

経験式に基づく地震動およびばらつきの評価

森川信之

(防災科学技術研究所)



地震動予測式(距離減衰式)

- ✓ 過去の経験(観測記録)にもとづいている
- ✓ 計算時間が短い → 広域への適用
- ✓ 短周期成分(最大加速度を含む)も評価可能
- ✓ 平均値だけでなく、ばらつきも求められている



地震の多様性、不確実性を考慮した
広域な地震(動)ハザード評価



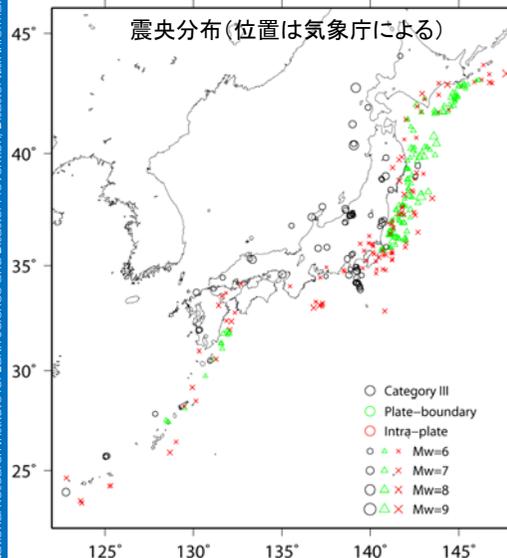
広域な地震(動)リスク評価

- ・ 地震リスクの概算や相対比較
- ・ 影響度の大きいシナリオの選択 → 詳細評価へ



M9まで直接適用できる地震動予測式

Morikawa and Fujiwara (2013): Journal of Disaster Research, 8, 878-888.



- ◎ 回帰に用いたデータ
- ・ 期間: 1967年~2011年末まで
- ・ Mw: 5.5~9.0
- ・ X(断層最短距離): 200 km以内
- ・ 地表の観測点
- ・ 地震動強さ指標:
計測震度
最大加速度 (PGA)
最大速度 (PGV)
加速度応答スペクトル (SA; 周期 0.05 ~ 10 秒)
- ※ 計測震度以外は水平二成分のベクトル合成最大値

M9まで直接適用できる地震動予測式

$$\log A = a \cdot (Mw' - 16)^2 + b_k \cdot X + c_k \cdot \log(X + d \cdot 10^{0.5Mw'}) + G_d + G_s$$

ただし、 $Mw' = \min(Mw, 8.2)$

A: PGA [cm/s], PGV [cm/s/s] または、ある周期 T の SA [cm/s/s]

※計測震度(I)は、log A の代わりに I/2 とする

Mw: モーメントマグニチュード

X: 断層最短距離 [km]

G_d : 深部地盤による増幅の補正項

G_s : 浅部地盤による増幅の補正項

σ : 標準偏差

a, b, c, d: 回帰係数

k: 地震のタイプを表す指標

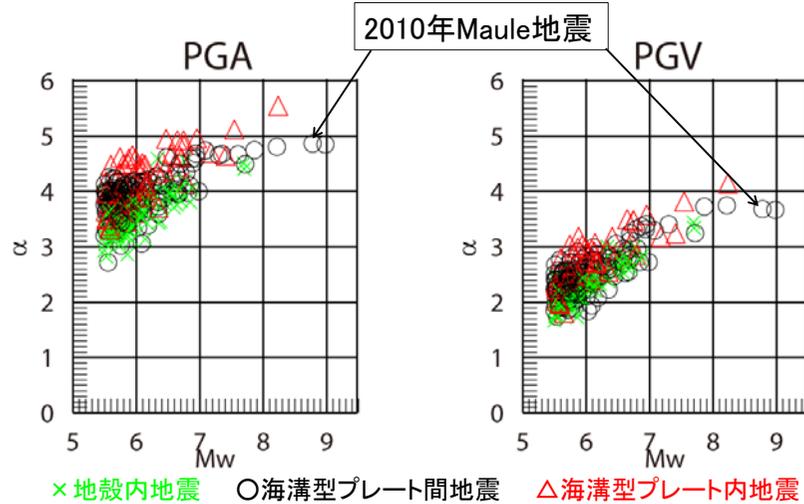
(1=地殻内、2=海溝型プレート間、3=海溝型プレート内)



マグニチュードに対する振幅の頭打ち



$\log A = \sum_i \alpha_i + b \cdot X - \log(X)$
の回帰により各地震に対して得られる α_i と M_w の関係



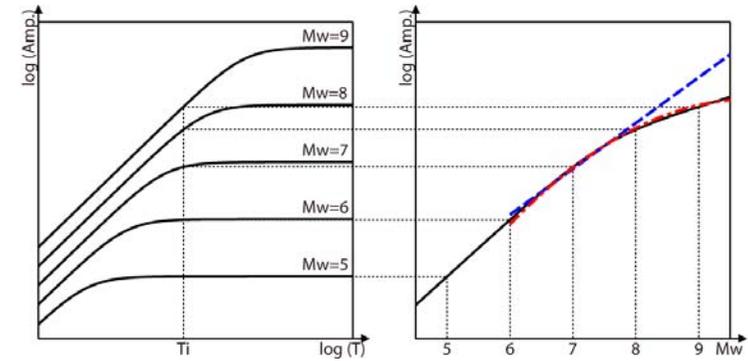
マグニチュードの二次式の導入



震源スペクトルのスケージング則 (ω^2 モデル) を考慮すると、地震動振幅の増加は、 M_w に対して(直線ではなく)曲線になる



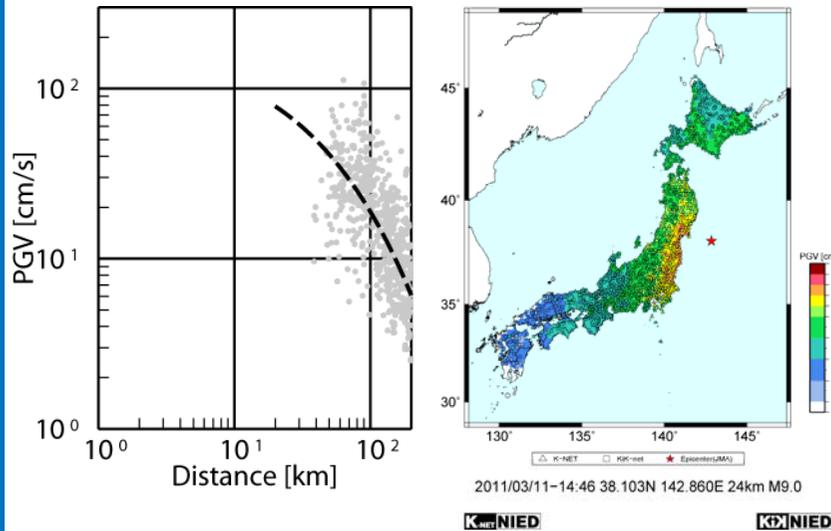
マグニチュードの二次式で近似する(例えば、Fukushima, 1996)



M9まで直接適用できる地震動予測式



平成23年東北地方太平洋沖地震の観測記録との比較の例
Peak Velocity Contour Map



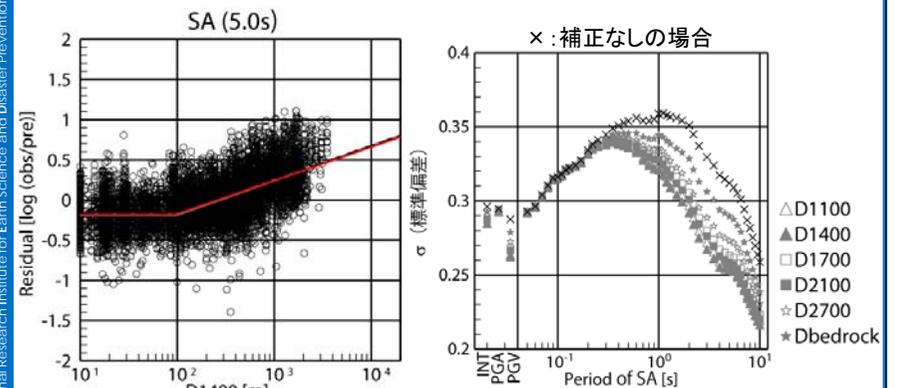
深部地盤による増幅の補正

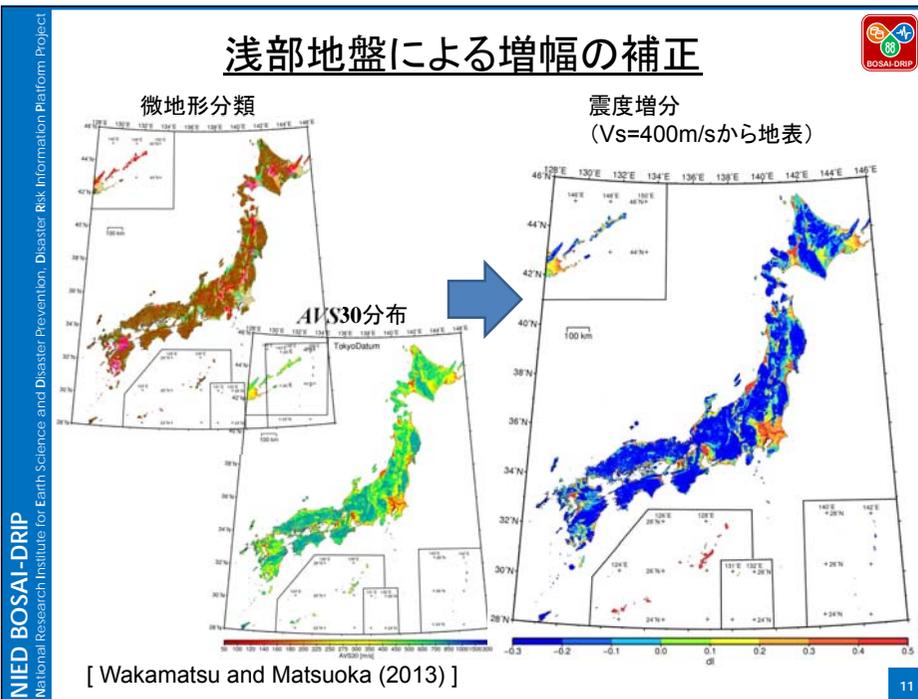
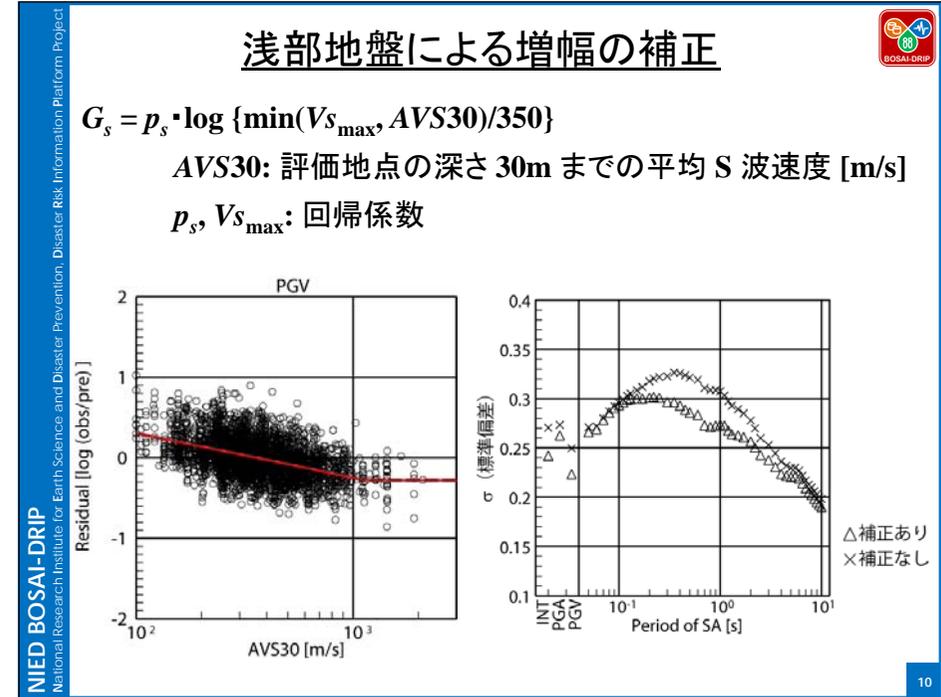
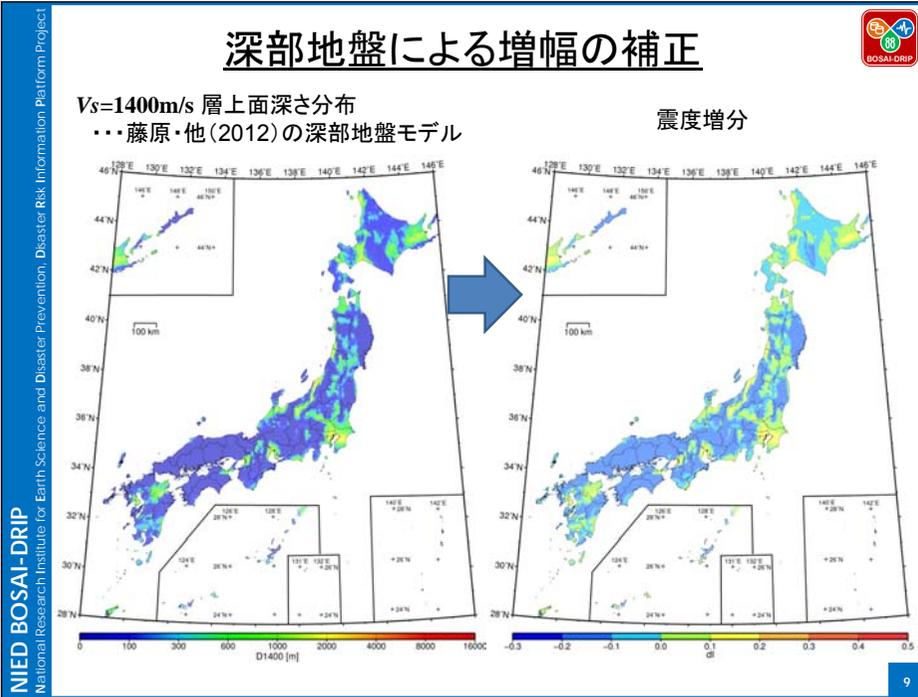


$$G_d = p_d \cdot \log \{ \max(D_{lmin}, D_{1400}) / 250 \}$$

D_{1400} : 評価地点の $V_s=1400\text{m/s}$ 層上面までの深さ [m]

p_d, D_{lmin} : 回帰係数





地震(動)ハザード評価に用いるばらつき

確率論的な地震(動)ハザード評価では、本来は同一の場所で同じ規模の地震が繰返し発生した場合に、その地点で観測された地震動強さのばらつきが用いられるべきである。一方で、地震動予測式を作成する際に得られる回帰のばらつきは、多様な地震による多くの地点での記録の回帰により得られていることから、確率論的な地震ハザード評価に用いると、低確率で過大な地震動強さとなる(例えば、Anderson and Brune, 1999)。

↓

上記を考慮したばらつきの大きさや性質について、観測記録に基づいた分析を実施。

12

ばらつきの検討に用いる予測値

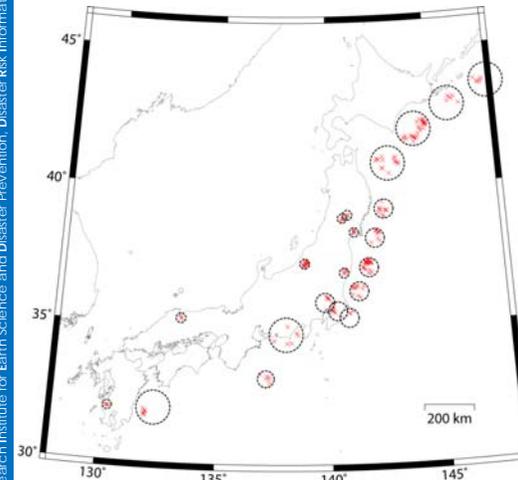


- ① 補正なし
- ② 深部地盤(Gd) + 浅部地盤(微地形分類のAVS30)
→ サイトのばらつきをやや除去。ただし、微地形区分とAVS30、AVS30と増幅率の関係のばらつきが加わる。
- ③ 深部地盤(Gd) + 浅部地盤(PS検層のAVS30)
→ ②から微地形区分とAVS30のばらつきを除去
- ④ 「経験的サイト係数」
→ サイトのばらつきを除去
- ⑤ 「震源域特定サイト係数」
→ サイトに加え伝播経路のばらつきも除去

ばらつきの検討に用いる地震



= 震源域特定サイト係数を求めた地震・観測点

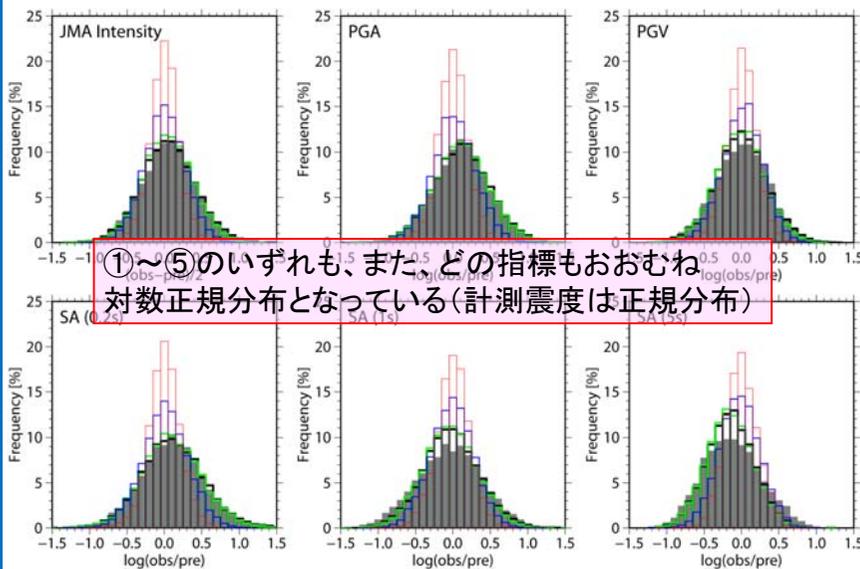


- $M_w \geq 5.0$ かつ
記録数 ≥ 3 の地震
- 震源距離 200km 以内
の地表観測点
(かつPS検層データあり)

(I&II、 III)
21地域 (14、 7)
198地震 (156、 42)
10,952記録 (6,203、 4,749)

※ I&II: カテゴリー I、II (海溝型) の地震、
III: カテゴリー III (地殻内) の地震 [石川・他(2008)]

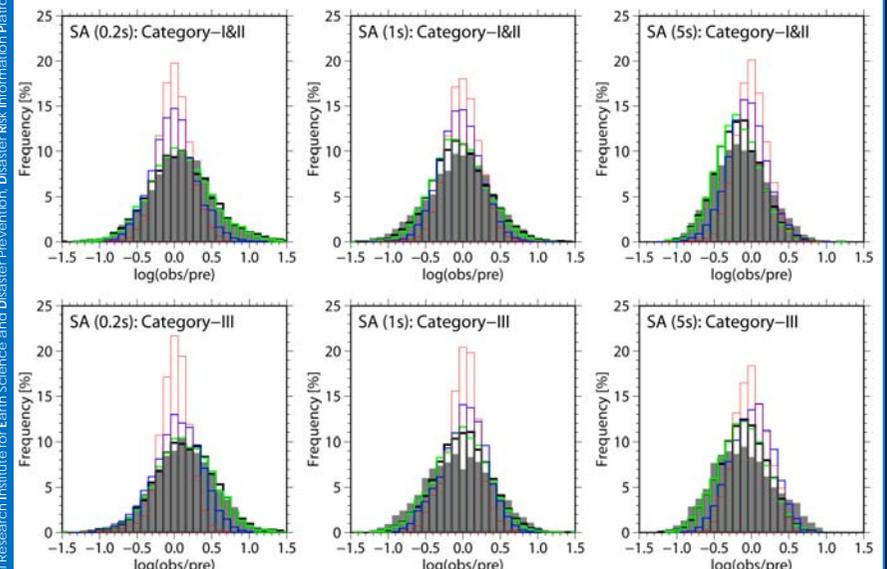
ばらつきの分布形状



①~⑤のいずれも、また、どの指標もおおむね
対数正規分布となっている(計測震度は正規分布)

- ① グレー塗りつぶし ② 黒縁 ③ 緑縁 ④ 青縁 ⑤ 赤縁

地殻内地震と海溝型地震

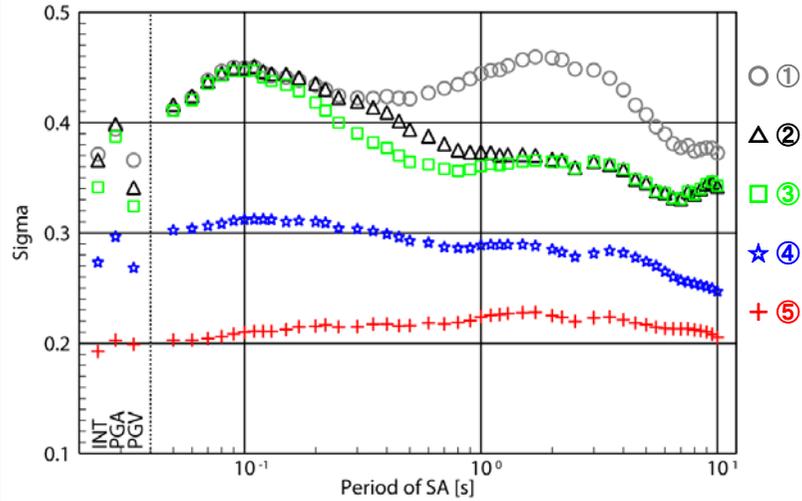


- ① グレー塗りつぶし ② 黒縁 ③ 緑縁 ④ 青縁 ⑤ 赤縁

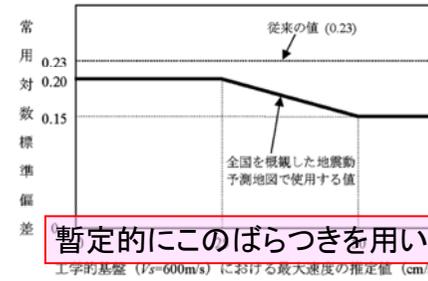
ばらつき値



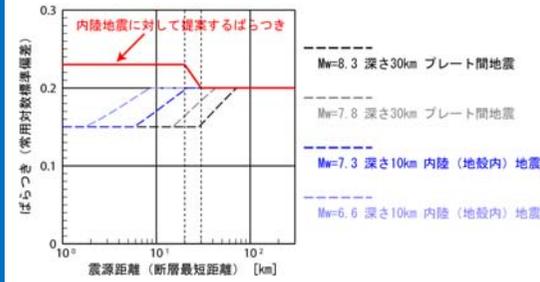
Sigma: 常用対数標準偏差
(ただし、計測震度 I (INT) は 1/2 に対する標準偏差)



確率論的地震動予測地図(地震本部)での扱い



海溝型地震: 振幅依存
(主にM8超の地震)
マグニチュード依存
×
短い伝播経路

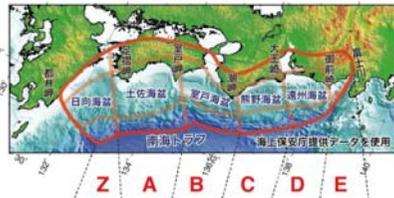


地殻内地震: 距離依存
(主にM7程度の地震)
ディレクティビティ
and/or
上盤効果

南海トラフの巨大地震: 長期評価



南海トラフで想定される地震の多様なパターン

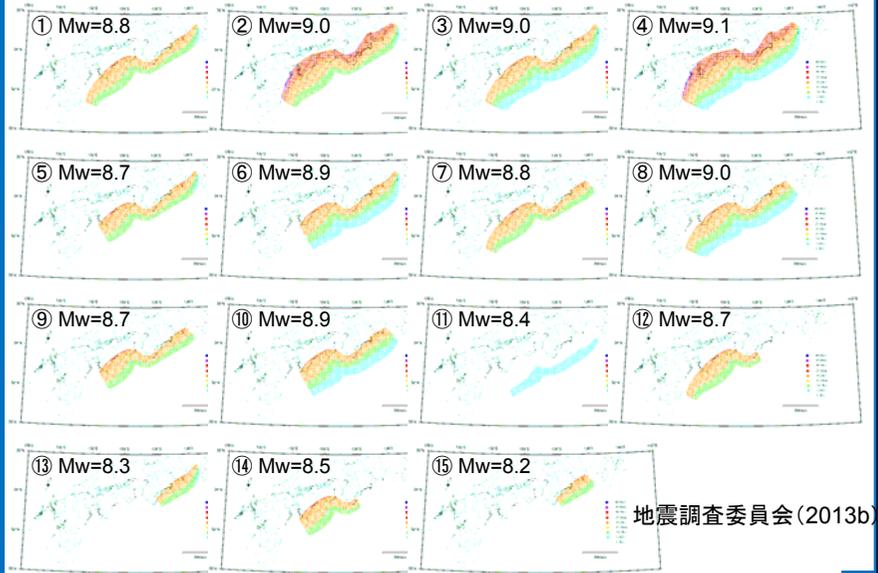


- 歴史記録の調査、津波堆積物調査等から、南海トラフで発生する地震は多様性があることが分かってきた
- 全体がすべる場合、一部だけがすべる場合など、様々なパターンの地震が発生し得ると評価

時間をおいて発生	震度						最大震度	発生確率(10年)
	Z	A	B	C	D	E		
南海トラフ全域	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	①
南海トラフ全域	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	②
南海トラフ全域	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	③
南海トラフ全域	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	④
南海トラフ全域	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	⑤
南海トラフ全域	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	⑥
南海トラフ全域	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	⑦
南海トラフ全域	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	⑧
南海トラフ全域	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	⑨
南海トラフ全域	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	⑩
南海トラフ全域	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	⑪
南海トラフ全域	0.8, 0.3	0.8, 0.3	0.8, 0.3	0.8, 0.3	0.8, 0.3	0.8, 0.3	0.8, 0.3	⑫, ⑬
南海トラフ全域	0.8, 0.3	0.8, 0.3	0.8, 0.3	0.8, 0.3	0.8, 0.3	0.8, 0.3	0.8, 0.3	⑭, ⑮
南海トラフ全域	0.8, 0.2	0.8, 0.2	0.8, 0.2	0.8, 0.2	0.8, 0.2	0.8, 0.2	0.8, 0.2	⑯, ⑰
南海トラフ全域	0.8, 0.2	0.8, 0.2	0.8, 0.2	0.8, 0.2	0.8, 0.2	0.8, 0.2	0.8, 0.2	⑱, ⑲

地震調査委員会 (2013a)

南海トラフの巨大地震: 発生パターンの例



地震調査委員会 (2013b)

ハザード評価



- ◎ 個別パターンに対する評価
- ◎ 南海トラフの地震全体に対する評価(個別パターンに「重み」を付けて統合)

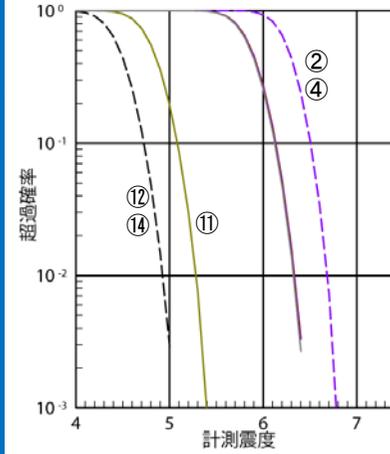
	Z (日向灘)	A,B (南海)	C,D (東南海)	E (東海)	重み	M_w	No.
1 地震					0.0125	8.8	①
					0.0125	9.0	②
					0.0125	9.0	③
					0.0125	9.1	④
	x				0.1625	8.7	⑤
	x				0.1625	8.9	⑥
				x	0.0125	8.8	⑦
				x	0.0125	9.0	⑧
	x			x	0.025	8.7	⑨
	x			x	0.025	8.9	⑩
	x			x	0.05	8.4	⑪
2 地震					0.05	8.7, 8.3	⑫, ⑬
	x				0.325	8.5, 8.3	⑭, ⑮
				x	0.025	8.7, 8.2	⑯, ⑰
	x			x	0.1	8.5, 8.2	⑱, ⑲
	0.15	1.0	1.0	0.75	1.0		

地震調査委員会(2013b)に加筆

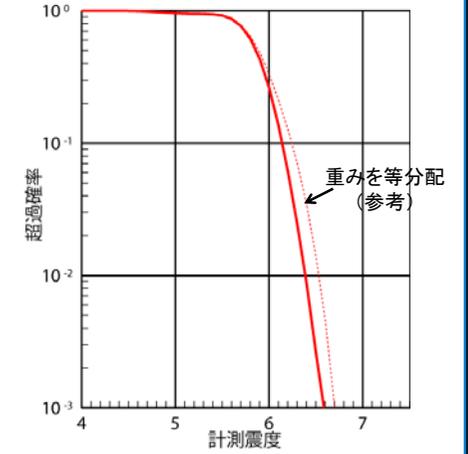
ハザードカーブ



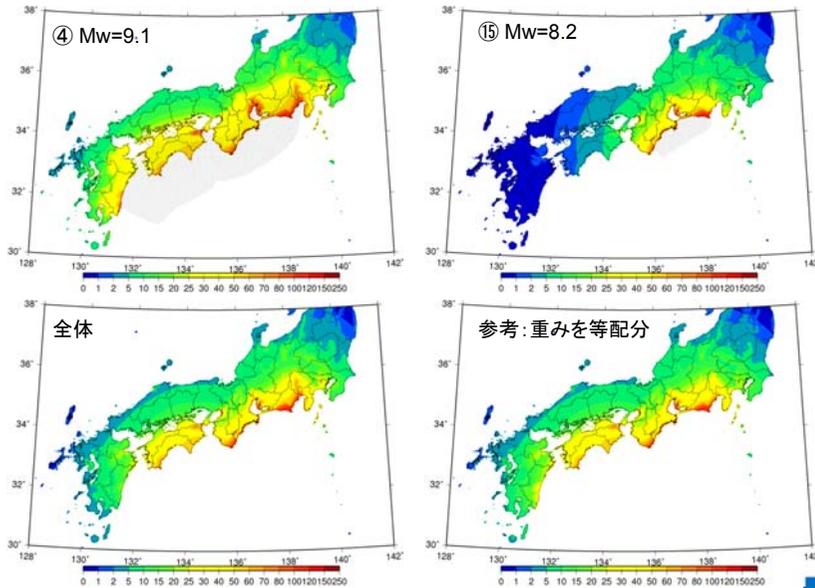
個別パターン



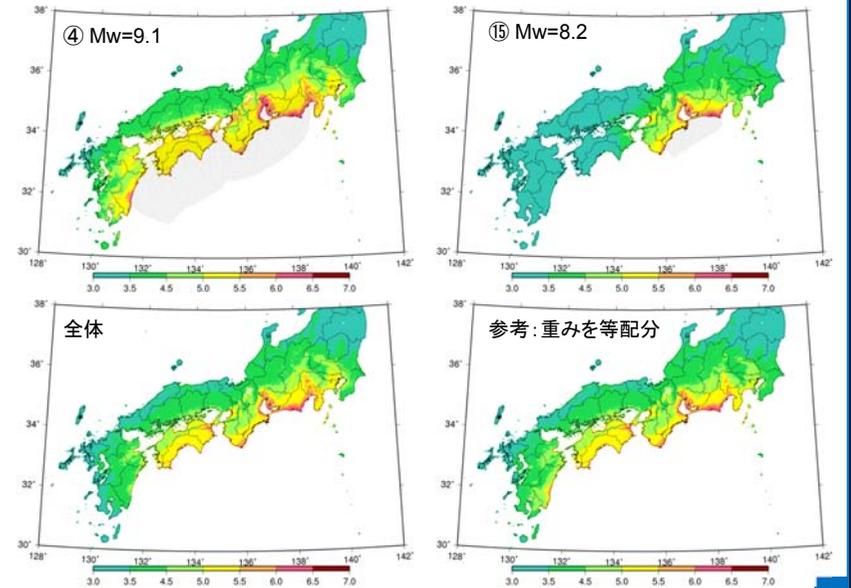
南海トラフ全体



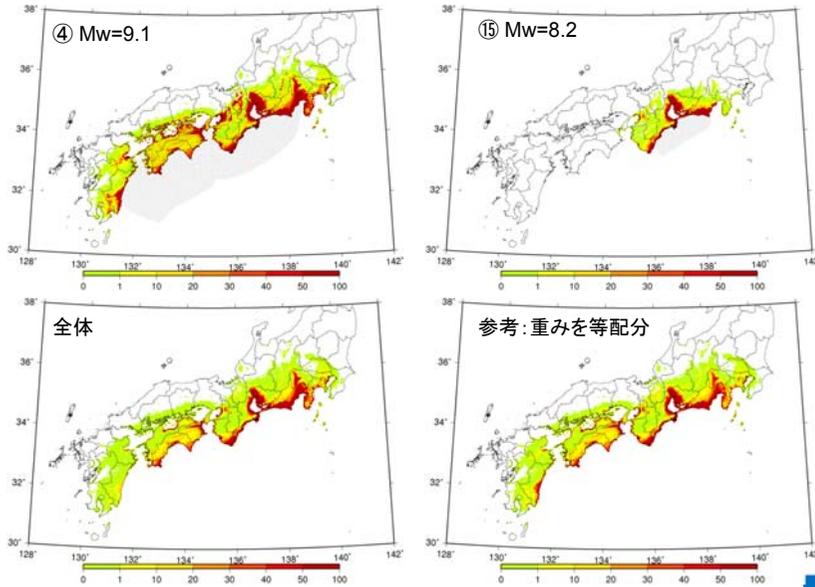
期待値の分布(例1:工学的基盤最大速度)



期待値の分布(例2:地表震度)



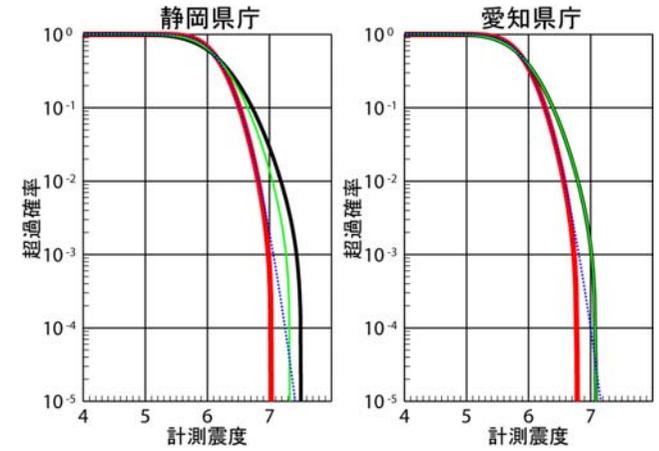
条件付超過確率の分布(例:震度6弱以上)



ばらつきの違いによるハザードへの影響



④ Mw=9.1
のみの場合



赤: 振幅依存のばらつき、 $\pm 3\sigma$ で打ち切り
 黒: 距離依存のばらつき、 $\pm 3\sigma$ で打ち切り
 緑: 一定値(0.20)、 $\pm 3\sigma$ で打ち切り
 青: 振幅依存のばらつき、打ち切りなし

まとめ



地震動予測式に関して:

- ◎ 地震動振幅は、マグニチュードに対して頭打ちしている。
(少なくとも、Mwと断層最短距離をパラメータとし、周期10秒程度以下の地震動を対象とした場合)
- ◎ 深部地盤による増幅特性も考慮できるようにしている。
- ◎ 応答スペクトルも評価可能

ばらつきに関して:

- ◎ 地震動予測式をもとにした観測値と予測値のばらつきは、おおむね対数正規分布(計測震度では正規分布)になっている。
- ◎ 経験的なサイト係数を用いた特定の観測点でのばらつきの値は常用対数で0.3前後、震源域まで特定してサイト係数を求めた場合は0.2前後である。

補足



長期評価の「発生パターンの例」として示された15パターンではMw8.2が最小となっているが、「今後の地震動ハザード評価に関する検討～2013年の検討結果～」(地震調査委員会、2013b)では、Mw7.6～8.0の地震の震源として、80km×80kmの矩形断層面がおおむねプレート上面に沿うように設定されている。

