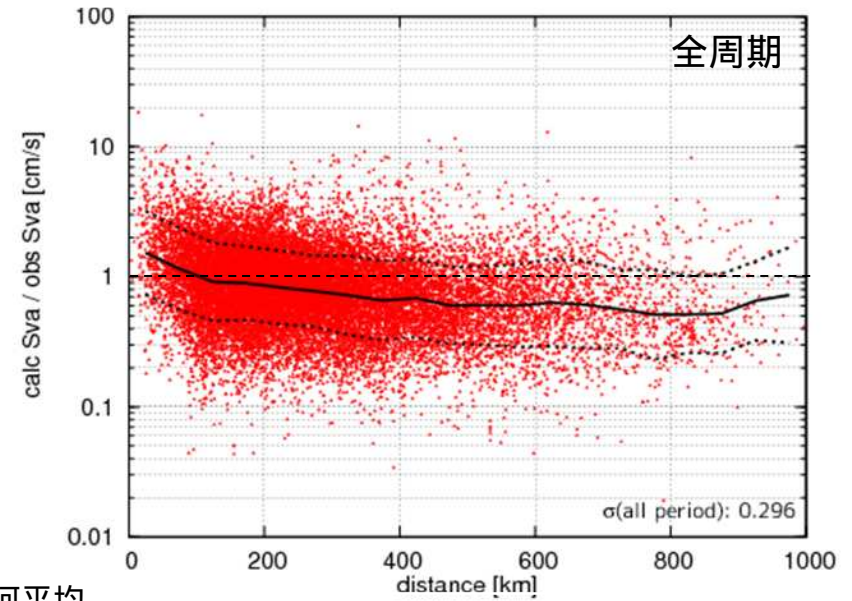


# データセット2を利用した長周期地震動予測の震源距離依存性

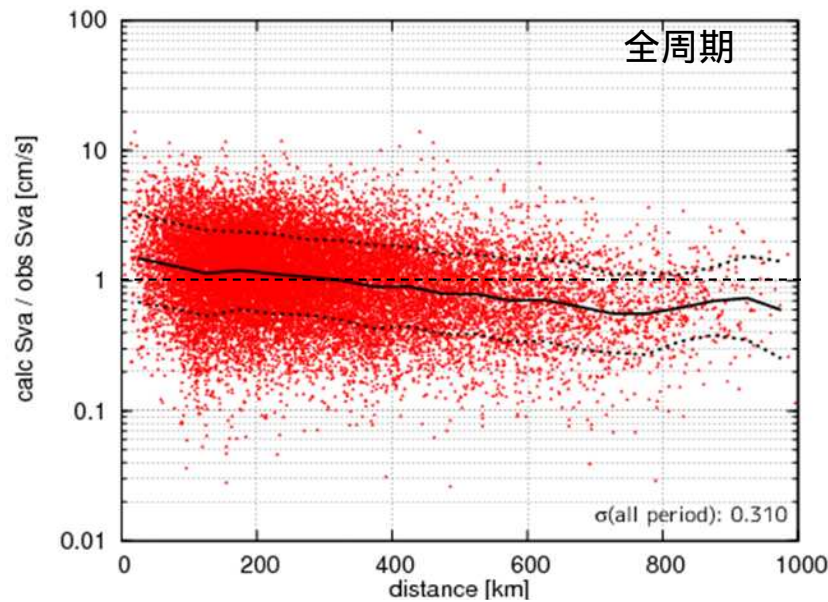
## 建築研式



## 防災科研式

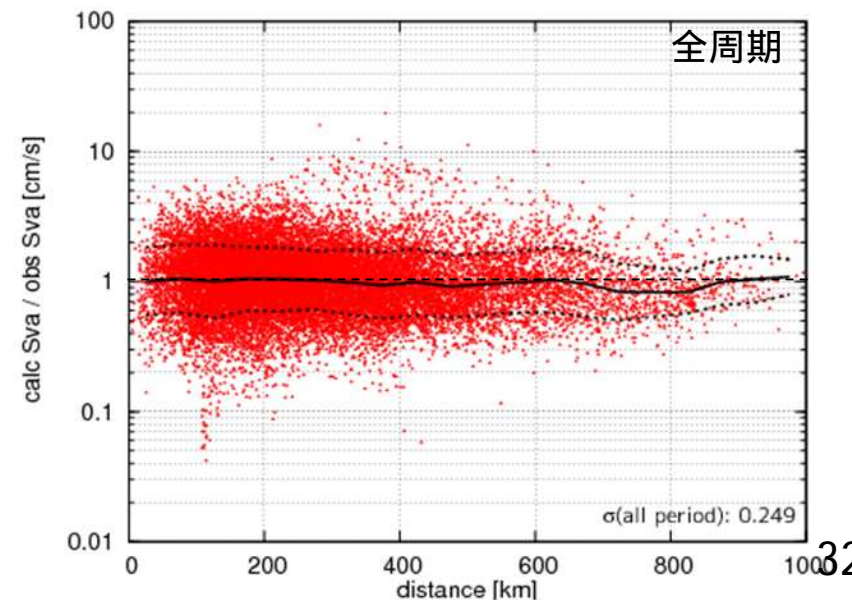


## 内閣府式



実線は距離ごとの幾何平均  
点線は $\pm 1\sigma$

## 防災科研式





# 緊急地震速報の各報を用いた検討のまとめ

- ・緊急地震速報(警報)を公表したM5.5以上の地震について、警報が発表された報、M最大となった報、最終報のそれぞれの震源を利用して、予測と観測の適合度を調べた。
- ・最終報の震源を利用した場合の長周期地震動階級(全周期(1.6-7.8s)の最大値に対する階級)における観測点ごと・地域ごと(地域内の最大値)の予測に関し、4式とも予測適合度(±1階級合致)が6割程度以上となった。
- ・なかでも、防災科研式を用いた予測は、±1階級合致で9割以上の予測適合度を示し、今回行った比較において予測適合度が最も高い距離減衰式である場合が多かった。
- ・警報が発表された報やM最大となった報の震源を利用した場合、4式とも予測適合度は最終報を利用した場合と比較し、低下することがわかった。

# 平成23年(2011年)東北地方 太平洋沖地震の検討

# 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の階級の予測

Mj8.4とした場合

長周期地震動階級(1.6-7.8sでの最大値)を各観測点でプロット

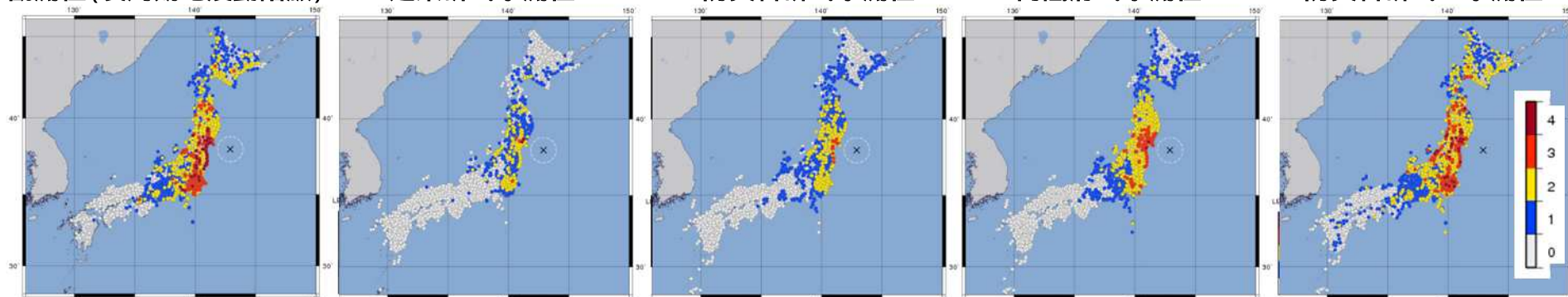
観測値(長周期地震動階級)

建築研式予測値

防災科研式予測値

内閣府式予測値

防災科研式 予測値

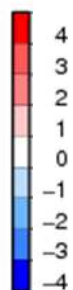


建築研式予測 - 観測

防災科研式予測-観測

内閣府式予測-観測

防災科研式 予測-観測

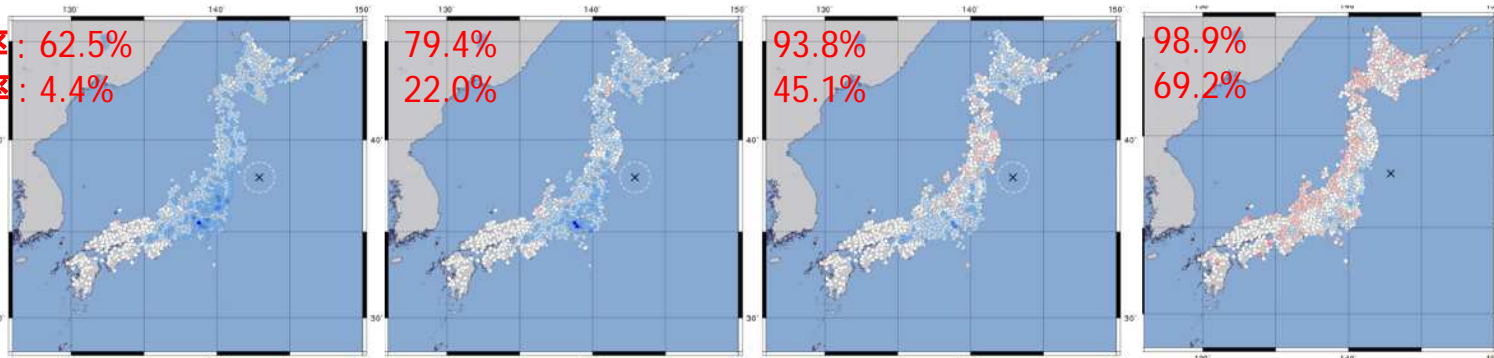


±1階級合致率: 62.5%  
完全階級合致率: 4.4%

79.4%  
22.0%

93.8%  
45.1%

98.9%  
69.2%



建築研式

防災科研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	316	1	0	0	0
	階級1	504	21	0	0	0
	階級2	186	317	34	0	0
	階級3	3	57	125	0	0
	階級4	1	7	35	4	2

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	336	9	0	0	0
	階級1	367	178	3	0	0
	階級2	90	335	114	1	0
	階級3	1	31	152	1	0
	階級4	3	1	34	11	0

内閣府式

防災科研式

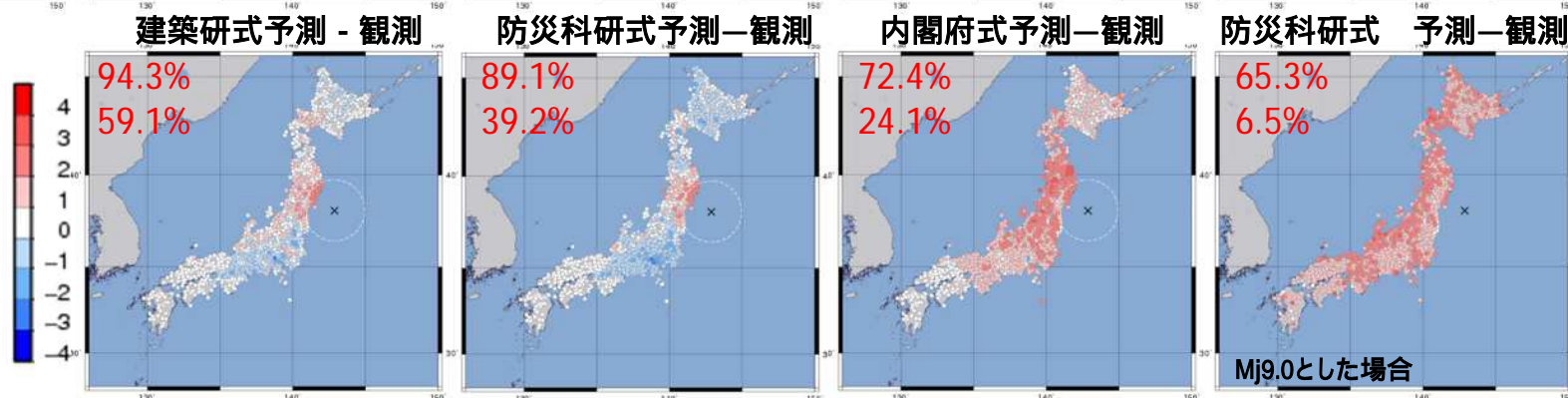
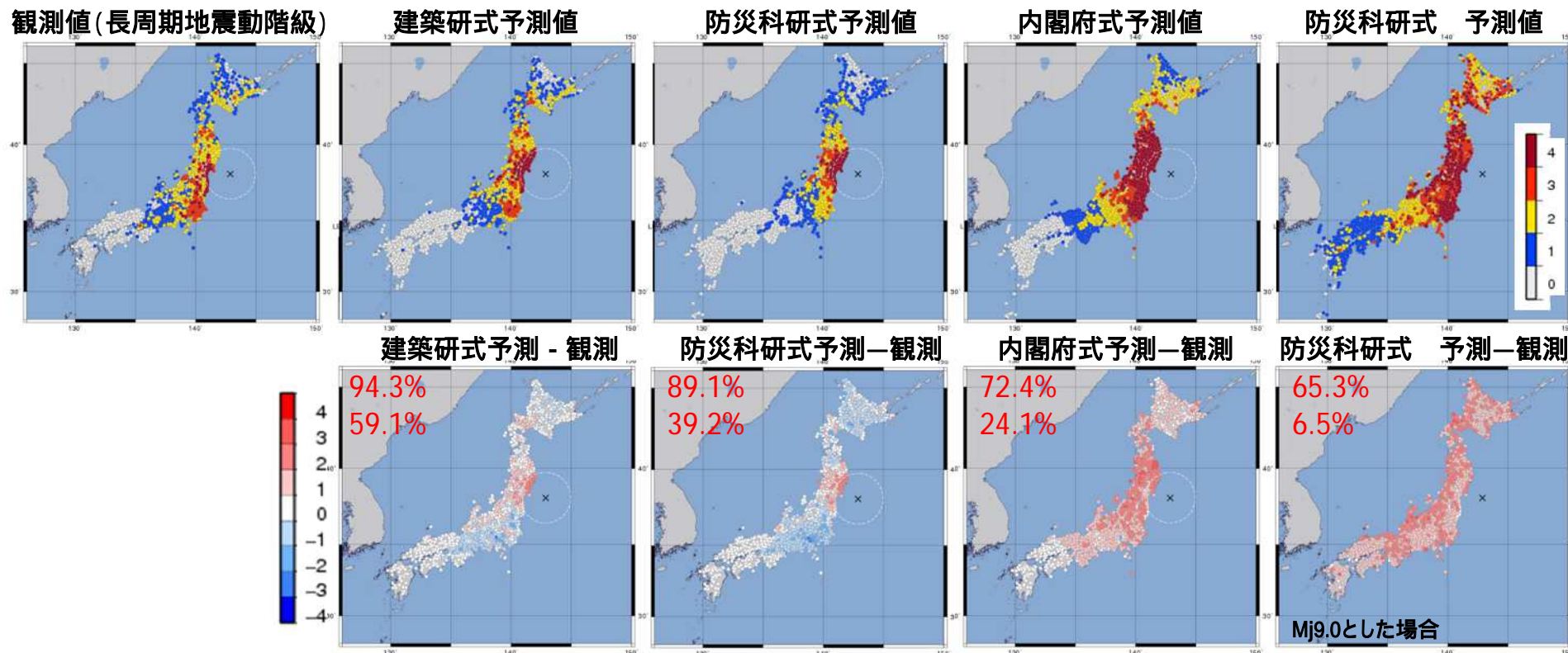
		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	332	13	0	0	0
	階級1	236	273	39	0	0
	階級2	23	215	276	26	0
	階級3	0	8	126	51	0
	階級4	0	3	16	28	2

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	243	96	5	0	0
	階級1	19	398	129	1	0
	階級2	0	51	441	48	0
	階級3	0	1	43	127	14
	階級4	0	0	3	28	18

# 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の階級の予測

Mw9.0とした場合

長周期地震動階級(1.6-7.8sでの最大値)を各観測点でプロット



建築研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	291	26	0	0	0
	階級1	135	324	66	0	0
	階級2	2	112	323	66	34
	階級3	0	3	43	102	37
	階級4	0	1	8	8	32

防災科研式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	322	23	0	0	0
	階級1	260	265	21	2	0
	階級2	21	231	205	47	36
	階級3	0	15	118	29	23
	階級4	0	3	10	8	28

内閣府式

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	128	188	29	0	0
	階級1	0	126	342	62	18
	階級2	0	3	181	128	228
	階級3	0	0	2	19	164
	階級4	0	0	1	3	45

防災科研式

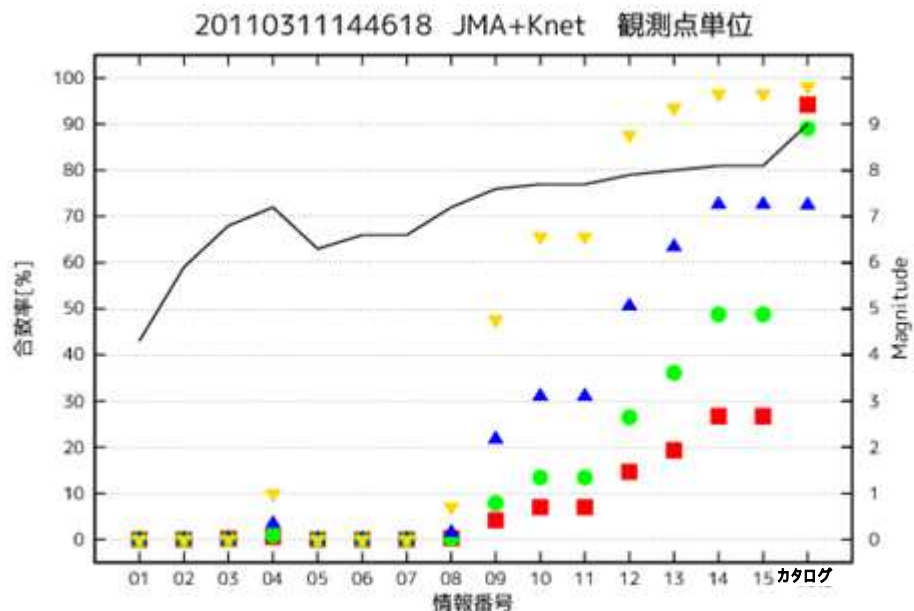
		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	10	181	146	7	0
	階級1	0	9	384	144	10
	階級2	0	0	40	298	202
	階級3	0	0	1	9	175
	階級4	0	0	0	0	49

# 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の検討

## 緊急地震速報の情報ごとの予測適合度

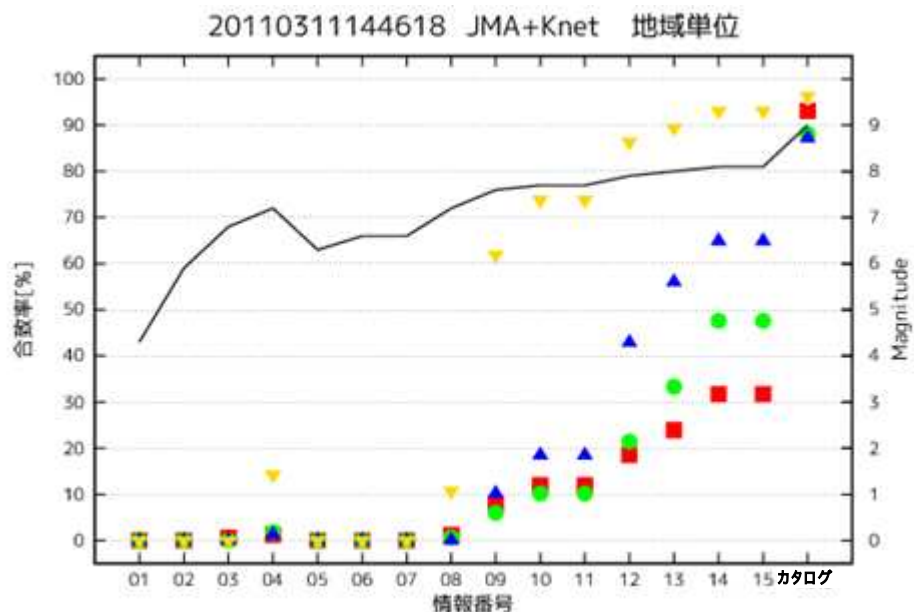
観測点単位

予測適合度 (%)



地域単位

予測適合度 (%)



予測適合度:  $\pm 1$  階級合致

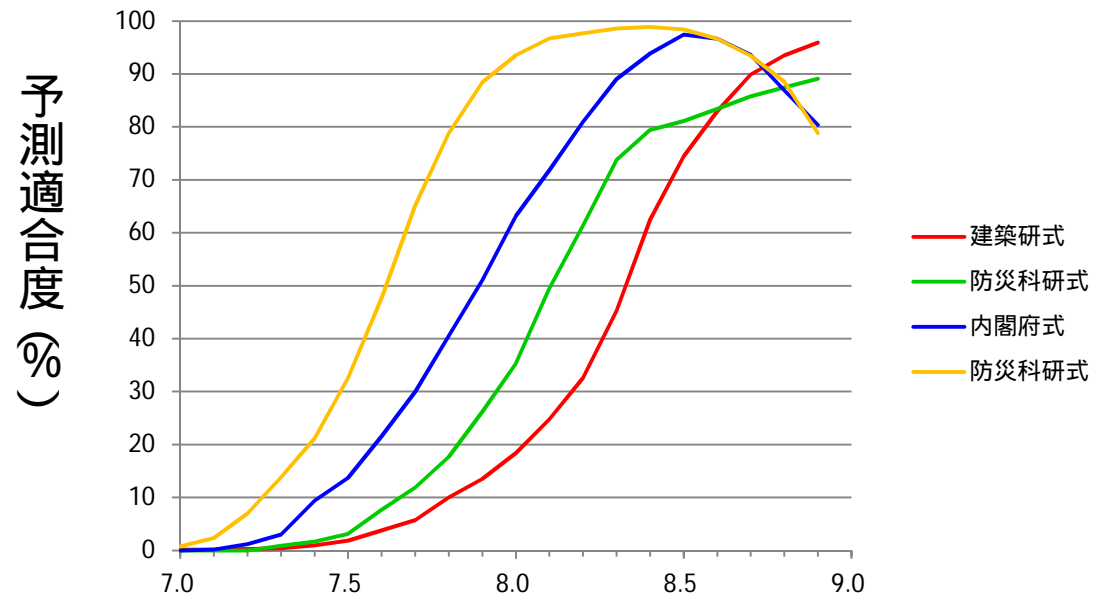
対象周期帯: 長周期地震動階級 (全周期(1.6-7.8s)の最大値に対する階級)

横軸の「カテゴリー」のMは建築研式、防災科研式、内閣府式はMw9.0、防災科研式②はMj8.4

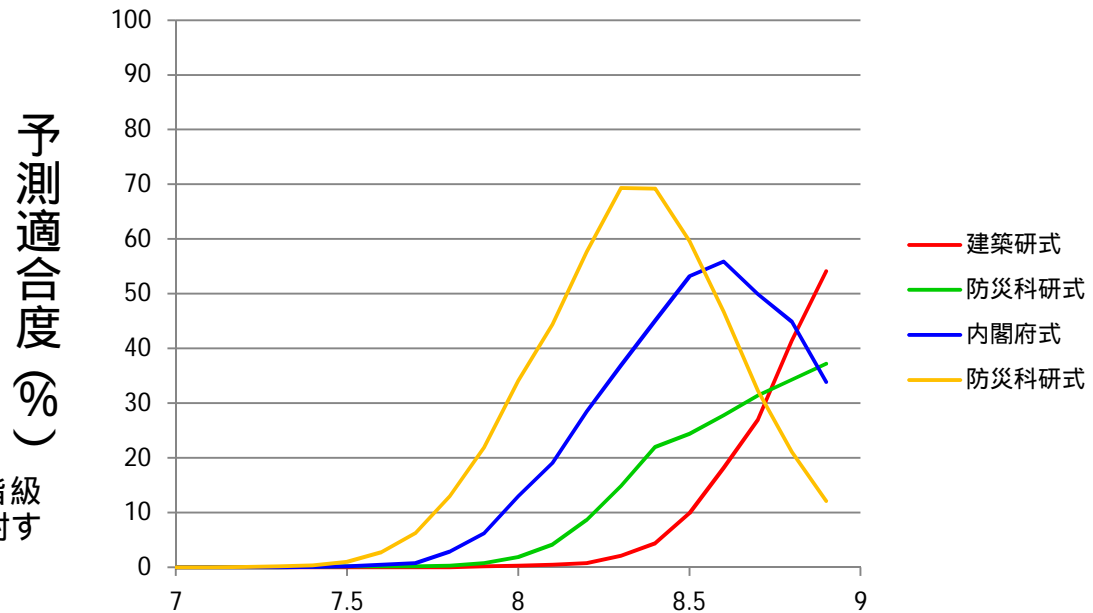
# 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の検討

## 震源を固定しMjを変化させた場合の予測適合度の変化

±1階級合致  
観測点単位



完全階級合致  
観測点単位



対象周期帯:長周期地震動階級  
(全周期(1.6-7.8s)の最大値に対する階級)

震源位置はカタログ値を利用

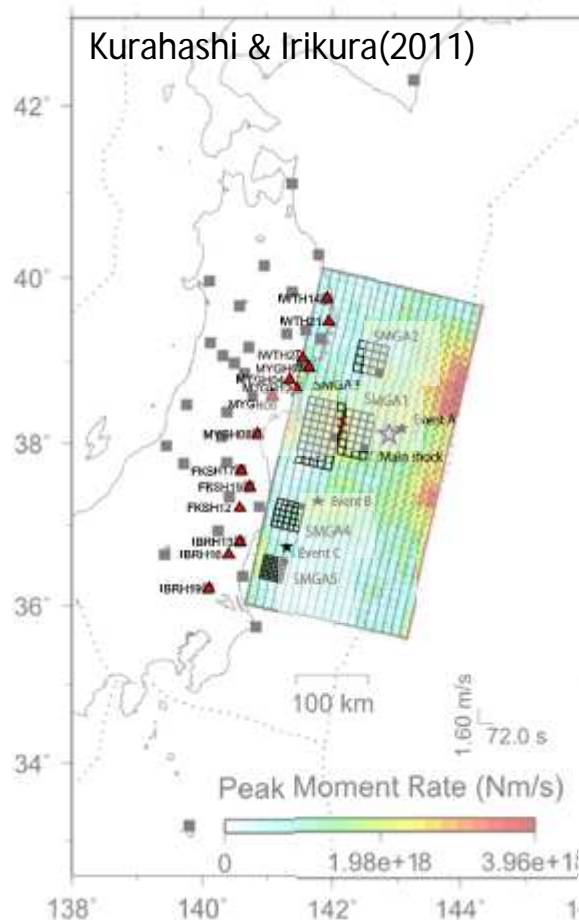


# 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の検討

## 震源位置を強震動生成域(SMGA)に変更した場合の検討

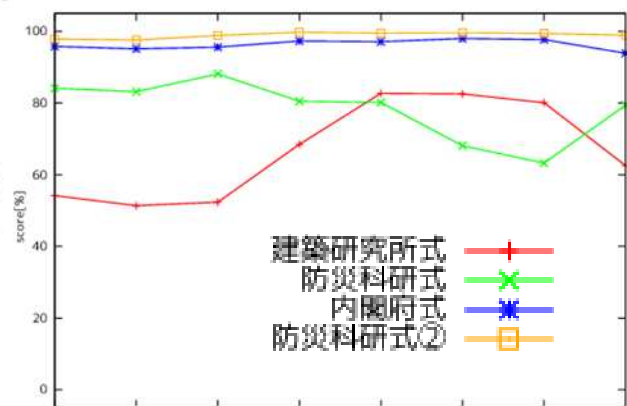
Kurahashi & Irikura(2011)のSMGAを参考にした仮想震源

	緯度	経度	深さ	Mj
SMGA1	37.9	142.4	23.74	8.4
SMGA2	38.9	142.8	23.74	8.4
SMGA3	38.1	142.0	23.74	8.4
SMGA4	37.2	141.5	23.74	8.4
SMGA5	36.5	141.3	23.74	8.4



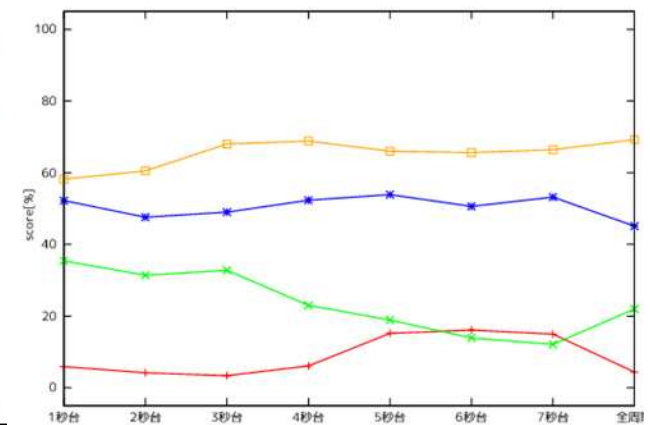
参考: 本震の震源位置、Mj8.4 で計算した場合

観測点ごと ±1階級合致



1秒台 2秒台 3秒台 4秒台 5秒台 6秒台 7秒台 全周期

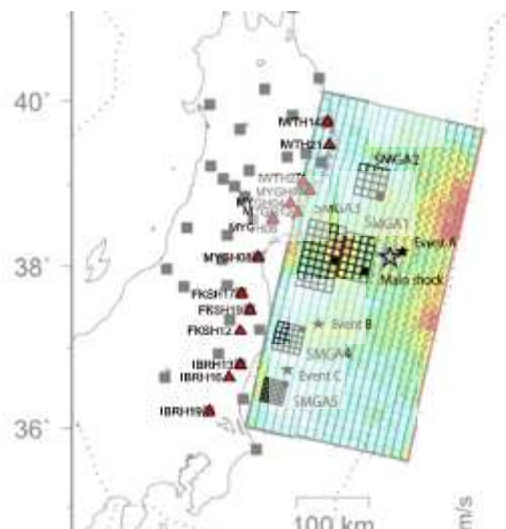
観測点ごと 完全階級合致



# 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の検討

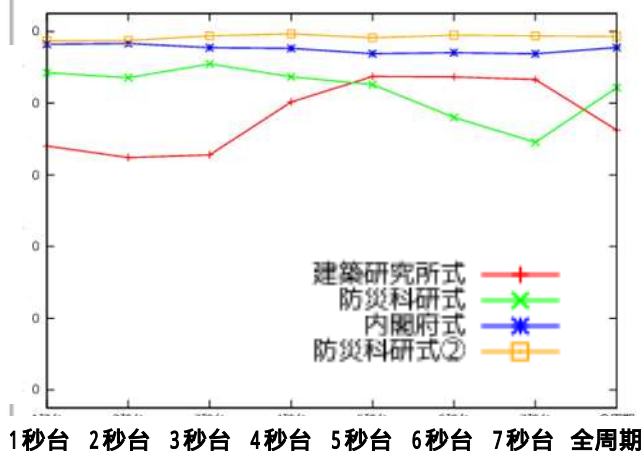
震源位置を強震動生成域(SMGA)に変更した場合の検討

予測適合度: ±1階級合致

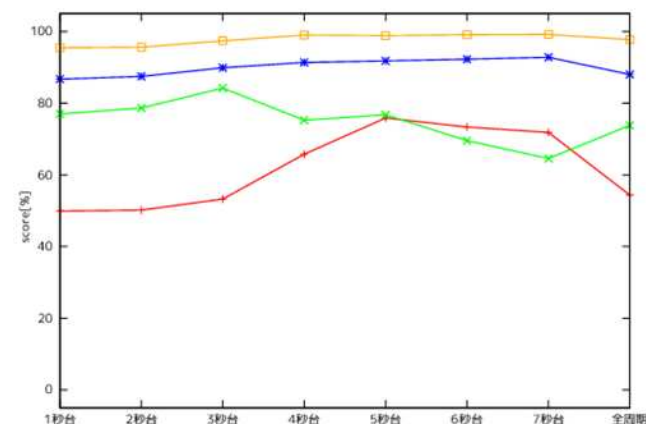


予測適合度 (%)

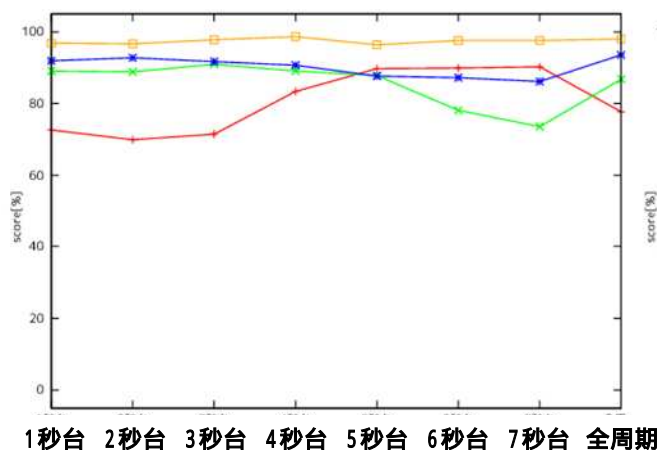
SMGA1



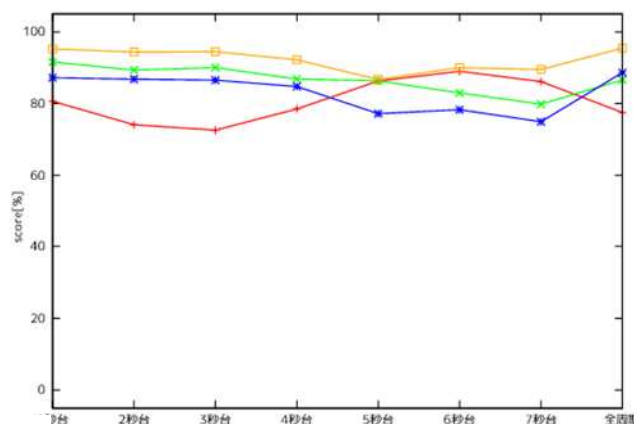
SMGA2



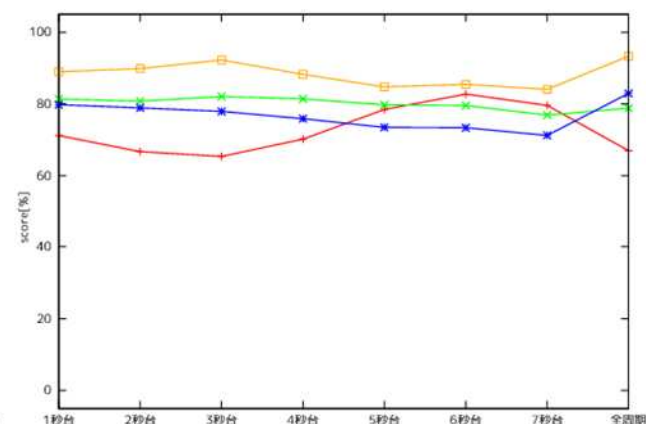
SMGA3



SMGA4



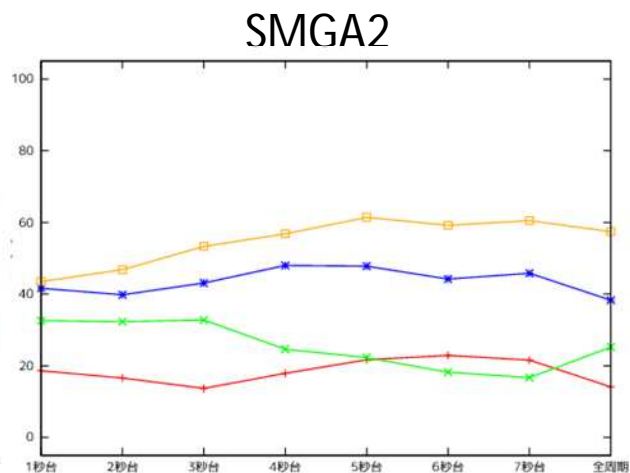
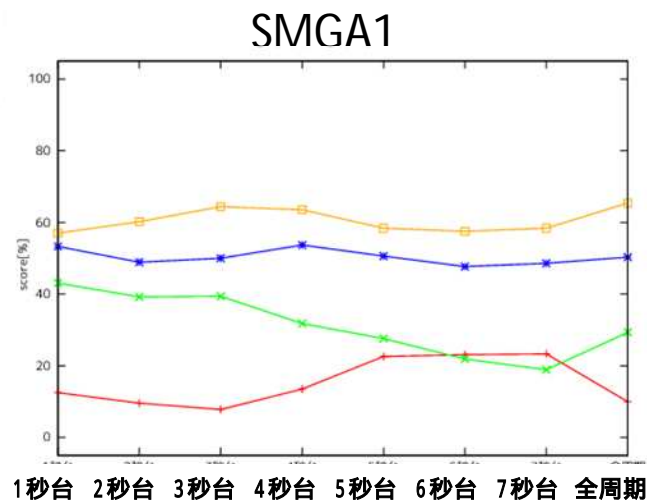
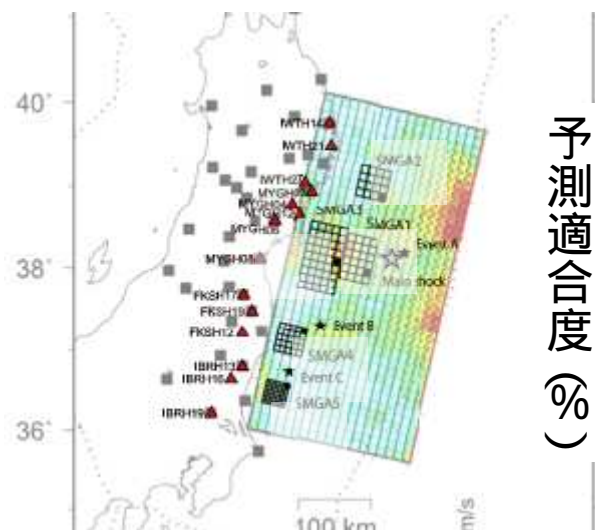
SMGA5



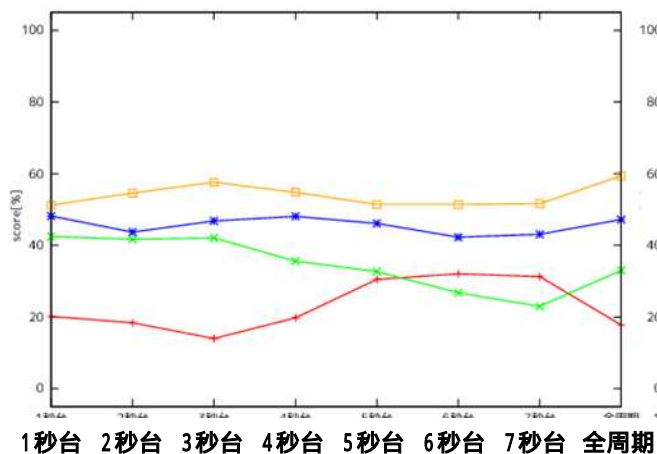


# 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の検討

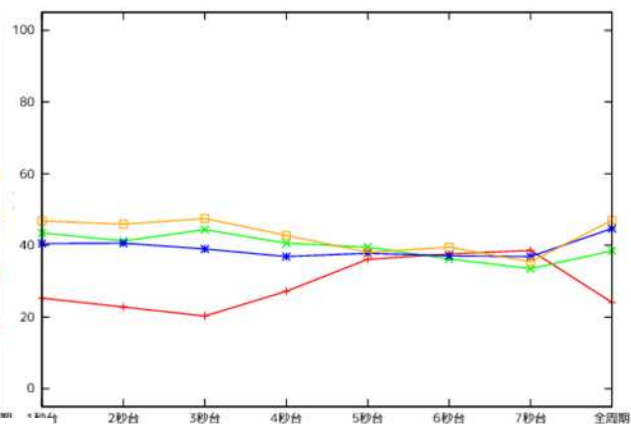
震源位置を強震動生成域(SMGA)に変更した場合の検討 予測適合度:完全階級合致



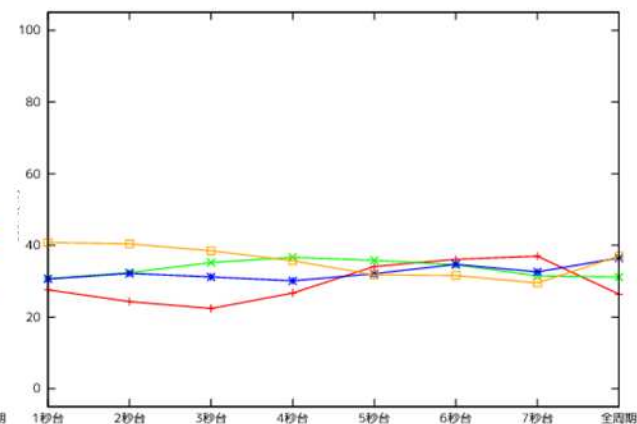
### SMGA3



### SMGA4



### SMGA5



# 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の検討

震源位置を強震動生成域(SMGA)に変更した場合の検討  
(全てMj8.4)

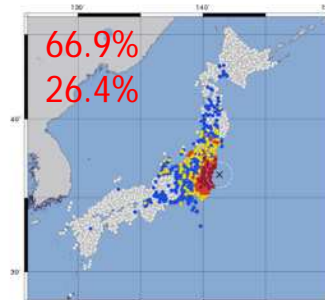
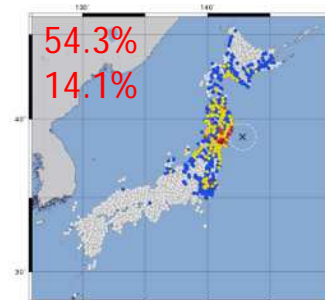
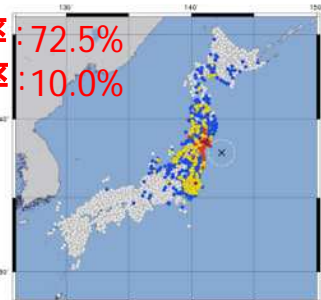
±1階級合致率: 72.5%  
完全階級合致率: 10.0%

SMGA1

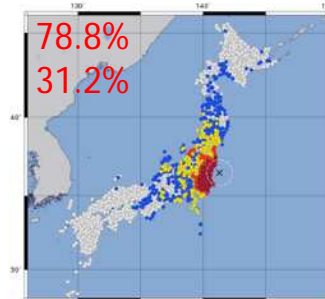
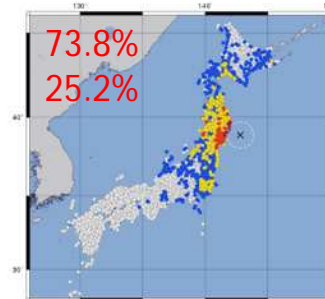
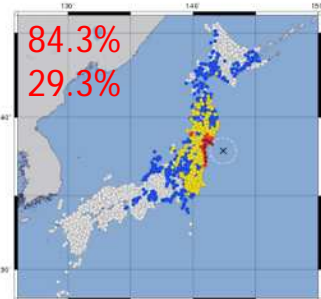
SMGA2

SMGA5

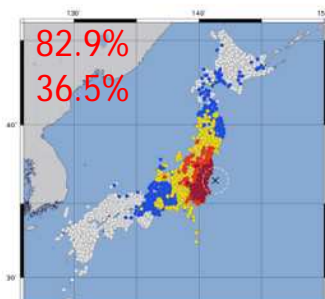
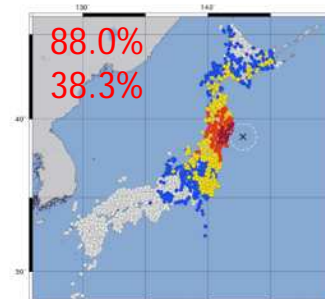
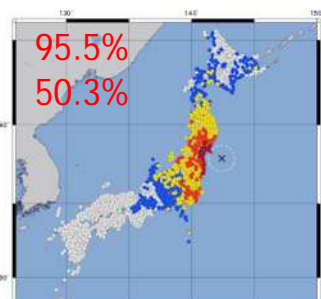
建築研式



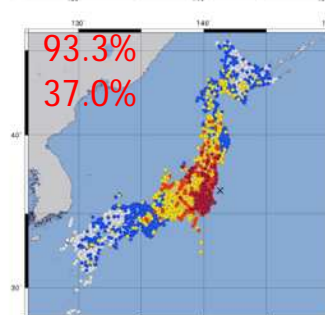
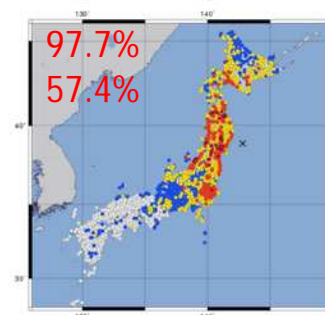
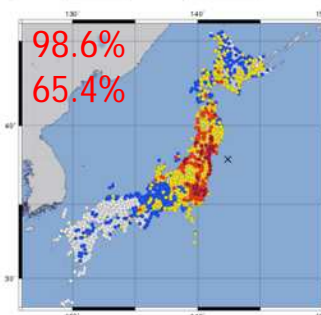
防災科研式



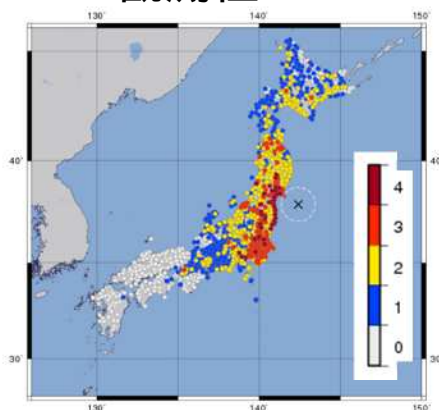
内閣府式



防災科研式



観測値



対象周期帯: 長周期地震動階級  
(全周期(1.6-7.8s)の最大値に対する階級)

# 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の検討のまとめ

- ・平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に関しても、最大変位振幅から求めたMj8.4の場合について、予測適合度(±1階級合致)を調べたところ、防災科研式が4式の中で99%程度と最も高い予測適合度を示した。
- ・緊急地震速報の最終報の震源(Mj8.1)を利用した場合でも、防災科研式が9割以上の予測適合度(±1階級合致)を示した。
- ・震源位置を気象庁カタログの震源に固定し、利用するMjだけを変化させた場合の予測適合度の比較から、Mjの推定の正確さが予測結果に影響を与えることがわかった
- ・震源位置(破壊開始点)を、震源域内の強震動生成式的位置と仮定した場合、完全階級合致の予測適合度は真の震源(初期震源)からの距離に従って低下する傾向にあった。

# まとめ

- ・H25WG報告書で対象とした3式(建築研式、防災科研式、内閣府式)に、第3回WGで青井委員から提案があったMjを用いた絶対速度応答スペクトルの距離減衰式(防災科研式)を加え、長周期地震動予測に関する検討を行った。
- ・本検討では、M6以上の地震(強震観測報告の掲載基準を満たす地震)や、緊急地震速報の最終報の震源を利用した予測の適合度(観測と予測の階級差 $\pm 1$ に入る割合)を調べた。その結果、長周期地震動階級(全周期(1.6-7.8s)の最大値に対する階級)における観測点ごと・地域ごと(地域内の最大値)の予測に関し、4式とも予測適合度が概ね6割程度以上となり、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った。
- ・なかでも、防災科研式を用いた予測は、 $\pm 1$ 階級合致で8~9割程度の予測適合度を示し、今回行った比較において予測適合度が最も高い距離減衰式である場合が多かった
- ・平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に関しても、防災科研式は緊急地震速報の最終報の震源(Mj8.1)を利用した場合でも、9割以上の予測適合度( $\pm 1$ 階級合致)を示した。
- ・ただし、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がある。

謝辞:本調査では、防災科学技術研究所の強震観測網の記録を利用しました。

# 方針案

- ・本検討結果を踏まえ、気象庁が行う長周期地震動の予測に関しては、主に防災科研式 を距離減衰式として利用した手法について、今後の検討を進めていくこととしたい。

## 留意事項

- ・今回の調査は、気象庁による長周期地震動階級の予測のための、緊急地震速報の段階で得られる震源(破壊開始点)や $M_j$ のみを利用した評価であり、防災科研式 を除いて、 $M_w$ を $M_j$ から簡易的に推定している点、矩形断層ではなく球震源を利用している点、対象とする震源距離を超えて利用している点、疑似絶対速度応答( $pSva$ )や相対速度応答( $Svr$ )を絶対速度応答( $Sva$ )と同一とみなしている点など、各式の作成者が想定する範囲外の利用をしており、その距離減衰式の一般的な評価をしているわけではないことに留意する必要がある。

# 別添 1 検討に用いた応答スペクトルの 距離減衰式の特徴について



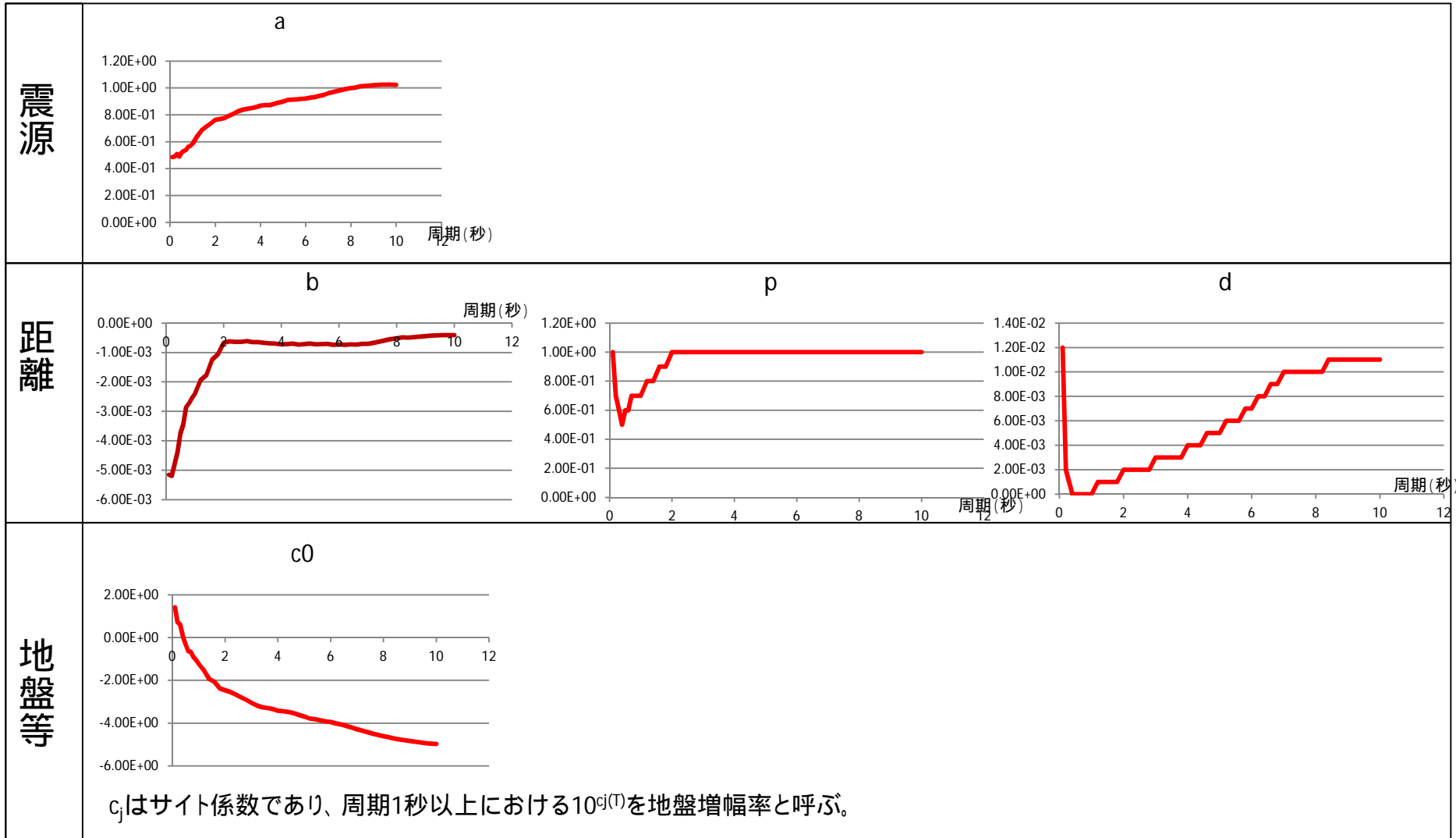
# 建築研式(プレート境界)の係数

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

震源			
距離			
地盤等		<p><math>c_{je}</math> はサイト係数であり、周期1秒以上における<math>10^{c_{je}(T)}</math>と<math>10^{c_{jw}(T)}</math>を地盤増幅率と呼ぶ。 また、震源が西日本(フィリピン海プレート)/東日本(太平洋プレート)によって異なる。</p>	

# 建築研式(内陸)の係数

$$\log_{10} S_{aa}(T) = a(T)M_w + b(T)R - \log_{10}(R^{p(T)} + d(T)10^{0.5M_w}) + c_0(T) + c_j(T)$$

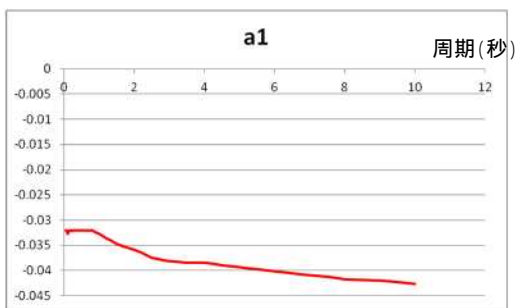


# 防災科研式の係数

$$\log_{10} Saa(T) = a_1(T)(M_{w1'} - M_{w1})^2 + b_{1k}(T)R + c_{1k}(T) - \log_{10}(R + d_1(T)10^{e_1 M_{w1'}}) + G_d(T) + G_s(T)$$

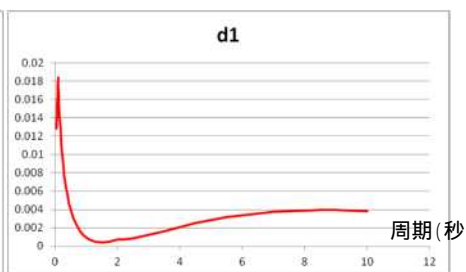
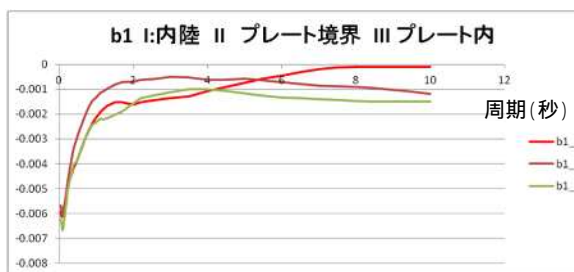
$$M_{w1'} = \min(M_w, M_{w01}) \quad G_d(T) = p_d(T) \log_{10}[\max(D_{lmin}(T), D)/D_0] \quad G_s(T) = p_s(T) \log_{10}[\min(V_{smax}(T), V_s)/V_0]$$

震源



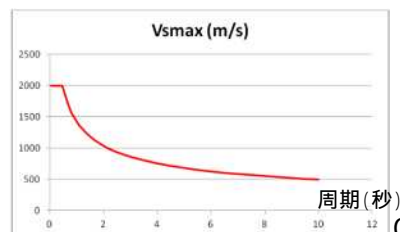
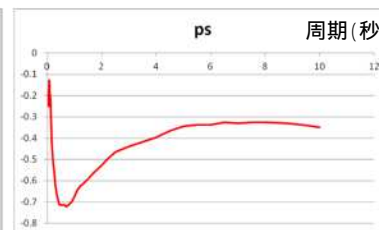
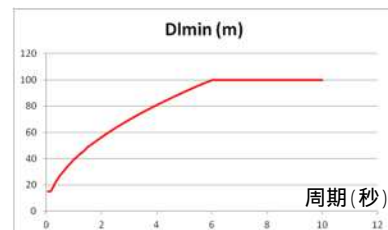
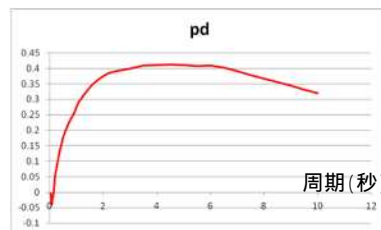
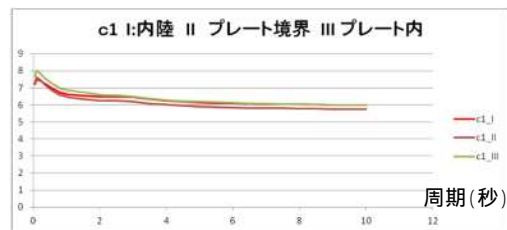
$M_{w01} = 8.2$   
 $M_{w1}$ は定数16

距離



$e_1 = 0.5$

地盤等



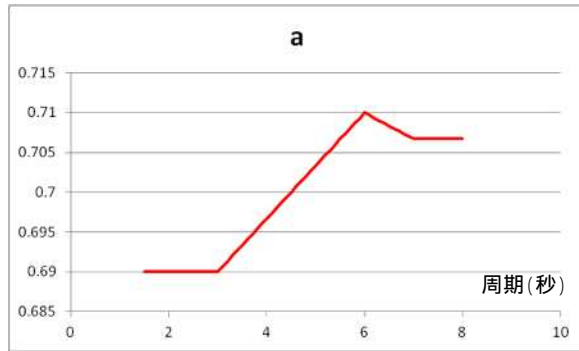
$D_0 = 250(m)$        $V_0 = 350(m/s)$

$G_d$ は堆積層に係る補正值 ( $V_s=1400m/s$ の深さを元に計算)     $G_s$ は表層の軟弱地盤に係る補正值 (AVS30を元に計算)

# 内閣府式の係数

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

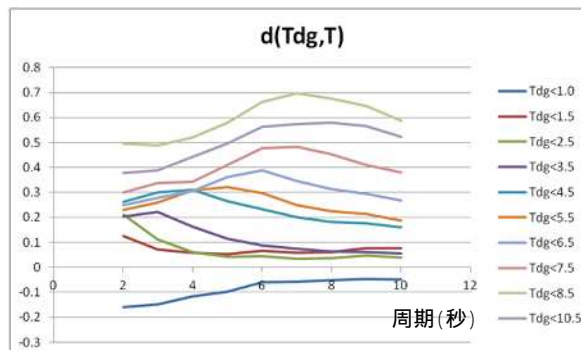
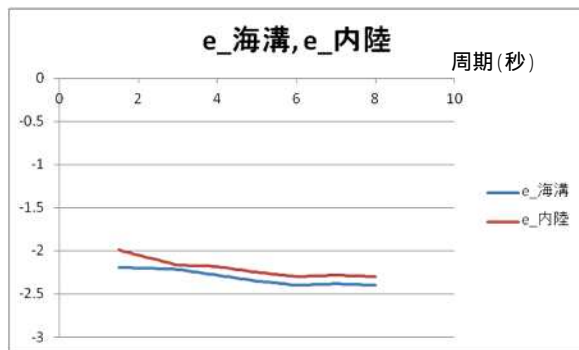
震源



距離

$b=0.001$   $c=0.86$

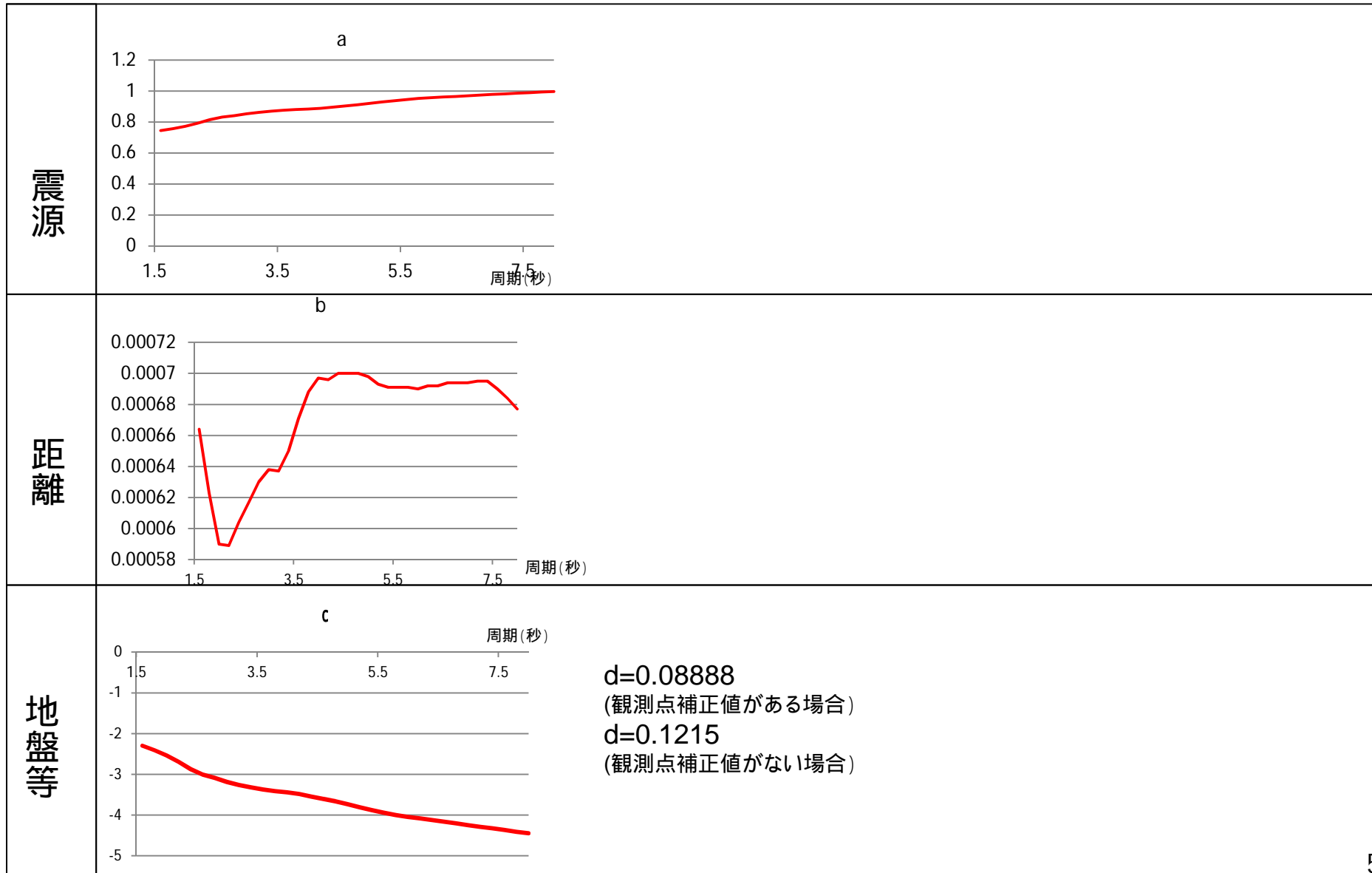
地盤等



Tdgは深部地盤の一次固有周期(秒) 50

# 防災科研式 の係数

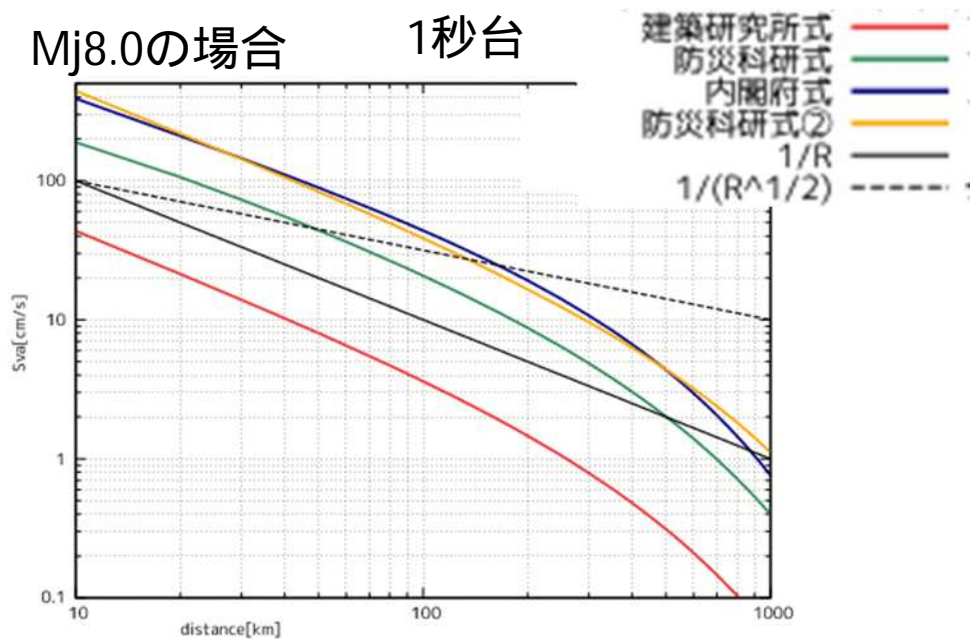
$$\log_{10} Sva(T) = c(T) + a(T)M_j - \log_{10} R - b(T)R + \text{siteFactor}(T) + d$$



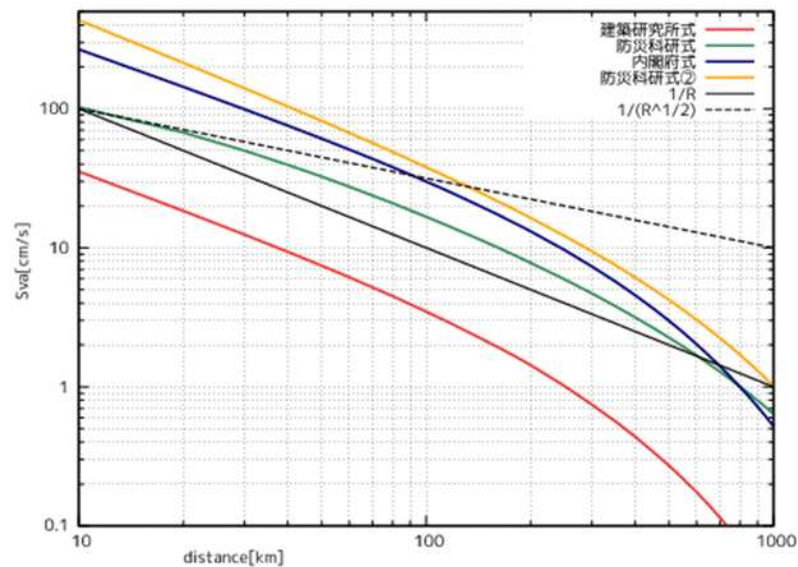
# 式の特徴－プレート境界(太平洋プレート)の地震

Mj8.0の場合

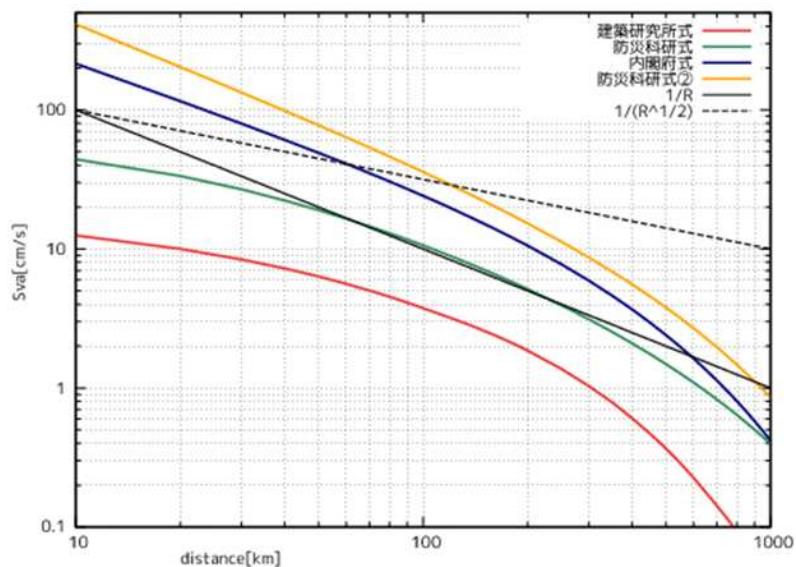
1秒台



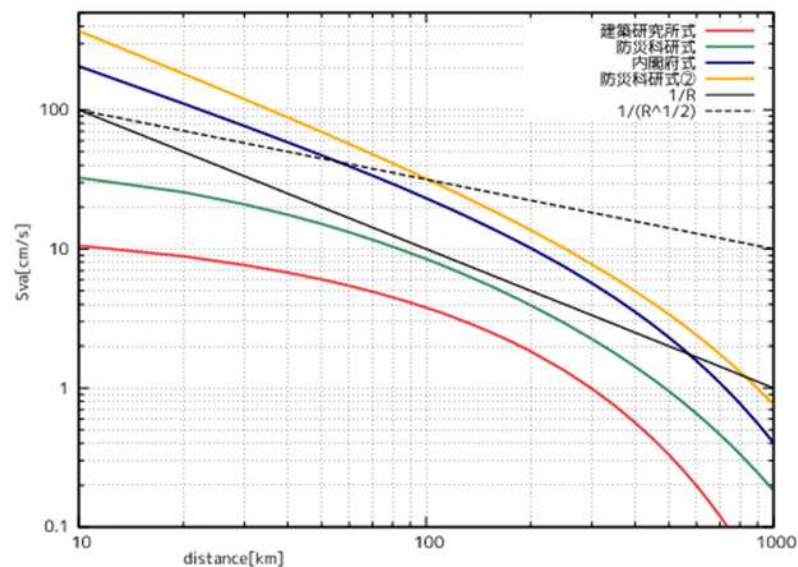
3秒台



5秒台

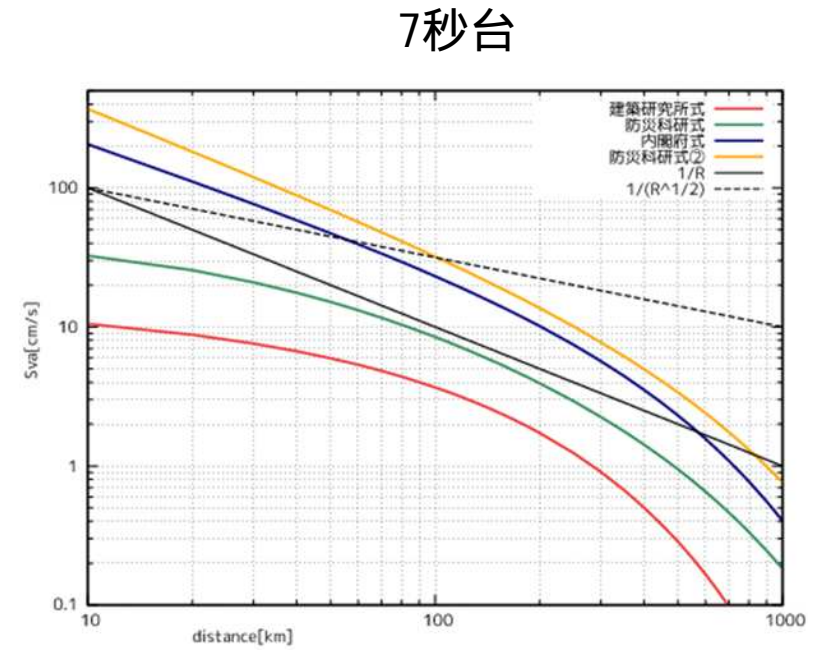
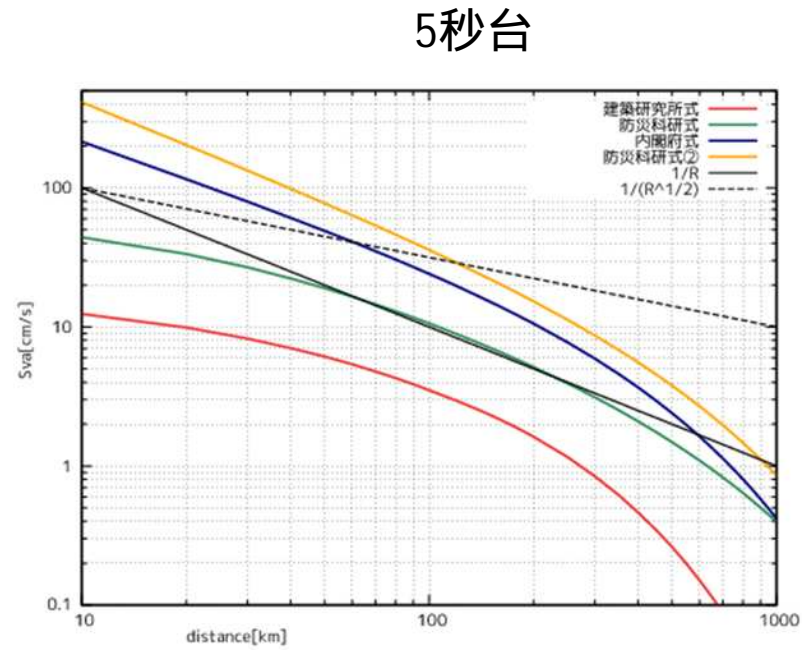
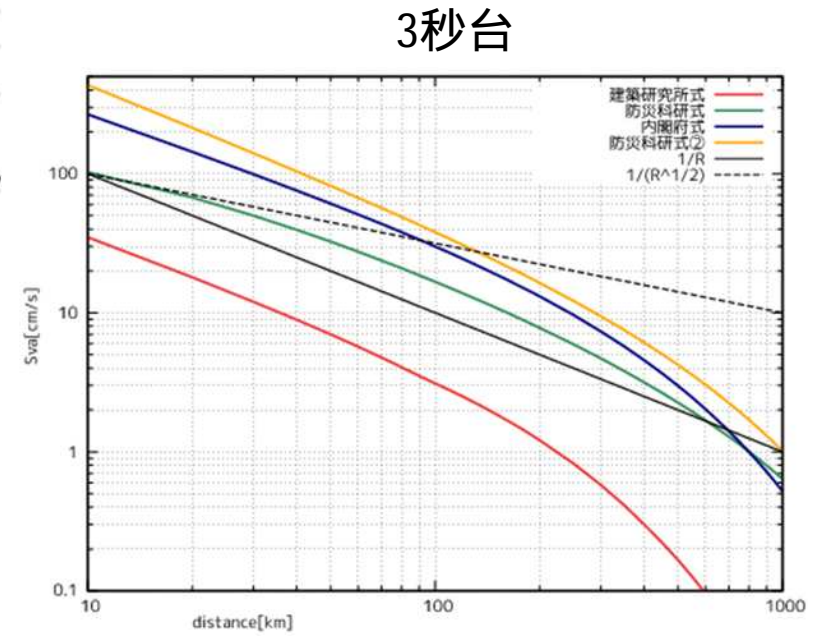
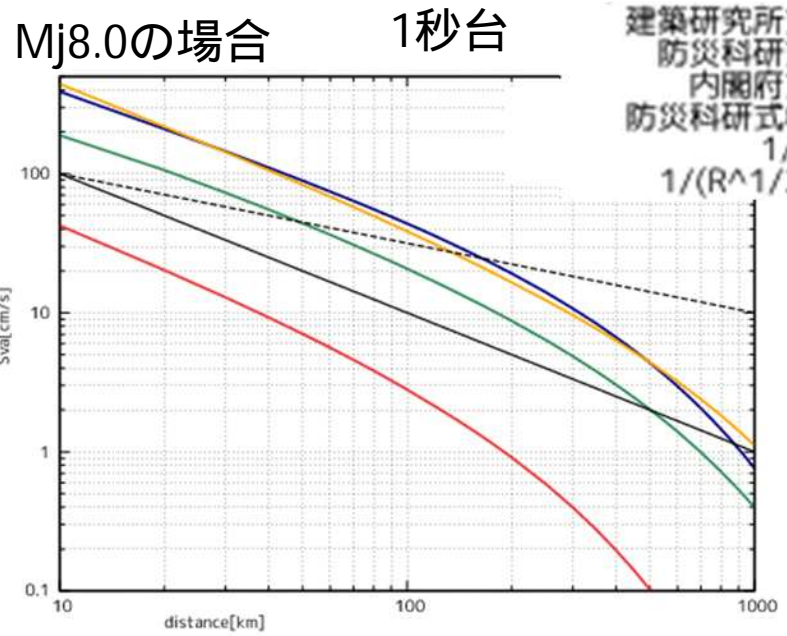


7秒台

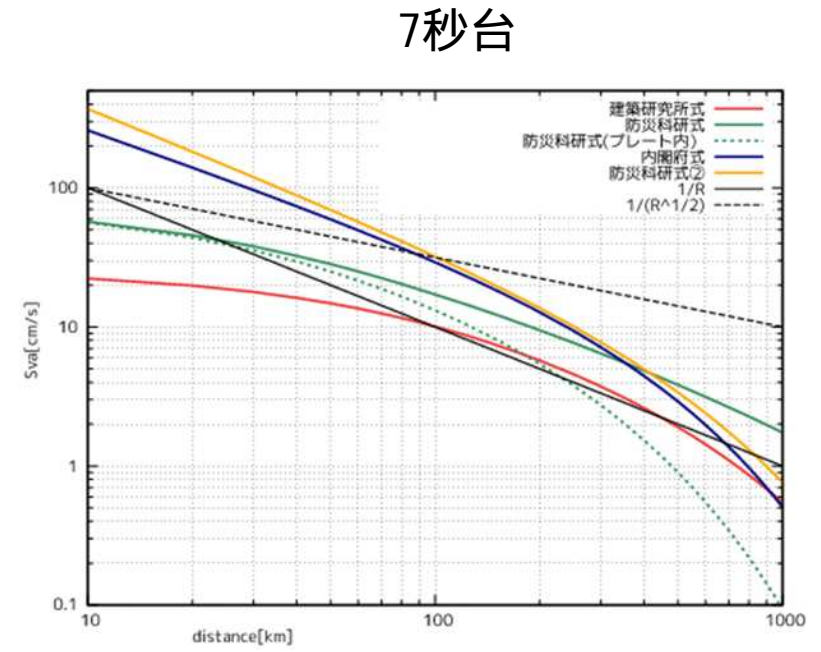
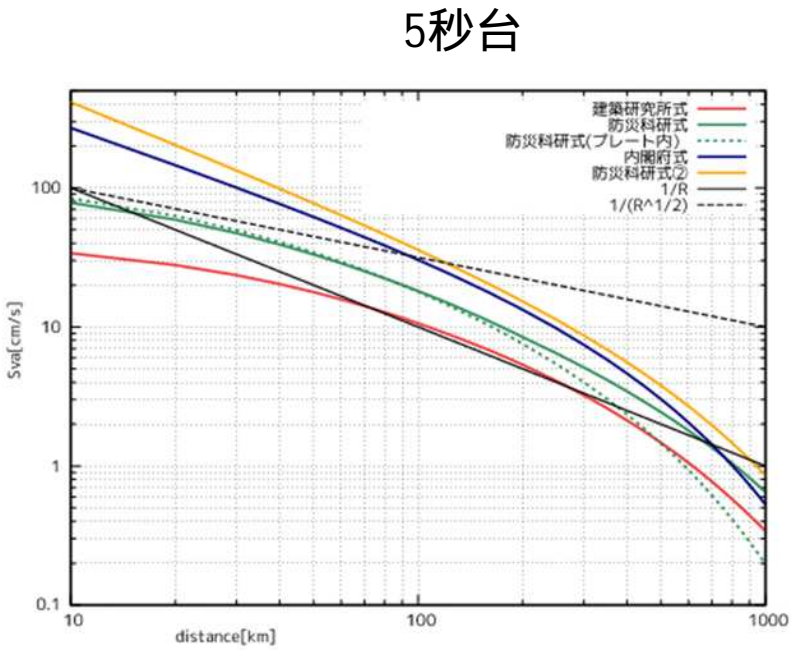
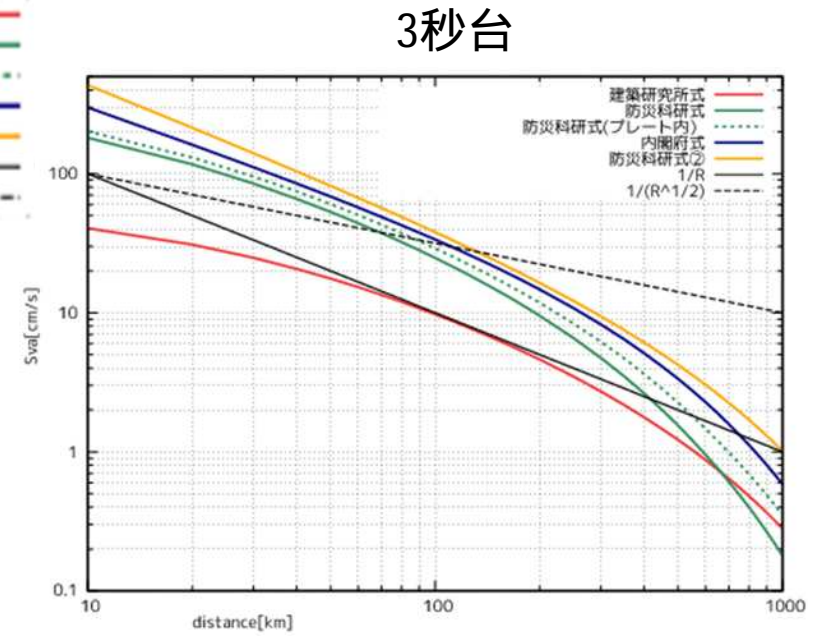
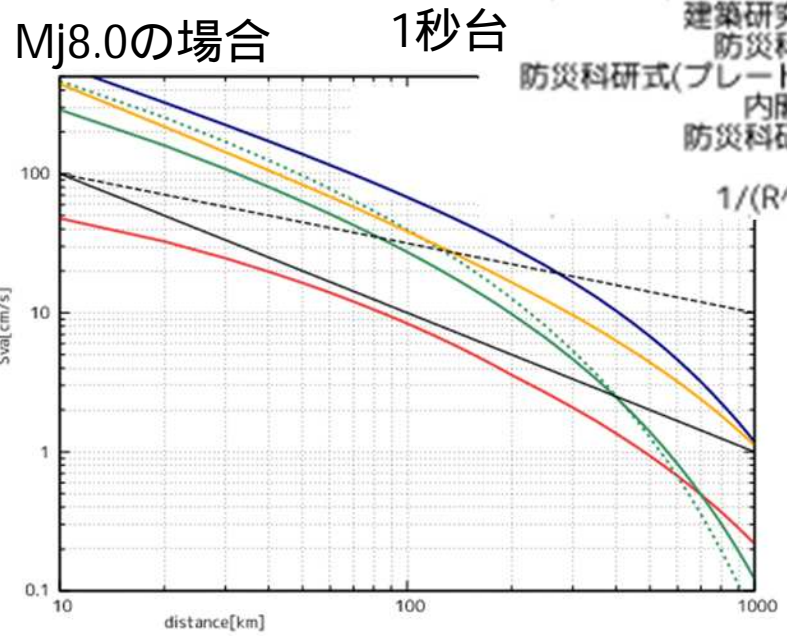




# 式の特徴ープレート境界(フィリピン海プレート)の地震

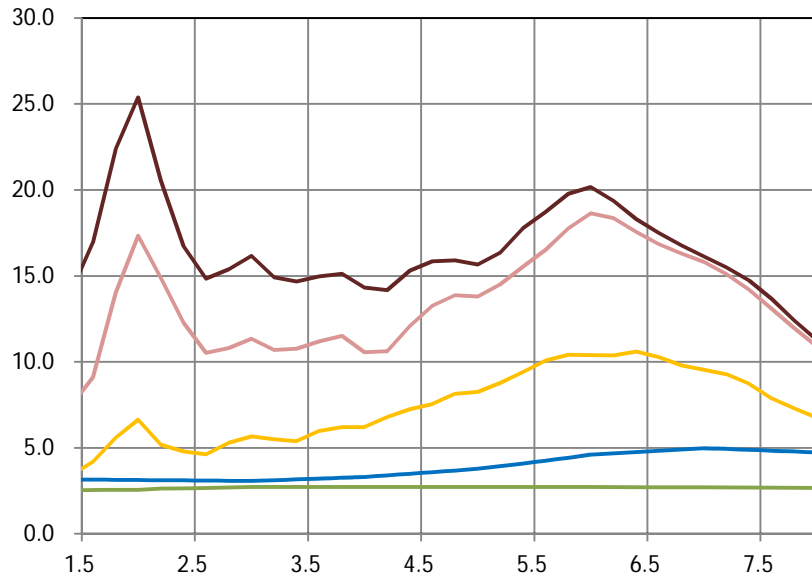


# 式の特徴－内陸の地震

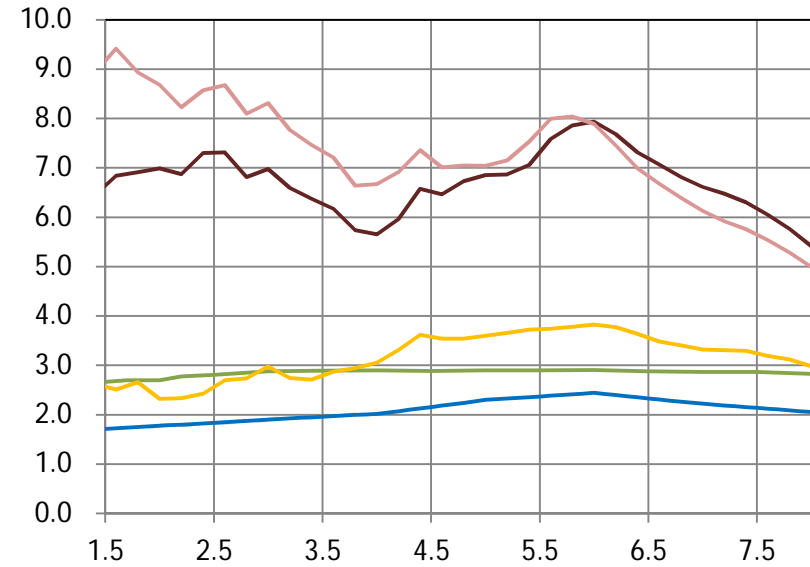


# 特定の観測点の地盤増幅率

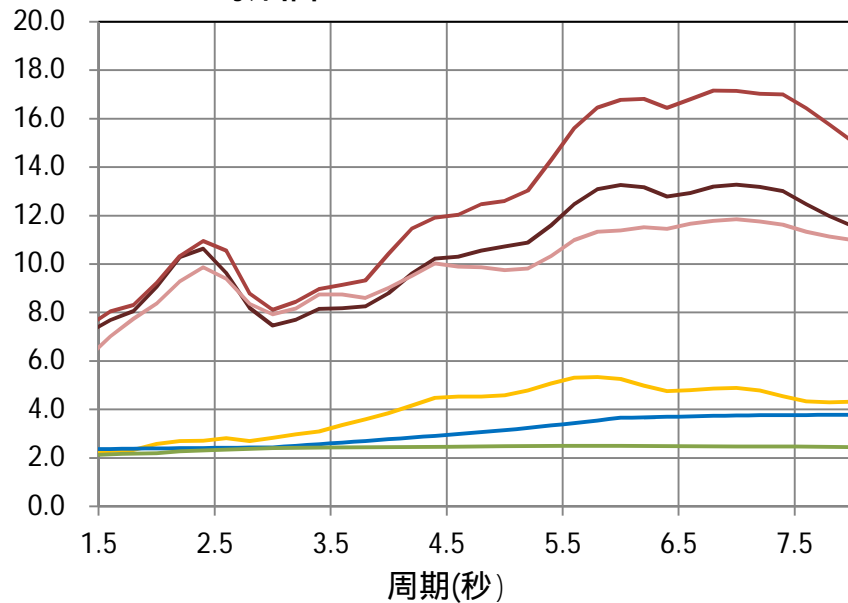
KiK-net 此花



K-NET 四日市



K-NET 新宿



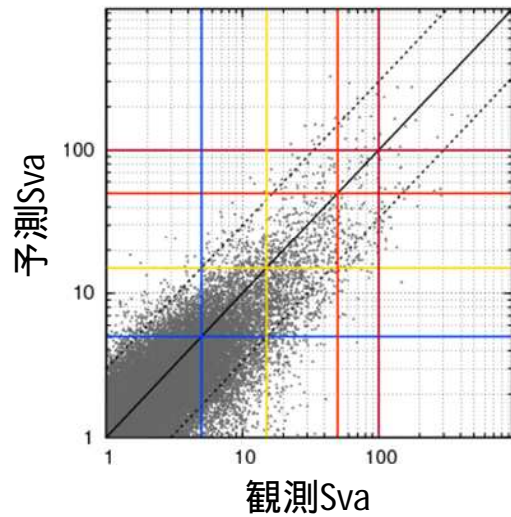
- 建築研究所(内陸)
- 建築研究所(太平洋プレート)
- 建築研究所(フィリピン海プレート)
- 防災科研②
- 内閣府
- 防災科研

## 別添2 各距離減衰式ごとの観測と予測の 絶対速度応答スペクトル

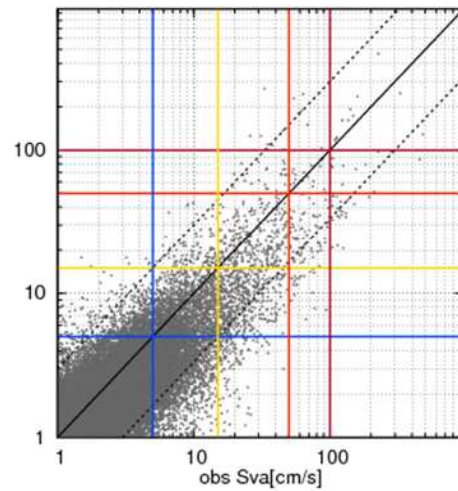


絶対速度応答スペクトルの観測値と予測値の比較 建築研式 データセット1 観測点ごと

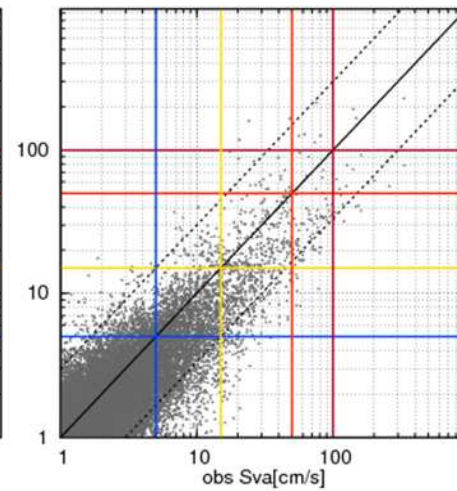
1秒台



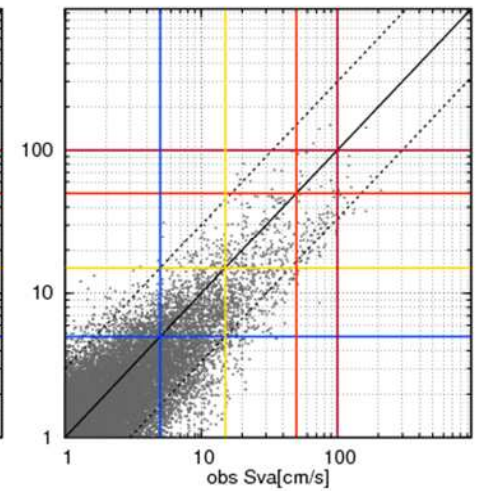
2秒台



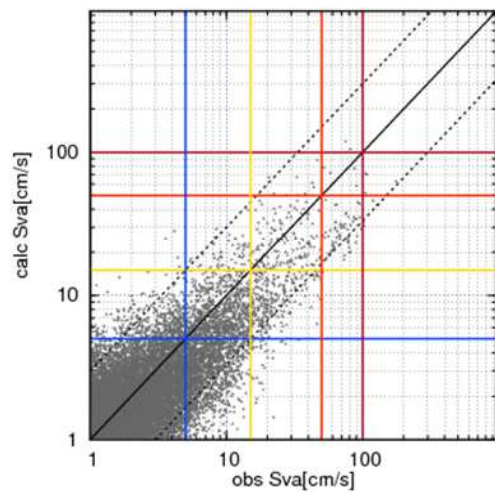
3秒台



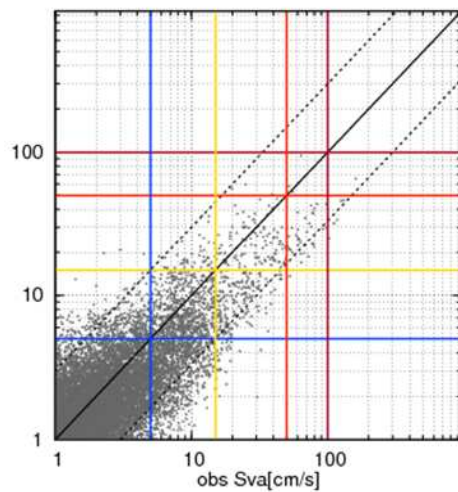
4秒台



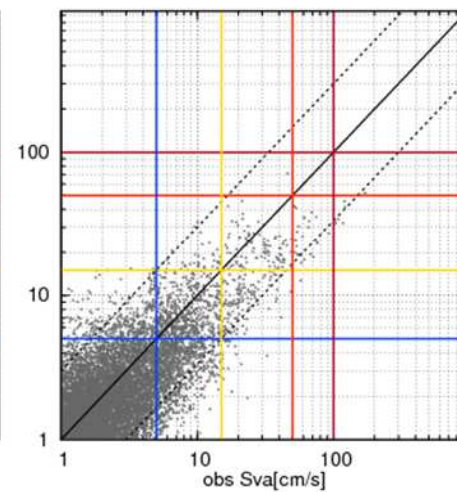
5秒台



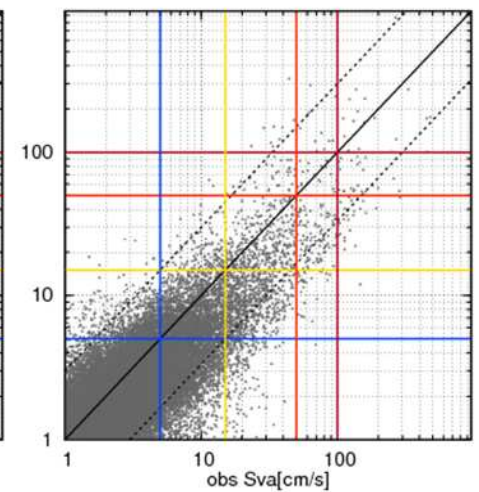
6秒台



7秒台

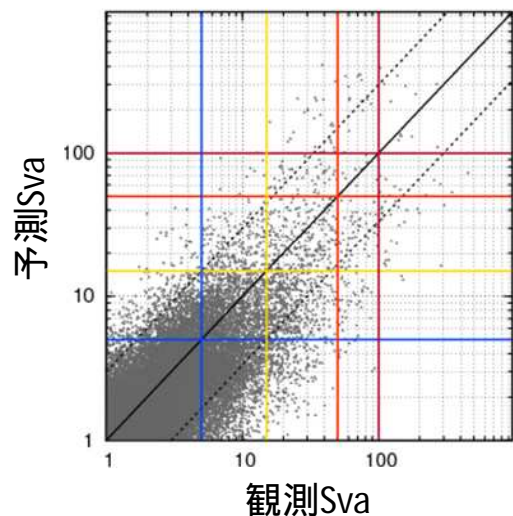


全周期

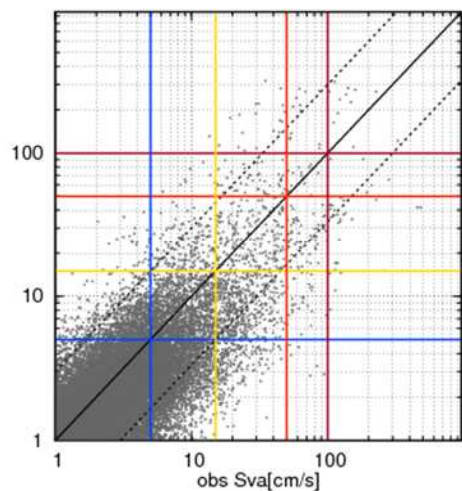




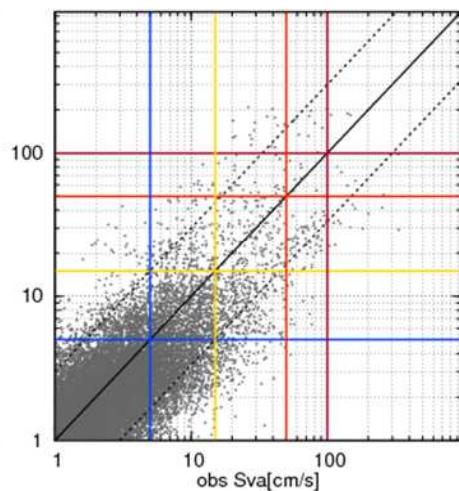
1秒台



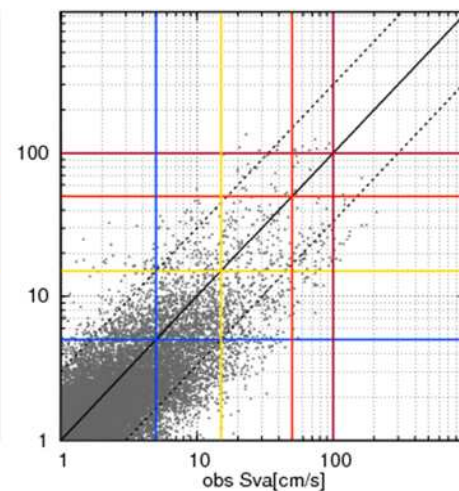
2秒台



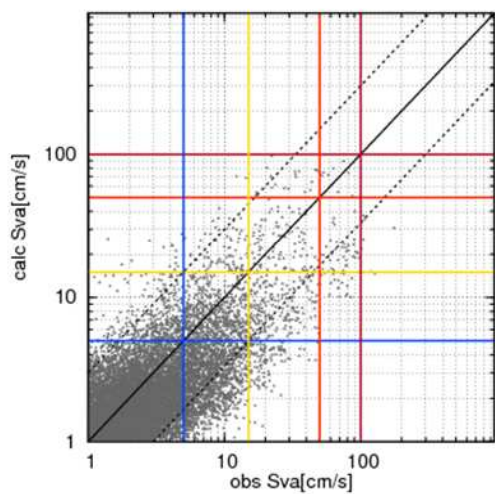
3秒台



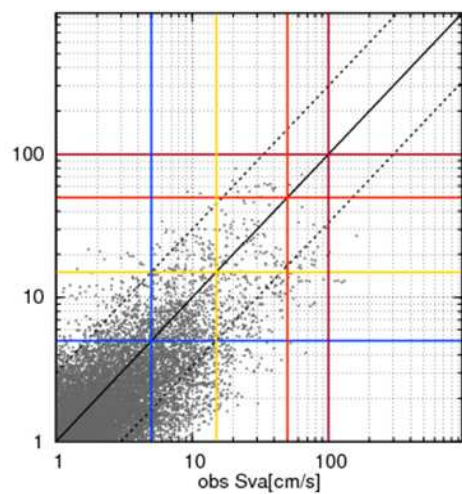
4秒台



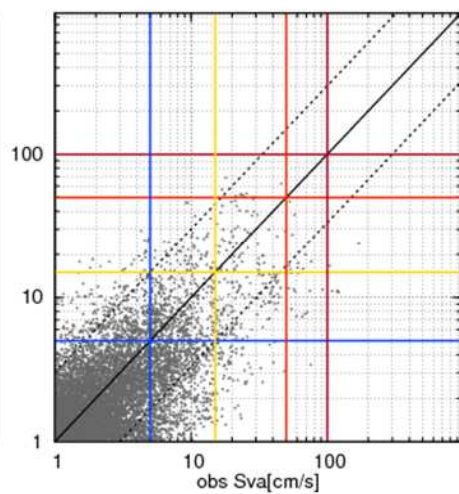
5秒台



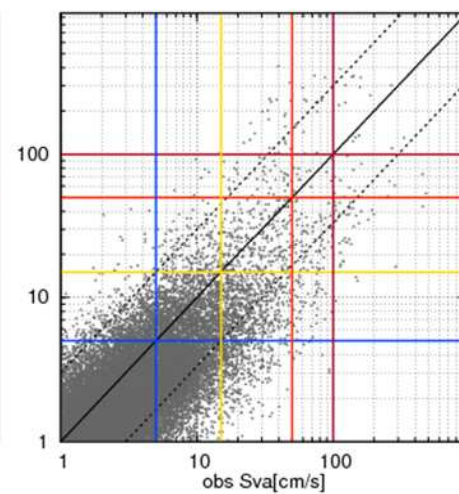
6秒台



7秒台



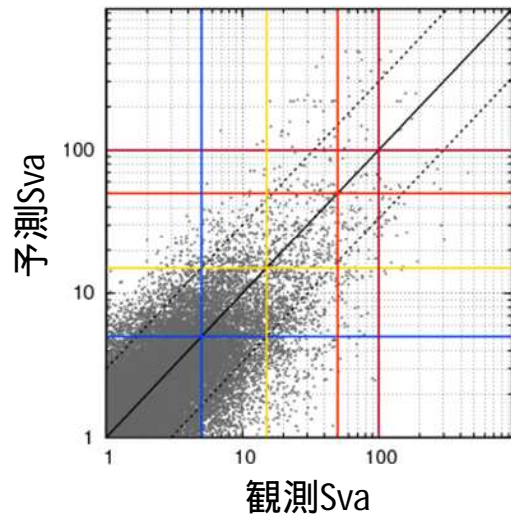
全周期



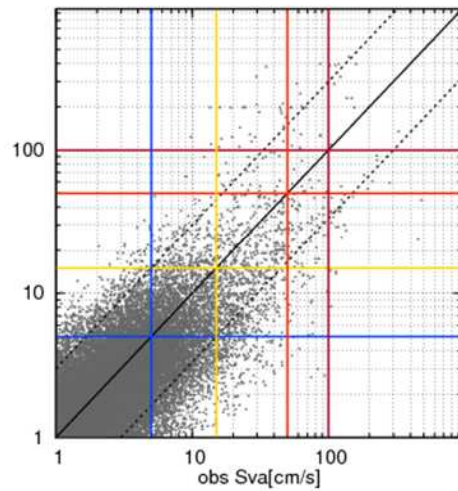


絶対速度応答スペクトルの観測値と予測値の比較 内閣府式 データセット1 観測点ごと

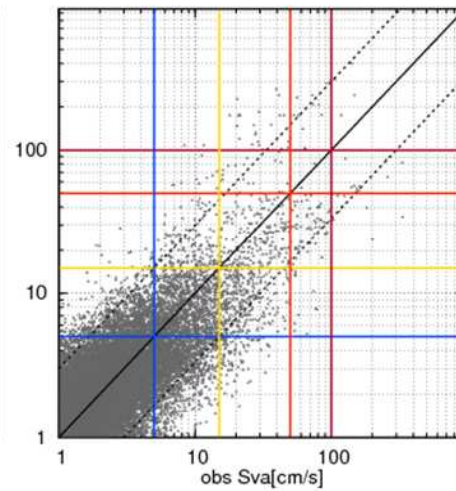
1秒台



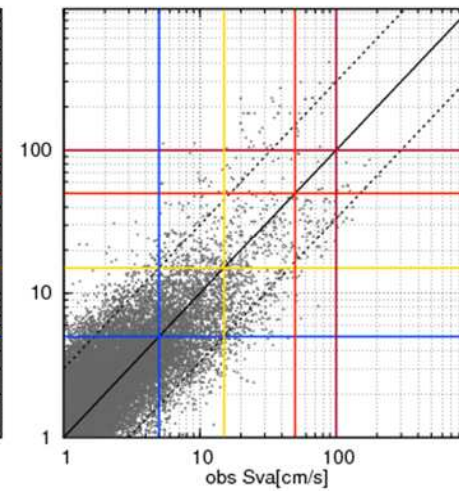
2秒台



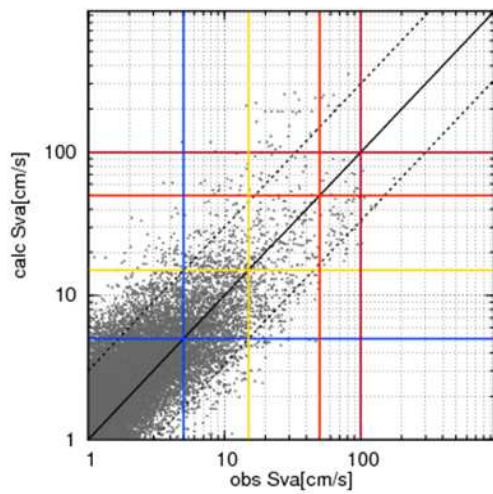
3秒台



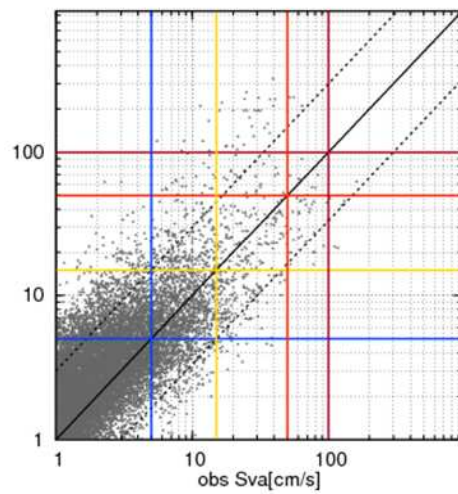
4秒台



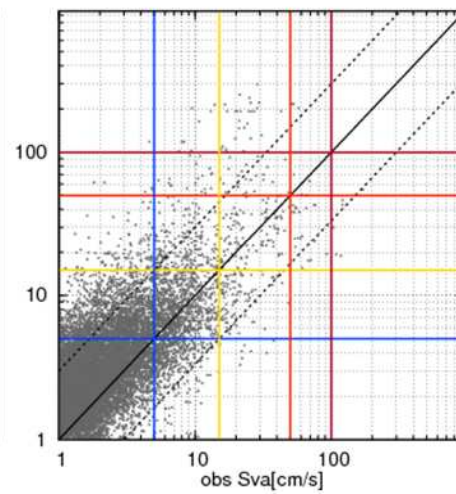
5秒台



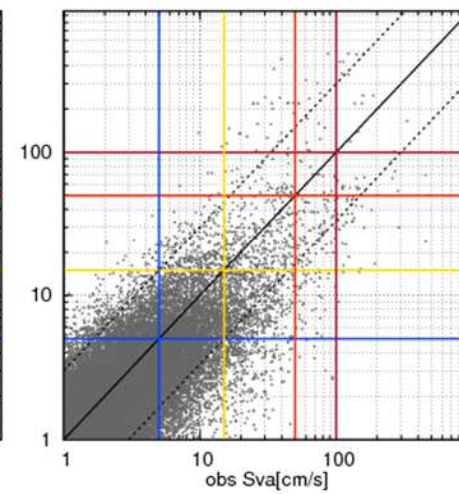
6秒台



7秒台

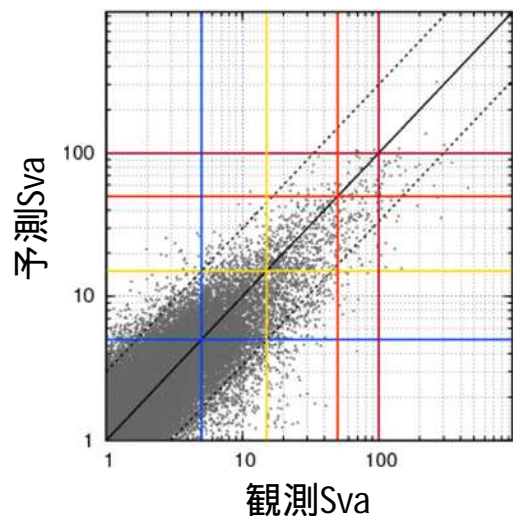


全周期

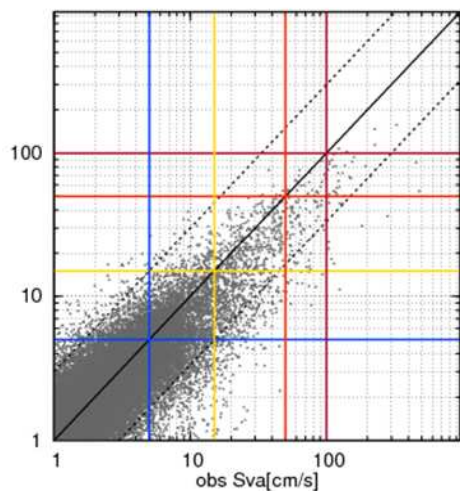




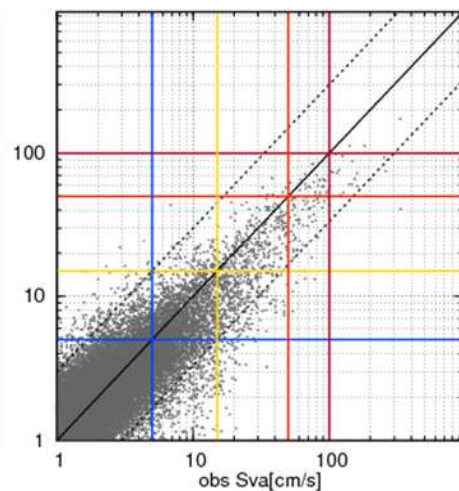
1秒台



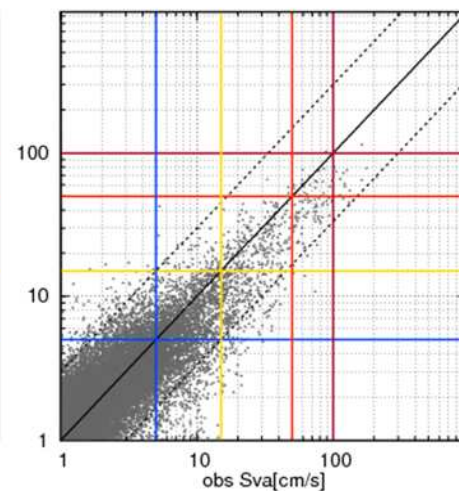
2秒台



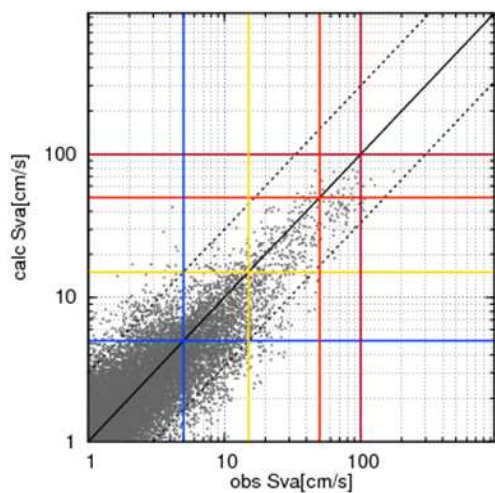
3秒台



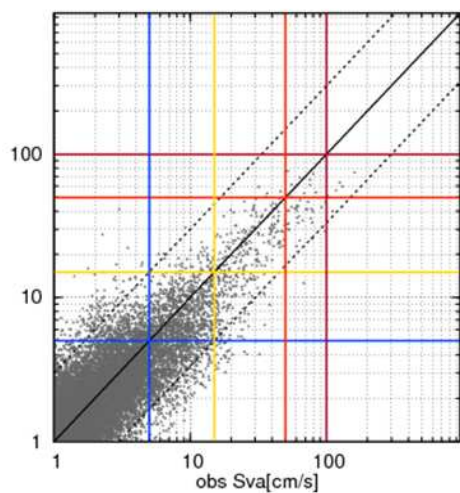
4秒台



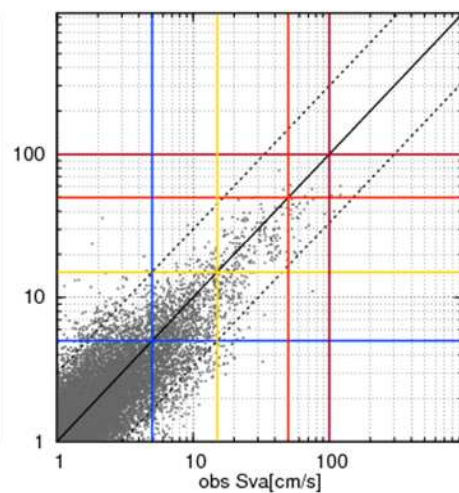
5秒台



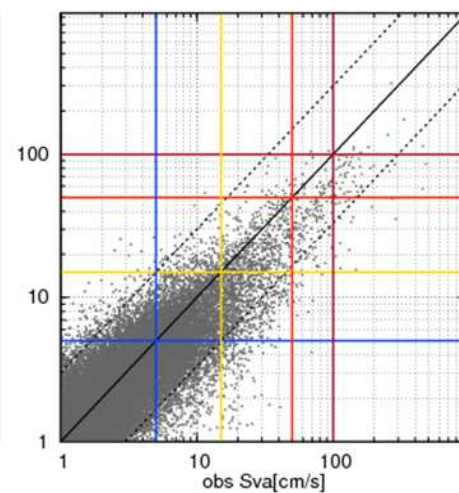
6秒台



7秒台



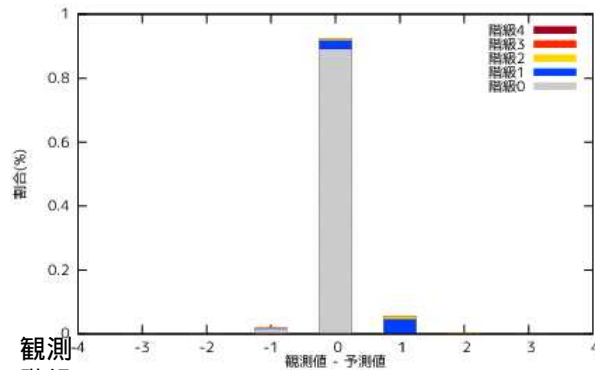
全周期



## 別添3 各距離減衰式ごとの観測と予測の 階級差分布

# 階級差の分布-----建築研式(データセット1, 観測点ごと)

## 1秒台

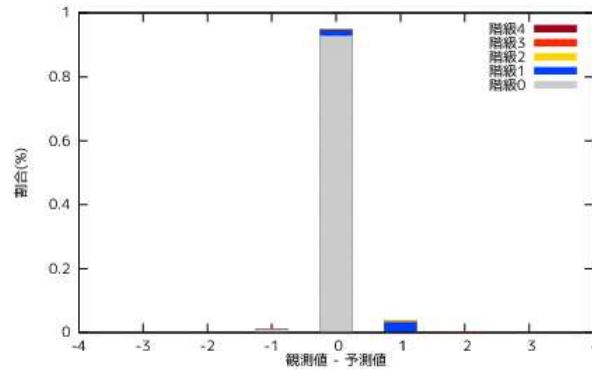


観測階級

観測階級 - 予測階級

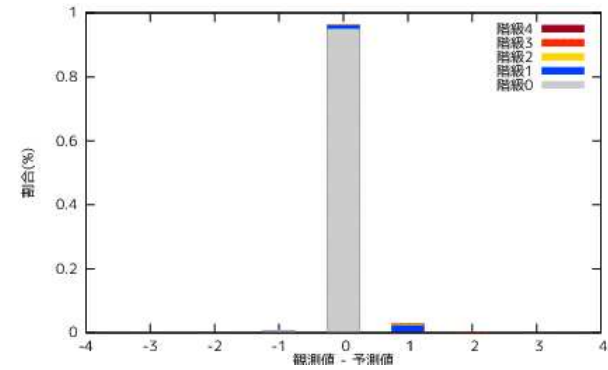
#1sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	7	1009	59804				
階級1		0	3	143	1857	3110			
階級2			9	38	337	575	160		
階級3				14	14	70	24	1	
階級4					14	14	23	1	0

## 3秒台



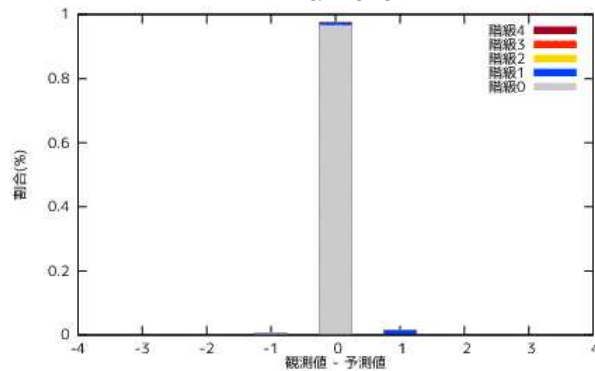
#3sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	4	534	62361				
階級1		0	0	81	1313	2128			
階級2			3	19	221	376	72		
階級3				5	12	66	10	0	
階級4					3	11	8	0	0

## 5秒台



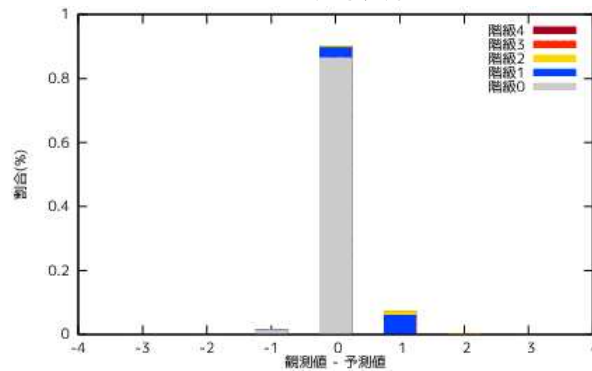
#5sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	4	459	63792				
階級1		0	0	57	848	1546			
階級2			0	8	141	259	37		
階級3				2	5	60	1	0	
階級4					0	4	4	0	0

## 7秒台



#7sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	3	387	64933				
階級1		0	0	38	581	992			
階級2			0	1	98	139	23		
階級3				0	0	25	1	0	
階級4					0	1	5	0	0

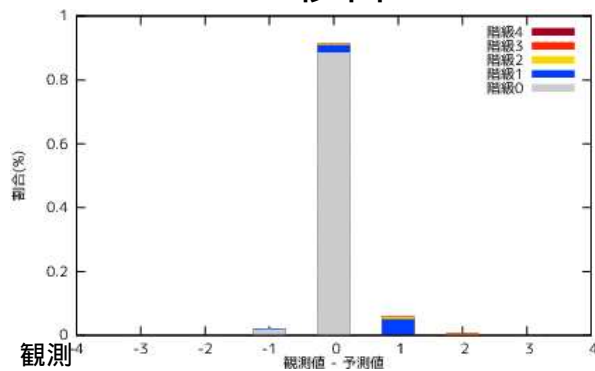
## 全周期



#all peri	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	7	910	58145				
階級1		0	0	131	2241	4117			
階級2			9	34	389	795	216		
階級3				11	17	99	32	1	
階級4					17	23	30	1	0

# 階級差の分布-----防災科研式(データセット1, 観測点ごと)

## 1秒台

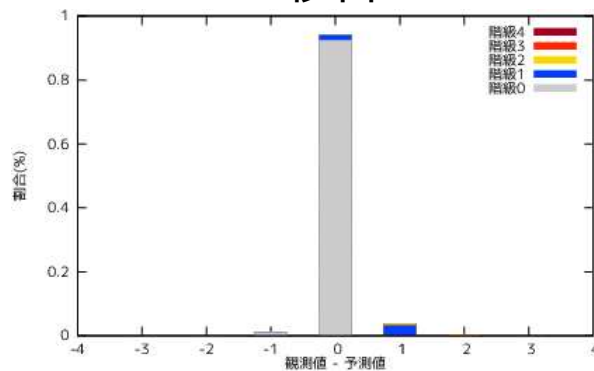


観測階級

観測階級 - 予測階級

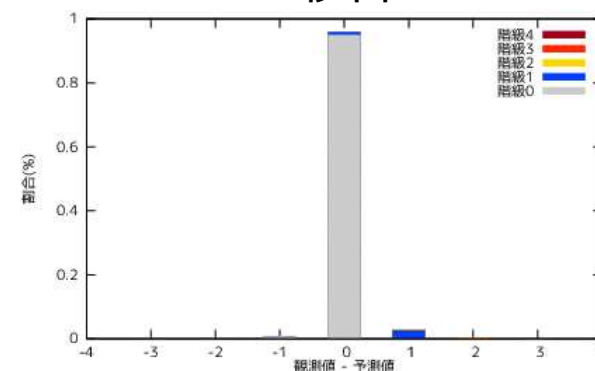
#1sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	33	1255	60313				
階級1		1	8	205	1560	3422			
階級2			25	43	247	522	293		
階級3				14	10	51	39	9	
階級4					12	12	23	5	0

## 3秒台



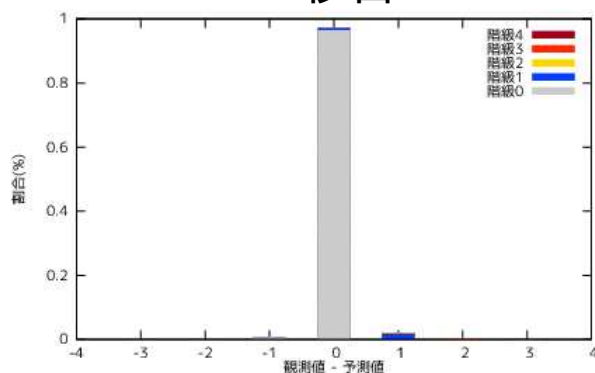
#3sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	27	765	62911				
階級1		0	10	155	1145	2277			
階級2			16	23	165	343	150		
階級3				11	7	58	15	2	
階級4					3	6	13	0	0

## 5秒台



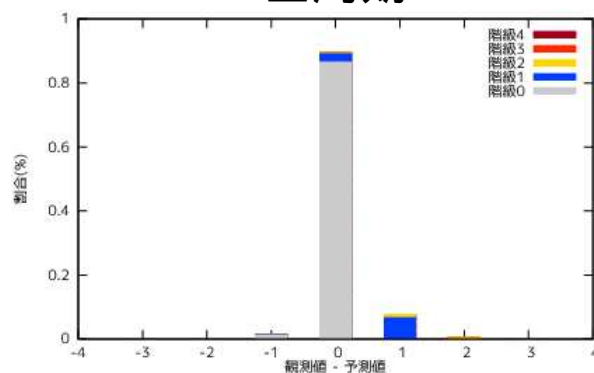
#5sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	15	397	64673				
階級1		0	2	79	624	1788			
階級2			0	18	93	210	127		
階級3				0	9	38	21	0	
階級4					0	0	6	2	0

## 7秒台



#7sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	20	434	65704				
階級1		0	0	64	441	1142			
階級2			0	10	62	125	68		
階級3				0	1	10	14	1	
階級4					0	0	2	4	0

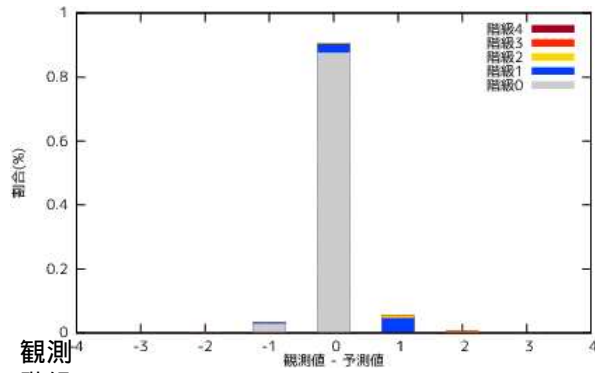
## 全周期



#all peri	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	17	857	58944				
階級1		1	6	166	1808	4612			
階級2			22	39	268	712	419		
階級3				13	13	75	50	9	
階級4					16	15	34	6	0

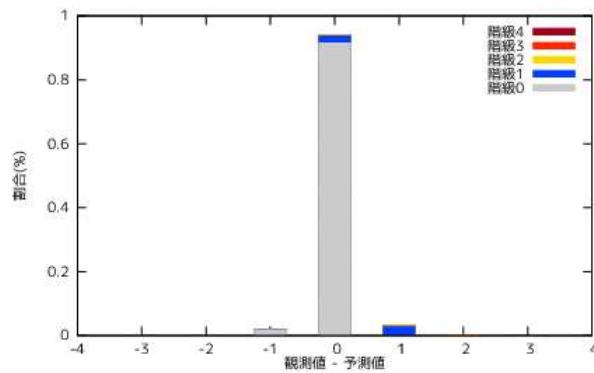


# 階級差の分布-----内閣府式(データセット1, 観測点ごと)

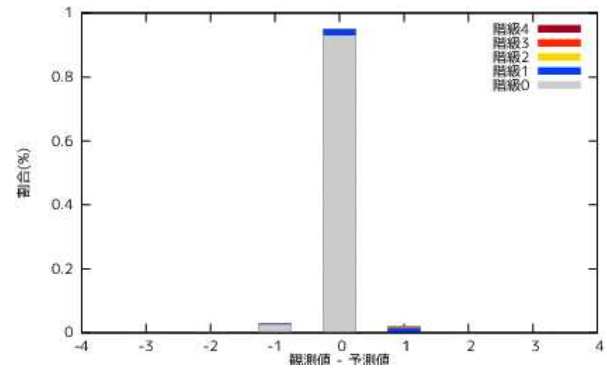


観測階級  
観測階級 - 予測階級

#1sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	62	1892	59647				
階級1		3	7	259	1828	3099			
階級2			28	32	270	507	293		
階級3				15	12	47	41	8	
階級4					11	12	23	5	1

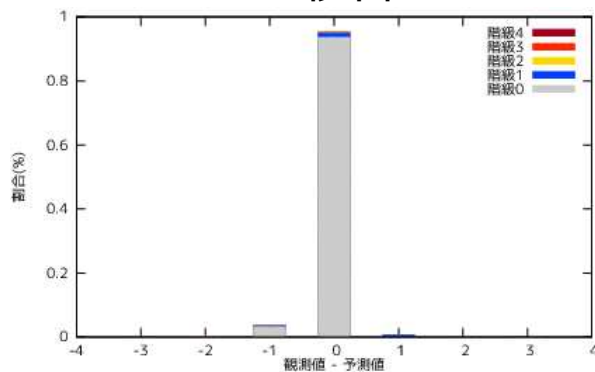


#3sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	17	1210	62476				
階級1		2	10	157	1469	1949			
階級2			23	18	204	344	108		
階級3				13	4	62	14	0	
階級4					4	9	9	0	0



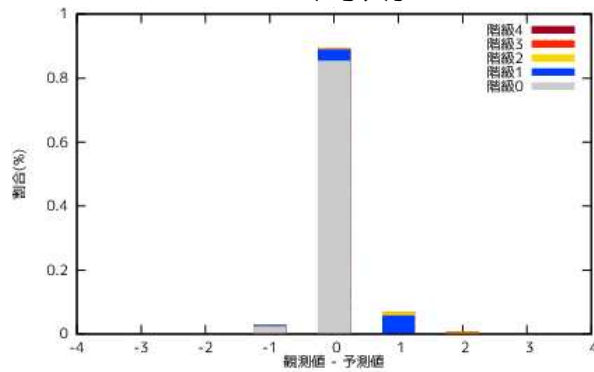
#5sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	1	2	53	1725	63304				
階級1		3	17	202	1275	996			
階級2			26	22	161	215	24		
階級3				8	12	47	1	0	
階級4					0	2	6	0	0

7秒台



#7sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	1	5	102	2232	63818				
階級1		8	19	212	940	468			
階級2			27	25	108	95	10		
階級3				3	4	19	0	0	
階級4					0	1	5	0	0

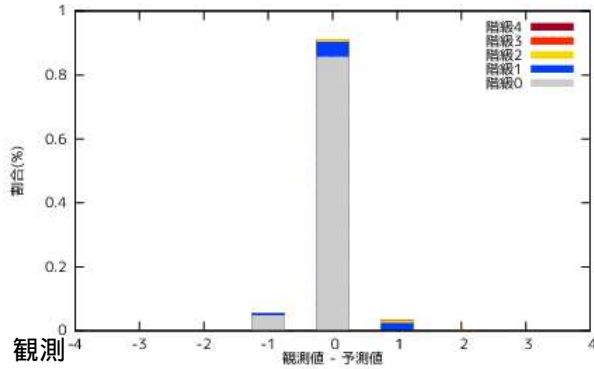
全周期



#all peri	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	23	1602	58193				
階級1		2	5	257	2390	3939			
階級2			26	40	300	764	330		
階級3				14	14	80	45	7	
階級4					16	18	31	6	0

# 階級差の分布-----防災科研式 (データセット1, 観測点ごと)

## 1秒台

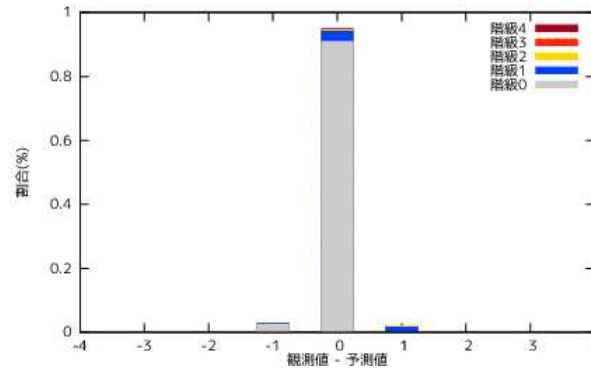


観測  
階級

観測階級 - 予測階級

#1sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	34	3255	58310				
階級1		0	1	389	3179	1627			
階級2			2	41	545	472	69		
階級3				7	35	71	10	0	
階級4					16	25	11	0	0

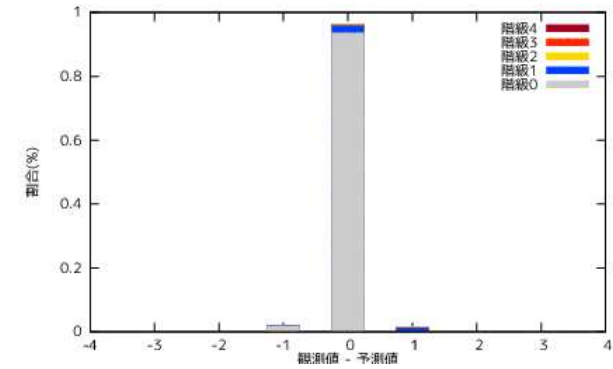
## 3秒台



観測  
階級

#3sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	23	1738	61940				
階級1		0	1	198	2216	1171			
階級2			0	23	363	279	32		
階級3				2	48	39	4	0	
階級4					7	14	1	0	0

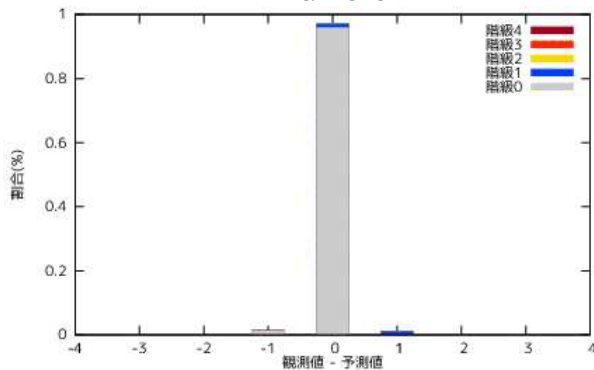
## 5秒台



観測  
階級

#5sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	1	17	1249	63816				
階級1		0	0	123	1477	892			
階級2			0	17	242	175	14		
階級3				0	40	28	0	0	
階級4					0	7	1	0	0

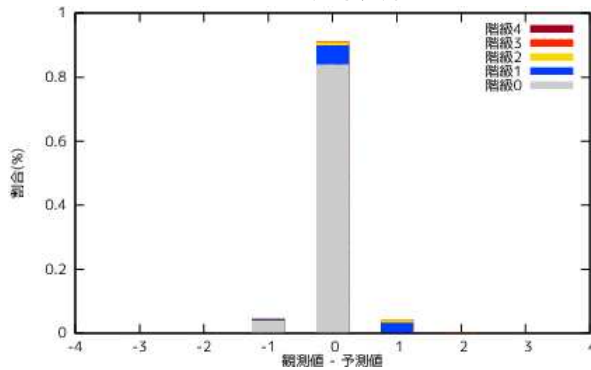
## 7秒台



観測  
階級

#7sec	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	12	860	65283				
階級1		0	0	79	912	656			
階級2			0	10	169	74	12		
階級3				0	12	13	1	0	
階級4					0	5	1	0	0

## 全周期

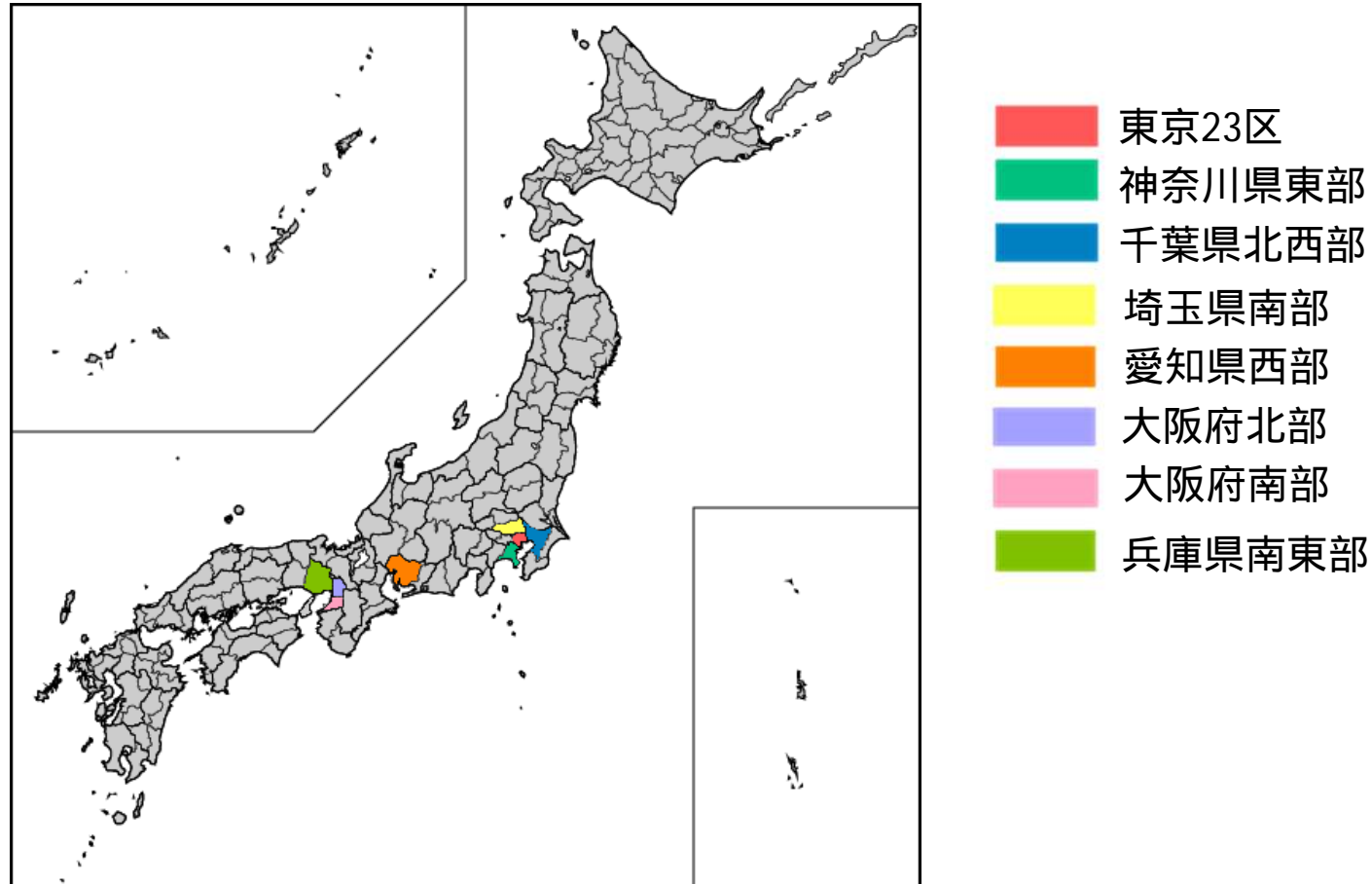


観測  
階級

#all peri	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
階級0	0	0	27	2649	57140				
階級1		0	3	360	4077	2153			
階級2			2	46	660	671	80		
階級3				4	51	94	11	0	
階級4					23	37	11	0	0

## 別添4 高層ビルが多く立地し、長周期地震動が卓越しやすい地域における予測適合度の検討

# 高層ビルが多く立地し、長周期地震動が卓越しやすい地域



## 利用データ

データセット1 強震観測報告に掲載されたM6.0以上の地震(1996~2013年)

震源は気象庁が事後に決定している値を利用

# 東京都23区 (観測点ごと、データセット1、全周期)

建築研式 31.0 53.6  
(完全階級合致 ±1階級合致)

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	975	46	0	0	0
	階級1	178	113	4	0	0
	階級2	13	11	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

内閣府式 42.9 94.4

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	890	131	0	0	0
	階級1	90	193	12	0	0
	階級2	2	22	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

防災科研式 31.8 70.8

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	963	58	0	0	0
	階級1	175	120	0	0	0
	階級2	7	17	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

防災科研式 48.7 93.3

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	894	127	0	0	0
	階級1	72	217	6	0	0
	階級2	2	22	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

# 神奈川県東部 (観測点ごと、データセット1、全周期)

建築研式 9.0 0.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	639	9	0	0	0
	階級1	68	8	0	0	0
	階級2	4	0	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

内閣府式 20.1 83.3

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	598	58	1	0	0
	階級1	47	28	1	0	0
	階級2	0	4	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

防災科研式 15.7 50.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	635	22	0	0	0
	階級1	60	16	0	0	0
	階級2	2	2	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

防災科研式 28.1 80.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	602	55	0	0	0
	階級1	37	38	1	0	0
	階級2	1	3	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0



# 千葉県北西部(観測点ごと、データセット1、全周期)

## 建築研式

20.7 33.3  
(完全階級合致 ±1階級合致)

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	910	34	0	0	0
	階級1	208	66	1	0	0
	階級2	10	3	1	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

## 内閣府式

30.7 93.8

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	875	69	0	0	0
	階級1	163	110	2	0	0
	階級2	1	13	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

## 防災科研式

23.7 64.3

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	891	53	0	0	0
	階級1	194	81	0	0	0
	階級2	5	9	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

## 防災科研式

46.2 88.9

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	826	118	0	0	0
	階級1	84	187	4	0	0
	階級2	2	11	1	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

# 埼玉県南部(観測点ごと、データセット1、全周期)

## 建築研式

23.0 46.2

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	701	12	0	0	0
	階級1	72	29	0	0	0
	階級2	7	6	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

## 内閣府式

34.3 100.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	672	47	0	0	0
	階級1	48	55	2	0	0
	階級2	0	12	2	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

## 防災科研式

24.8 50.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	701	18	0	0	0
	階級1	72	33	0	0	0
	階級2	7	6	1	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

## 防災科研式

43.0 93.3

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	666	53	0	0	0
	階級1	31	73	1	0	0
	階級2	1	12	1	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

# 愛知県西部 (観測点ごと、データセット1、全周期)

## 建築研式

27.1 80.0  
(完全階級合致 ±1階級合致)

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	493	0	0	0	0
	階級1	30	13	0	0	0
	階級2	1	4	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

## 内閣府式

39.6 100.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	490	5	0	0	0
	階級1	22	21	0	0	0
	階級2	0	5	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

## 防災科研式

37.5 100.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	495	0	0	0	0
	階級1	25	18	0	0	0
	階級2	0	5	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

## 防災科研式

63.3 100.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	483	12	0	0	0
	階級1	7	34	2	0	0
	階級2	0	1	4	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

# 大阪府北部 (観測点ごと、データセット1、全周期)

## 建築研式

40.6 85.7

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	75	3	0	0	0
	階級1	10	12	1	0	0
	階級2	0	4	1	0	0
	階級3	0	1	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

## 内閣府式

33.3 100.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	82	10	0	0	0
	階級1	10	12	1	0	0
	階級2	0	4	1	0	0
	階級3	0	0	1	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

## 防災科研式

31.4 85.7

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	86	6	0	0	0
	階級1	11	11	1	0	0
	階級2	0	5	0	0	0
	階級3	0	1	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

## 防災科研式

51.2 100.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	80	12	0	0	0
	階級1	1	17	5	0	0
	階級2	0	1	4	0	0
	階級3	0	0	1	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

# 大阪府南部 (観測点ごと、データセット1、全周期)

建築研式 36.8 93.3  
(完全階級合致 ±1階級合致)

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	51	4	0	0	0
	階級1	8	11	1	0	0
	階級2	1	10	3	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

防災科研式 12.8 81.3

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	52	4	0	0	0
	階級1	14	5	2	0	0
	階級2	3	11	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

内閣府式 32.5 92.9

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	51	5	0	0	0
	階級1	8	13	0	0	0
	階級2	1	13	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

防災科研式 43.5 88.5

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	45	8	3	0	0
	階級1	4	8	9	0	0
	階級2	0	2	12	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

# 兵庫県南東部 (観測点ごと、データセット1、全周期)

建築研式 17.2 100.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	146	5	0	0	0
	階級1	14	5	1	0	0
	階級2	0	4	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

防災科研式 33.3 80.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	146	5	1	0	0
	階級1	10	10	0	0	0
	階級2	0	4	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

内閣府式 28.9 100.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	138	14	0	0	0
	階級1	9	11	0	0	0
	階級2	0	4	0	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0

防災科研式 48.6 100.0

		予測				
		階級0	階級1	階級2	階級3	階級4
観測	階級0	141	11	0	0	0
	階級1	4	13	3	0	0
	階級2	0	0	4	0	0
	階級3	0	0	0	0	0
	階級4	0	0	0	0	0