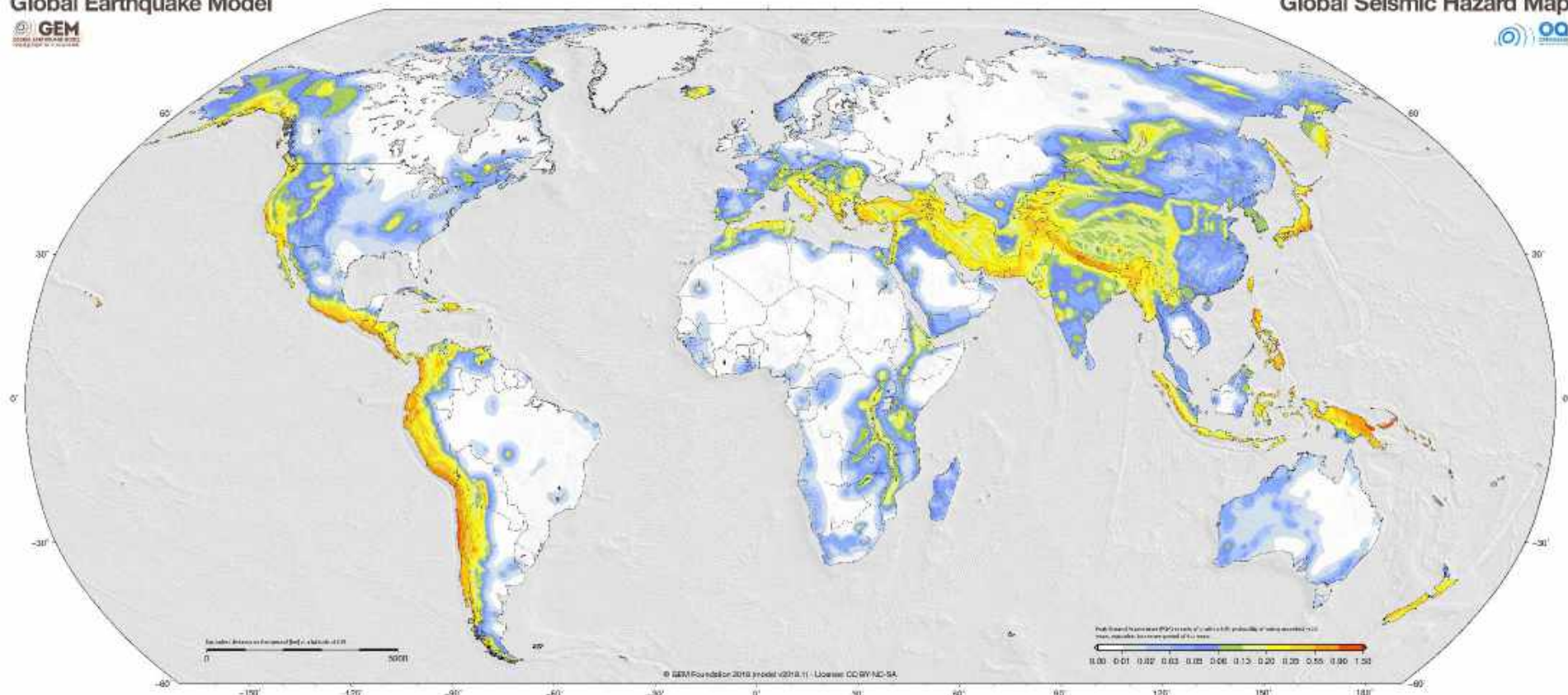


東日本大震災の教訓を踏まえた 地震動研究の現状

防災科学技術研究所
藤原広行



Global Earthquake Model (GEM) Global Seismic Hazard Map

The Global Seismic Hazard Map (GSHM) is a global map showing the estimated seismic hazard from earthquakes. It is based on the Global Earthquake Model (GEM) and is the first global map of its kind. The map shows the estimated seismic hazard from earthquakes, based on the GEM model. The map is based on the GEM model, which is a global model of seismic hazard. The map is based on the GEM model, which is a global model of seismic hazard. The map is based on the GEM model, which is a global model of seismic hazard.

Contributing models

1. USGS (USGS)
2. GEM (GEM)
3. GEM (GEM)
4. GEM (GEM)
5. GEM (GEM)
6. GEM (GEM)
7. GEM (GEM)
8. GEM (GEM)
9. GEM (GEM)
10. GEM (GEM)

Model descriptions

1. USGS (USGS)
2. GEM (GEM)
3. GEM (GEM)
4. GEM (GEM)
5. GEM (GEM)
6. GEM (GEM)
7. GEM (GEM)
8. GEM (GEM)
9. GEM (GEM)
10. GEM (GEM)

Model descriptions

1. USGS (USGS)
2. GEM (GEM)
3. GEM (GEM)
4. GEM (GEM)
5. GEM (GEM)
6. GEM (GEM)
7. GEM (GEM)
8. GEM (GEM)
9. GEM (GEM)
10. GEM (GEM)

Model descriptions

1. USGS (USGS)
2. GEM (GEM)
3. GEM (GEM)
4. GEM (GEM)
5. GEM (GEM)
6. GEM (GEM)
7. GEM (GEM)
8. GEM (GEM)
9. GEM (GEM)
10. GEM (GEM)

Global Earthquake Model (GEM) Foundation

The GEM Foundation is a non-profit organization that is dedicated to the development and implementation of the Global Earthquake Model (GEM). The foundation is based in Geneva, Switzerland. The foundation is based in Geneva, Switzerland. The foundation is based in Geneva, Switzerland.

How to use the GEM

The GEM is a global model of seismic hazard. It is based on the GEM model, which is a global model of seismic hazard. The map is based on the GEM model, which is a global model of seismic hazard. The map is based on the GEM model, which is a global model of seismic hazard.

Model descriptions

1. USGS (USGS)
2. GEM (GEM)
3. GEM (GEM)
4. GEM (GEM)
5. GEM (GEM)
6. GEM (GEM)
7. GEM (GEM)
8. GEM (GEM)
9. GEM (GEM)
10. GEM (GEM)

Model descriptions

1. USGS (USGS)
2. GEM (GEM)
3. GEM (GEM)
4. GEM (GEM)
5. GEM (GEM)
6. GEM (GEM)
7. GEM (GEM)
8. GEM (GEM)
9. GEM (GEM)
10. GEM (GEM)

Model descriptions

1. USGS (USGS)
2. GEM (GEM)
3. GEM (GEM)
4. GEM (GEM)
5. GEM (GEM)
6. GEM (GEM)
7. GEM (GEM)
8. GEM (GEM)
9. GEM (GEM)
10. GEM (GEM)

Model descriptions

1. USGS (USGS)
2. GEM (GEM)
3. GEM (GEM)
4. GEM (GEM)
5. GEM (GEM)
6. GEM (GEM)
7. GEM (GEM)
8. GEM (GEM)
9. GEM (GEM)
10. GEM (GEM)

Global Earthquake Model (GEM) Foundation

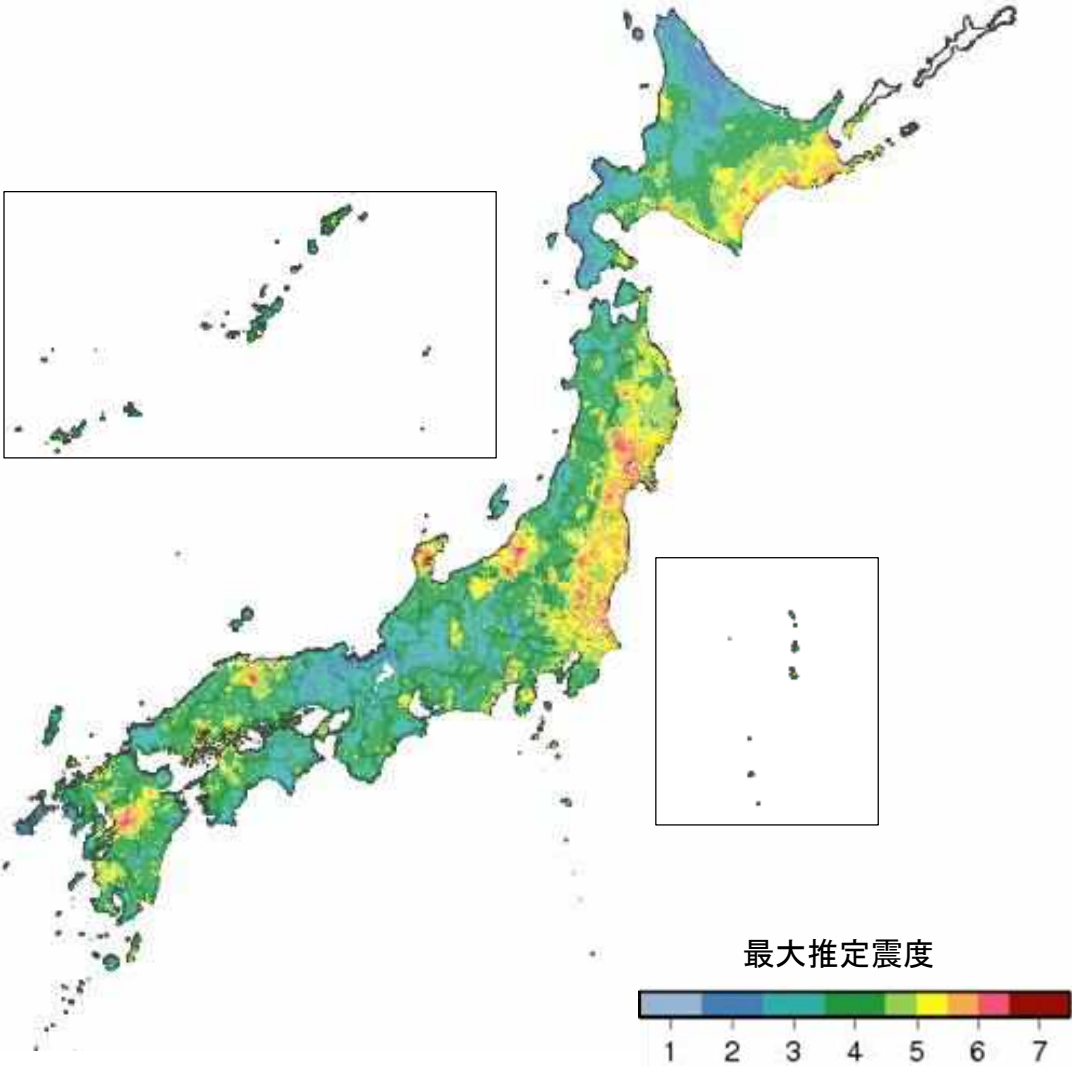
The GEM Foundation is a non-profit organization that is dedicated to the development and implementation of the Global Earthquake Model (GEM). The foundation is based in Geneva, Switzerland. The foundation is based in Geneva, Switzerland. The foundation is based in Geneva, Switzerland.



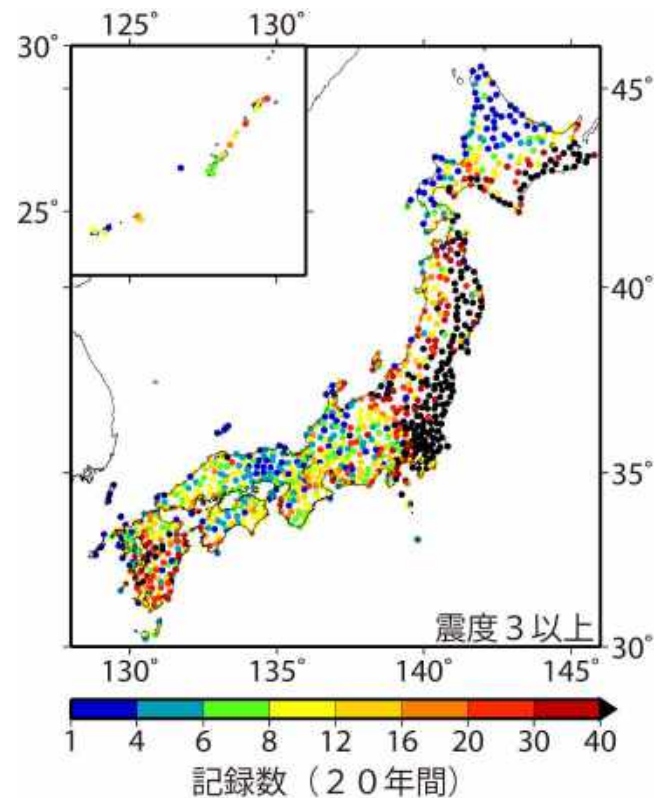
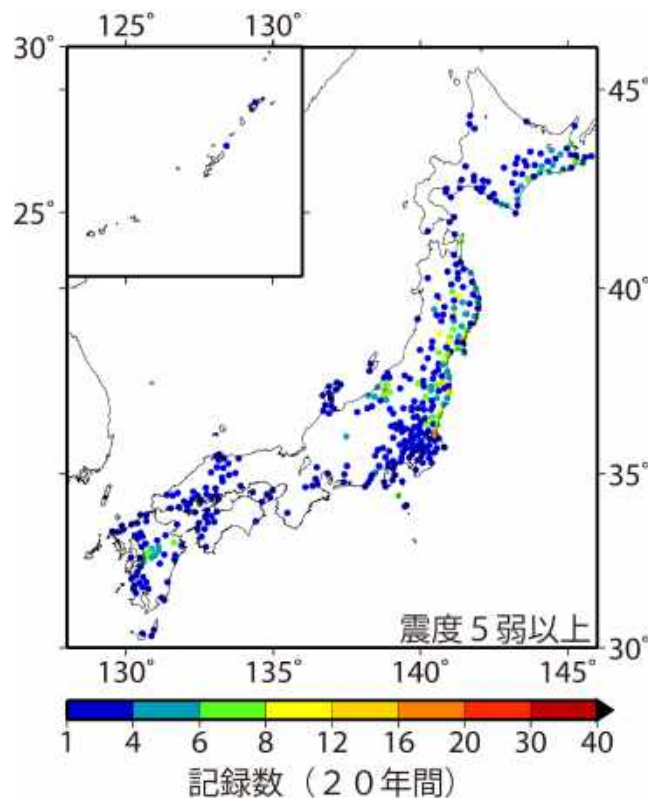
Contact: 2020 Global Earthquake Model Foundation, 1000 University Avenue, Geneva, Switzerland. Website: www.gem-foundation.org



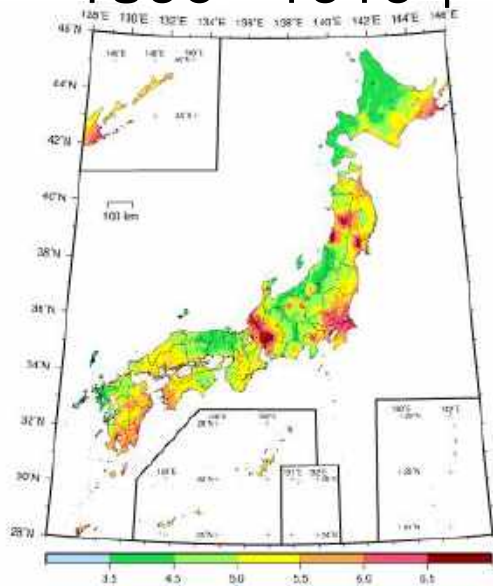
過去20年間に起きた地震による最大震度の分布



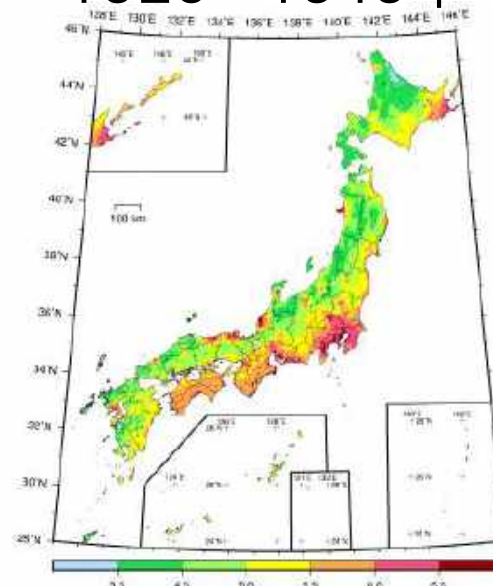
過去20年間で経験した地震の回数 (震度5弱以上、震度3以上)



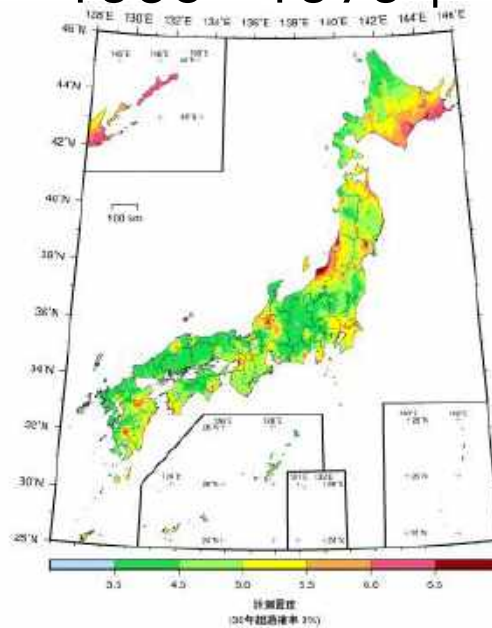
1890~1919年



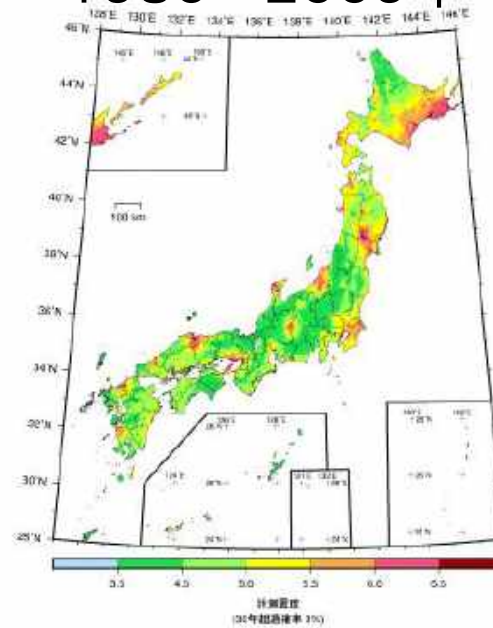
1920~1949年



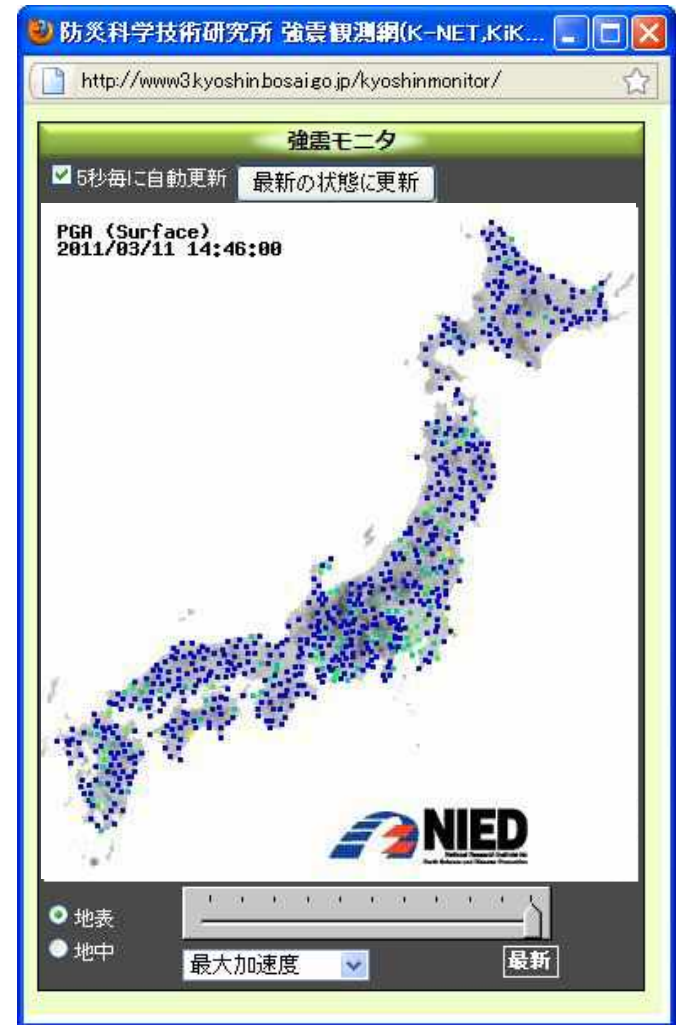
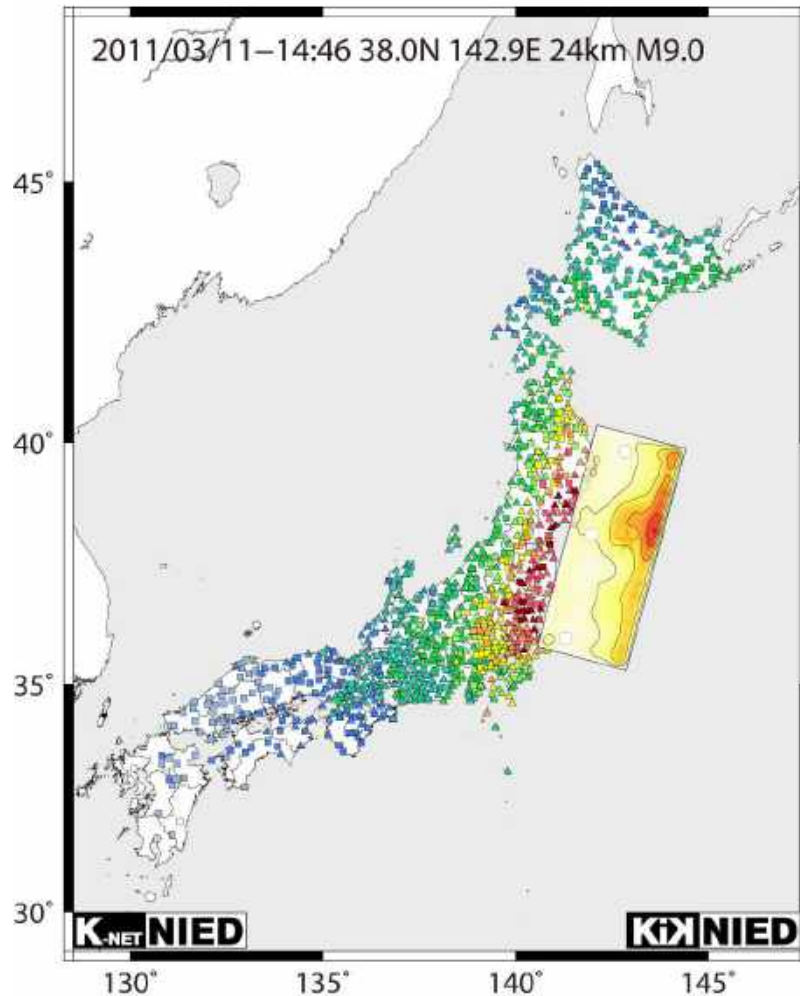
1950~1979年



1980~2009年



2011東北地方太平洋沖地震(M9.0)



5倍速 3/11 M9.0 本震

防災科研の 地震・津波観測網

K-NET 約1000点



Hi-net 約800点

F-net 約70点



KiK-net 約800点

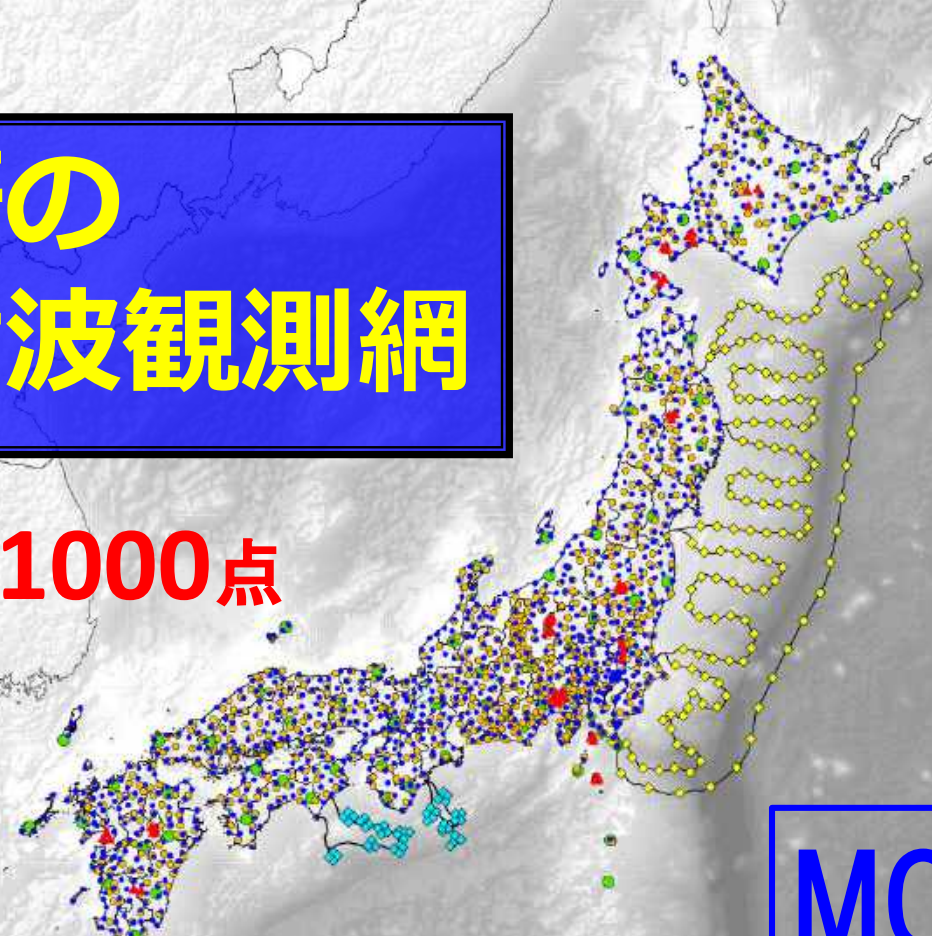


MOWLAS

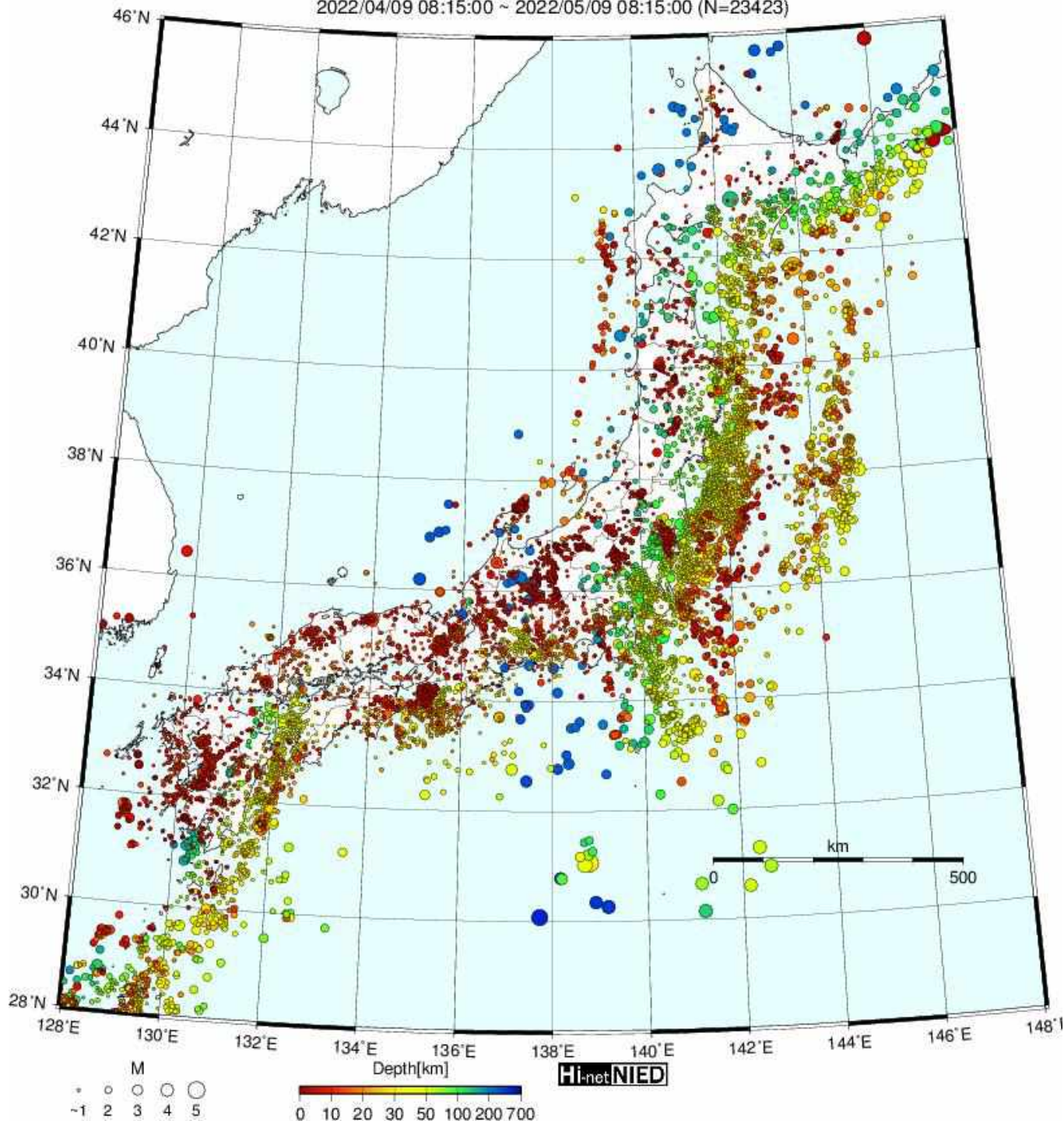
S-net 約150点

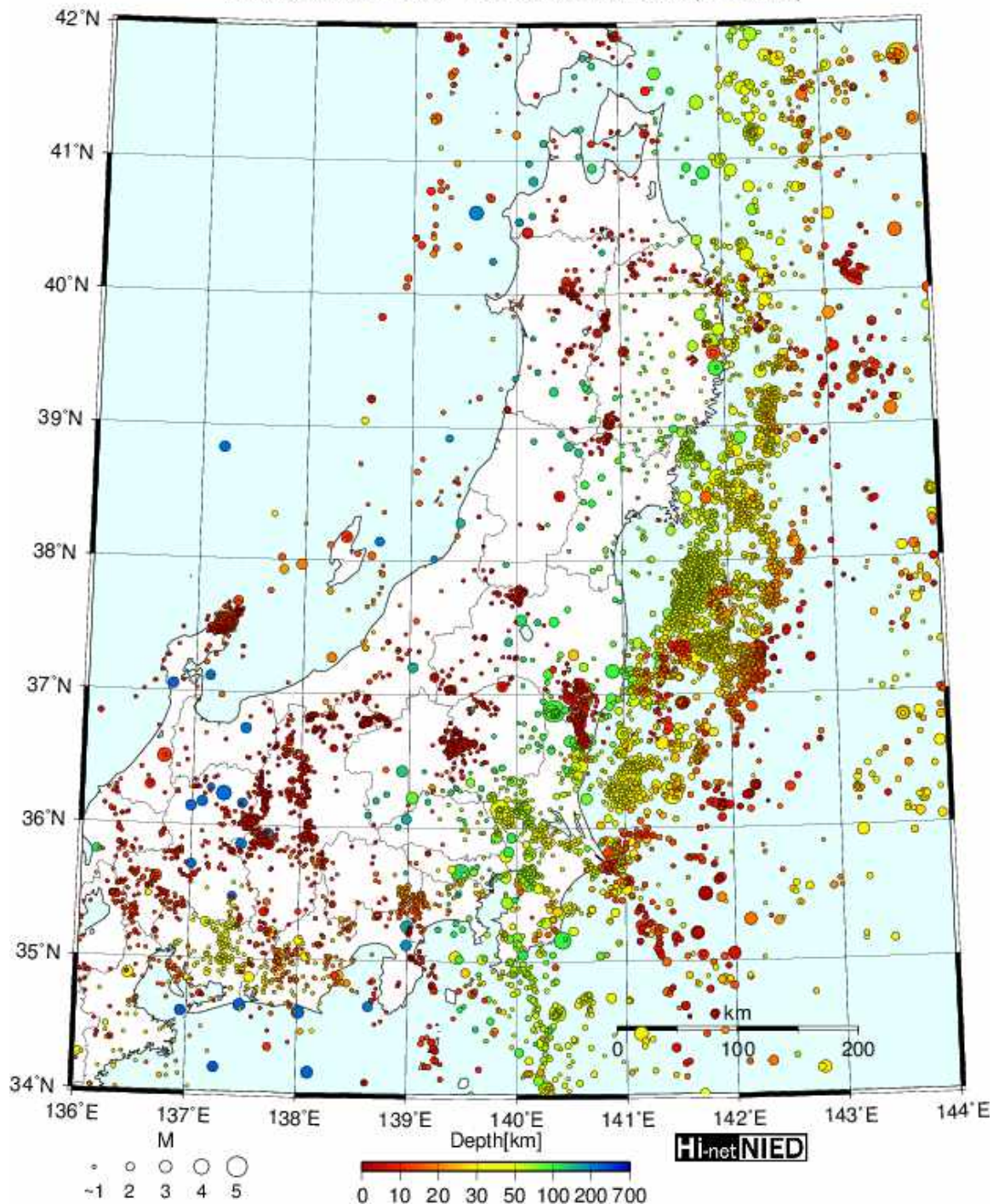


- 防災科学技術研究所
- Hi-net/KiK-net
- K-NET
- F-net
- S-net
- DONET
- ◇ 水圧計 (相模湾)
- ▲ V-net

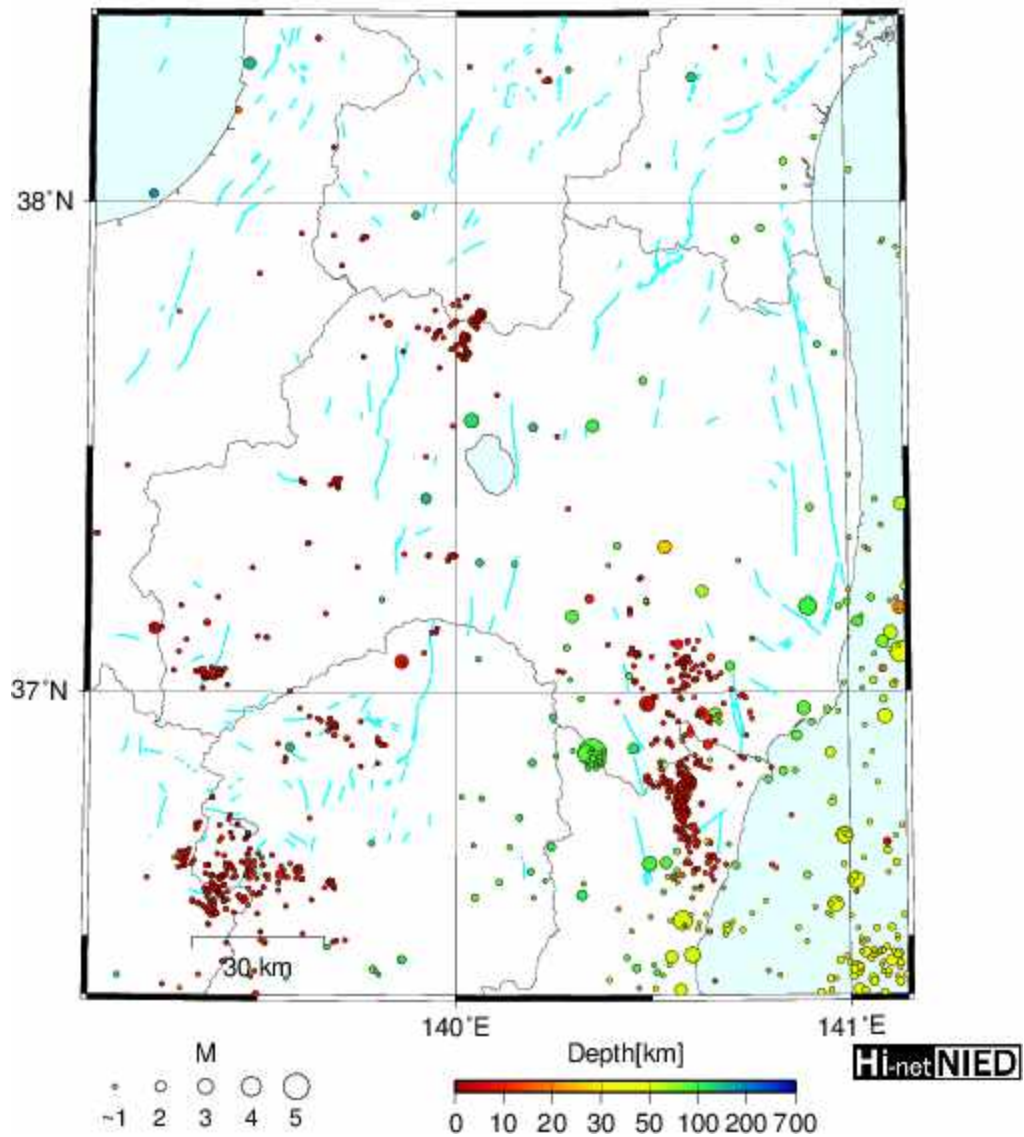


2022/04/09 08:15:00 ~ 2022/05/09 08:15:00 (N=23423)





2022/04/09 08:15:00 ~ 2022/05/09 08:15:00 (N=1129)



東北地方で起こる地震の分類

海溝型の地震

プレート間地震

超巨大地震

プレート間巨大地震

ひとまわり小さいプレート間地震

海溝寄りのプレート間地震(津波地震)

プレート内地震

沈みこんだプレート内の地震

やや浅い地震

やや深い地震

深発地震

海溝軸外側の地震(アウターライズ地震)

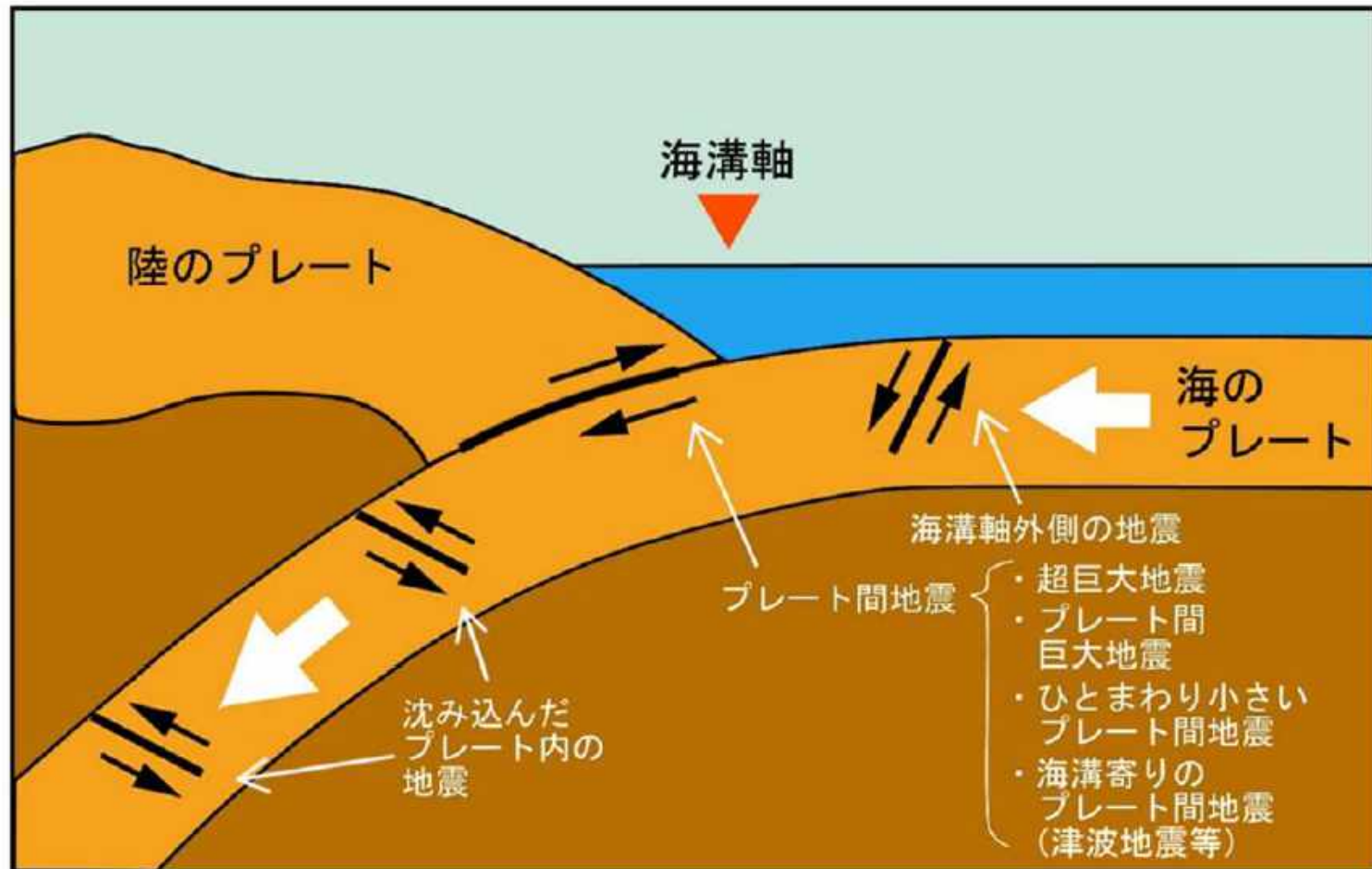
内陸活断層の地震

逆断層型

横ずれ型

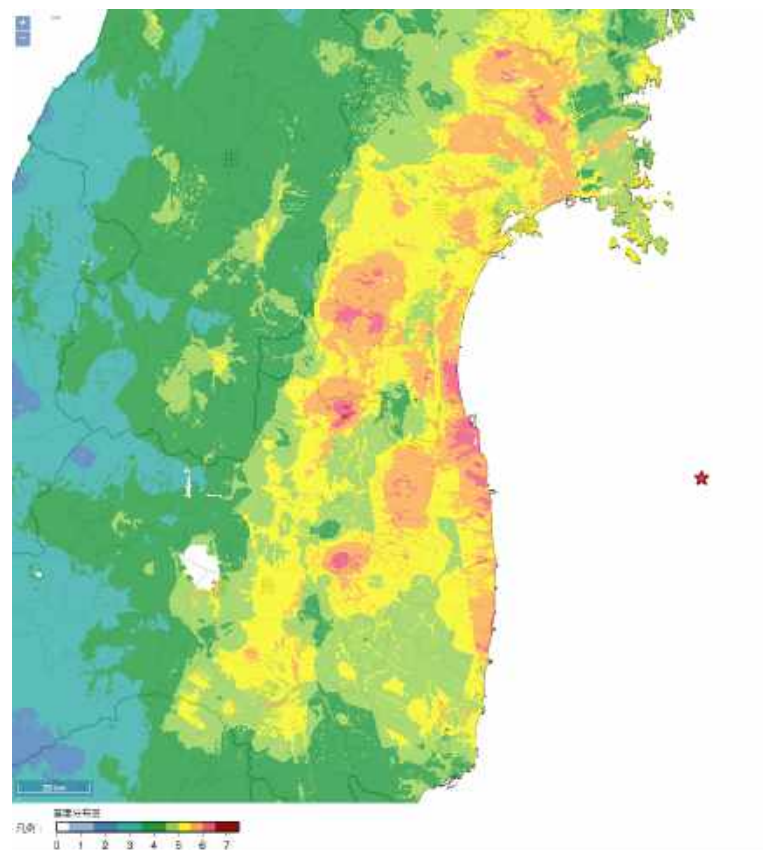
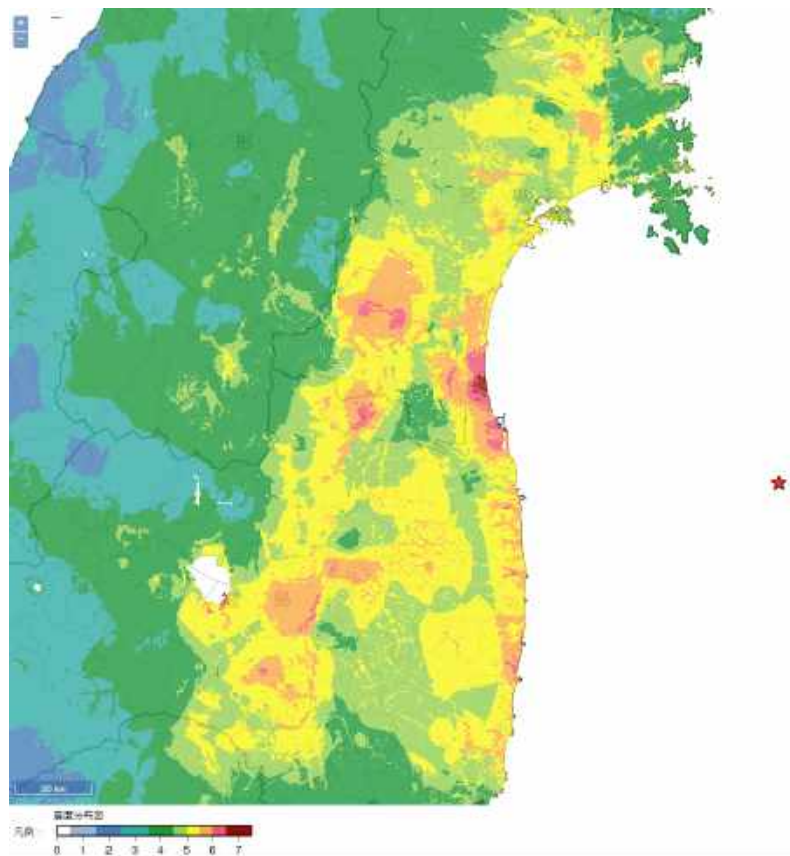
正断層型

東北地方で起こる地震の分類 (海溝型の地震)



2021年2月13日福島県沖の地震
(M7.3 最大震度6強)

2022年3月16日福島県沖の地震
(M7.4 最大震度6強)



沈みこんだプレート内の地震

- 2003年5月26日宮城県沖地震 M7.1
- 2011年4月7日宮城県沖の地震 M7.1

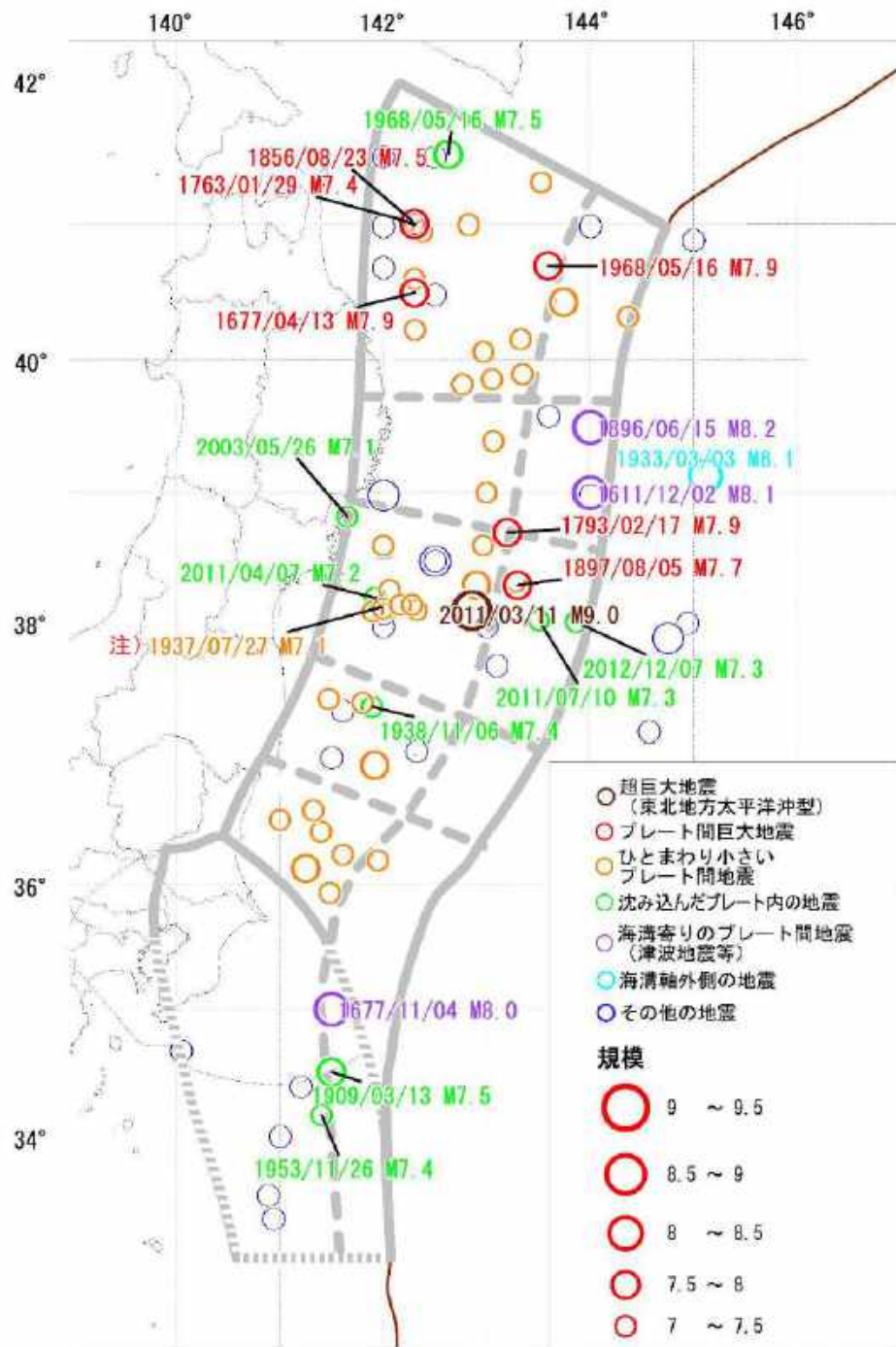
地震活動の長期評価

地震調査研究推進本部 地震調査委員会

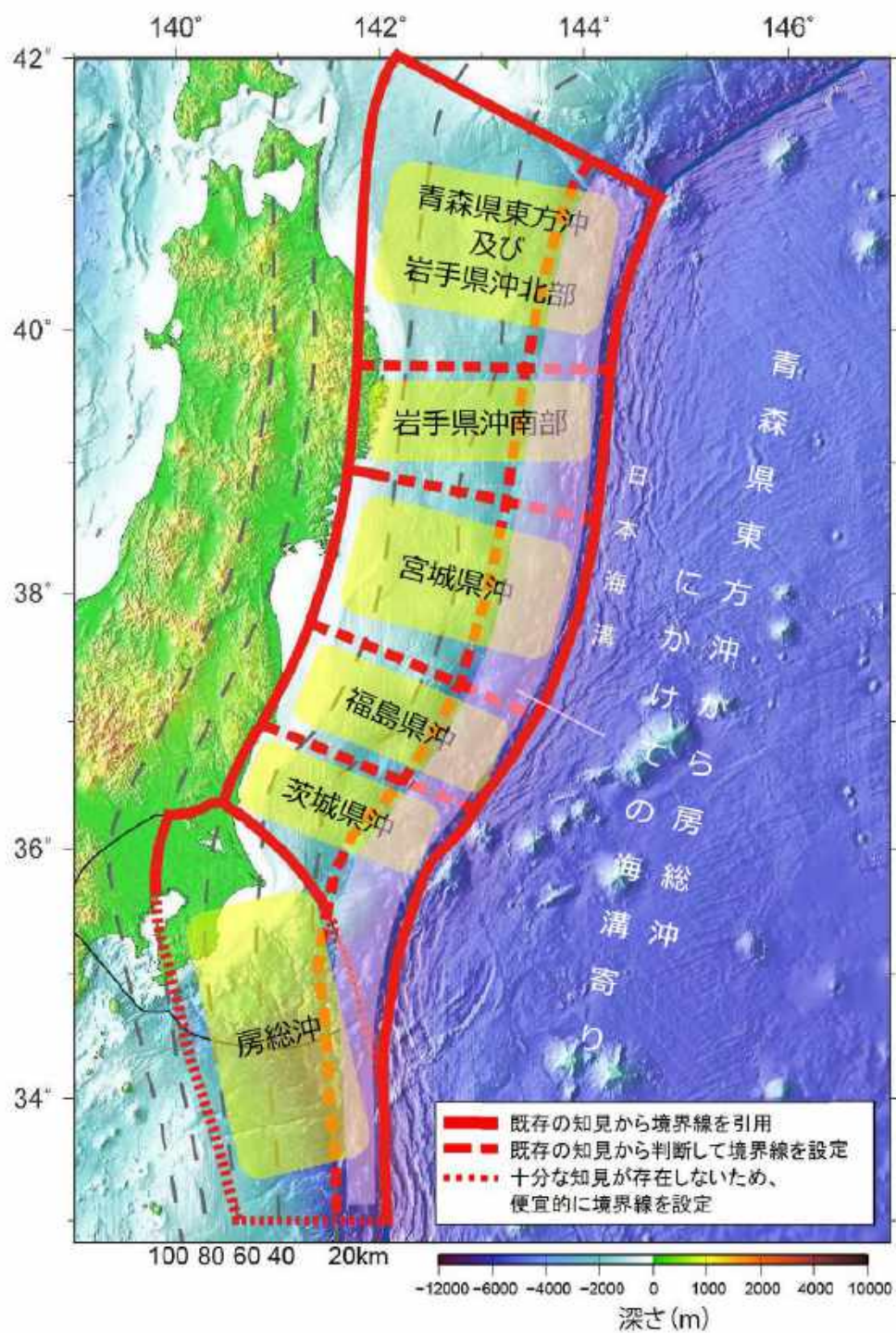
三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価
平成14年7月31日

三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)
平成23年11月25日

日本海溝沿いの地震活動の長期評価
平成31年2月26日



注) 沈み込んだプレート内の地震の可能性もある。



今後30年以内の地震発生確率 (2019年1月1日時点)

将来発生する地震の評価

評価対象地震	発生領域	規模	地震発生確率	評価に使用した地震	地震後経過率 ^{注2}	第二版の評価
超巨大地震 (東北地方太平洋沖型)	岩手県沖南部～ 茨城県沖	M9.0程度	ほぼ0%	過去約3000年間の5回	0.01	ほぼ0%
プレート間 巨大地震	青森県東方沖及び 岩手県沖北部	M7.9程度	5～30%	1677年以降の4回	0.52	5～30%
	宮城県沖	M7.9程度	20%程度 ^{注4}	1793年以降の3回 ^{注1}	—	ほぼ0%
ひとまわり小さい プレート間地震	青森県東方沖及び 岩手県沖北部	M7.0～7.5程度	90%程度以上	1923年以降の10回 ^{注1}	—	90%程度
	岩手県沖南部	M7.0～7.5程度	30%程度	1923年以降の1回 ^{注1}	—	確率未計算
	宮城県沖	M7.0～7.5程度	90%程度 ^{注4}	1923年以降の6～7回 ^{注1}	—	本評価で 領域を統合
	宮城県沖の陸寄り (宮城県沖地震)	M7.4前後	50%程度	1897年以降の4回	0.21	不明
	福島県沖	M7.0～7.5程度	50%程度	1923年以降の2回 ^{注1}	—	10%程度
	茨城県沖	M7.0～7.5程度	80%程度 ^{注4}	1923年以降の5回 ^{注1}	—	90%程度 以上
海溝寄りのプレート間 地震(津波地震等)	青森県東方沖から房総 沖にかけての海溝寄り	Mt8.6～9.0 ^{注3}	30%程度 ^{注4}	1600年以降の4回 ^{注1}	—	30%程度
沈み込んだプレート内 の地震	青森県東方沖及び岩手 県沖北部～茨城県沖	M7.0～7.5程度	60～70% ^{注4}	1923年以降の3～4回 ^{注1}	—	確率未計算
海溝軸外側の地震	日本海溝の海溝軸外側	M8.2前後	7% ^{注4}	1600年以降の1回 ^{注1}	—	4～7%

^{注1} 東北地方太平洋沖地震より後の期間は除いた

^{注2} 地震後経過率＝最新発生時期からの経過時間÷平均発生間隔
—は時間が経過しても地震の起こりやすさが変わらないと仮定した地震

^{注3} Mtは津波マグニチュード

^{注4} 本評価で評価対象領域・地震を再編したため、場所と規模の範囲が異なり、厳密には第二版と対応しない

Ⅲランク(高い)	:26%以上
Ⅱランク(やや高い)	:3～26%未満
Iランク	:3%未満
Xランク	:不明

地震調査研究推進本部

平成7年1月17日 **兵庫県南部地震**(阪神・淡路大震災)が発生。

平成7年7月 全国にわたる総合的な地震防災対策を推進するため、**地震防災対策特別措置法**が議員立法によって制定。

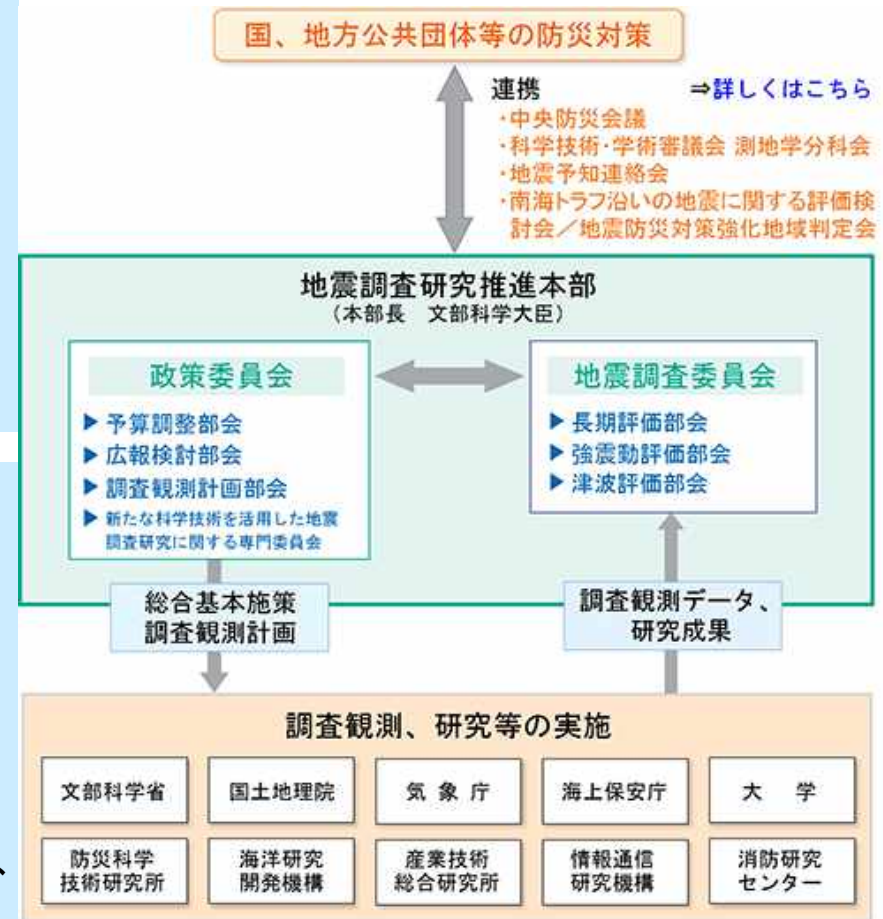
地震調査研究推進本部は、地震に関する調査研究の成果が国民や防災を担当する機関に十分に伝達され活用される体制になっていなかったという課題意識の下に、行政施策に直結すべき地震に関する調査研究の責任体制を明らかにし、これを政府として一元的に推進するため、同法に基づき、当時の総理府に設置(現・文部科学省に設置)された政府の特別の機関。

(基本的な目標)

地震防災対策の強化、特に地震による被害の軽減に資する地震調査研究の推進

(役割)

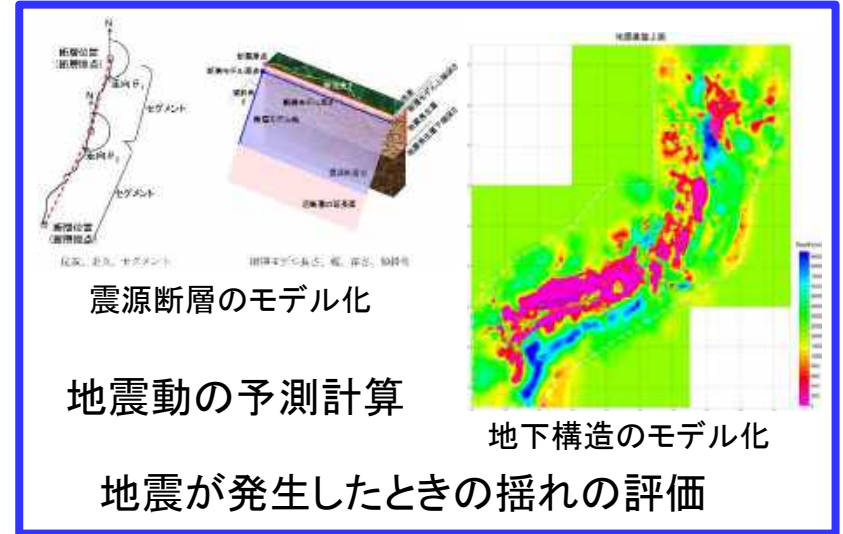
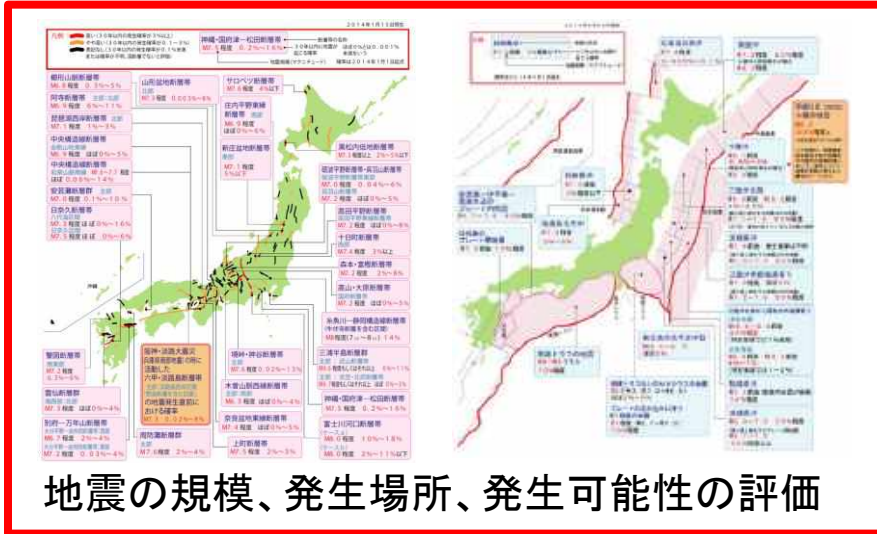
1. 総合的かつ基本的な施策の立案
2. 関係行政機関の予算等の事務の調整
3. 総合的な調査観測計画の策定
4. 関係行政機関、大学等の調査結果等の収集、整理、分析 及び総合的な評価
5. 上記の評価に基づく広報



全国地震動予測地図

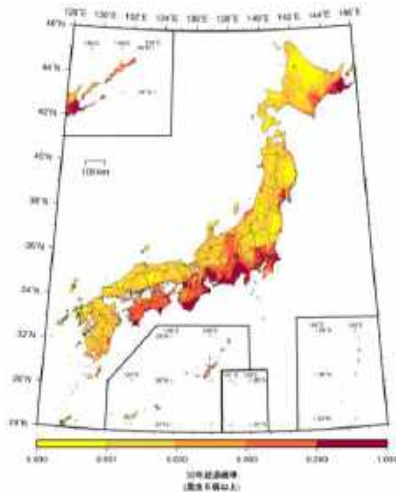
地震発生の長期評価

地震動の評価

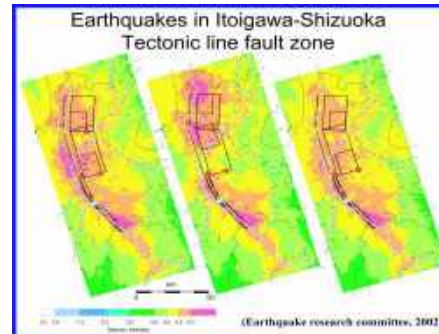


確率論的地震動予測地図

震源断層を特定した地震動予測地図



- ・地震工学・地震学分野で確率論的地震ハザード解析と呼ばれる手法を採用。
- ・発生する可能性のある地震全部についてのハザードの確率論的な足し合わせ。
- ・同時発生する地震動の地域分布ではない。



特定の震源断層を想定し、それが活動した場合に、震源断層周辺域で生じる地盤の揺れの分布を示す地図

震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)

確率論的 地震ハザード解析 (PSHA)

地震活動の長期評価

2019年2月26日公表

凡例：
 Sランク(高い)：30年以内の地震発生確率が3%以上
 Aランク(やや高い)：30年以内の地震発生確率が0.1～3%未満
 Zランク：30年以内の地震発生確率が0.1%未満
 Xランク：地震発生確率が不明(過去の地震のデータが少ないため、確率の評価が困難)

(注)地震発生確率が0.7以上である断層帯については、ランクに*を付記する。
 *Sランク、*Aランク、*Xランクのいずれも、すくなく地震が起こることが否定できない。

ランクの算定基準日は2019年1月1日



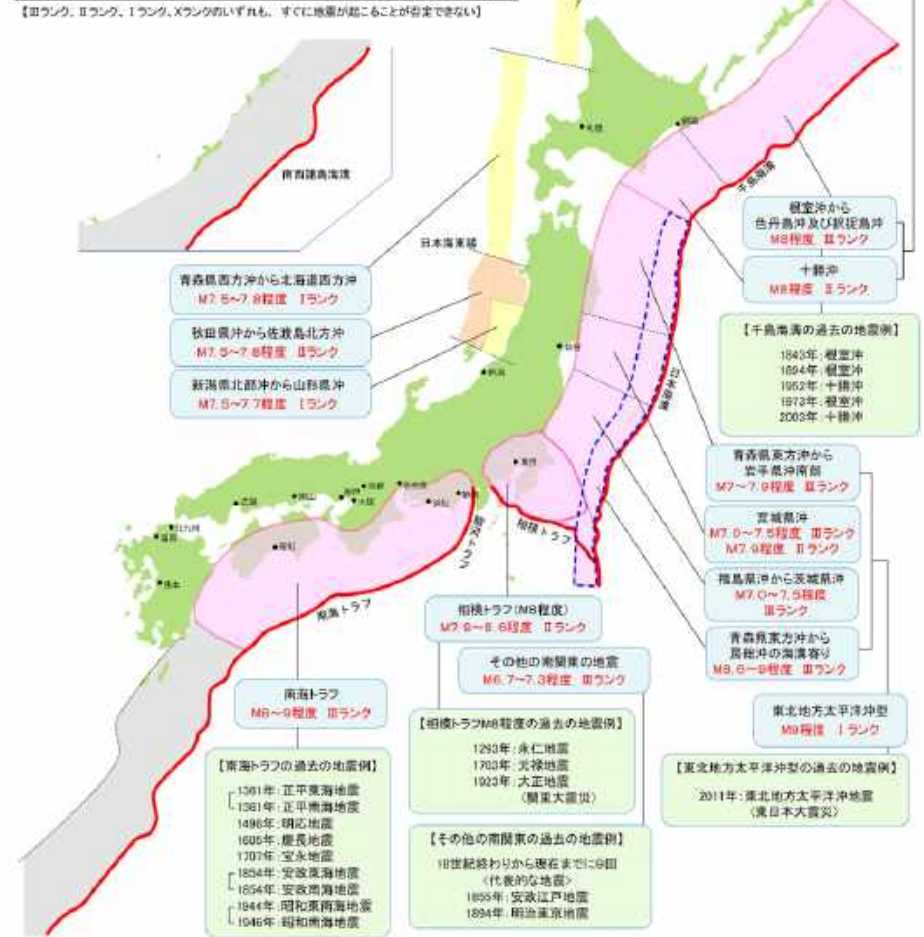
○ ランク分けに関わらず、日本ではどの場所においても、地震による強い揺れに見舞われるおそれがあります。

2019年2月26日公表

凡例：
 Sランク(高い)：30年以内の地震発生確率が3%以上
 Aランク(やや高い)：30年以内の地震発生確率が1～2%未満
 Iランク：30年以内の地震発生確率が0.1%未満
 Xランク：地震発生確率が不明(過去の地震のデータが少ないため、確率の評価が困難)

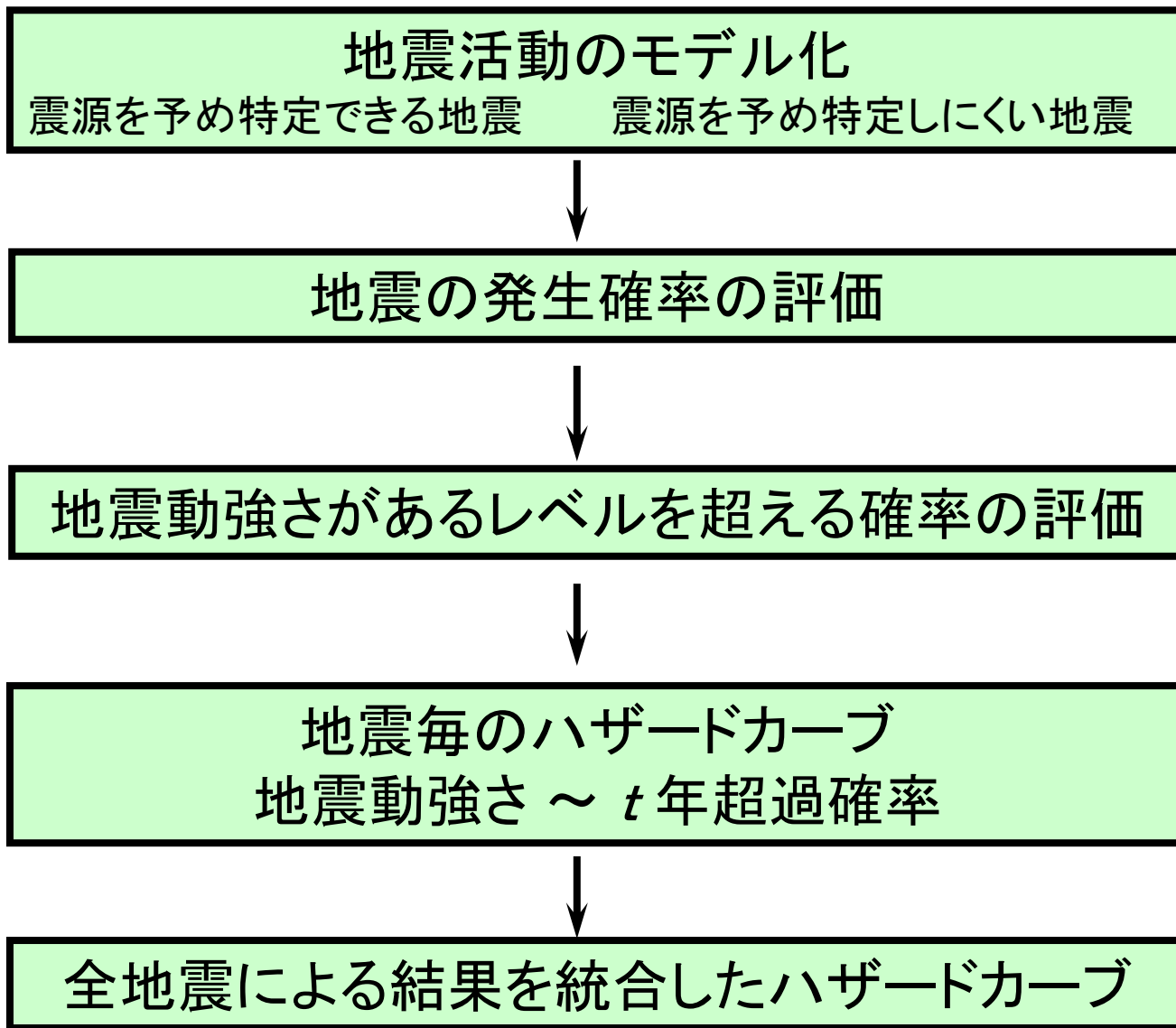
ランクの算定基準日は2019年1月1日

【Sランク、Iランク、Iランク、Xランクのいずれも、すくなく地震が起こることが否定できない】



○ ランク分けに関わらず、日本ではどの場所においても、地震による強い揺れに見舞われるおそれがあります。

地震ハザード評価のフロー (確率論的地震ハザード解析 PSHA)



確率論的地震ハザード評価のための地震活動モデル

地震の種類	地震規模	時系列	その他
<p>震源断層を特定した地震</p> <ul style="list-style-type: none"> 主要活断層帯の固有規模の地震 海溝型の大地震（千島・日本海溝、南海トラフ、関東、日本海東縁、他） 主要活断層帯以外の活断層で発生する地震 	<ul style="list-style-type: none"> 固有規模 固有規模または幅を考慮 固有規模 	<ul style="list-style-type: none"> 可能なものはBPT ポアソン過程 	<p>原則として地震調査委員会による長期評価に基づく</p>
<p>震源断層を予め特定しにくい地震</p> <ul style="list-style-type: none"> 太平洋プレート、フィリピン海プレートと陸域のプレートの境界で発生する地震 太平洋プレート、フィリピン海プレートの内部で発生する地震 陸域の地殻内で発生する地震 その他、特定の領域の地震（日本海東縁、南西諸島付近、伊豆小笠原諸島、など） 	<p>G-R式</p>	<p>ポアソン過程</p>	<p>地域区分する方法としない方法を併用</p>

長期評価されている地震は、**起こりうる地震の一部**に過ぎない。

よくわからない地震をどのように定量的に取り扱うかがハザード評価における課題！

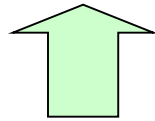
確率論的地震ハザード評価

地震動の超過確率 $P(Y)$

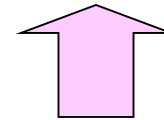
定義(超過確率)

ある地震を想定した場合、着目地点において、その地震によりある期間内に地震動の強さがあるレベルを超える確率を超過確率という。

$$P(Y) = P_E(T) \cdot P(Y | E)$$



地震の発生確率

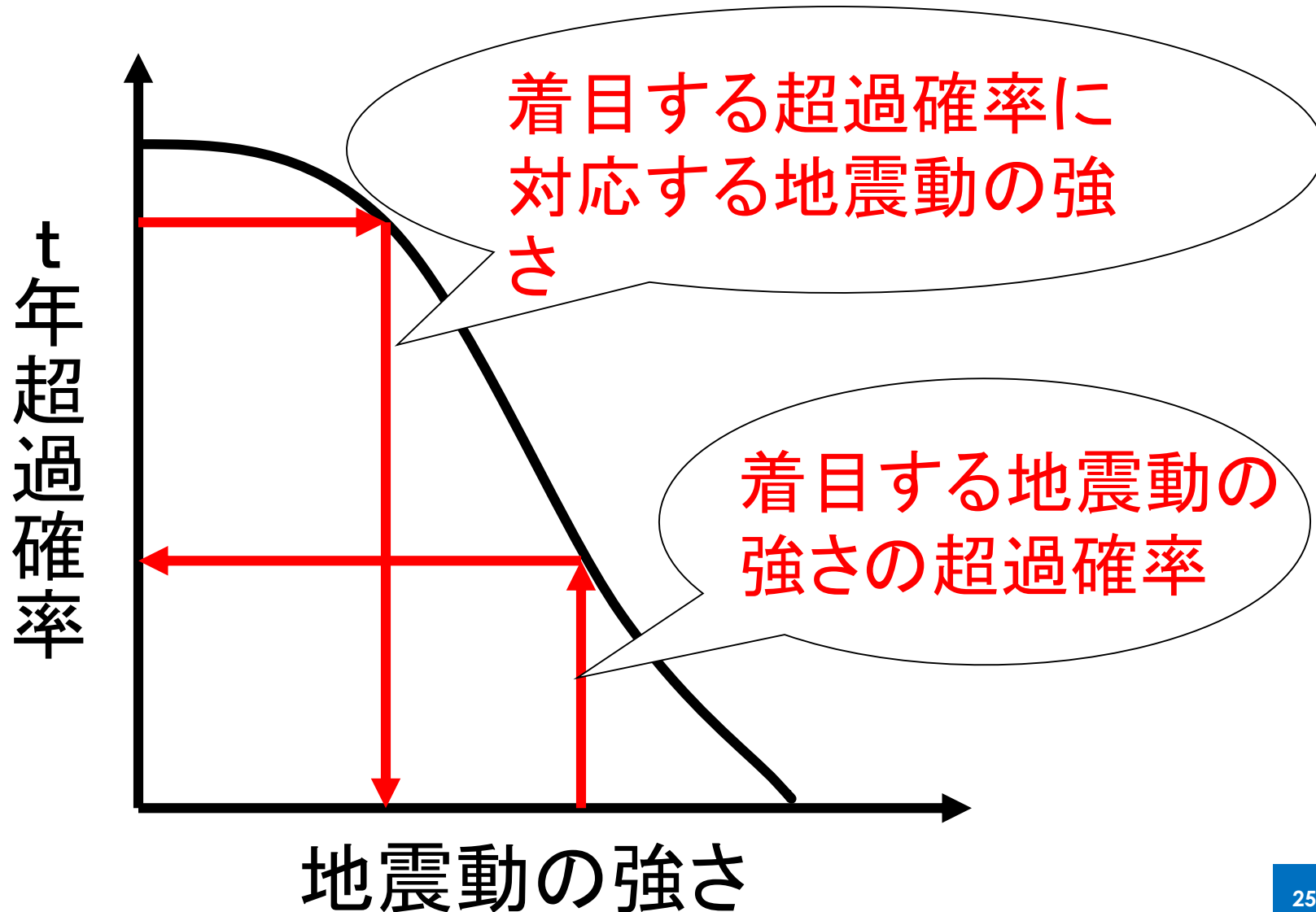


地震動があるレベル
を超える確率

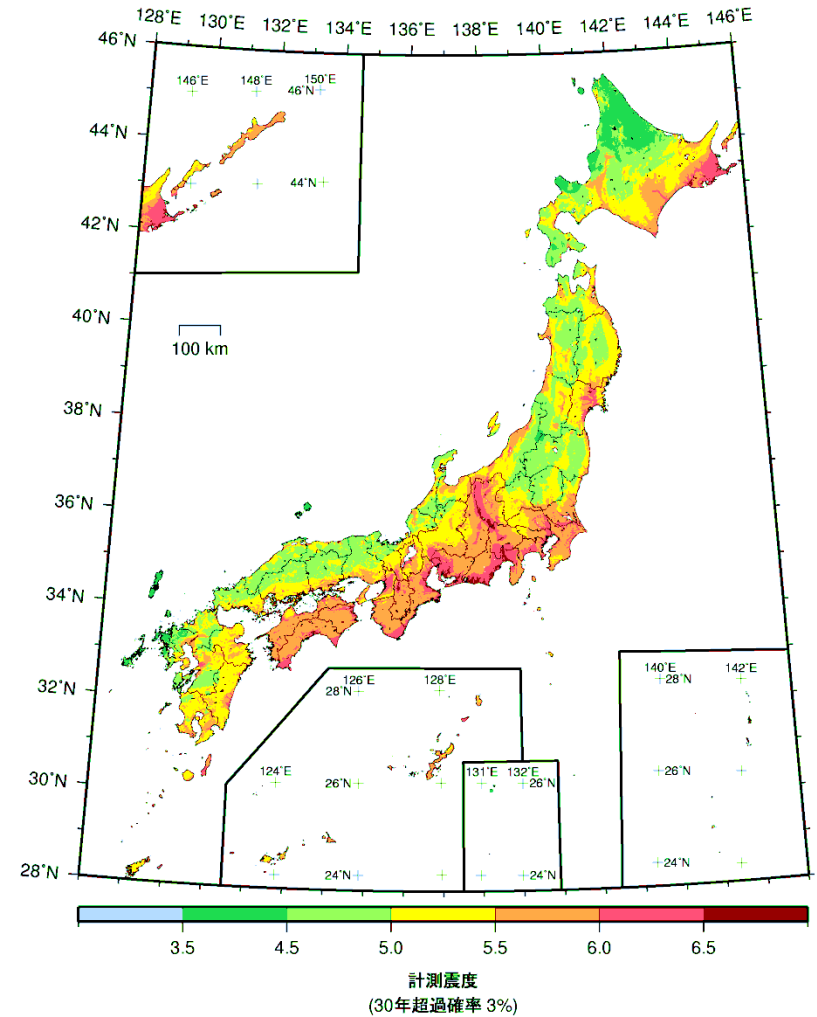
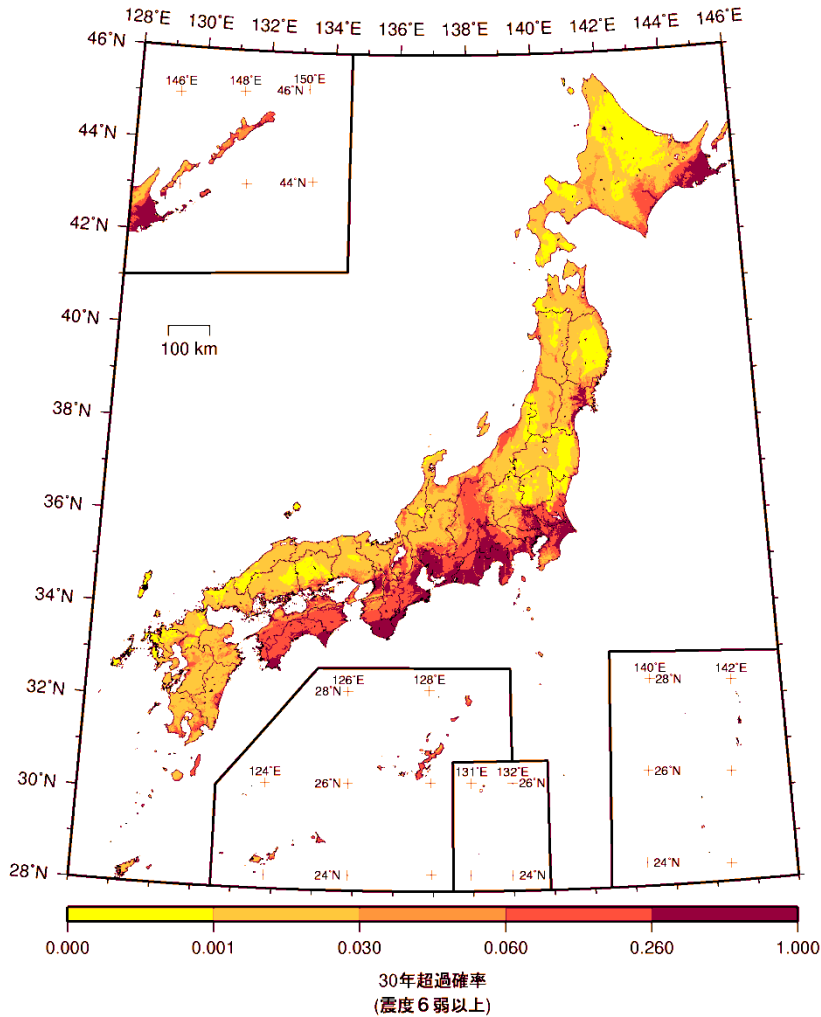
「地震の発生確率」と「地震動の超過確率」を
区別することが必要！

ハザードカーブの概念図

ハザードカーブ: 地震動強さと超過確率の関係式



確率論的地震動予測地図の例



今後30年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率

今後30年間の超過確率が3%となる震度

地震ハザードステーションJ-SHISによる情報公開



地震ハザードの共通情報基盤

<http://www.j-shis.bosai.go.jp>

地震ハザードカルテ

<http://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/karte/>にアクセス、または「地震ハザードカルテ」で検索



地震ハザードカルテ

地震ハザードカルテとは、各地点の地震ハザード情報をまとめたものです。このページでは、任意の場所を検索してカルテを作成することができます。

[地震ハザードカルテの見方](#)

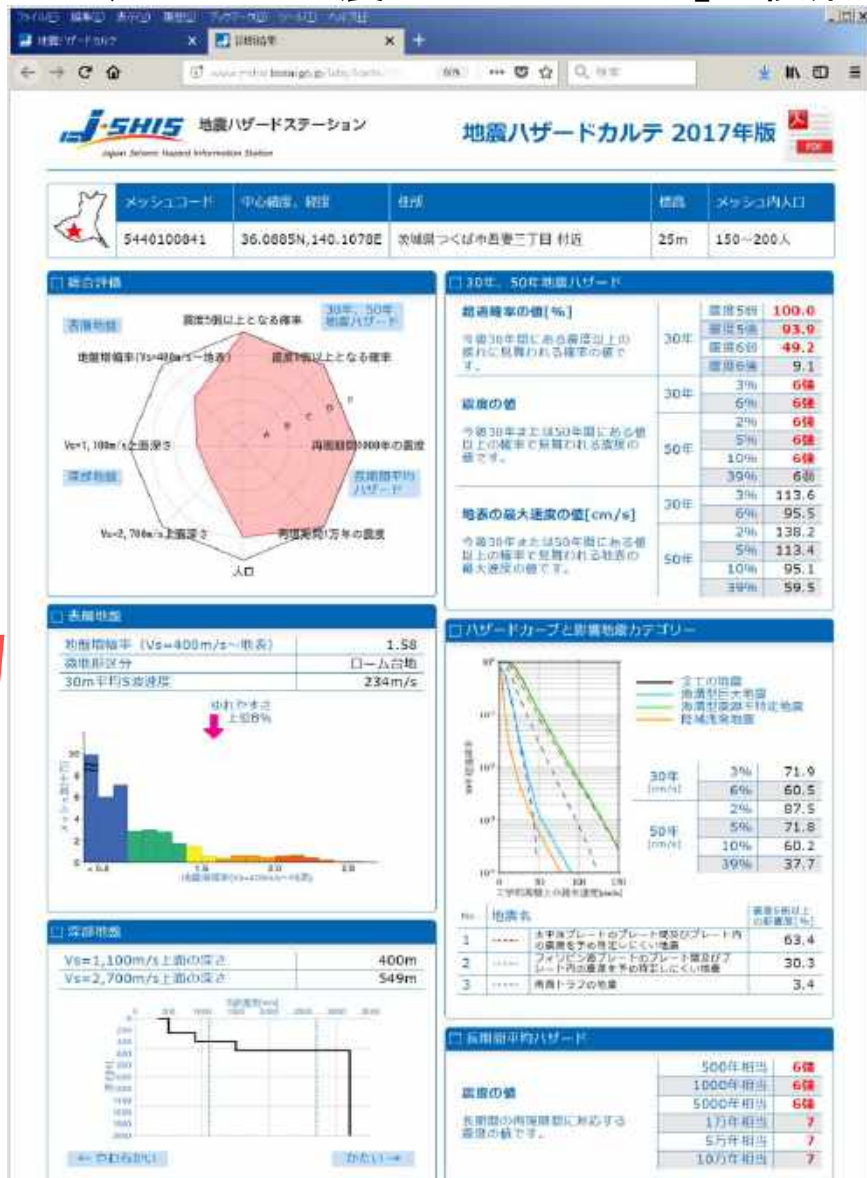


①住所や郵便番号で場所を検索

地名: 例:東京都庁



②「診断する」をクリック！



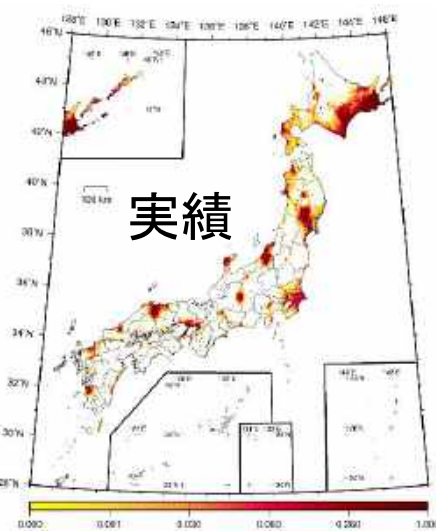
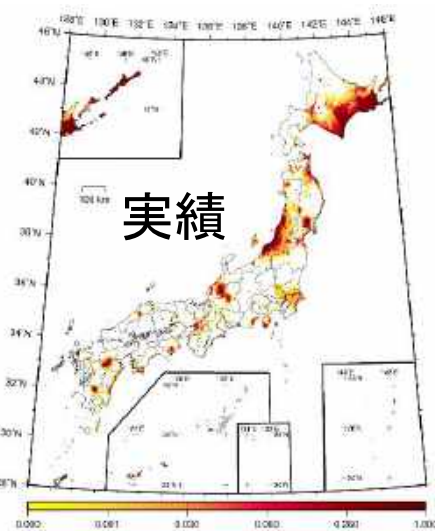
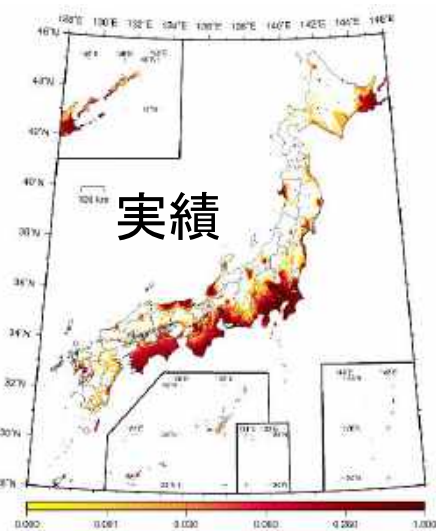
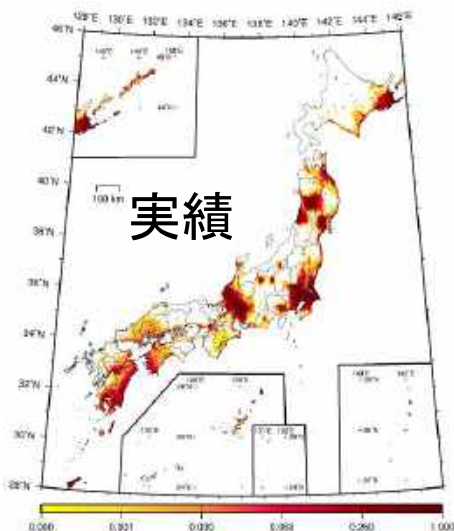
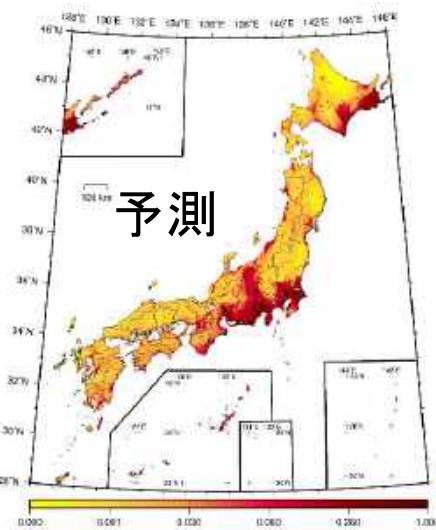
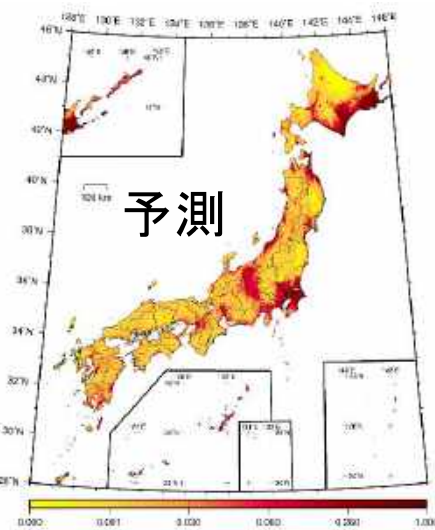
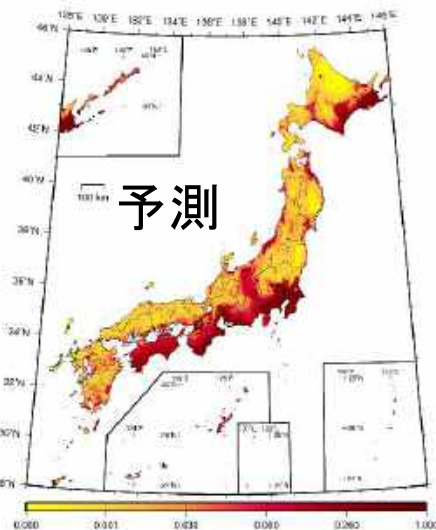
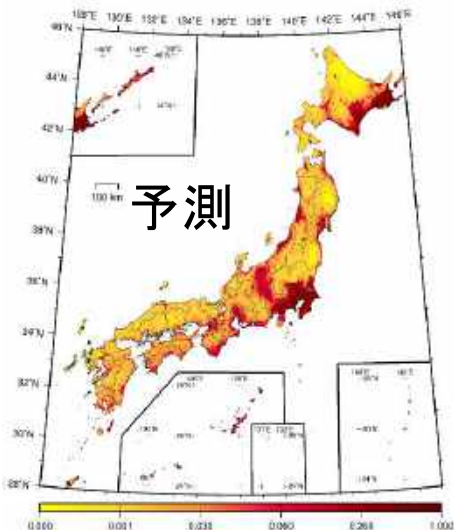
確率論的地震動予測地図と実際に発生した地震による揺れの比較 超過確率の分布(30年、震度6弱以上)

1890~

1920~

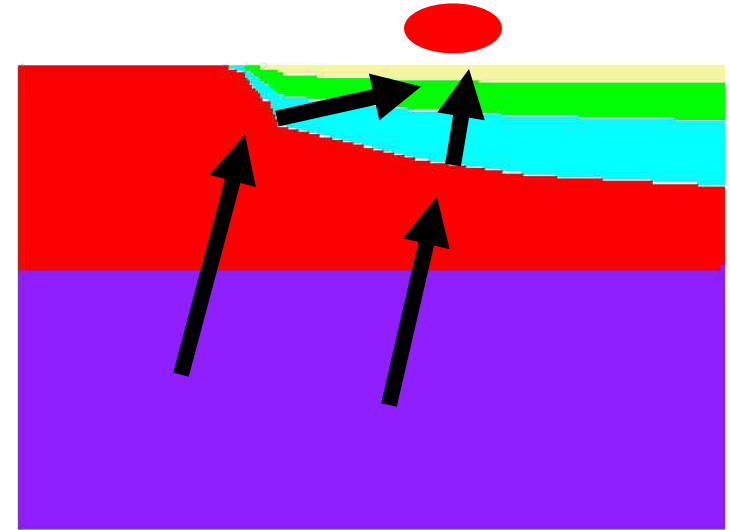
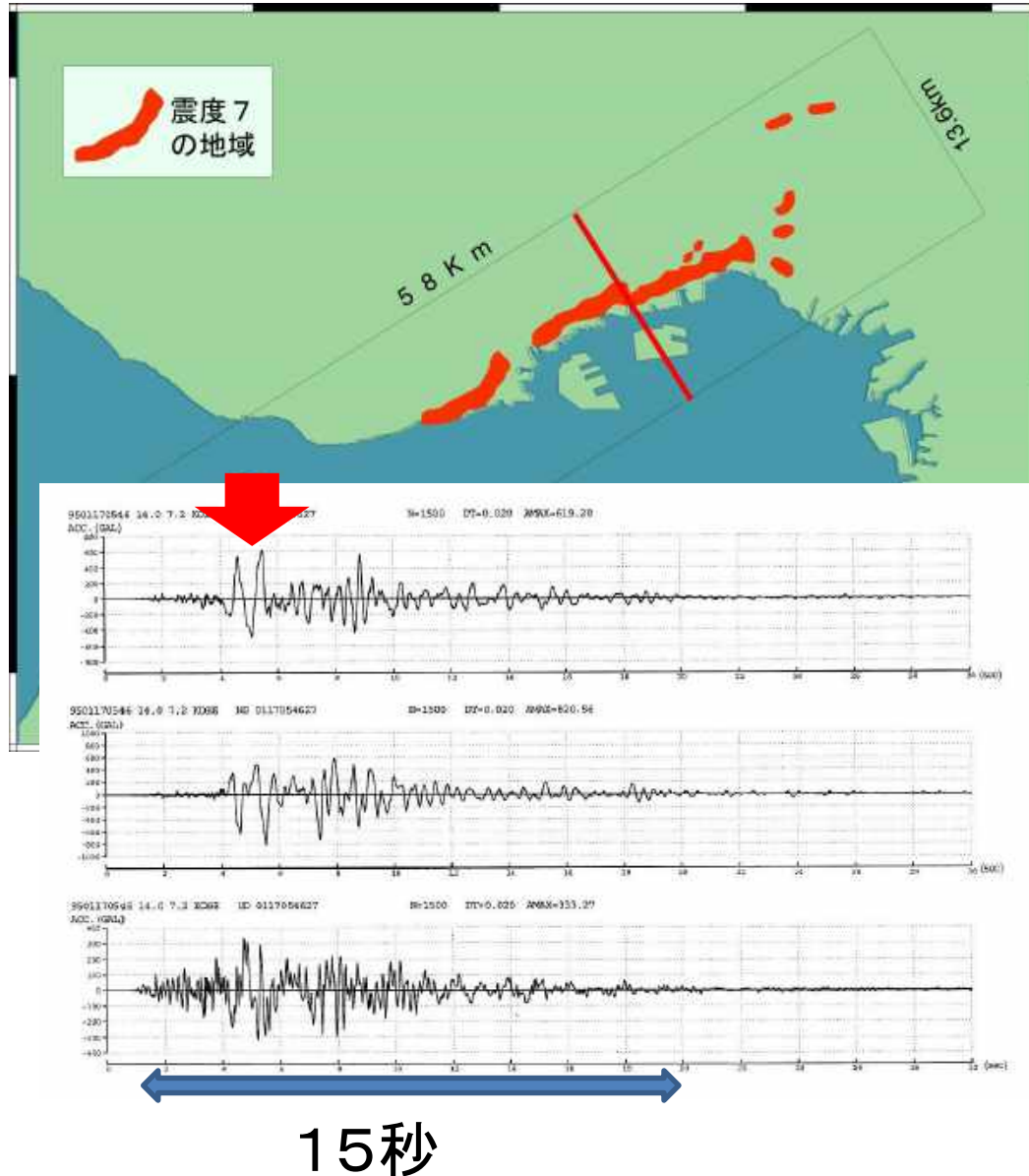
1950~

1980~



震源断層を特定した 地震に対する 強震動予測

1995年兵庫県南部地震 神戸地域での「震災の帯」 活断層の地震による揺れ、地下構造の影響



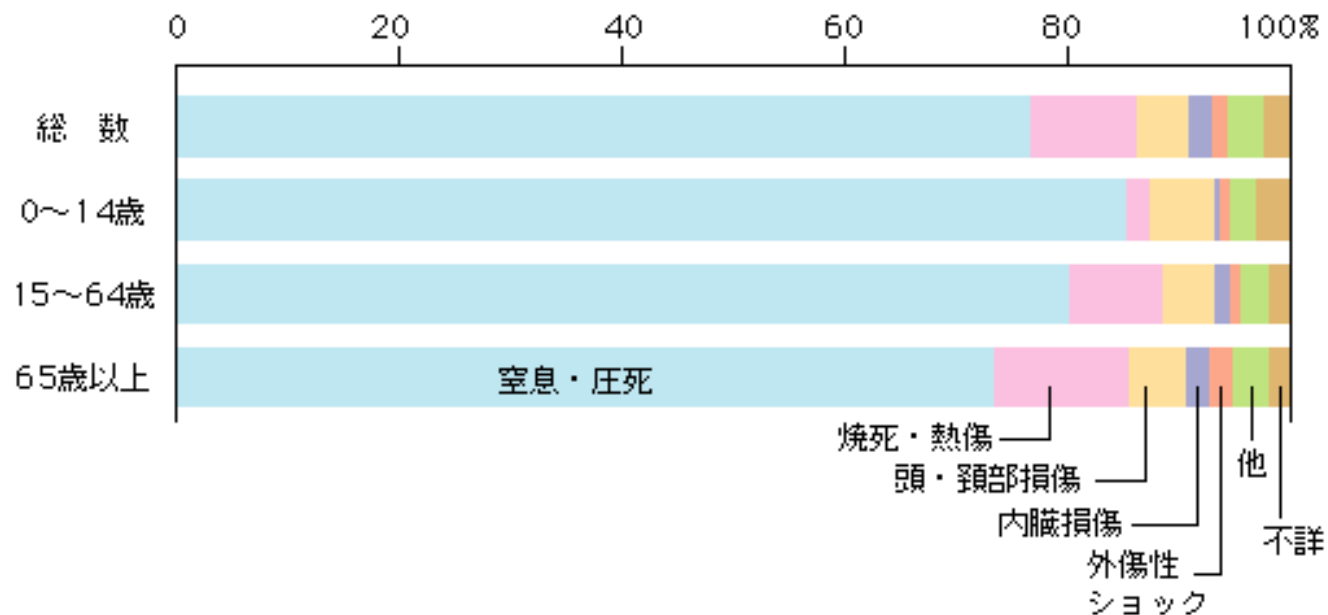
下から直接くる地震波
構造に由来する変換波



「震災の帯」

パルス状の短く強い揺れ
「キラールス」

兵庫県南部地震の死者の死因



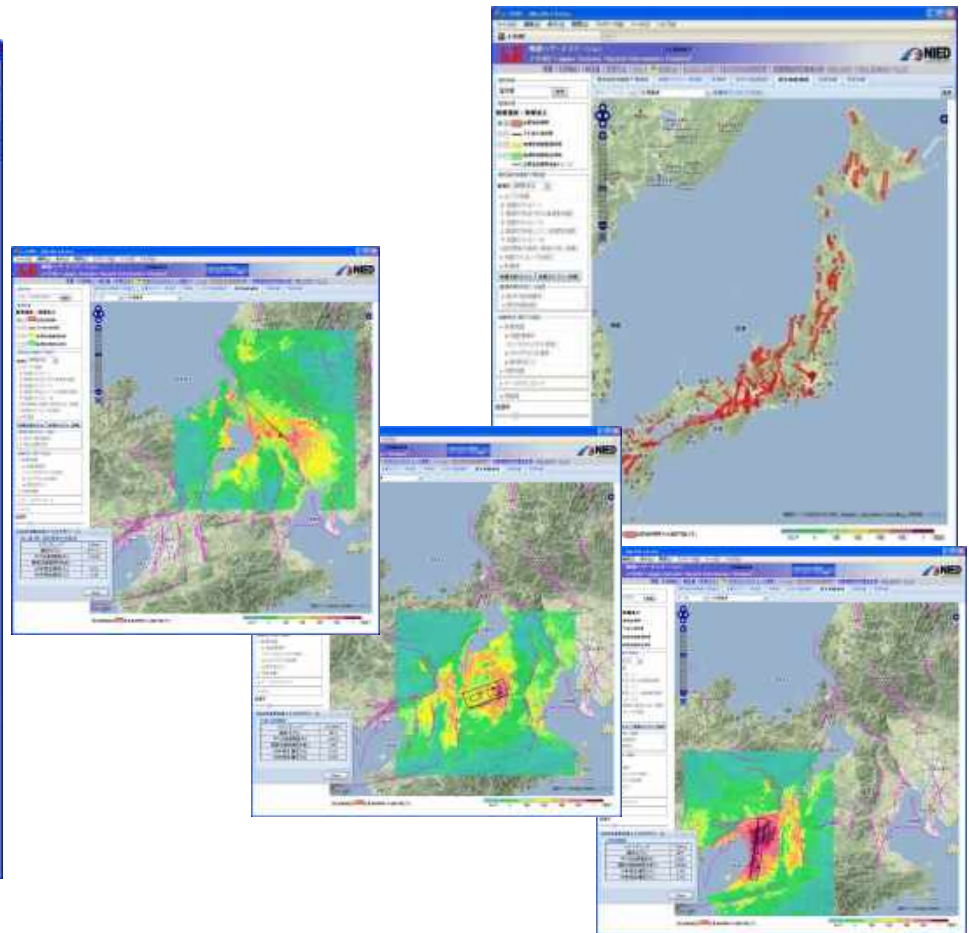
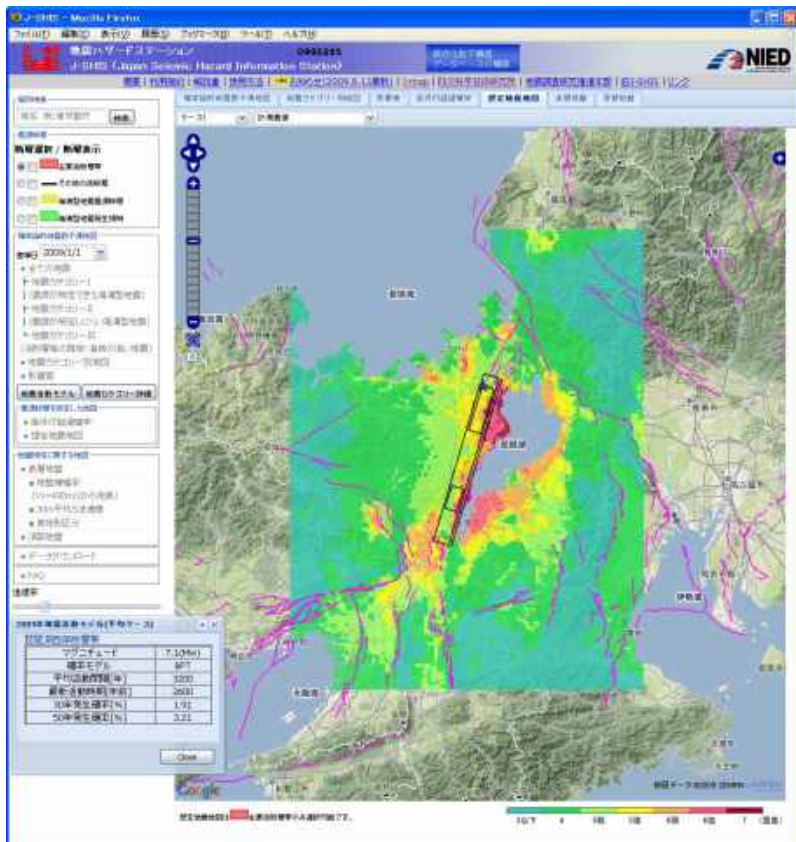
(兵庫県医師会による)

神戸市内の犠牲者の約92%が地震後の15分以内に死亡

(監察医のまとめ)

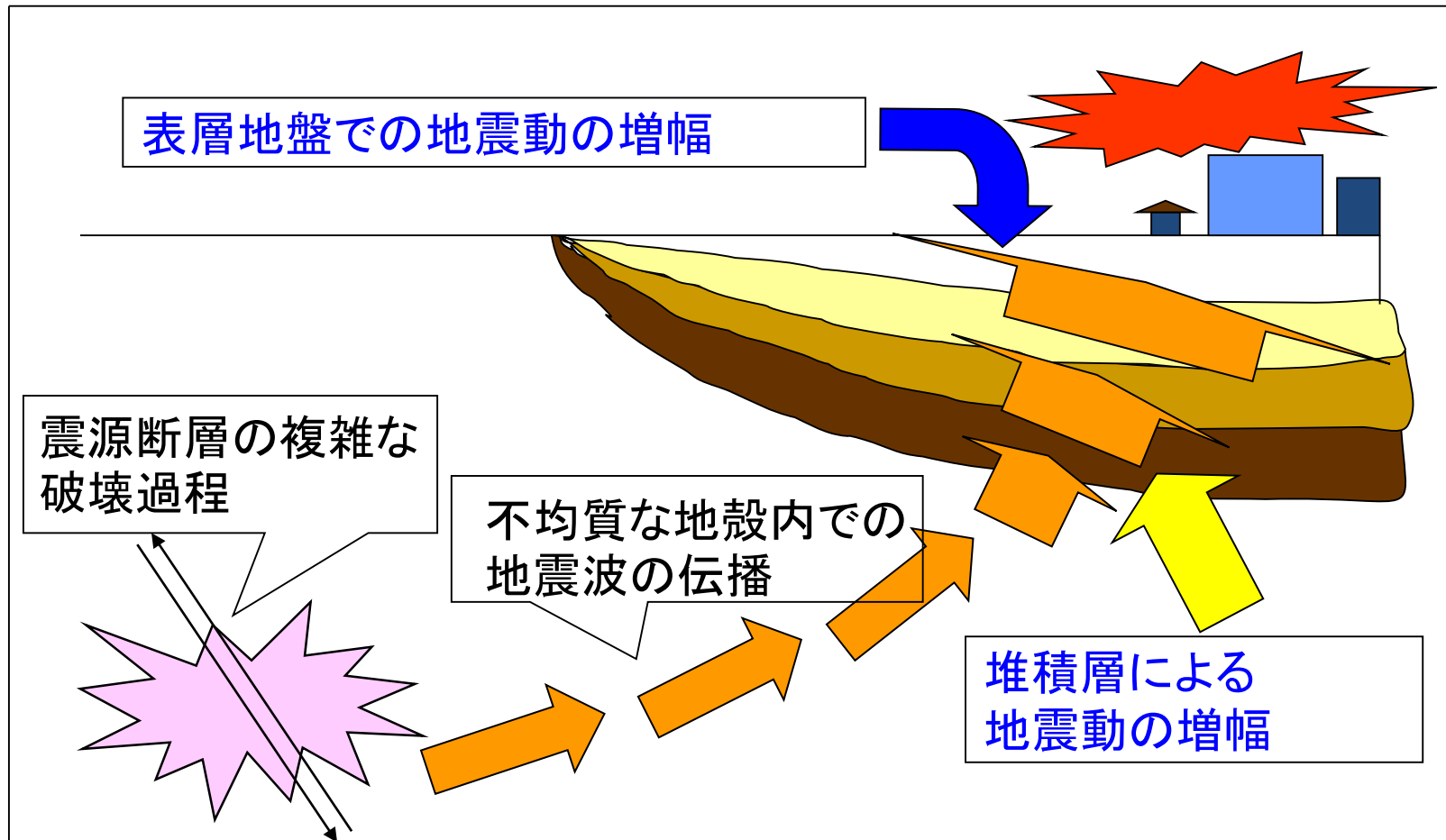
震源断層を特定した地震動予測地図

全国地震動予測地図では、全ての主要活断層帯の地震について、強震動予測計算(約500ケース)を実施し、「震源断層を特定した地震動予測地図」を作成している。

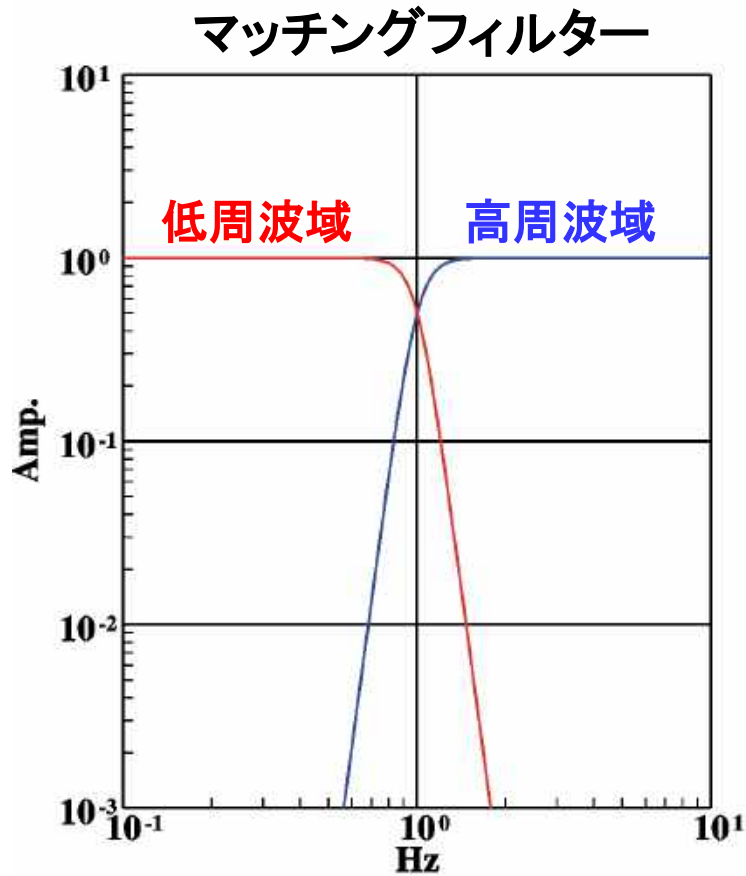


強震動予測手法(詳細法)

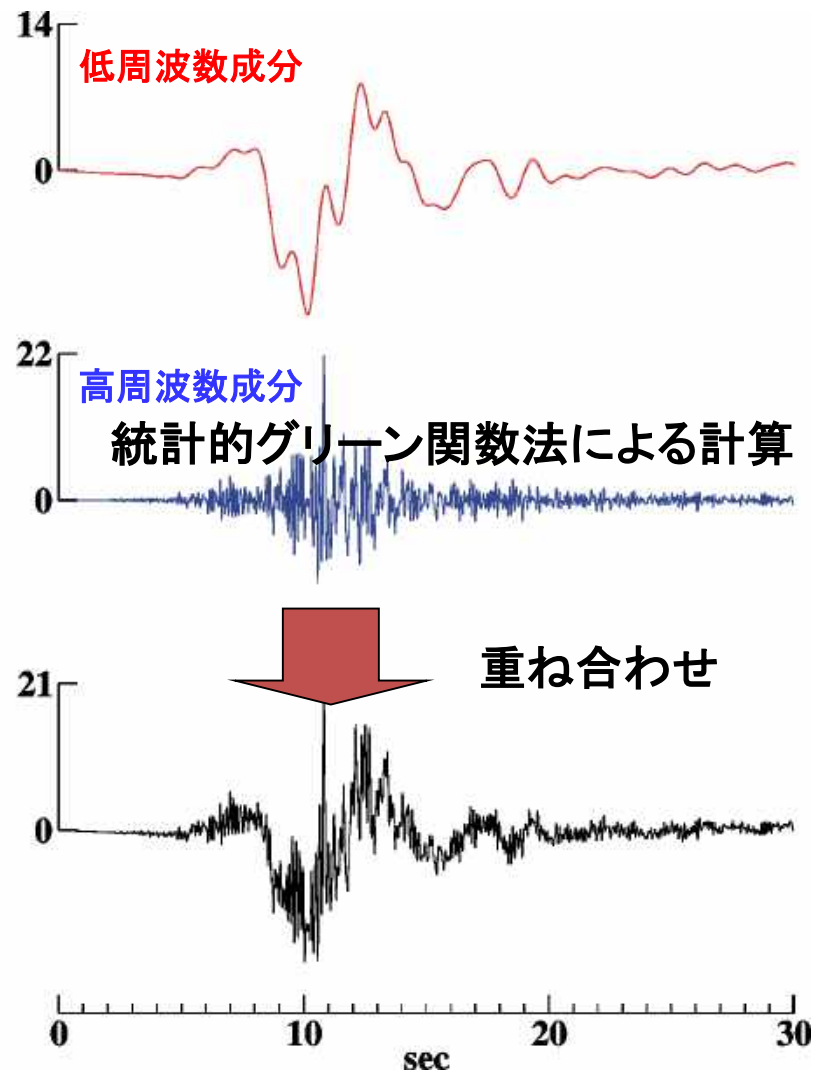
- 断層破壊過程や地下構造の固有の性質を、物理的モデルに基づいて詳細にモデル化することが可能な手法



強震動予測手法(ハイブリッド法)



←→ 決定論的手法 ←→ 統計的手法



「強震動予測レシピ」とは・・・

危険な(地震発生の可能性が高い)活断層や海溝域が存在するとき、そこで引き起こされる可能性の高い将来の地震による強震動予測を、誰がやっても同じ答えが得られる標準的な方法論としてまとめたものである。

強震動予測の「レシピ」は、

- ①想定する地震の震源の特性化
- ②震源と対象地域を包含する地下構造・地盤構造のモデル化
- ③地震動のシミュレーション手法
- ④予測手法の検証
から構成される。

「レシピ」を適用することにより、周期0.1秒から10秒の広い周期帯域における強震動の高精度予測が可能となる。

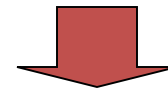
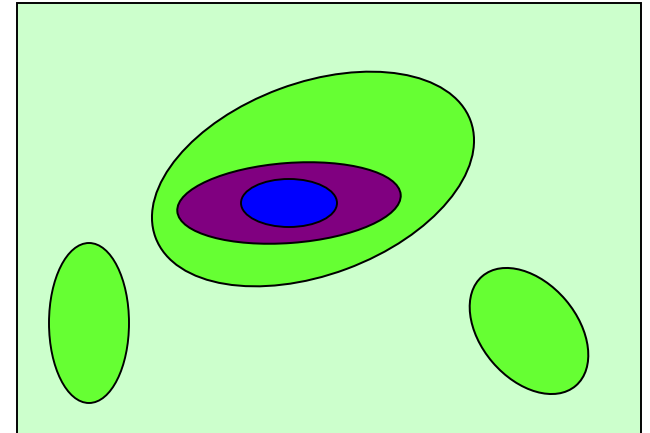
「全国を概観した地震動予測地図」報告書(2005)より

特性化震源モデル

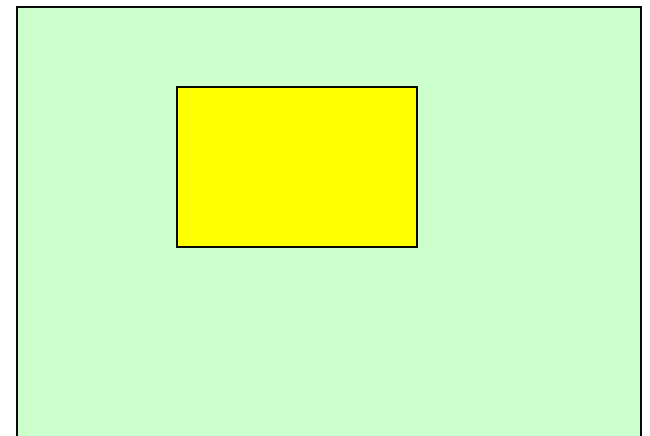
特性化震源モデルとは、強震動予測で特に重要と考えられている周波数帯域(周期1秒前後)の地震動を評価可能な、単純化された震源モデル

- ・実際の地震の震源破壊過程は、非常に複雑な現象
- ・目的を絞りモデルを単純化することにより、震源モデルを記述するパラメータ数が減少
- ・特性化震源モデルのパラメータ設定のレシピが提案(入倉2004)

複雑な震源モデル(解析結果)

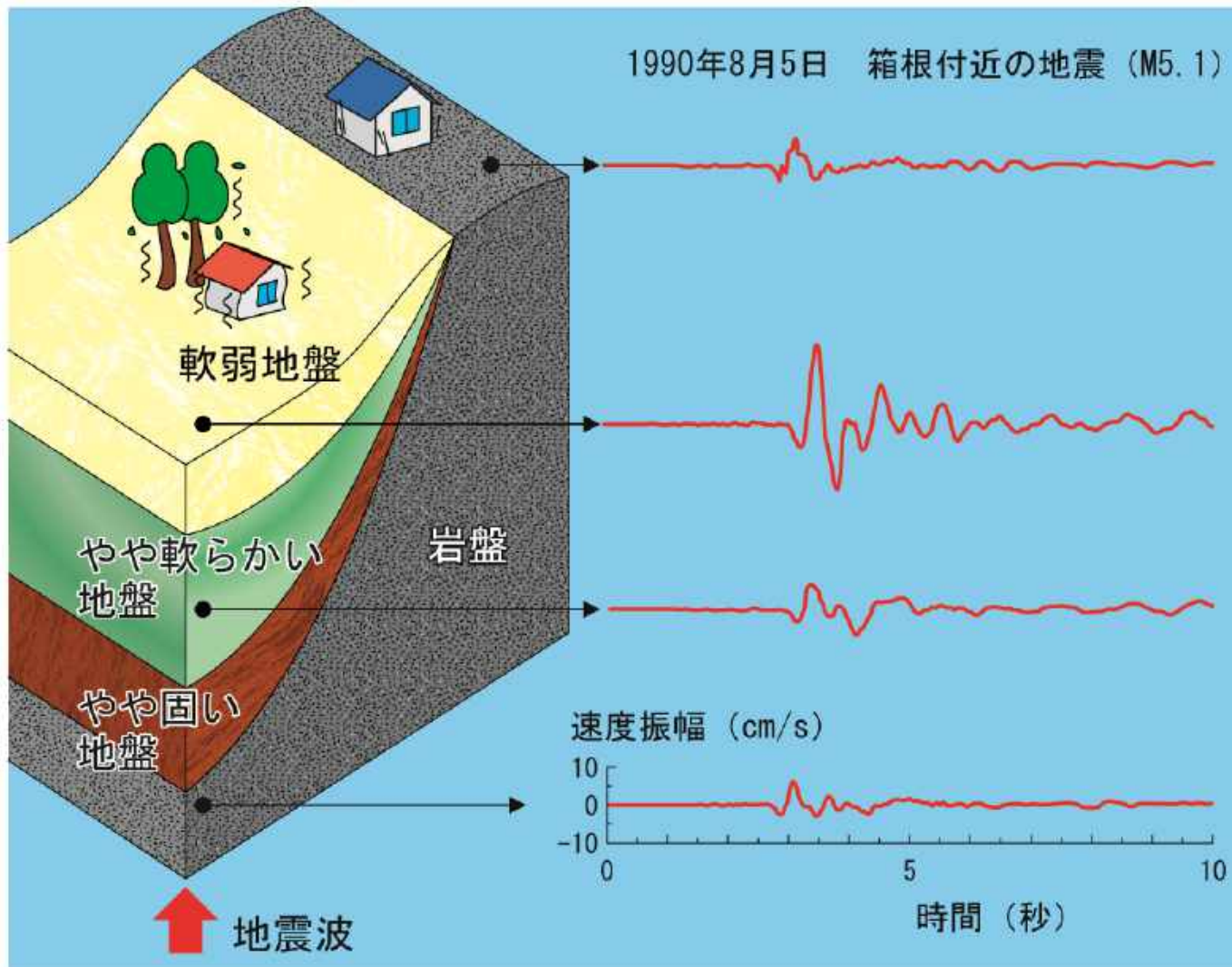


特性化震源モデル



揺れが大きくなるのはどのような場所ですか？

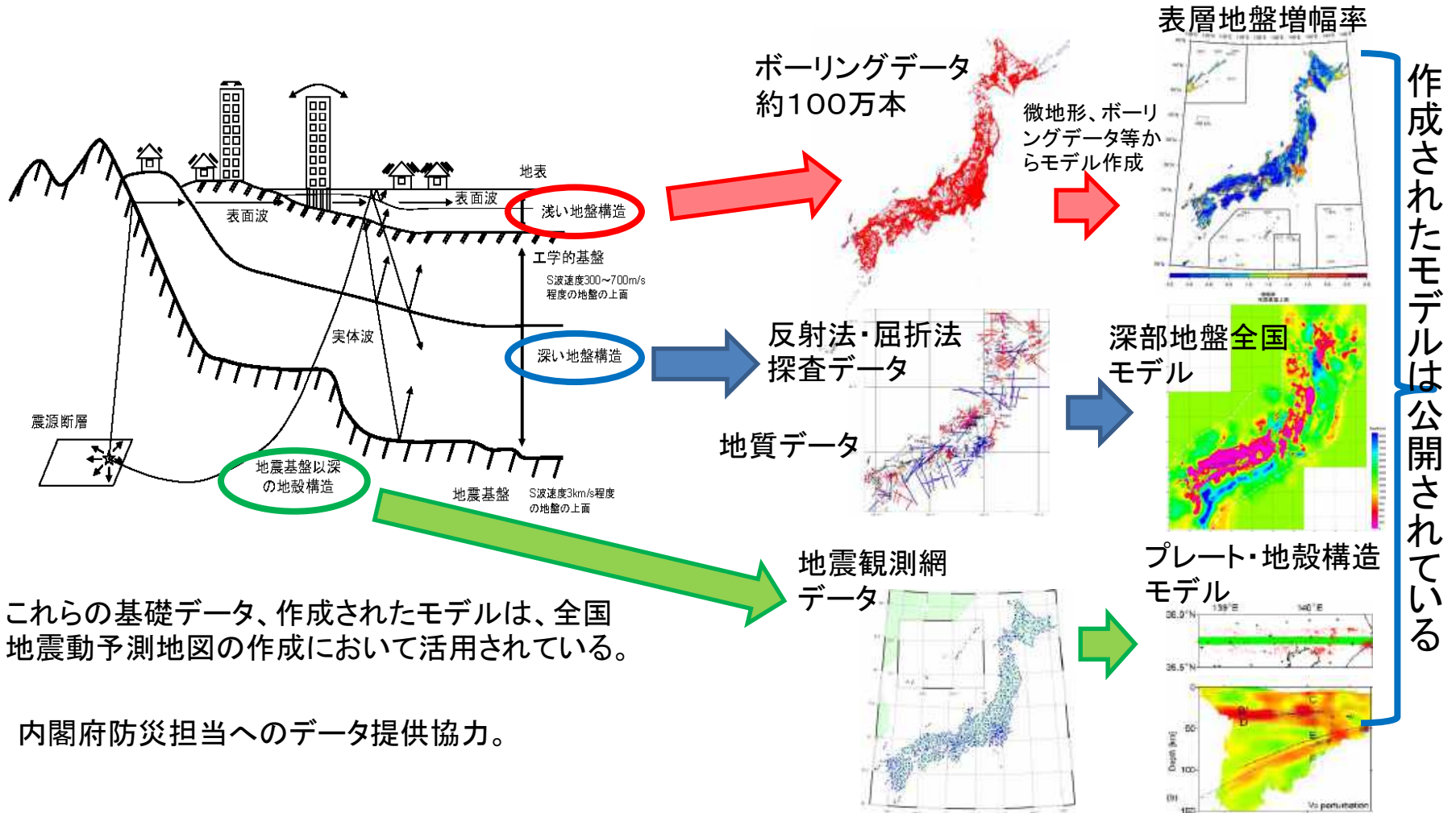
地盤が軟らかいところでは揺れがおおきくなります。



文部科学省 「地震がわかる！」より

防災科研の基礎データベース

地下構造を3つの領域に分けてモデル化



三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について
平成14年 7月31日 地震調査委員会

発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針
平成18年 9月19日 原子力安全委員会決定

新潟県中越沖地震(M6.8)
平成19年 7月16日10時13分

茨城県原子力安全対策委員会
平成22年 12月25日
東海第2原子力発電所の津波対策の報告

第166回長期評価部会
平成23年 2月23日
貞観地震の再評価の審議

東日本大震災の教訓を 踏まえた地震ハザード 評価の改良

東北地方太平洋沖地震(本震)の強震記録

観測史上最大のデータ数

2011年9月15日公開(最新版)

K-NET 698点

KiK-net 525点

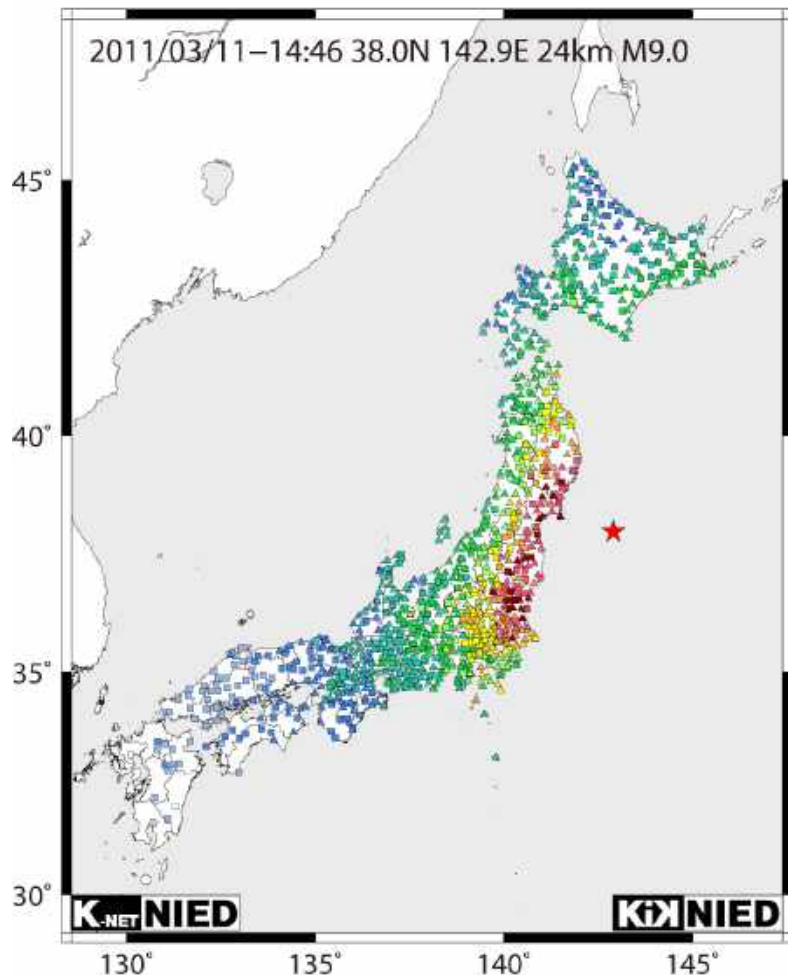
計 1223点 (19箇所で1000gal超)

回収の見込みのある地点 1点

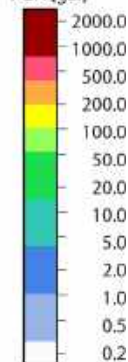
K-NET大熊(FKS007)

回収の見込みがない地点 2点

K-NET田老(IWT004)、K-NET山田(IWT006)



PGA [gal]



$1223 / (1223 + 3) = 99.8\%$ のデータ公開率

観測施設の被災

本震データ消失、余震観測に支障

データセンターの被災

地震直後のデータ回収に支障

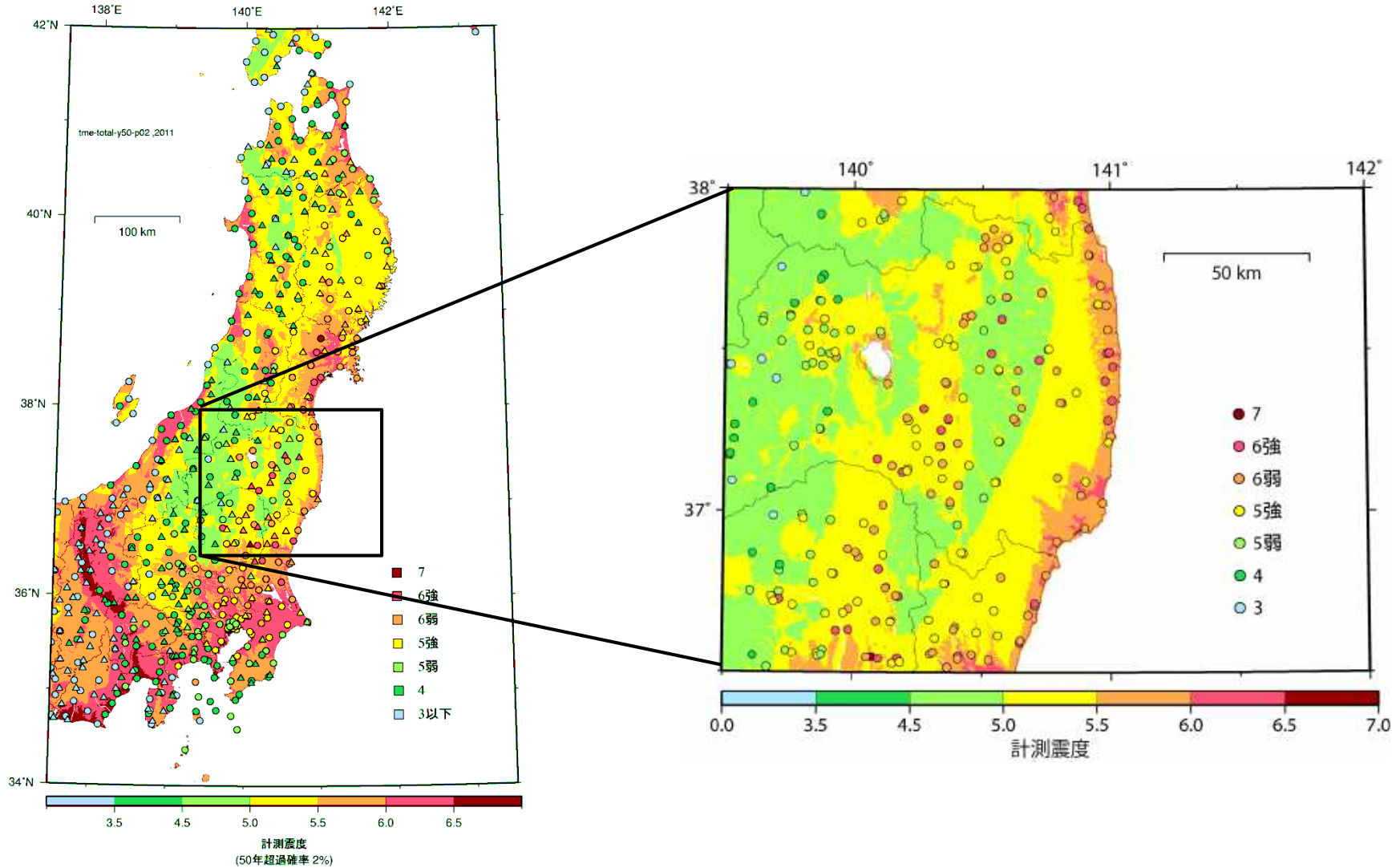
津波により被災した観測施設



- ❌ K-NET(3地点)
田老 (IWT004)データ未回収
山田 (IWT006)データ未回収
北上(MYG008)
- ❌ KiK-net(2地点)
志津川(MYGH12)
仙台(MYGH01)



予測地図と観測値(3/11 M9)の比較



50年超過確率2%の計測震度

東北地方太平洋沖地震を踏まえた 地震ハザード評価の課題

- (1) 低頻度の地震まで抜け落ちのない
不確実性を適切に考慮した地震活動モデルの構築
- (2) 不確実性を適切に処理し低頻度の地震まで考慮した
地震ハザード評価の実施
- (3) 確率論的な地震活動モデルから
適切なシナリオ地震を選定する手法の確立
- (4) 巨大地震に対する強震動予測手法の高度化
- (5) ハザード情報の表現方法の工夫

東日本大震災を踏まえた地震ハザード評価の高度化

背景

○地震調査研究推進本部で、日本周辺で発生する地震の震源域、規模、発生確率等の長期的な評価を実施。これまでの長期評価では、観測記録、歴史資料や地形・地質学的調査の成果に基づき、同じ領域で同等の規模の地震が繰り返し発生するという考え方で評価していた。

○東北地方太平洋沖地震は、これまでの長期評価では、十分に評価できていなかっただけでなく、広域にわたる余震活動・誘発地震活動を引き起こしており、陸域においても過去数十年間地震活動が低調であった地域で活発な地震活動が発生するなど、日本列島全体の地震活動状況が大きく変化している。

○こうした状況を踏まえ、過去に発生した地震のデータから想定した最も起こりうる地震のみならず、史料や観測記録で発生が確認されていない地震についても科学的根拠に基づき想定することにより、これまで考慮できなかった低頻度巨大地震を含んだ地震動評価を行うことが、低頻度巨大地震に対する十分な対策をする必要のある重要構造物の適切な対策に必要。

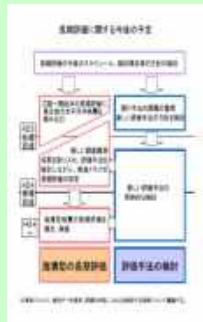
実施概要

低頻度巨大地震まで考慮できる地震活動モデルの高度化

これまでの地震活動モデルでは、過去の記録に基づき、同じ領域で同等の規模の地震が繰り返し発生するという考え方でモデル化していたが、東北地方太平洋沖地震を評価できなかった。

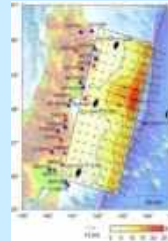
従来の地震活動モデルに加え、科学的に発生可能性のある低頻度巨大地震までを含んだ地震活動モデルを構築。

- 低頻度巨大地震の発生確率モデルの構築
- 運動型地震の地震活動モデルの検討
- 巨大地震の周辺の地震活動に及ぼす影響の評価
- 震源を特定しにくい地震による地震活動モデルの高度化
- 地震動予測地図のための改良版地震活動モデルの提案

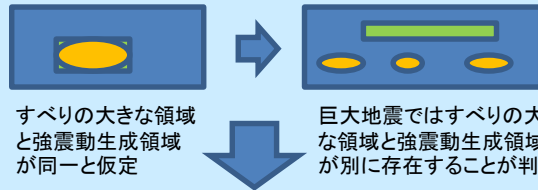


地震調査推進本部による長期評価方法の改善方針

低頻度巨大地震に対応した地震動予測手法の高度化



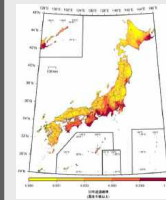
東北地方太平洋沖地震(M9.0)の地震動は、複雑で、これまで地震動予測地図作成で用いてきた手法だけでは説明が困難であることが明らかになった。



巨大地震に対応した地震動予測手法の研究開発を実施。

- 巨大海溝型地震の地震動評価のための震源モデル化手法の研究
 - ・東北地方太平洋沖地震の解析とシミュレーションによる検証により、モデル化手法を構築
- 内陸長大活断層の地震動評価のための震源モデル手法の研究

低頻度巨大地震に対応した地震ハザード情報提供手法の高度化



これまでの地図表現法では、地震発生の切迫性の高い地域での地震ハザードが強調される反面、低頻度巨大地震の危険度が伝わりにくかった。

低頻度巨大地震による地震ハザードを適切に表現できる手法を開発。

- 低頻度巨大地震による地震ハザードまで表現可能な地震動予測マップの作成手法の研究開発
 - (例)再現期間が数千年～10万年のハザードマップ
- 低頻度巨大地震のハザードデータ提供のためのJ-SHISの機能追加

不確実性要因の分類

● 偶然的ばらつき (Aleatory Uncertainty)

- ・本質的な不確実性で、予測モデルにおいて確率変数により表現されるもの。
- ・1つのハザードカーブの計算に用いられるばらつき。
- ・採用しているモデルの現象説明能力の不足により生じる不確実性も含む場合もある。

● 認識論的不確実性 (Epistemic Uncertainty)

- ・知識やデータが不足していることに起因するもので、予測モデルの中で決定論的な定数として扱われるべきものの推定に含まれる誤差。
- ・ハザードカーブの推定誤差として評価されるべき不確実性
- ・モデル設定の判断の違いによる不確実性も含む。
- ・ロジックツリーにより処理される場合がある。
- ・複数のハザードカーブにより表現される場合がある。

地震本部によるこれまでの地震ハザード評価においては、
認識論的不確実性の取り扱いが不十分。

地震ハザード評価のための複数の地震活動モデル

モデル1（長期評価を基本とした従来モデル）

長期評価結果を基本とした従来通りのモデル化。ただし、震源断層を予め特定しにくい地震に関しては、プレート間地震の最大Mを8.0に、プレート内地震の最大Mを7.5に、それぞれ設定する。

モデル2（311の教訓を踏まえた検討モデル）

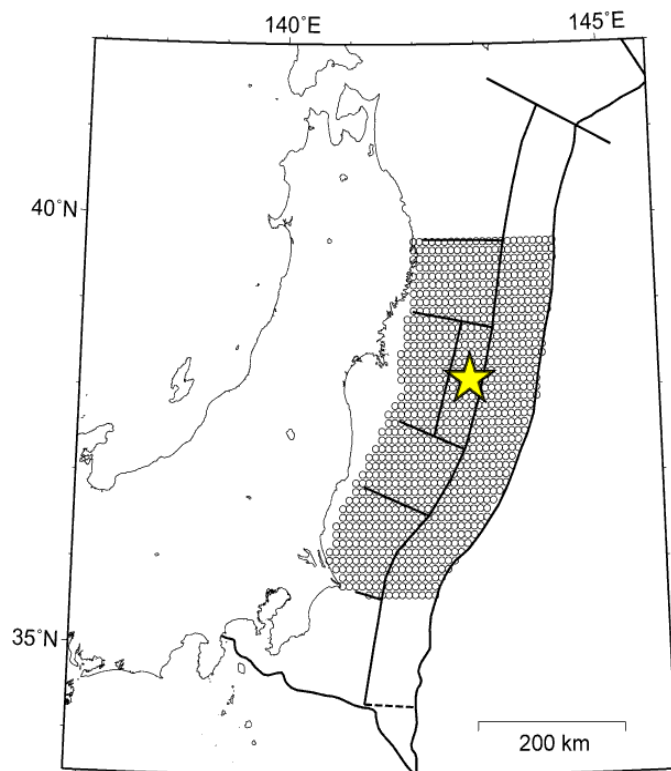
将来発生する地震についての不確かさを考慮し、長期評価された地震に加え、科学的に考えられる最大級の地震までを包含する地震活動を考慮したモデル。

- ・日本海溝で発生する地震のモデル化
- ・南海トラフの地震の多様性を考慮
- ・相模トラフの地震の暫定モデル
- ・南西諸島の地震活動モデルの見直し
- ・地表で痕跡を認めにくい地震を考慮
- ・震源を特定しにくい地震の最大Mの見直し

モデル3（G-R則を用いた参照モデル）

領域全てを合わせた一つの領域に対して、G-Rモデルを適用したモデル。プレート間地震の最大Mは9.5、プレート内地震の最大Mを8.2と設定。

2011年東北地方太平洋沖型の地震(M9.0)を考慮した 確率論的地震動予測地図の地震活動モデル (東北地方太平洋沖型の地震)



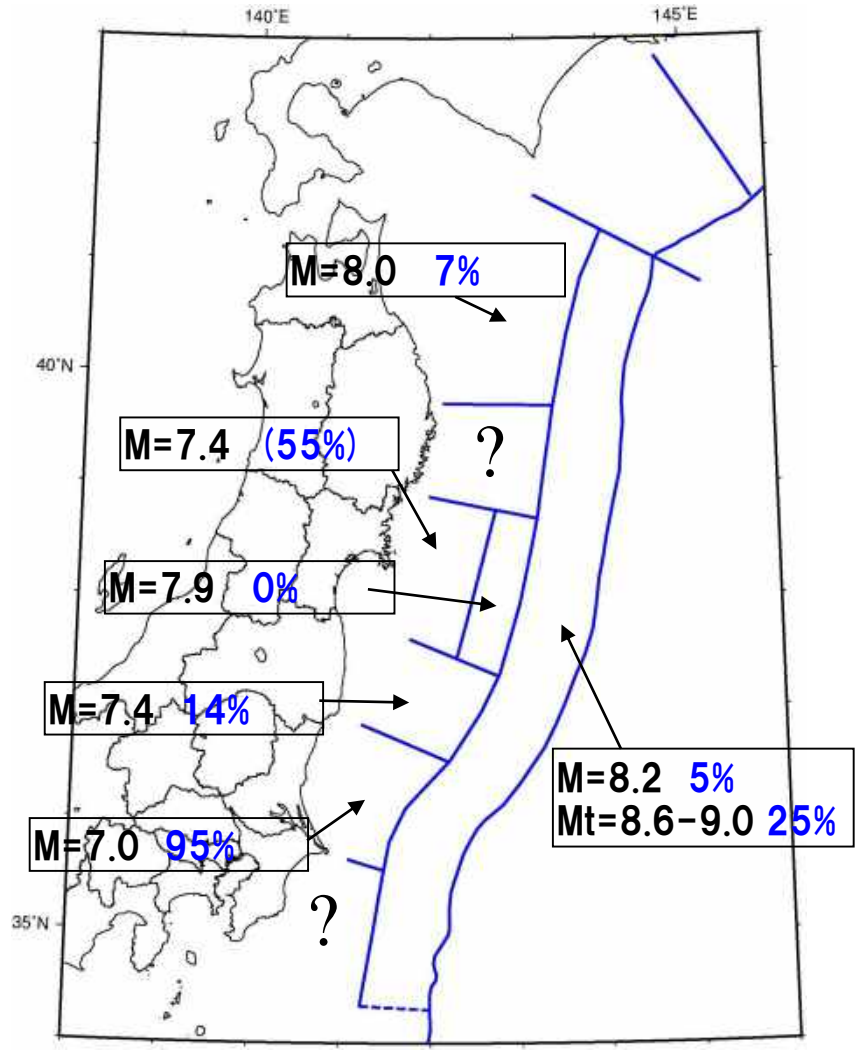
■ 2011年東北地方太平洋沖型の地震の条件
震源域: 余震域などを参考に設定

地震発生確率:
平均活動間隔600年
最新活動時期 15世紀
BPT分布($\alpha=0.24$)

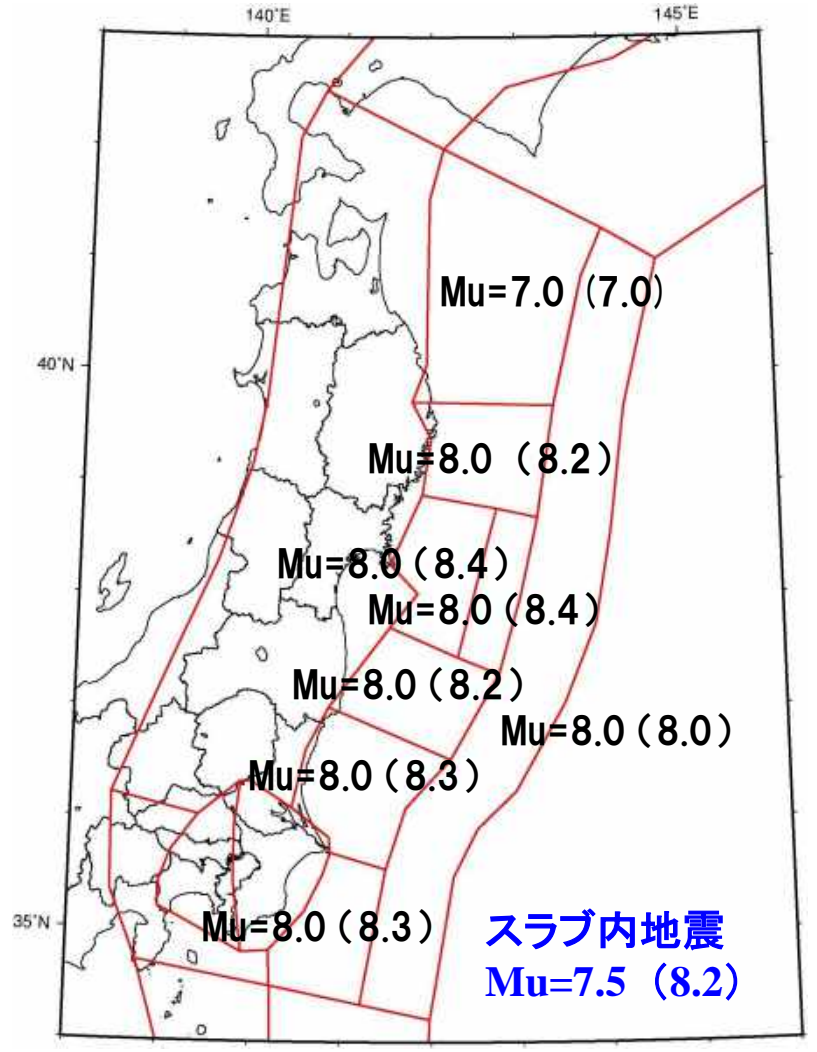
地震発生直前(2011.1.1)での発生確率
30年発生確率15.4%

距離減衰式: 司・翠川(1999)に東北日本
に対する補正を考慮、Mw9.0

311以後の長期評価に基づくモデル化(モデル1, モデル2)

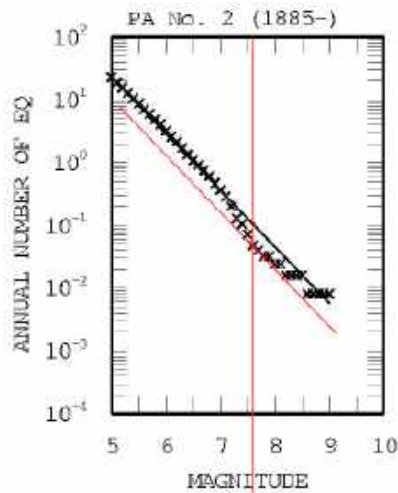
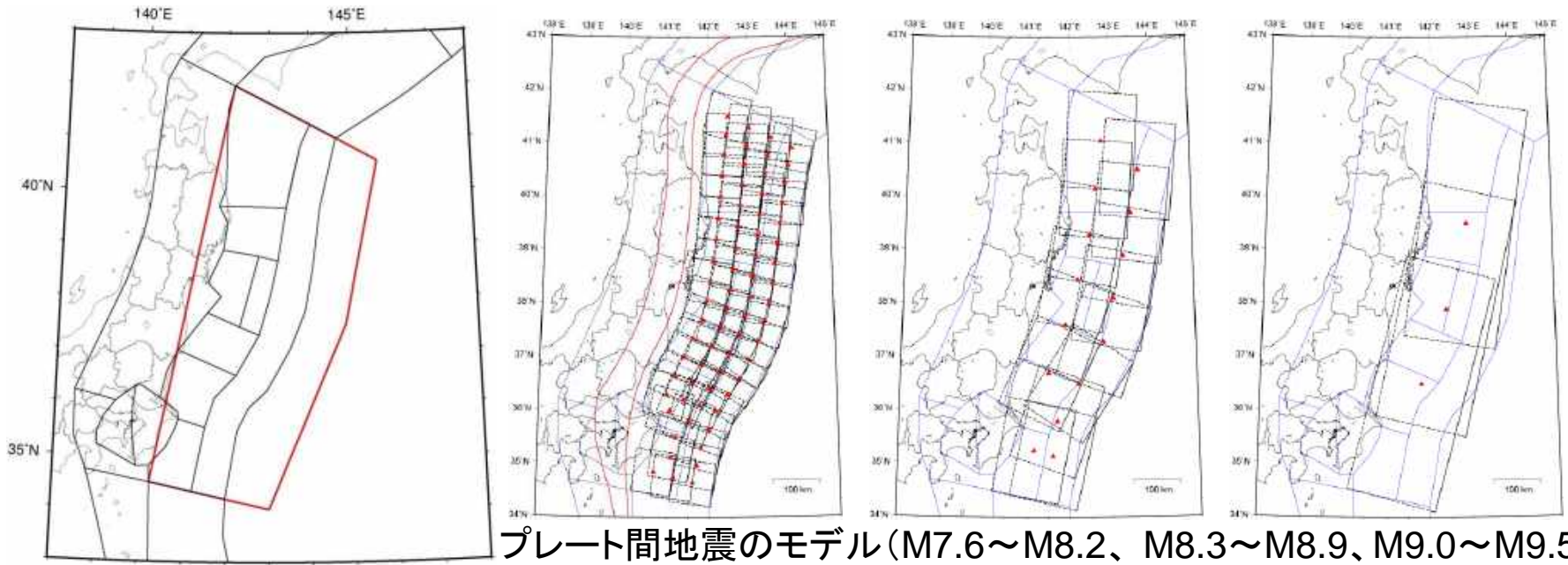


繰り返し発生する地震



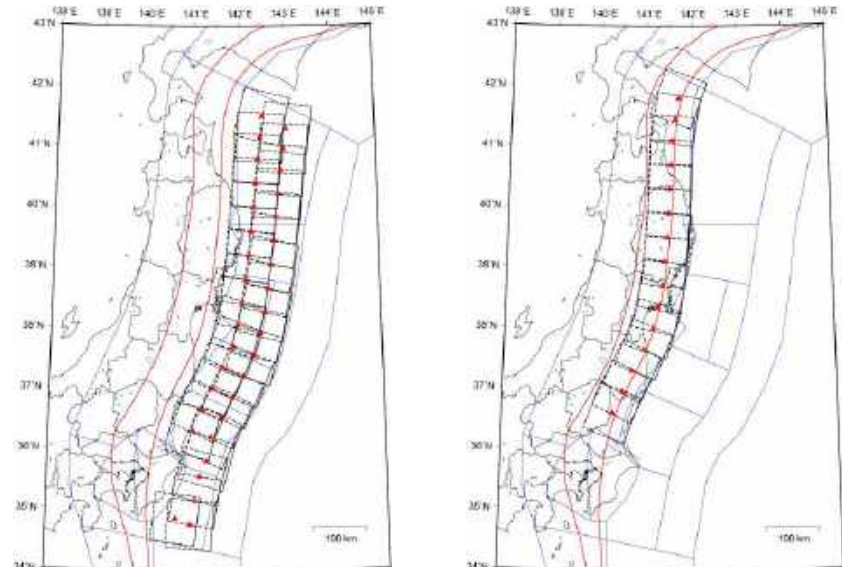
震源を特定しにくい地震の最大M
Mu=モデル2 (モデル1)

モデル3のG-Rモデルで扱う領域

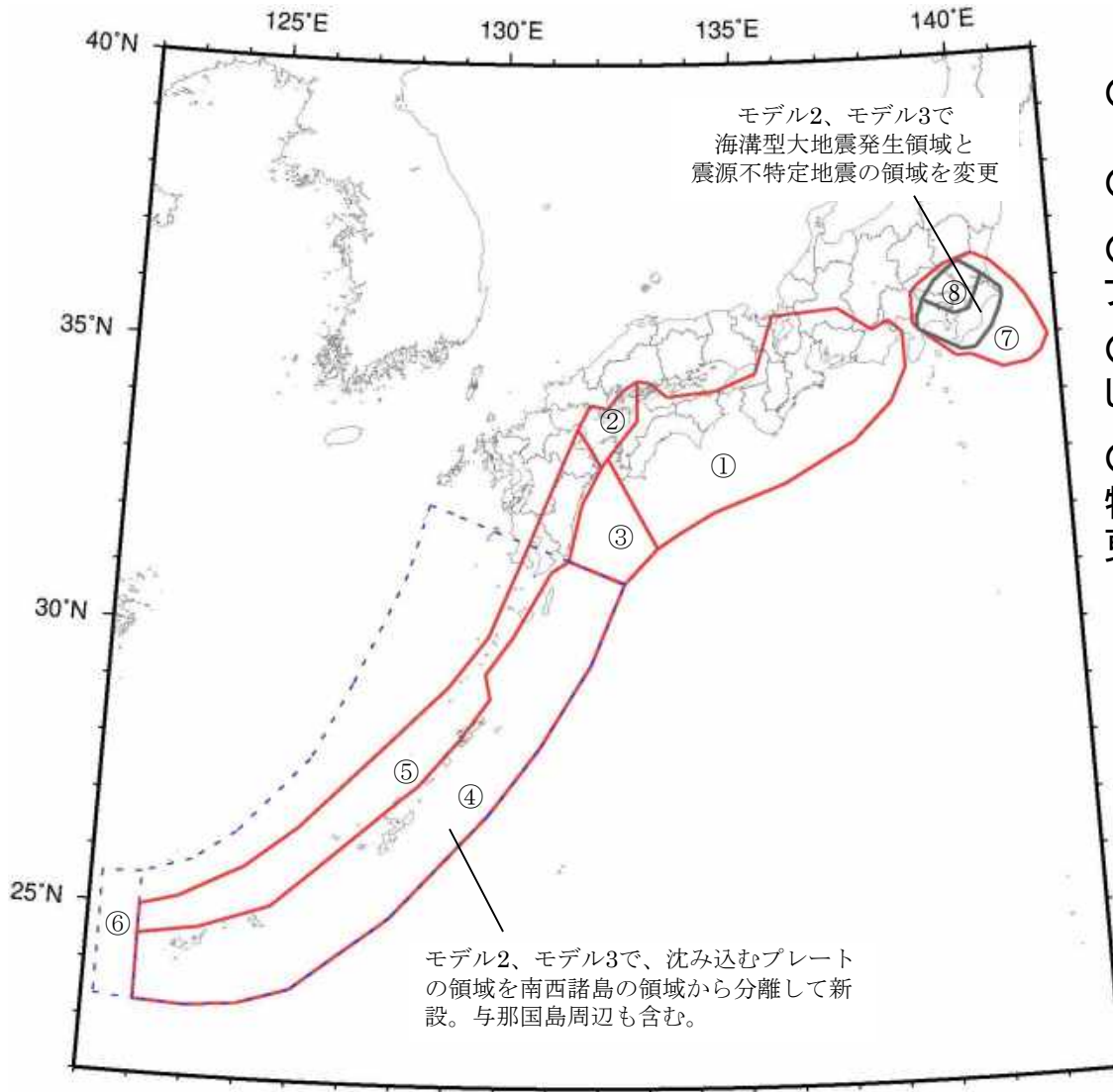


mi	ν (mi)	Tr(mi)
7.6	9.13E-03	109.5
7.7	7.42E-03	134.8
7.8	6.03E-03	165.8
7.9	4.90E-03	204.0
8.0	3.98E-03	250.9
8.1	3.24E-03	308.7
8.2	2.63E-03	379.8
8.3	2.14E-03	467.3
8.4	1.74E-03	574.9
8.5	1.41E-03	707.3
8.6	1.15E-03	870.1
8.7	9.34E-04	1070.5
8.8	7.59E-04	1317.0
8.9	6.17E-04	1620.3
9.0	5.02E-04	1993.4
9.1	4.08E-04	2452.4
9.2	3.31E-04	3017.1
9.3	2.69E-04	3711.8
9.4	2.19E-04	4566.5
9.5	1.78E-04	5618.0

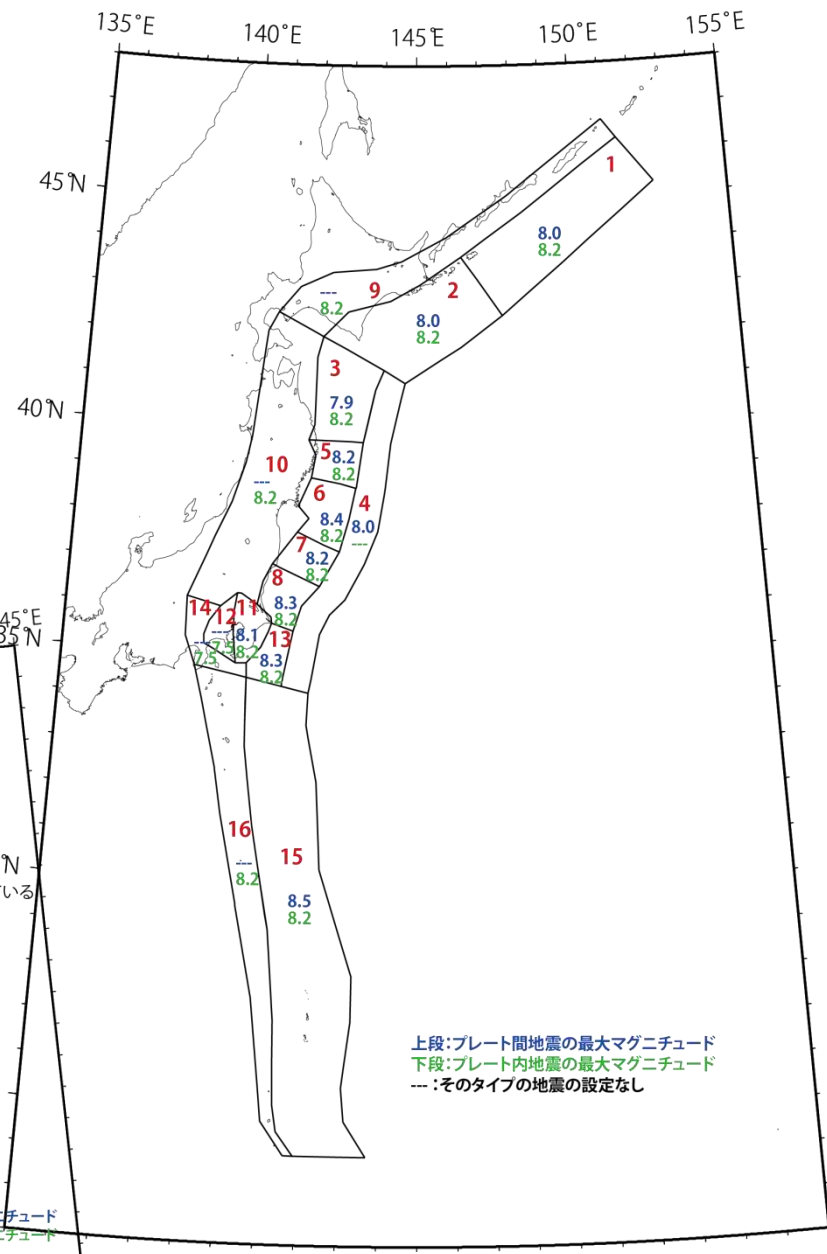
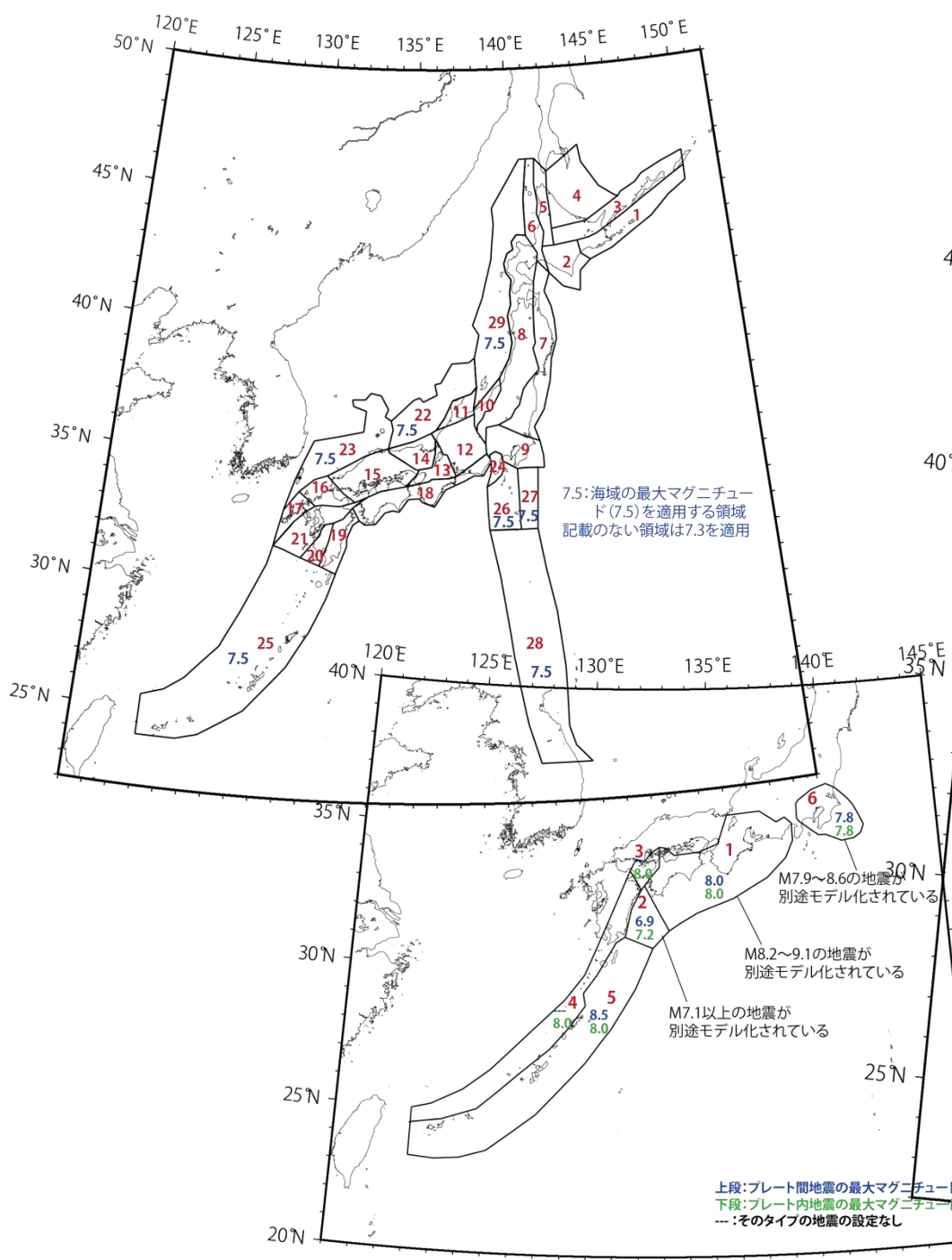
領域内での地震発生頻度

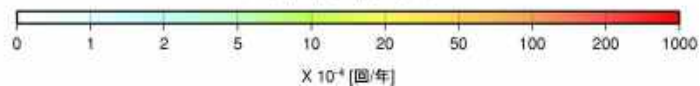
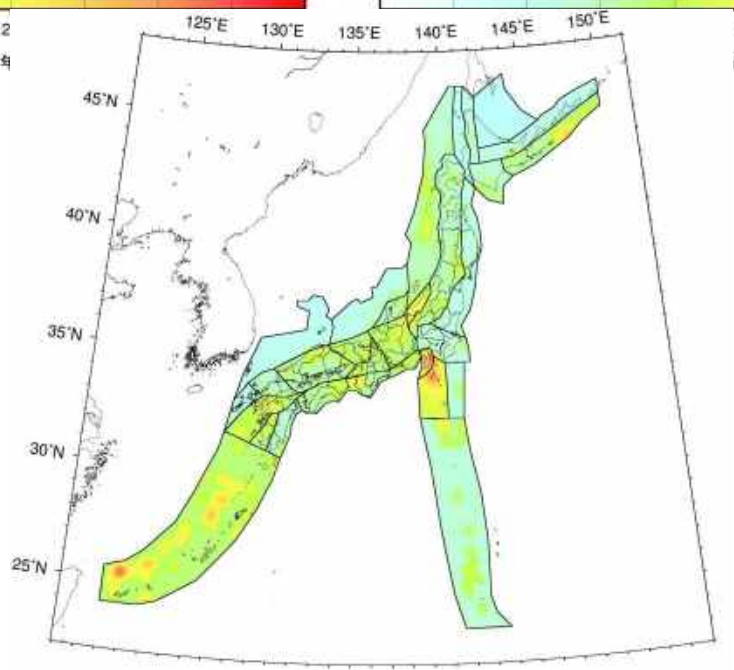
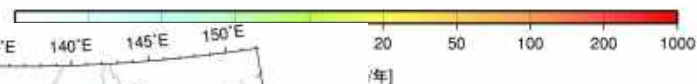
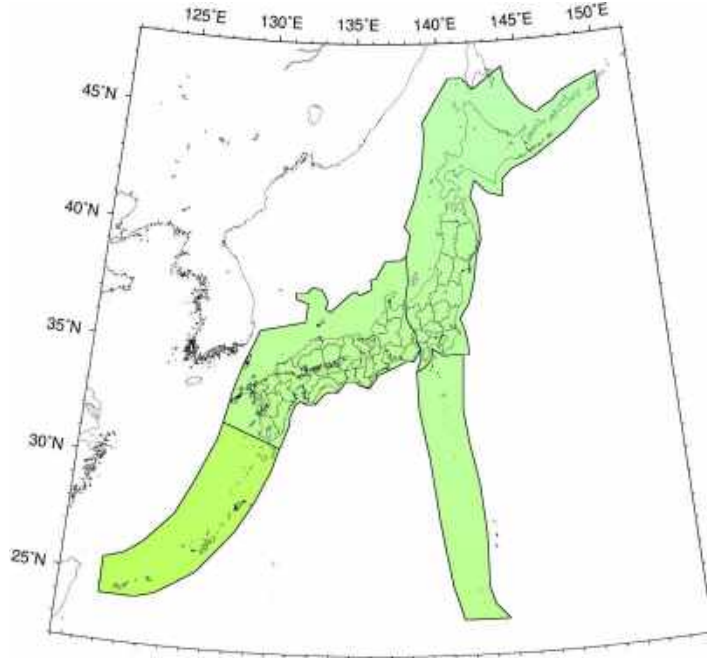
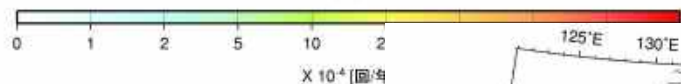
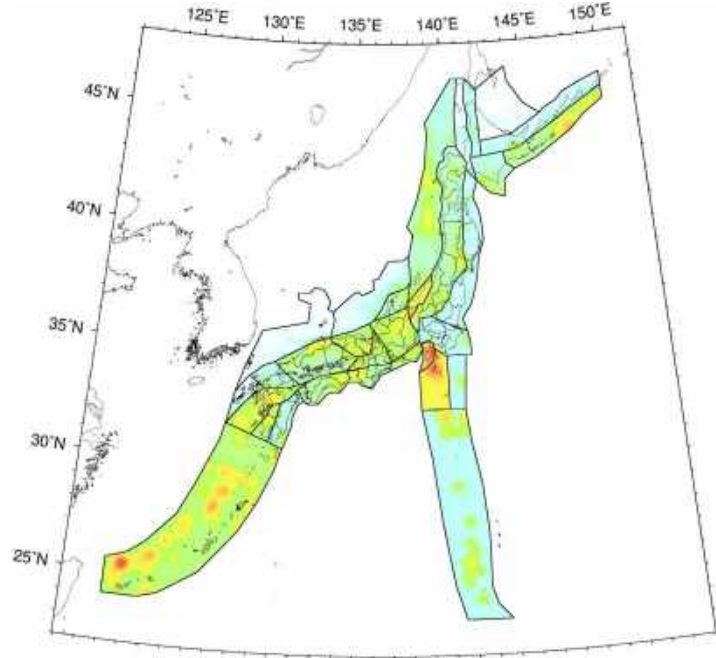


地震活動モデルの改良



- 南海トラフの大地震のモデルの更新
- 相模トラフの大地震のモデルを更新
- 相模トラフの震源不特定地震の変更とプレート深さ変更
- 太平洋プレートの震源断層を予め特定しにくい地震の最大マグニチュード更新
- フィリピン海プレートの震源断層を予め特定しにくい地震の最大マグニチュードの更新
- 南西諸島の領域の変更
- 陸側プレートの地殻内地震の最大マグニチュード更新
- 九州の活断層の地域評価を反映
- 地表で痕跡を認めにくい地震



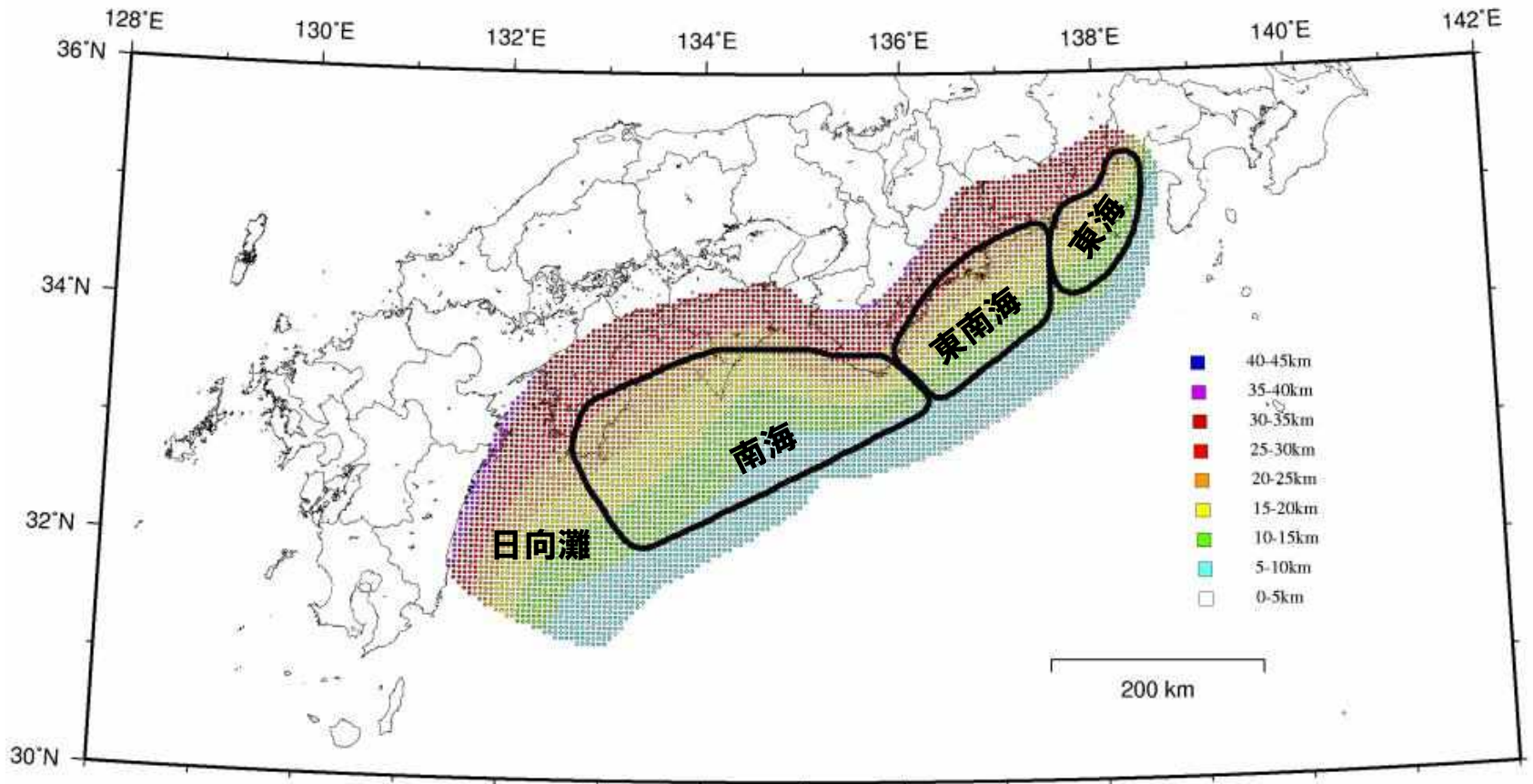


震源を予め特定しにくい
地震のモデル化
(地殻内の浅い地震)

内陸 $Mu = 7.3$
海域 $Mu = 7.5$

最大級の地震の震源域

- 西側（日向灘）、南側の浅い領域（上面深さ0-10km）および北側の深い領域（上面深さ25-35km）に震源域が拡大



地震調査委員会 (2013)

長期評価改訂版 (2013年5月公表)

「南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)」

1. 従来よりも規模の大きい地震の発生可能性を考慮 (M=9.1)
 - 想定震源域の拡大
2. 南海トラフ全体としての発生確率評価
 - $P_{30}=66.5\%$ \Leftrightarrow 南海:62%, 東南海:72%, (東海:88%)
3. 将来の地震の多様性の言及
 - ただし、各震源域となる確率は示されていない

南海トラフ沿いで発生する地震の多様性

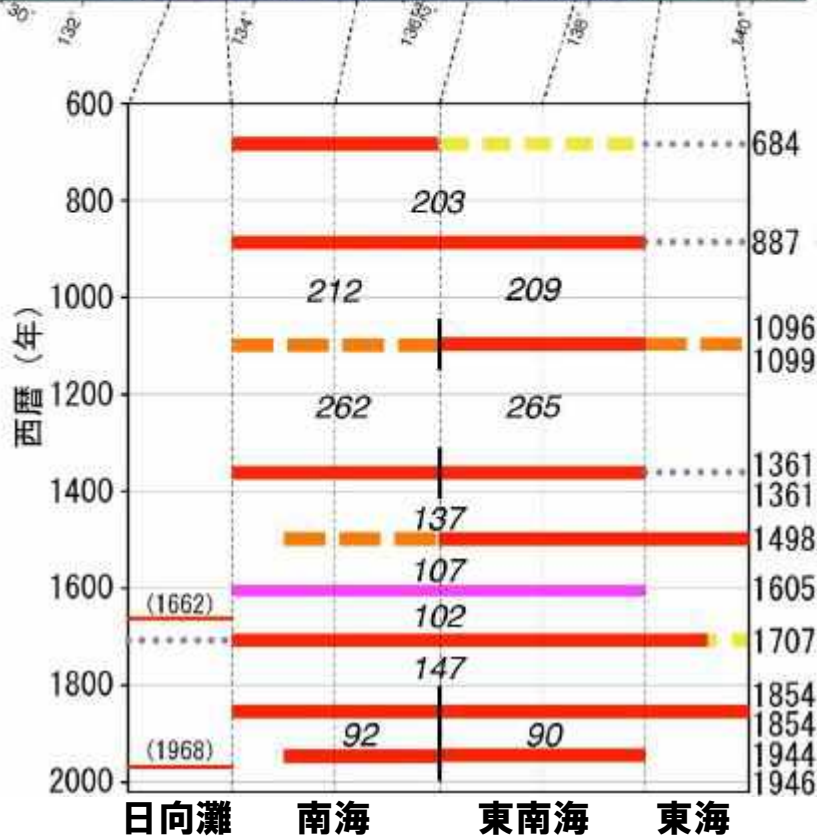
	深さ	推定破壊域					スケーリング則から推定されるMw	
		Z	A	B	C	D		E
東海・南海地域が運動するパターン	浅部							8.8
	中部							
	深部							
	浅部							9.0 ¹
	中部							
	深部							
	浅部							9.0
	中部							
	深部							
	浅部							9.1 ²
	中部							
	深部							
	浅部							8.7
	中部							
	深部							
浅部							8.9	
中部								
深部								
浅部							8.8	
中部								
深部								
浅部							9.0	
中部								
深部								
浅部							8.7	
中部								
深部								
浅部							8.9	
中部								
深部								
浅部							8.4	
中部								
深部								

	深さ	推定破壊域					スケーリング則から推定されるMw	
		Z	A	B	C	D		E
東海・南海地域の2地震が時間差において発生するパターン	浅部							8.7, 8.3
	中部							
	深部							
	浅部							8.5, 8.3
	中部							
	深部							
	浅部							8.7, 8.2
	中部							
	深部							
	浅部							8.5, 8.2
	中部							
	深部							

- 南海トラフ沿いで起きる地震は多様かつ複雑であり、次に起きる地震の震源域を推定することは困難
- 次の地震の震源域となる可能性のある候補(15パターン)を例示

地震調査委員会 (2013)

将来の地震発生パターン



地震調査委員会 (2013)

確率論的地震動予測地図作成のために、以下の仮定に基づき、各パターンに重み(主観的な確率)を付与

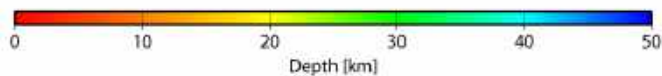
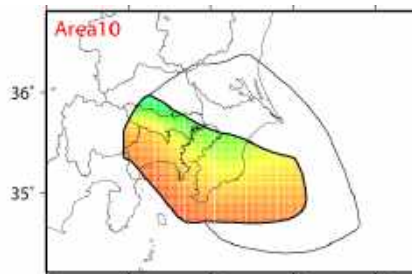
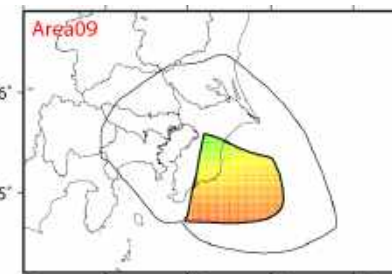
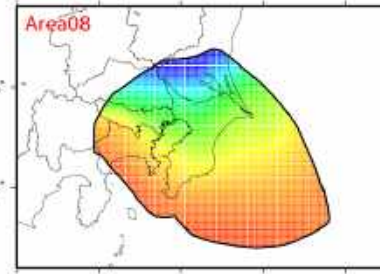
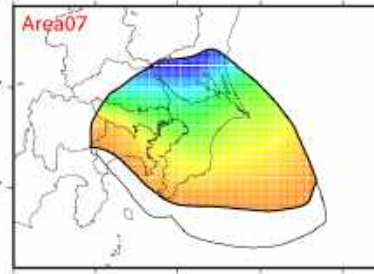
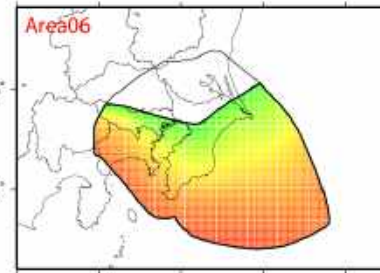
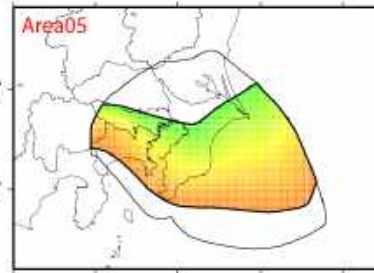
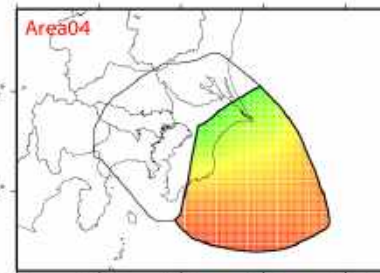
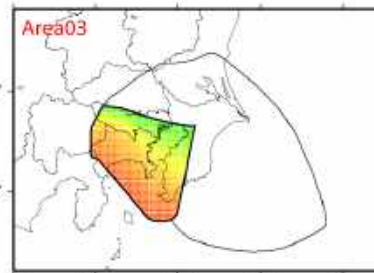
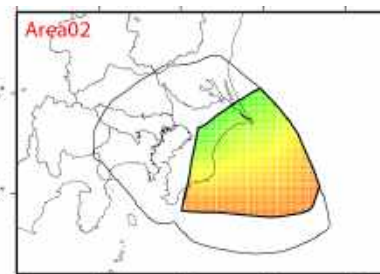
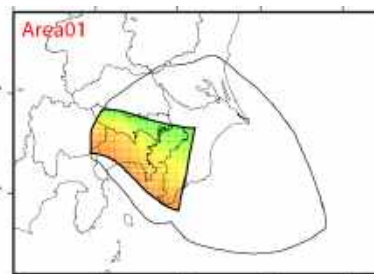
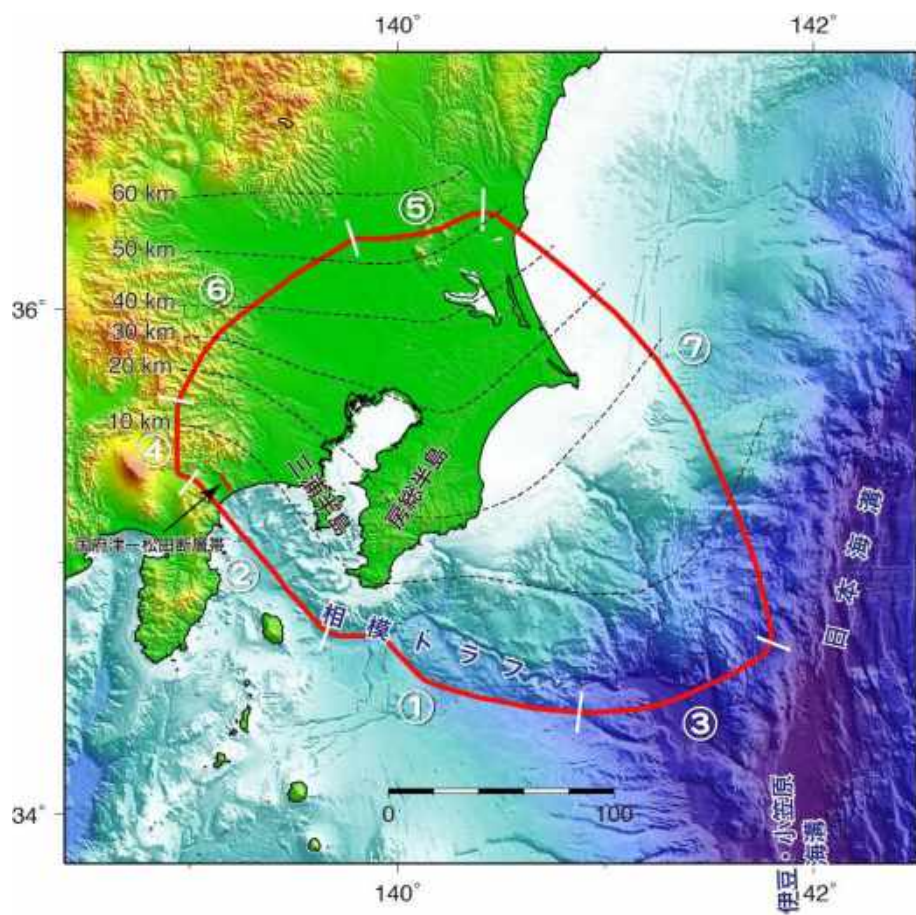
- ① 南海地域と東南海地域が同時に活動する場合(1地震)と、短い時間をおいて続発する場合(2地震)の確率はそれぞれ0.5と仮定。
- ② 2地震が続発する場合の震源域は、南海と東南海の境界でのみ分かれるものとし、日向灘と東海の領域で単独で発生する地震は考えない。
- ③ 東南海地域が破壊した時に、東海地域まで破壊が及ぶ確率は0.75と仮定。
- ④ 過去数百年間の発生パターンでは震源域が日向灘の領域に達した明確な記録はないため、日向灘まで破壊が及ぶ確率は0.15と仮定。
- ⑤ 4つの領域が連動する最大クラスの地震は、約2,000年前に宝永地震よりも大きな津波が発生した可能性が示されていることから、0.05(20回に1回)と仮定。

15のパターンに付与した重み

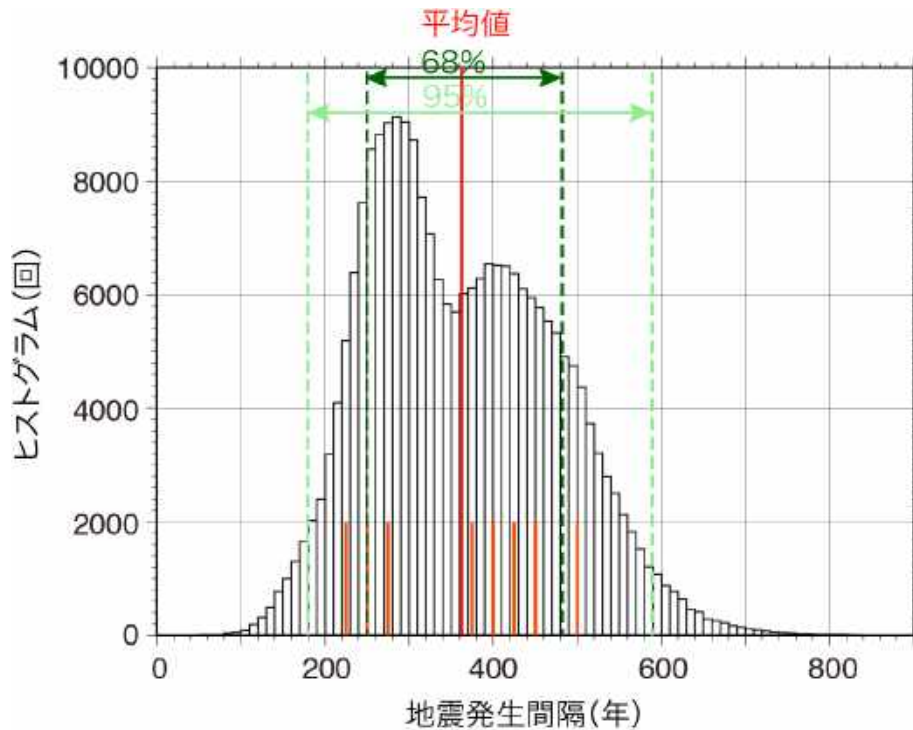
	日向灘	南海	東南海	東海	重み	Mw	領域深さ	
0.5	1 地震	←→				0.0125	8.8	-M-
		←→				0.0125	9.0	-MD
		←→				0.0125	9.0	SM-
		←→				0.0125	9.1	SMD
		×	←→			0.1625	8.7	-M-
		×	←→			0.1625	8.9	SM-
		←→			×	0.0125	8.8	-M-
		←→			×	0.0125	9.0	SM-
		×	←→		×	0.025	8.7	-M-
		×	←→		×	0.025	8.9	SM-
	×	←→		×	0.05	8.4	S--	
0.5	2 地震	←→		←→		0.05	8.7, 8.3	-M-
		×	←→	←→		0.325	8.5, 8.3	-M-
		←→		←→	×	0.025	8.7, 8.2	-M-
		×	←→	←→	×	0.1	8.5, 8.2	-M-
		0.15	1.0	1.0	0.75	1.0		

領域深さ S: 0-10km, M: 10-25km, D: 25-35km

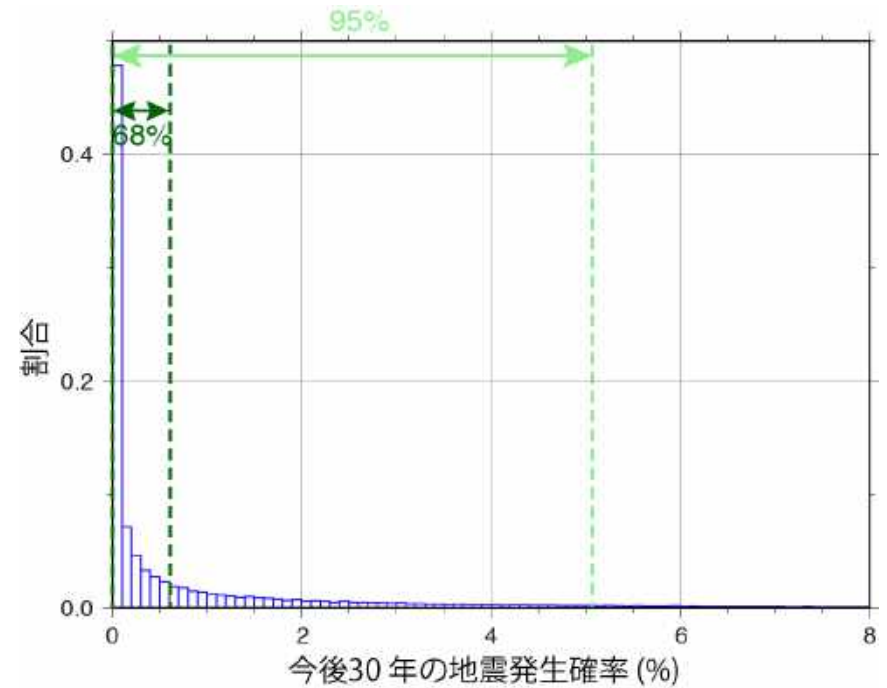
相模トラフの巨大地震(M8級)のモデル化



BPTを用いた地震発生確率の評価



Interval of occurrence

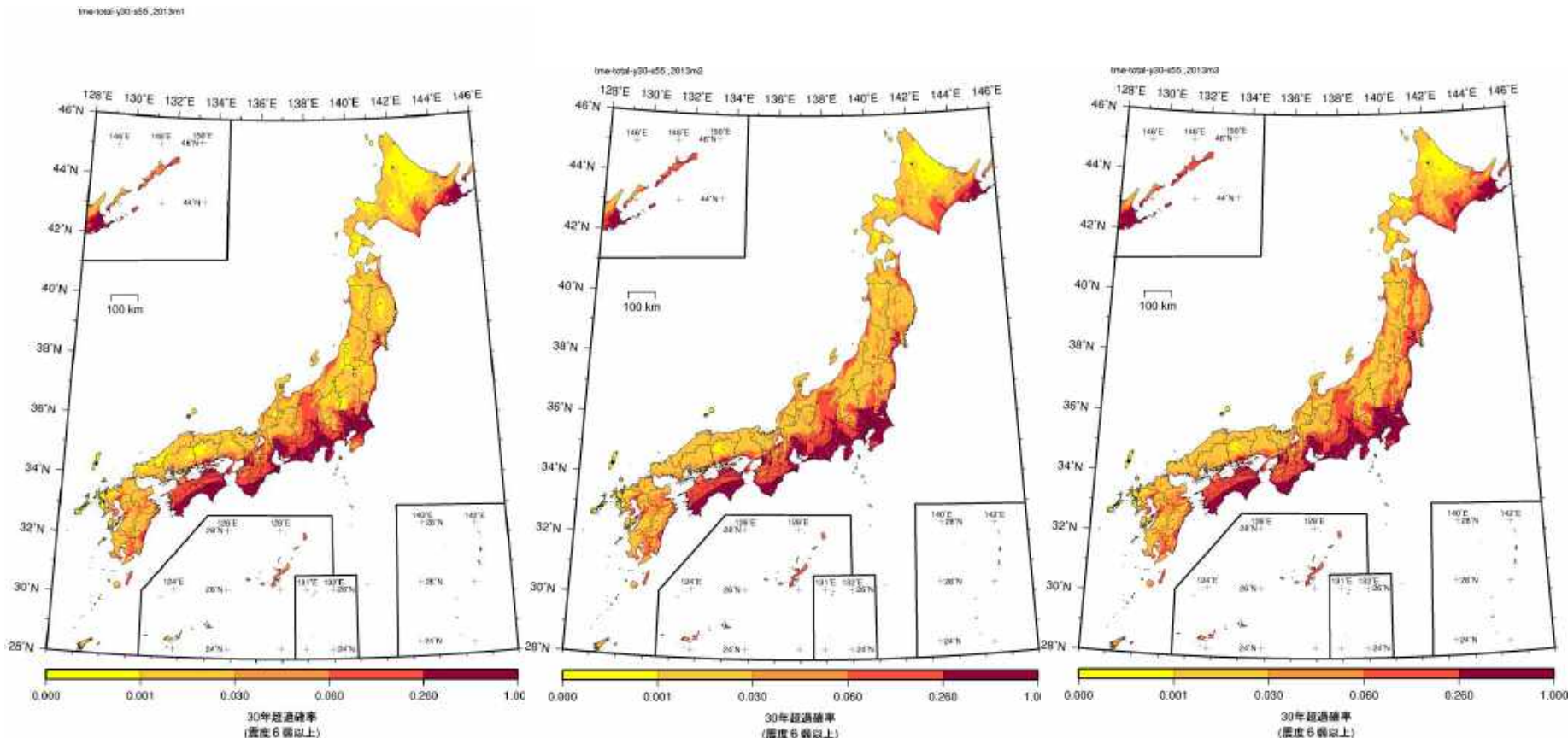


Probability of occurrence within 30 years

<30年確率>
 平均ケース:0.7%
 最大ケース:5.1%

<50年確率>
 平均ケース:1.6%
 最大ケース:9.7%

30年震度6弱の超過確率の分布図



2013年 モデル1

2013年 モデル2

2013年 モデル3

不確実さの増大

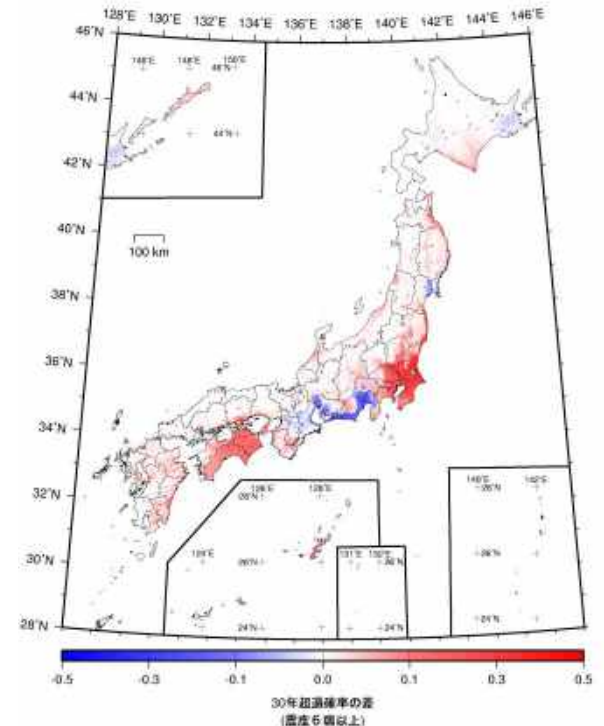
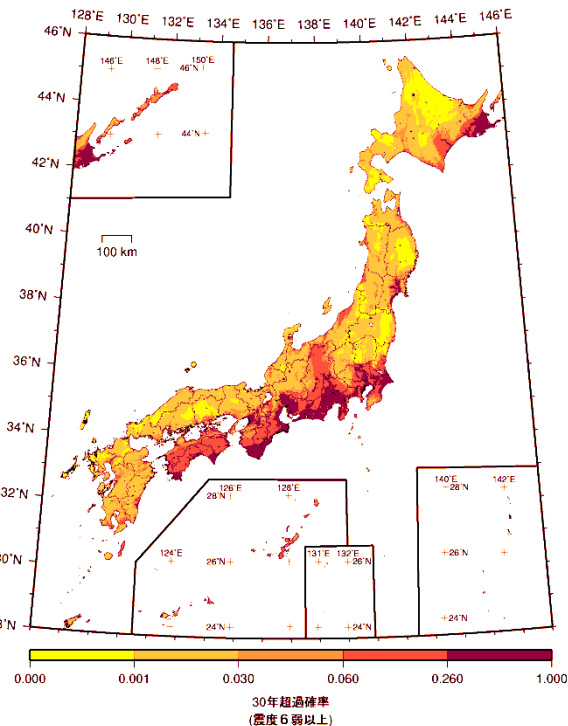
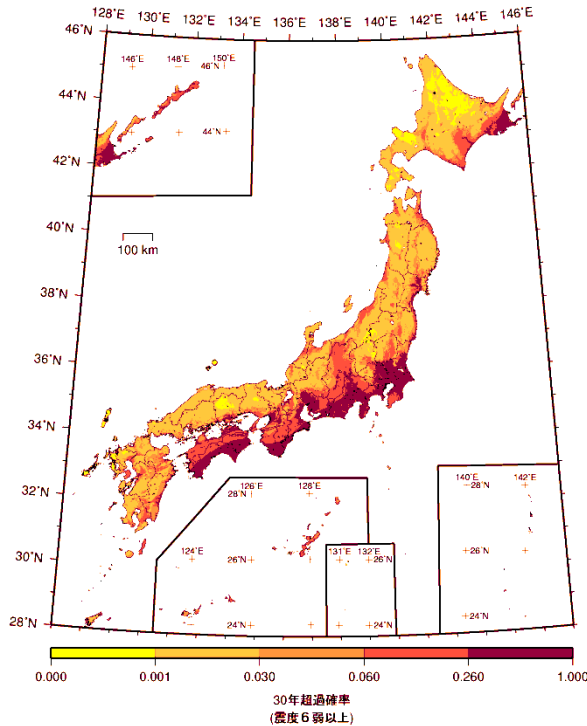


低確率(低頻度)でのハザードレベルの増大

改良モデルを用いた地震動予測地図と 2010年版の地震動予測地図の比較

(a) 改良モデル(2014年起点) (b) 2010年版(2010年起点)

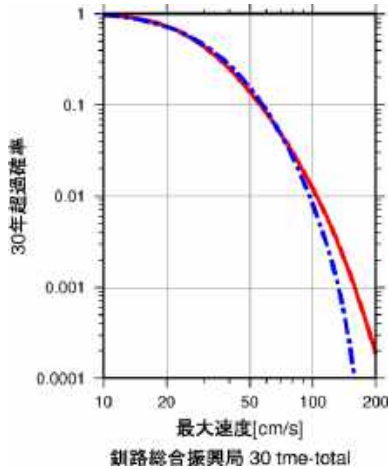
(c) 超過確率の差



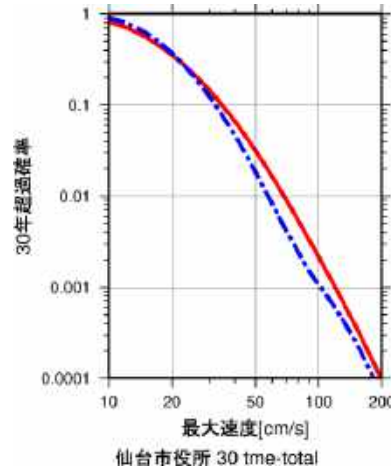
時間軸の起点から30年以内に震度6弱以上の揺れとなる確率の分布図

代表地点における改良モデルと2010年版の 工学的基盤の最大速度のハザードカーブの比較

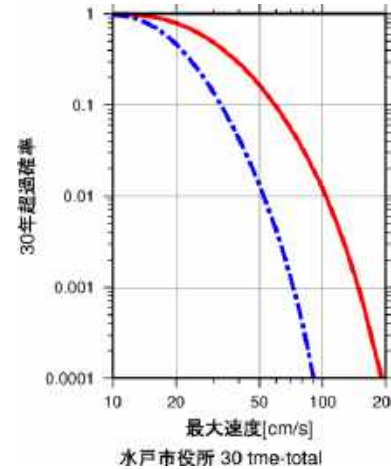
(a) 釧路



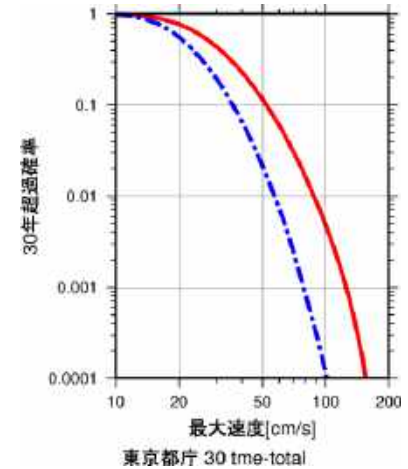
(b) 仙台



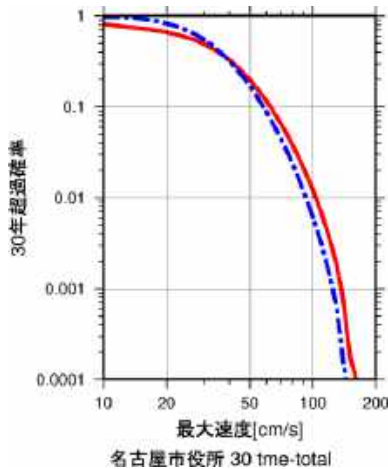
(c) 水戸



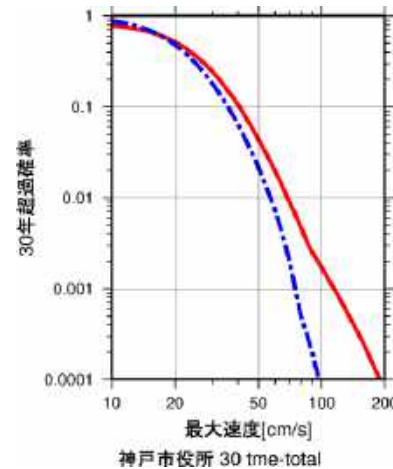
(d) 東京



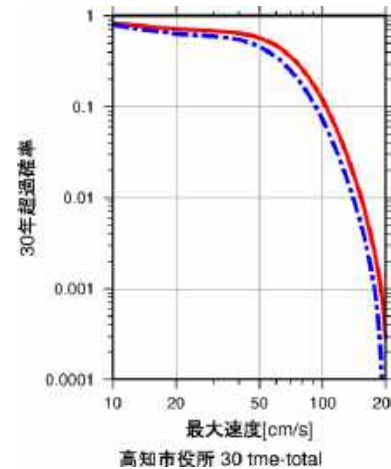
(e) 名古屋



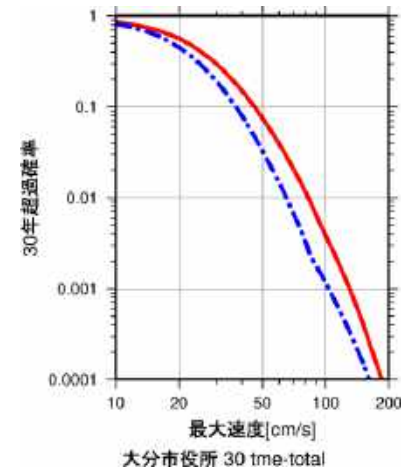
(f) 神戸



(g) 高知



(h) 大分



赤:改良モデル

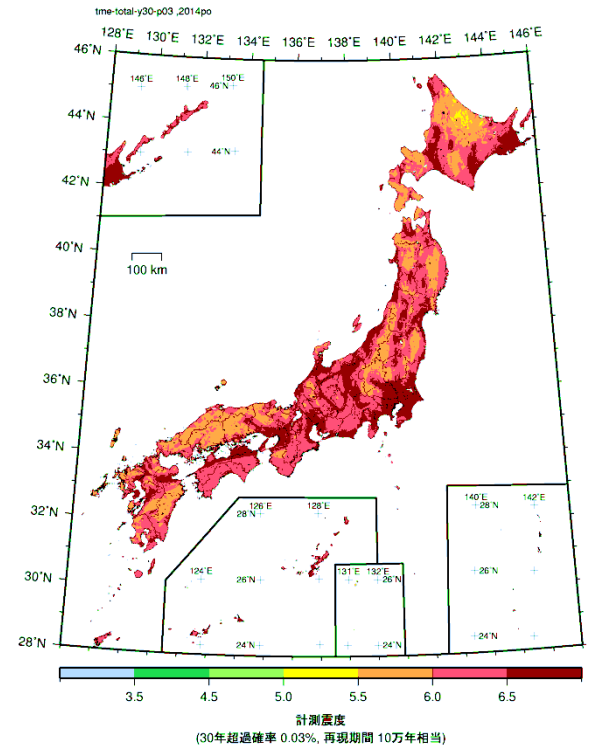
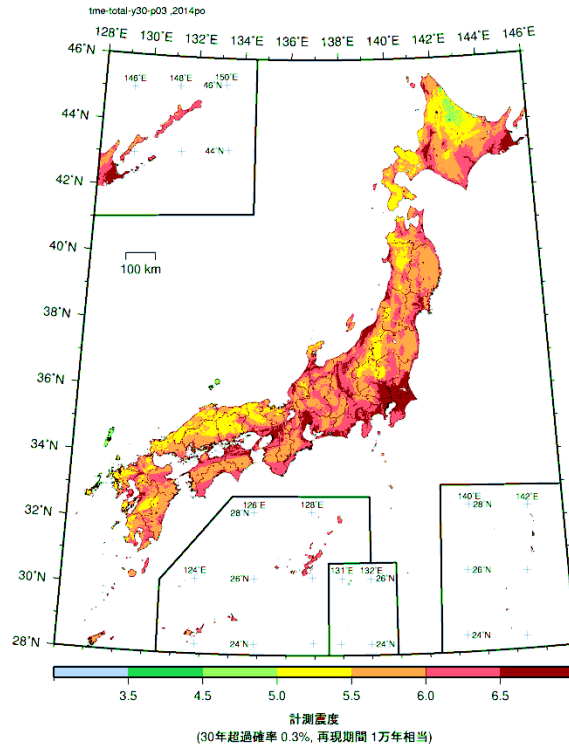
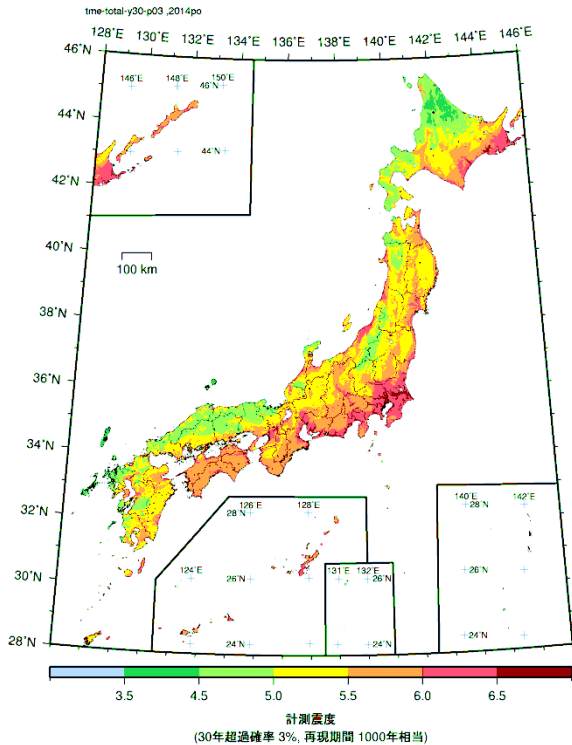
青:2010年版

長期間平均的な地震ハザード評価に基づく 長期の再現期間に対する震度分布

1,000年

10,000年

100,000年



低頻度の海溝型地震や主要な活断層の地震の揺れも同時に表現できるような地震動マップを作成するため、長期間の平均的な地震ハザード評価を実施。
全ての地震活動をポアソン過程として評価する。海溝型地震と活断層のうちBPT分布を用いた評価が適用されているものについて、平均活動間隔のみを用いたポアソン過程による評価を行う。

熊本地震の知見を
踏まえた
強震動予測手法の改良

地震調査委員会による強震動予測手法「レシピ」

地震調査研究推進本部地震調査委員会（地震本部）において実施してきた強震動評価に関する検討結果から、震源特性（震源モデル）、地下構造モデル、強震動計算、予測結果の検証、の現状における手法を取りまとめたもの。

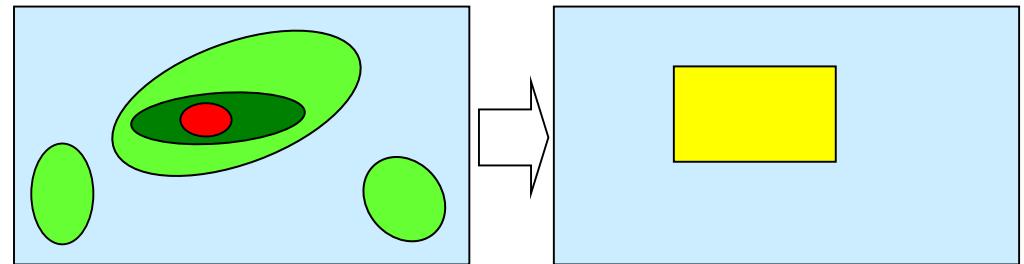
最新版：2016年6月10日改訂（地震調査委員会、2016）

1. 特性化震源モデルの設定（Characterized source model）

強震動を再現するために震源断層面上のすべり分布を単純化した震源モデル

- ・ 活断層で発生する地震 ← 入倉・三宅（2001）
- ・ プレート境界地震（海溝型地震）
- ・ スラブ内地震（海溝型地震） ← 新井・他（2015）

〔巨視的震源特性
微視的震源特性
その他の震源特性〕



2. 地下構造モデルの作成
3. 強震動計算
4. 予測結果の検証

地震調査委員会による強震動予測手法「レシピ」

○震源モデル設定に関する「レシピ」の経緯

地震本部による長期評価を踏まえた強震動評価の実施にあたり、**活断層調査、過去の地震記録、地震活動などの詳細な検討に基づき、震源断層パラメータを設定する手法**を取りまとめ

- それぞれの「強震動評価」の付録として公表
(2009年版以後においては(ア)の手法)



全国の主要活断層帯(110断層帯)の「震源断層を特定した地震の地震動予測地図」を一括して作成するにあたり、長期評価による**活断層の地表長さから、従来の「レシピ」に基づきながらも一部の震源断層パラメータを簡便に設定する手法**(イ)の手法を追加

- 「全国地震動予測地図」2009年版 付録



2016年6月10日改訂

- ・長さが約80kmを超える長大な活断層に関する手法の一部見直し
- ・スラブ内地震のための手法を新たに追加

2016年12月9日修正

- ・(ア)及び(イ)の手法の位置づけの説明を修正

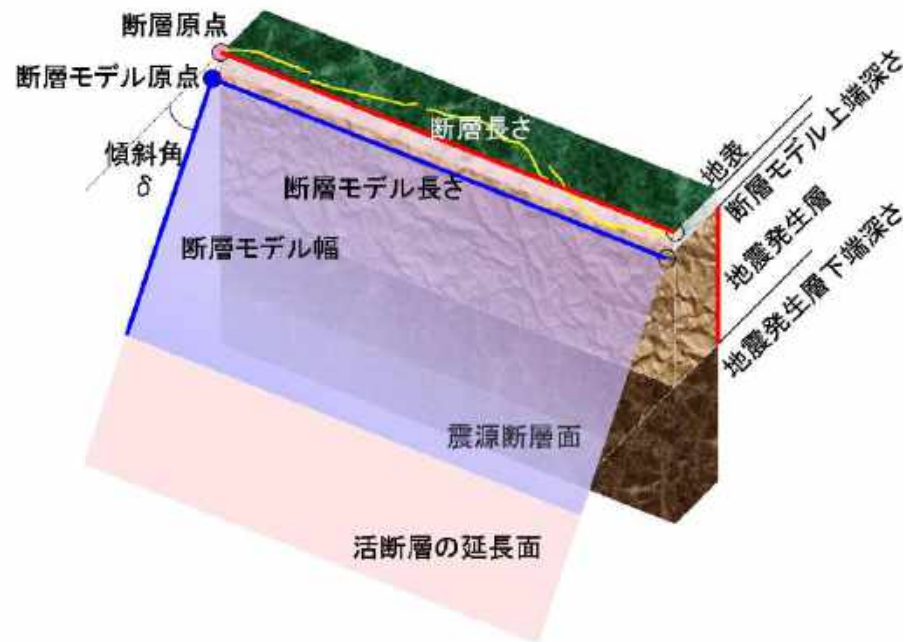
活断層の地震のモデル化に必要な震源パラメータ

巨視的震源パラメータ (Outer source parameters) 【(ア) の手法】

- ・ 震源断層モデルの位置と構造 (位置、走向、セグメント)
 - ・ 震源断層モデルの大きさ (長さ L ・幅 W) ・ 深さ ・ 傾斜角
- 活断層調査、地震観測等のデータに基づいて設定



位置、走向、セグメント



断層モデル長さ、幅、深さ、傾斜角

地震調査委員会 (2016)

活断層の地震のモデル化に必要な震源パラメータ

【(ア)の手法】

巨視的震源パラメータ (Outer source parameters)

- ・ 地震規模 (地震モーメント M_0)

震源断層面積 $S = L \times W$

Somerville et al. (1999)

$$M_0 < 7.5 \times 10^{18} \text{ Nm}$$

入倉・三宅 (2001)

$$7.5 \times 10^{18} \leq M_0 \leq 1.8 \times 10^{20} \text{ Nm}$$

Murotani et al. (2015)

$$M_0 > 1.8 \times 10^{20} \text{ Nm}$$

地震モーメント M_0

- ・ 震源断層モデルの平均すべり量 D

$$D = M_0 / (\mu \cdot S), \quad \mu = \rho \cdot \beta^2$$

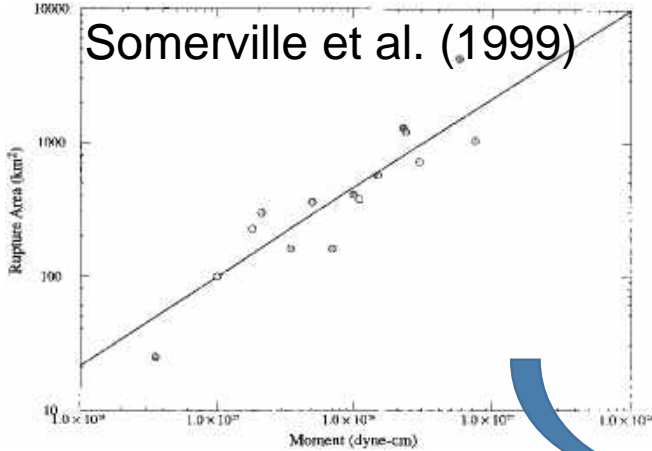
ρ : 地震発生層の密度

β : 地震発生層のS波速度

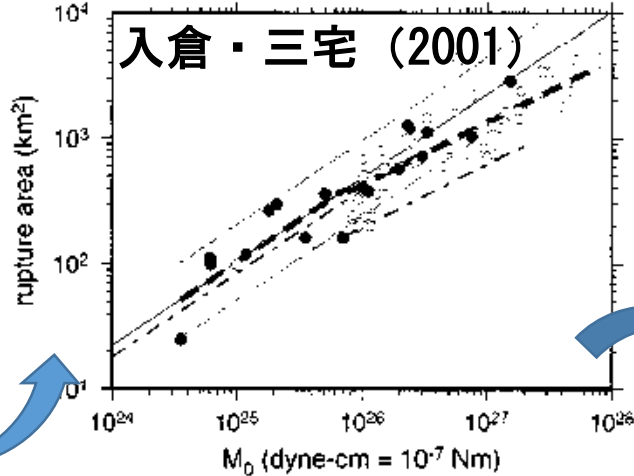
活断層の地震のモデル化に必要な震源パラメータ

【(ア)の手法】

震源断層面積 (S) と地震モーメント (M_0) との関係 — 経験式



断層幅の飽和

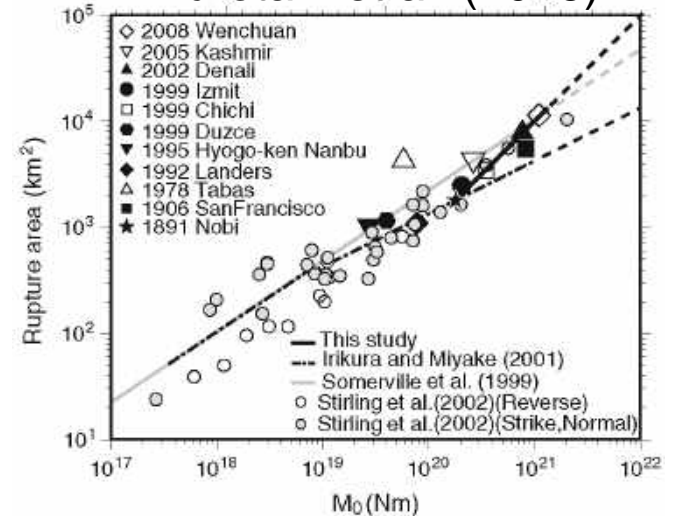


- Somerville et al. (1999)
- - - Takemura (1998)
- - - This study
- Wells and Coppersmith (1994)
- $M_0 > 7.5 \times 10^{25}$ dyne-cm : $M_w > 6.52$
- Somerville et al. (1999)
- Miyakoshi (2001)
- low angle dip-slip fault

すべり量の飽和

$$M_0 = \begin{cases} \left(\frac{S}{2.23} \times 10^{15} \right)^{3/2} \times 10^{-7} & M_0 < 7.5 \times 10^{18} \text{ Nm} \\ \left(\frac{S}{4.24} \times 10^{11} \right)^2 \times 10^{-7} & 7.5 \times 10^{18} \leq M_0 \leq 1.8 \times 10^{20} \text{ Nm} \\ S \times 10^{17} & M_0 > 1.0 \times 10^{20} \text{ Nm} \end{cases}$$

M_w
Murotani et al. (2015)



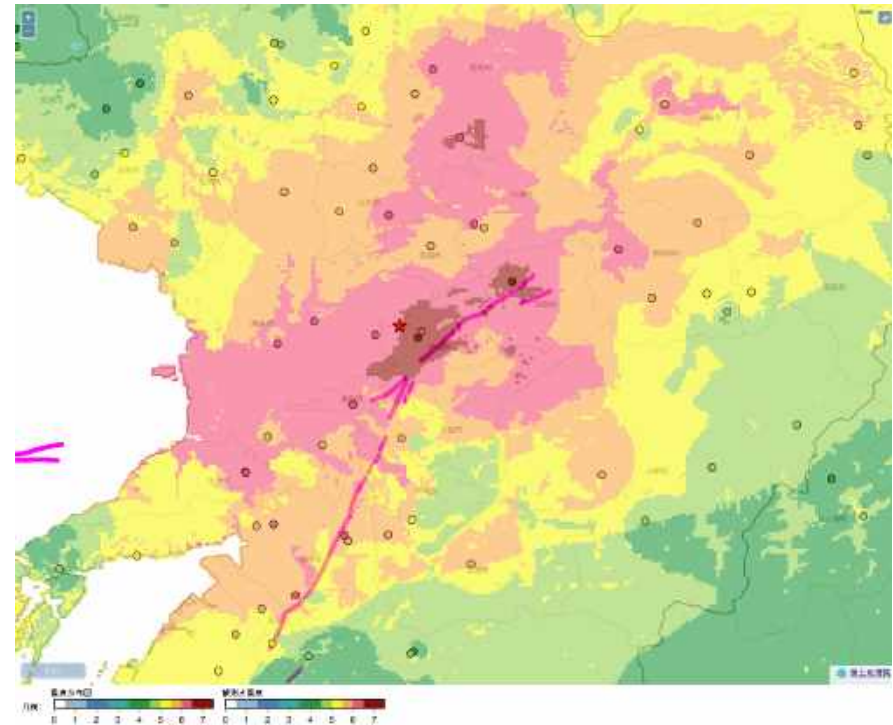
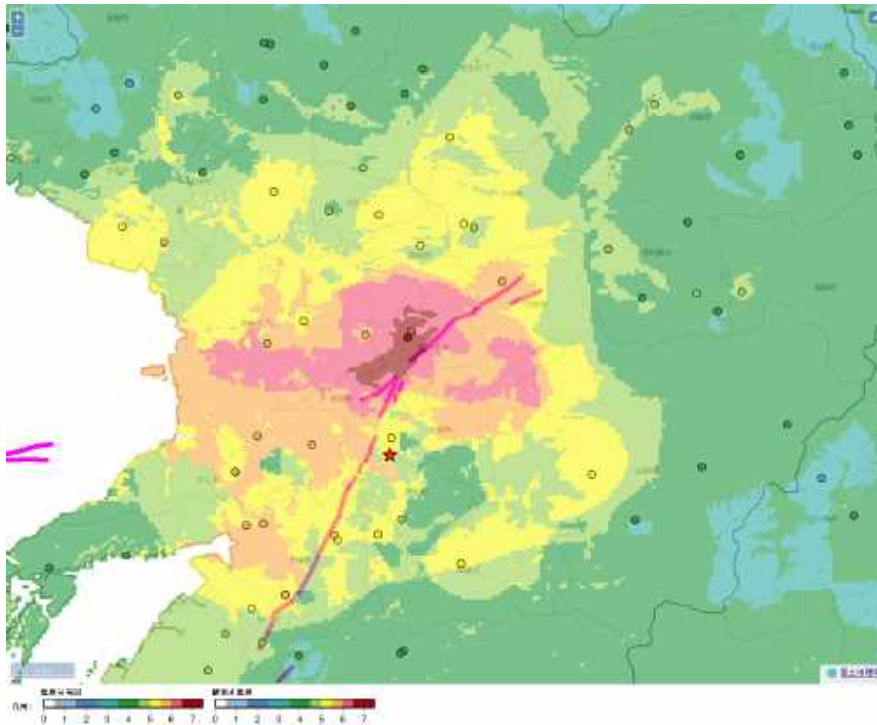
※回帰データのばらつきは現時点では震源のモデル化において考慮されていない

熊本地震

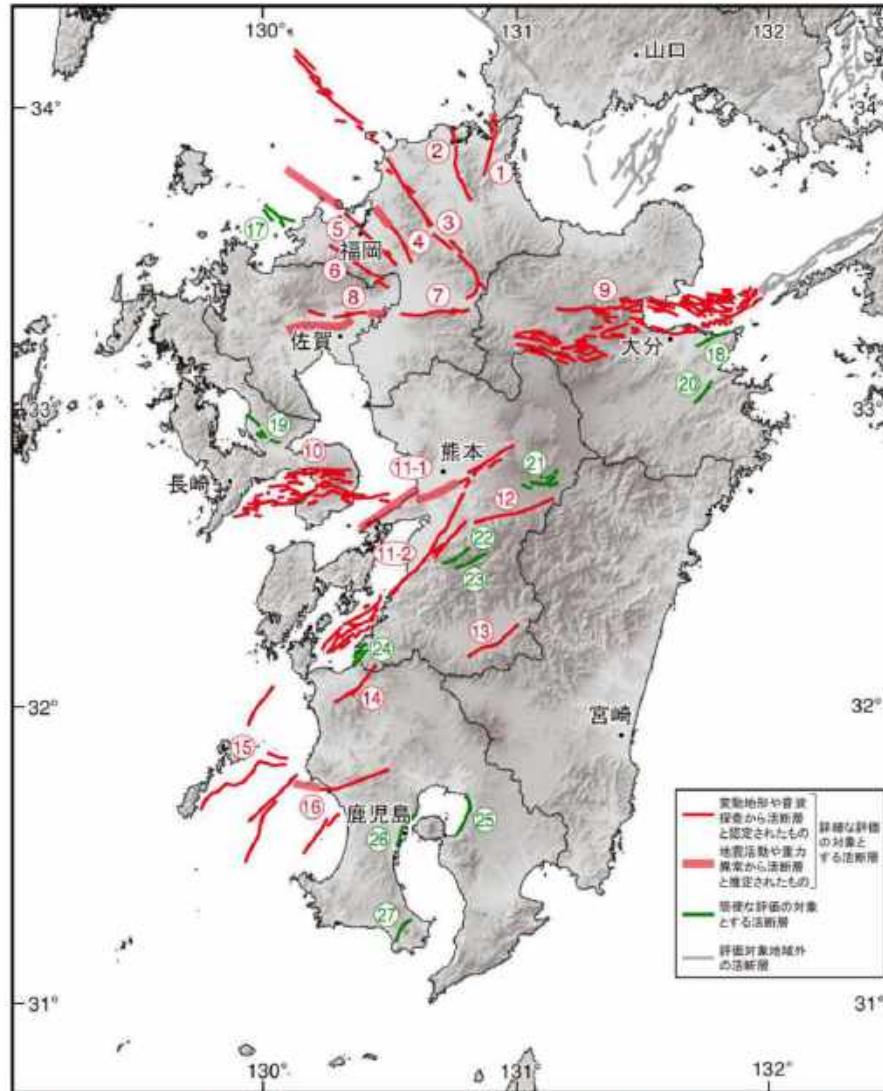
Distribution of JMA seismic intensity
by SIP real-time damage estimation system

2016/04/14 21:26 M6.5

2016/04/16 1:25 M7.3



九州地域評価



- | | | | | |
|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| 1 小倉東断層 | 7 水鏡断層帯 | 12 緑川断層帯 | 17 赤島半島沖断層群 | 23 国見左断層帯 |
| 2 福智山断層帯 | 8 佐賀平野北縁断層帯 | 13 人吉盆地南縁断層帯 | 18 佐賀断層帯 | 24 水原断層帯 |
| 3 西山断層帯 | 9 別府-万年山断層帯 | 14 出水断層帯 | 19 多良岳南西断層帯 | 25 鹿兒島湾東縁断層帯 |
| 4 千度断層帯 | 10 雲仙断層群 | 15 権断層帯 | 20 福良木断層帯 | 26 鹿兒島湾西縁断層帯 |
| 5 笠原断層帯 | 11-1 布田川断層帯 | 16 市東断層帯 | 21 阿蘇外輪断層群 | 27 池田断層帯 |
| 6 日南線-小笠木断層帯 | 11-2 日奈久断層帯 | | 22 熊本断層帯 | |

図2 九州地域(評価対象地域)において評価対象(注4)とする活断層の分布

布田川断層帯・日奈久断層帯の評価

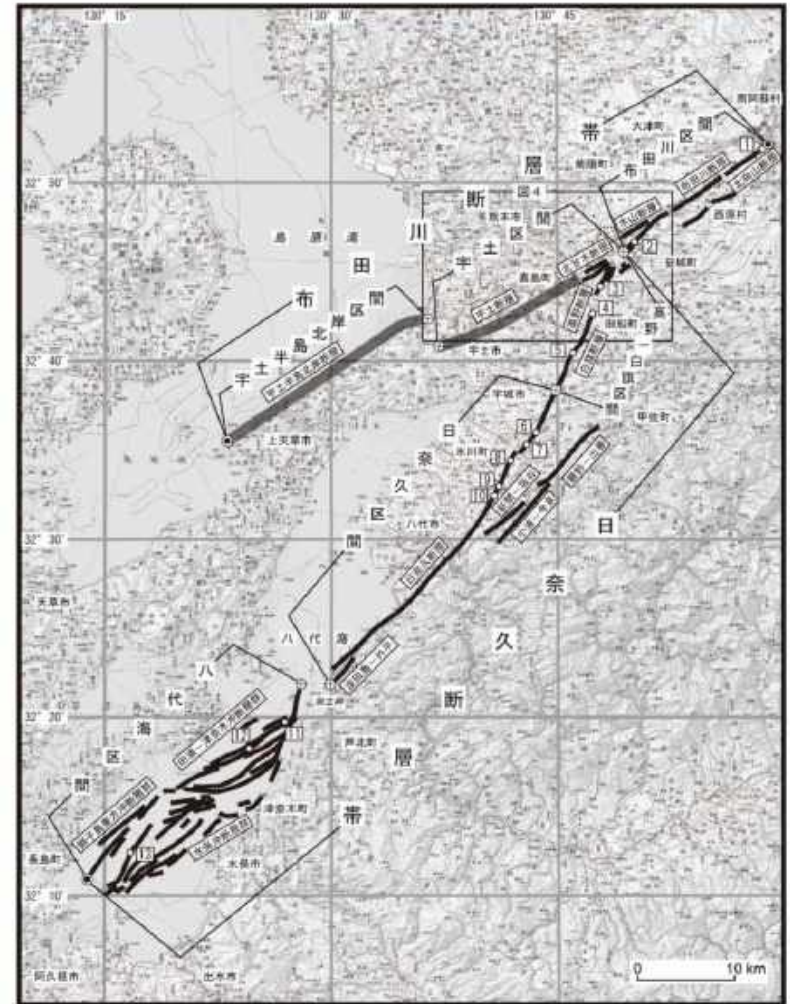


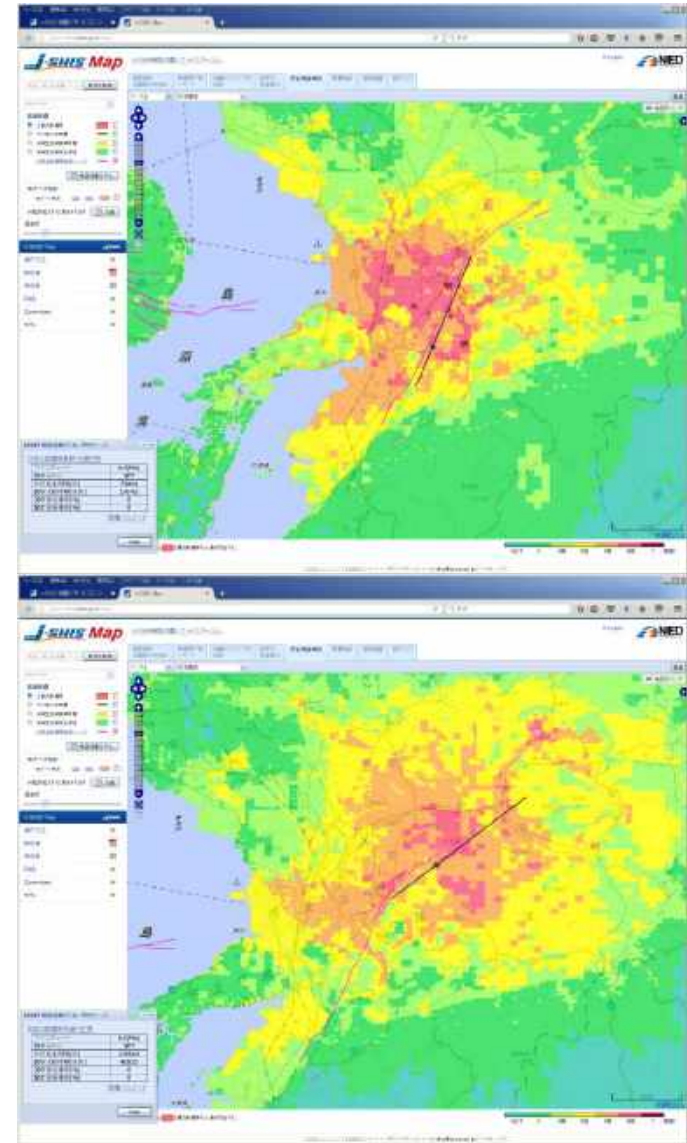
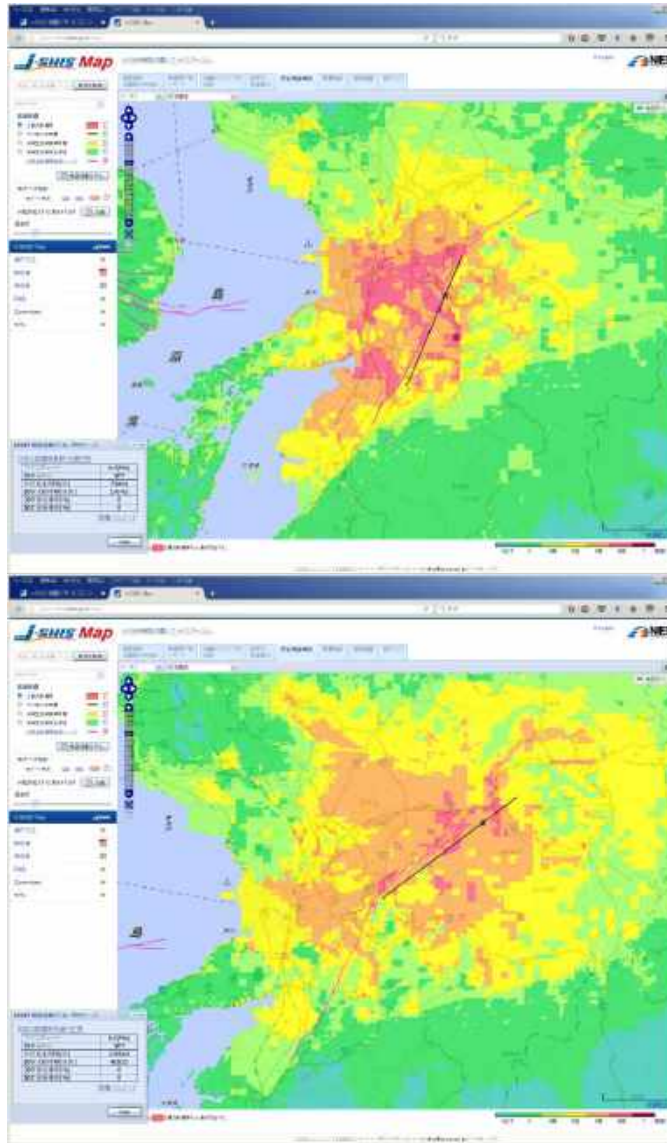
図2 布田川断層帯・日奈久断層帯の活断層位置と調査地点

- 1: 白川左岸地点 2: 田中地点 3: 高木地点 4: 白旗地点 5: 鵜瀬地点 6: 南小野地点 7: 南部田地点 8: 高塚B地点 9: 腹巻田地点 10: 枹地点 11: 八代海白神岩地点 12: 八代海津奈木沖地点 13: 八代海南西部海底地点

●: 断層帯の北東端と南西端 ⊕: 活動区間の境界

地震調査研究推進本部
地震調査委員会 公表資料より

長期評価(九州地域評価)に基づくシナリオ地震に対する地震動の評価

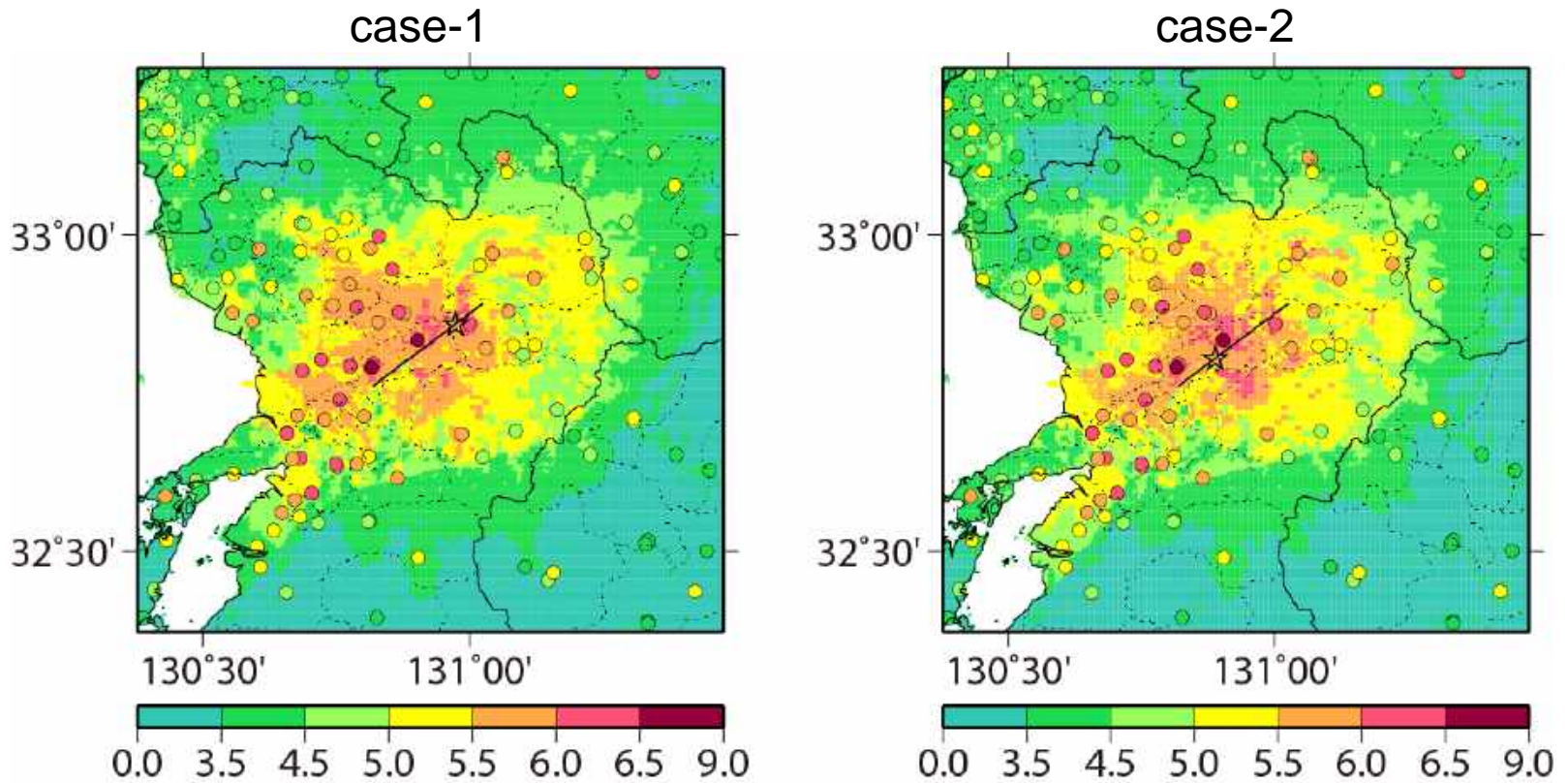


過去の評価

防災科学技術研究所研究資料 第256号 藤原・他(2004)

布田川・日奈久断層帯の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討

Scenario earthquake shaking maps for Futagawa fault zone (HERP, 2014; Fujiwara et al., 2015)

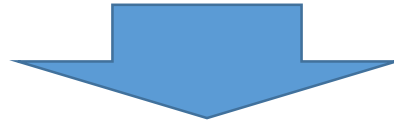


Comparison of observation (○) and simulation (background)

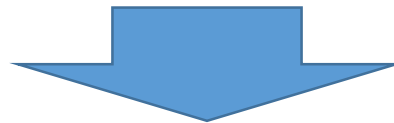
高角な断層への適用に関する課題ー平成28年熊本地震を受けて

4月16日21時25分頃の地震 (M7.3)

- ・ 地震記録の解析による $M_0 = 4 \sim 5 \times 10^{19}$ Nm (気象庁、防災科研など)
- ・ $L = 34$ km (=地表断層長さ)、 $W = 14$ km (地震発生前の評価) とすると
(ア) の手法による設定 . . . $M_0 = 1.3 \times 10^{19}$ Nm
(イ) の手法による設定でも $M_0 = 2.3 \times 10^{19}$ Nm)



- ・ 断層幅が短い高角あるいは鉛直な断層 (=主に横ずれ断層) に対して経験式の平均値を用いて設定すると地震モーメントを過小評価する可能性



- ・ 例えば、入倉・三宅 (2001) の S - M_0 関係において、同一の震源断層面積 (S) に対して標準偏差は約2倍と1/2であり、約4倍のデータもある



各種不確かさを考慮した震源パラメータ設定手法の検討の必要性

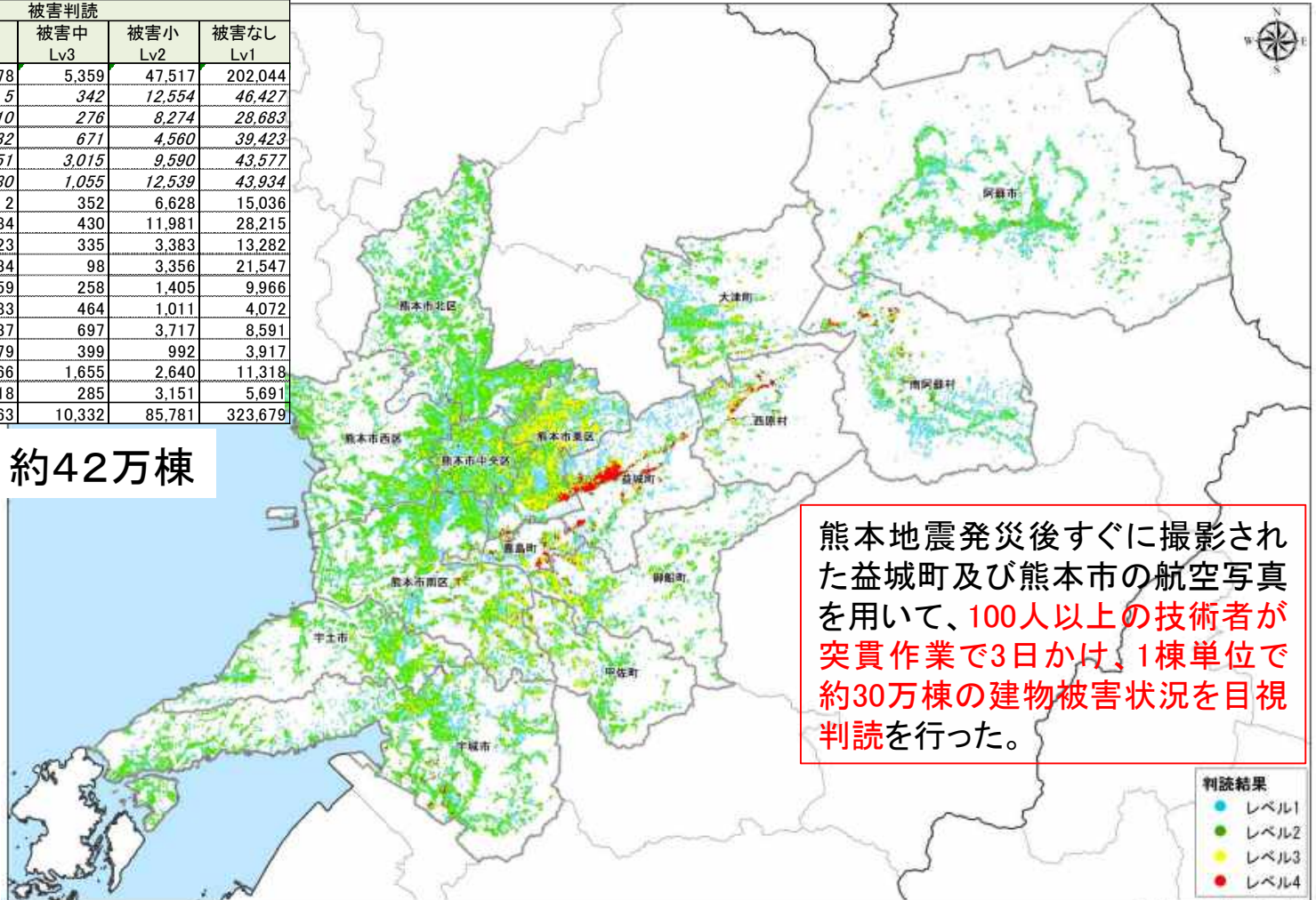
熊本地震の建物被害航空写真判読調査

【本震後の建物被害分布】

建物被害の分布を俯瞰すると、レベル4(被害大)の建物は、震度7を観測した益城町及び西原村に集中的に分布していた。レベル4(被害大)の建物は約2,400棟であり、益城町が約60%を占める。

市区町村	被害判読				
	Lv3+4 (C)	被害大 Lv4	被害中 Lv3	被害小 Lv2	被害なし Lv1
熊本市	5,637	278	5,359	47,517	202,044
北区	347	5	342	12,554	46,427
西区	286	10	276	8,274	28,683
中央区	703	32	671	4,560	39,423
東区	3,166	151	3,015	9,590	43,577
南区	1,135	80	1,055	12,539	43,934
宇土市	354	2	352	6,628	15,036
宇城市	514	84	430	11,981	28,215
大津町	358	23	335	3,383	13,282
阿蘇市	132	34	98	3,356	21,547
南阿蘇村	417	159	258	1,405	9,966
西原村	647	183	464	1,011	4,072
御船町	734	37	697	3,717	8,591
嘉島町	578	179	399	992	3,917
益城町	3,121	1,466	1,655	2,640	11,318
甲佐町	303	18	285	3,151	5,691
合計	12,795	2,463	10,332	85,781	323,679

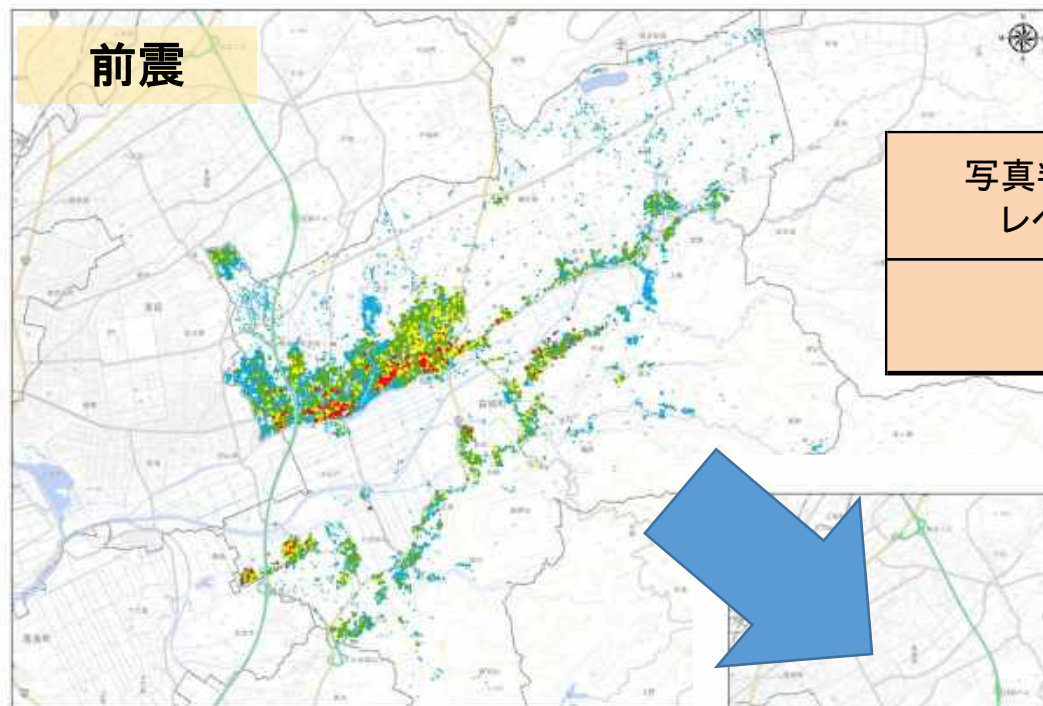
判読棟数: 約42万棟



熊本地震発災後すぐに撮影された益城町及び熊本市の航空写真を用いて、100人以上の技術者が突貫作業で3日かけ、1棟単位で約30万棟の建物被害状況を目視判読を行った。

判読結果
 ● レベル1
 ● レベル2
 ● レベル3
 ● レベル4

繰り返しの揺れに対する被害の拡大 ～益城町における前震と本震後の建物被害分布の比較～



4月15日に、航空機により撮影された解像度20cmの垂直写真及び斜め写真、並びにヘリコプターから撮影された斜め写真による判読

写真判読(前震)
レベル3+4

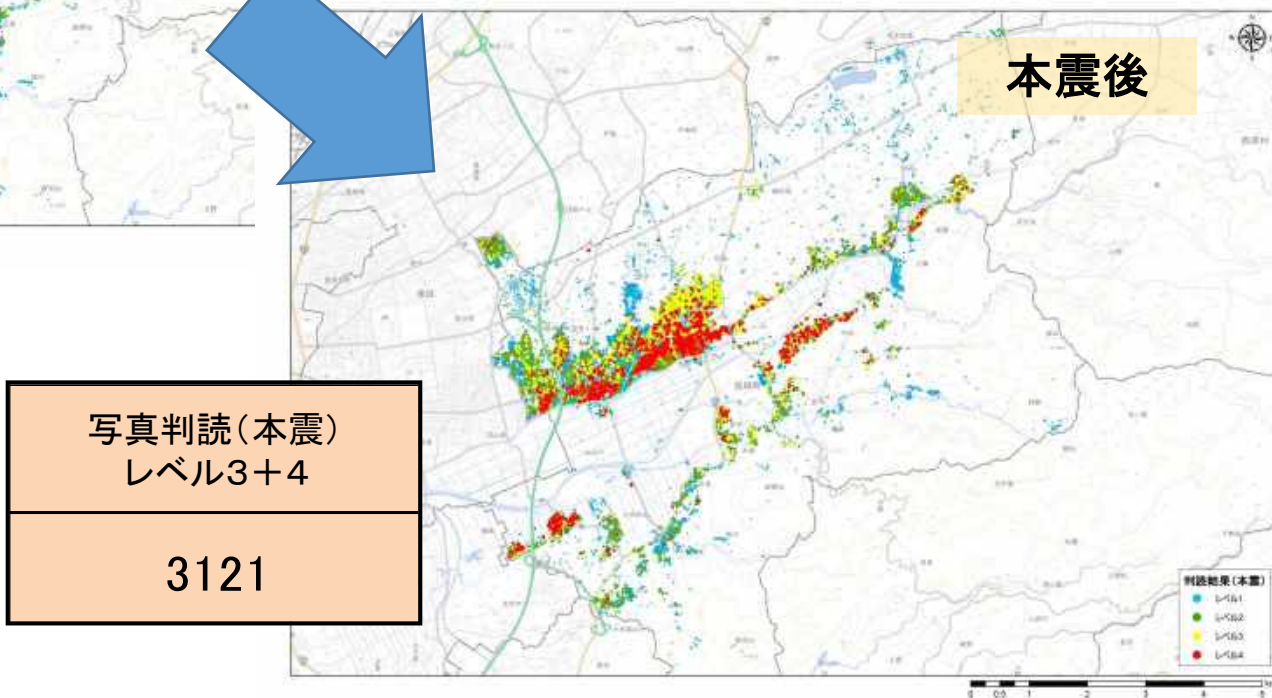
766

- レベル1
- レベル2
- レベル3
- レベル4

4月19日と20日に、航空機により撮影された解像度20cmの垂直写真及び斜め写真、並びに19日にヘリコプターから撮影された斜め写真

中心市街地の区域については、8月上旬に航空機により撮影された解像度7cmの斜め写真

建物高さ差分データとブルーシート解析データ

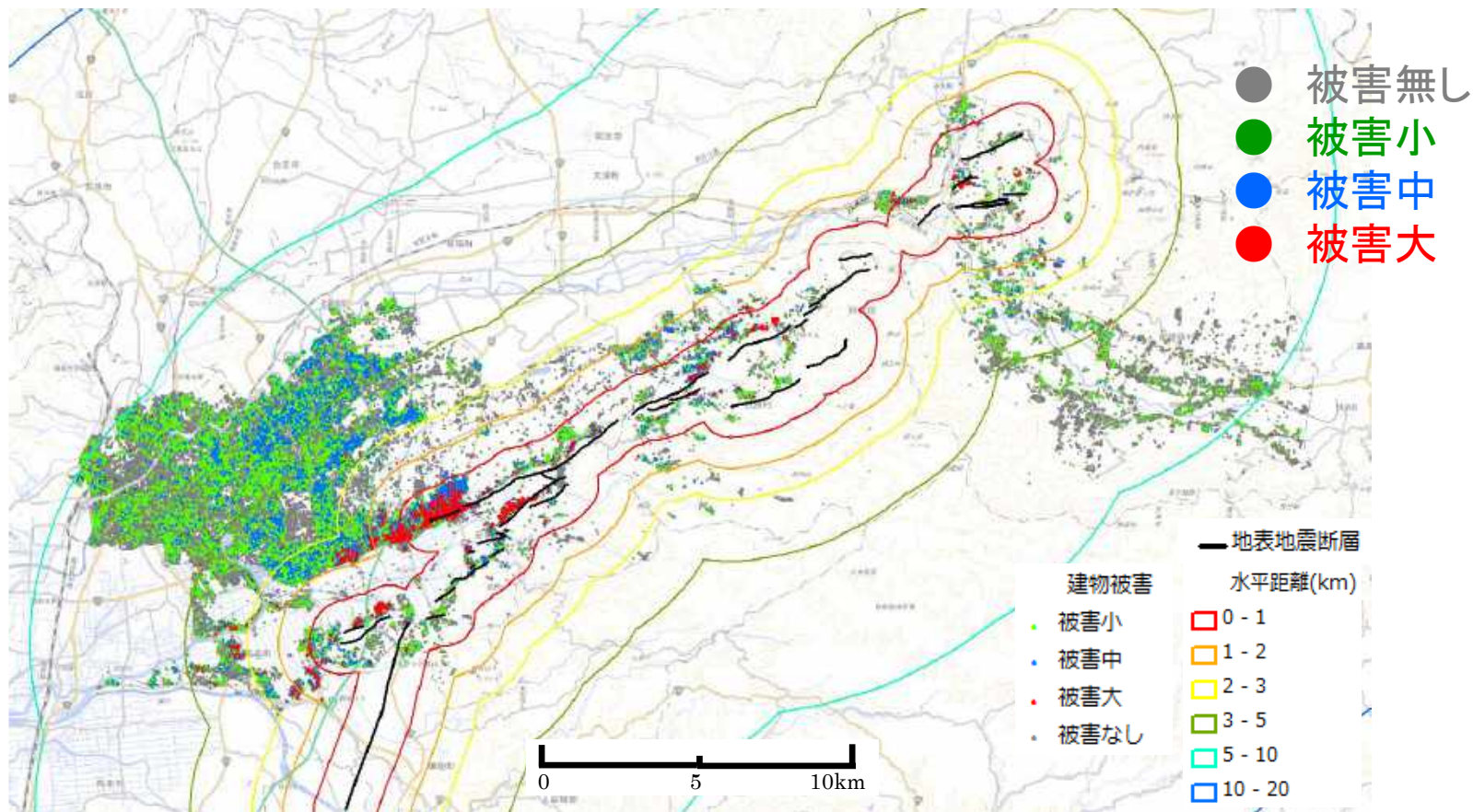


写真判読(本震)
レベル3+4

3121

- 判読結果(本震)
- レベル1
 - レベル2
 - レベル3
 - レベル4

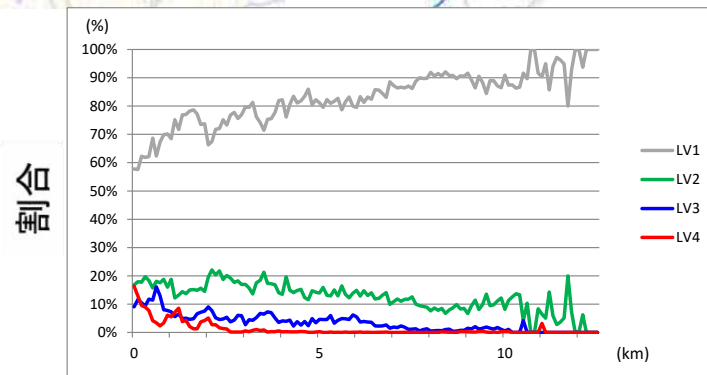
地表地震断層からの距離と被害の関係



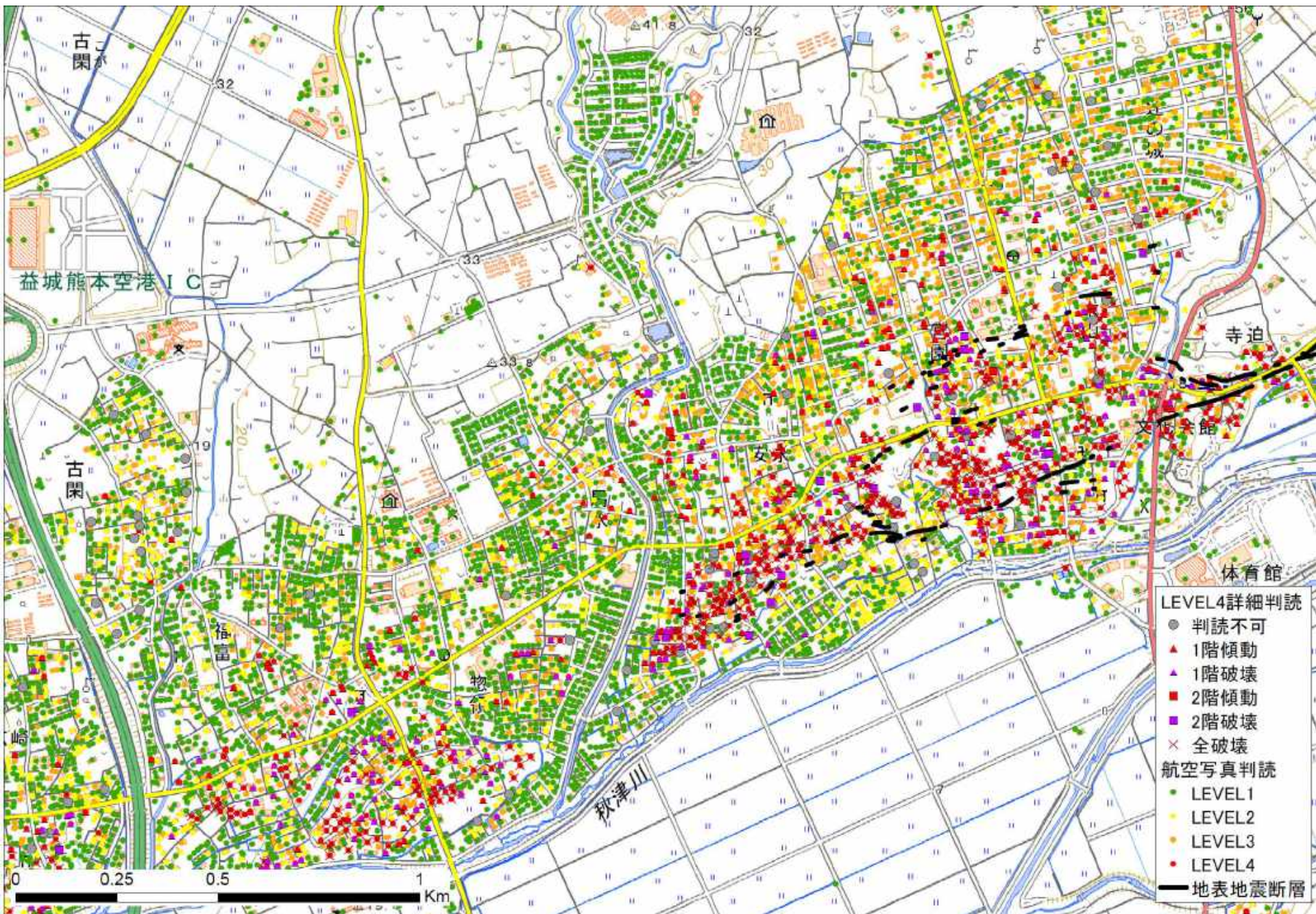
地表地震断層: Shirahama et al. (2016)

地表地震断層から建物までの水平距離100mの範囲ごとに被害棟数および割合を集計

被害レベル4の建物の割合が、地表断層近傍(特に1km以内程度)で急増

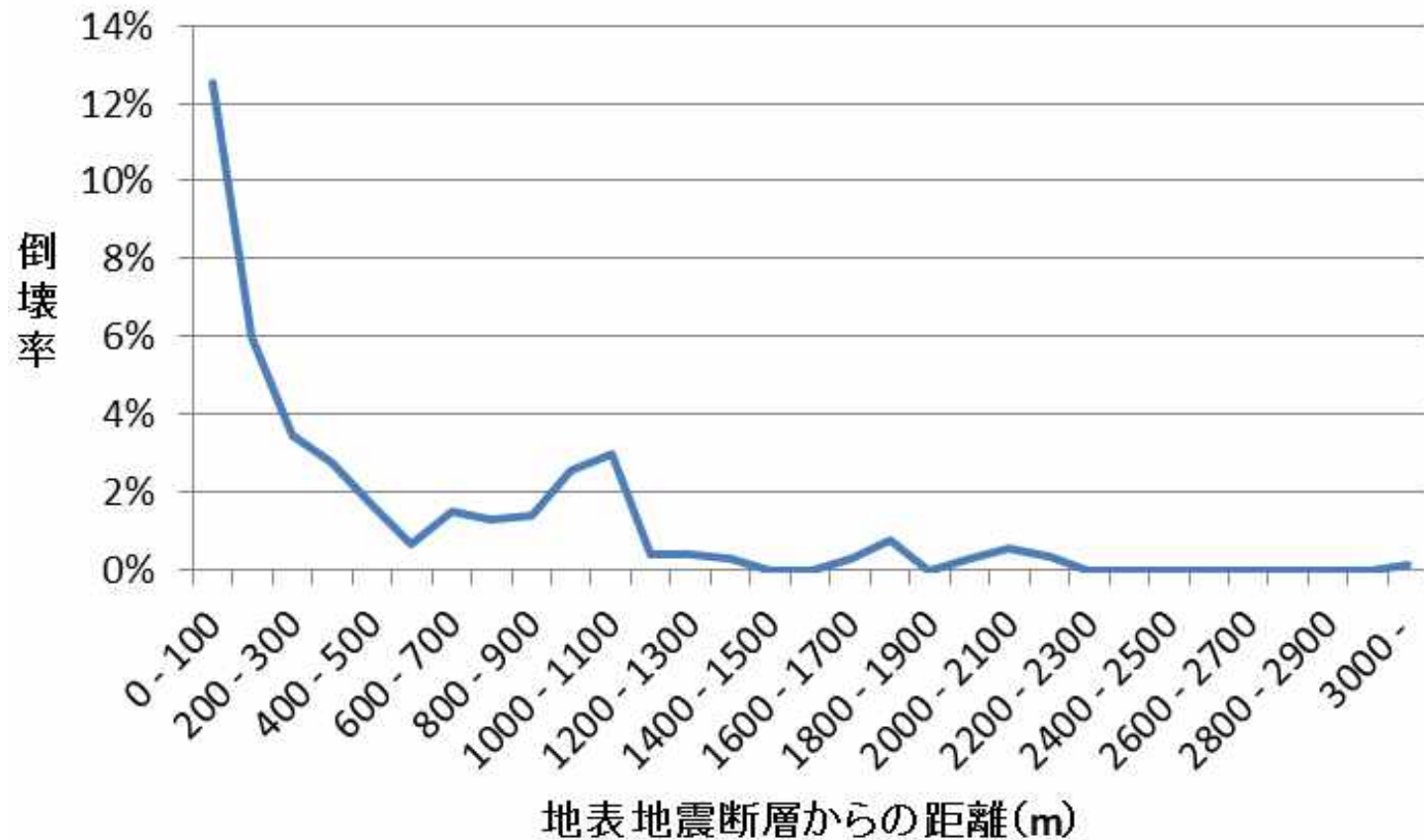


地表地震断層から建物までの水平距離



- LEVEL4詳細判読**
- 判読不可
 - ▲ 1階傾動
 - △ 1階破壊
 - 2階傾動
 - 2階破壊
 - × 全破壊
- 航空写真判読**
- LEVEL1
 - LEVEL2
 - LEVEL3
 - LEVEL4
 - 地表地震断層

地表地震断層からの距離と建物倒壊の関係



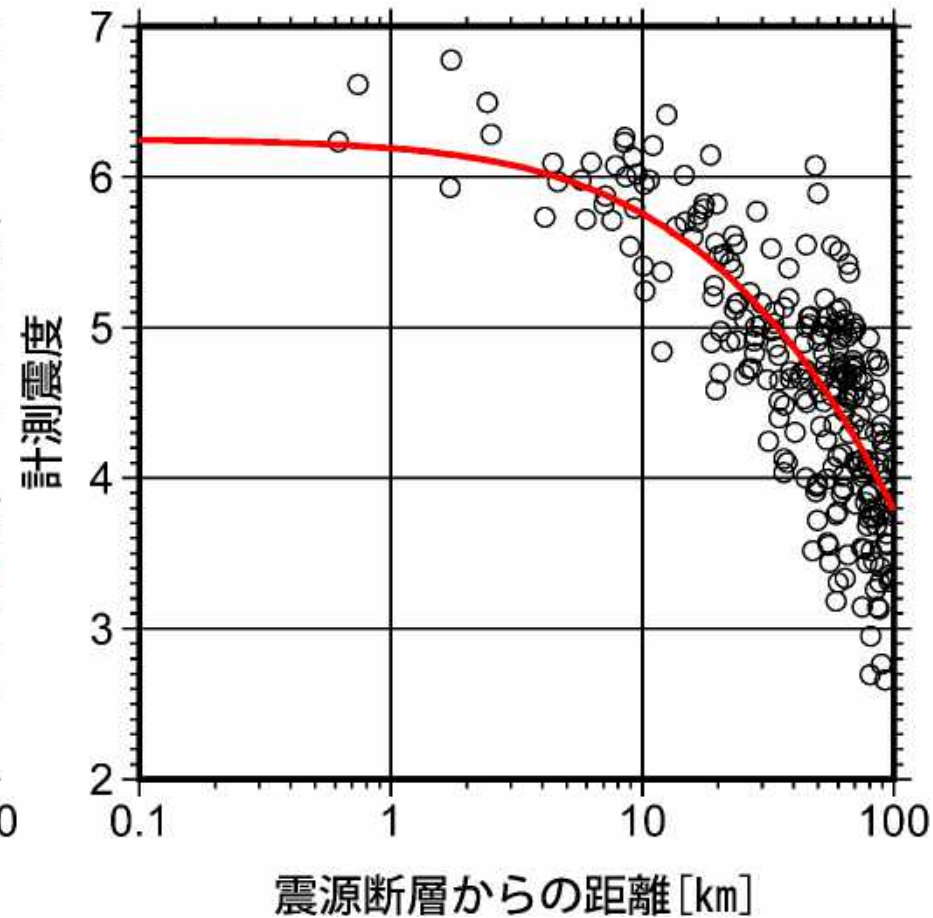
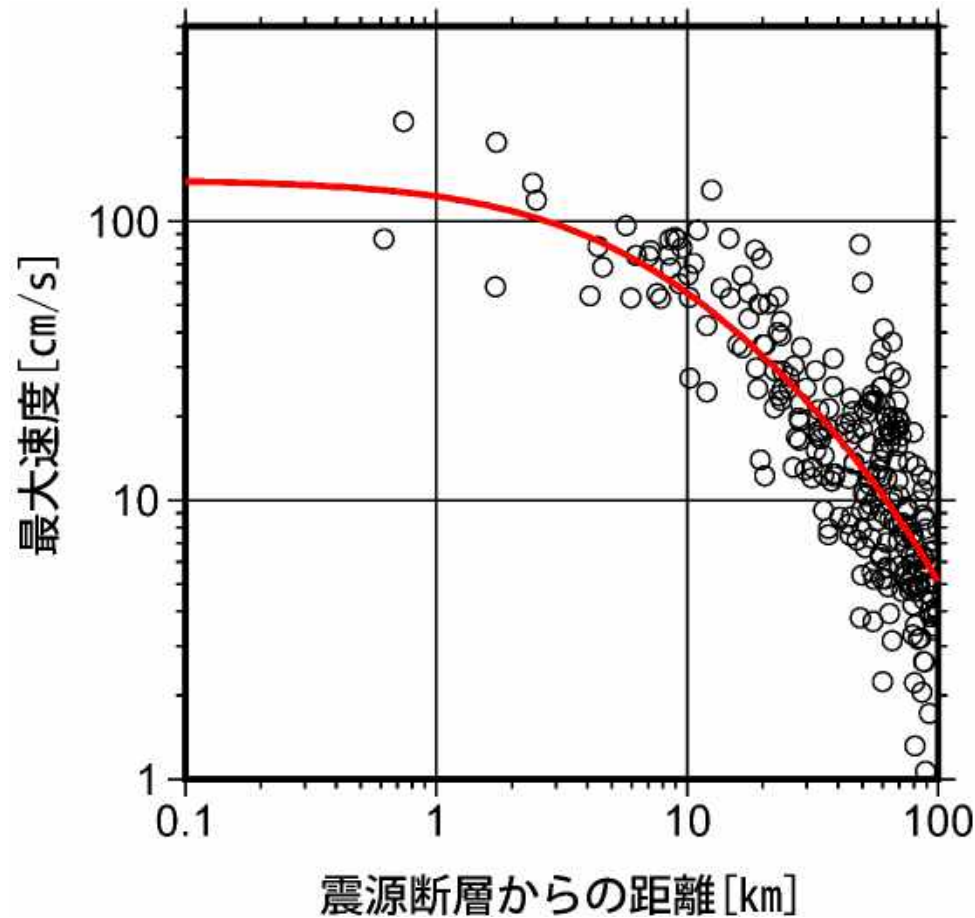
断層上端深さ0kmの場合

最大速度

(Morikawa and Fujiwara, 2013)

計測震度

(Morikawa and Fujiwara, 2013)



○観測 (K-NET, KiK-net地表, 気象庁・自治体震度計)

※震度計は震度5弱以上のみ

確率論的地震ハザード評価 ＋ シナリオ型の地震動予測

確率論的地震ハザード評価とは、

ある地点において将来発生する「地震動の強さ」、「対象とする期間」、「対象とする確率」の3つの関係性を評価するものであり、起こりうるすべての地震を確率・統計的にモデル化し、地点ごとに発生する揺れの強さに対する超過確率を計算する手法

シナリオ型の地震動予測とは、

あるシナリオ地震を想定し、その地震が発生した時の地震動の分布を予測する手法。詳細な強震動評価手法を用いた地震動予測手法の開発も進んでおり、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシピ)」が、地震調査委員会によりとりまとめられている。

本日の話題提供では、上記2つをまとめて「地震動予測」と呼ぶ。

地震動予測の2つの段階

第1段階（地震発生の長期評価）

第1段階は、地震の発生そのものに関する予測

第2段階（強震動評価）

第2段階は、地震が発生したという条件の下での、ある地点での揺れ（地震動）の予測

地震動の予測には**多くの不確かさ**が伴う。

これらの予測においては、**自然現象の多様性**や**ばらつき**を考慮するだけでなく、**人間の側が現在有する知識の限界**などに起因する**認識論的な不確かさ**を考慮することが必要となる。

地震動予測における不確かさの分類

● 偶然的ばらつき (Aleatory Variability)

・自然現象として本質的な不確かさで、予測モデルにおいて確率変数により表現されるもの。

● 認識論的不確定性 (Epistemic Uncertainty)

・知識やデータが不足していることに起因する不確かさで、考え方や手法選択の違いによる不確かさも含む。

特に、これまでの地震動予測においては、
認識論的不確定性の取り扱いが不十分。

長期評価における認識論的不確定性の実例

・南海トラフで発生する巨大地震の発生確率

主文においては、今後30年以内での地震発生確率が最も大きくなる**時間予測モデル(70~80%)**が採用
説明文においては、時間予測モデルのほかに5つのケースに対して地震発生確率(**6~30%程度**)が計算

6%~80%と幅のある中で、最大値が選択

・相模トラフで発生するM8クラスの地震

主文においては、今後30年以内での発生確率が**ほぼ0%~5%**と幅を持って表現
全国地震動予測地図では、繰り返し間隔を315年としてBPTを仮定して計算した値**0.7%**が採用
説明文においては、ポアソン過程を仮定した場合には**10%程度**になることなども記述

ほぼ0%~10%程度と幅のある中で、比較的低い値**0.7%**が選択

強震動評価における認識論的不確定性の実例

海溝型地震 (Subduction)

$M_w > 8.0$, 震源距離 $< 20\text{km}$
のデータが極めて少ない

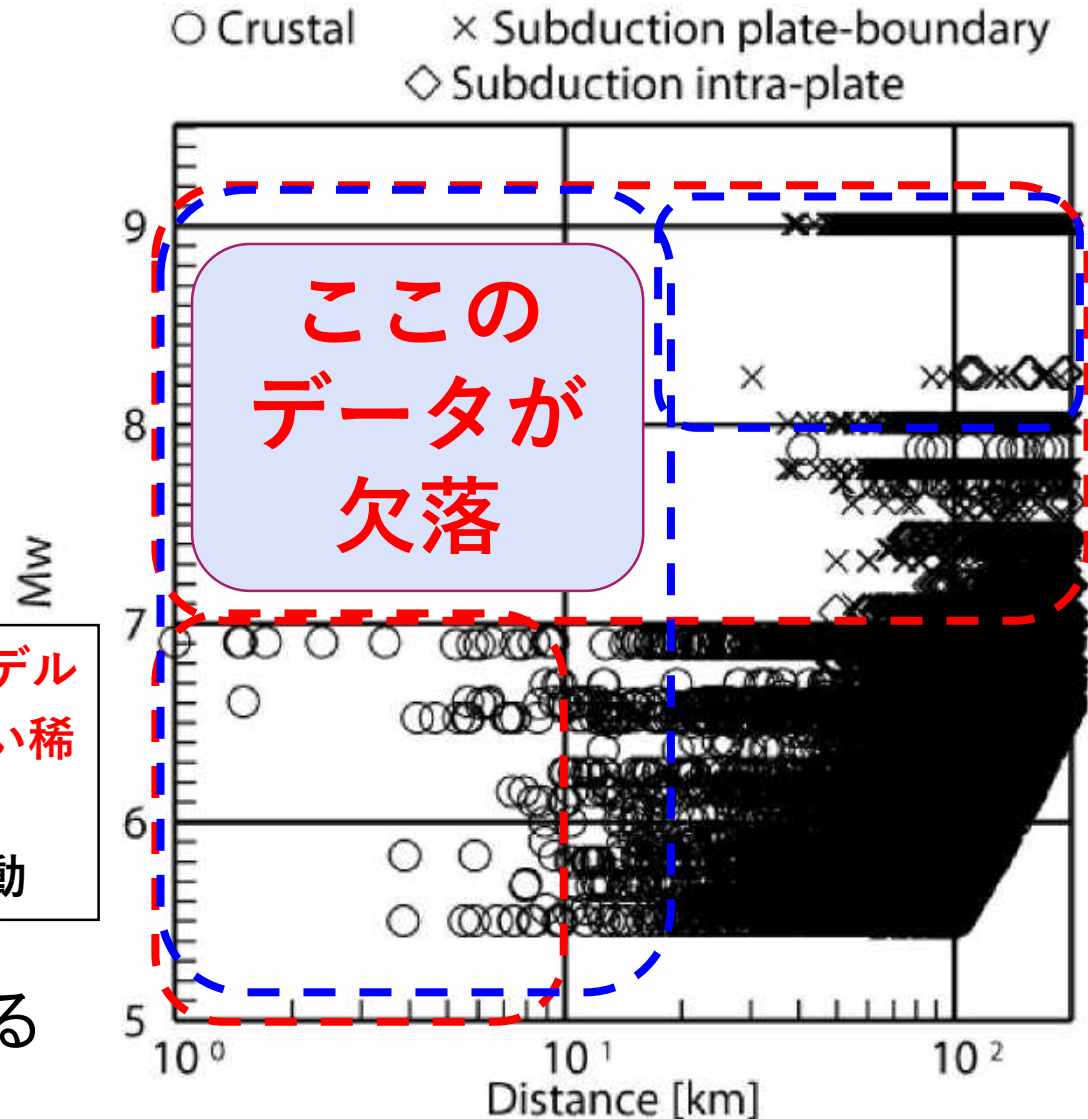
地殻内地震 (Crustal)

$M_w > 7.0$, 震源距離 $< 10\text{km}$
のデータが極めて少ない

巨大地震時の長周期長時間地震動
(主に平野部)のデータも不足

GMPEは観測記録に担保されたモデル
だが、本来予測しなければならない稀
な事象はまだ観測されていない
巨大地震, 断層近傍, 長周期地震動

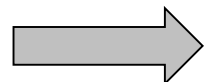
外挿領域での予測における
認識論的不確定性



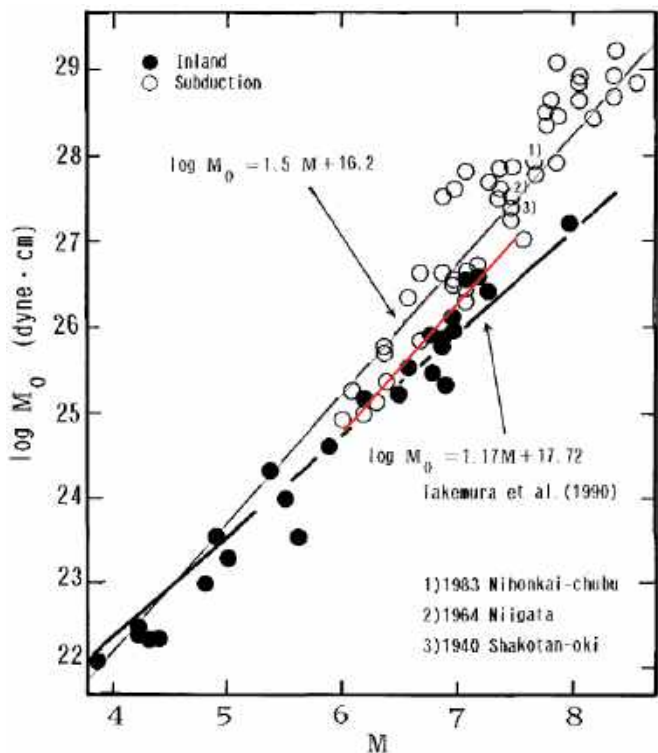
強震動評価における認識論的不確定性の実例

例えば、 M と M_w (M_0) の関係について、

現評価：武村（1990）



$M_w = M - 0.3$ (首都直下地震モデル検討会、2013)
としたモデルなども考慮



$$\log M_0 \text{ (N}\cdot\text{m)} = 1.17M_j + 10.72 \quad \text{武村(1990)}$$

$$\log M_0 \text{ (N}\cdot\text{m)} = 1.2M_j + 10.7 \quad \text{武村(1998)}$$

この2式は本質的に同じもの。
どちらを使うかで、1.6倍程度の差

赤実線 

$$M_w = M - 0.3$$

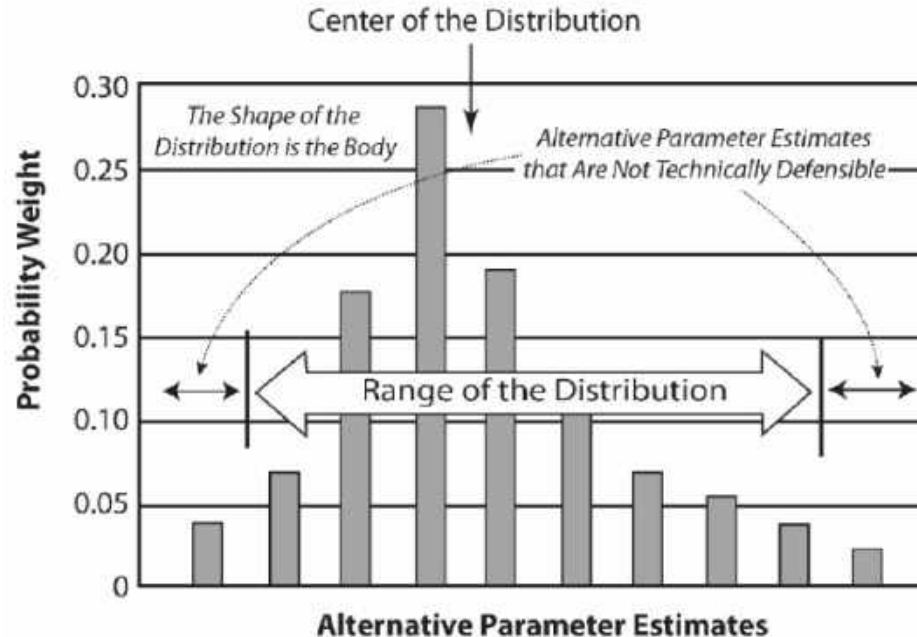
武村（1990）に加筆

SSHACの取り組み

SSHACとは、Senior Seismic Hazard Analysis Committeeの略で、確率論的な地震動評価で必要になる認識論的不確定性について、その検討内容や検討手順を検討するために米国原子力規制委員会の下に設置された委員会である。

委員会での検討結果がSSHACガイドライン(NUREG-2117)として制定されている。

SSHACガイドラインでは、有識者間での議論に基づき、コミュニティ(学会等)における意見分布を合理的、客観的に再現するための方法論がまとめられており、検討内容や検討手順等が精緻に定められている。



IKATA SSHAC PROJECT

FINAL REPORT

IKATA Nuclear power plant
Senior Seismic Hazard Analysis Committee Level 3 Project

伊方 SSHAC プロジェクト 最終報告書

Project Technical Integrator

亀田弘行（京都大学・電力中央研究所）

Seismic Source Characterization Technical Integrator Team Lead

隈元 崇（岡山大学）

Ground Motion Characterization Technical Integration Team Lead

藤原広行（防災科学技術研究所）

Seismic Source Characterization Team

奥村晃史（広島大学）

鈕 榮吉（産業技術総合研究所）

堤 英明（電力中央研究所）

堤 浩之（同志社大学）

遠田晋次（東北大学）

徳山英一（高知大学）

Ground Motion Characterization Team

蛭沢勝三（電力中央研究所）

香川敬生（鳥取大学）

司 宏俊（サイスモ・リサーチ/東京大学）

古村孝志（東京大学）

三宅弘恵（東京大学）

森川信之（防災科学技術研究所）

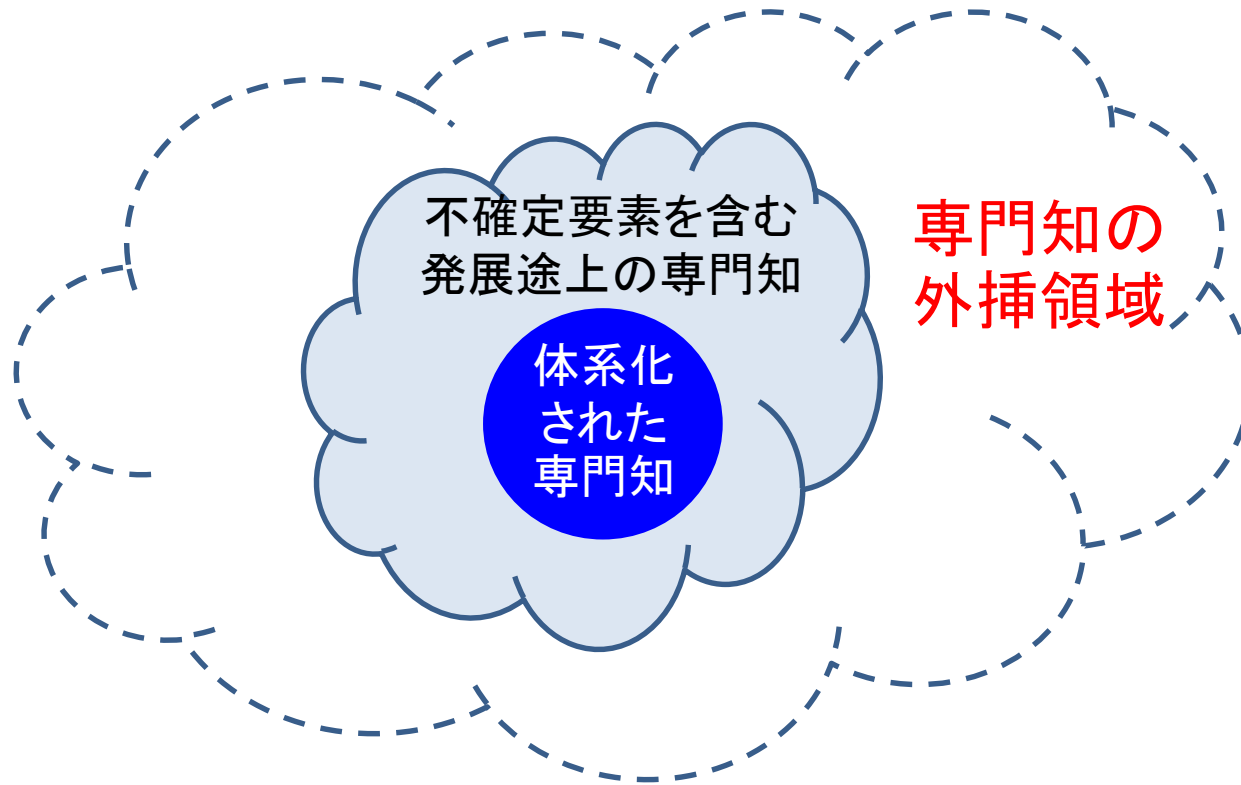
Hazard Analyst

奥村復彦（大崎総合研究所）

宮腰淳一（大崎総合研究所）

2020 年 10 月

専門知の構造(イメージ)



低頻度大規模災害につながるような自然現象については未知の部分が多く、その予測は「**専門知の外挿領域**」での判断が必要になる。

ご清聴ありがとうございました

