

2018/07/21

東北大学災害科学国際研究所IRIDeS金曜フォーラム
平成29年度共同研究成果報告会

応答曲面を用いた津波リスク評価 手法構築のための基礎的検討

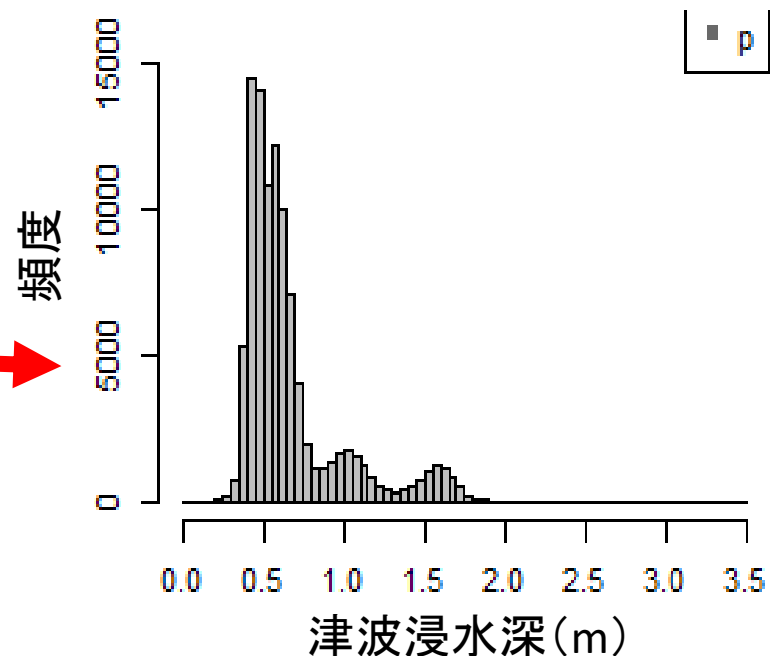
福谷 陽¹・森口 周二²・小谷拓磨²・寺田賢二郎²
Anawat Suppasri²・今村文彦²

¹ 関東学院大学・理工学部理工学科・土木学系

² 東北大学災害科学国際研究所・災害リスク研究部門

研究背景

- 原子力・不動産・保険分野におけるリスク評価，事業者等による保有資産のリスク管理，自治体等が実施する防災対策の優先順位決定等のため、不確実性を考慮した確率論的リスク評価を実施しておくことは重要
- ある対象物の確率論的な津波リスクを評価するためには、まず、当該地点で想定される**津波浸水深の頻度分布・確率分布を知る必要がある。**



研究背景

確率論的に津波浸水深を評価する手法として、これまで下記等の手法が提案されている。

- 多数の津波計算 (土木学会(2002), Løvholt et al. (2012) etc.)
- ロジックツリーモデル (Annaka et al. (2006), 土木学会(2011), Fukutani et al (2015) etc.)
考え得るパターンをロジックツリー分岐により網羅的に評価、原子力分野で活用
- ランダムフェーズモデル (Goda et al (2015), 安田ら (2016) etc.)
断層の2次元すべり分布をランダムに生成させて評価
→多数の津波数値計算(数百～数千)が必要
- 極値統計法 (信岡ら (2015) etc.)
過去の沿岸波高や痕跡高などのデータを用いて極値統計分析により評価
→結果が過去のデータに依存
- 応答曲面法 (小谷ら (2016) etc.)
比較的少ない津波数値計算の結果 (沿岸波高) から応答曲面を生成して評価
→本研究で検討

研究目的

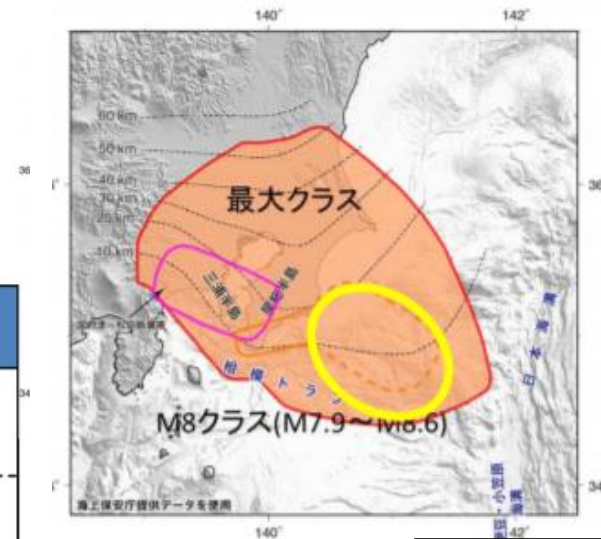
- Honjo(2011)などで提案された応答曲面法を用いる信頼性解析の枠組みを津波現象に適用した小谷ら(2016)の津波ハザード評価手法を応用することで、津波ハザードに関わる不確実性を、**計算負荷を抑え、かつ、確率分布を用いて柔軟に取り込み、対象地点での津波浸水深を評価し、確率論的に津波損害を評価することを目的**とした。
- 本研究では、首都圏に大きな影響を及ぼすと想定されている**相模トラフ沿いの地震津波を対象**とした。
 - 相模トラフで発生するM8クラスの地震には多様性があると評価
⇒大正型、元禄型と区分けしない
 - 発生確率は、データの不確実性も考慮して評価を行った。

発生確率

領域	規模	30年発生確率
相模トラフ沿いのM8クラスの地震	M8クラス全体 (M7.9~M8.6)	ほぼ0%~5%(※)
	元禄関東地震 (M8.2) またはそれ以上の地震	ほぼ0%

※データの不確実性を統計的に評価したこと等により前回評価(ほぼ0%~2%)から変化

多様な震源パターン

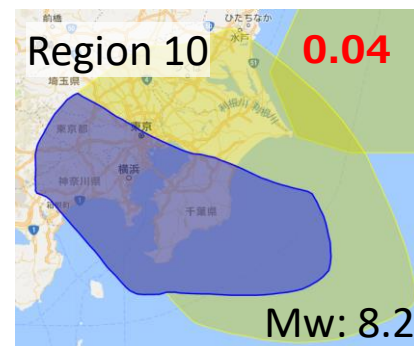
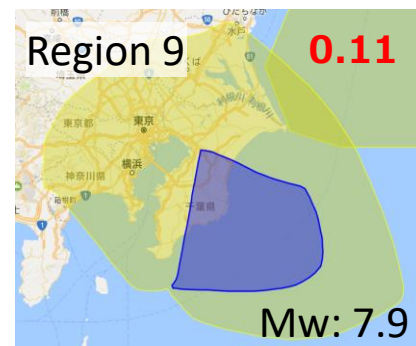
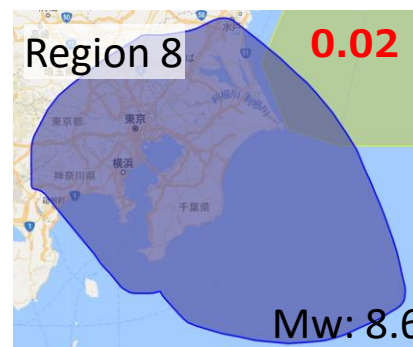
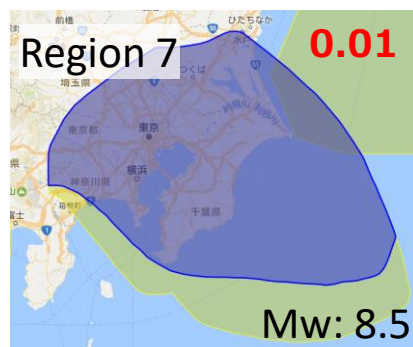
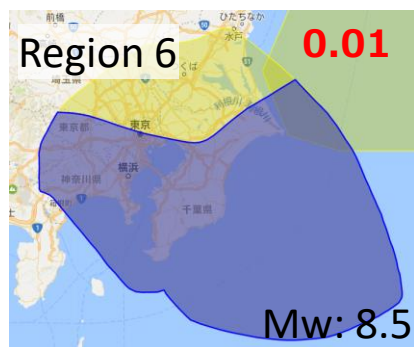
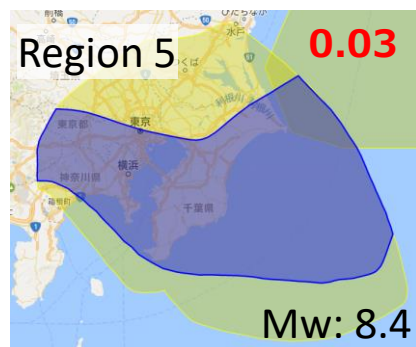
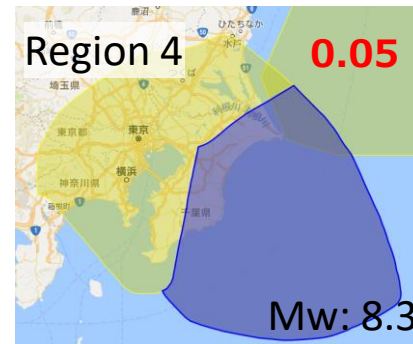
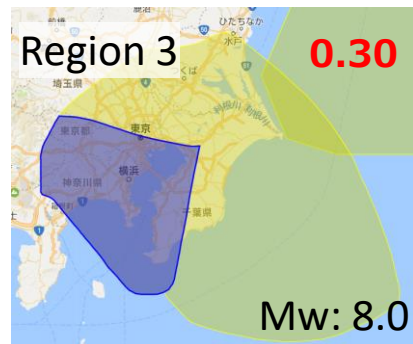
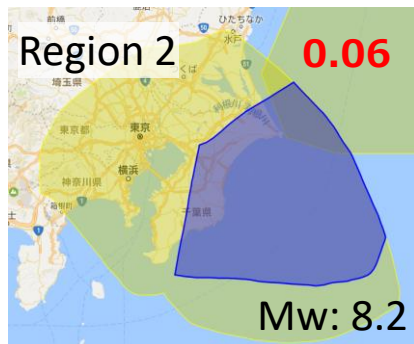
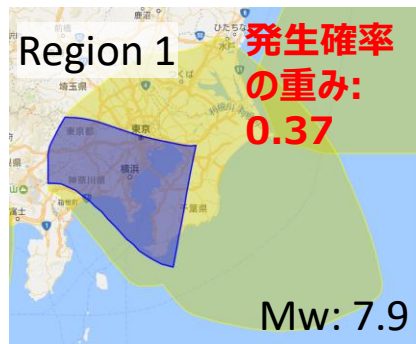


M7.9~M8.6

内閣府資料より抜粋

相模トラフ沿いで発生するM8クラスの地震の発生確率

■ 確率論的地震動予測地図 (J-SHIS2016) → 今後30年の発生確率は約0.7%

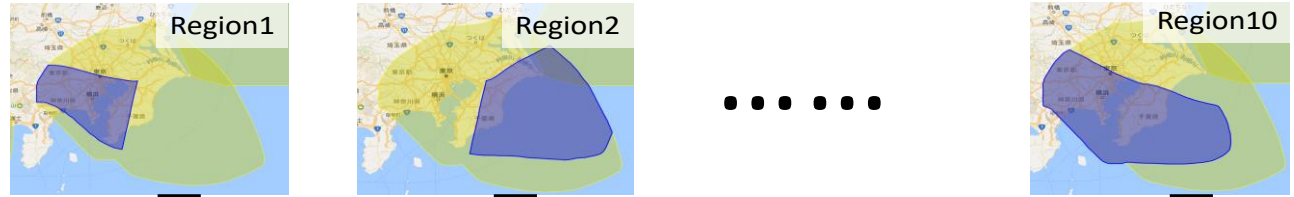


発生パターンと付与する重み

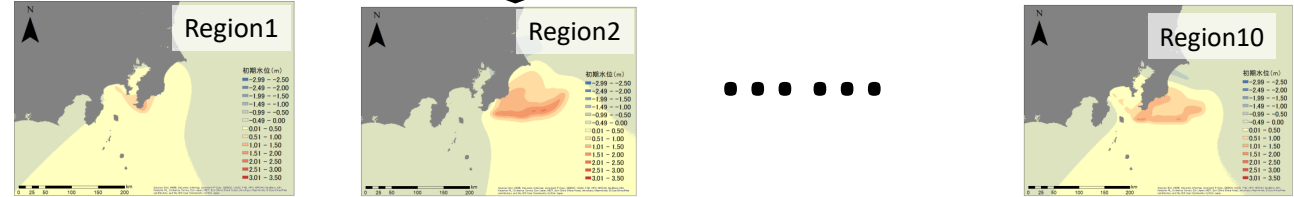
No.	発生パターン	マグニチュード	重み
1	領域1	7.9(Mw)	0.37
2	領域2	8.2(Mw)	0.06
3	領域3	8(Mw)	0.30
4	領域4	8.3(Mw)	0.05
5	領域5	8.4(Mw)	0.03
6	領域6	8.5(Mw)	0.01
7	領域7	8.5(Mw)	0.01
8	領域8	8.6(Mw)	0.02
9	領域9	7.9(Mw)	0.11
10	領域10	8.2(Mw)	0.04

本研究の解析手法

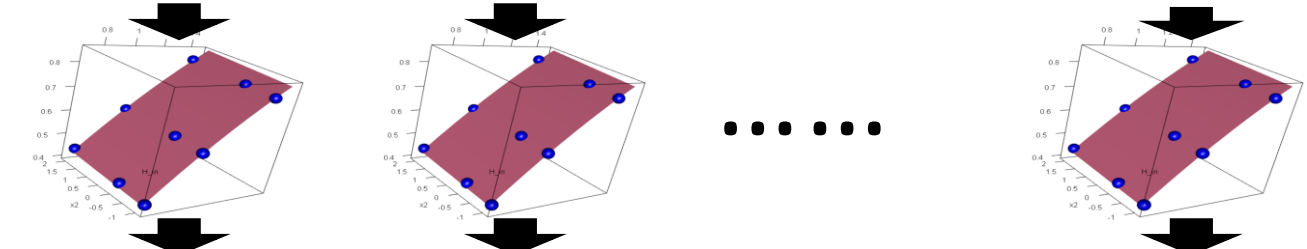
(a) 震源領域



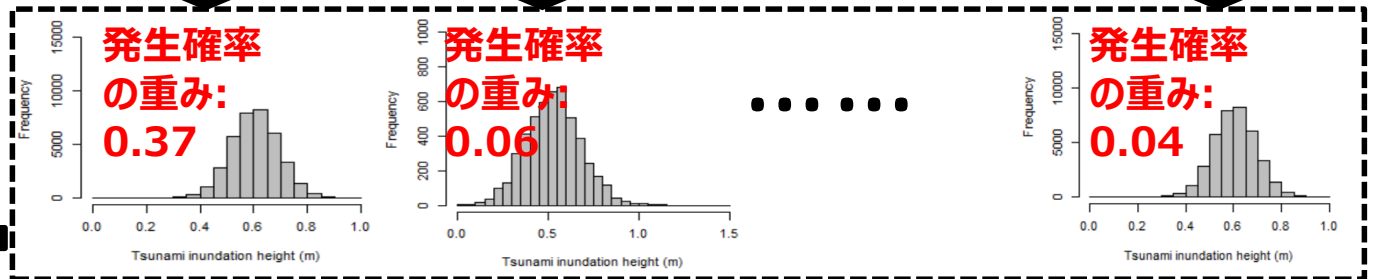
(b) 初期水位分布



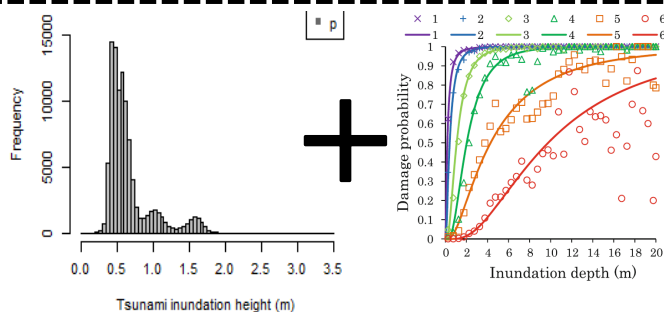
(c) 応答曲面



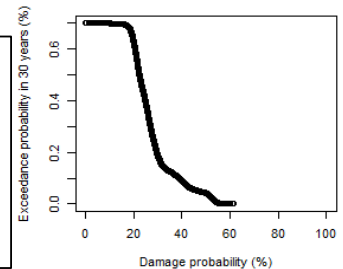
各震源領域の発生確率重みに基づくモンテカルロ計算



(d) 津波浸水深の頻度分布

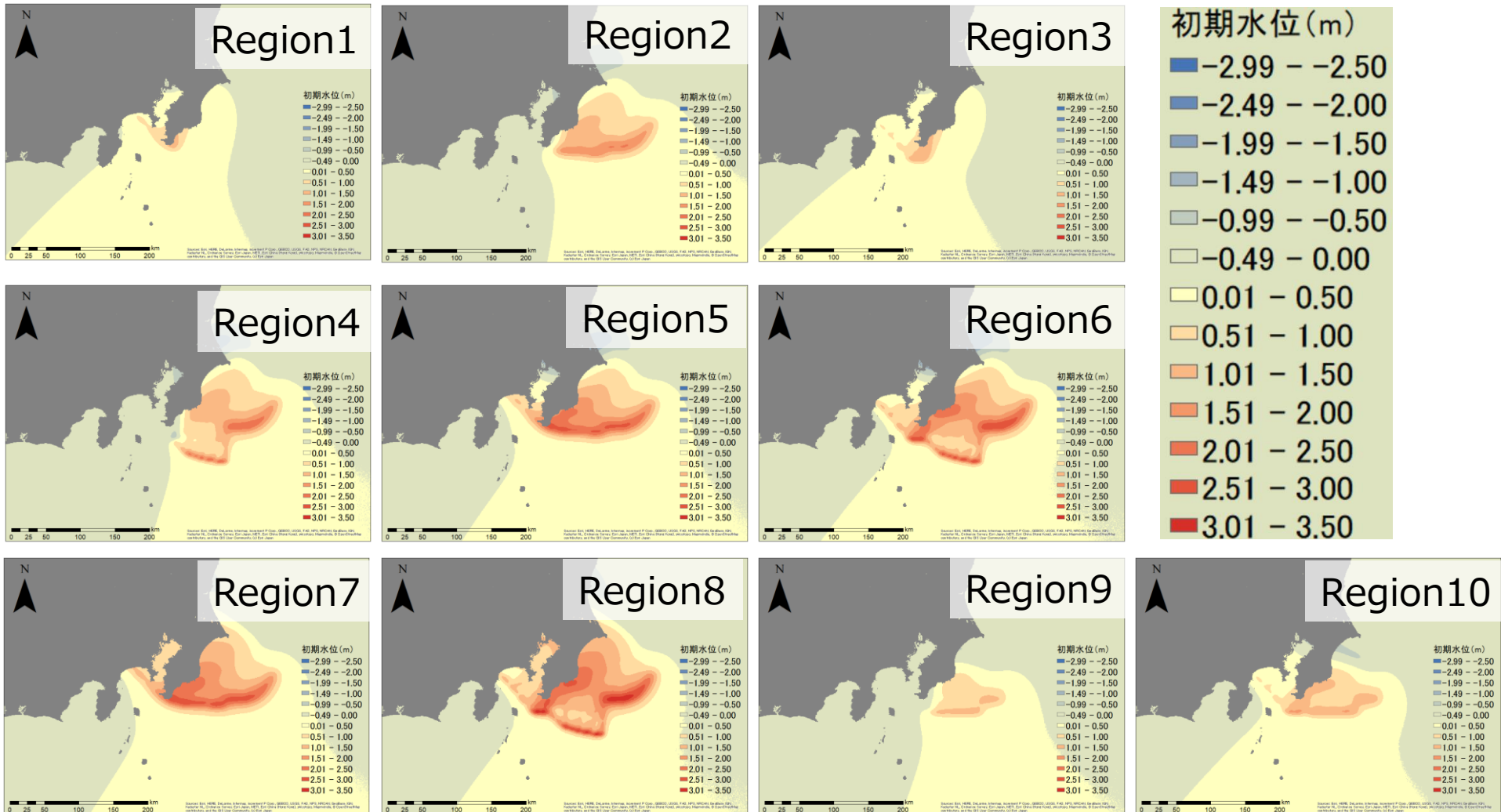


(e) 建物被害率の超過確率分布・期待値評価



初期水位分布の計算結果

- 各震源の断層パラメータから、Okada(1985)の式を用いて初期水位分布を計算
- 初期水位分布を基に、津波数値計算を実施



津波数値計算

- 非線形長波方程式を用いて、初期水位から津波伝播計算を実行

津波数値計算条件

支配方程式	2次元非線形長波方程式 (東北大学TUNAMI N2model)
数値積分法	スタガード・ リーブログ法
初期条件	断層パラメータから Okada(1985)の式で評 価した初期水位
境界条件	開放条件
座標系	平面直角座標IX系
潮位	T.P. +0.9 m (神奈川県津波想定設 定潮位)
メッシュサイズ (Δx)	270 m \rightarrow 90 m \rightarrow 30 m \rightarrow 10 m
計算時間	3時間

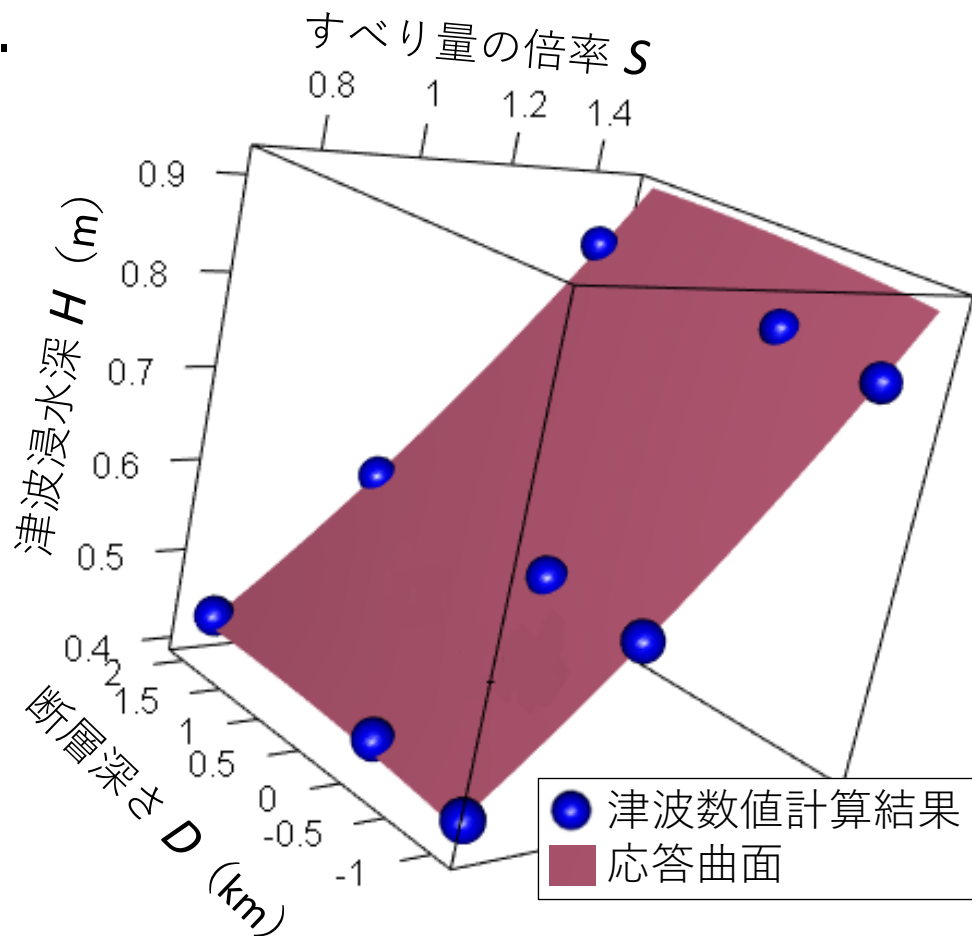
浸水深計算の対象地点



応答曲面の構築

- 不確実性として、モーメントマグニチュード (M_w) と断層深さの変化を考慮
- 各地震発生領域に対して、 **M_w は基準ケースと ± 0.1 の変化を与えた3ケース**、**断層深さも基準ケースと $+2.0\text{km}$ 、 -1.0km の変化を与えた3ケースの計9ケースの津波数値計算**を行った。

相模トラフ地震
領域1での解析
結果



$$H(S,D) = a*S + b*D + c*S*D + d*S*S + e*D*D + f$$

$H(S,D)$: 津波浸水深, S : すべり量の倍率, D : 断層端点の深さ, a, b, c, d, e, f : 回帰係数

応答曲面の構築

■ 回帰分析は、変数の全組み合わせ通り（31ケース）実施し、決定係数が大きく、かつ、AIC（赤池情報量規準）が小さいものを採用

■ 採用された応答曲面は以下の通り

$$H(S,D) = a*S + b*D + c*S*D + d*S*S + e*D*D + f$$

$H(S,D)$: 津波浸水深, S : すべり量の倍率, D : 断層端点の深さ, a,b,c,d,e,f : 回帰係数

地震発生領域

	領域1	領域2	領域3	領域4	領域5	領域6	領域7	領域8	領域9	領域10
a	0.3972	5.4532	1.4483	1.5244	0.0000	1.9515	2.8756	4.6945	0.8555	-1.8047
b	0.0076	0.0974	-0.0251	0.0000	-0.4897	0.1444	0.2062	0.0962	-0.0452	-0.0111
c	0.0092	-0.0518	0.0402	0.0415	0.6437	-0.0853	-0.1947	-0.0511	0.0458	0.0000
d	0.1898	-1.5076	-0.1807	-0.2063	0.6844	0.0000	-0.3402	-1.1908	-0.1508	0.2675
e	0.0000	-0.0119	-0.0024	0.0000	0.0000	-0.0394	0.0000	-0.0119	0.0000	0.0000
f	0.2514	-1.6472	-0.1039	-0.1173	0.5161	0.1112	-0.2543	-1.2052	0.0661	0.0749

各変数のばらつきの設定

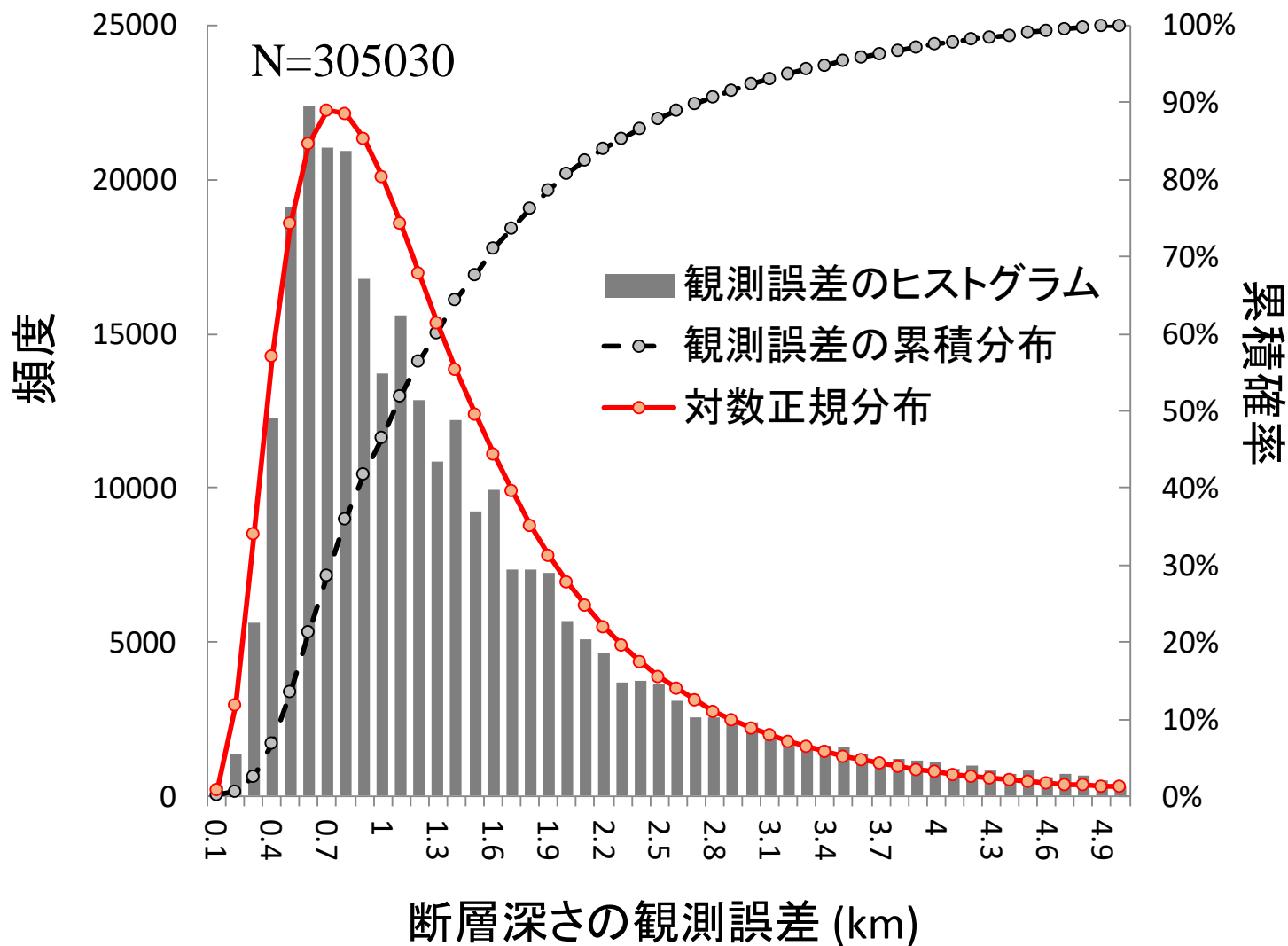
- 採用した応答曲面を基に、各変数のばらつきを考慮したモンテカルロ計算を行う。

$$H(S, D) = a * S + b * D + c * S * D + d * S * S + e * D * D + f$$

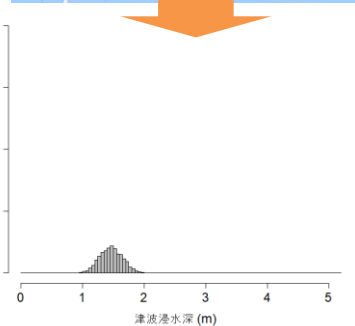
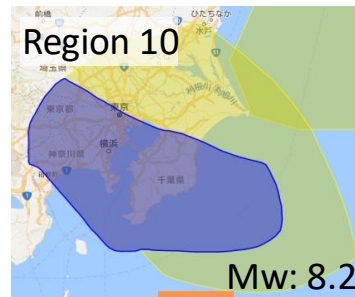
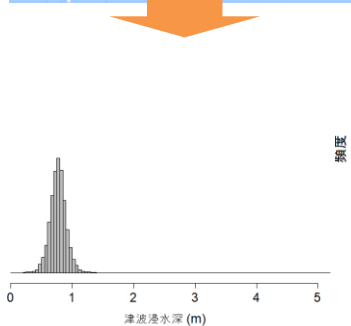
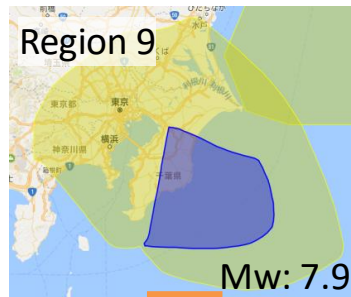
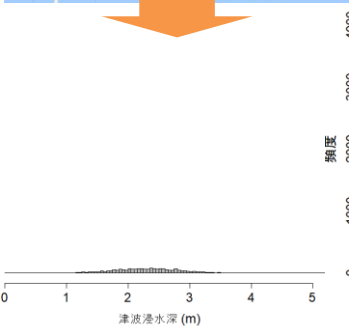
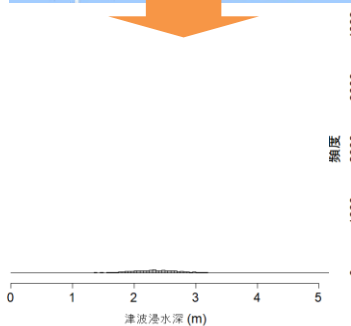
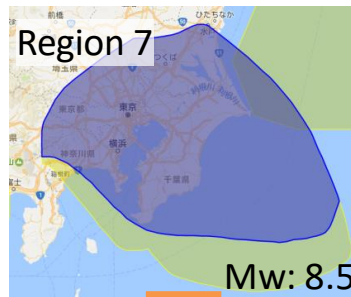
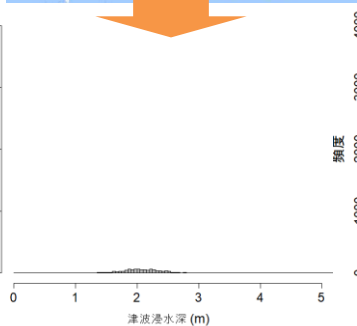
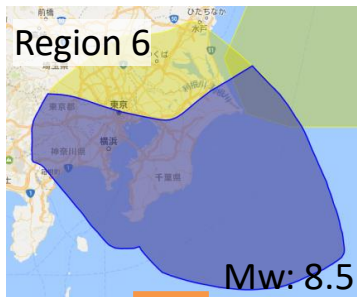
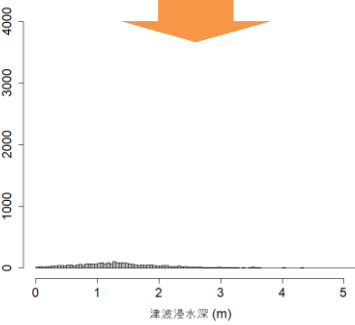
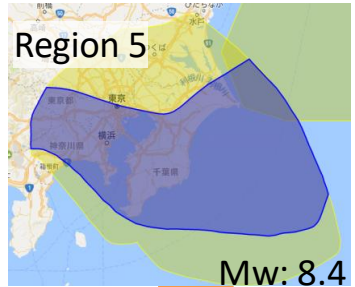
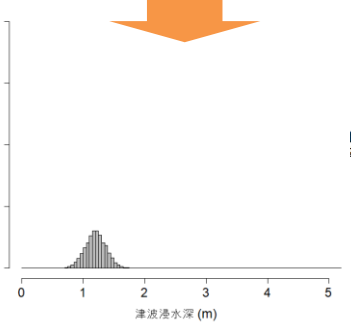
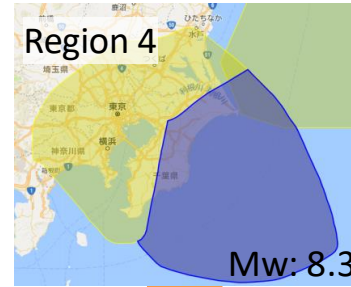
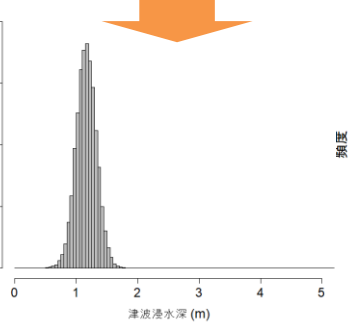
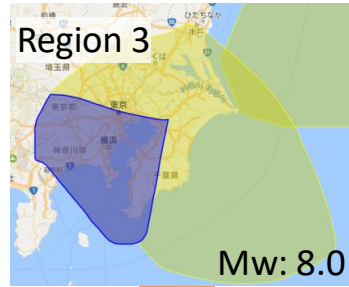
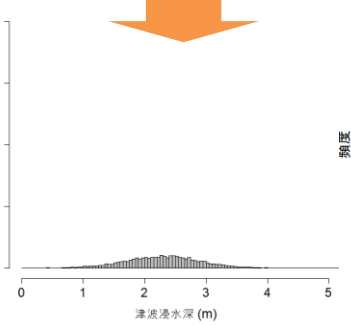
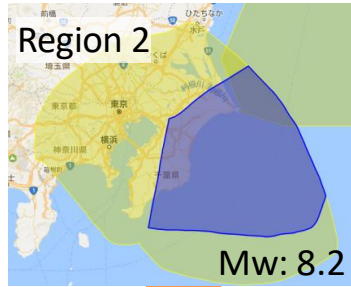
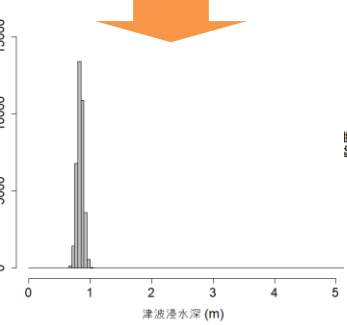
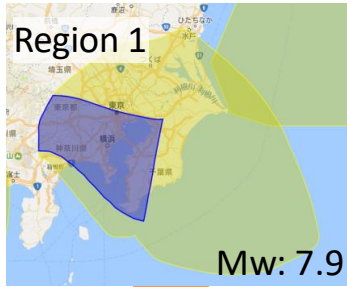
変数	平均	標準偏差	分布形状	ばらつきの根拠
すべり量 S [倍率]	1.00	0.10	正規分布	原子力土木委員会津波評価部会によれば、 <u>断層面積の同じ既往地震を考慮すると±0.1程度</u> であることが示唆。このときすべり量の変動幅は70～140%程度となる。
断層深さ D [km]	0.12 (対数平均)	0.65 (対数標準偏差)	対数正規分布	気象庁一元化処理震源リストに記載された <u>断層深さの観測誤差</u> のデータを基に作成。

断層深さの観測誤差の頻度分布

- 断層深さの観測誤差は、対数平均0.12, 対数標準偏差0.65の対数正規分布に良く一致している。

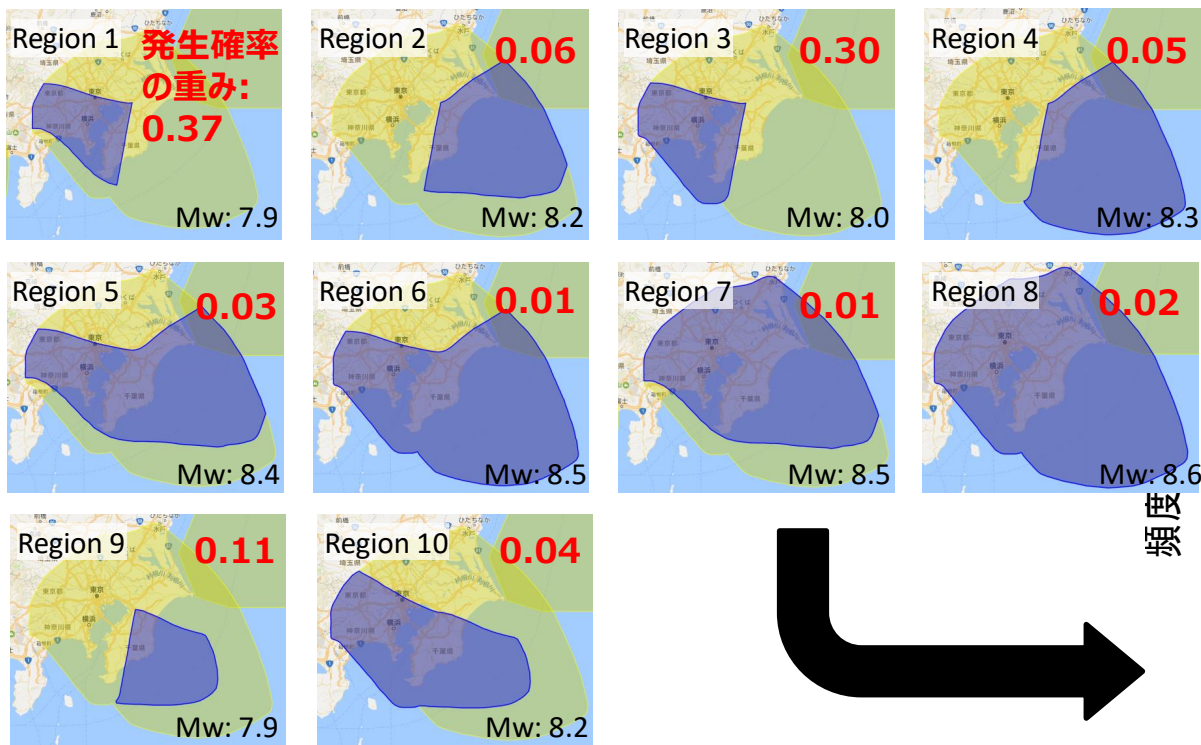


平塚港での津波浸水深の頻度分布

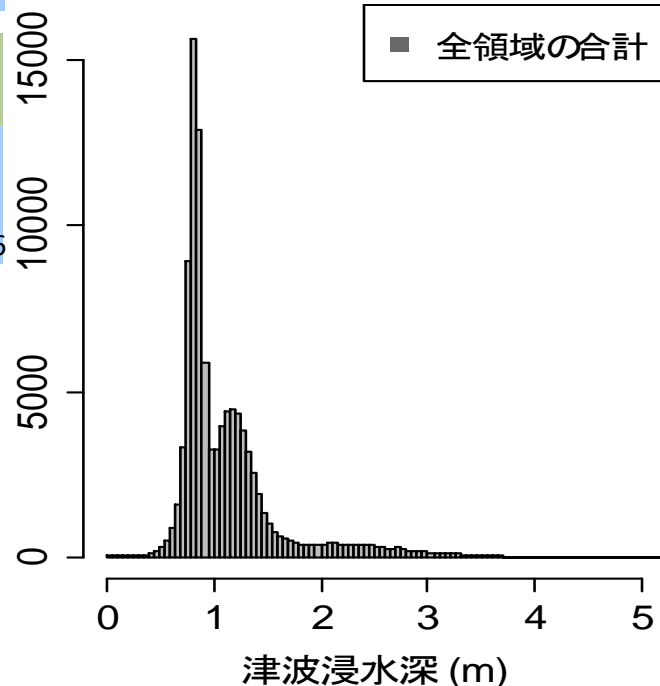


相模トラフ全領域の津波浸水深の頻度分布

- 相模トラフの各地震（10ケース）の発生確率重みに基づいて、どの地震が発生するか一様乱数で決定
- 発生地震が決まれば、当該地震による津波浸水深の発生確率分布を用いて、津波浸水深を得る。同様に、試行100,000回のモンテカルロ計算を実施することで、相模トラフ全領域の寄与を想定した津波浸水深の頻度分布を得る。



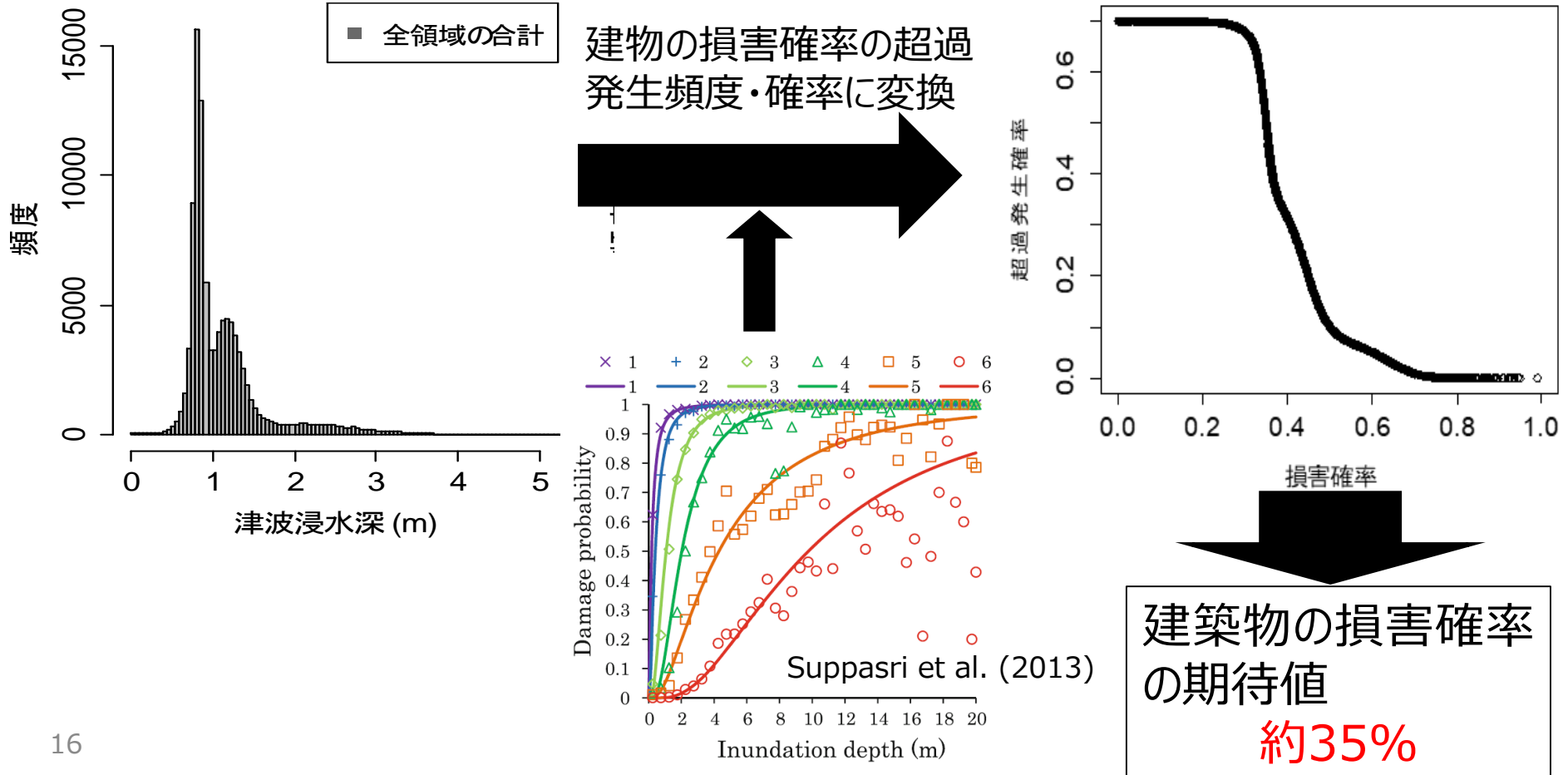
津波浸水深の頻度分布



100,000回の
モンテカルロサンプリング

建物被害の超過確率分布

- 得られた津波浸水深の頻度分布に、津波浸水深に対する建物の損害確率を表す脆弱性関数を適用して、超過発生頻度・確率に変換
- 得られた超過発生確率分布の下側面積を求めることで、期待値を計算



まとめ

- 相模トラフ地震を対象として、応答曲面法を用いた津波リスク評価の手法を提示した。
- 比較的少ない津波の数値計算結果（90ケース）から、超過発生頻度vs建築物の被害確率で表されるリスクカーブを構築し、建築物の津波リスクが評価できることを示した。
- 本研究の詳細は、以下の論文として発表予定。
福谷陽・森口周二・小谷拓磨・寺田賢二郎（2018）応答曲面法を用いた確率論的津波損害評価-相模トラフ地震への適用-, 土木学会論文集B2（海岸工学）, Vol.74, No.2（掲載可判定）

【謝辞】

本研究は、「東北大学災害科学国際研究所 リソースを活用した共同研究助成」の支援を得て実施しています。ここに記して謝意を表します。また、本研究の詳細は以下の論文を

ご清聴ありがとうございました。