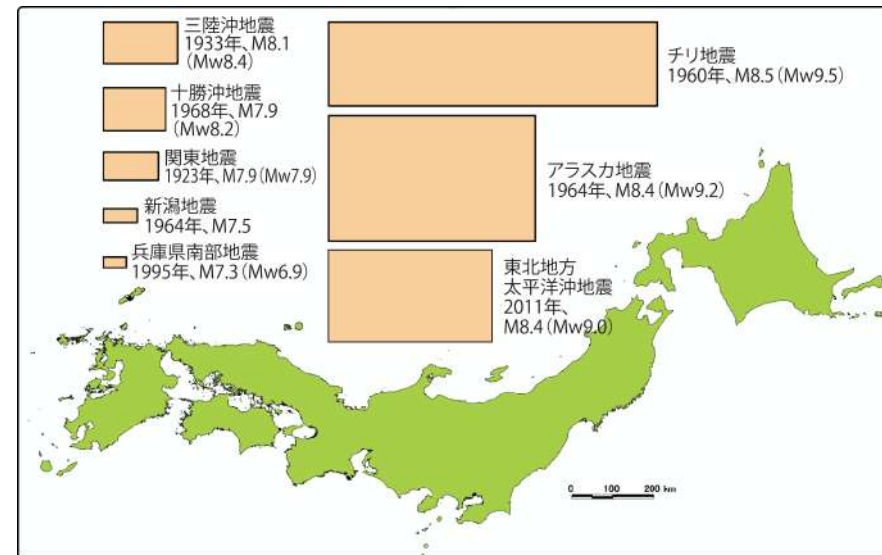
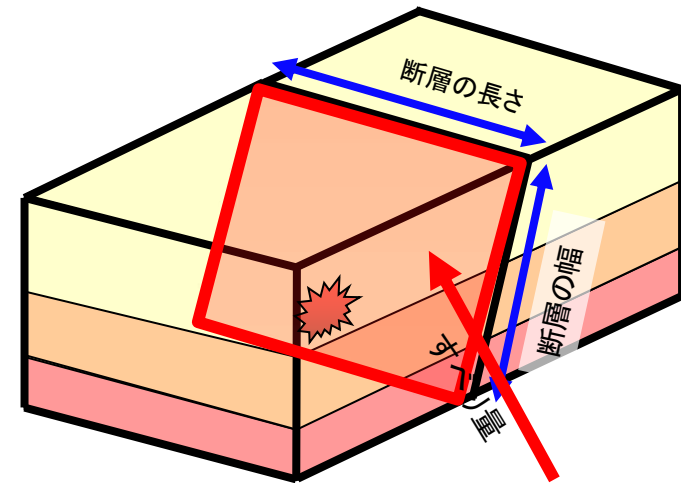
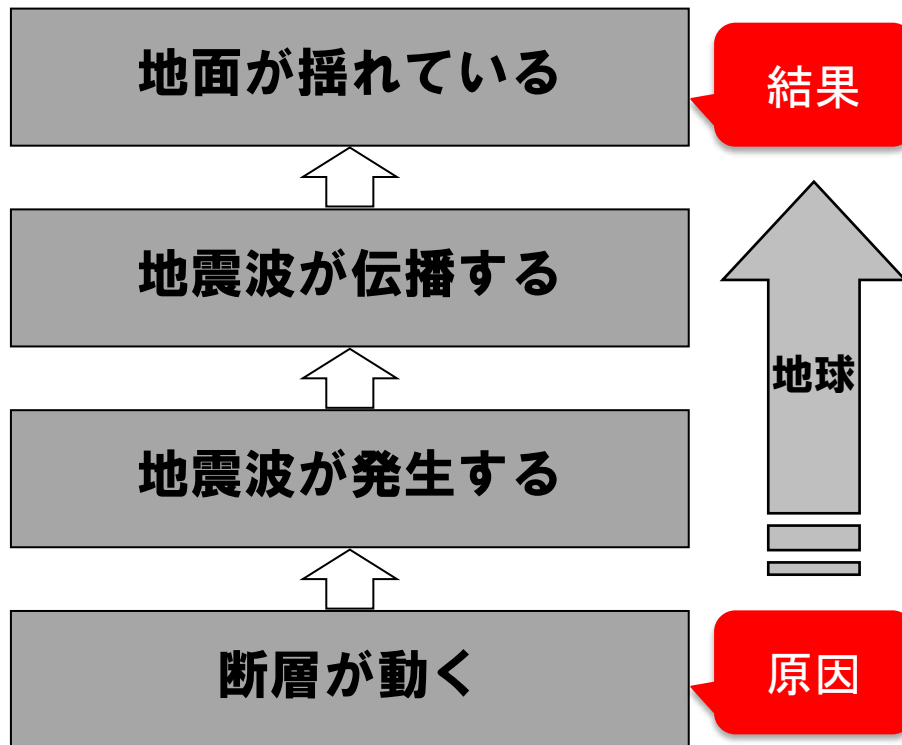


地震断層モデルの不確実性： 分からないことの定量化

太田 雄策

東北大学大学院理学研究科附属
地震・噴火予知研究観測センター
yusaku.ohta.d2@tohoku.ac.jp

地震 = 断層すべり

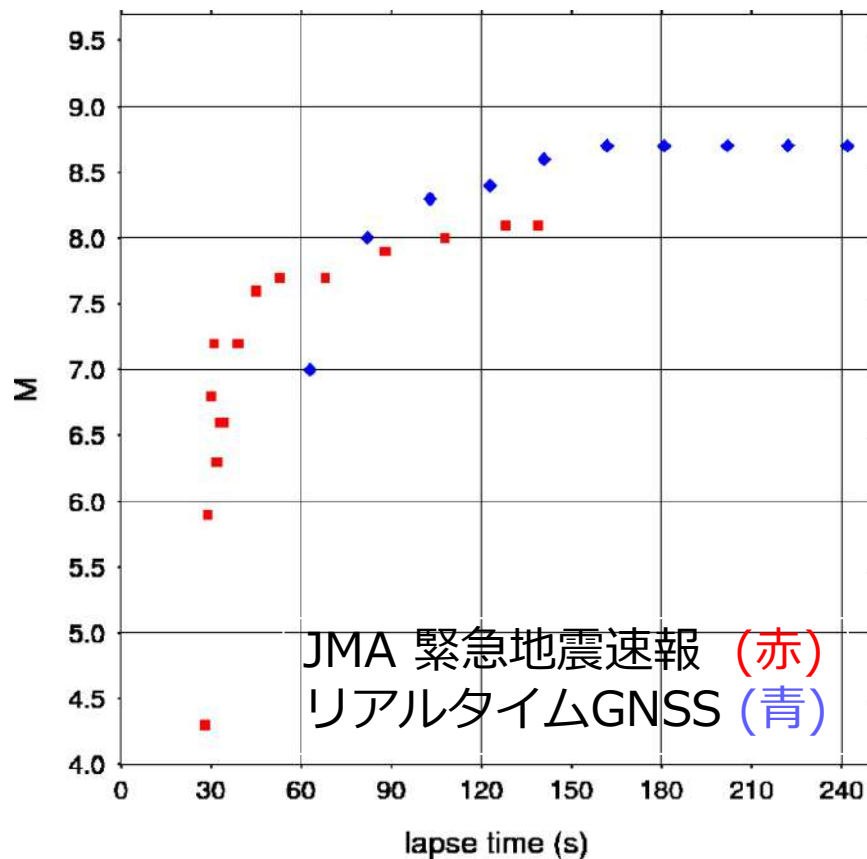


結果（地面の動き）
→原因を調べる

文部科学省地震調査研究推進本部 による資料 (2020年6月30日ダウンロード)
(<https://www.static.jishin.go.jp/resource/figure/figure005042.jpg>)

GNSSを用いた準リアルタイム断層モデル推定

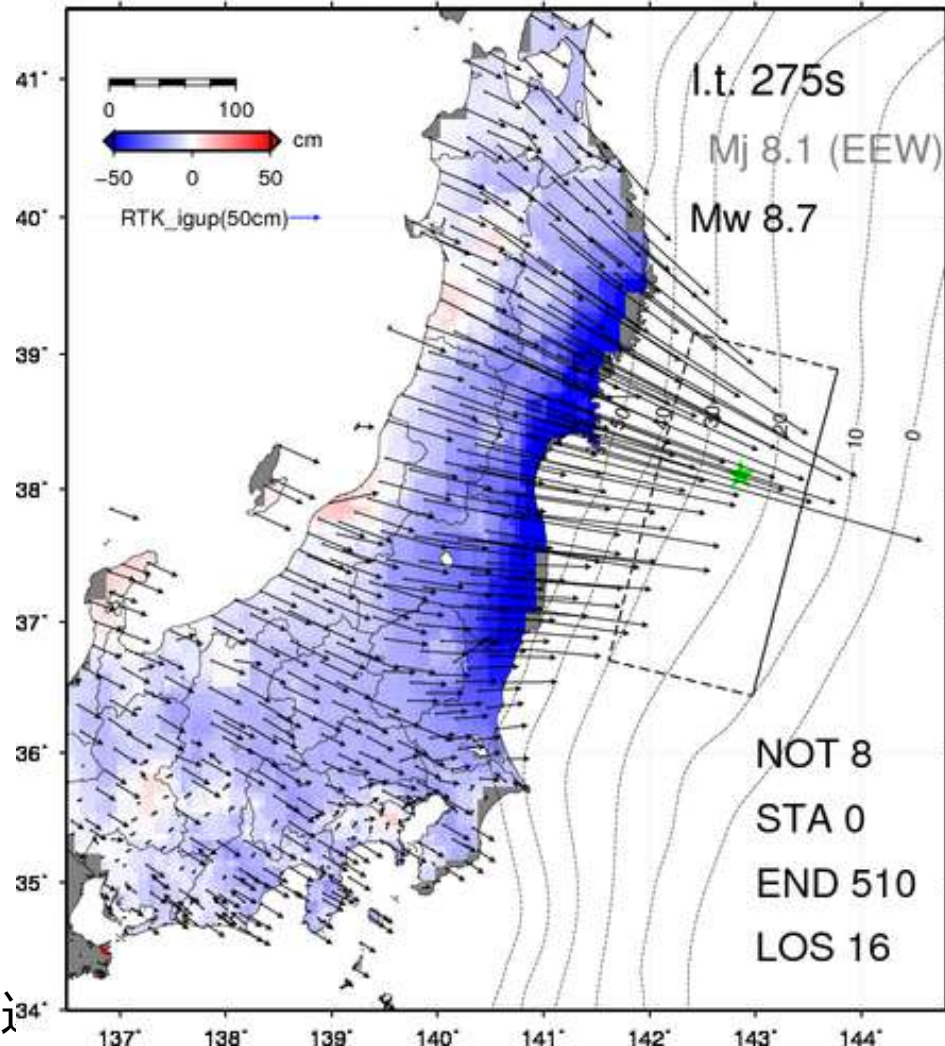
Change in estimated magnitude



$M_{(EEW)}$: M 8.1付近で飽和

リアルタイムGNSSによる M_w : より現実的に

Ing.	lat.	dep.	len.	wid.	str.	dip.	rak.	slp.	opn.
143.78	38.89	15.2	281.5	127.4	194.3	17.3	73.5	15.2	0.0

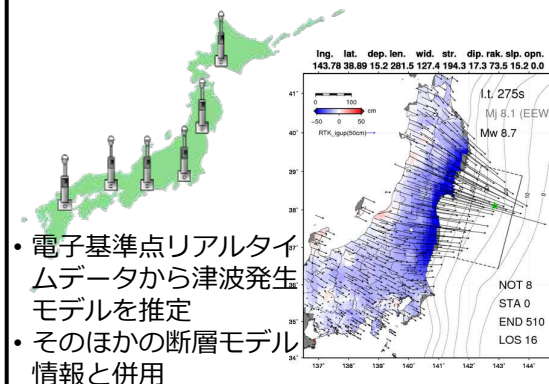


Ohta et al. (2012, JGR)

開発技術の社会実装

- **実時間地殻変動監視システム (REGARD) の開発・社会実装**
 - 国土地理院・東北大学による共同研究開発. 2016年4月～運用開始
- **内閣府津波浸水被害推計システム開発とREGARDの取り込み**
 - 南海トラフ巨大地震の発生30分以内に津波被害推計を実施, 政府の初動対応に活用, REGARDの結果も津波波源として取り込み済.
 - 東北大学を中心とするコンソーシアム (代表: 災害研 越村俊一先生) によって整備. 2017年11月より内閣府での運用開始.
- **基礎研究→社会実装へ**
 - 基礎研究の迅速な社会実装が実際の防災にはきわめて重要

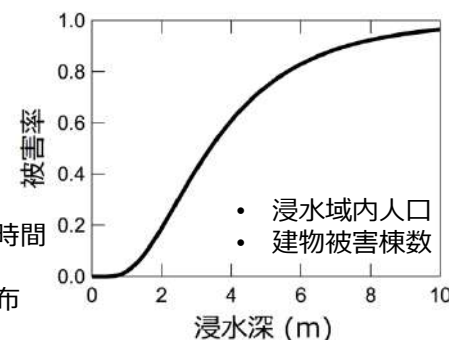
STEP1 : Coseismic fault estimation



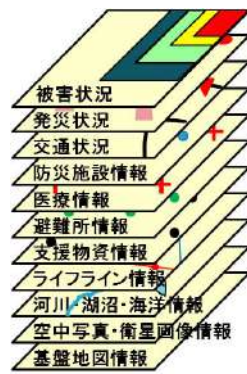
STEP2 : Real-time tsunami inundation calculation by HPCI



STEP3 : Damage estimation based on estimated tsunami inundation

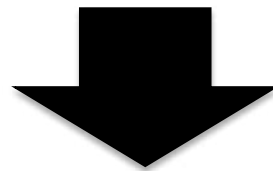


Platform of geospatial information



「誤差付き」予測の重要性

- 津波即時予測の問題点
 - 過小評価より過大評価が選択される傾向
 - **オオカミ少年？安全情報の独り歩き？**
 - 「誤差付き」の津波警報システムは現状存在しない
 - 防災・減災の観点からも同機能の実現は重要



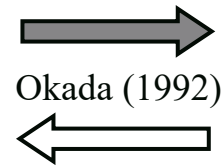
- 研究目的
 - リアルタイムGNSSデータにもとづいて、巨大地震にともなう津波をその**推定の不確定性も含めて正確に提供する新しい津波予測アルゴリズムの開発.**

手法 | Bayesian inversion (単一矩形断層)

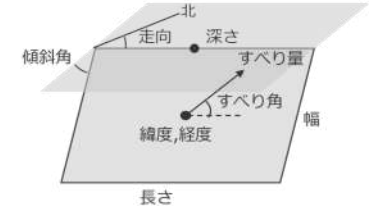
10



d : RTK-GNSS永久変位
データ (GEONET)



θ : 断層パラメータ
(9つ)

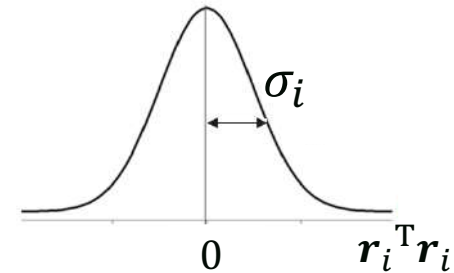


■ ベイズの定理 $p(\theta|d) \propto p(d|\theta) p(\theta)$
事後確率分布 尤度関数 事前確率分布

$$p(d|\theta) = \prod_i \frac{1}{\sqrt{(2\pi\sigma_i^2)^{N_i}}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_i^2} \mathbf{r}_i^T \mathbf{r}_i\right)$$

水平・上下成分各々で、観測点によらず σ 一律と仮定 ($i = EN, U$)

σ_i : 観測誤差 + モデル誤差
 r_i : 残差 $\hat{d}(\theta)_i - d_i$



■ MCMC

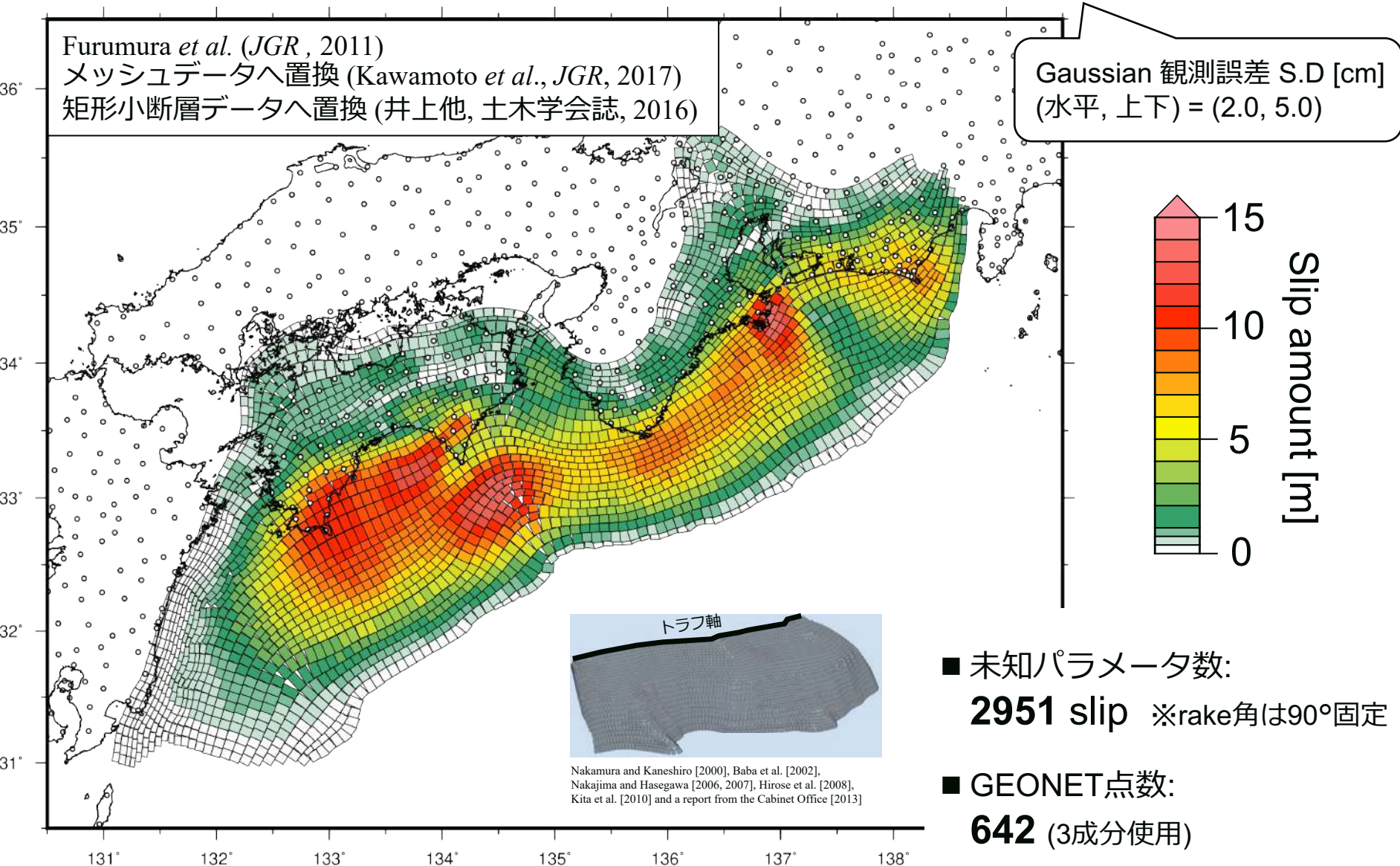
- サンプラー: メトロポリス-ヘイスティングス法
- 探索効率化: パラレル・テンパリング (8本の並列連鎖)

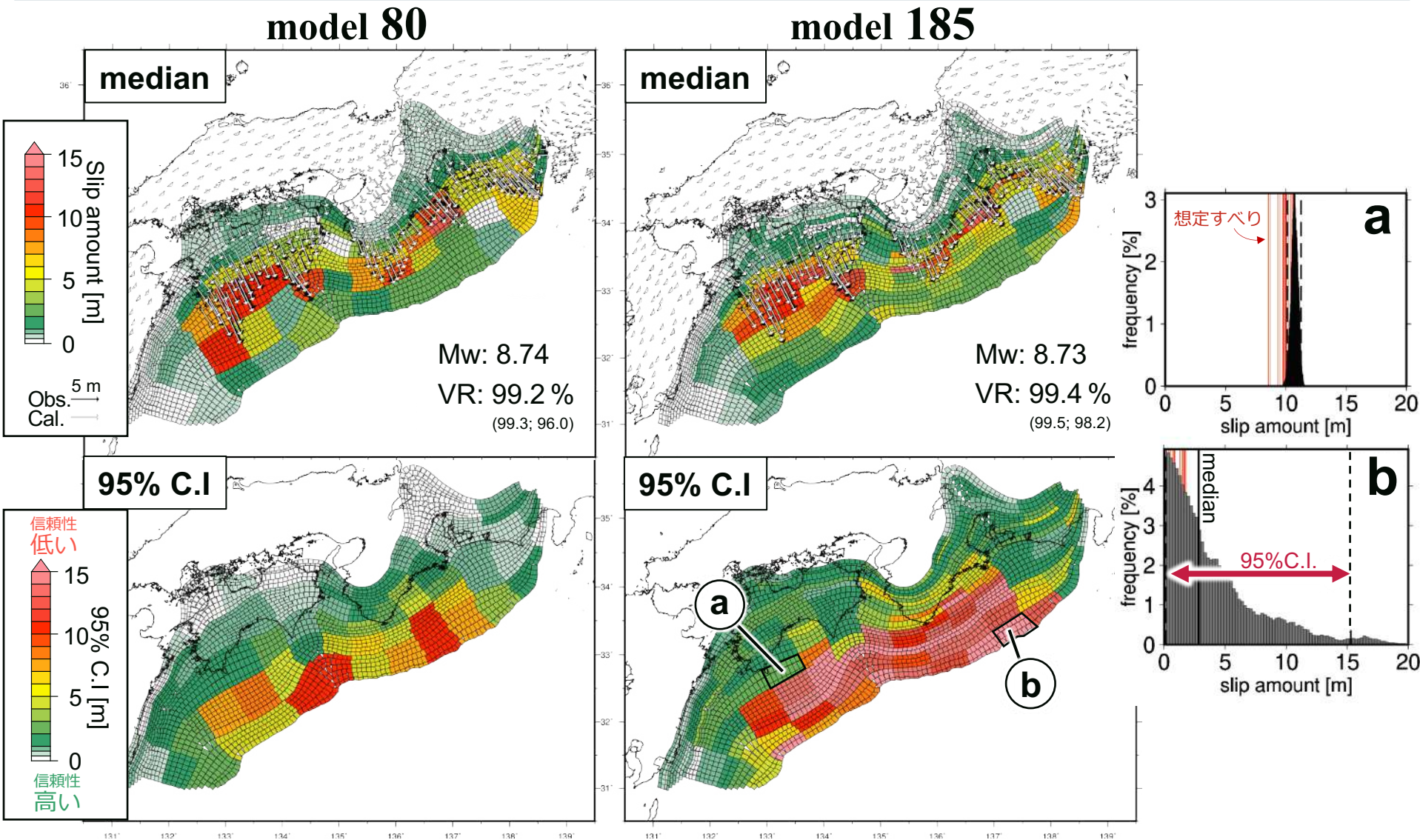
イベント依存のハイパーパラメータを, リアルタイムで自動決定する必要あり

初期値 θ^{int}	緊急地震速報 (EEW) にもとづき以下から決定	EEWの情報を活用
事前分布 $p(\theta)$	• スケーリング則 (Utsu, 2001)	
最大摂動幅 $\Delta\theta^{\text{max}}$	• 広域応力場の情報 (Terakawa and Matsu'ura, 2009)	自動調整機能を付与
尤度関数の σ_i	先験的に見積もることは難しい. イベントごとに動的に自動調整	
サンプル数	総数, Burn-in 共に事前に仮定	

1707年宝永地震を模した想定すべり分布 (Mw 8.75) ¹²

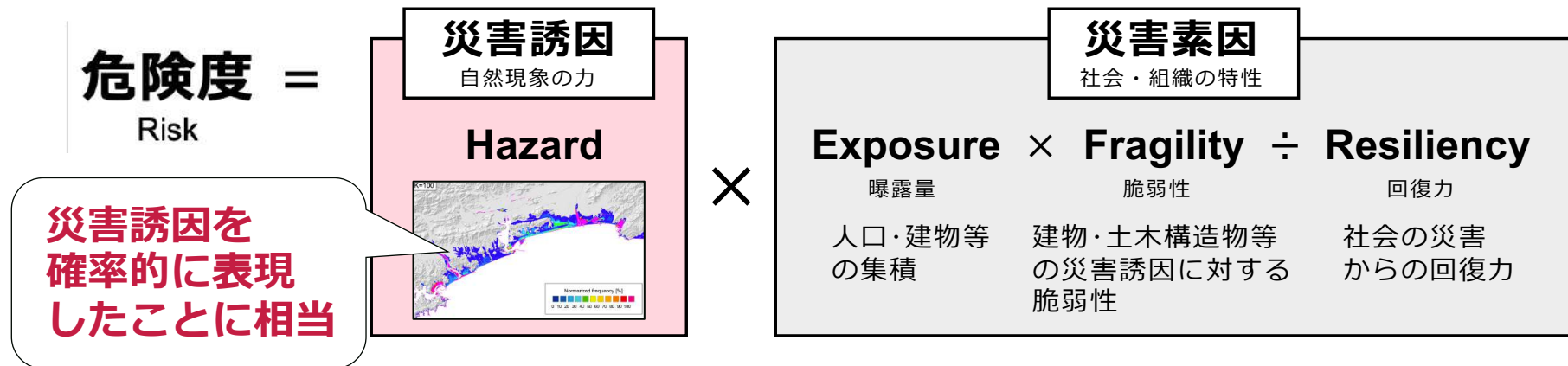
想定すべり分布から, Okada (1992) を用いて地表面変位擬似データを生成





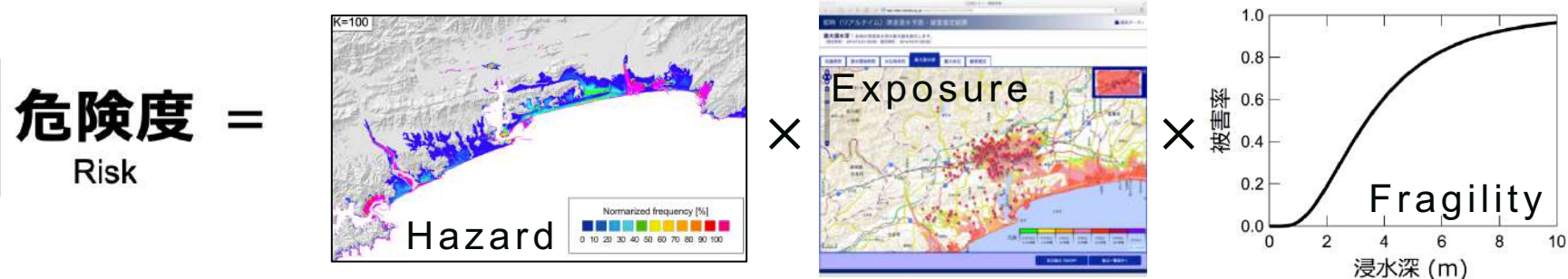
陸上GNSS観測によるプレート境界すべり分布推定の不確実性を
事後確率分布として定量化

■ リアルタイム津波浸水「危険度」マップの意味



■ 同マップの利活用

- ・ 近地津波予測へ不確実性情報を付加するための一手段となる可能性
- ・ さらに災害素因をかけあわせることで、さまざまな利活用の可能性



まとめ

- 海底下で発生する地震：巨大な津波を発生
- 地震 = 断層のすべり
 - 断層すべりを正確に把握することが正確な津波予測のためにはきわめて重要。
 - 一方、「限られた観測データ」から推定される断層モデルには多くの不確実性が内在。
- ベイジアンインバージョンを活用した「不確実性」を含んだリアルタイム断層モデル推定手法を開発
 - 機械学習のアプローチも併用することで、「結果」として得られる津波浸水結果に対しても「誤差」を付与できることを明示。
 - 実際の防災・減災に向けた結果の活用を今後検討。