

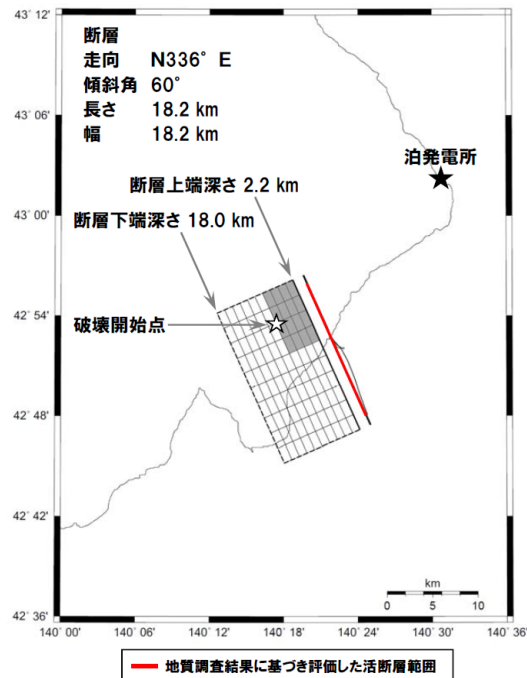
地震動想定手法の問題点

2014年8月

弁護士 内山成樹

震源断層面とアスペリティー

模式図



現実の震源断層面とアスペリティー

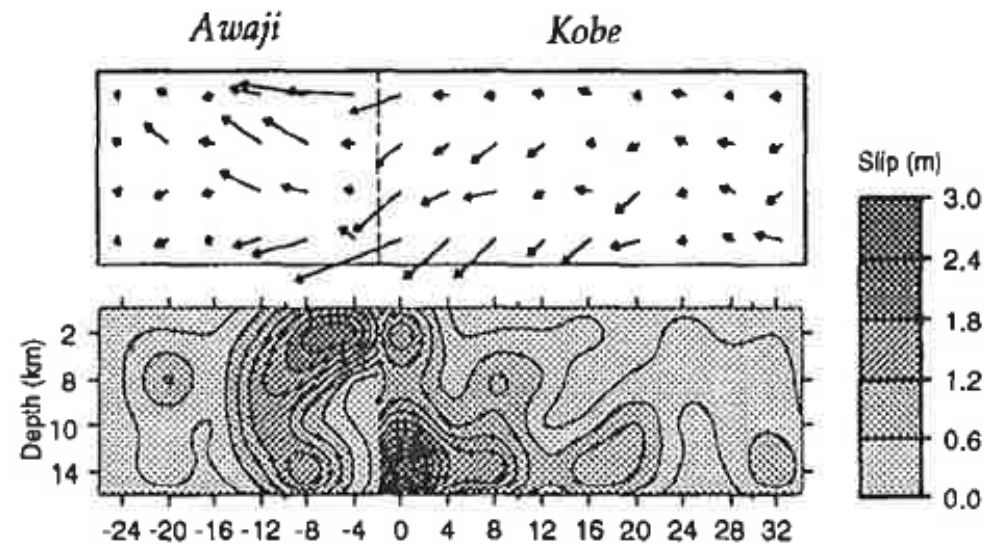


図 13. 新しい震源過程モデルにおけるすべり分布

アスペリティー(強く固着し、大きな地震動を発生させる領域)

原発の断層モデル(左図)は極めて簡略化したモデル

現実には断層面もアスペリティーも不定形(右図)

現実の断層では地表の断層の前後の地下で長く断層面が伸びている

マグニチュード

気象庁マグニチュード (M_j)

モーメントマグニチュード (M_w)

応力降下量

応答スペクトル

原発の耐震設計の流れ

- (1) 断層位置や長さ等の各種調査
特に断層の幅の推定には大きな問題（地震発生層問題）
断層が、どの深さまで動くかははっきりしない（推定誤差 大）
データが少ないこと
いつも同じ深さまで動くとは限らないこと
長さについても、地表の断層の前後の地下でどれだけ続いているか分からない
- (2) 基準地震動 S_s の策定
（将来起こる可能性のある地震（ないし地震動・強震動）の予測）
- (3) 基準地震動 S_s に対して、構造物が破壊されないように設計
＝地盤が接している部分に基準地震動を入力
構造物を数値的なモデルで表して、基準地震動を受けた構造物が、どのような挙動を示すかをシミュレーション

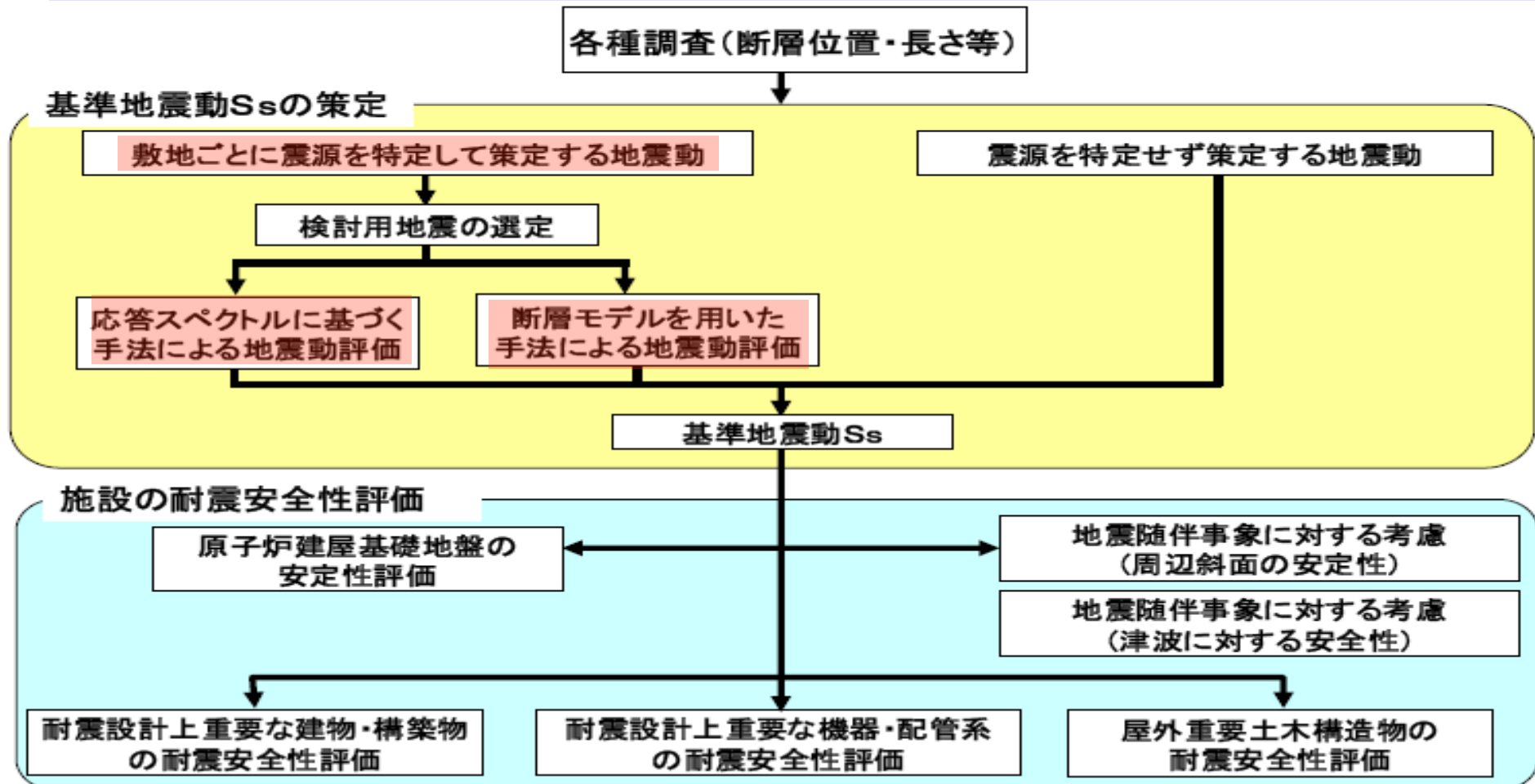
基準地震動 S_s が耐震設計の全ての要め
本来、想定できる最大地震動でなければならない

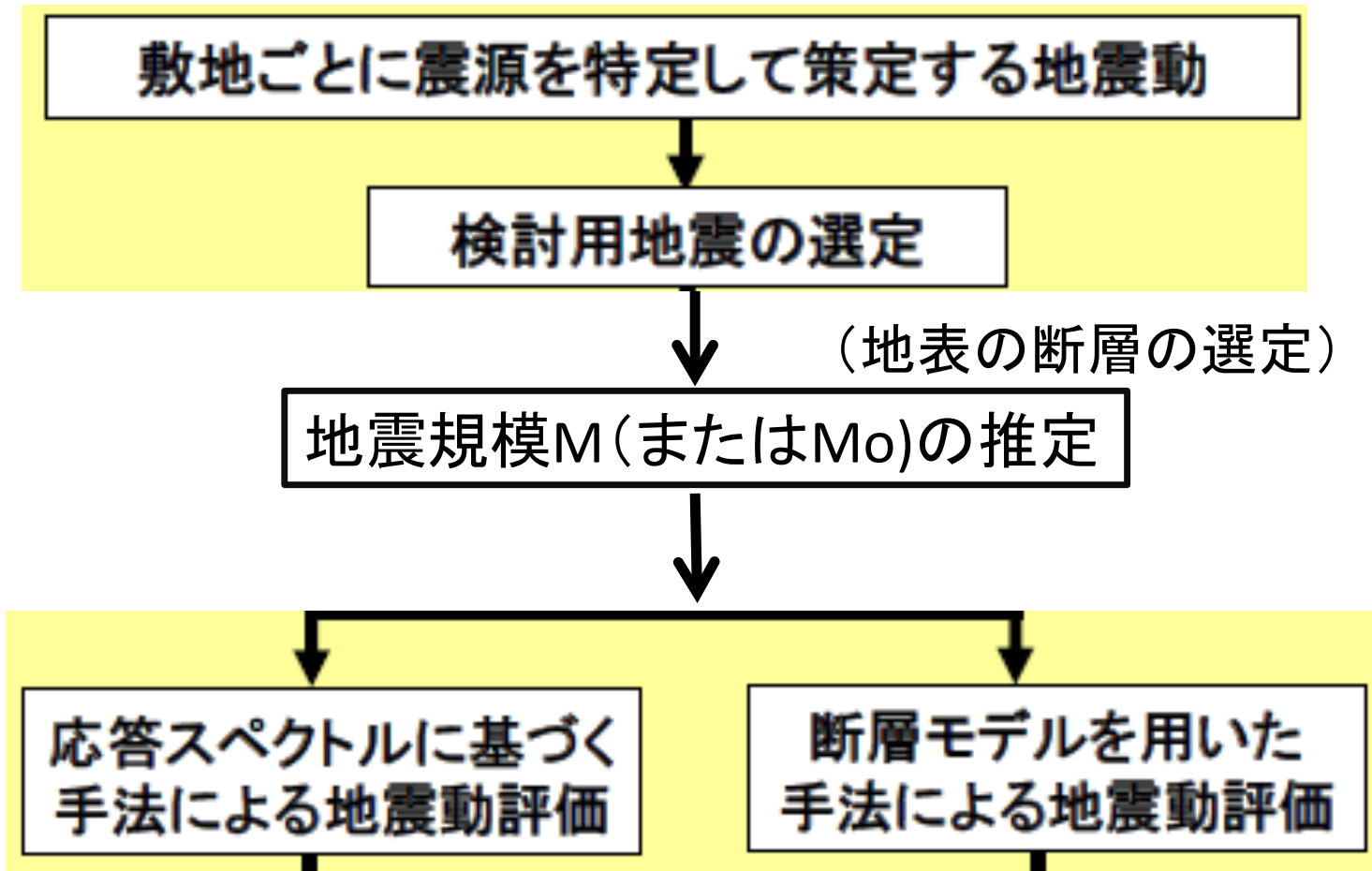
原発の耐震設計の流れ

2. 耐震安全性評価の基本方針

2007. 4. 4
耐震・構造設計小委員会

耐震安全性評価全体フロー





地表の断層から地震の規模を導く過程

ひいてはそこからさらに地震動を導く過程は

莫大な誤差という宿命から逃れられない

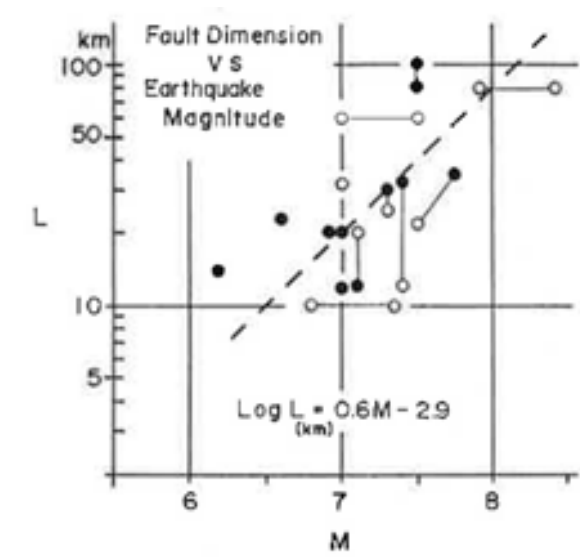
地震規模M(または M_0)の推定

地表の断層

地表の断層長さから直接地震規模の推定
(応答スペクトルに基づく手法)

松田式

誤差が極めて大きい



地震規模M(または M_0)の推定

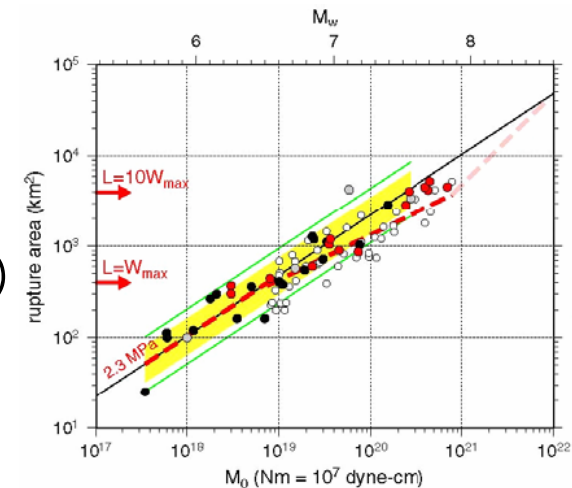
地表の断層



地表の断層から震源断層面の設定
(長さ、幅を推定)

面積を出して地震規模を推定
(断層モデルを用いた手法(入倉レシピほか))

断層面の長さ、幅の推定にも誤差 大
面積から地震規模の推定にも大きな誤差



基準地震動(Ss)が全ての要め

基準地震動Ss(平成18年新耐震指針)

「施設の耐震設計において基準とする地震動で、敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学および地震工学的見地から、施設の供用期間中に**極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動**」 何をもって「適切」とするのか？

平成18年指針で、

旧指針の設計用最強地震による地震動S1と設計用限界地震による地震動S2を統一

原発の耐震設計 ⇒ 想定できる最大の地震動**であるはず**

「極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動」＝原発の耐震設計である以上最大の地震動

伊方最高裁判決「万が一にも災害防止上支障のないこと」

応答スペクトルに基づく手法

代表的な応答スペクトルに基づく手法 耐専スペクトル

44地震 107観測点の記録による

そのほかに野田他(2002)の応答スペクトルなどがある

応答スペクトルに基づく手法

代表的な応答スペクトルに基づく手法 耐専スペクトル

応答スペクトルに基づく手法は

地震動評価の手法の1つ

多数の地震の地震動観測記録から

地震の規模、敷地との距離によって分けて

地震動の平均像を求めたものを用いる手法

1-1 なぜ経験的方法が必要か

◆耐専スペクトル

- 距離減衰式に基づく地震動の経験的評価法

◆経験的方法

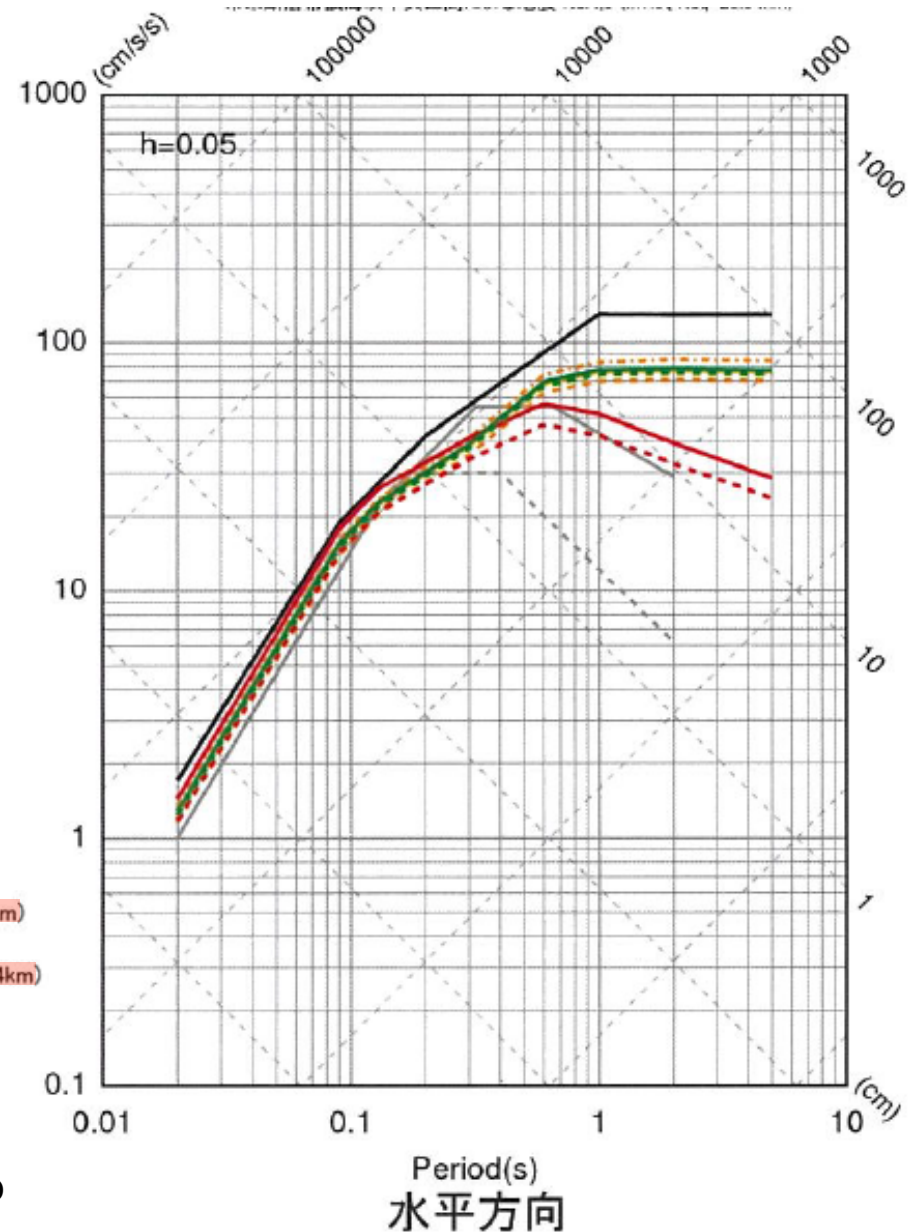
- 基本式： $S(T) = f(M, X)$

◆経験的方法の必要性

- 実観測記録に基づいて設定
 - ◆ 実現象の平均像を忠実に再現
- 断層モデルを用いた場合も経験式で確認
 - ◆ 例：強震動評価のレシピ

応答スペクトルに基づく 手法の具体例 (応答スペクトル図 川内原発)

- 基準地震動 S_s-1_H
- 基準地震動 $S_2(S_{K2})$
- - 基準地震動 $S_2(S_N)$
- 基本ケース
断層帯断層区間による地震 No.0 (M7.5、 $X_{eq}=20.15\text{km}$)
- - 不確かさを考慮したケース(断層傾斜角度の不確かさ)
断層帯断層区間による地震 No.4,5 (M7.5、 $X_{eq}=21.59\text{km}$)
- . - 不確かさを考慮したケース(断層長さ及び震源断層の拡がり)
断層帯断層区間による地震 No.6,7 (M7.6、 $X_{eq}=21.02\text{km}$)
- 基本ケース
市来断層帯市来区間による地震 No.0 (M7.2、 $X_{eq}=13.91\text{km}$)
- - 不確かさを考慮したケース(断層傾斜角度の不確かさ)
市来断層帯市来区間による地震 No.4,5 (M7.2、 $X_{eq}=16.51\text{km}$)
- 基本ケース
市来断層帯断層中央区間による地震 No.0 (M7.5、 $X_{eq}=19.90\text{km}$)
- - 不確かさを考慮したケース(断層傾斜角度の不確かさ)
市来断層帯断層中央区間による地震 No.4,5 (M7.5、 $X_{eq}=20.54\text{km}$)



マグニチュード、震源距離で分ける
その上で、地震動の平均を求める

応答スペクトルに基づく手法の出発点

出発点は、マグニチュードと震源距離

各断層ごとにマグニチュードと震源距離を出す

特にマグニチュードの算出は極めて誤差が大きい

マグニチュード「平均像」で求め誤差の最大値はとらない

応答スペクトルに基づく手法は

全て平均像でしかない

しかし、平均像からどれだけかい離するかは考えようとしなない！

耐専スペクトルは折れ線で描く
ポイントを決めそれを結ぶ

周期0.6秒のポイント
周期0.6秒での
応答スペクトルの平均的大きさ

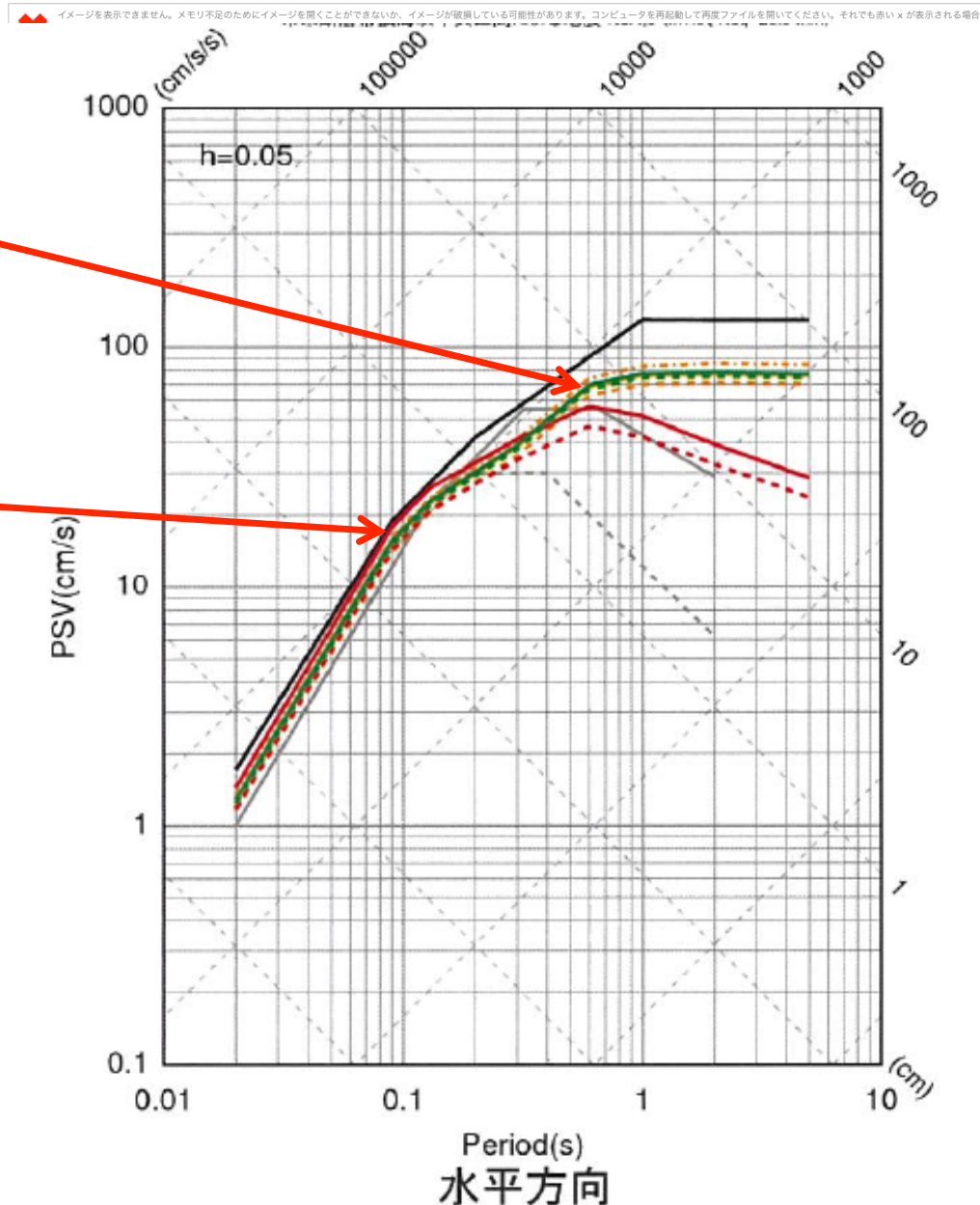
コントロールポイント

周期0.09秒のポイント
周期0.09秒での
応答スペクトルの平均的大きさ

たくさんの地震の記録から
周期ごとに
M、震源距離ごとに平均を求める

決められた周期ごとの平均を
点としてプロットし
その点をつないだ折れ線を求める
その折れ線が耐専スペクトル

ではどうやって決めるか





1) 地震基盤の
コントロール
ポイント

グループ分けして
平均を出す



(コントロール)ポイント



それをつなげて図を描く

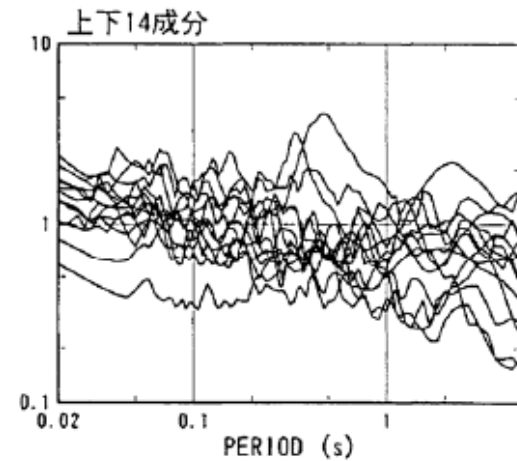
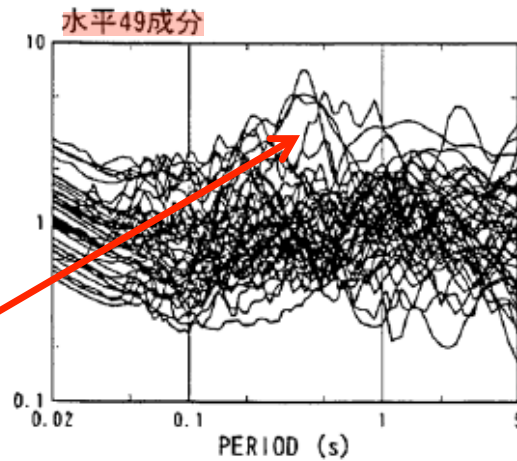
	M	X _{eq} (km)	コントロールポイントの座標 pS _v (cm/s)							
			A	B	C	D	E	F	G	H
			TA(s)	TB(s)	TC(s)	TD(s)	TE(s)	TF(s)	TG(s)	TH(s)
			0.02	0.09	0.13	0.30	0.60	1.00	2.00	5.00
極近距離	8.5	40	1.62	18.44	27.32	47.87	68.05	64.66	53.52	40.06
	8	25	1.69	20.05	28.96	48.22	67.80	65.25	52.51	38.35
	7	12	1.40	17.20	24.84	33.86	43.42	36.42	25.15	17.85
	6	6	1.04	12.82	18.51	21.84	23.17	17.41	9.64	3.88
近距離	8.5	80	0.73	7.36	11.43	22.92	34.79	32.58	27.60	21.96
	8	50	0.67	7.45	11.17	20.05	28.65	27.06	22.70	17.19
	7	20	0.78	9.44	13.64	19.10	24.83	20.69	14.46	10.37
	6	8	0.77	9.45	13.65	16.23	17.18	12.73	7.16	2.89
中距離	8.5	160	0.26	2.22	3.67	9.45	15.17	14.83	13.64	12.26
	8	100	0.32	3.08	4.86	10.27	16.04	14.96	12.73	10.37
	7	50	0.23	2.65	4.01	6.02	7.64	6.68	4.87	3.64
	6	25	0.21	2.49	3.60	4.54	4.84	3.98	2.07	0.86
遠距離	8.5	200	0.18	1.44	2.43	6.87	11.17	11.17	10.67	10.04
	8	200	0.10	0.80	1.35	3.82	6.21	6.21	5.93	5.58
	7	125	0.046	0.43	0.70	1.34	1.81	1.59	1.26	1.05
	6	78	0.041	0.45	0.65	0.95	1.03	0.80	0.49	0.22

近年の内陸地殻内地震による残差

耐専スペクトルのもと
となった地震ではない

各地震

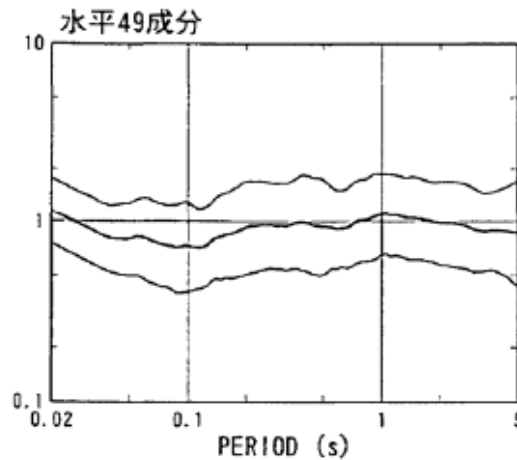
観測／推定



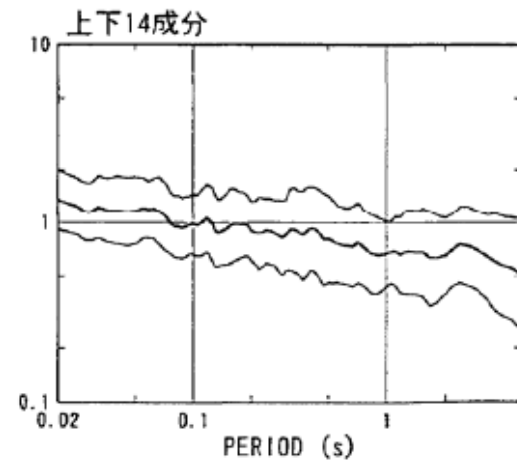
1本1本の線が現実に行った地震を示す

平均値

観測／推定

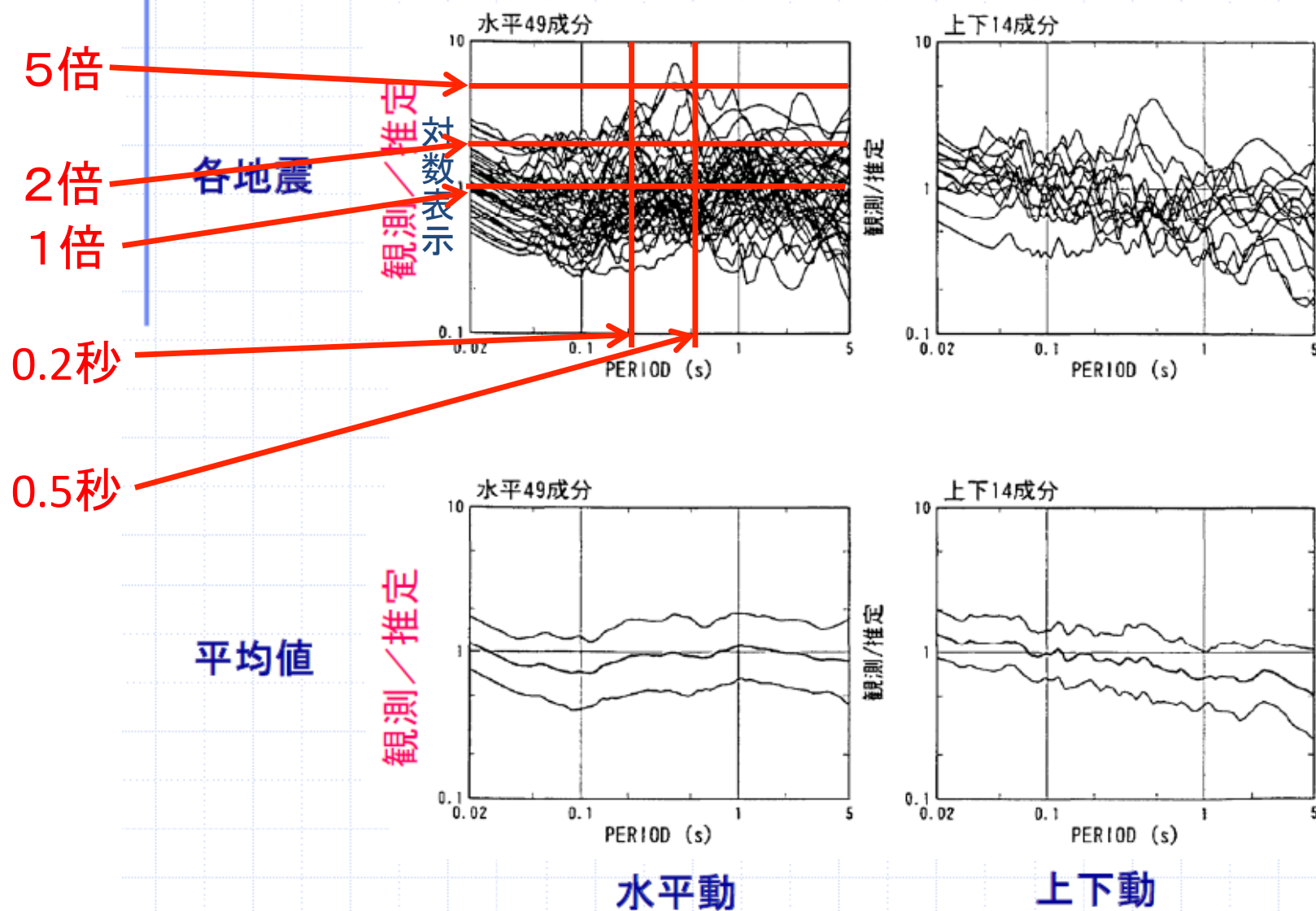


水平動



上下動

近年の内陸地殻内地震による残差

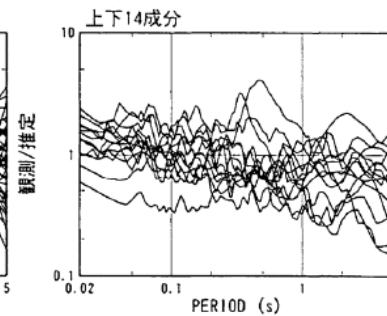
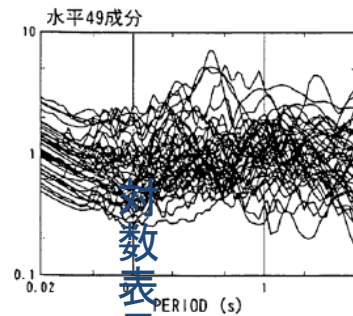


近年の内陸地殻内地震による残差

各地震

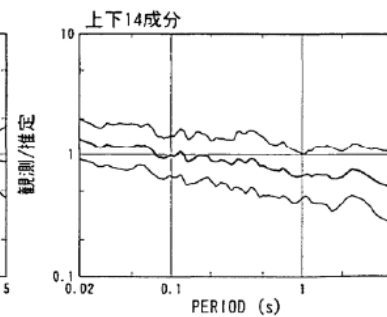
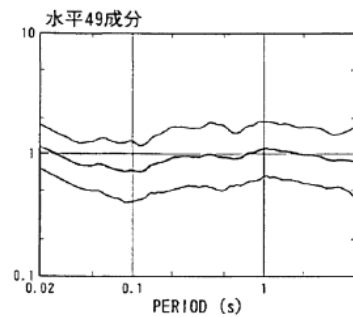
観測／推定

対数表示



平均値

観測／推定



水平動

上下動

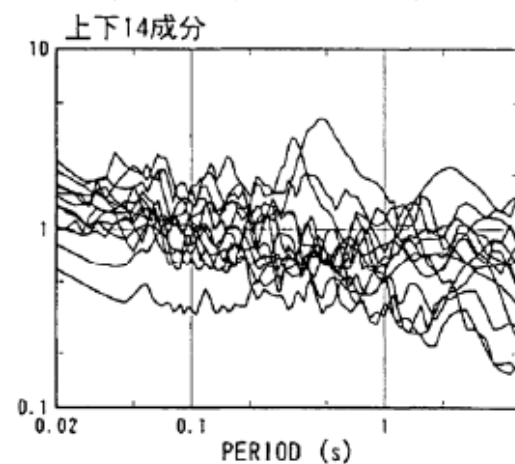
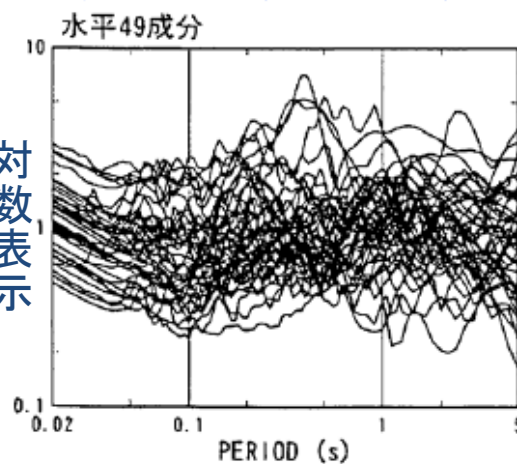
周期0.2秒～0.5秒ではほぼ3～4倍に達し
5倍を大幅に超え8倍に達するものもある

既往最大(上限)を取れ⇒4倍程度は取れ

近年の内陸地殻内地震による残差

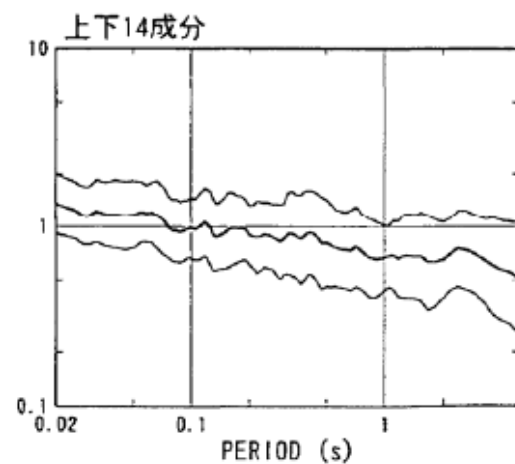
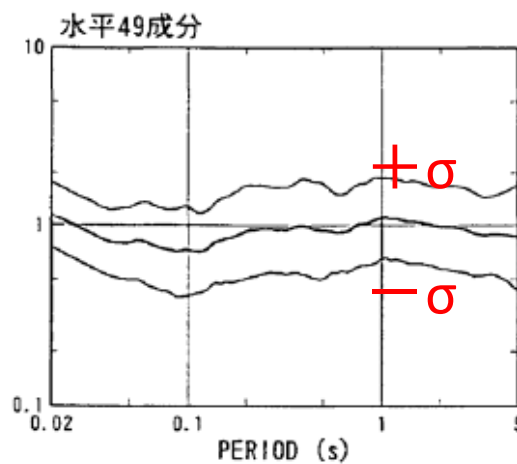
各地震

観測/推定
対数表示



平均値

観測/推定

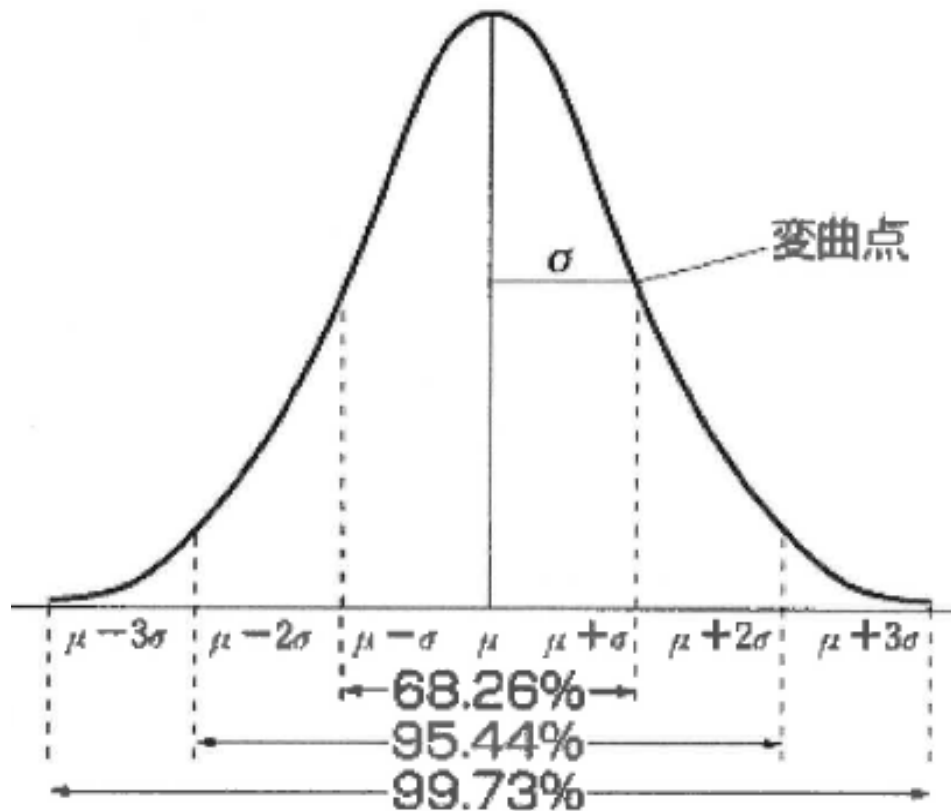


σ 標準偏差

水平動

上下動

標準偏差(σ)とは、値のバラツキを見る指標
平均値と各値との差(偏差)を二乗し、それを合算した和をデータの
数で割り、それをルートした値



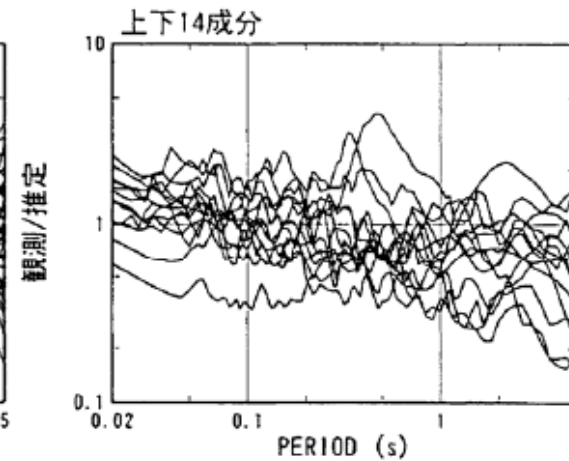
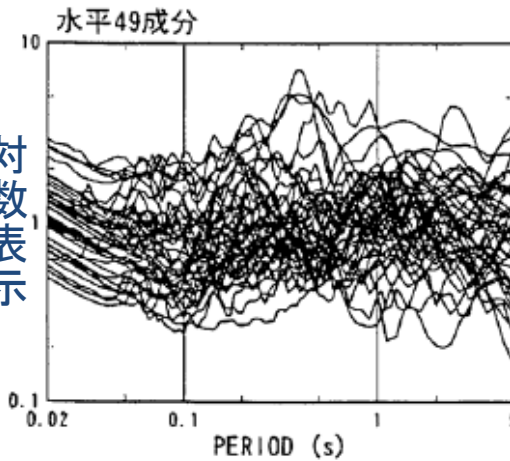
正規分布の図
分布が正規分布かどうかは不明
しかしほぼ変わらない
→参考にできる

$+\sigma$ を超えるもの $(100 - 68.26)/2 \div 16(\%)$
 $+2\sigma$ を超えるもの 2.3% $+3\sigma$ を超えるもの 0.14%

近年の内陸地殻内地震による残差

各地震

観測/推定
対数表示

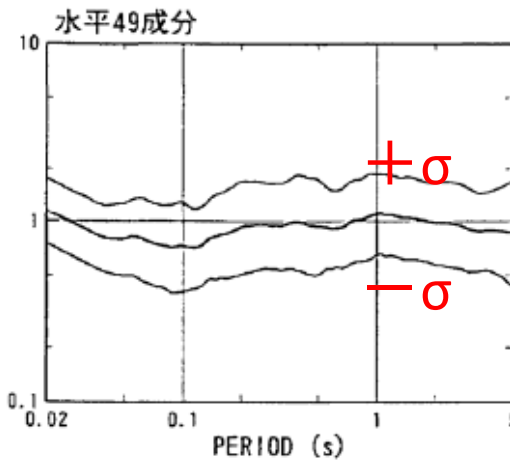


$+\sigma$ = ほぼ2倍

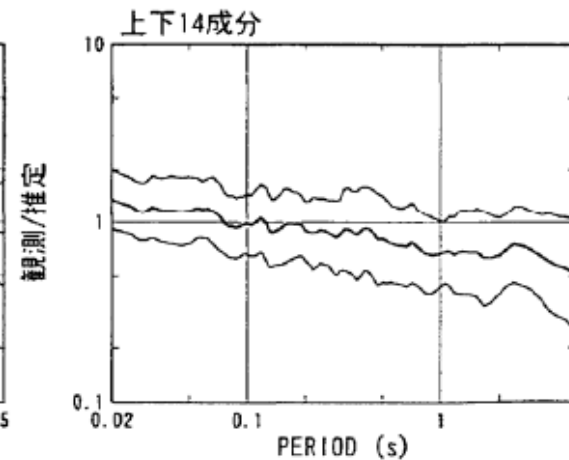
正規分布なら2倍を超えるものも16%程度あることになる(図でもほぼそのくらい)

平均値

観測/推定



水平動

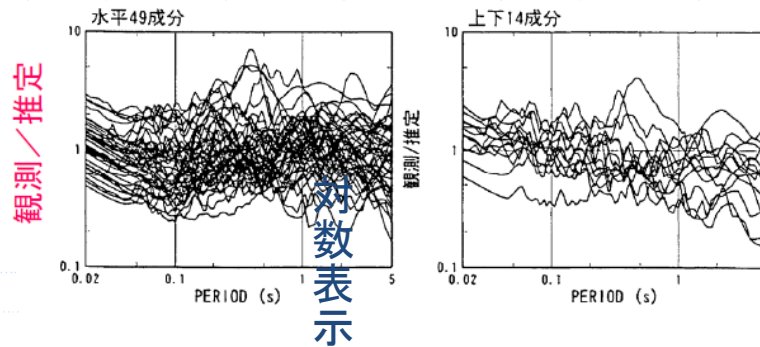


上下動

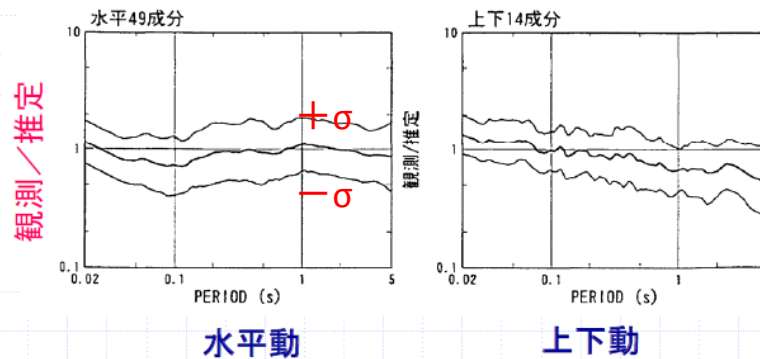
2σ (4倍)を超えるものも正規分布なら 2.3% それでも不足→ 3σ (8倍)

近年の内陸地殻内地震による残差

各地震



平均値



水平動

上下動

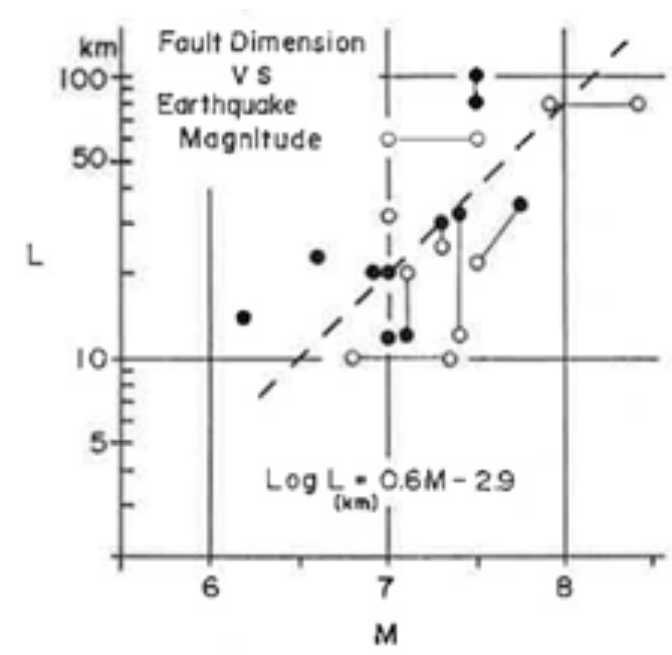
既往最大を超えてどこまで考慮すべきか
＝標準偏差で何σまで(偏差値いくつまで)
考慮するか

- ① 既往最大を取れ
- ② さらに既往最大を超えてどこまでか＝何σまで考慮するか
⇒せめて3σもしくはそれ以上

平均像の10倍は考えるべき！

- ① 既往最大を取れ
- ② さらに既往最大を超えてどこまでか＝何 σ まで考慮するか
⇒せめて3 σ もしくはそれ以上

この考え方は、他の推定方法でも取られる必要がある
松田式



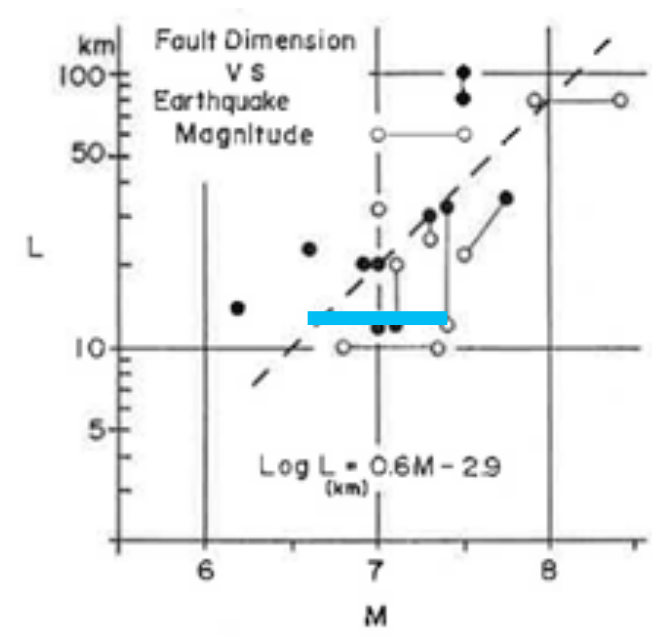
既往最大が+2 σ だとすると
+2 σ =マグニチュード+1.0
+3 σ はマグニチュード+1.5

地震のエネルギーで180倍
それですまない又何100倍

日本の原発の耐震設計の最大の問題は松田式の誤差問題

応答スペクトルに基づく手法の出発点のマグニチュードの算出

松田式(断層の長さとマグニチュードの関係式)を使う
誤差が極めて大きい



壇ほか(2001)の式

$$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$$

Mの差と短周期地震動の差

M0.2の差 ⇒ 2の1/3乗倍=1.26倍

M0.4の差 ⇒ 4の1/3乗倍=1.59倍

M0.6の差 ⇒ 8の1/3乗倍=2倍

M0.8の差 ⇒ 16の1/3乗倍=2.51倍

M1.0の差 ⇒ 32の1/3乗倍=3.17倍

上図で示した誤差は「既往最大」でしかない
さらに大きな誤差も考える必要がある

マグニチュードの算出はまず松田式で行っている

応答スペクトルに基づく手法では、莫大な誤差を伴う松田式を使う

その誤差については一切触れようとしない

松田式の誤差に言及した途端に耐震設計が破たんしてしまう

既往最大ではなく、それを超える誤差だとすると

地震のエネルギー(M_0)では

平均像の100倍、何100倍を超えるものを想定する必要

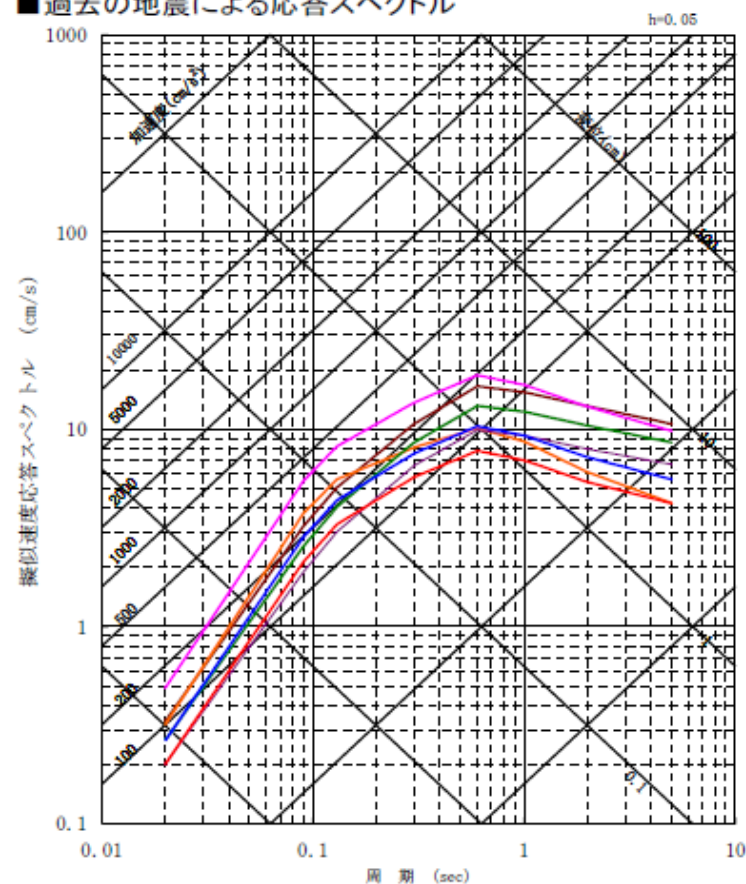
(後に述べる標準偏差を用いた推計法)

松田時彦氏「単なる目安でしかない」

この松田式の誤差問題だけで、原発の耐震設計の問題は、もう「終わってる」
松田式の莫大な誤差問題を考えたら、基準地震動があまりに過小なのは明らか

1. 検討用地震の選定(大飯)

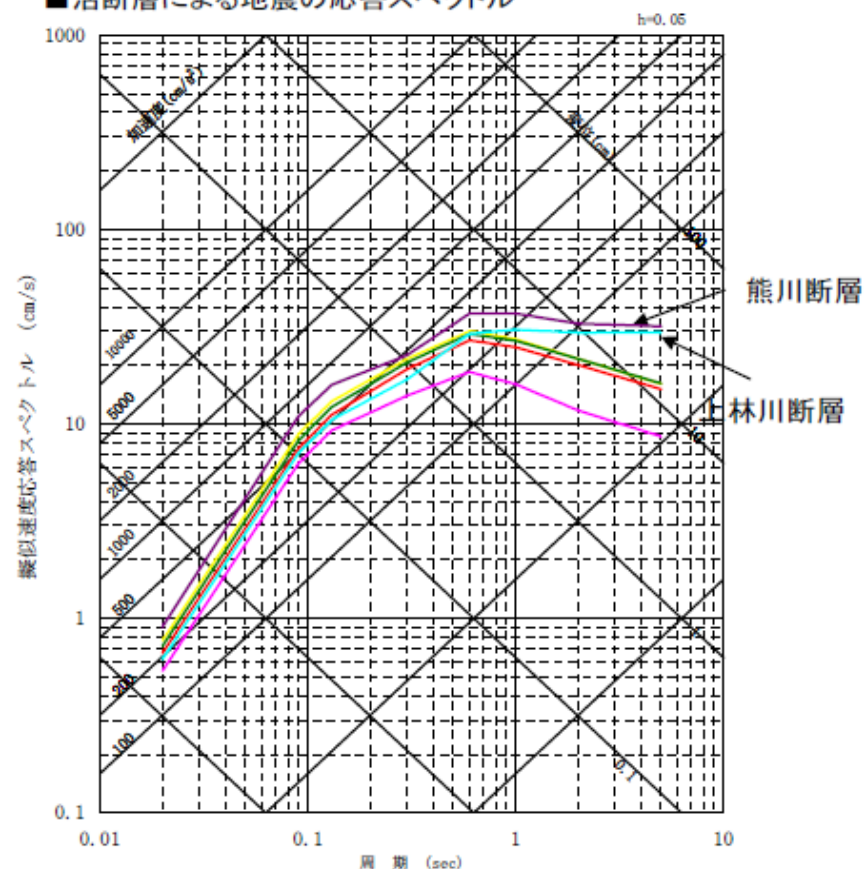
■過去の地震による応答スペクトル



- 愛知県・岐阜県【濃尾地震】(M8.0, $X_{eq}=96.6\text{km}$)
- 福井県沖【越前沖地震】(M6.9, $X_{eq}=36.0\text{km}$)
- 山城・大和・河内・和泉・摂津・丹波・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃 (M7.5, $X_{eq}=43.5\text{km}$)
- 畿内・東海・東山・北陸諸道 (M7.8, $X_{eq}=110.0\text{km}$)
- 美濃 (M7.9, $X_{eq}=102.0\text{km}$)
- 近江・山城・大和 (M7.4, $X_{eq}=66.5\text{km}$)
- 京都府北西部【北丹波地震】(M7.3, $X_{eq}=70.4\text{km}$)

※ X_{eq} は円形断層を仮定して算定

■活断層による地震の応答スペクトル



- 大陸棚外縁～B～野坂断層 (M7.7, $X_{eq}=35.3\text{km}$)
- 三方断層 (M7.2, $X_{eq}=31.3\text{km}$)
- 花折断層 (M7.8, $X_{eq}=43.1\text{km}$)
- 琵琶湖西岸断層系 (M7.8, $X_{eq}=40.2\text{km}$)
- 上林川断層 (M7.5, $X_{eq}=35.9\text{km}$)
- 熊川断層 (M7.1, $X_{eq}=19.0\text{km}$)

※ X_{eq} は矩形断層を仮定して算定

※FO-A～FO-B断層は耐専式の適用が困難なため評価せず

大飯原発

熊川断層

M7.1 等価震源距離19.0km 300ガル

- ①M7.1は平均像でしかない M8.1もしくはそれ以上を想定すべき
(松田式の誤差問題)

M8.1としたとき(+M1.0)に、32の1/3乗倍できいてくる 3.2倍
壇ほか(2001)の式

$$300 \times 3.2 = 960 \text{ガル}$$

- ②平均像による誤差

300の4倍 900ガル 10倍 3000ガル

(応答スペクトルに基づく手法が平均像であることによる誤差問題)

- ③あわせて

$$960 \times 4 = 3840 \text{ガル} \quad 960 \times 10 = 9600 \text{ガル}$$

FO-A～FO-B断層の応答スペクトルに基づく手法の評価をしていない

熊川断層300ガル 応答スペクトルに基づく手法の誤差を考えると
4倍 900ガル 10倍 3000ガル

FO-A～FO-B断層の評価

- ①熊川断層をM7.4としたときの地震動より大きくなるはず
- ②M7.4とM7.1の地震の比較
M0.3の差は、 $2 \times 1.41 = 2.82$ 倍のエネルギー(M_0)の差
- ③ M_0 の1/3乗で短周期レベルは変わる(壇ほか(2001))
 $\Rightarrow 2.83$ の1/3乗 = 1.41倍
- ④熊川断層 300ガル $\Rightarrow$ M7.4の熊川断層 $300 \times 1.41 = 420$ ガル
- ⑤松田式平均像のM7.4ではなく仮にさらにM0.3大きいM7.7だとすると
さらに1.41倍 $\Rightarrow$ 600ガル

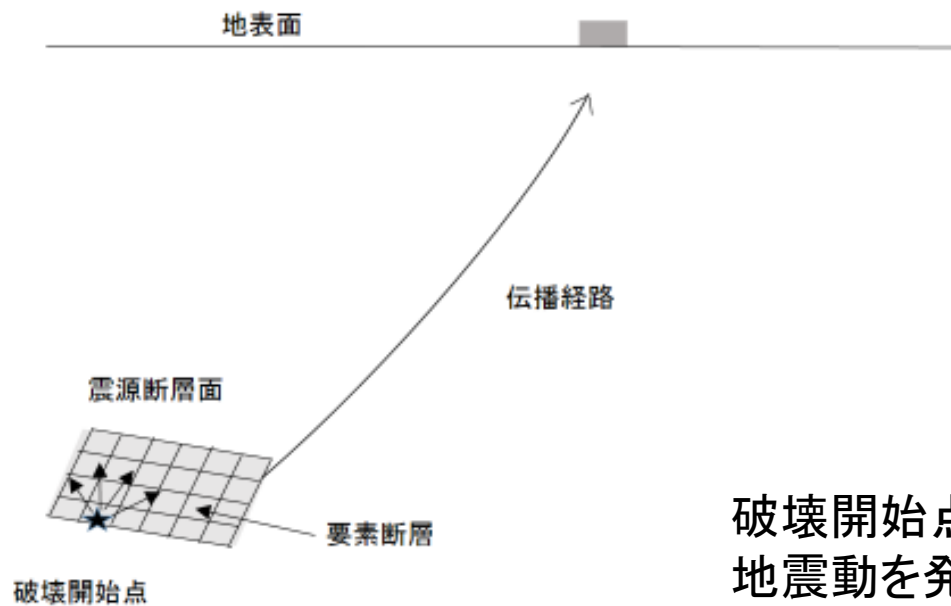
FO-A～FO-B断層は熊川断層よりずっと近い $\Rightarrow$ 420ガル、600ガルより相当に大きくなるはず

- ⑤応答スペクトルに基づく手法の誤差
420ガルを4倍、10倍 1680ガル 4200ガル
600ガルを4倍、10倍 2400ガル 6000ガル

断層モデルを用いた手法

- 1 震源断層面と断層パラメータの設定
(断層モデルの設定)
- 2 震源断層面を多数の小区画に分け、それぞれの区画で破壊の進行とともに時間をおいて発生する振動がどれだけの大きさかを推定、その後、まわりの地盤に伝播し、それが地表面に達するまでの地震動の減衰を距離減衰式(グリーン関数)を用いて算出、それらを重ね合わせて地表面の地震動の大きさを導く
- 3 いくつかのスケーリング則を用いて推定

断層モデルを用いた手法とは



破壊開始点で始まった破壊が次々伝播
地震動を発生させていく

小区画ごとに地震動が発生したとして
伝播していったそれぞれの地震動を
重ね合わせて、対象地点の地震動を導く

スケーリング則とは

＝地震規模が大きくなると各種の量も大きくなる

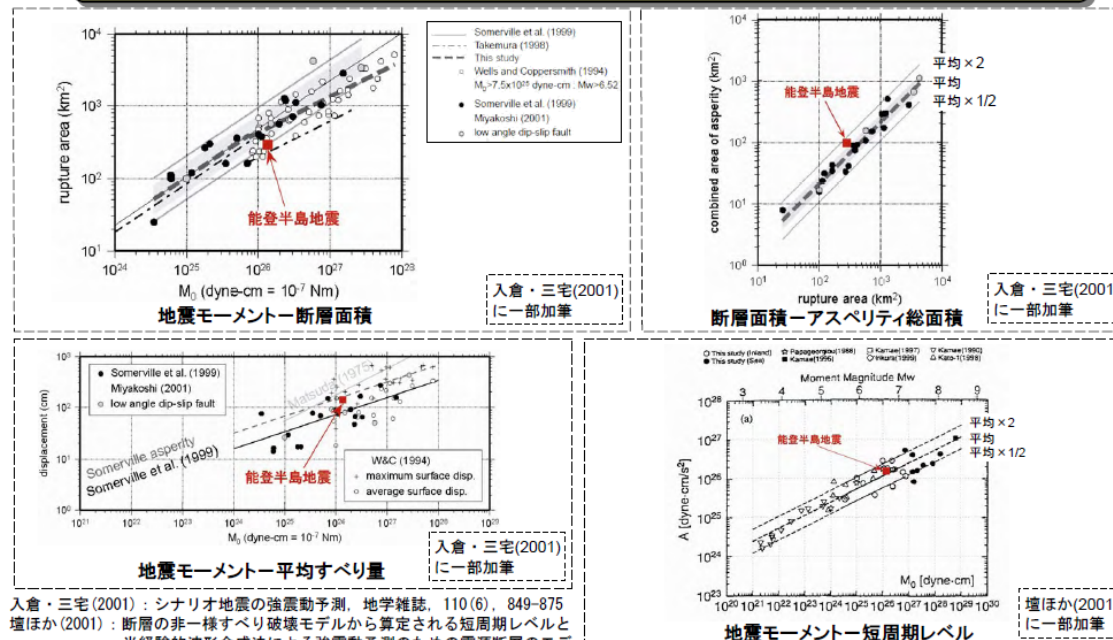
平成19年能登半島地震でのスケーリング則

断層モデルによるシミュレーション解析を用いた検討⑦

能登半島地震のシミュレーション解析結果と地震調査委員会の強震動予測レシビ等で用いられている断層パラメータとの関係

2. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
2-5. 平成19年能登半島地震の知見を踏まえた検討 31

他の内陸地殻内の同程度の地震に比べ断層面積がやや小さく、アスペリティ総面積、すべり量及び短周期レベルが大きい傾向がある。

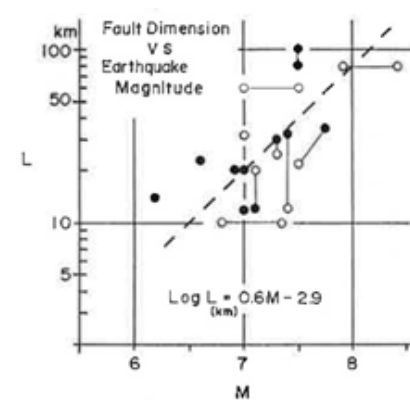
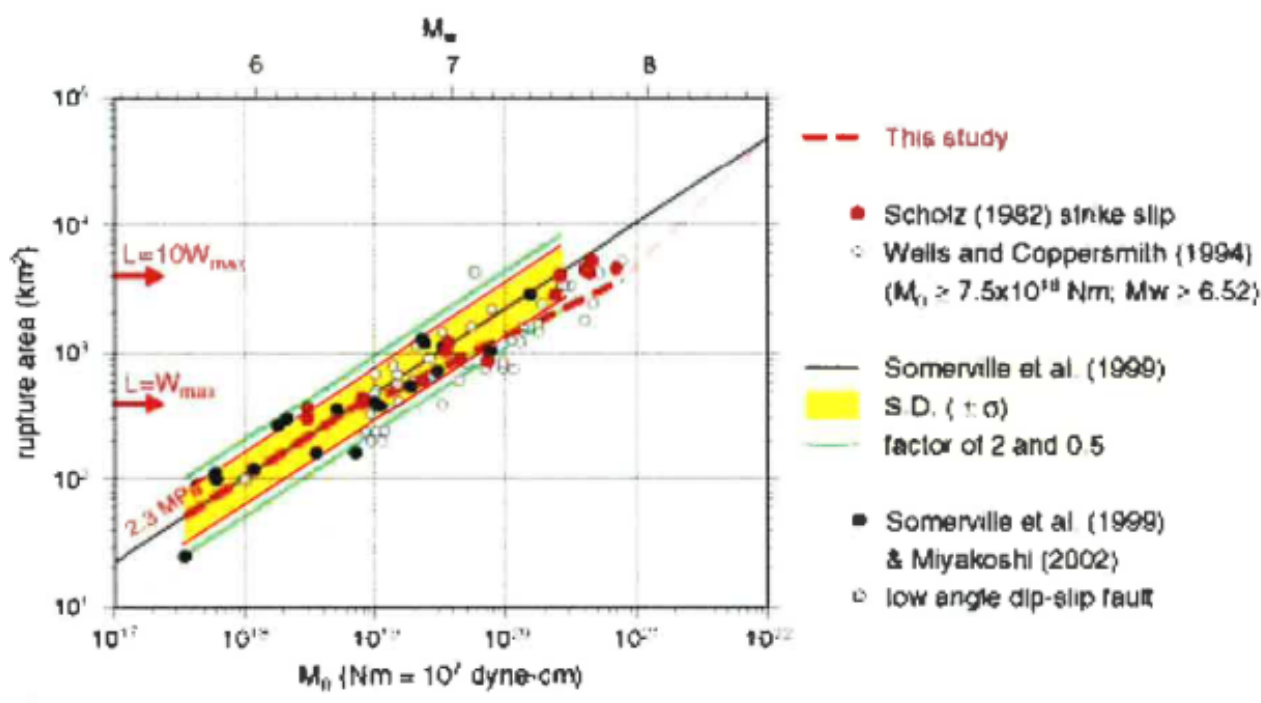


入倉・三宅(2001): シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110(6), 849-875
壇ほか(2001): 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 545, 51-62

しかしこれらはすべて平均像を求めるものでしかない

断層面積と地震モーメントの関係式

松田式の断層長さの代わりに断層面積
 マグニチュードの代わりにモーメントマグニチュード
 (地震モーメント)



松田式と同じような式
 スケーリング則の関係式 やはり誤差が大きい

強震動予測レシピ（入倉レシピ）

断層モデルによる強震動予測に際しては、想定する震源断層を設定し、その規模や破壊シナリオを構築する必要がある。しかしながら、その方法に関しては設定者に依存しばらつきの大きなものとなりがちであった。そこで、モデル化に際しての任意性を少しでも小さくするために、入倉孝次郎京都大学名誉教授らによって提案されたものが、「強震動予測のためのレシピ」と呼ばれる非一様断層破壊シナリオの設定マニュアルである。

断層モデルの高度化に関する検討
原子力安全基盤機構平成19年4月

アスペリティがある＝非一様
断層の上で破壊が次々伝播していくシナリオ

レシピ＝誰がやっても同じようにできる＝平均像を求めるもの

step1からstep9(もしくはstep7)まで順番に値を決めていく

強震動予測レシピの概要

「強震動予測レシピ」(入倉のレシピ)の各段階

Step1 断層破壊面積の設定

Step2 地震モーメント(M_0)の設定

Step3 平均応力降下量の設定

Step4 アスぺリティの総面積の設定

Step5 アスぺリティの応力降下量の設定

Step6 アスぺリティの個数と配置の設定

Step7 アスぺリティの平均すべり量比の設定

Step8 アスぺリティの実効応力と背景領域の実効応力の設定

Step9 すべり速度時間関数の設定

Step2, Step4はスケーリング則の適用

スケーリング則には大きな不確かさ(誤差)がある

Step 1

断層破壊面積の設定

震源断層面を正方形もしくは長方形として想定するので、面積は長さ×幅となる。

この断層の長さや幅を決めるについても大きな不確かさがある。幅は地震発生層の推定によるが、その推定にはとりわけ誤差が大きい。

Step 1: 断層破壊面積 ($S = LW$)

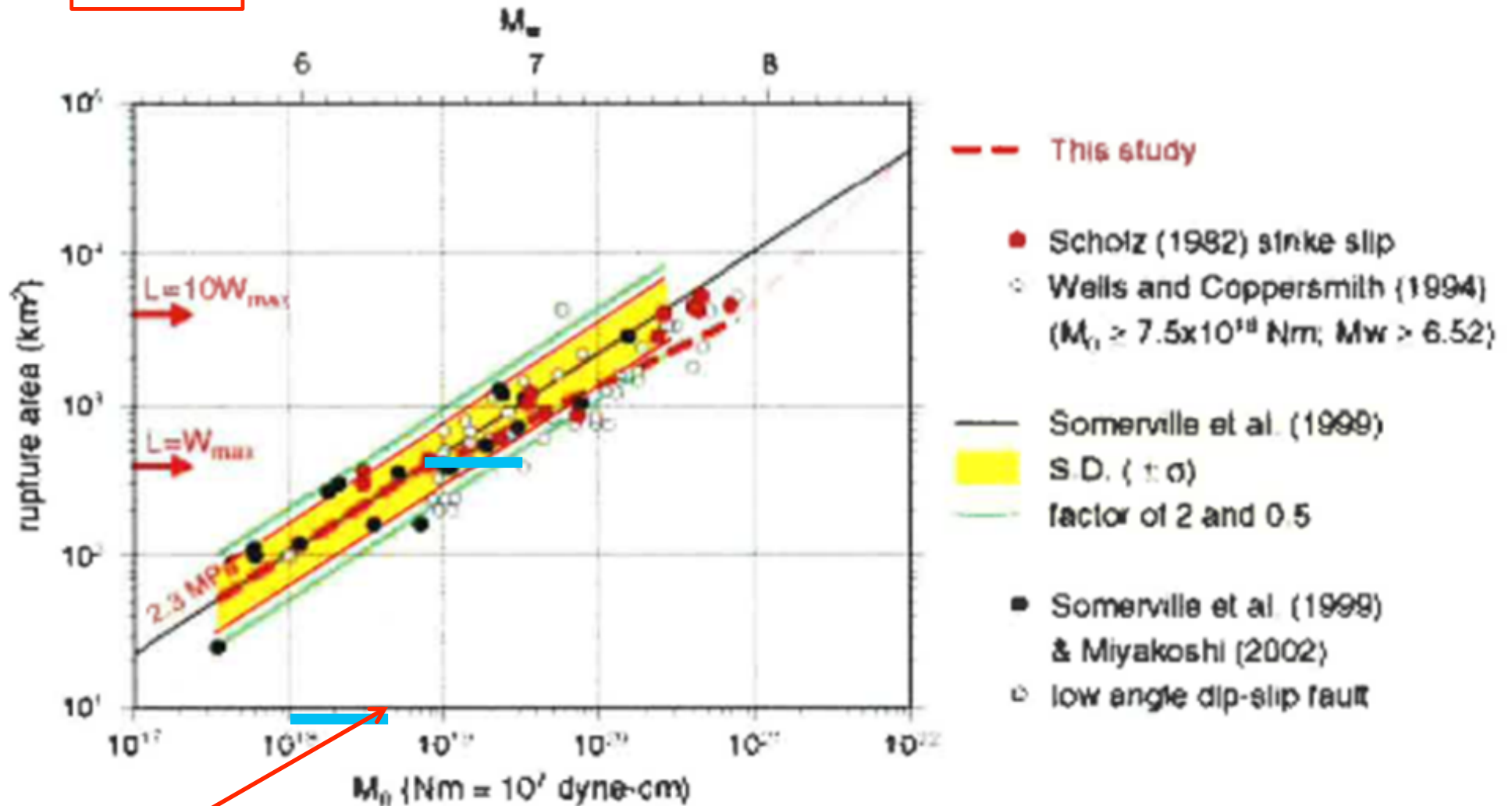
断層長さ L を決め、地震発生層厚と断層傾斜を考慮した最大幅 (W_{max}) との関係で断層幅 (W) を設定する。

$$W \text{ (km)} = L \text{ (km)} \quad : L < W_{max}$$

$$W \text{ (km)} = W_{max} \text{ (km)} \quad : L \geq W_{max}$$

Step2

断層面積から M_0 を導く



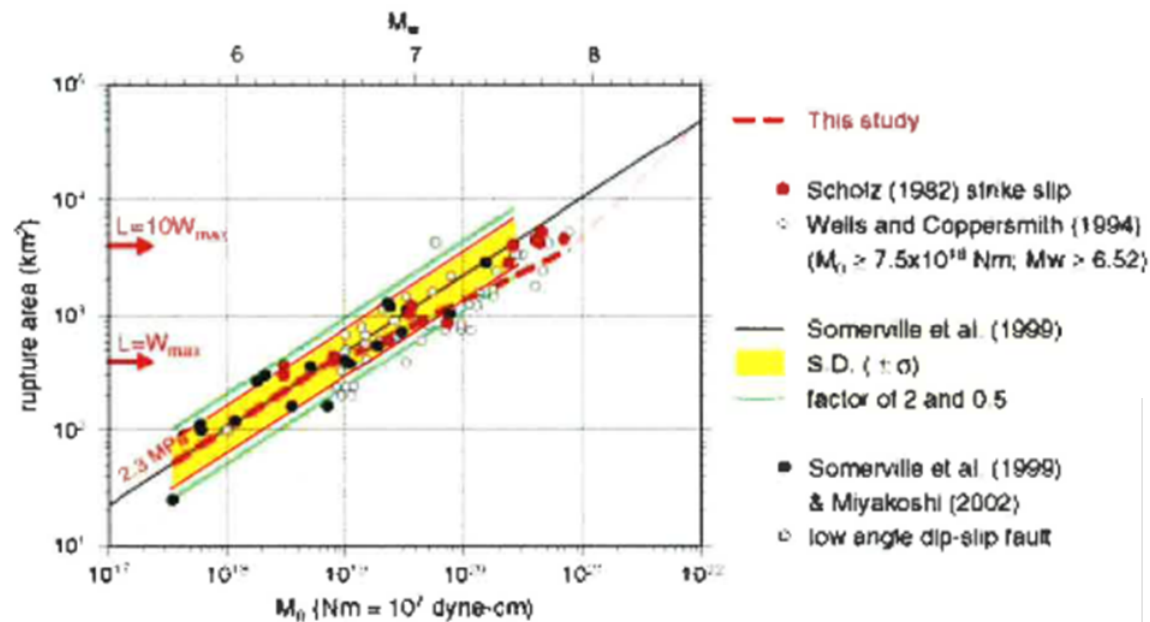
4倍

平均で耐震設計

中越沖地震の結果、1.5倍とされたが、それでも不足

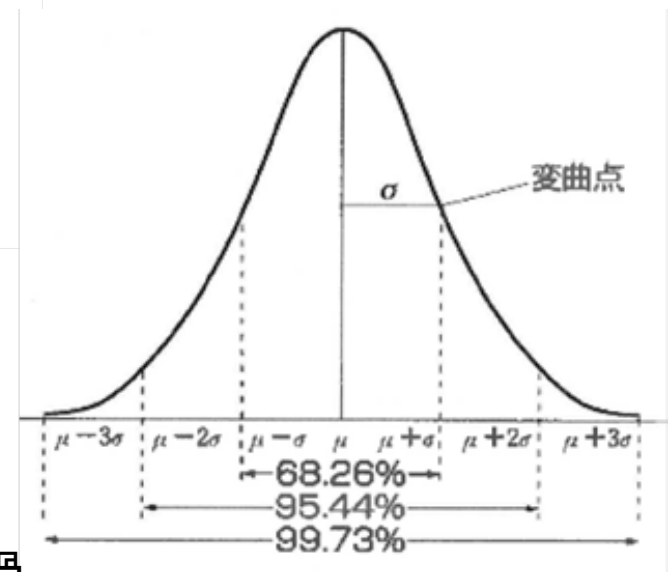
(黄色の領域の端の赤線は M_0 での平均の2分の1と2倍の線 内山加筆)

スケーリング則の誤差問題



黄色の範囲が「 $\pm\sigma$ 」=68. 28%の範囲(正規分布なら)
 その右端が平均の2倍
 平均の2倍の値でも約16%の地震では超過

2σ =平均の4倍の値でも、約2. 3%の地震で平均を超過



原発の耐震設計では
平均像からのかい離がどれだけか＝誤差 全く考慮されない

平均値をもとに耐震設計をしている
中越沖地震をもとに1.5倍にするだけ
平均値では原発の安全性は確保できない

誤差を考慮するなら標準偏差で何 σ まで想定するかの問題となる

(正規分布なら)標準偏差(+ σ)でも2倍、+2 σ で4倍
しかし、原発でそれで足りるか
+2 σ でも2.3%がそれを上回る

Step3

平均応力降下量の設定

面積当たりどの程度の歪の解放があるかを見る
＝平均応力降下量

M_0 と面積から、関係式によって導く

Step 3: 平均応力降下量 ($\Delta \bar{\sigma}_c$)

クラック理論 [Eshelby (1957)] ^(2.5) に基づき設定する。

$$\Delta \bar{\sigma}_c = \frac{7\pi^{1.5}}{16} \cdot \frac{M_0}{S^{1.5}}$$

面積 S が一定なら平均応力降下量は、 M_0 に比例

アスペリティの面積比はどうやって導くか ここでもスケーリング則

内陸地殻内地震

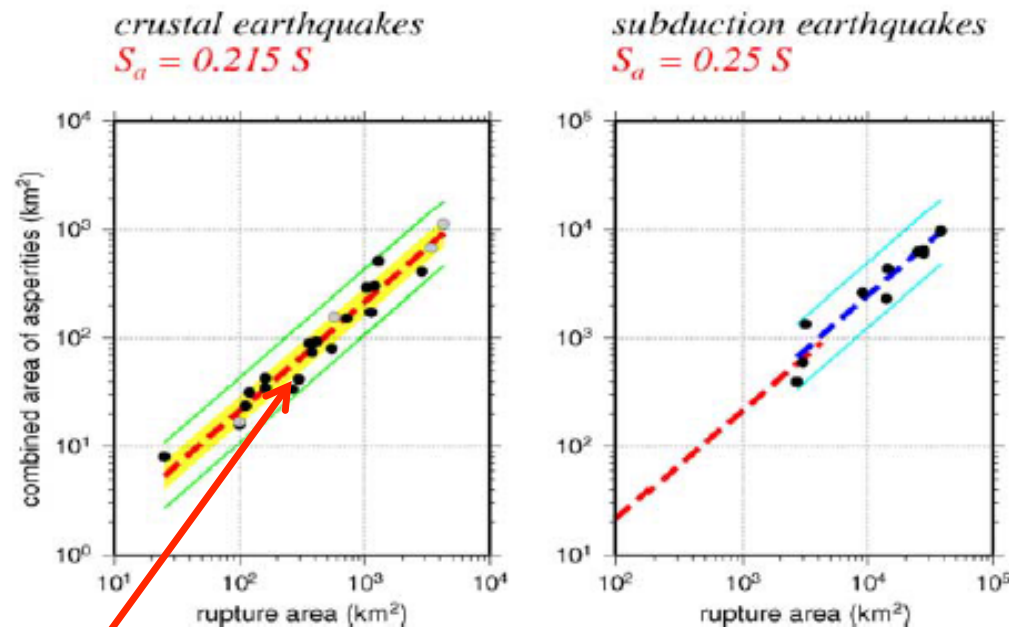


図 3. アスペリティ総面積と破壊域（断層面積）の経験的関係（入倉, 2004）。左図：内陸活断層地震。
右図：海溝型地震。影部は標準偏差±σを示す。細実線は平均に対する2倍と1/2倍を示す。

平均の1/2程度のアスペリティ面積比の地震がある
ただし面積が小さくなると重なる波が少なくなるので地震動が2倍になるわけではない
2の平方根できいてくる ⇒ 地震動は1.41倍となる。

その後、アスペリティの個数、配置などを決め、地震動想定をする

いくつかのstepで誤差がある

断層の面積の設定

断層面積→地震モーメント M_0

アスペリティ面積比

グリーン関数

これらの誤差は平均値の何倍という極めて大きな誤差

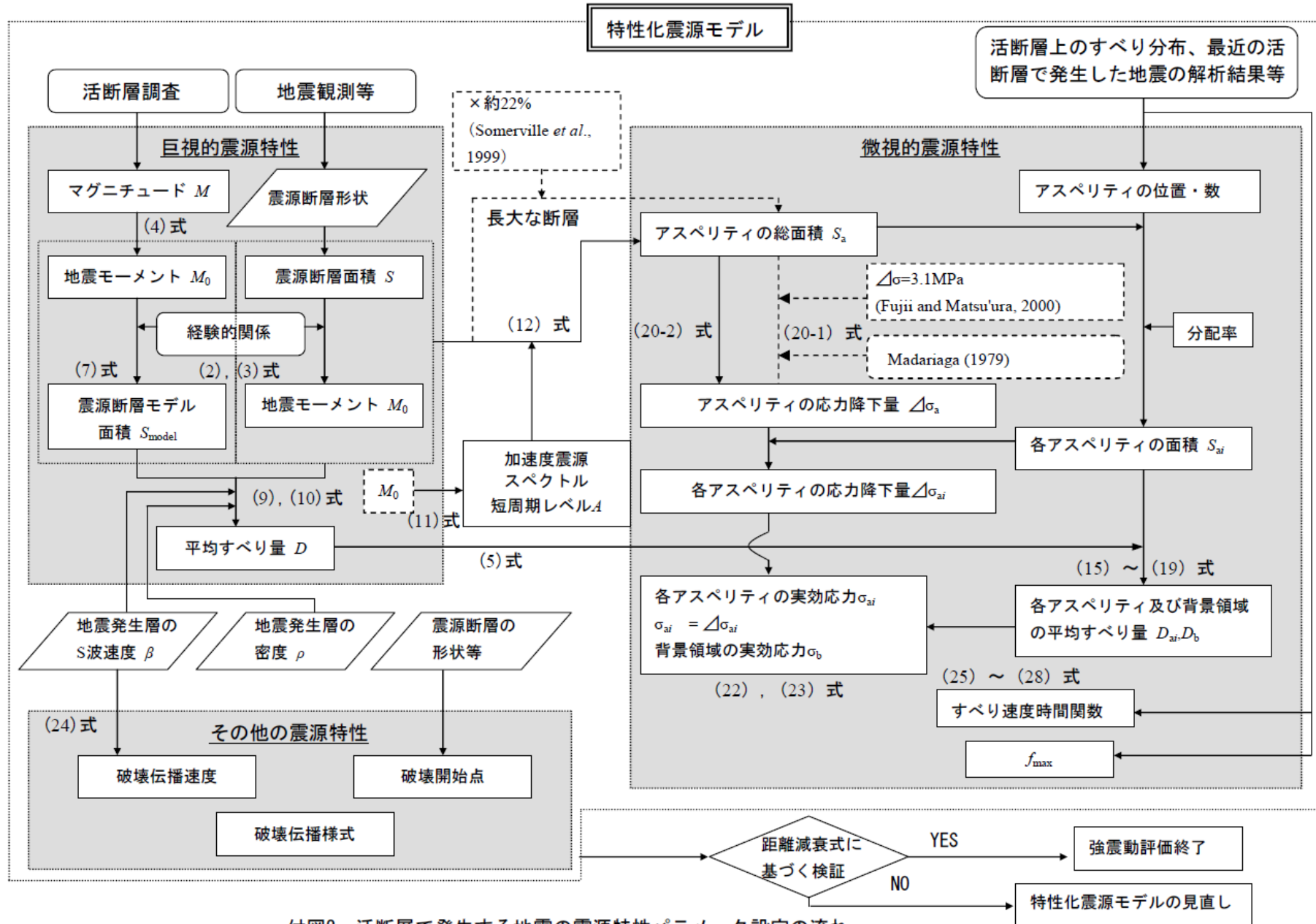
断層面積 S →地震モーメント M_0 の推定のみでも

少なくとも4倍の誤差(既往最大で)

データの少なさからすればさらに大きな誤差がある

少なくとも10倍程度の平均像からのかい離があるとすべき

地震調査委員会レシピ



地震調査委員会レシピ

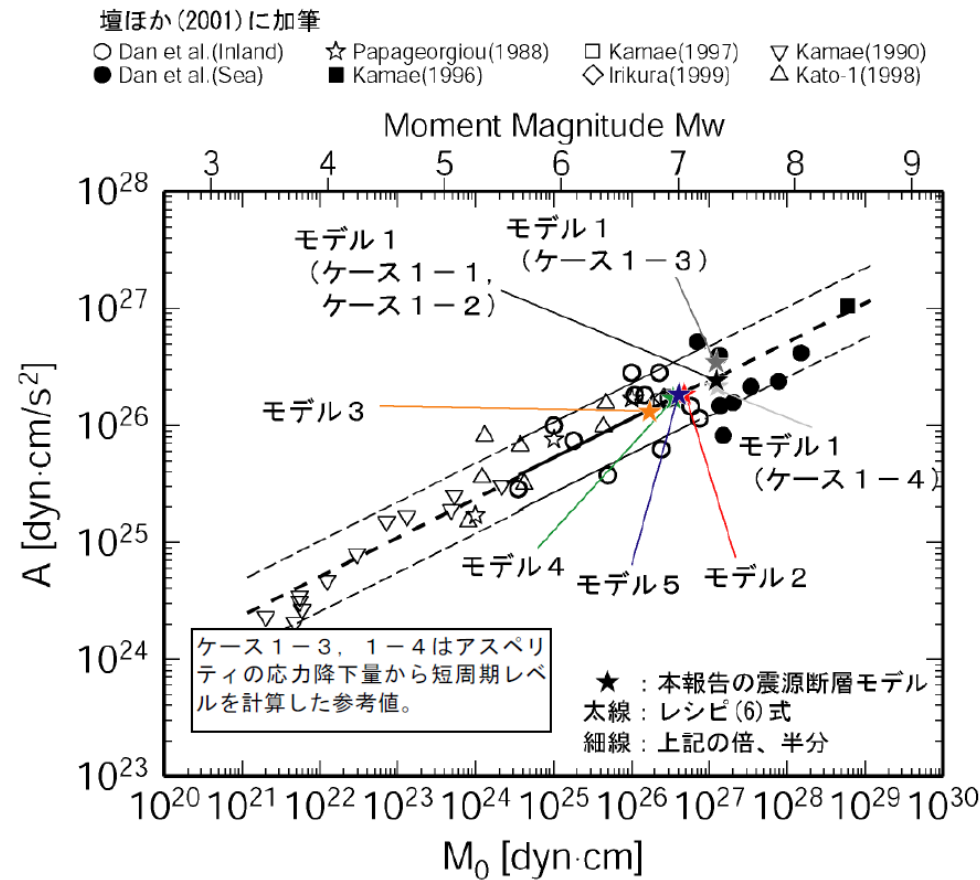


図 1 1 地震モーメント M_0 と断層面積 S の経験的關係 (上) および地震モーメント M_0 と短周期レベル A の関係 (下)

地震モーメント M_0 と短周期レベル A のスケーリング
 やはり誤差が大きい

地震調査委員会レシピ

入倉レシピと同じように誤差だらけ

やっていることは基本的に同じこと

断層長さ → 地震動の大きさ（導く道筋が違うだけ）

いくつかのスケールリング則を使う（莫大な誤差がある）など

断層モデルを用いた手法も
どんな方法でも大きな誤差は免れない

地震動想定の第一人者入倉孝次郎氏

「基準地震動は計算で出た一番大きい揺れの値のように思われることがあるが、そうではない。(四電が原子力規制委員会に提出した)資料を見る限り、570ガルじゃないといけないという根拠はなく、もうちょっと大きくてもいい。…(応力降下量は)評価に最も影響を与える値で、(四電が不確かさを考慮して)1.5倍にしているが、これに明確な根拠はない。570ガルはあくまで目安値。私は科学的な式を使って計算方法を提案してきたが、これは地震の平均像を求めるもの。平均からずれた地震はいくらでもあり、観測そのものが間違っていることもある。基準地震動はできるだけ余裕を持って決めた方が安心だが、それは経営判断だ。」

基準地震動を解く

伊方原発

がずれた時のエネルギーを使って計算方法を提案し(を示す)応力降下量だ。使ってきたが、これは地震の評価に最も影響を与える平均像を求めるもの。平均で、(四電が不確かさを考慮して)1.5倍にしているが、これに明確な根拠はない。570ガルはあくまで目安値。私は科学的な式を使って計算方法を提案してきたが、これは地震の平均像を求めるもの。平均からずれた地震はいくらでもあり、観測そのものが間違っていることもある。基準地震動はできるだけ余裕を持って決めた方が安心だが、それは経営判断だ。

四国電力伊方原発の基準地震動570ガルは、調査に基づいて活断層の位置や形状で原発に最も影響が大きくなるよう計算した断層モデルと(小規模な地震観測記録から大規模地震の波形を合成してつくり出す)経験的な方法で総合的に決めている。

基準地震動は計算で出た一番大きい揺れの値のように思われることがあるが、そうではない。(四電が原子力規制委員会に提出した)資料を見る限り、570ガルじゃないといけないという根拠はなく、もうちょっと大きくてもいい。

地震動評価の計算は新

3 京都大名教授 入倉 孝次郎氏



いりくら・こうじろう 68年京都大学大学院理学研究科・地球物理学専攻博士課程中退。同大副学長や日本地震学会会長などを歴任。01～12年、内閣府原子力安全委員会専門委員。強震動地震学。73歳。

3/29 余裕ある設計 確認重要

570ガルのままにして、それを多少超す地震が来たとしてもすぐ壊れることとはないと思う。580ガとしていた女川原発が(宮城県)でも、東日本大震災のときに600ガを超す地震動だったが耐えられた。伊方でも地震のことを知っているれべりの余裕は持っているはず。基準地震動以上の揺れでも大丈夫なように余裕のある設計が行われるべき(聞き手・藤中潤、阪和)

過去10年間に5つも基準地震動を超えた地震が発生

とりわけ平成19年中越沖地震と平成19年能登半島地震

平均像からはずれた地震だった

しかし、平均像からはずれた地震が発生するのは当たり前

だから、入倉孝次郎氏も「平均からはずれた地震はいくらでもある」
と言っている。

「平均像」で基準地震動を策定したら、原発に「安全」はない！
原発を平均的地震動で耐震設計をしていいわけがない！

震源を特定せず策定する地震動

留萌支庁南部地震の知見は十分考慮されているのか

基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド

1.3 用語の定義

- (6)「震源を特定せず策定する地震動」とは、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内の地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないことから、敷地近傍における詳細な調査の結果にかかわらず、全ての敷地（対象サイト）において共通的に考慮すべき地震動であると意味付けた地震動をいう。

いくら調査してもわからない断層が潜んでいる
→それを全サイト共通に考慮

「地表地震断層が出現しない可能性のある地震」について

全国共通に考慮すべき地震（震源の位置も規模も特定できない地震）

Mw6.5未満の地震

〔解説〕

- （１）「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」は、断層破壊領域が地震発生層の内部に留まり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震であり、震源の位置も規模もわからない地震として地震学的検討から全国共通に考慮すべき地震（震源の位置も規模も推定できない地震（Mw6.5未満の地震））である。

収集対象とされた地震

表-1 収集対象となる内陸地殻内の地震の例

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

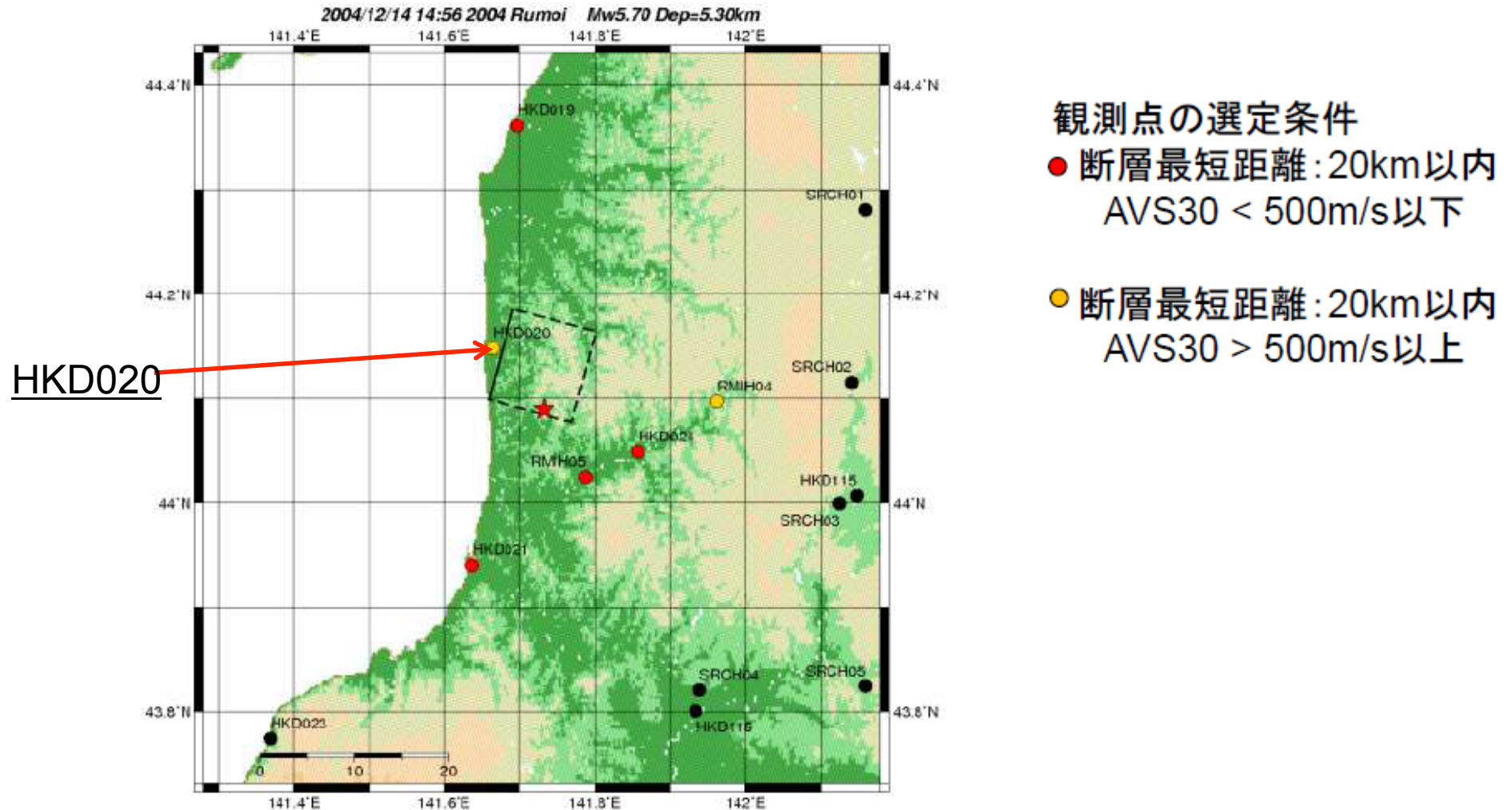
わずか16年の16の
地震で何がわかる？

余りに少なすぎる地震

そのデータをいくら集めても
適切かつ十分なデータ収集
とは到底いえない

本当に16年間のデータで
十分と思っているのか！！

2004年北海道留萌支庁南部地震 (Mw5.7)



たまたま観測点が断層面を延長した地点の近くにあった。

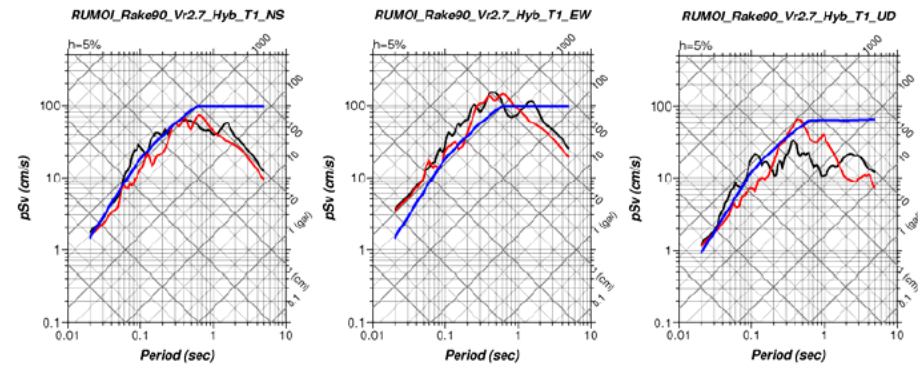
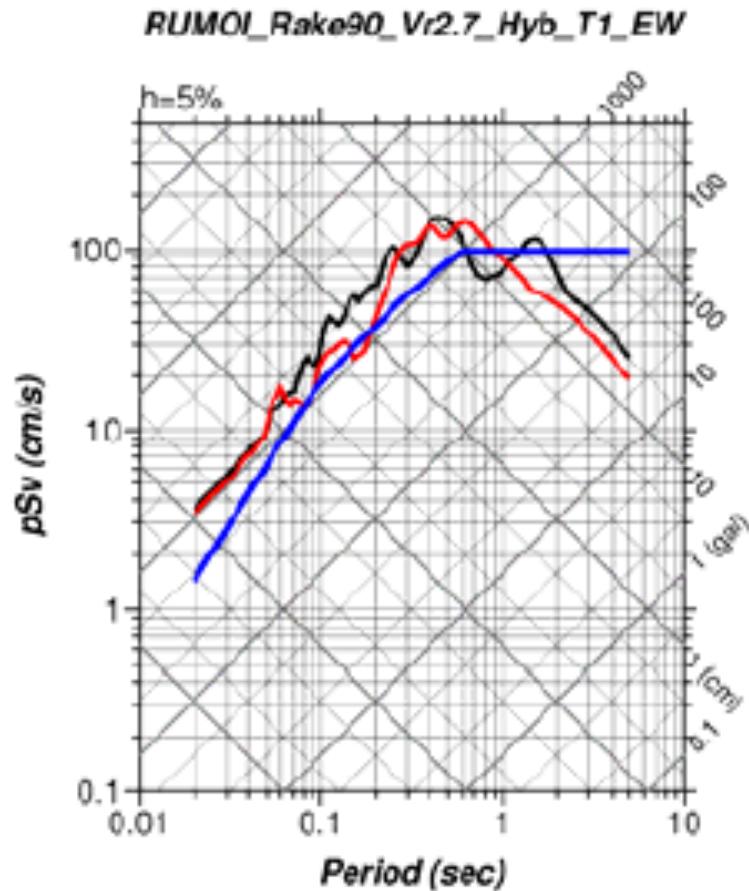


図 2.2-3 (2) HKD020 におけるハイブリッド波形 (赤) と観測波形 (黒) による
疑似速度応答スペクトルの比較 (青：加藤スペクトル)
左：NS、中：EW、右：UD

わずかMw5.7(Mj6.1)の地震

地震動1000ガル超

応答スペクトル2000ガル程度

NFRD効果

破壊伝搬方向に観測点があるときに
地震動が重なって増幅する効果

ディレクティビティと以前は言っていた

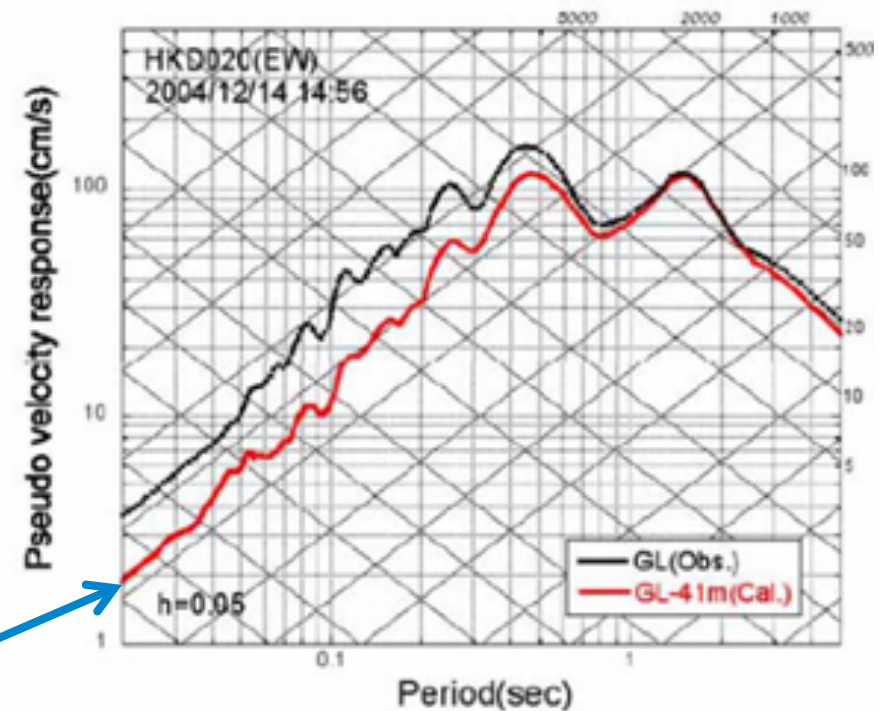
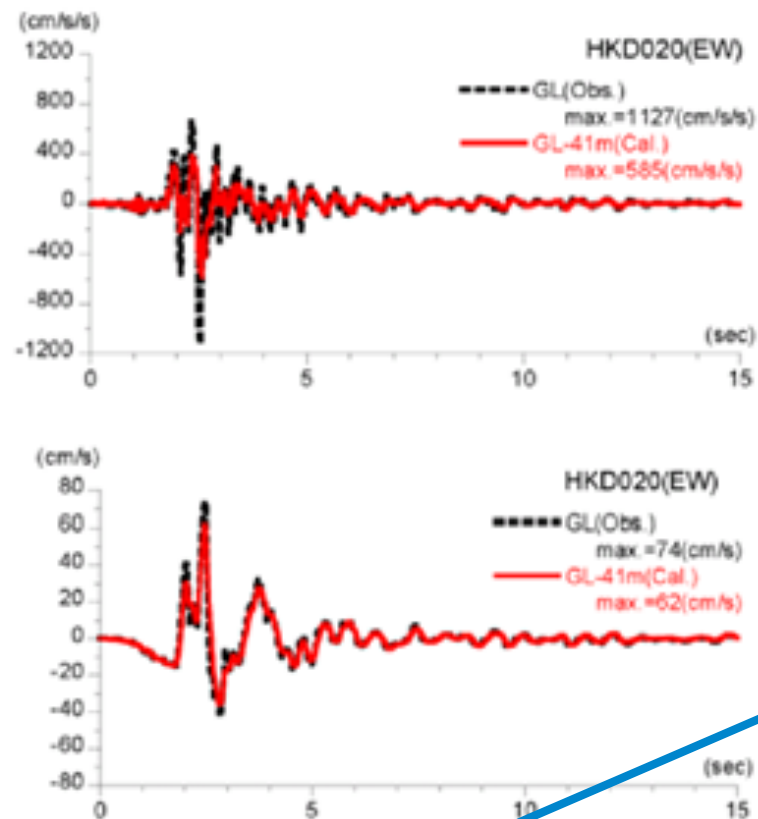
「留萌支庁南部地震は、地盤の影響による増幅がある」

佐藤他(2013)によるHKD020観測点の基盤地震動評価

第59回審査会合
資料31に加筆修正

48

- 等価線形解析により、地表観測記録(EW成分)から深さ41mでの基盤地震動を評価した。
- はぎとり結果は、最大加速度が585Galとなっており、地表観測記録の約1/2となった。



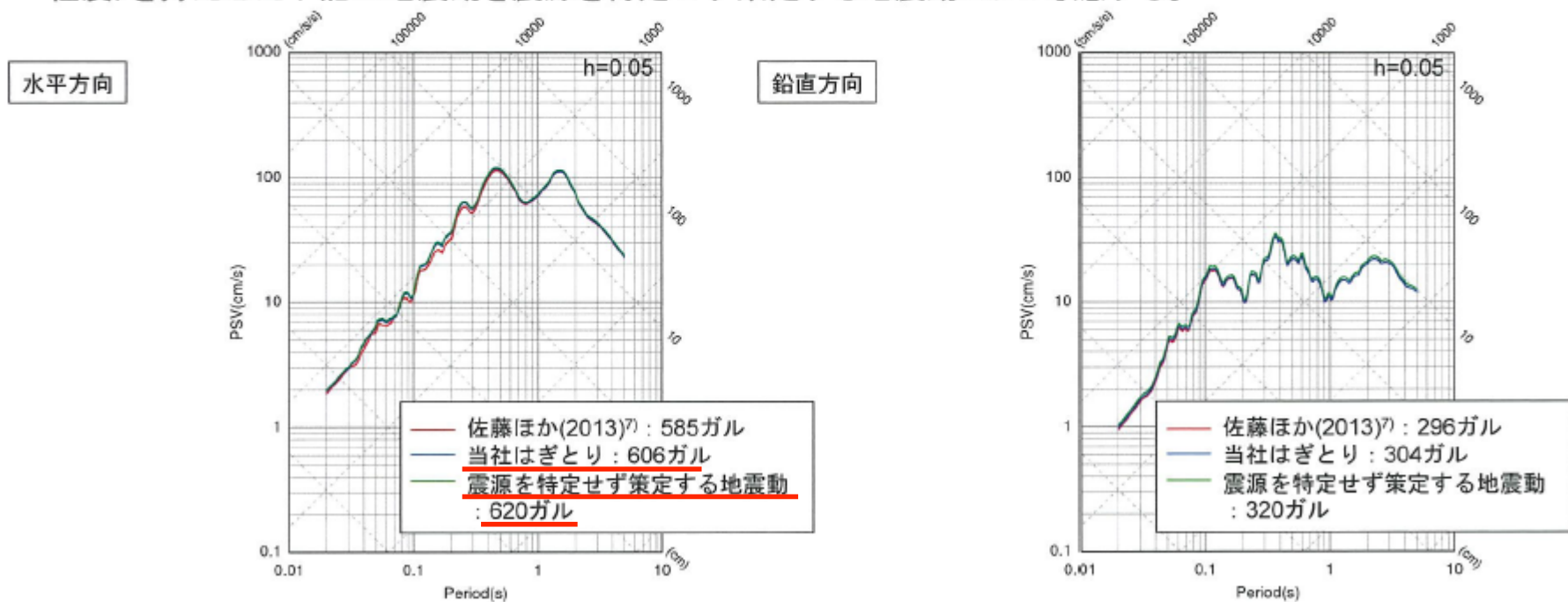
585ガル

電力会社の策定する「震源を特定せず策定する地震動」

(現在、ほとんどの電力会社が620ガルを採用している)

現状の解放基盤波に余裕を持たせた当社独自の新たな地震動の設定

- 前頁までの検討に対し、当社独自の「読み取り」による解析であることの不確かさを踏まえ、さらに余裕(10ガル程度)を持たせた下記の地震動を震源を特定せず策定する地震動として考慮する。



仮に地震動増幅があっても

そもそも本当に増幅するのか

中越沖地震では、軟弱地盤があったために地震動は減衰したとされている

この見解を前提としても

- 1 増幅がないはざとり波でも、加藤のスペクトルを超えている
特に、原発で重要な短周期領域(周期0.2秒から0.5秒)で
地震動としても**609ガル!**
それを若干上乘せしても620ガル
- 2 留萌支庁南部地震はわずかMw5.7の地震でしかない
- 3 大地震動は破壊伝播効果(NFRD効果)のためとされる
- 4 Mw5.7がMw6.5(16倍)になったら
それだけで極めて大きな地震動となるはず

素朴な疑問

Mw5.7の地震で、これほど大きな地震動をもたらしたのであれば

Mw6.5未満の地震では最大どこまで大きな地震動が来るのか

これを検討せずに「震源を特定せず策定する地震動」は導けない

Mw5.7の地震に耐えられれば良いというわけにはいかない

今、電力会社がやっているのは

Mw5.7程度の直下の地震には耐えられるということではない

M6.5未満の地震はどれだけの地震動となるか (Mw6.5の地震とMw5.7の地震の比較)

壇ほか(2001)の式(短周期レベルAとMoとの関係)

$$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$$

Mw6.5の地震のMo(地震モーメント)はMw5.7の地震のMoの約16倍
(マグニチュードが0.2あがるたびにMoは2倍となる)
ただし正確には15.85倍(入倉レシピの計算結果)

Moが15.85倍だと壇ほか(2001)の式によれば、Aは15.85の1/3乗倍
(1/3乗=3乗根 1/2乗=平方根=ルート)

$$15.85 \text{ の } 1/3 \text{ 乗} = 2.51$$

Mw6.5未満の地震の最大地震動は、Mw5.7の地震の地震動の2.5倍となる

M6.5未満の地震はどれだけの地震動となるか

Mw6.5の地震とMw5.7の地震の比較

地震動は留萌支庁南部地震の2.5倍として

$$609 \times 2.5 = \underline{1523 \text{ガル}}$$

$$\text{短周期での応答スペクトル } 1300 \times 2.83 = \underline{3250 \text{ガル}}$$

しかしこれは平均像でのものしかない

さらにたとえば、断層面積が平均的地震より小さいなど
平均像と異なる地震となる可能性も考える必要がある

震源断層面の面積が平均的値の1/2の場合の地震動

Mw6.5の地震でS(面積)が平均像の1/2だと

$$609 \times 5 = 3045 \text{ガル}$$

3000ガル程度は考える必要がある