

地震津波防災分野：地震の予測精度の向上

地震発生予測シミュレーション研究

プレート境界固着・すべりのデータ同化と地震発生シナリオ

～東北地方太平洋地震を踏まえて～

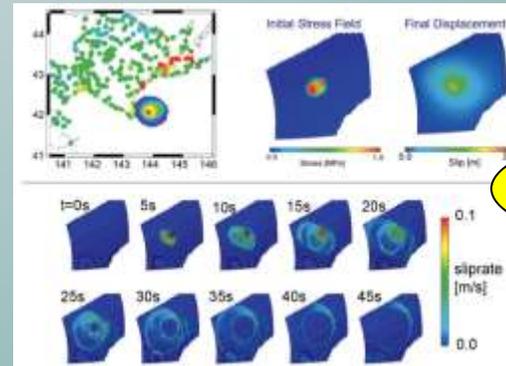
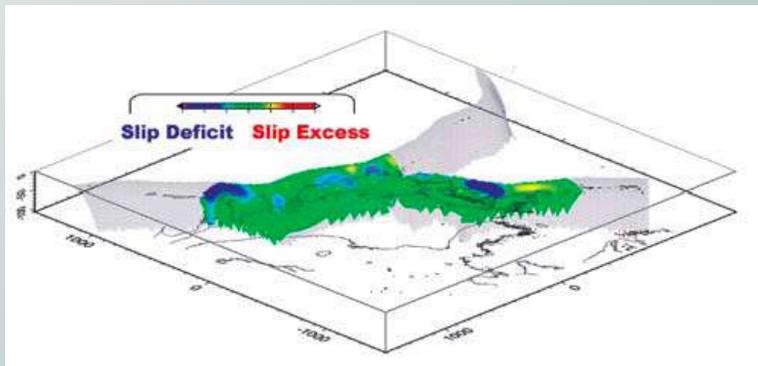
堀 高峰・*兵藤 守・福山英一・橋本千尋

研究目的

プレート境界での固着・すべり状態の予測システムを「京」に構築

予測システム① 日本列島全域に対して地震シナリオ

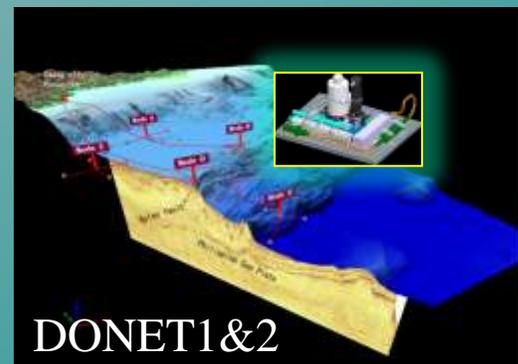
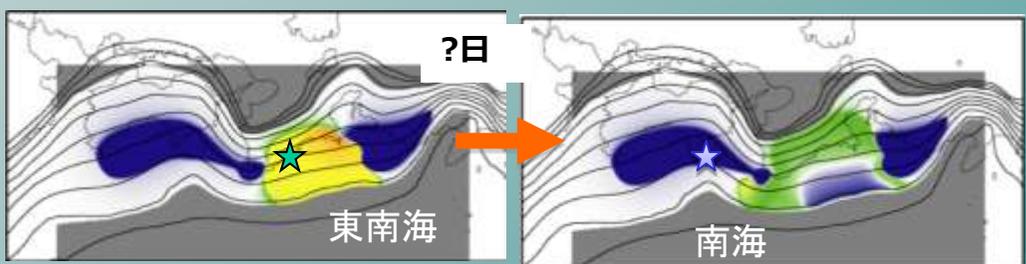
- ◆ GPSデータ・過去の地震履歴等からプレート境界の現状把握
- ◆ 地震の種を与え、それが成長するかしないかで地震を予測(地震シナリオ)



→結果の破壊過程を強
震動&津波の予測に

予測システム② 領域限定高解像度データ&シミュレーション(データ同化)

- ◆ 地震後の推移予測(例・東南海地震→南海地震)



東北地方太平洋沖地震の知見(1)

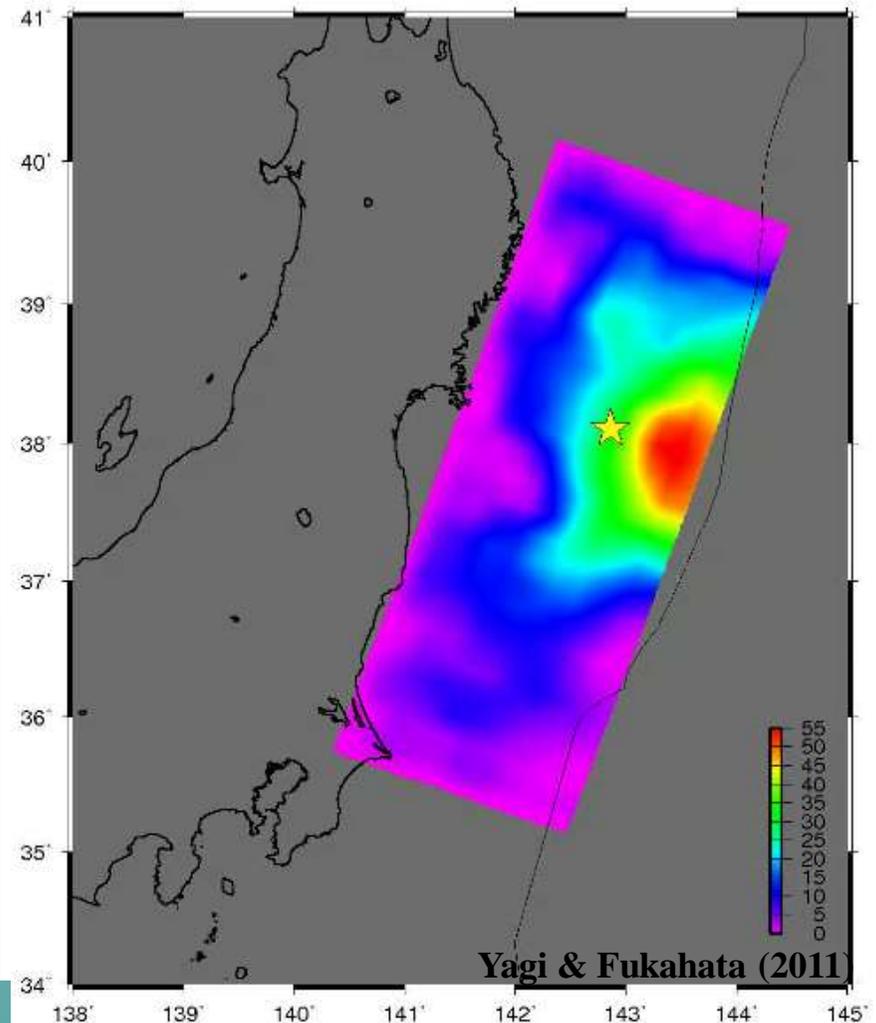
これまでの30年地震発生確率評価の問題

■ 地震調査研究推進本部による長期評価(30年発生確率評価)

- ◆ 日本で唯一の公式地震発生予測
- ◆ 地震の繰り返し履歴(=結果)ベース
- ◆ プレート境界の領域ごとにそこで最も起こりやすいと考えられる**同じ地震の繰り返し**を仮定

・宮城県沖	: M7.5前後	90%以上
・三陸南部海溝寄り	: M7.7前後	70~80%
・海溝寄り(津波地震)	: M8.2前後	20%
・福島県沖	: M7.4前後	7%以下
・茨城県沖	: M6.8前後	90%

- 左記の全領域+三陸沖中部にまたがる広域破壊
- M7.5前後からM9まで様々な地震が起こりうる



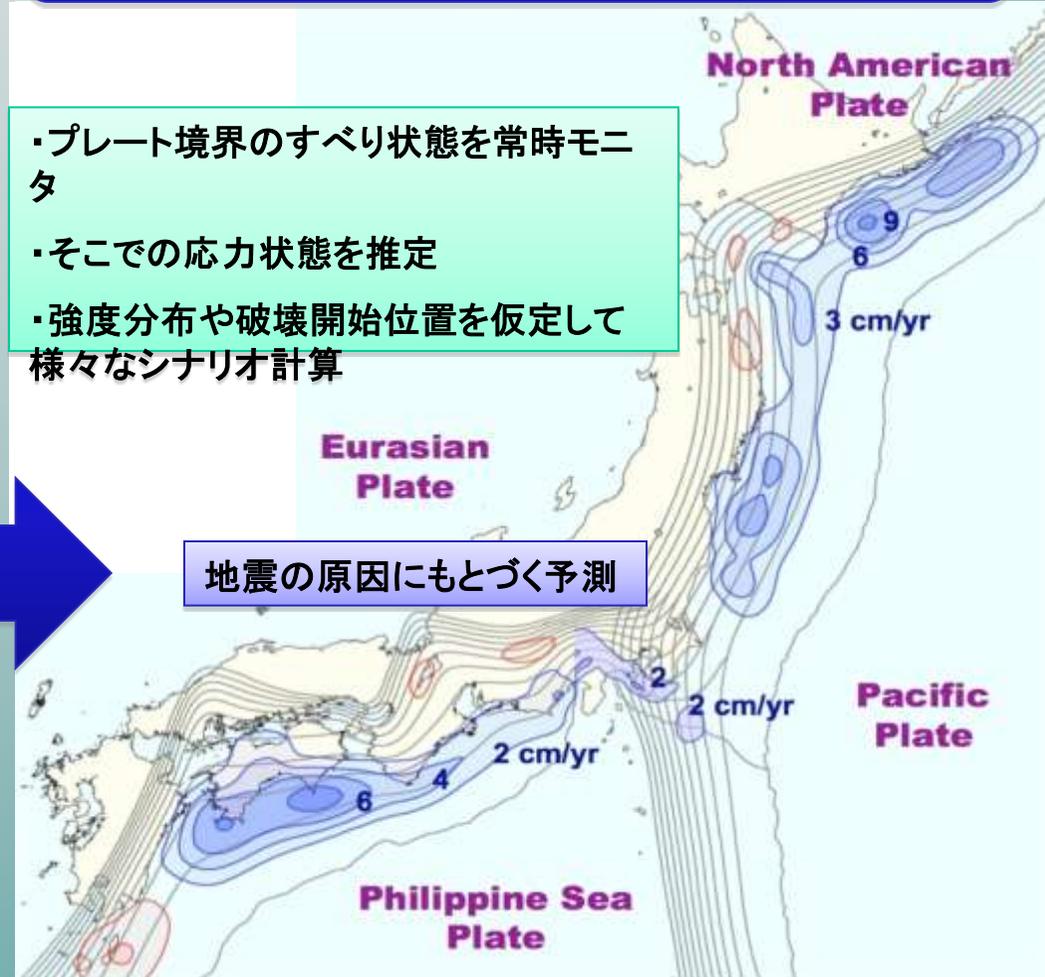
長期的な防災対策に向けて

30年地震発生確率評価からの脱皮

観測データとモデル計算にもとづく
長期評価システムの実現



- ・プレート境界のすべり状態を常時モニタ
- ・そこでの応力状態を推定
- ・強度分布や破壊開始位置を仮定して様々なシナリオ計算

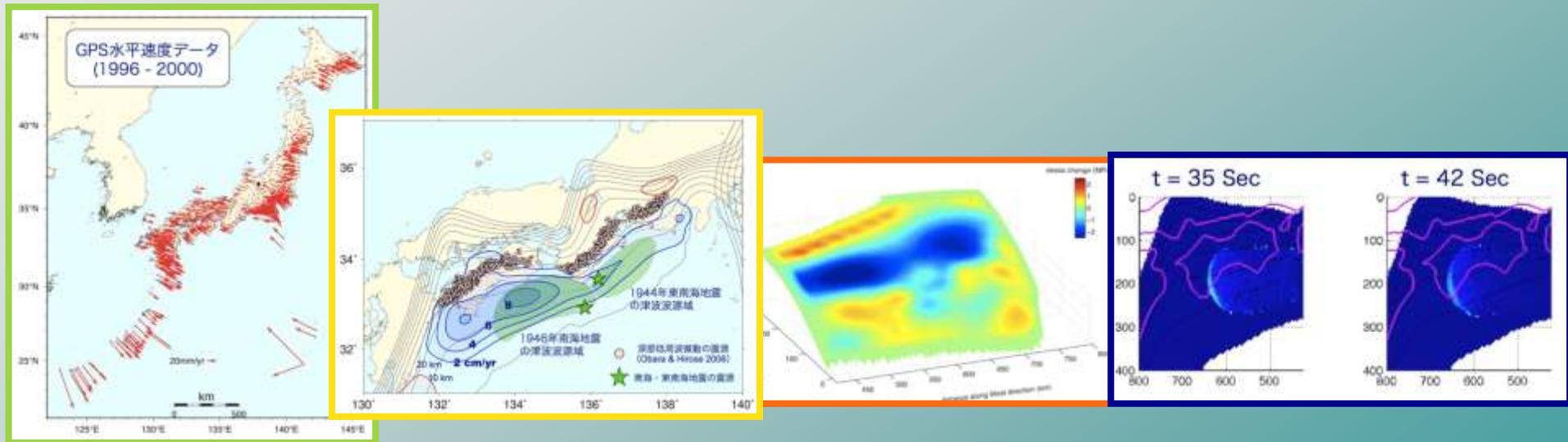


プレート境界固着・すべり推定とシナリオ想定

■ JST CREST研究(H17-H22): 観測・計算を融合した階層連結地震・津波災害予測シテム(研究代表:松浦充宏)で開発・プロトタイプ完成

◆ 地域限定のシミュレーション実施

計算規模: 4km メッシュ破壊伝播 Altix 1,024コア × 120時間

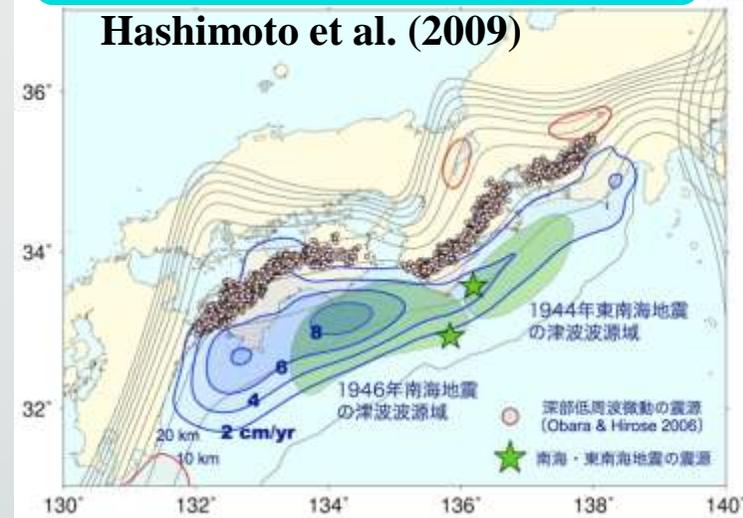


南海トラフでの地震シナリオの例

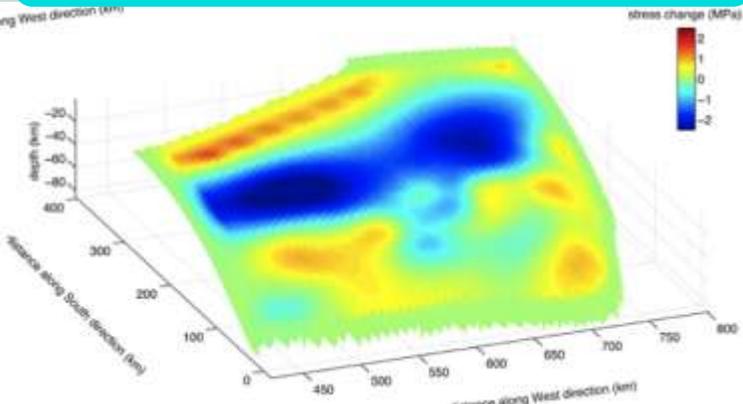
GPS データにもとづくズベリ欠損率

・推定された応力蓄積量にもとづいて応力降下量分布等を仮定し、異なる破壊開始点から動的な破壊伝播をスタート

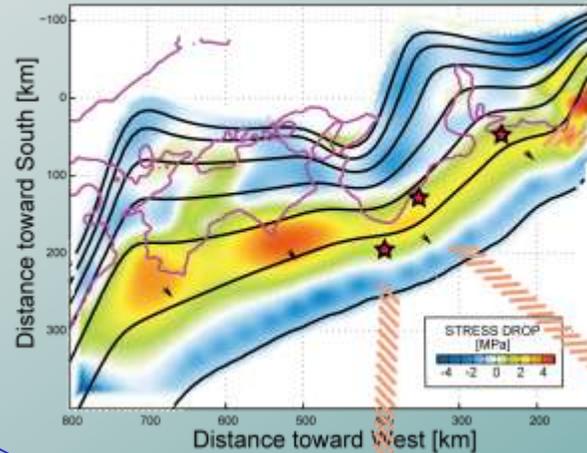
Hashimoto et al. (2009)



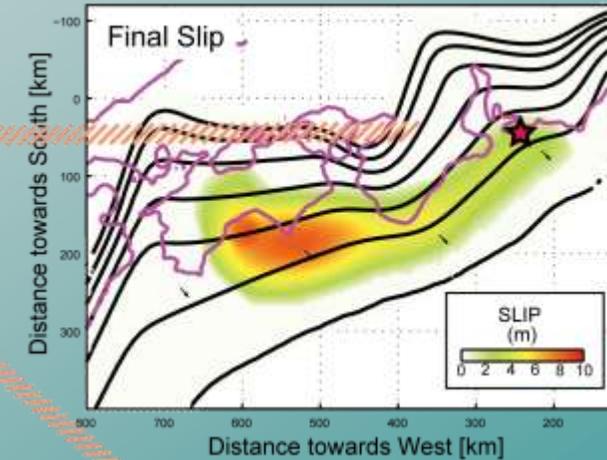
上記にもとづく初期応力場(南海震源域)



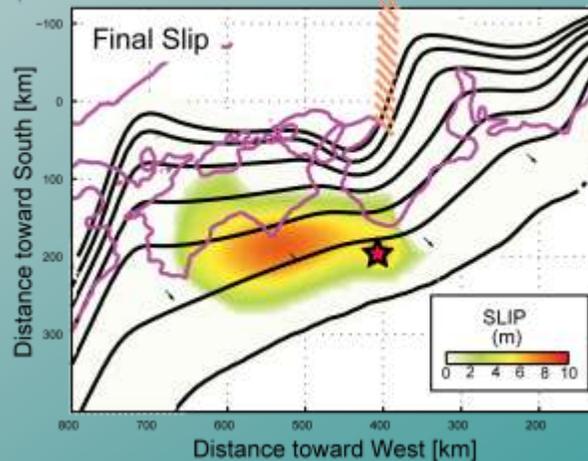
Stress Drop Distribution



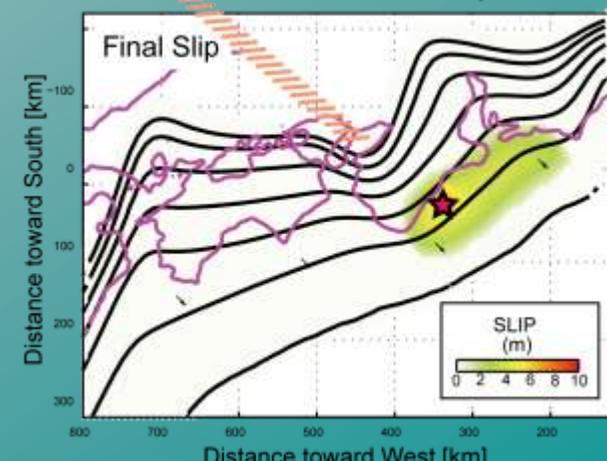
Giant Megathrust Earthquake



1946 Nankai Earthquake

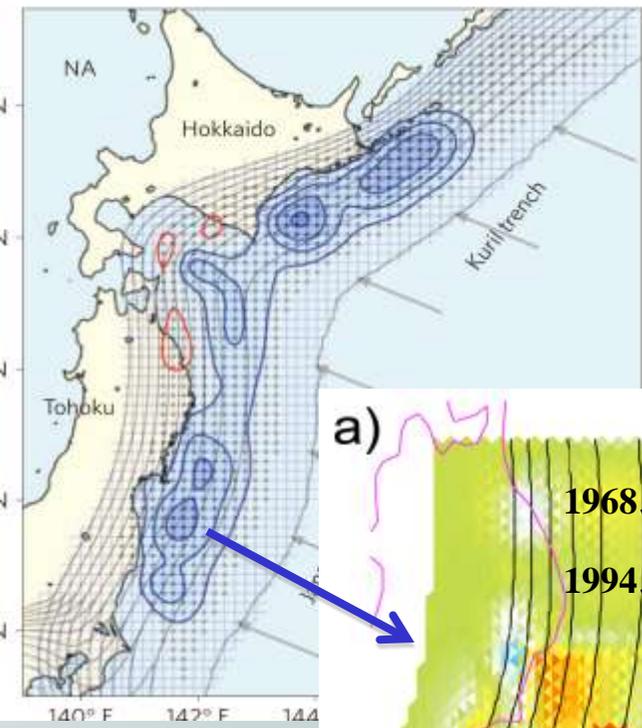


1944 Tonankai Earthquake



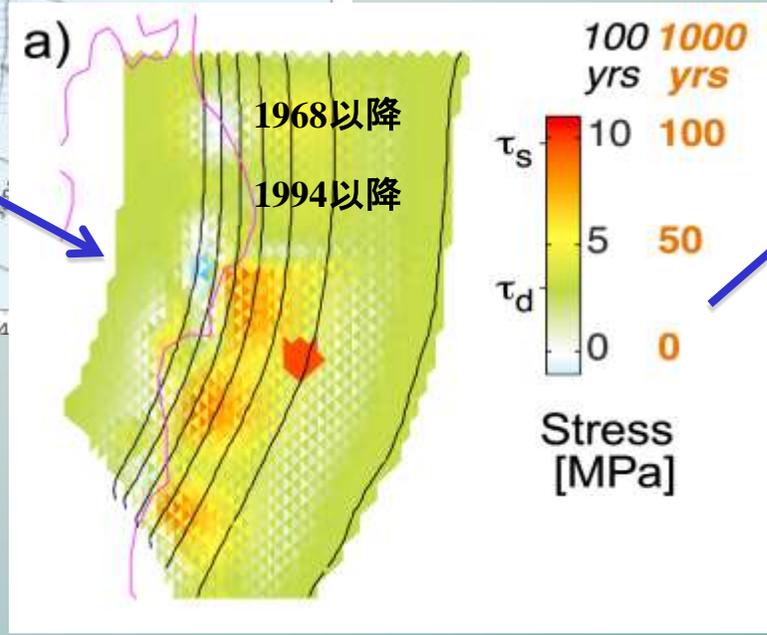
(Hok et al., 2011, JGR)

東北沖地震の領域での地震シナリオ



すべり遅れ量分布
(Hashimoto et al., 2009, NGeo)

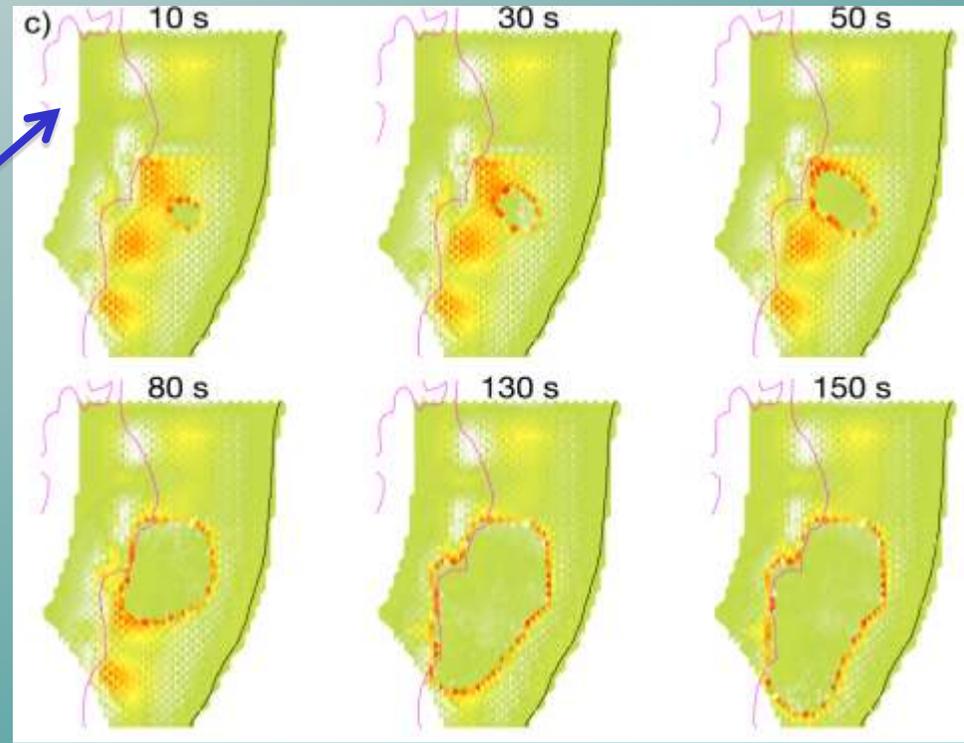
何年蓄積するか
によって変わる



応力蓄積量分布

(Hok et al., 2011, JGR)

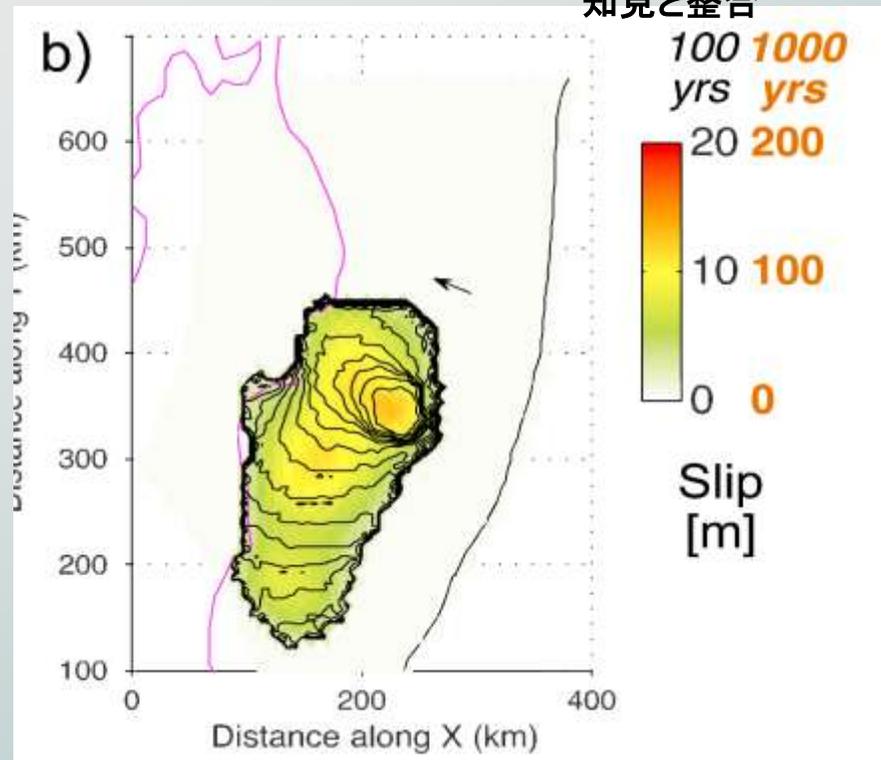
動的破壊進展のシミュレーション



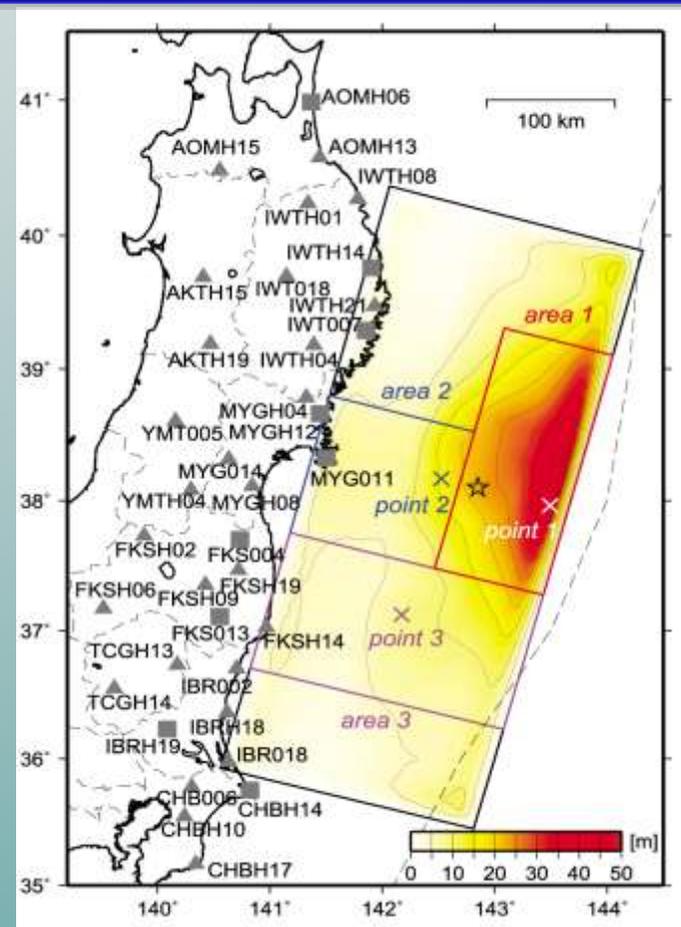
応力の時間変化(破壊進展の様子)

最終すべり分布の比較

数百年が妥当：
津波堆積物の
知見と整合



最終すべり分布と破壊伝播時間
(Hok et al., 2011 JGR)



強震波形のインバージョン結果
(Suzuki et al., 2011, GRL)

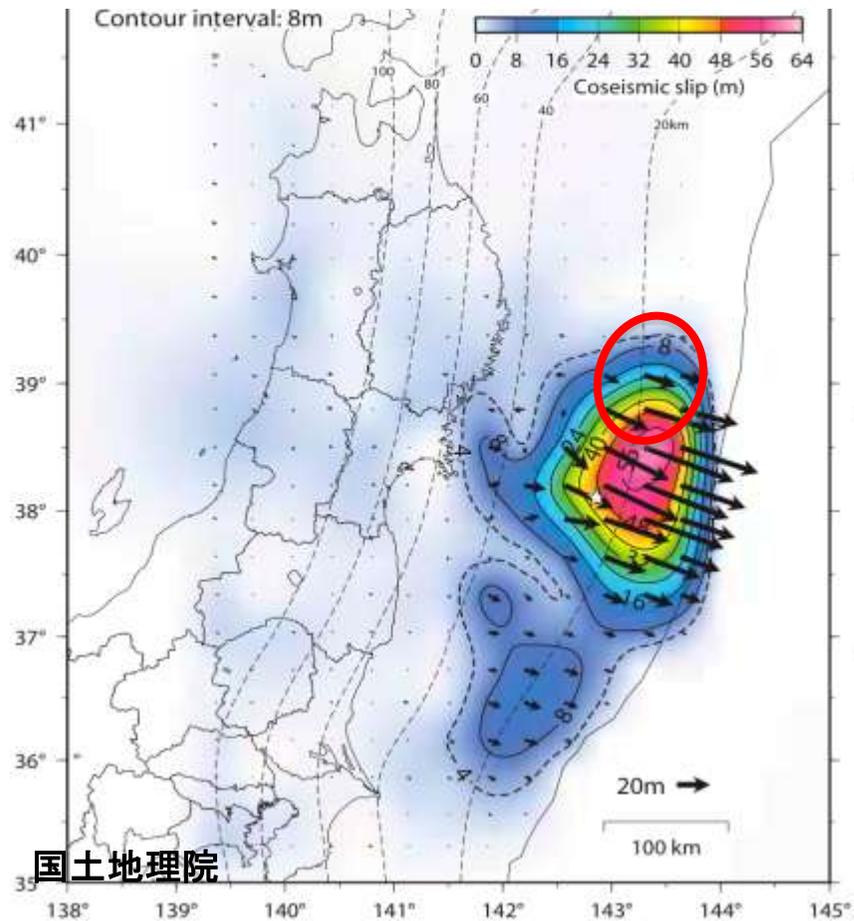
観測されていたすべり欠損分布から、
大雑把に東北沖地震を再現可能→**M9**
まで見落としなくシナリオ計算が可能

東北地方太平洋沖地震の知見(2)

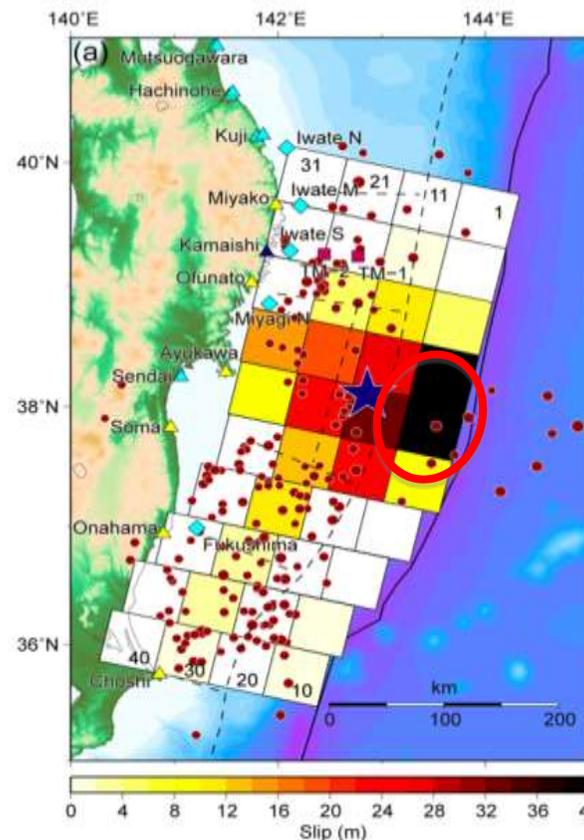
海溝付近で大きなすべりが起こりうる

従来地震性すべりがあまり起こらないと考えられていた
海溝付近で数十m以上という大きなすべり

地殻変動

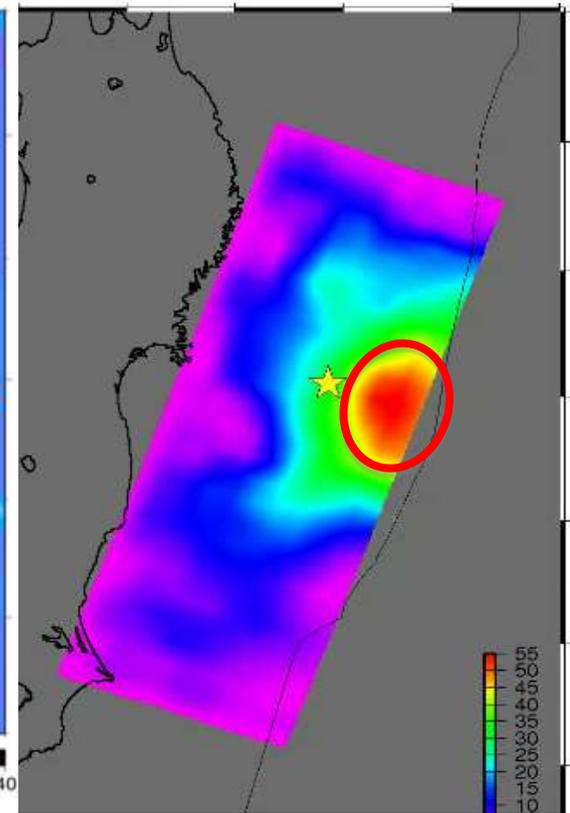


津波



Fujii et al. (2011)

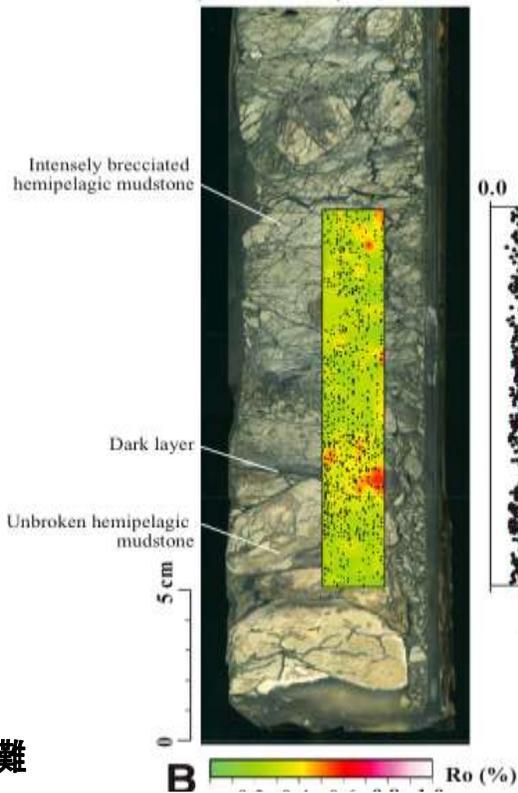
遠地地震波



Yagi & Fukahata (2011)

沈み込み口付近での大きなすべりは南海トラフでも

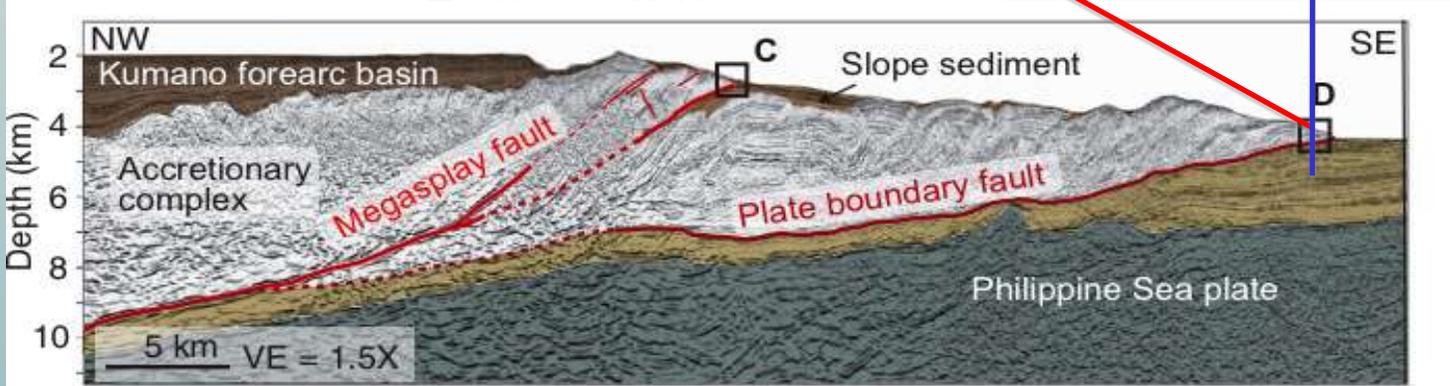
C0007: Plate boundary frontal thrust
(438 m CSF)



断層すべりの痕跡とその周囲で温度が上がった証拠→地震波や津波をおこす高速すべりの発生さらに、温度の上昇した範囲の広がりをも説明するには数十mのすべりが生じてもおかしくない

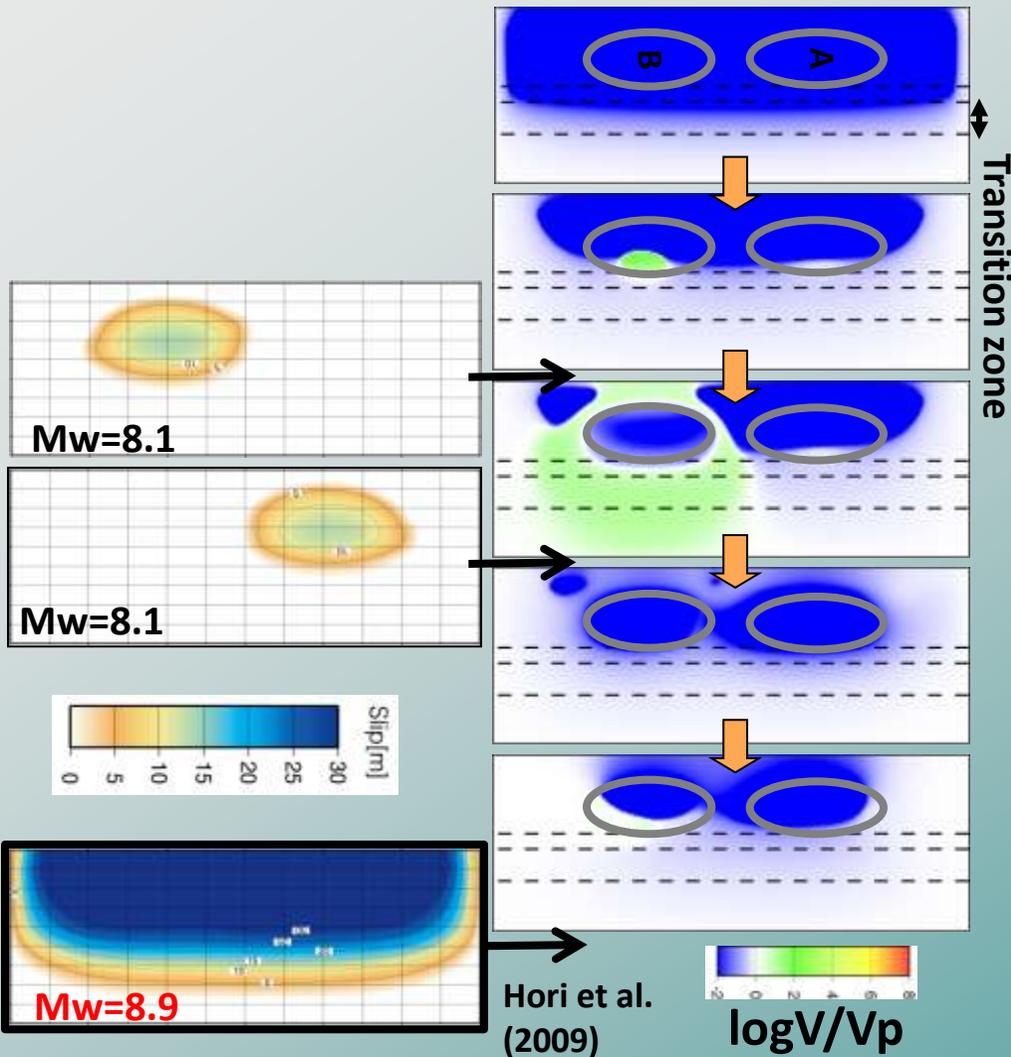


熊野灘

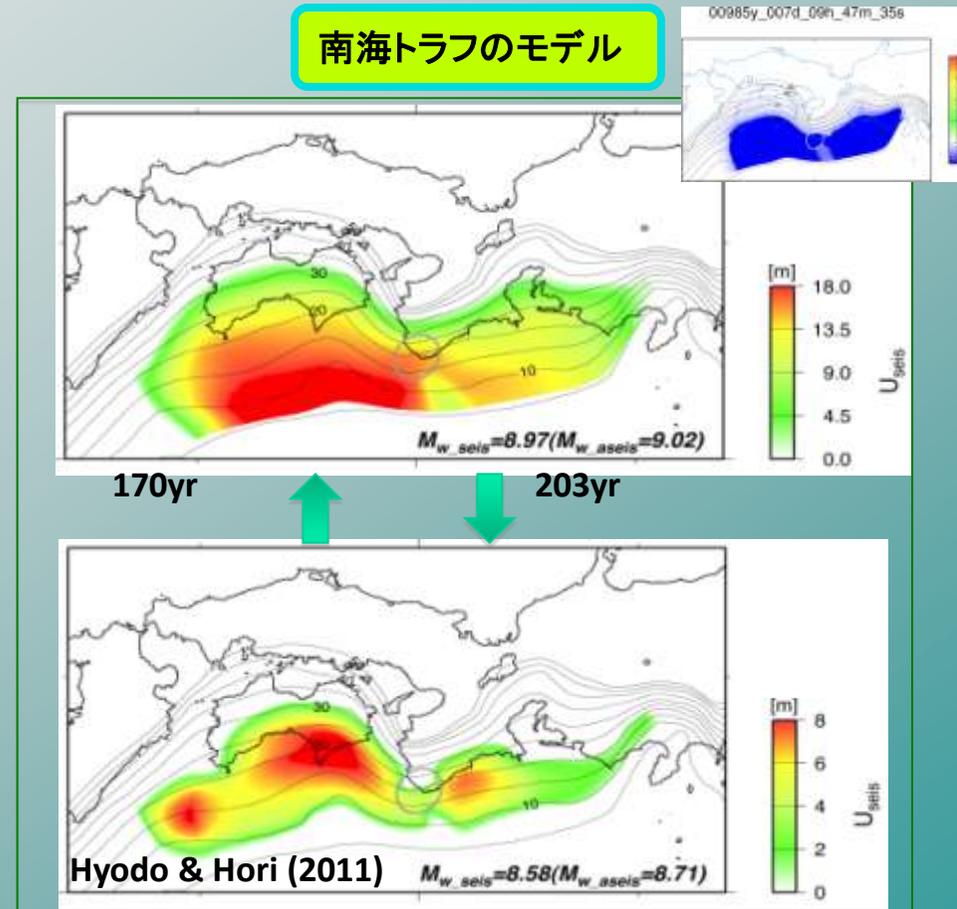


モデル計算での地震発生帯浅部 & 深部での高速すべり

階層型摩擦特性を仮定した平面断層モデル



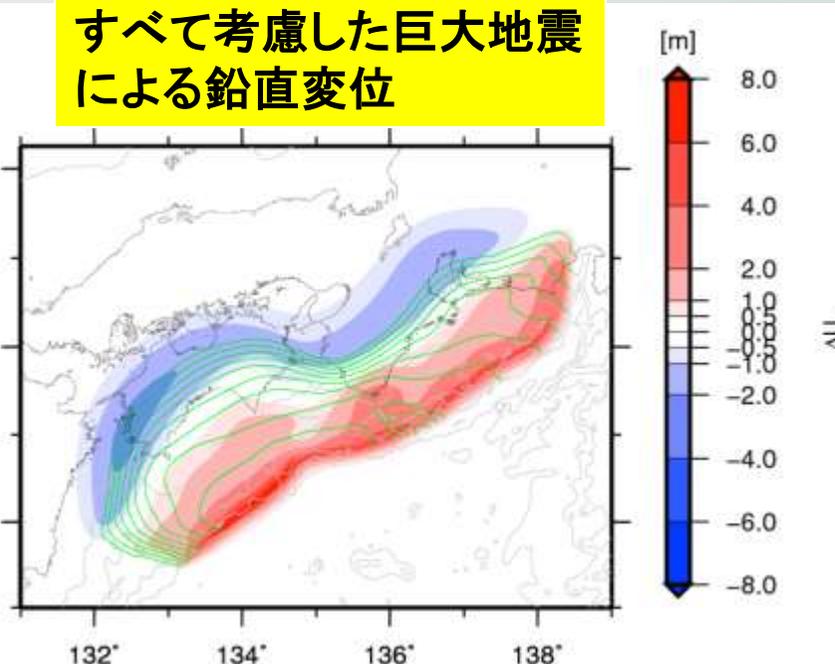
南海トラフのモデル



400年弱でM9クラスが繰り返す間に、M8.6が発生
 (途中のM8クラスの地震は複数回もあり得る)
 このようなシナリオの妥当性について津波被害等との
 比較で検討している

シナリオの一例にもとづく津波シミュレーション

浅部／深部／西部延長
すべて考慮した巨大地震
による鉛直変位



防波堤(2秒グリッド領域のみ)

○日本全域海岸線データ(日本水路協会)
の海岸の防波堤など表す線データから作成

海底摩擦(2秒グリッド領域のみ)

○粗度係数:一律0.025
○陸上浸水域が広め

手法

基礎方程式: 非線形長波方程式

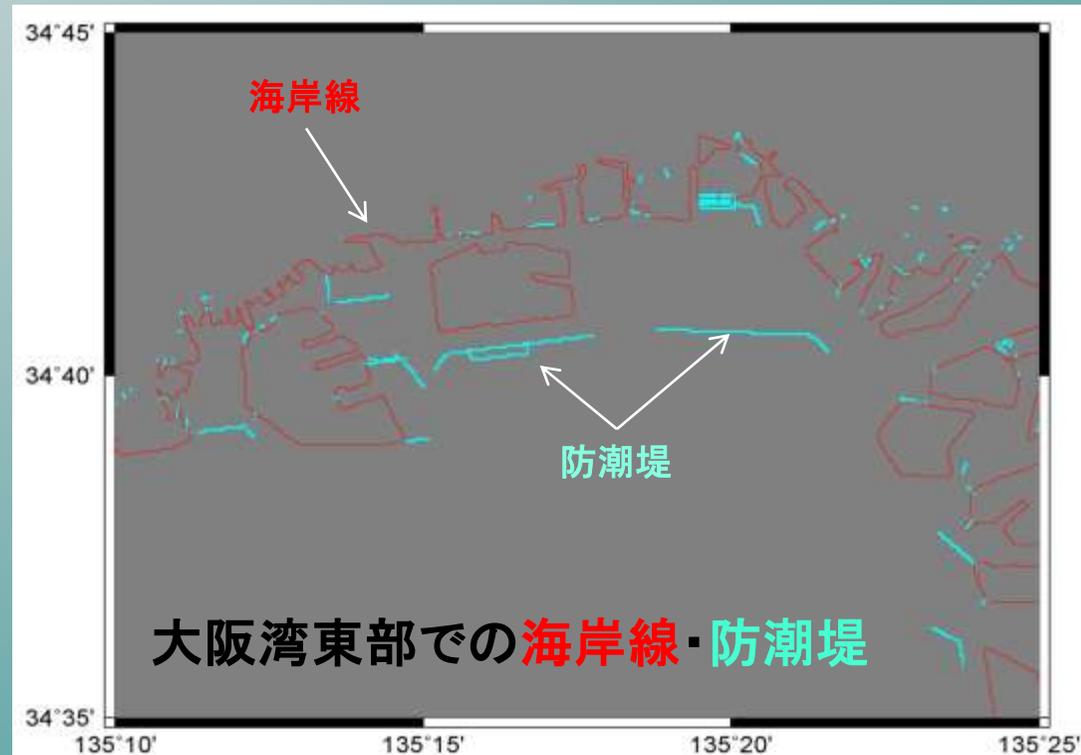
地形分解能: 30秒-6秒-2秒(約50m)

地殻変動による地盤変位: 考慮

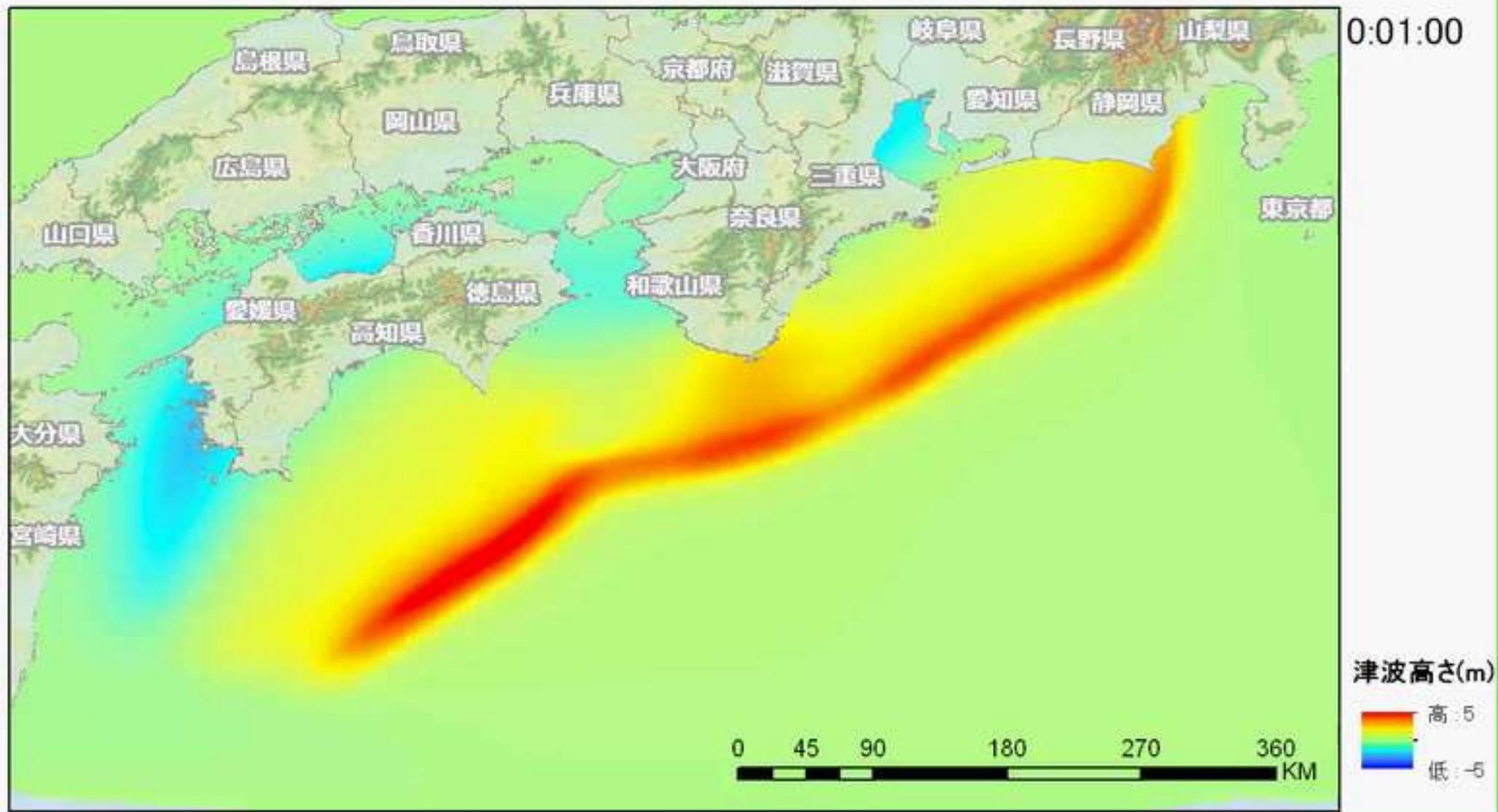
境界条件: 沖側 自由透過境界、陸側 遡上境界

構造物条件: 防波堤あり

海底摩擦: あり



シナリオの一例にもとづく津波シミュレーション



大阪湾～瀬戸内海への津波の侵入が顕著

東北地方太平洋沖地震の知見(3)

モニタリングの重要性

【小繰り返し地震による準静的すべりの時空間変化】

➢ 2月中旬からM7.3の震源南部ですべり開始(C, D)
: すべり速度: $V \sim 10 * V_{pl}$

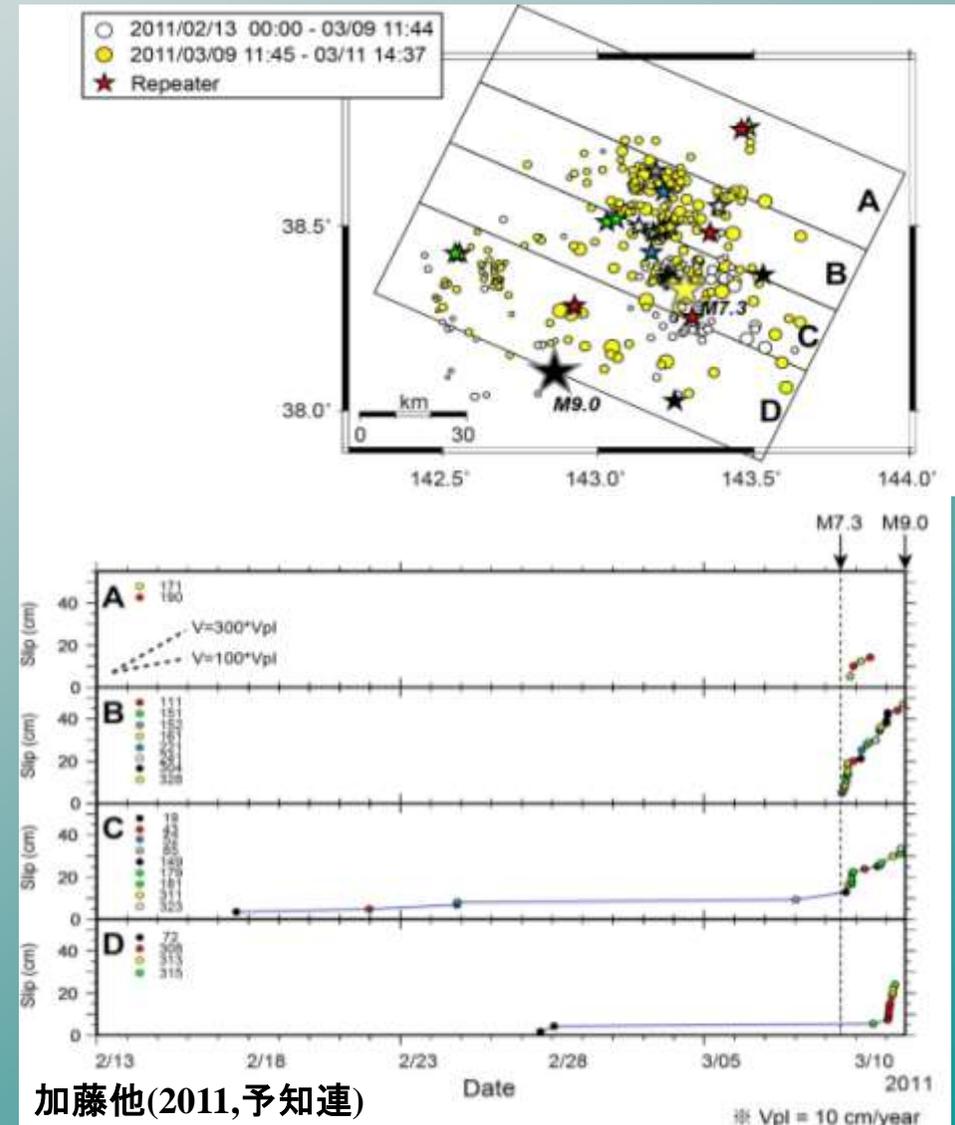
➢ M7.3発生後

◆ 震源域の中部～北部(A,B)でlog(t)系のすべり量の増加, 時間の経過とともに減速.

◆ M7.3震源域の南部では, すべりが本震の震央(南南西)方向に伝播・すべり増加(C, D).

減速は見られない=普通の余効すべりでない
本震の破壊核形成過程?

プレート境界のすべりをリアルタイムにモニタリングし、推移を予測することで、このようなすべりの意味を事前に検討できる可能性



モニタリングからどう推移予測へ繋げるか？

1□モニタリング=すべりの時空間変化推定



2□応力場推定(初期応力場はいろいろ仮定)



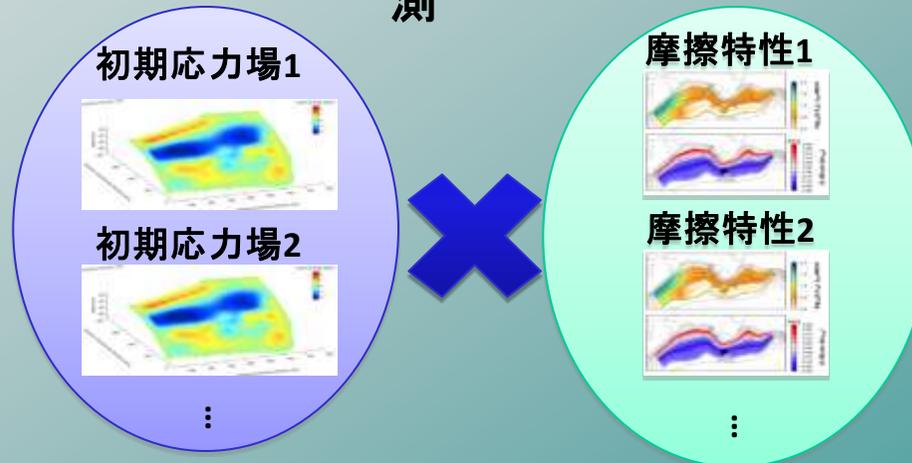
3□推移予測 & 摩擦特性候補の絞り込み

観測データのインバージョン解析

- ・モデルから、推定された応力場・すべり時空間分布を使えば摩擦強度の時空間変化が分かる
- ・その摩擦強度の時空間変化を説明するような摩擦特性をプレート境界での摩擦特性の候補



様々な初期条件 × 摩擦特性推定のばらつきに対し、その後のすべりの時空間変化の準動的計算 = 推移予測



超多数の初期応力値 × 摩擦特性に対して準動的計算が必要
→京コンピュータ必要・当然、効率的に使うことも必要

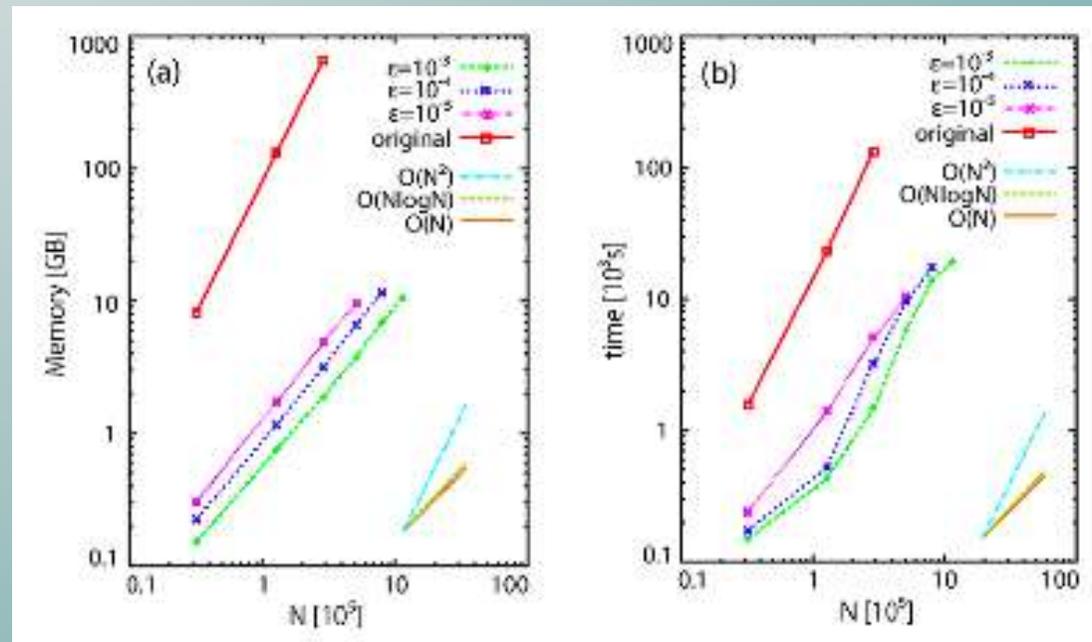
京の本格稼働へ向けた準備状況(1)

□ 密行列の演算の省メモリ&高速化

- ◆ Hierarchical Matrices (H-matrices) [Hackbasch,1999]の利用し、T2Kシステムでの地震サイクルシミュレーションで $O(N)$ を実現
- ◆ 計算時間は $O(N\log N)$ に近い

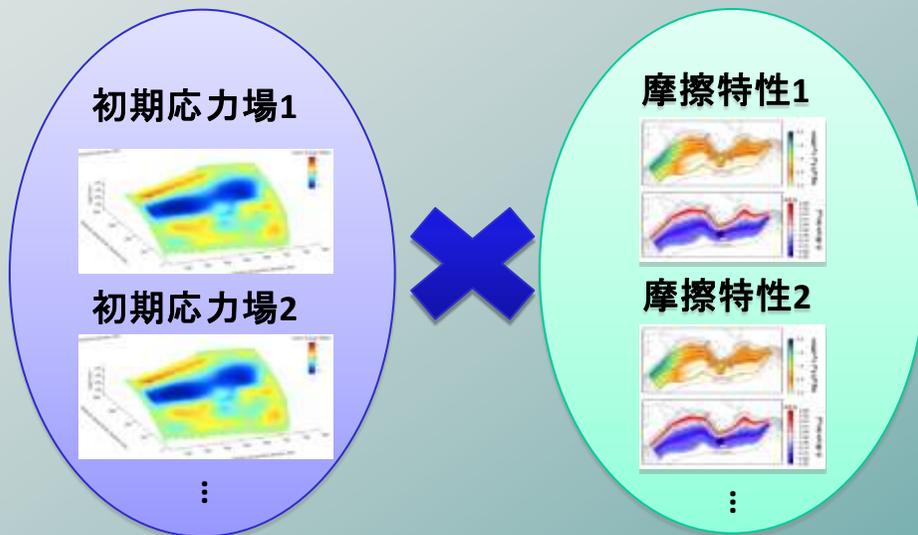
□ 京向けのチューニングの現状

- ◆ ノード内高速化により2倍の高速化(メモリアクセス限界の性能)
- ◆ 今後、ノード間のロードバランス調整を行うことで並列性能を向上



京の本格稼働へ向けた数値目標

- 目標とする問題：南海トラフ全域1kmメッシュのモデル
 - ◆ 現状で、地震数サイクルを京8ノードで12時間程度にて計算可
 - ◆ 少なくとも1,024ノード以上の物理並列で多数の初期値・パラメタの計算を行う（ES2でのフルノードを超える計算）
- モデルの不完全さ・観測誤差など不確定性の高さをできるだけ取り込み推移予測



今後の課題

□ 京でのモデル計算部分のチューニング

- ◆ 地震シナリオ検討用 : 破壊伝播シミュレーションコード
- ◆ データ同化用 : H-matrix版地震発生サイクルコード

□ データ同化に向けた実観測データの取り扱い

- ◆ 日向灘でのインバージョン(モニタリング)
- ◆ 十勝沖余効すべり、東海SSEなどを対象とした強度・パラメタ推定
- ◆ 推定結果を用いたシミュレーション

□ すべり応答関数への3次元不均質構造の導入

- 自由表面形状
- 弾性・粘弾性不均質構造を導入

