

固有規模より小さい地震 の規模と発生確率に関する論点

Discussion points of the Earthquake magnitude
and probability of minor inland earthquake

2017/3/24
Kumamoto SSC Lead

固有規模より小さい地震の規模と発生確率に関するモデル

Model of the Earthquake magnitude and probability of minor inland earthquake

地震タイプ 評価項目ごとの 主なモデル		(a) 場所(位置・形状)	(b) 規模 (連動性評価を含む)	(c) 発生確率 (活動間隔と最新地震後経過時間)	(d) アスペリティ の位置	(e) 破壊開始点 の推定	(f) 地震動 評価手法
(1)	南海トラフの 大地震	・領域区分:東西方向 ・領域区分:南北方向(深さ方 向)	・発生パターンごとに算 定(面積比から算定)	・BPT分布として算定(平均活動間 隔, ばらつき α , 最新活動時期) ・連動性評価	—	—	距離減衰式
(2)	フィリピン海 プレートの特定 しにくい地震	・対象領域(地域区分する方法, 地域区分しない方法) ・震源深さ ・プレート間とプレート内の比率	・最大規模 ・最小規模	・ポアソン過程として算定(G-R式 のb値)	—	—	距離減衰式
(3)	中央構造線断 層帯の地震	・平面位置 ・傾斜角 ・地震発生層厚さ	・セグメント区分 ・連動性評価 ・地震規模評価手法 (断層長さから算定, 断層面積から算定)	・ポアソン過程として算定(平均活 動間隔) ・BPT分布として算定(平均活動間 隔, ばらつき α , 最新活動時期) ・連動性評価	・アスペリティの個数 ・アスペリティの位置 (地形・地質情報考 慮)	・破壊開始点の 設定手法 (地形・地質情報 考慮)	距離減衰式 断層モデル
(4)	その他内陸 活断層の地震	・対象とする活断層 ・地震発生層厚さ	・地震規模評価手法 (断層長さから算定, 断層面積から算定)	・ポアソン過程として算定(平均活 動間隔) ・BPT分布として算定(平均活動間 隔, ばらつき α , 最新活動時期)	—	—	距離減衰式
(5)	内陸活断層の 固有規模より 小さい地震	・対象とする活断層 ・地震発生層厚さ	・最大規模 ・最小規模	・ポアソン過程として算定(平均活 動間隔)	—	—	距離減衰式
(6)	陸側プレートの 特定しにくい 地震	・対象領域(地域区分する方法, 大領域を用いる方法, 地域区 分しない方法) ・震源深さ	・最大規模 ・最小規模	・ポアソン過程として算定(G-R式 のb値)	—	—	距離減衰式



SSCのHSI

GMCのHSI

Hazard Significant Issuesと論点 (SSC)

Hazard Significant Issues and points of arguments (SSC)

No	Significant Issue	論点 Points of Arguments
1	(3) (c) 中央構造線断層帯（特に伊予灘）の地震発生確率（活動間隔と最新地震後経過時間） Earthquake probability in the MTL fault zone (especially, Iyonada area) - Recurrence interval and elapsed time since the latest faulting)	地震本部による中央構造線断層帯の長期評価では、伊予灘を含む四国北西部の最新活動時期が16世紀、平均活動間隔が約1千～2千9百年とされているが、最も影響の大きい伊予灘セグメントでは直接的な活動履歴のデータがない。また、複数のセグメントが連動したケースを想定したとき、どのように地震発生確率を設定するかの議論が必要である。
2	(3) (b) 中央構造線断層帯（特に伊予灘）の地震規模（連動性評価を含む） Earthquake magnitudes in the MTL fault zone (especially, Iyonada area) including of an evaluation of simultaneous rupturing	一般論として、中央構造線のような長大な横ずれ断層では、一度に全体が活動するのではなく、複数の区間に分割して活動することがある。活断層分布やジョグなどのデータを基に、断層破壊の単位となるセグメントをどのように設定するか、また連動の確率をどのように設定するかの議論が必要である。
3	(3) (a) 中央構造線断層帯（特に伊予灘）の位置・形状（断層傾斜角、地震発生層） Geometry of the MTL fault zone (especially, Iyonada area) - Dip angle and seismogenic layer	中央構造線断層帯については、横ずれ断層に一般的なほぼ鉛直の震源断層を有するのか、北傾斜する地質境界断層が震源断層であるかの議論がある。また、ほぼ鉛直の震源断層である場合、ハザードへの影響も踏まえ、角度のばらつきをどう考えるかの議論も必要である。なお、地震発生層厚さについての議論も必要である。
4	(5) (b) (c) 内陸活断層の固有規模より小さい地震の規模と発生確率 ⇒※GMCと共通 Earthquake magnitude and probability of minor inland earthquake whose magnitude is smaller than its assumed characteristic magnitude	GMC側から検討を求められており、長野県北部（神城断層）地震や熊本地震の前震を踏まえた議論が必要である。地震本部の評価では、地震規模をM6.8～M7.4に設定している。
5	(6) (b) (c) 陸側プレートの特定しにくい地震の地震規模と発生確率 ⇒※GMCと共通 Earthquake magnitude and probability of inland earthquake whose seismic source is difficult to identify	地震本部の評価では西南日本における陸側プレートの特定しにくい地震の最大地震規模が鳥取県西部地震のM7.3とされている。地体構造区分と最大地震規模、地震発生確率について議論する必要がある。
6	(2) (b) (c) フィリピン海プレート内地震の地震規模と発生確率 Earthquake magnitude and probability of intraplate earthquakes in the Philippine Sea plate	伊予灘周辺で発生するフィリピン海プレート内地震の規模について、神田ほかによる歴史地震の規模はM7程度までである。地震本部の評価では、1911年奄美大島近海の地震を参照して地震規模の上限をM8.0としている。
7	(1) (b) (c) 南海トラフの大地震の地震規模（連動性評価を含む）と発生確率 Earthquake magnitude and probability of the Nankai Trough megathrust earthquake including the evaluation of simultaneous rupturing	GMC側の議論において、南海トラフの大地震は感度解析の結果からプラントに影響を及ぼす高レベルの地震動のハザードレベルが低いとの議論があったことを踏まえ、敷地への影響が比較的大きいM9クラスの巨大地震に重点を置き、南海トラフの大地震の連動のパターンと重みづけについて議論が必要。



Hazard Significant Issuesと論点 (SSC)

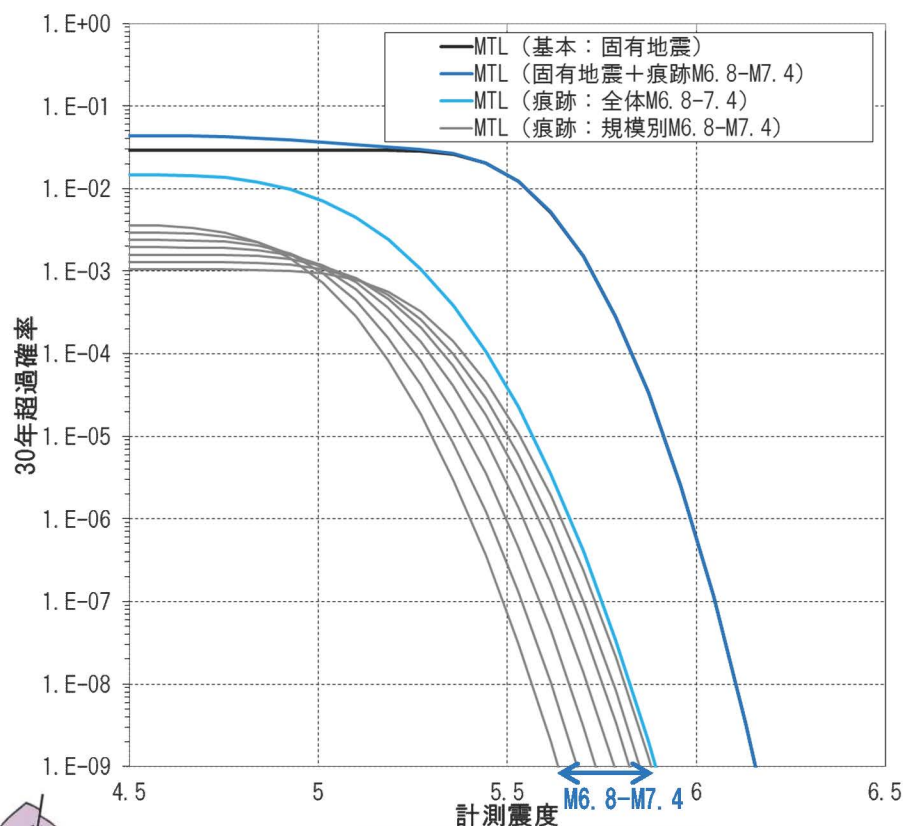
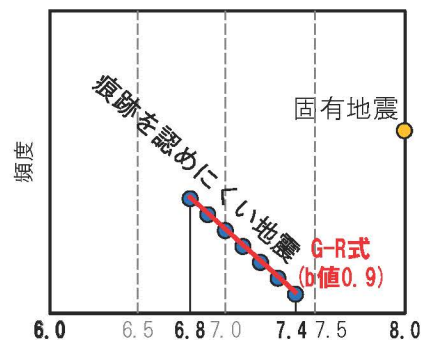
Hazard Significant Issues and points of arguments (SSC)

HSI No [Matrix No]	SSC HSI	主な不確実さ要因
4. [(3) c] (特定震源) Specific source	内陸活断層の固有規模より小さい地震の規模と発生確率 Earthquake magnitude and probability of minor inland earthquake whose magnitude is smaller than its assumed characteristic magnitude	○固有規模より小さい地震の規模と発生確率 ⇒既往情報)地震本部の評価:地震規模をM6.8 ~ M7.4 に設定。GMCから検討を求められている。 ⇒論点)神城断層や熊本地震(日奈久, 布田川断層)の前震・本震を踏まえた地震規模と発生確率の議論
5. [(6) b, c] (領域震源) Regional source	陸側プレートの特定しにくい地震の地震規模と発生確率 Earthquake magnitude and probability of inland earthquake whose seismic source is difficult to identify	○地体構造区分と最大地震規模、地震発生確率 ⇒既往情報)地震本部の評価では西南日本の陸側プレートの特定しにくい地震の最大地震規模を鳥取県西部地震(M7.3)としている。 ⇒論点)伊方サイト周辺地域の領域震源区分、最大地震規模、地震発生確率等についての議論
6. [(2) b,c] (領域震源) Regional source	フィリピン海プレート内の地震の地震規模と発生確率 Earthquake magnitude and probability of intraplate earthquakes in the Philippine Sea plate	○フィリピン海プレート内の最大地震規模と発生確率 ⇒既往情報)伊予灘周辺で発生するフィリピン海プレート内地震の規模:歴史地震の規模は M7程度。新規基準に基づく伊方サイトの評価:スラブの厚さから最大M7.4と評価。地震本部の評価:地震規模の上限M8.0(1911年,奄美大島近海地震)の分析 ⇒論点)フィリピン海プレート内の領域震源、最大地震規模, 地震動の評価方法の論議

影響分析(1/2)

The rough estimate of sensitivity analysis

- 中央構造線断層帯における内陸活断層の固有規模より小さい地震の影響分析結果を示す。
- 痕跡を認めにくい地震のモデル化には地震本部による考え方をを用いた。



地震本部による痕跡を認めにくい地震のモデル化

地震規模のモデル化

- 上限: 各単位区間のM (M7.4を超える場合はM7.4)
- 下限: M6.8

発生確率のモデル化

- ①平均活動間隔は各単位区間の平均活動間隔の2倍
- ②G-R式(b値=0.9)で規模に応じた頻度の割り振り
- ③頻度からポアソン過程に基づき発生確率を算定

断層面のモデル化

地震規模によらず単位区間の断層面そのもの

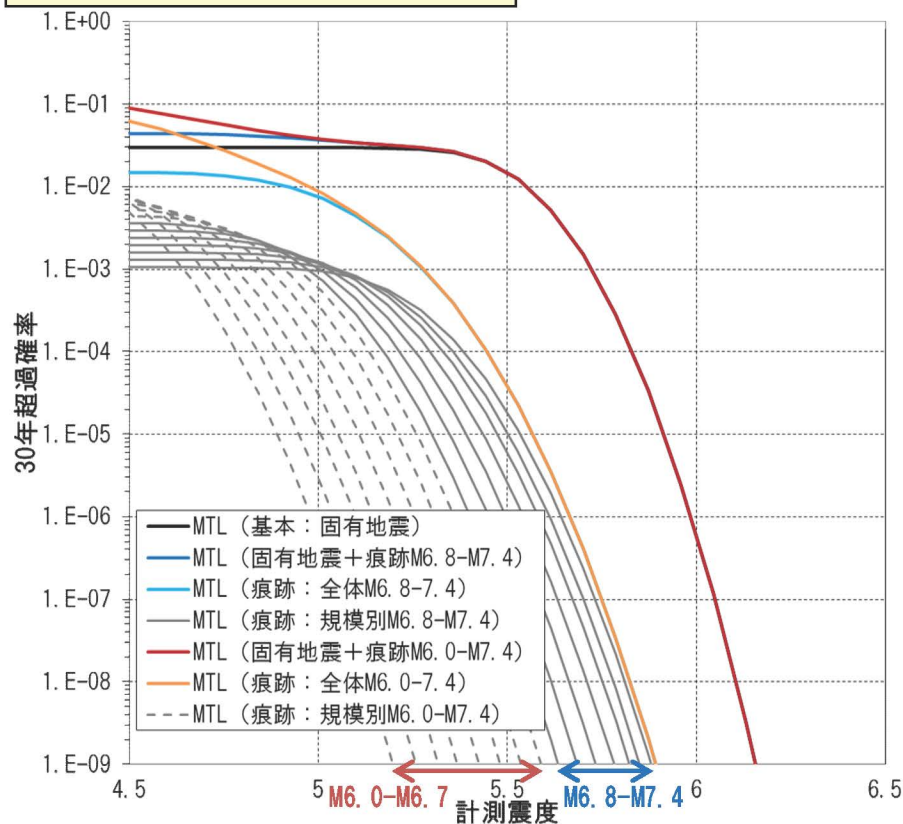
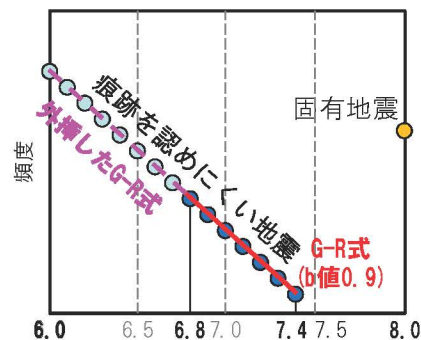
断層パラメータ		気象庁 マグニチュード M_{JMA}	平均活動間隔	30年発生確率 (ポアソン過程)
石鎚山脈北縁西部一伊予灘 中央構造線断層帯	固有地震 (長期評価による)	8.0	1000年 (最大ケース)	2.96% (最大ケース)
	痕跡を 認めにくい 地震	(全体)	2000年	1.49%
		6.8	8227年	0.36%
		6.9	10125年	0.30%
		7.0	12460年	0.24%
		7.1	15332年	0.19%
		7.2	18867年	0.16%
		7.3	23214年	0.13%
		7.4	28563年	0.10%



影響分析(2/2)

The rough estimate of sensitivity analysis

- 中央構造線断層帯における内陸活断層の固有規模より小さい地震の影響分析結果を示す。
- 痕跡を認めにくい地震のモデル化について、より小さな規模の地震まで考慮するため、規模の下限をM6.0とするとともに、G-R式を外挿し、頻度の割り振りを行った。



地震本部による痕跡を認めにくい地震のモデル化 (改)

地震規模のモデル化

上限：各单位区間のM (M7.4を超える場合はM7.4)

下限：M6.0

発生確率のモデル化

- ①平均活動間隔は各单位区間の平均活動間隔の2倍
- ②G-R式(b値=0.9)で規模(M6.8~M7.4)に応じた頻度の割り振り
- ③②のG-R式をM6.0~M6.7まで外挿し、頻度を設定
- ④頻度からポアソン過程に基づき発生確率を算定

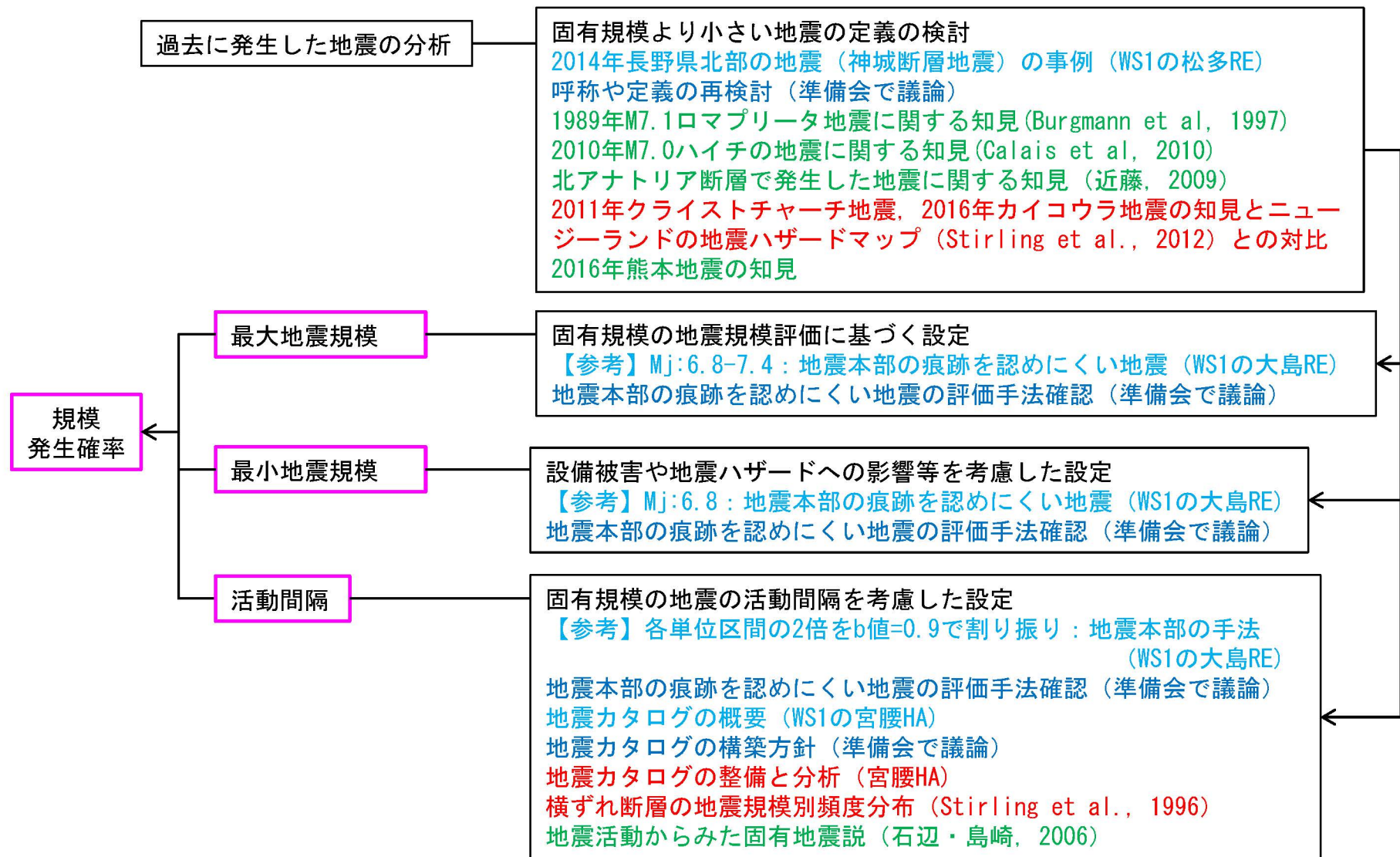
断層面のモデル化

地震規模によらず単位区間の断層面そのもの

断層パラメータ		気象庁 マグニチュード M_{JMA}	平均活動間隔	30年発生確率 (ポアソン過程)
石鎚山脈北縁西部一伊予灘 中央構造線断層帯	固有地震 (長期評価による)	8.0	1000年 (最大ケース)	2.96% (最大ケース)
	痕跡を 認めにくい 地震	(全体)	292年	9.77%
		6.0	1552年	1.91%
		6.1	1913年	1.56%
		6.2	2357年	1.26%
		6.3	2903年	1.03%
		6.4	3575年	0.84%
		6.5	4402年	0.68%
		6.6	5419年	0.55%
		6.7	6670年	0.45%
		6.8	8227年	0.36%
		6.9	10125年	0.30%
		7.0	12460年	0.24%
		7.1	15332年	0.19%
		7.2	18867年	0.16%
		7.3	23214年	0.13%
		7.4	28563年	0.10%

固有規模より小さい地震の規模と発生確率に関わる相関図

Correlation chart of earthquake magnitude and probability of minor inland earthquake



地震ハザードの計算に必要なパラメータ

水色：WS1で確認済み，青字：準備会・WMで確認

赤字：WS2で確認，緑字：論文等をデータベースで共有

Discussion points of the Earthquake magnitude and probability of minor inland earthquake

2017/3/24
Kumamoto SSC Lead

Ikata SSHAC

Model of the Earthquake magnitude and probability of minor inland earthquake

Outline of models		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
		Position / Shape	Magnitude	Earthquake occurrence probability	Location of asperity	Estimation of hypocenter	Methodology of seismic motion evaluation
(1)	Nankai Trough Megathrust Earthquake	•Region(east-west direction) •Region(north-south direction)	•Calculated for each pattern	•Calculated in BPT •Simultaneous rupturing model	—	—	•Attenuation model
(2)	Earthquake in/on the Philippine Sea Plate whose seismic source is difficult to identify	•Region to be examined •Depth •Ratio of earthquake in/on the Philippine Sea Plate	•Largest magnitude •Smallest magnitude	•Calculated in the Poisson process	—	—	•Attenuation model
(3)	Earthquake along the Median Tectonic Line Fault Zone	•Position •Dip angle •Thickness of the seismogenic layer	•Segmentation •Simultaneous rupturing model •Empirical Magnitude Estimation	•Calculated in the BPT /Poisson process •Simultaneous rupturing model	•Number /location of asperity	•Method of setting the hypocenter	•Attenuation model •Fault rupture model
(4)	Inland earthquake on minor faults	•Active fault to be examined •Thickness of the seismogenic layer	•Empirical Magnitude Estimation	•Calculated in the BPT /Poisson process	—	—	•Attenuation model
(5)	Minor inland earthquake whose magnitude is smaller than its assumed characteristic size	•Active fault to be examined •Thickness of the seismogenic layer	•Largest magnitude •Smallest magnitude	•Calculated in the Poisson process	—	—	•Attenuation model
(6)	Inland earthquake whose seismic source is difficult to identify	•Region to be examined •Depth	•Largest magnitude •Smallest magnitude	•Calculated in the Poisson process	—	—	•Attenuation model

HSI of SSC

HSI of GMC

Hazard Significant Issuesと論点 (SSC)

Hazard Significant Issues and points of arguments (SSC)

No	Significant Issue	The main issue
1	(3)(c) Earthquake probability in the MTL fault zone (especially, Iyonada area) - Recurrence interval and elapsed time since the latest faulting)	○In the evaluation of the HERP, the latest event age of the MTL is 16 century and recurrence time of the MTL is about 1 thousand -2 thousand 9 hundred years in northwest Shikoku including Iyo-nada Sea. ○At Iyo-nada segment which has the dominant impact, there is no data of activity history. ○Further, when assuming simultaneous rupture of several segments, we should discuss how to estimate earthquake probability.
2	(3)(b) Earthquake magnitudes in the MTL fault zone (especially, Iyonada area) including of an evaluation of simultaneous rupturing	○As a general rule, in a long strike-slip faults such as the MTL, its rupture may be divided into several segments. ○Based on the data such as active fault distribution and jog, we should discuss how to set segments and estimate earthquake probability.
3	(3)(a) Geometry of the MTL fault zone (especially, Iyonada area) - Dip angle and seismogenic layer	○The MTL has north dipping geological boundary fault formed anciently. On the other hand, the MTL is a strike-slip active fault now. Thus there is a discussion whether the earthquake source fault of the MTL has vertical angle or dip angle to north. ○In addition, we should discuss a looseness of the angle and thickness of seismogenic layer.
4	(5)(b)(c) Earthquake magnitude and probability of minor inland earthquake whose magnitude is smaller than its assumed characteristic magnitude	○About this issue, it has been asked to consider from GMC side. ○We should discuss this issue based on the knowledge of Northern Nagano earthquake and the foreshock of Kumamoto earthquake. In the evaluation of the HERP, the earthquake magnitude is from M6.8 to M7.4.
5	(6)(b)(c) Earthquake magnitude and probability of inland earthquake whose seismic source is difficult to identify	○In the evaluation of the HERP, the largest earthquake magnitude of inland earthquake whose seismic source is difficult to identify has been M7.3 on the basis of the Western Tottori earthquake. ○We should discuss the regional seismic segment, the maximum earthquake magnitude and probability of the earthquake.
6	(2)(b)(c) Earthquake magnitude and probability of intraplate earthquakes in the Philippine Sea plate	○About intraplate earthquakes in the Philippine Sea plate in and around the Iyo-nada area, the magnitude of historical earthquakes by Kanda et al. is up to M7. ○In the evaluation of the HERP, the maximum earthquake magnitude is M8.0 with reference to the 1911 Amami-Oshima earthquake.
7	(1)(b)(c) Earthquake magnitude and probability of the Nankai Trough megathrust earthquake including the evaluation of simultaneous rupturing	○From the results of the sensitivity analysis, the Nankai Trough megathrust earthquake has a low hazard level in corresponds to strong ground motion in the site. We should focus M9 class earthquake which impact the site and discuss simultaneous rupture patterns and their weight.

Hazard Significant Issuesと論点 (SSC)

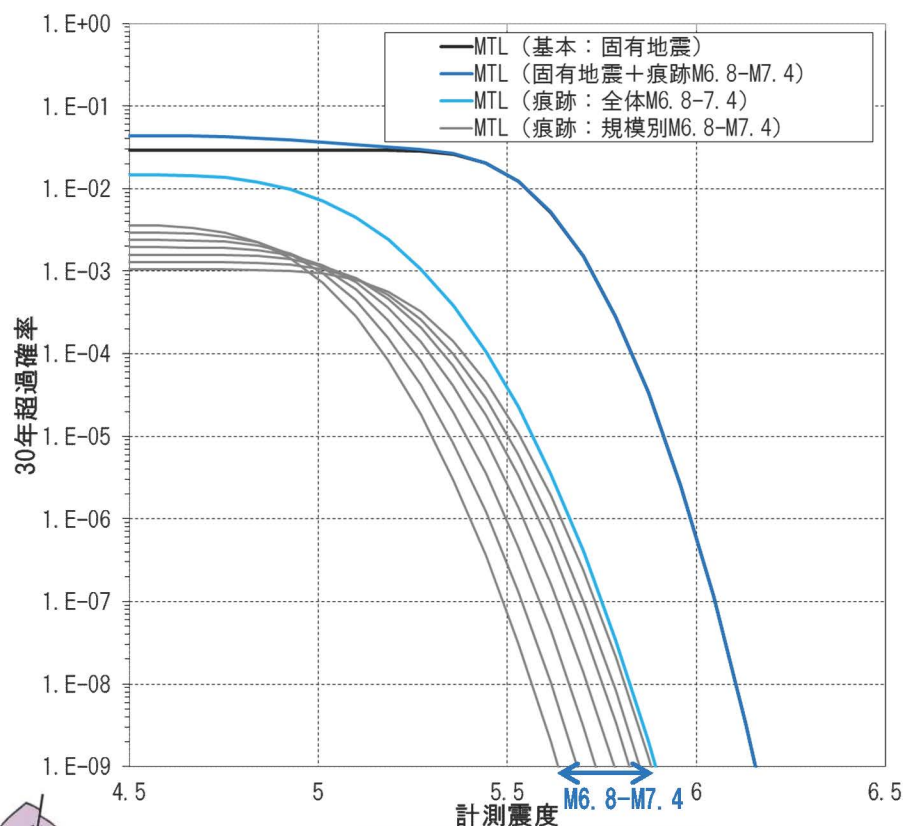
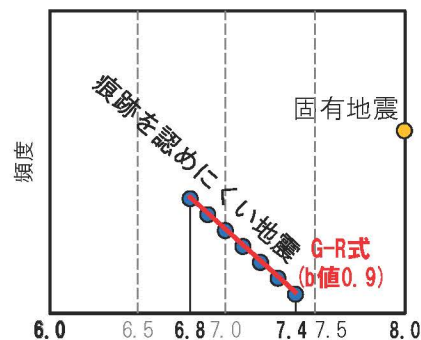
Hazard Significant Issues and points of arguments (SSC)

HSI No [Matrix No]	SSC HSI	主な不確実さ要因
4. [(3) c] (特定震源) Specific source	内陸活断層の固有規模より小さい地震の規模と発生確率 Earthquake magnitude and probability of minor inland earthquake whose magnitude is smaller than its assumed characteristic magnitude	○固有規模より小さい地震の規模と発生確率 ⇒既往情報)地震本部の評価:地震規模をM6.8 ~ M7.4 に設定。GMCから検討を求められている。 ⇒論点)神城断層や熊本地震(日奈久, 布田川断層)の前震・本震を踏まえた地震規模と発生確率の議論
5. [(6) b, c] (領域震源) Regional source	陸側プレートの特定しにくい地震の地震規模と発生確率 Earthquake magnitude and probability of inland earthquake whose seismic source is difficult to identify	○地体構造区分と最大地震規模、地震発生確率 ⇒既往情報)地震本部の評価では西南日本の陸側プレートの特定しにくい地震の最大地震規模を鳥取県西部地震(M7.3)としている。 ⇒論点)伊方サイト周辺地域の領域震源区分、最大地震規模、地震発生確率等についての議論
6. [(2) b,c] (領域震源) Regional source	フィリピン海プレート内の地震の地震規模と発生確率 Earthquake magnitude and probability of intraplate earthquakes in the Philippine Sea plate	○フィリピン海プレート内の最大地震規模と発生確率 ⇒既往情報)伊予灘周辺で発生するフィリピン海プレート内地震の規模:歴史地震の規模は M7程度。新規基準に基づく伊方サイトの評価:スラブの厚さから最大M7.4と評価。地震本部の評価:地震規模の上限M8.0(1911年,奄美大島近海地震)の分析 ⇒論点)フィリピン海プレート内の領域震源、最大地震規模, 地震動の評価方法の論議

影響分析(1/2)

The rough estimate of sensitivity analysis

- 中央構造線断層帯における内陸活断層の固有規模より小さい地震の影響分析結果を示す。
- 痕跡を認めにくい地震のモデル化には地震本部による考え方をを用いた。



地震本部による痕跡を認めにくい地震のモデル化

地震規模のモデル化

- 上限: 各単位区間のM (M7.4を超える場合はM7.4)
- 下限: M6.8

発生確率のモデル化

- ①平均活動間隔は各単位区間の平均活動間隔の2倍
- ②G-R式(b値=0.9)で規模に応じた頻度の割り振り
- ③頻度からポアソン過程に基づき発生確率を算定

断層面のモデル化

地震規模によらず単位区間の断層面そのもの

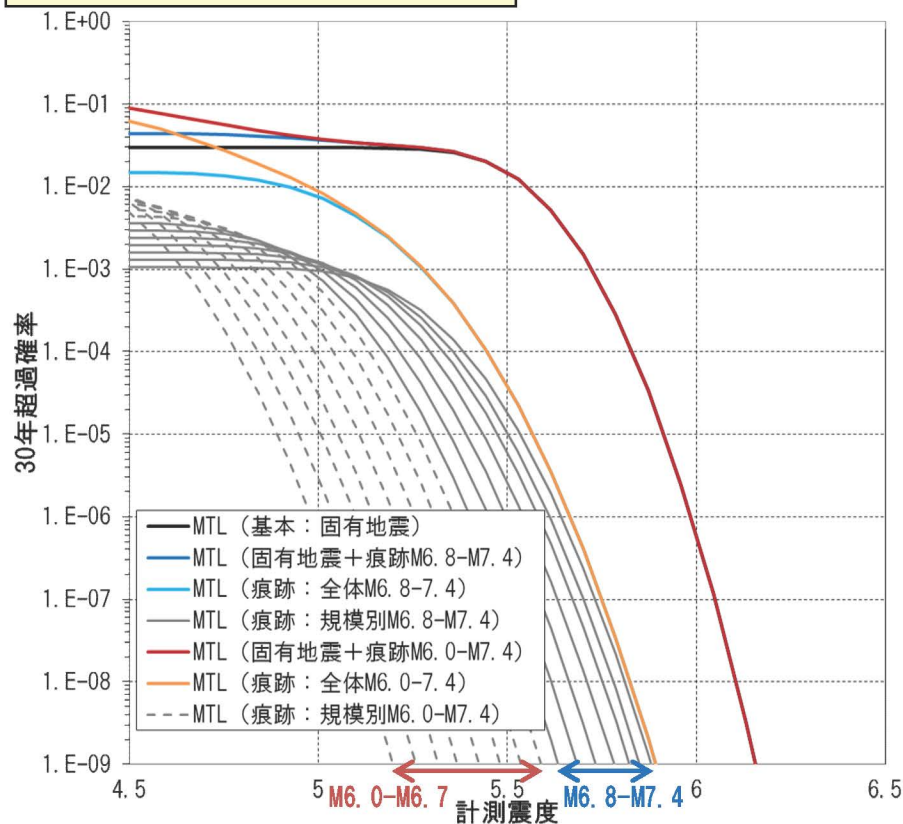
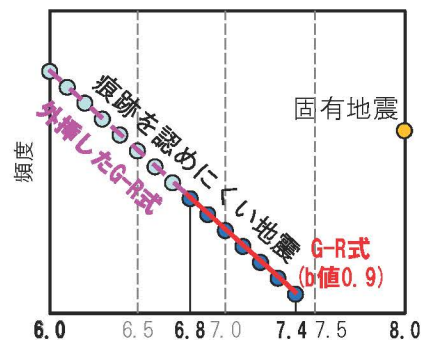
断層パラメータ		気象庁 マグニチュード M_{JMA}	平均活動間隔	30年発生確率 (ポアソン過程)
石鎚山脈北縁西部一伊予灘 中央構造線断層帯	固有地震 (長期評価による)	8.0	1000年 (最大ケース)	2.96% (最大ケース)
	痕跡を 認めにくい 地震	(全体)	2000年	1.49%
		6.8	8227年	0.36%
		6.9	10125年	0.30%
		7.0	12460年	0.24%
		7.1	15332年	0.19%
		7.2	18867年	0.16%
		7.3	23214年	0.13%
		7.4	28563年	0.10%



影響分析(2/2)

The rough estimate of sensitivity analysis

- 中央構造線断層帯における内陸活断層の固有規模より小さい地震の影響分析結果を示す。
- 痕跡を認めにくい地震のモデル化について、より小さな規模の地震まで考慮するため、規模の下限をM6.0とするとともに、G-R式を外挿し、頻度の割り振りをを行った。



地震本部による痕跡を認めにくい地震のモデル化(改)

地震規模のモデル化

上限：各单位区間のM (M7.4を超える場合はM7.4)

下限：M6.0

発生確率のモデル化

- ①平均活動間隔は各单位区間の平均活動間隔の2倍
- ②G-R式(b値=0.9)で規模(M6.8~M7.4)に応じた頻度の割り振り
- ③②のG-R式をM6.0~M6.7まで外挿し、頻度を設定
- ④頻度からポアソン過程に基づき発生確率を算定

断層面のモデル化

地震規模によらず単位区間の断層面そのもの

断層パラメータ		気象庁 マグニチュード M_{JMA}	平均活動間隔	30年発生確率 (ポアソン過程)
石鎚山脈北縁西部一伊予灘 中央構造線断層帯	固有地震 (長期評価による)	8.0	1000年 (最大ケース)	2.96% (最大ケース)
	痕跡を 認めにくい 地震	(全体)	292年	9.77%
		6.0	1552年	1.91%
		6.1	1913年	1.56%
		6.2	2357年	1.26%
		6.3	2903年	1.03%
		6.4	3575年	0.84%
		6.5	4402年	0.68%
		6.6	5419年	0.55%
		6.7	6670年	0.45%
		6.8	8227年	0.36%
		6.9	10125年	0.30%
		7.0	12460年	0.24%
		7.1	15332年	0.19%
		7.2	18867年	0.16%
		7.3	23214年	0.13%
		7.4	28563年	0.10%

Correlation chart of earthquake magnitude of minor inland earthquake whose magnitude is smaller than its assumed characteristic magnitude

