

日本海地震・津波調査

3. 津波および強震動の予測

3-1: 津波予測

東京大学地震研究所

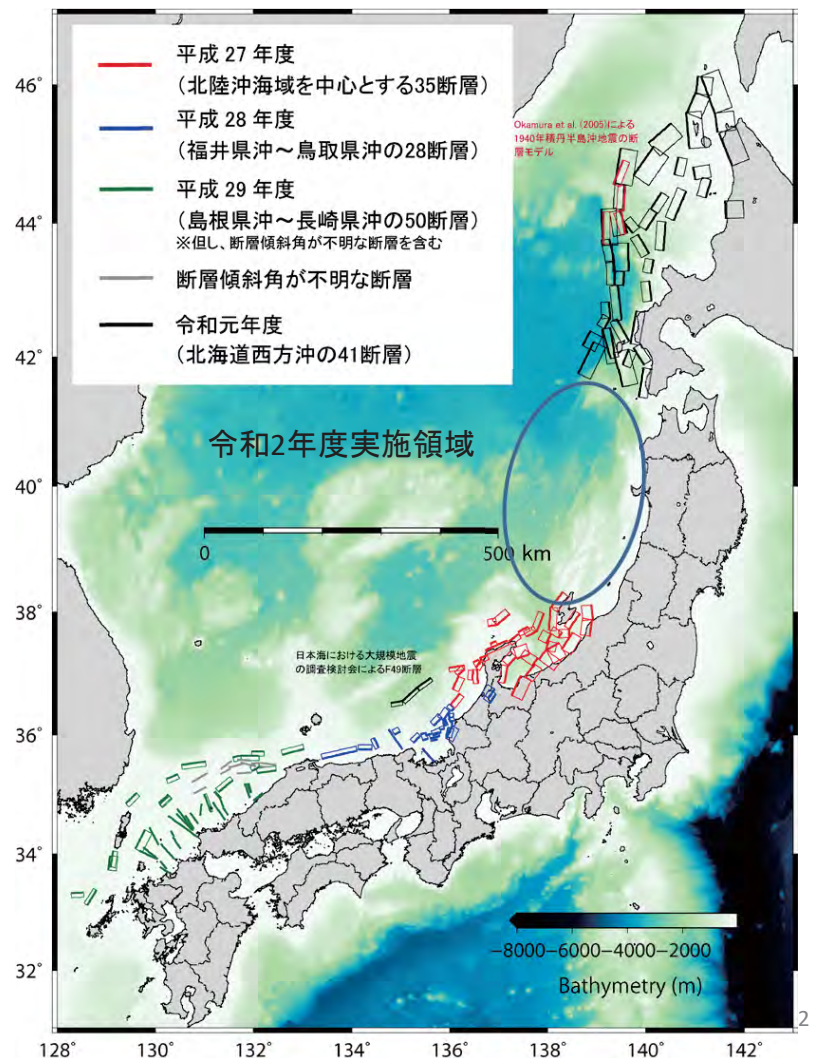
<研究目的>

陸域・海域での構造調査や古地震・古津波・活構造調査などに基づいて得られた断層モデルから、日本海沿岸における津波シミュレーションにより、沿岸での津波波高を予測する。個々の断層モデルに基づく確定論的シナリオモデルの他に、各地に影響を及ぼす可能性のある断層からのシナリオを組み合わせた確率論的な津波予測も行う。なお、本サブテーマでは日本海沿岸の全域について、沿岸での津波の高さを予測し、特定の港湾における浸水・遡上・構造物の影響については、波の分散性も考慮してサブテーマ(1)で実施する。

1

令和2年度実施計画

- ◆ 主に東北沖海域を中心とする海底活断層・沿岸伏在断層について、海域構造調査や海陸統合構造調査により得られた断層モデルに基づき、単独及び連動破壊のシナリオ型津波シミュレーションを実施する。
- ◆ サブサブテーマ2-5-1「断層モデルの構築」において、追加または変更された断層モデル、ならびに地震調査研究推進本部の「レシピ」における2ステージから3ステージへのスケーリング則の変更を受け、該当する断層モデルを対象として、過去年度に遡ってシナリオ型津波シミュレーションを実施する。
- ◆ 日本海沿岸における津波高の確率論的な評価を行う。



2

令和2年度実施計画

● シナリオ型津波シミュレーション

東北沖海域に分布する断層

◆ 日本海プロジェクトによって得られた、東北沖海域に分布する76断層のうち、断層長が20 km以上かつ震源断層が海域にある67断層を対象。

◆ 北海道西方海域、北陸北方海域に分布するに分布する断層との連動も含め、連動する可能性のある断層の組み合わせを考慮した123断層モデル

◆ 隠岐トラフ・大和堆周辺の4断層モデル

既往地震について先行研究のモデル

◆ 1833年天保庄内沖地震

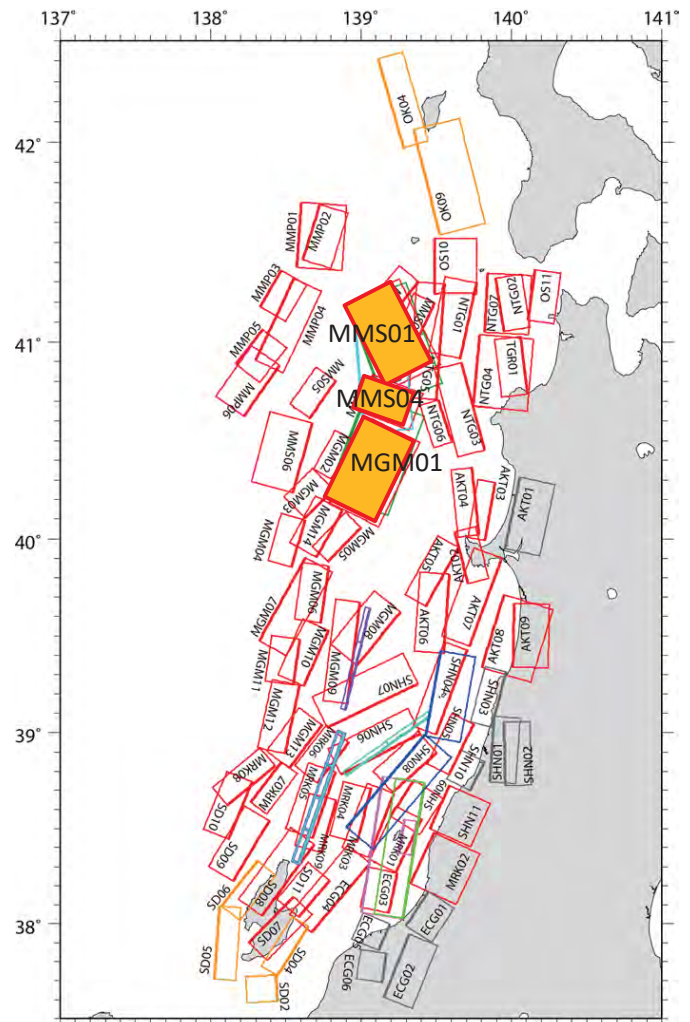
◆ 1964年新潟地震

◆ 1983年日本海中部地震

● 長大断層モデル

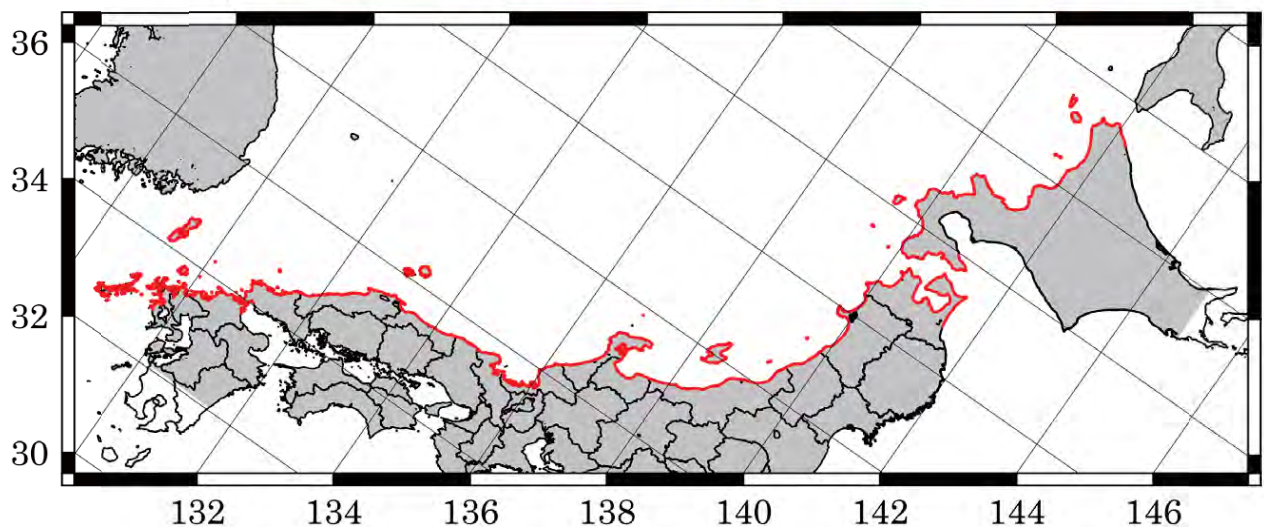
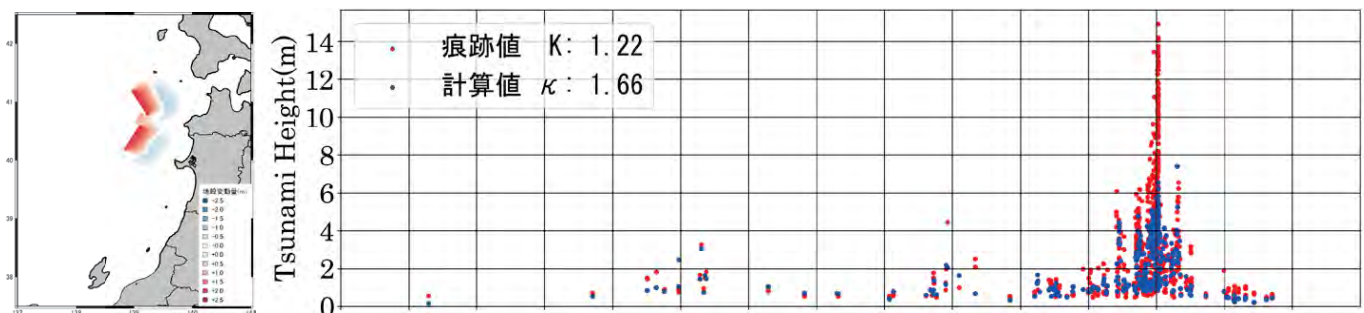
3ステージスケーリング則

● 日本海沿岸の津波高の確率的評価



3

シナリオ型津波シミュレーション (MMS01+MMS04+MGM01)



4

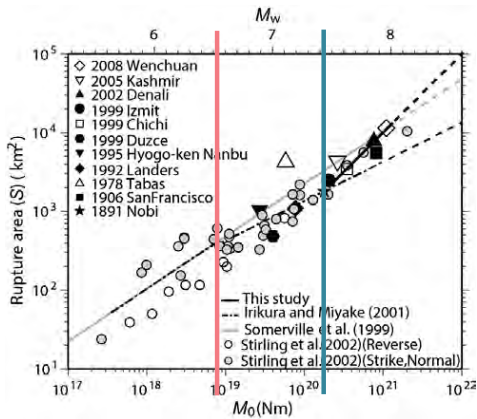
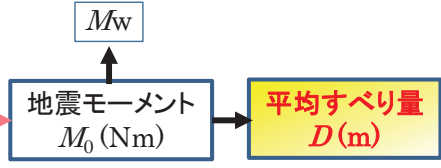
スケーリング則に基づくM_w・断層すべり量の推定 平均すべり量の設定方法（断層長20km以上に対して）

地震本部レシピ(ア) S-M₀ (※L,W既知)

震源断層面積
 $S(\text{km}^2) = L \times W$

1&2ステージめ: 入倉・三宅(2001)
 $S = 4.24 \times 10^{-11} (M_0 \times 10^7)^{1/2}$ for $M_0 \geq 7.5 \times 10^{18} \text{ Nm}$
 $S = 2.23 \times 10^{-15} (M_0 \times 10^7)^{2/3}$ for $M_0 < 7.5 \times 10^{18} \text{ Nm}$

3ステージめ: Murotani et al. (2015)
 $S = 1.00 \times 10^{-17} \times M_0$ for $M_0 \geq 1.8 \times 10^{20} \text{ Nm}$



Murotani et al. (2015, PAGEOPH) より

$M_0 \geq 1.8 \times 10^{20} \text{ Nm}$ ($S \geq 1800 \text{ km}^2$)の3ステージめでは、入倉・三宅式の2ステージを延長した式と比べて、同じ M_0 に対して面積が大きくなる。そのため、本サブテーマで面積の大きい断層に与えていたすべり量は小さくなる傾向になる。

※北海道西方沖における単独4モデル、連動23モデルについて再計算を実施。

日本海沿岸における確率論的津波予測

- ✓ 日本海における大規模地震に関する調査検討会の60断層モデルを用い、日本海沿岸域(北海道、東北、中部、近畿、中国ならびに九州地方)の154自治体における確率論的津波予測を実施した。
- ✓ 成果がEarth Planets and Spaceに掲載された。

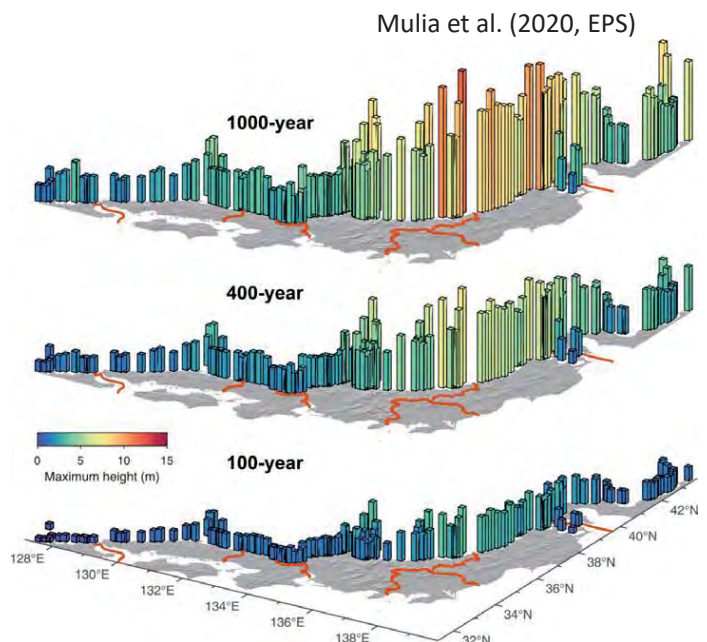
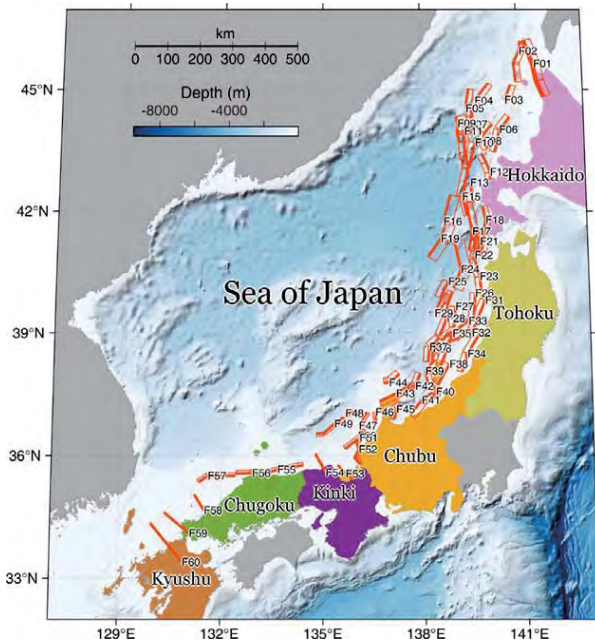
Mulia et al. Earth, Planets and Space (2020) 72:123
<https://doi.org/10.1186/s40623-020-01256-5>

Earth, Planets and Space

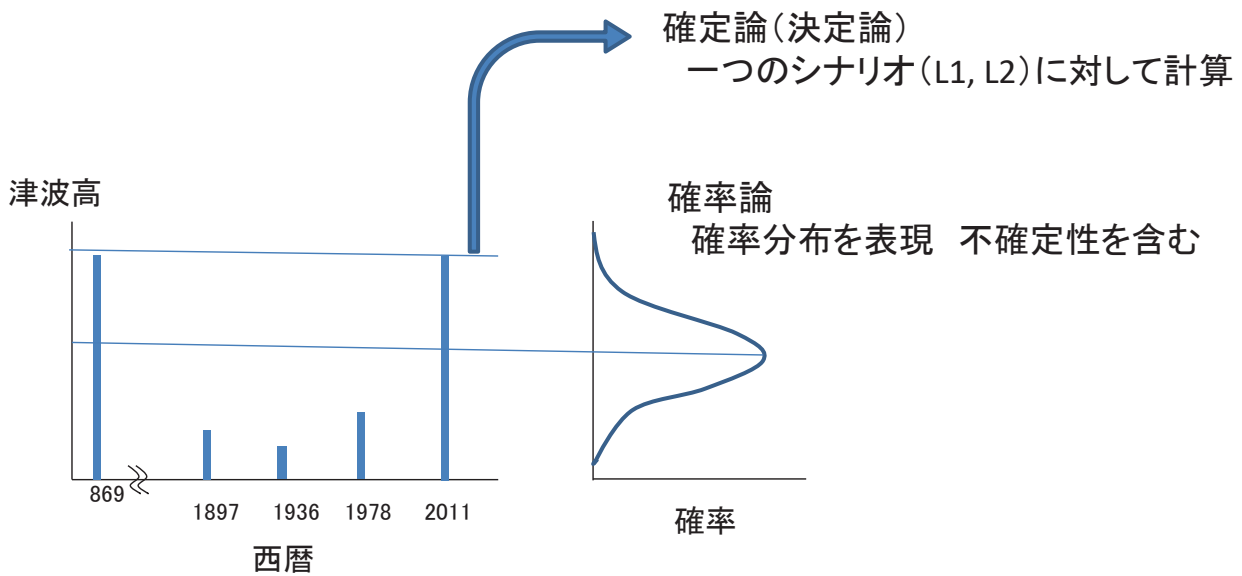
FULL PAPER Open Access

Regional probabilistic tsunami hazard assessment associated with active faults along the eastern margin of the Sea of Japan

Iyan E. Mulia^{1*}, Takeo Ishibe², Kenji Satake¹, Aditya Riadi Gusman³ and Satoko Murotani⁴



確定論(シナリオ型)と確率論的津波予測(評価)

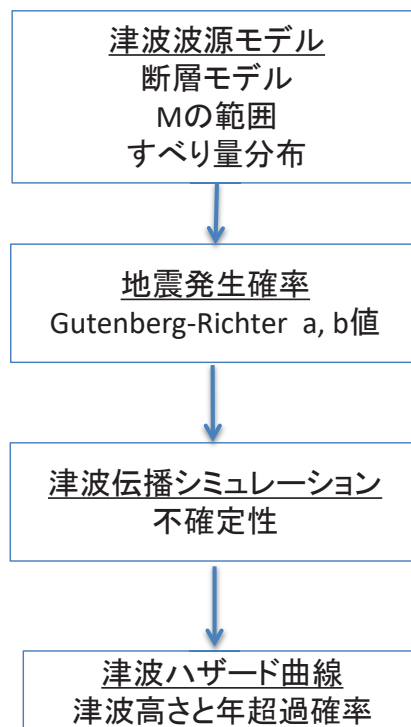
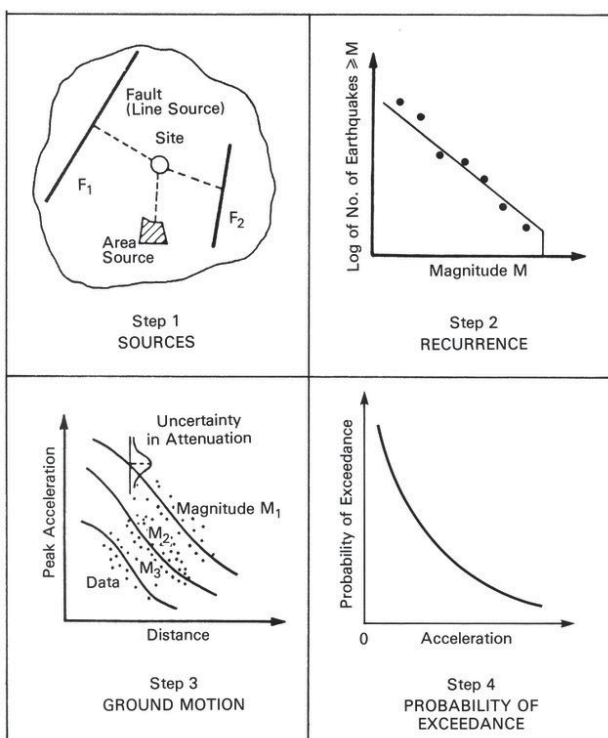


- L1津波**: 発生頻度が高く, 津波は低いものの大きな被害をもたらす津波
 人命に加え, 住民の財産・地域の経済活動・生産拠点の保護のために海岸保全施設などのハード対策
- L2津波**: 発生頻度は極めて低いものの, 発生すれば甚大な被害をもたらす津波
 住民等の生命を守ることを最優先とし, 住民の避難を軸にハード・ソフトの総合的な対策

確率論的津波評価(PTHA)

Probabilistic Seismic Hazard Analysis (Cornell, 1968)

Probabilistic Tsunami Hazard Analysis (PTHA)



確率論的津波評価 (PTHA)

津波高さ H が h を超過する頻度 $\lambda(H > h)$

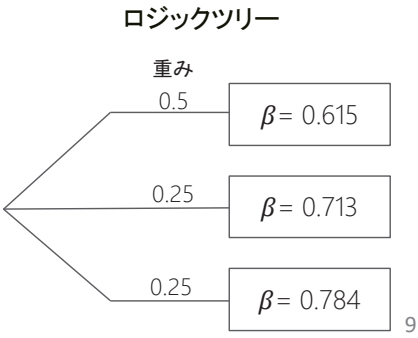
$$\lambda(H \geq h) = \sum_{i=1}^{n_s} v_i \sum_{j=1}^{n_m} P(H \geq h | m_j) P(M_i = m_j)$$

$v_i = \lambda(M_i > m_{\min}) = 10^{a-bm_{\min}}$
各断層における地震の発生確率 (G-R式)

マグニチュード m の地震の発生確率
 $P(M_i = m_j) = F_M(m_j + 0.5\Delta m) - F_M(m_j - 0.5\Delta m)$
 $F_M(m) = \frac{1 - 10^{-b(m-m_{\min})}}{1 - 10^{-b(m_{\max}-m_{\min})}}$

マグニチュード m の地震について、津波高さ H が h を超過する確率
 $P(H > h | m) = 1 - \Phi\{\ln(h) | \overline{\ln(H)}, \beta\}$
 Φ 分布関数 (対数正規分布)
 β ばらつき

$\beta = \ln(\kappa)$ ばらつき は 過去の津波高さとの比較から算定
1940年積丹半島沖 $K=1.15, \kappa=1.85 \rightarrow \beta=0.615$
1964年新潟地震 $K=0.99, \kappa=2.04 \rightarrow \beta=0.713$
1983年日本海中部地震 $K=0.99, \kappa=1.85 \rightarrow \beta=0.615$
1993年北海道南西沖地震 $K=0.99, \kappa=2.19 \rightarrow \beta=0.784$
 β の値は認識論的不確定性 \rightarrow ロジックツリー



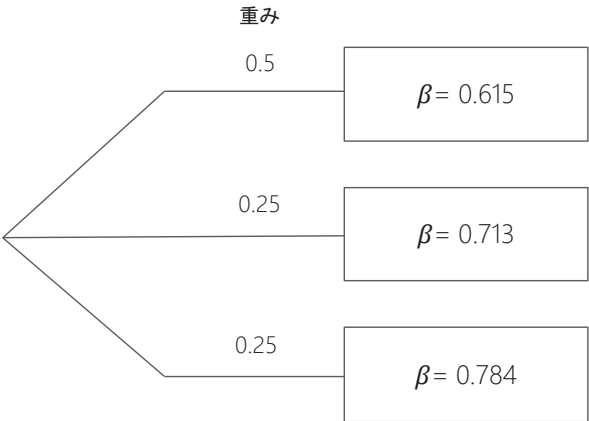
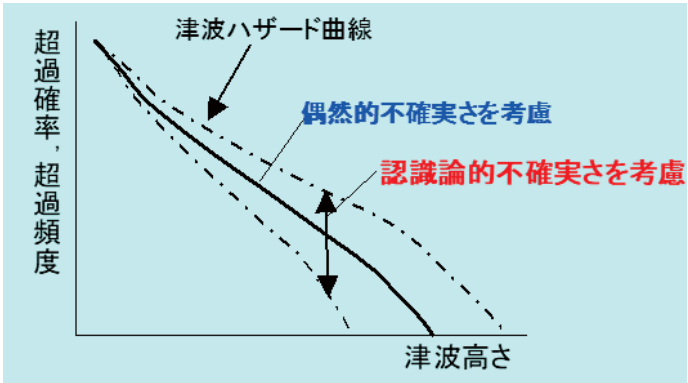
確率論的津波評価 (PTHA)

偶然的な不確定性 (ばらつき)
Aleatory uncertainty

- 物理現象に固有のばらつき
- ハザード曲線で表現

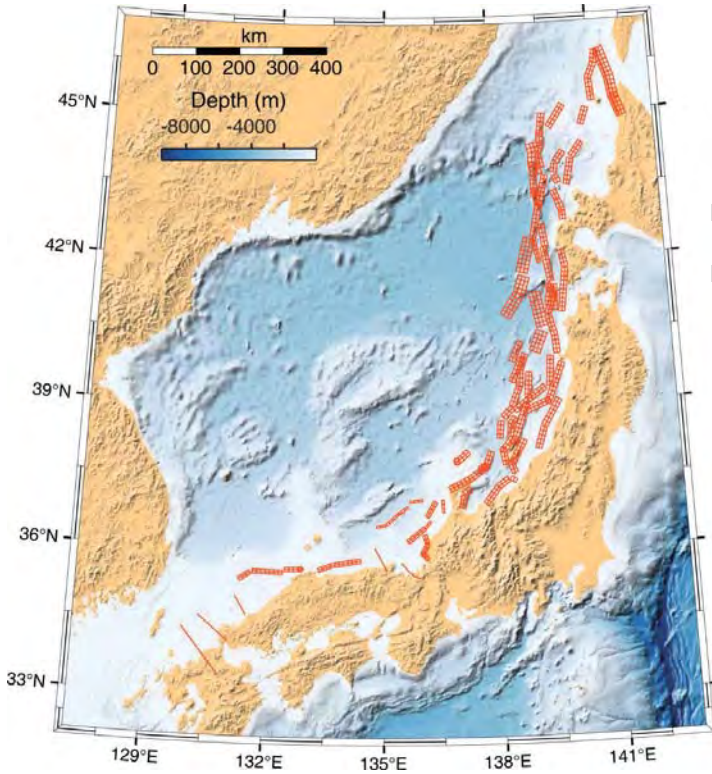
認識論的不確定性
Epistemic uncertainty

- 知識不足による不確定性
- 研究が進めば小さくなる
- ロジックツリーの分岐で表現



日本海沿岸域における確率論的津波予測

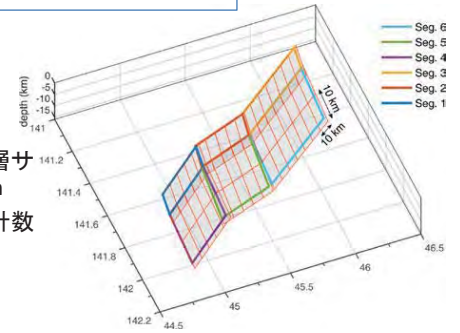
断層モデルの作成例とグリーン関数の計算



断層モデル作成例

F01断層

- サブフォルトの断層サイズは10 km × 10 km
- サブフォルトの合計数は994



グリーン関数の計算

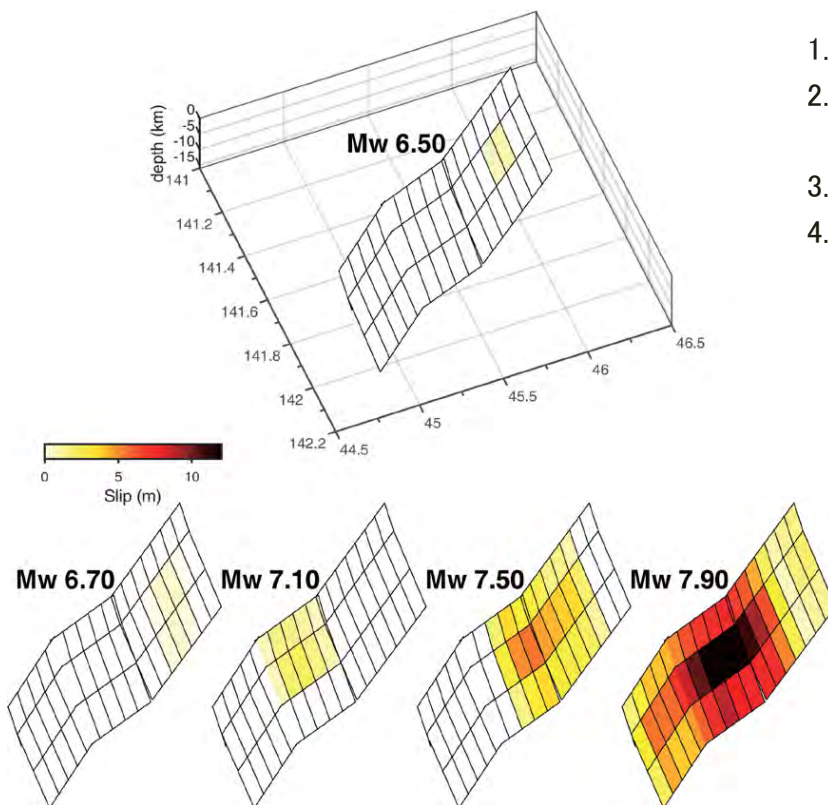
1. 断層パラメータを用いそれぞれのサブフォルトで1mのすべりを与え、154自治体における水深50 mの出力点を設定する
2. 津波伝播計算を実施し、出力点における津波波形を保管する
3. グリーンの法則を適用し、水深1mにおける最大津波高を推定する

- 30秒と10秒の2段階のネスティングを用いた計算を実施
- 水平方向の変位による寄与 (Tanioka and Satake, 1996)ならびに梶浦フィルターを適用した初期水位から、JAGURS (Baba et al., 2015)を用いて伝播計算(6時間分)を実施

11

日本海沿岸域における確率論的津波予測

確率論的震源モデリング



1. 最小マグニチュード: Mw 6.5.
2. 最大マグニチュード: 断層サイズに依存
3. マグニチュード刻み: 0.1.
4. 空間的にランダムなすべり分布モデル (Mai & Beroza, 2002の手法による)
 - von Karman型の相関係数を使用
 - 断層長、断層幅ならびに平均すべりは、Wells & Coppersmith (1994)のスケリング則を用いてMwから計算(剛性率 3×10^{10} N/m²を仮定)
 - 断層の全体を破壊しない地震の破壊域をランダム化

12

日本海沿岸域における確率論的津波予測

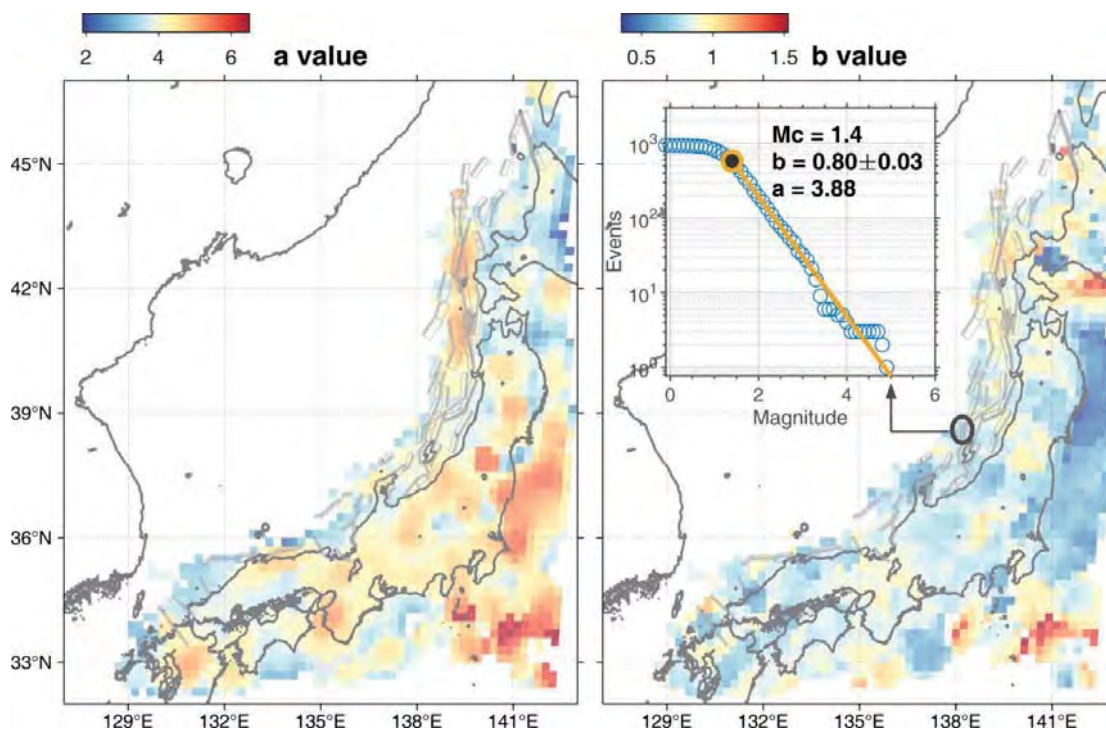
確率論的震源モデル(シナリオ)数

No	Mw	Number of fault with magnitude Mw (A)	Number of samples at each magnitude bin (B)	Total samples at each magnitude bin = A × B
1	6.5	60	150	9000
2	6.6	60	145	8700
3	6.7	60	139	8340
4	6.8	60	134	8040
5	6.9	59	129	7611
6	7.0	57	123	7011
7	7.1	57	118	6726
8	7.2	55	113	6215
9	7.3	48	107	5136
10	7.4	36	102	3672
11	7.5	27	96	2592
12	7.6	20	91	1820
13	7.7	12	86	1032
14	7.8	8	80	640
15	7.9	2	75	150
合計シナリオ数				76685

13

日本海沿岸域における確率論的津波予測

ゲーテンベルグ・リヒター(G-R)則のパラメータ推定



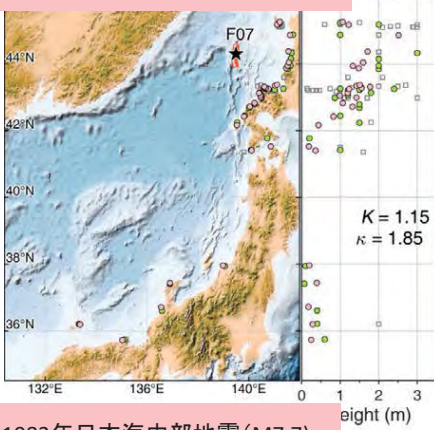
- 1997~2017年の気象庁震源カタログ(深さ50 km以浅)を用い、解析にはZMAPを使用。
- 解析対象点から半径35 km以内の地震活動を抽出。Maximum Curvature (MAXC)法により均質限界マグニチュードを推定し、G-R則のパラメータ(a値、b値)を推定。

14

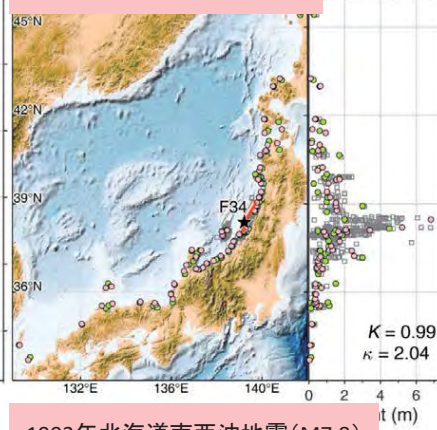
日本海沿岸域における確率論的津波予測

歴史地震津波による痕跡高との比較

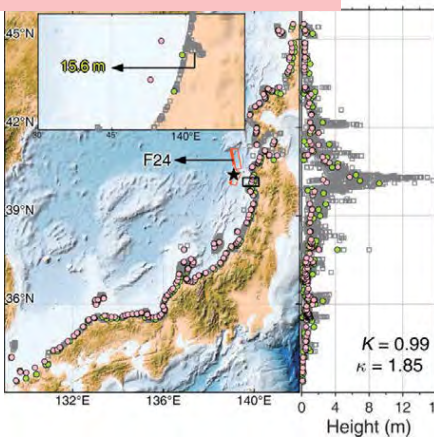
1940年積丹半島沖の地震 (M7.5)



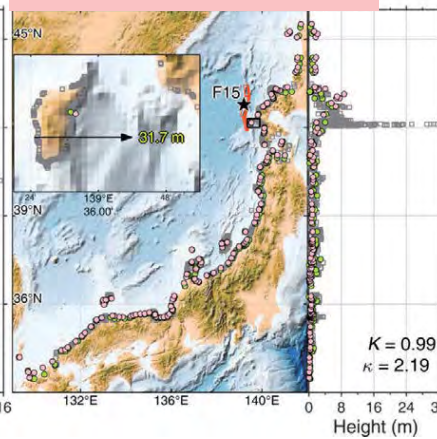
1964年新潟地震 (M7.5)



1983年日本海中部地震 (M7.7)



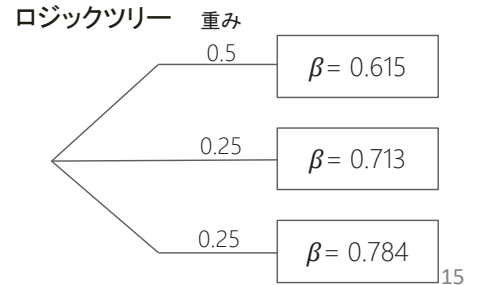
1993年北海道南西沖地震 (M7.8)



- 歴史地震津波による痕跡高は、東北大学(災害科学国際研究所津波工学研究分野)および原子力安全基盤機構(現原子力規制庁)による津波痕跡データベースを使用
- 相田(1978)の K 、 κ については、グリーンの法則を適用後の計算津波高と痕跡高を用いて計算
- $\beta = \ln(\kappa)$ からばらつき β を推定

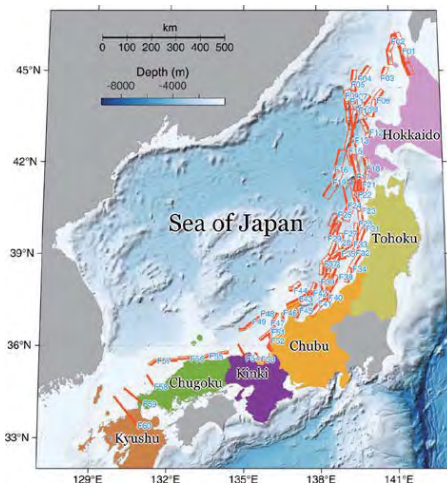
灰色四角: 津波痕跡点と高さ

緑丸: 興味のある出力点(ピンク丸)に最も近い観測点での計算津波高

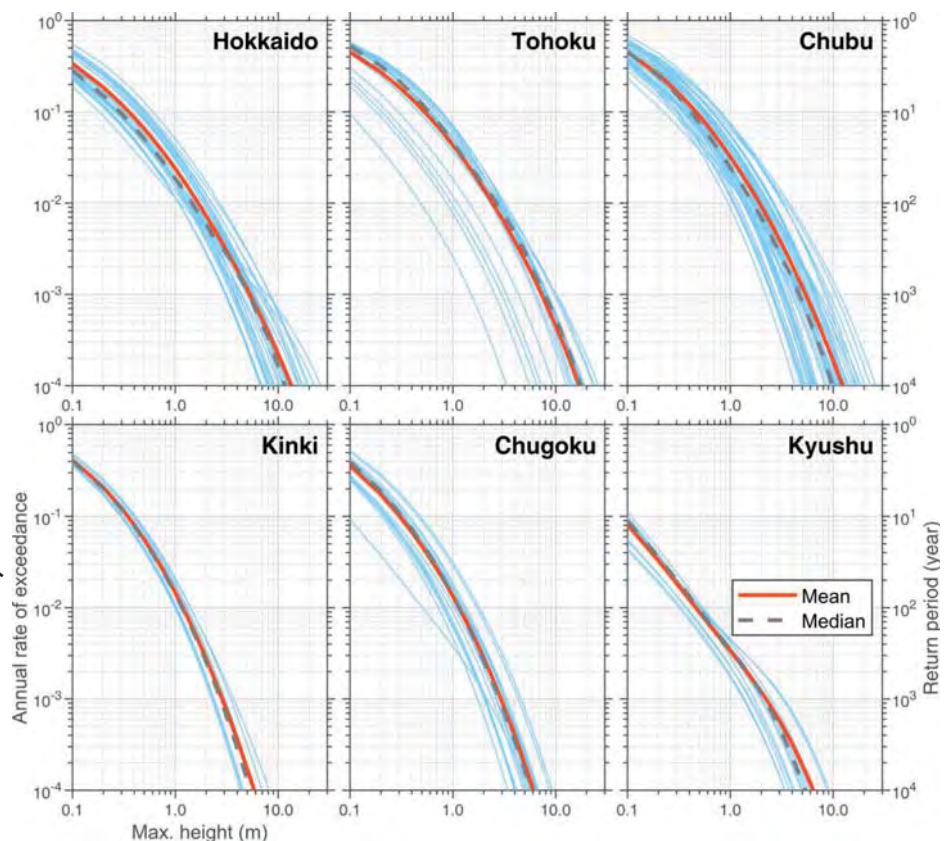


日本海沿岸域における確率論的津波予測

それぞれの地域におけるハザードカーブ

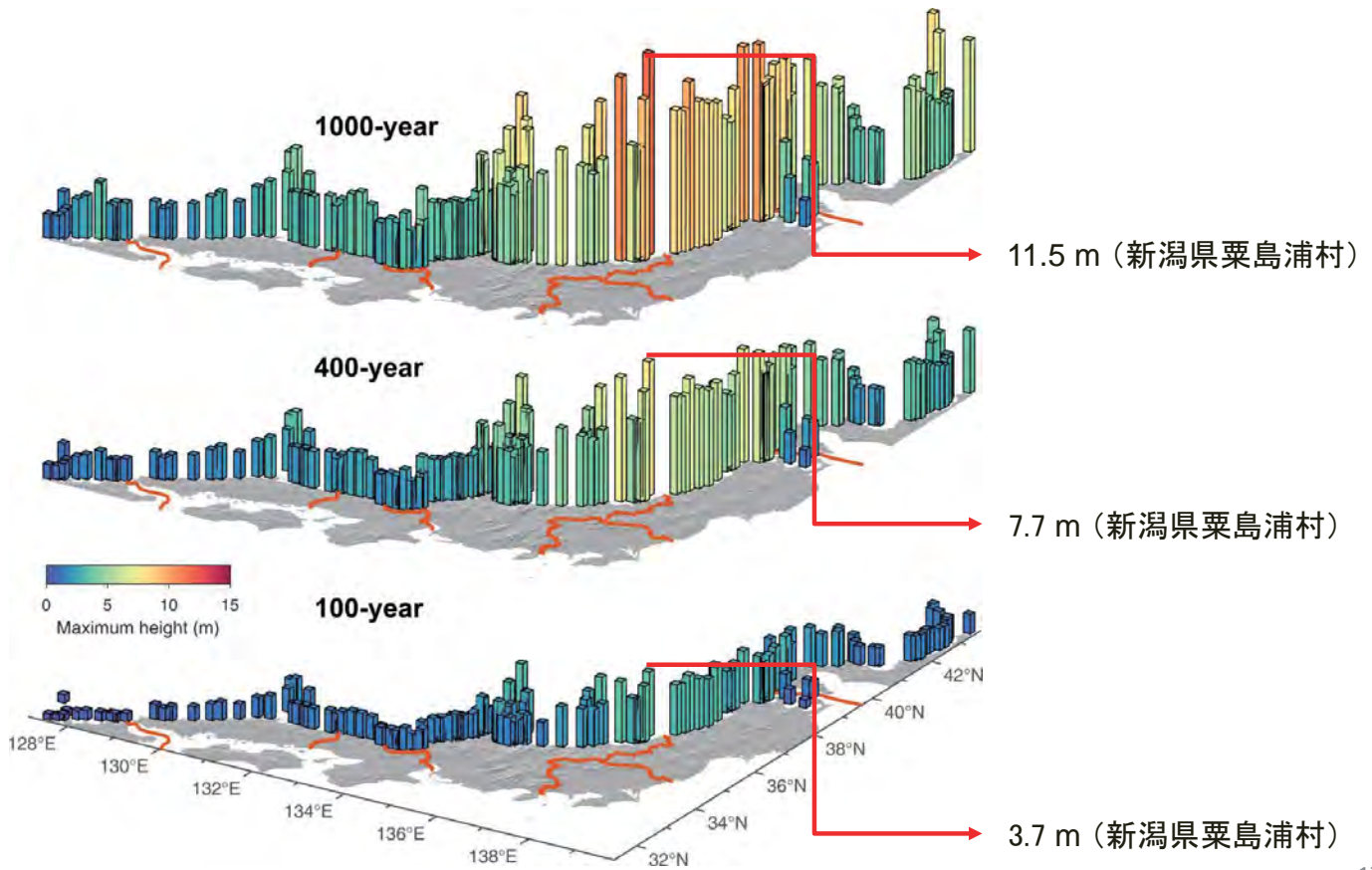


- 逆断層が卓越する北海道、東北、中部地域に比べ、横ずれ断層が分布する中国ならびに九州地域では相対的に低ハザードとなっている。
- 中部地域以北と近畿以西で大きく異なる断層数もハザードカーブの地域性に寄与している。



日本海沿岸域における確率論的津波予測

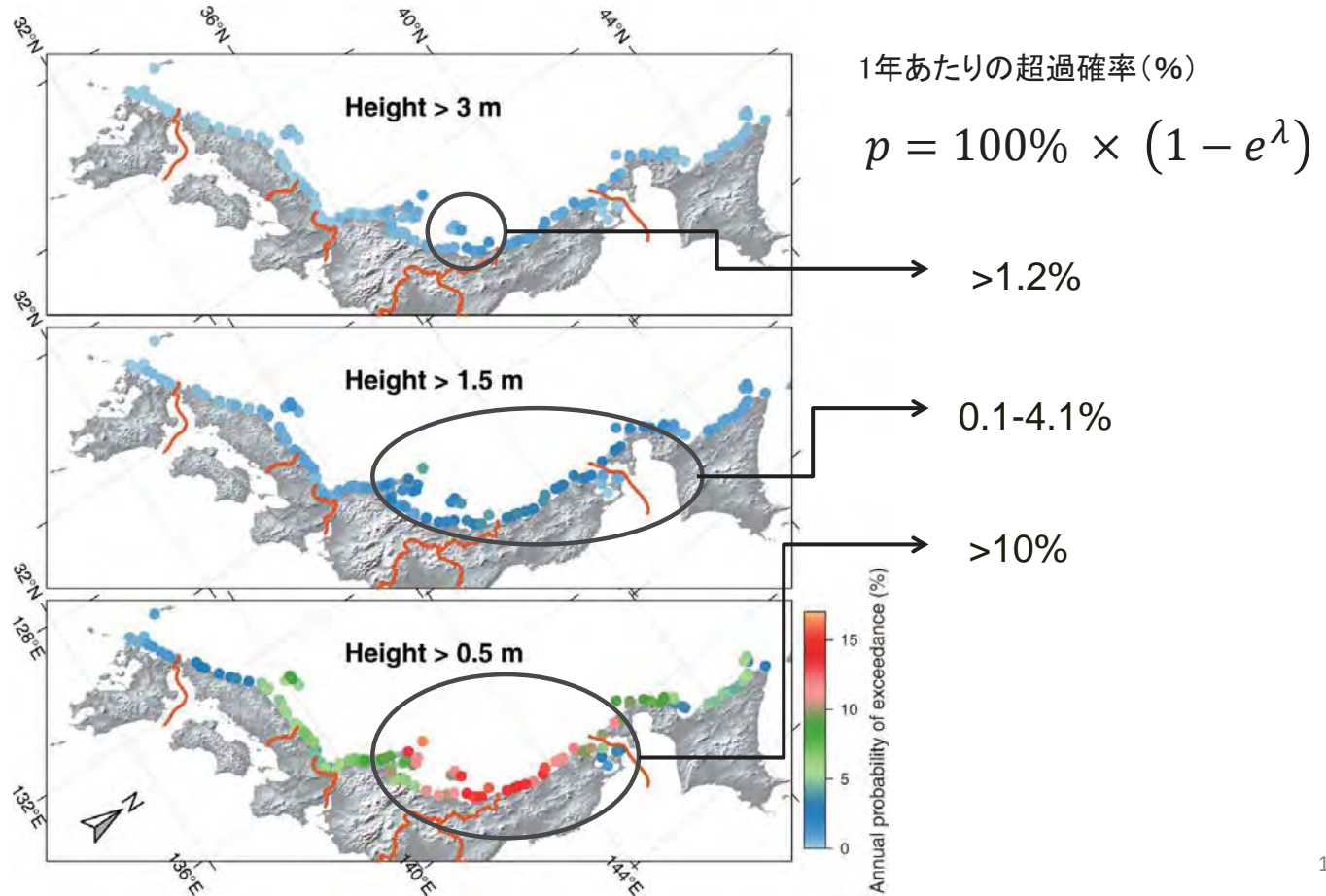
100年(下)、400年(中)、1000年(上)の再来期間における最大津波高



17

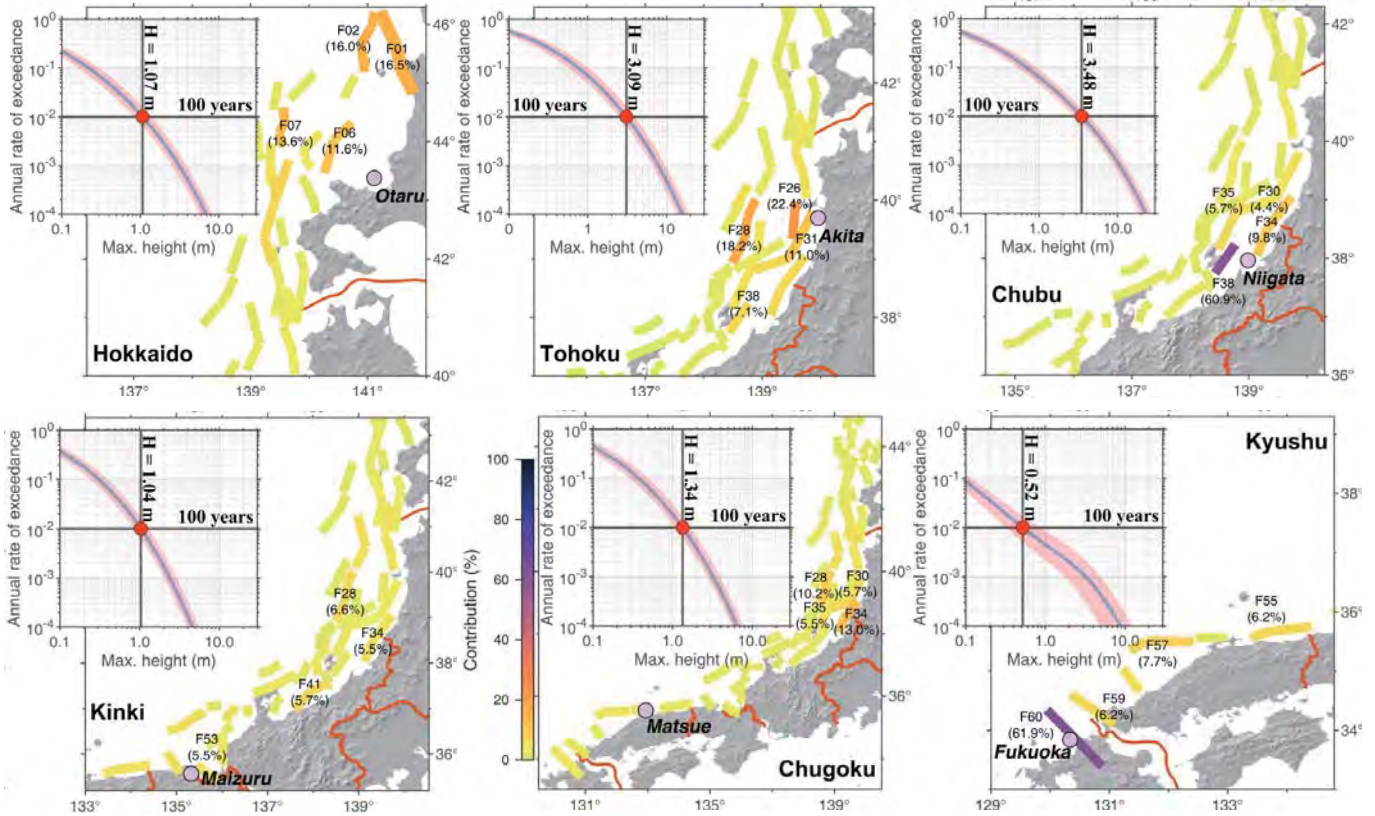
日本海沿岸域における確率論的津波予測

津波高が0.5 m(下)、1.5 m(中)、3 m(上)を超える年超過確率



18

日本海沿岸域における確率論的津波予測(ハザードの再分解)



- 北海道から中部地域にかけては近傍の活断層が津波ハザードに大きく寄与する
- 一方、近畿や中国地域などは北海道から中部地域よりも低ハザードであり、日本海東縁部の活断層の方が近傍の活断層よりも寄与が大きい

19

平成25年度～令和2年度業務計画

	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R01	R02
北海道・東北沖周辺	地形データ・計算コード整備・検証						断層のリストアップ シナリオ型津波シミュレーション 確率論的な津波波高予測	想定連動シミュレーション 低頻度巨大地震による津波波高評価
北陸沖周辺		断層のリストアップ シナリオ型津波シミュレーション	確率論的な津波波高予測					
山陰・九州沖周辺				断層のリストアップ シナリオ型津波シミュレーション	確率論的な津波波高予測			