

京コンピュータ・シンポジウム2013
HPCI戦略プログラム 分野3 地震津波課題

—総合地震シミュレーターを目指して—

独立行政法人海洋研究開発機構
地震津波・防災研究プロジェクトリーダー
金田 義行

2013.5.13



JAMSTEC
JAPAN AGENCY FOR MARINE-EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY

自己紹介



金田 義行 (かねだ よしゆき)

昭和28年8月28日生まれ(59歳)
東京生まれ、千葉在住

独立行政法人海洋研究開発機構
地震津波・防災研究プロジェクトリーダー

阪神淡路大震災をきっかけに、社会へ貢献
できる研究者を目指す。
調査観測、シミュレーション、地域防災など
様々なプロジェクトに関わる。

分野3 防災・減災に資する地球変動予測

背景

- 地球温暖化時の台風の動向が今なお不明確、より高精度の集中豪雨予測のニーズ
- 地震発生時における避難・救援行動に必要な高解像度の被害予測、津波による浸水域等の高精度な情報のニーズ

戦略目標

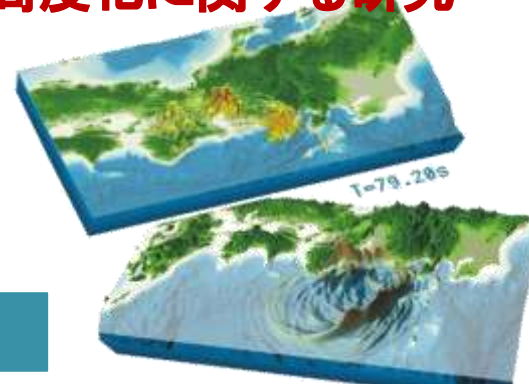
地球温暖化時の**台風**の動向の全球的予測と**集中豪雨**の予測実証および次世代型**地震**ハザードマップの構築と**津波**警報の高精度化

研究開発課題

1: 防災・減災に資する
気象・気候・環境 予測研究



2: 地震・津波の予測精度の高度化に関する研究

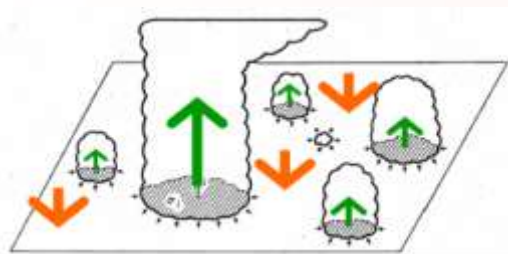


計算科学技術推進体制構築

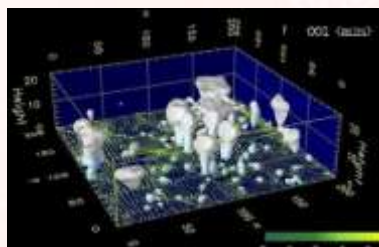
防災・減災に資する気象・気候、環境予測

地球温暖化時の台風の動向に関する全球的予測

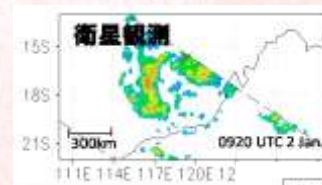
全球雲解像モデル(NICAM:ニッカム)による温暖化時の**台風**の研究



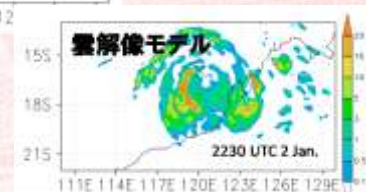
現行モデル(雲をパラメタ化)



雲解像モデル



衛星観測



雲解像モデル

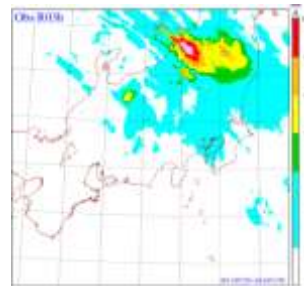
メソスケール気象予測 (集中豪雨の予測実証)

領域雲解像4次元データ同化技術の開発

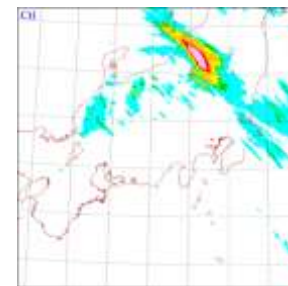
領域雲解像アンサンブル解析予報システムの開発と検証

高精度領域大気モデルの開発とそれを用いた基礎研究

平成23年新潟・福島豪雨



観測



京(1km格子)

地球規模の変動予測

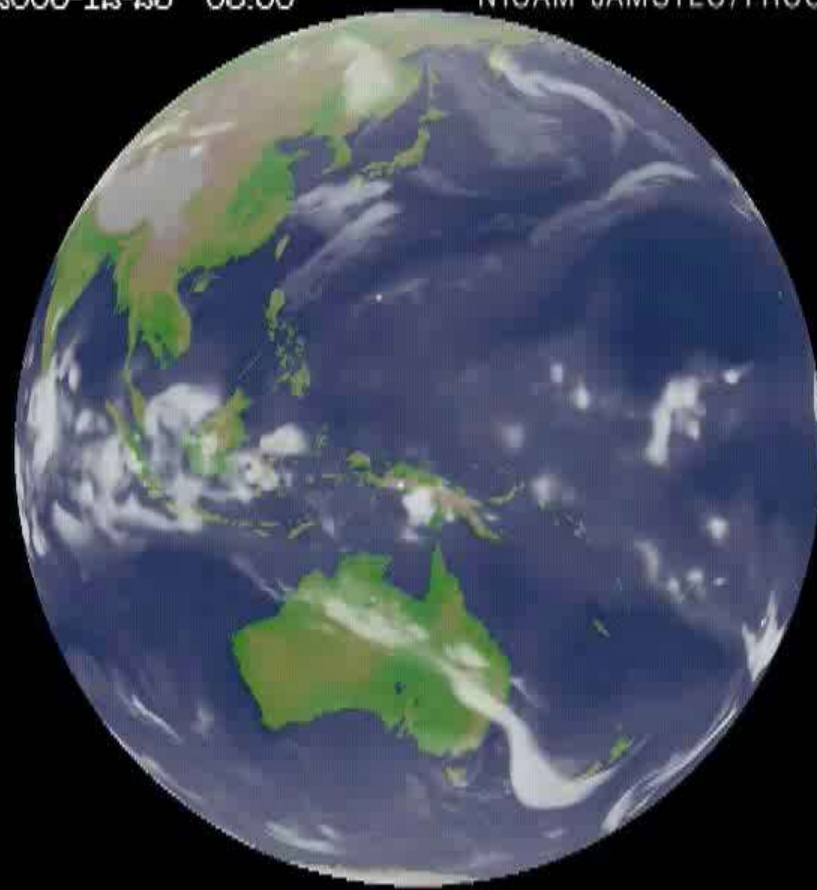
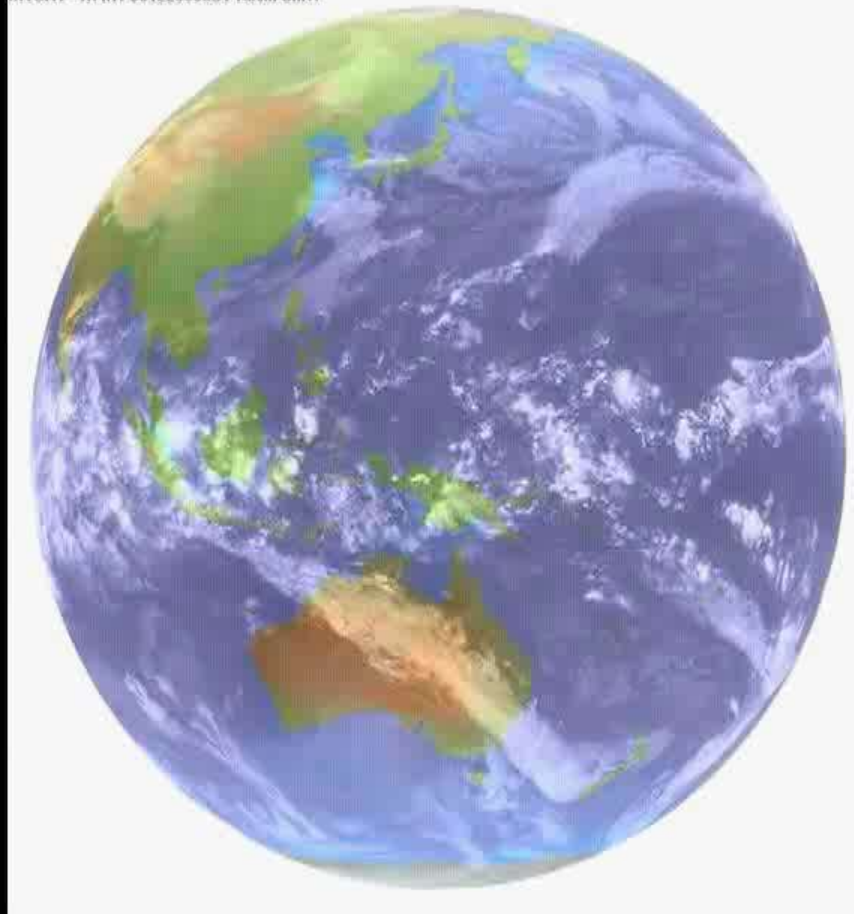
MTSAT-1R

NICAM

MTSAT-1R IRI 06122503.JST Kochi Univ.

2006-12-25 03:00

NICAM JAMSTEC/FRCGC



全球雲解像モデルNICAM



2011.03.11 東日本大震災

東日本大震災



東日本大震災の教訓をどのように活かし、
南海トラフ巨大地震大津波に備えるか



東日本大震災の被害

基本的な人的、建物被害（消防庁調べ）

	東日本大震災 H23.2.14 東北地方太平洋沖地震	阪神淡路大震災 H18.5.19 兵庫県南部地震
人的被害	2万5,375人	<u>5万0,229人</u>
死者	1万6,140人	6,404人
建物被害	37万2,015棟	<u>24万9,100棟</u>
全壊家屋数	12万8,582棟	10万4,906棟
半壊家屋数	24万4,031棟	14万4,274棟

南海トラフ巨大地震大津波では地震と津波の
広域複合災害が発生すると想定されている

今後想定される大震災
に備え、防災・減災へ
向けた活動・研究を進
める必要がある。

宮城県 気仙沼

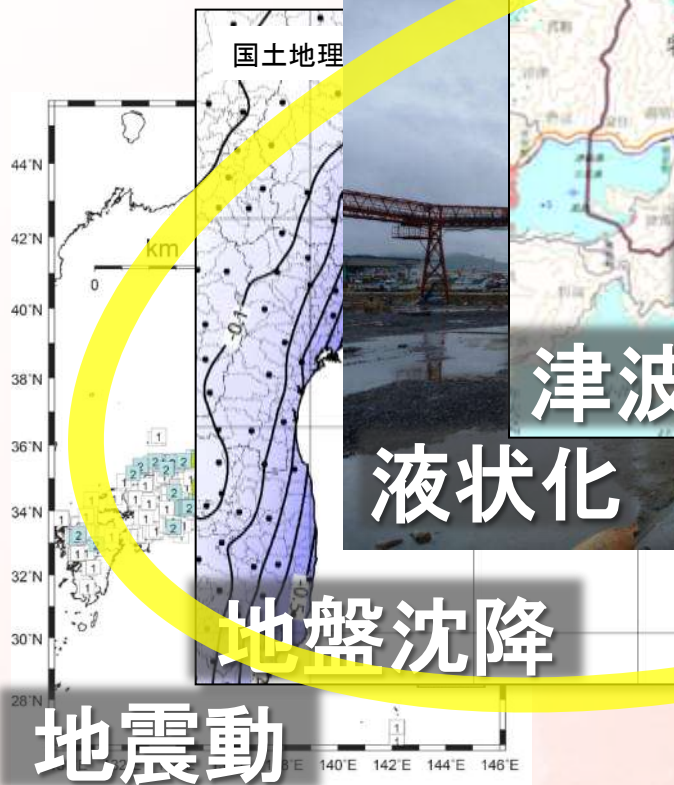


兵庫県 東灘区



広域複合災害

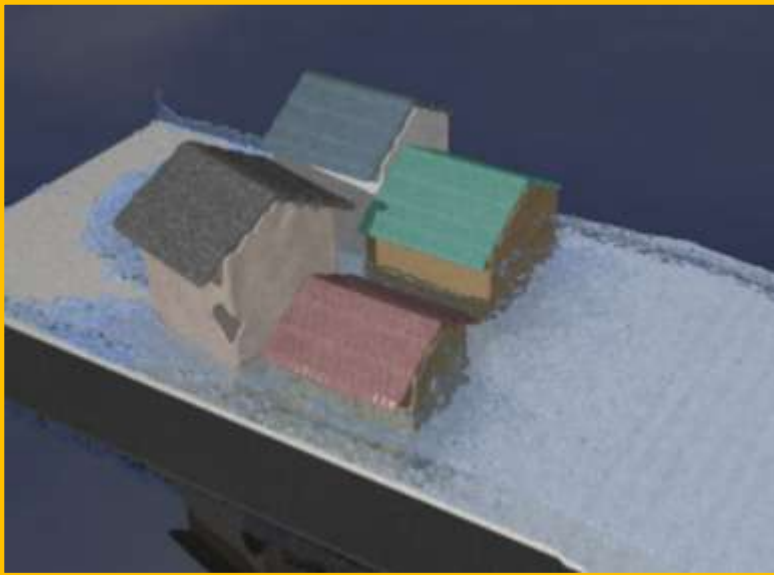
東日本大震災では倒壊物、漂流物による被害の拡大など、地震・津波の直接被害以外にも、多くの複合災害が発生



南海トラフ巨大地震大津波による
広域複合災害への備えは
日本の最大級の防災・減災課題

複合被害の予測

シミュレーション技術の高度化が必須



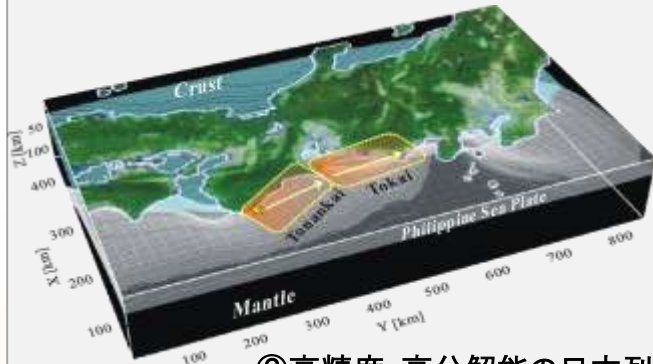
<http://www7a.biglobe.ne.jp/~fireschool2/d-A8-49.TUNAMI.fire.2012.03.pdf>



地震・津波の予測精度の高度化に関する研究

発生

① データ同化手法を用いた地震の発生シナリオの予測



② 高精度・高分解能の日本列島下地震波速度構造モデルの構築

地震・津波事象

地震動



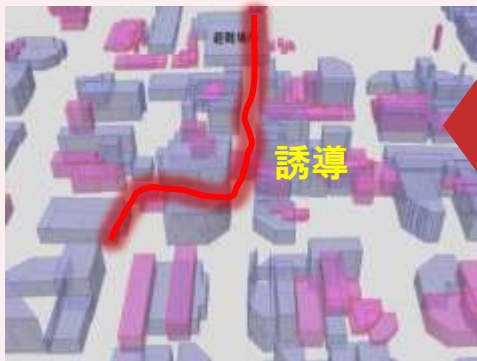
③ 高精度地震動・津波シミュレーション



津波

入力

被害予測・避難シミュレーション

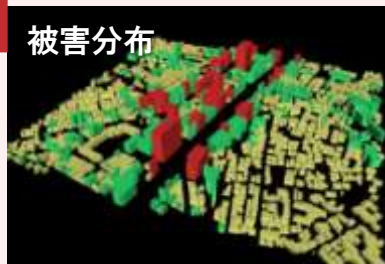


⑥ 避難誘導シミュレーション

浸水分布



被害分布



⑤ 都市全構造物に対する地震・津波の被害予測

構造物被害



④ 地震動および津波を入力とした都市丸ごとシミュレーション

プロジェクト実施体制

分野3

(1) 防災・減災に資する気象・気候・環境 予測研究

(2) 地震・津波の予測精度の高度化に関する研究

研究開発課題責任者: 金田義行(海洋機構)

① 地震の予測精度の高度化に関する研究

(シナリオ→地下構造→地震動)

担当責任者: 古村孝志(東大院情報学環)

② 津波の予測精度の高度化に関する研究

(シナリオ→海底地形→津波)

担当責任者: 今村文彦(東北大)

③ 都市全域の地震等自然災害シミュレーションに関する研究

(地震動・津波→都市モデル→都市被害・避難)

担当責任者: 堀宗朗(東大地震研)

計算科学技術推進体制構築

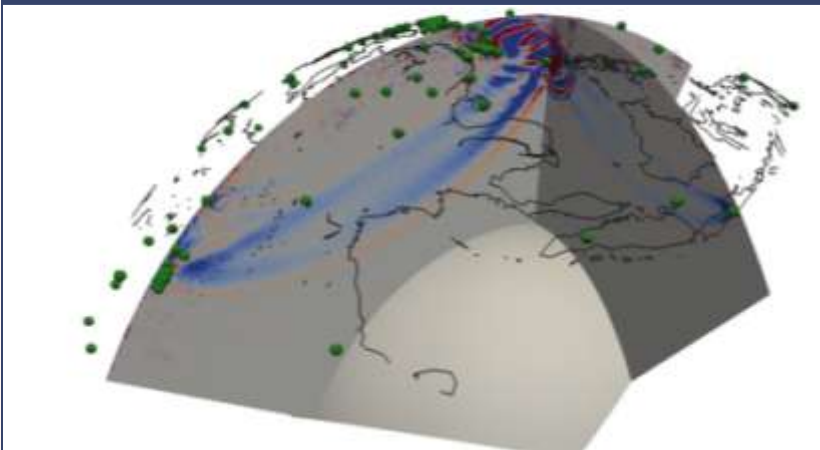
地震の予測精度の高度化

- 京コンピュータによる大規模並列地震動シミュレーションを実施し、過去の大地震の揺れと津波を再現する
- 地下構造モデルシミュレーションによる大地震の震源断層モデルの高度化、地震波が伝搬する地下構造モデルの高度化
- 地震発生サイクルシミュレーションにより海溝型巨大地震の繰り返し発生をモデル化、また、地殻変動をデータと逐次同化を実施

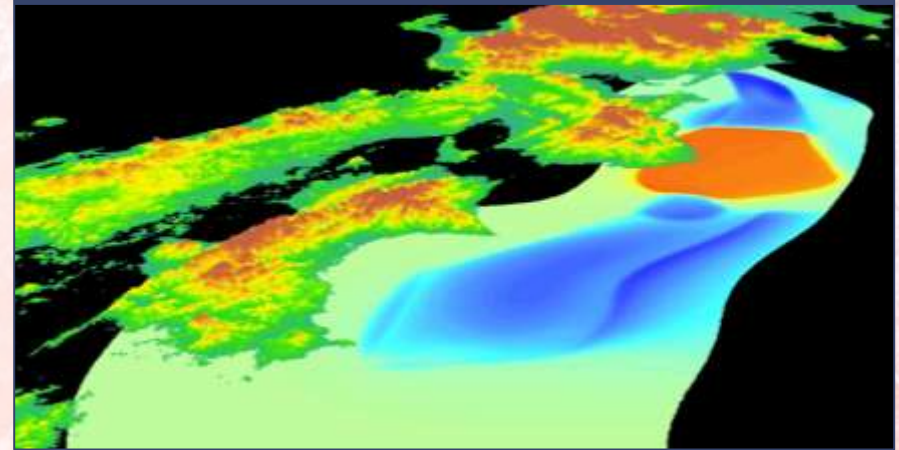
(a) 地震波伝播シミュレーション
Seism3D 古村グループ (東大)



(b) 地下構造モデルシミュレーション
RS3D 坪井グループ (JAMSTEC)



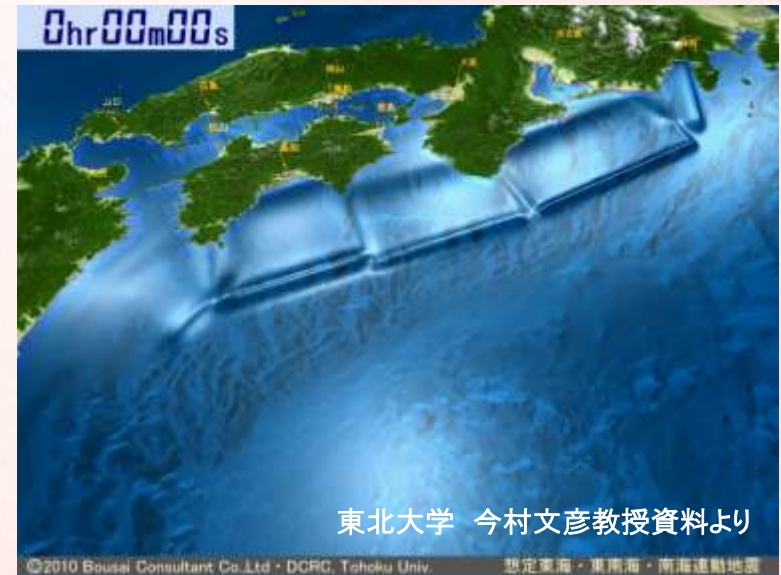
(c) 地震発生サイクルシミュレーション
RSGDX 堀グループ (JAMSTEC)



津波予測の高精度化

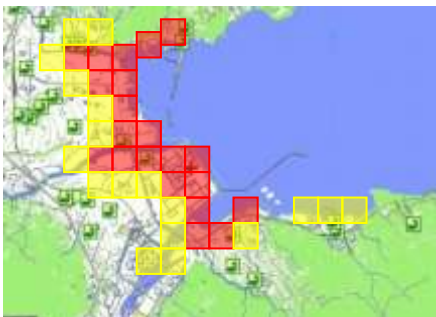
基盤となる取組み

- ◆ リアルタイム地震・津波観測システム
- ◆ 津波波源推定インバージョン手法
- ◆ 津波発生・伝播シミュレーション
(高さ、流れ、波高、継続時間)
- ◆ 津波に関する水理模型実験

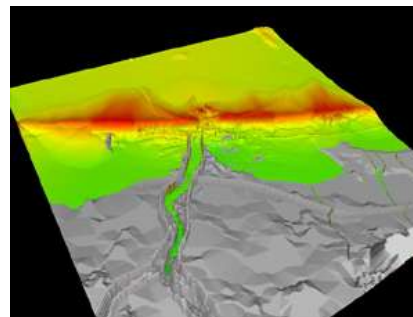


目標

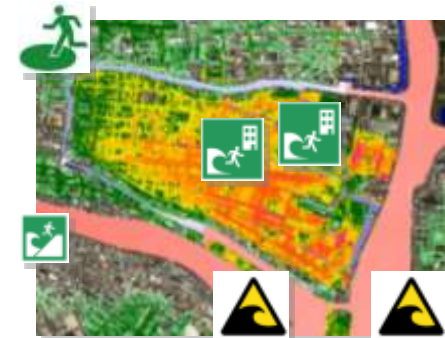
リアルタイム観測データとの融合により、以下の予測を高精度・高速化・浸水域、浸水深、津波ハザード(流れ, 流体力)、被害+複合被害地震発生後の津波避難計画に資する情報を提供する。



分解能5mでの予想津波浸水浸分布: 赤色は1m以上を示す。

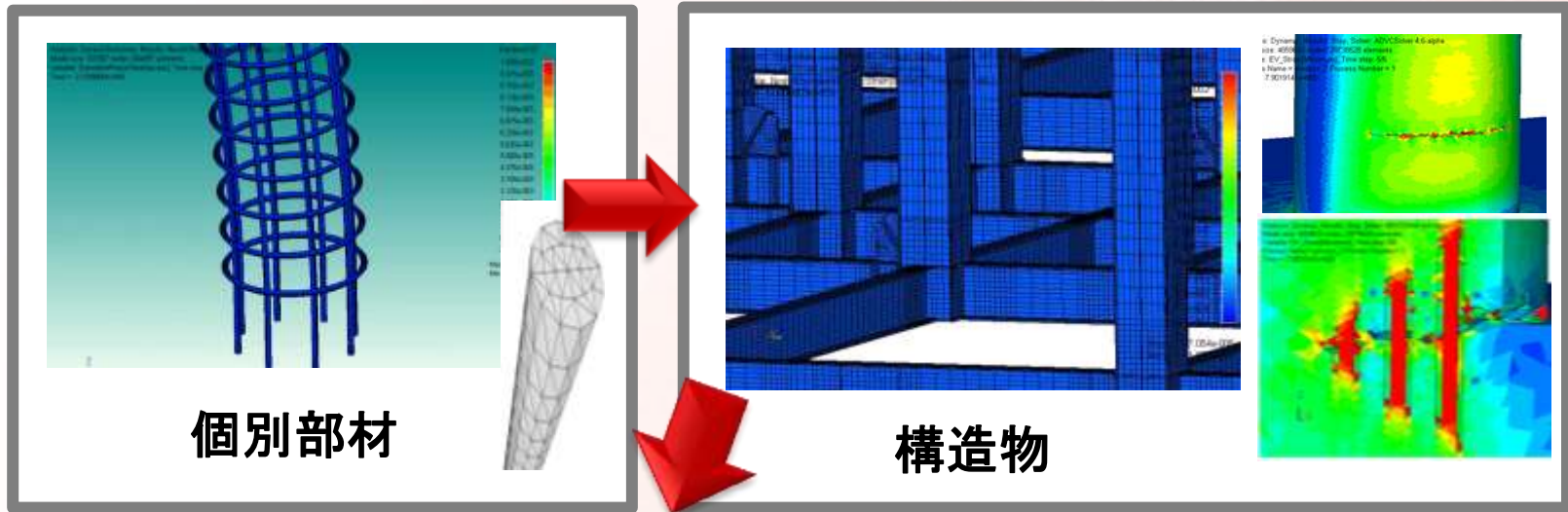


分解能5mでの予想津波流速分布: 赤色は11m/s以上を示す。



津波ハザード・被害の推定、被害軽減策の検討

都市全域の地震等自然災害シミュレーションに関する研究



都市全体の地震動応答

避難行動
シミュレーション

基盤となる取組み

- 構造物地震応答シミュレーション
- 損傷・破壊, 設備・人への影響

京コンピュータによるシミュレーション研究

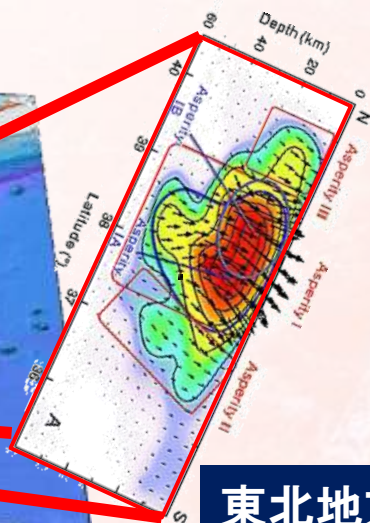
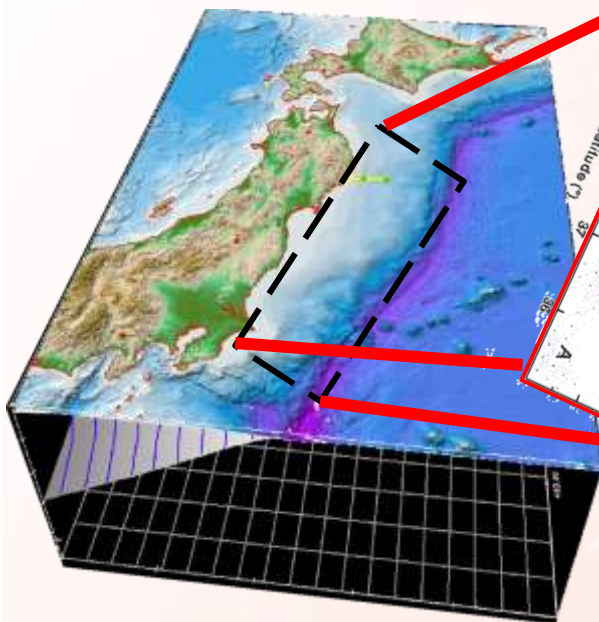
- 都市情報基盤データを利用した, 都市全構造物の被害予測, 地震被害が社会・経済に及ぼす影響の予測
- 効果的な減災のための避難シミュレーション

東日本大震災：地震津波伝播シミュレーション

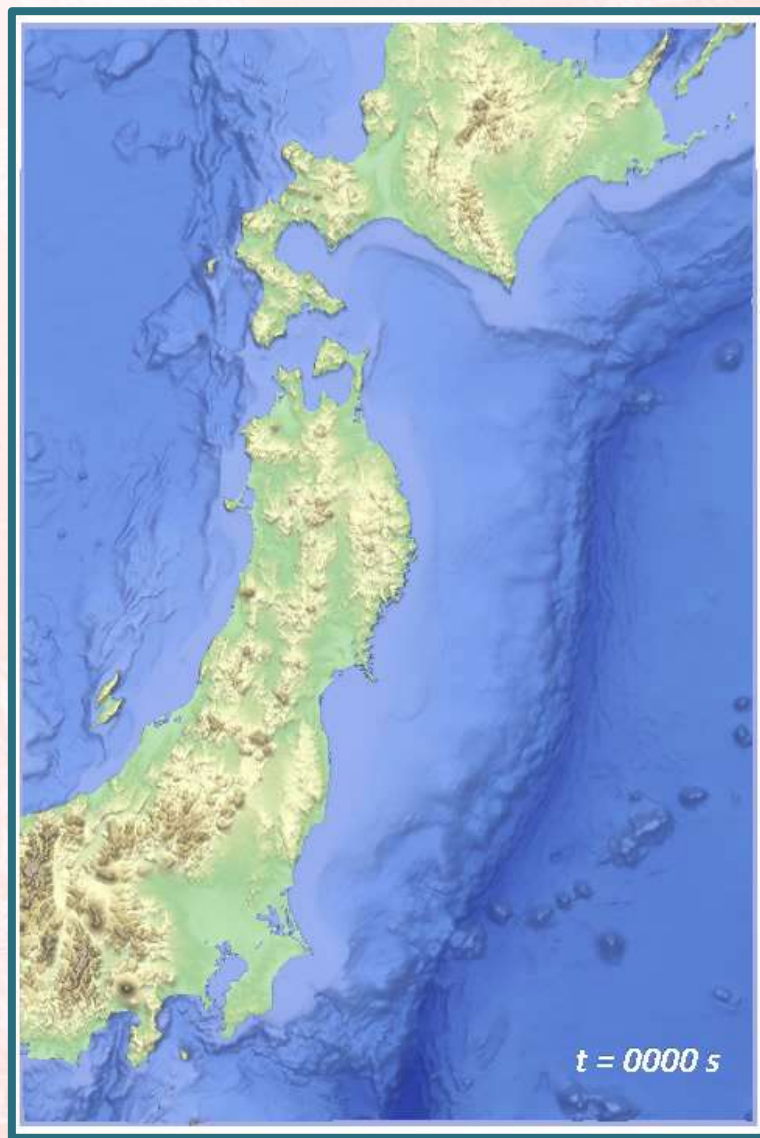
★東北地方太平洋沖地震モデル

- ・ 計算領域：1192x768 x 500km³
- ・ 格子数：2304 x 1536 x 2000
- ・ 計算ノード数：2304
- ・ 計算時間：4時間

東北日本
地下構造モデル



東北地方太平洋
沖地震
震源モデル



釜石三次元津波浸水シミュレーション



STOC_MLとSTOC_ICの親子関係の実行、およびCADMASの3連成実行のMPMD実行モデルの性能は、同期待ち時間が大きなネック



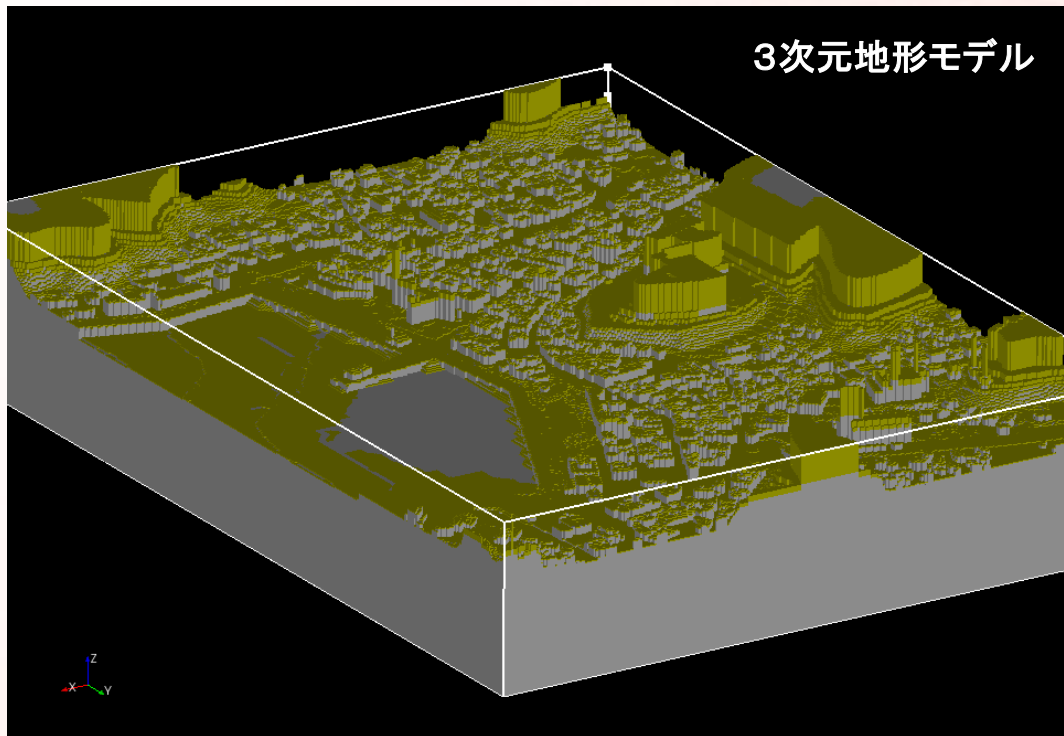
MPMD実行モデルのプロセス間のデータバランスは避けられないため、スレッド並列化してプロセス間同期待ちを小さくする。数倍程度の速度向上が見られる

ロード
バランス
の検討

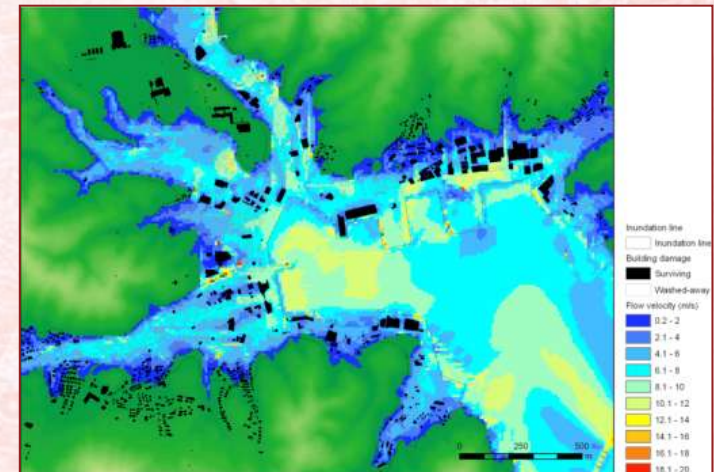
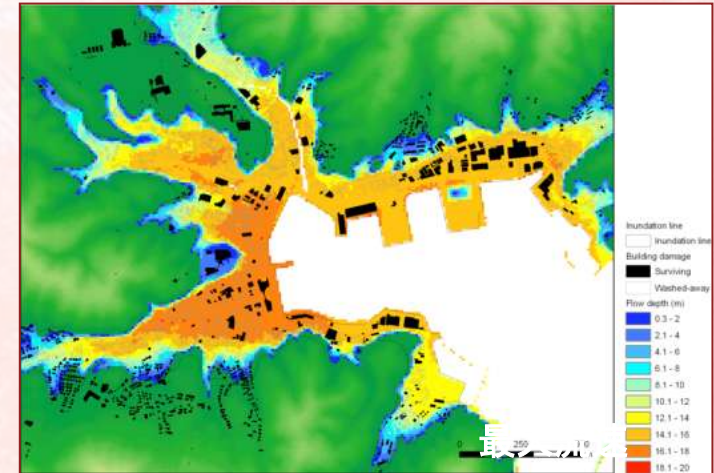


女川における津波シミュレーション (解析中)

基礎データの構築(地形・建物), $dx=10m$,
建物被害の調査とビデオ解析による津波氾
濫流況の把握
津波浸水計算の実施と検証(被害)
マリナル周辺での3次元解析 (3次元流体
+ 建物の変形)



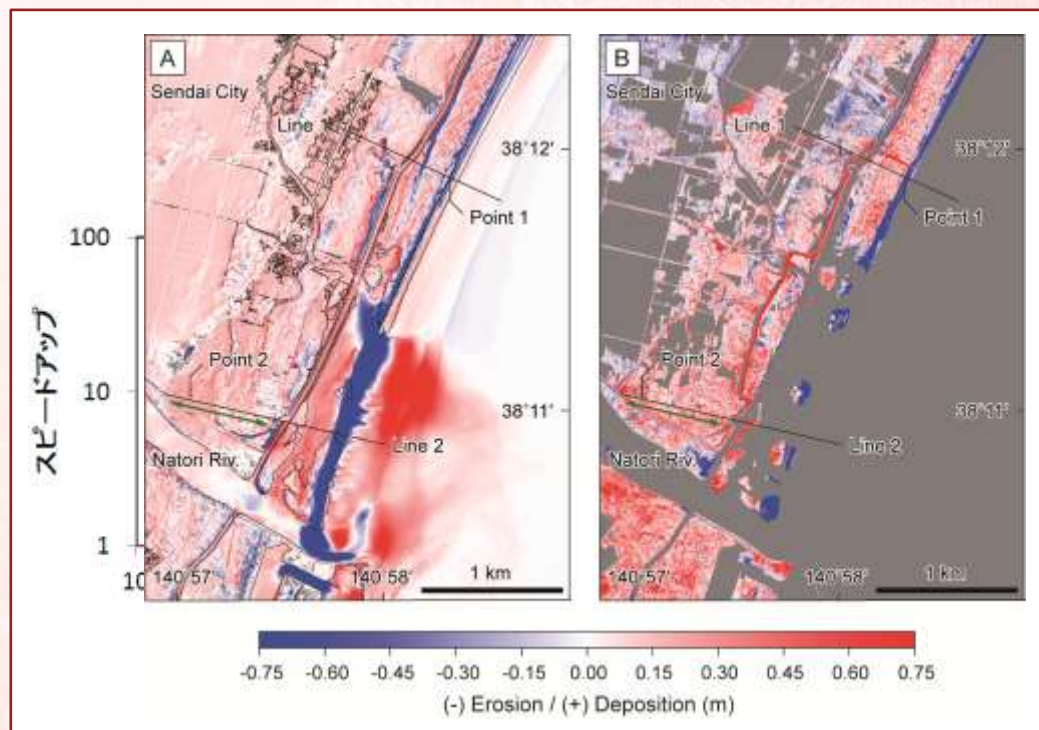
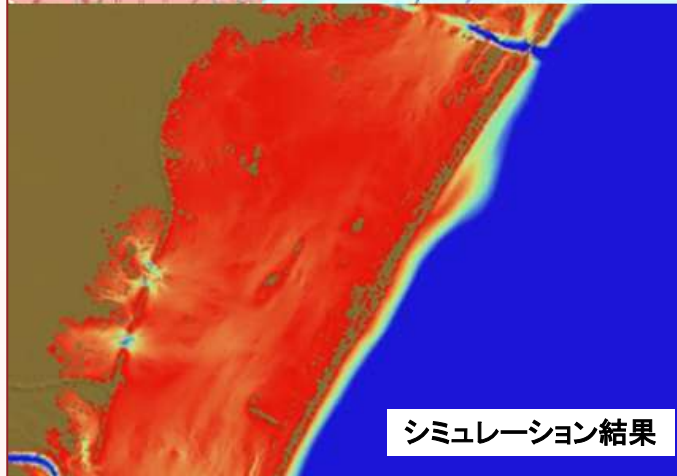
最大浸水深



仙台における津波シミュレーション

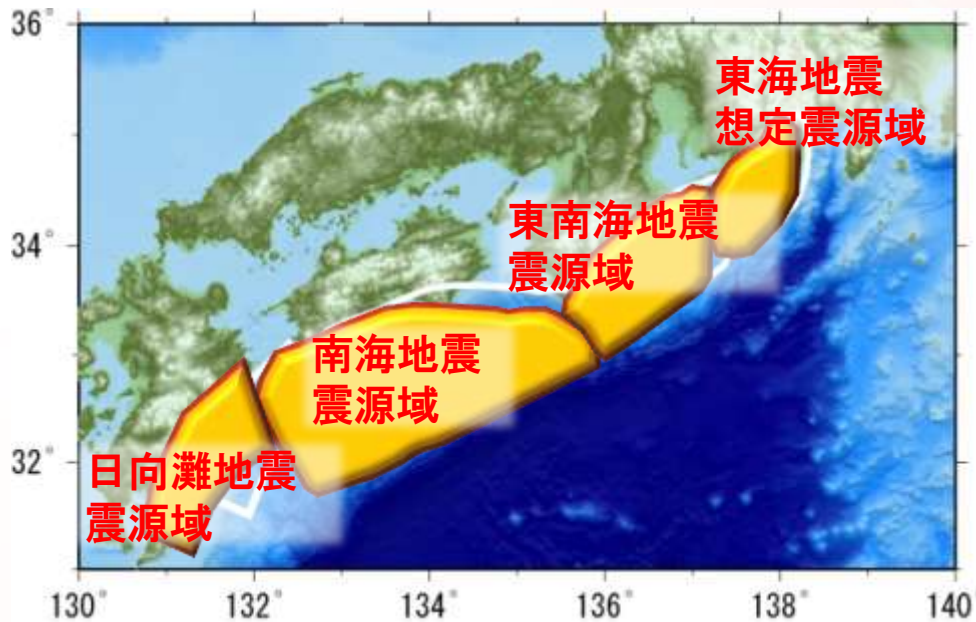
非構造格子有限体積法に基づく津波計算モデルによる大規模並列計算の実施.

東日本大震災の津波による海岸地形の変化と津波堆積物形成の再現

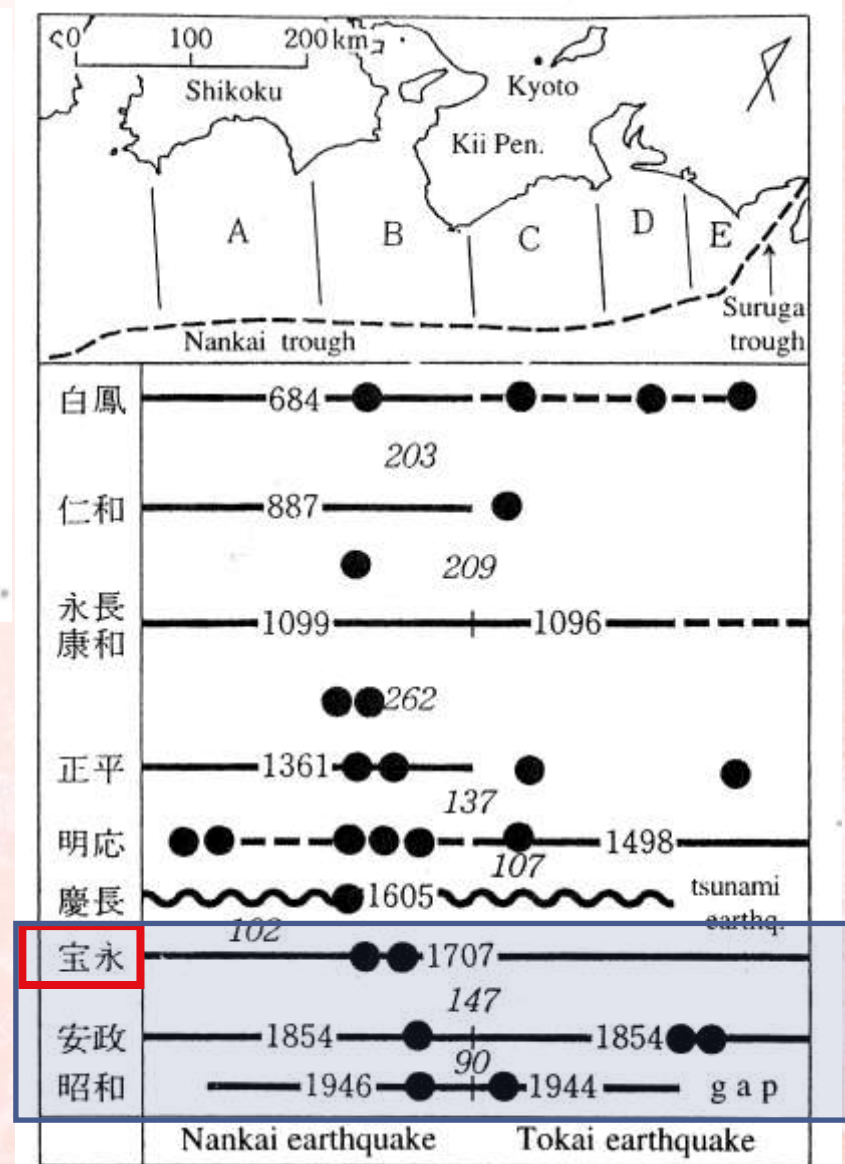


[A]計算による浸食・堆積分布。[B]地震前後のDEMを比較して求めた浸食・堆積分布。水没によるデータ欠測箇所は灰色で表示。砂州の消失面積は、計算結果の方がやや過小になっている。

南海トラフで発生する巨大地震



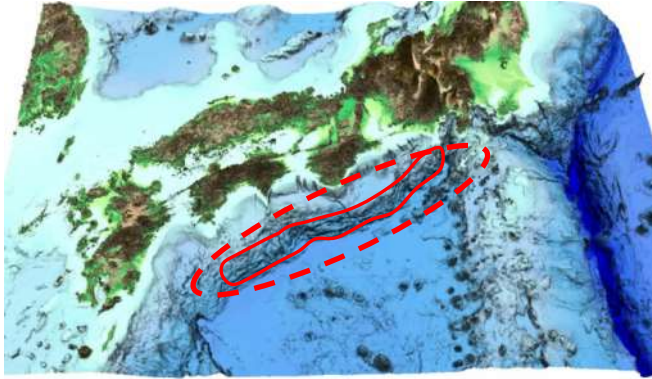
- 100年から150年周期で繰り返しM8クラスの地震が発生している。
- 1707年には、東海・東南海・南海地震が同時に発生したこともある。
- 次の地震がどのような発生パターンとなるか、連動発生タイミングを明らかにすることは、防災上の観点からも重要である。



南海トラフ巨大地震の発生パターン

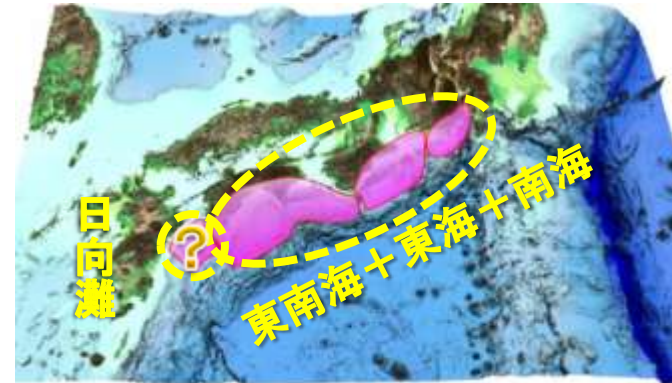
1605年 慶長地震

トラフ軸付近で破壊が発生？



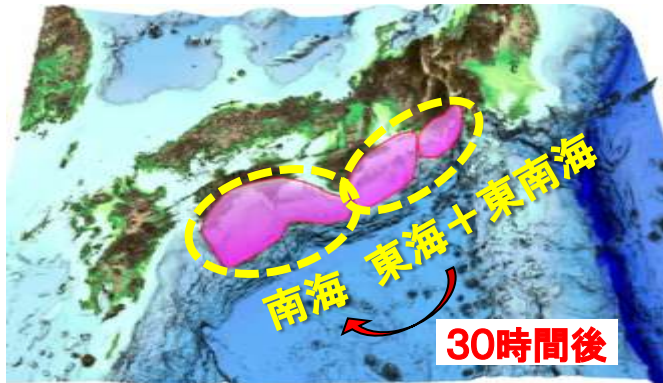
1707年 宝永地震

東海・東南海・南海地震が同時に発生



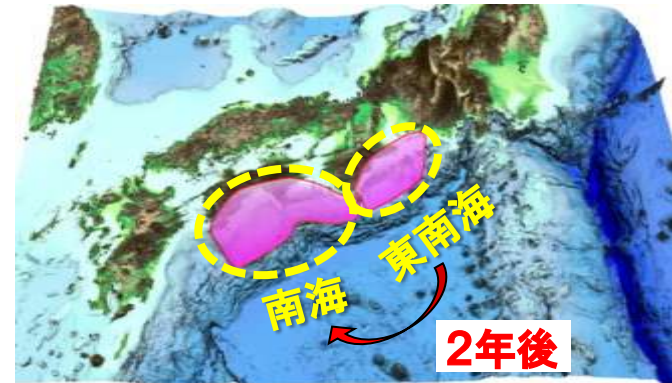
1854年 安政地震

東海・東南海地震が同時に発生し、
直後に南海地震が発生

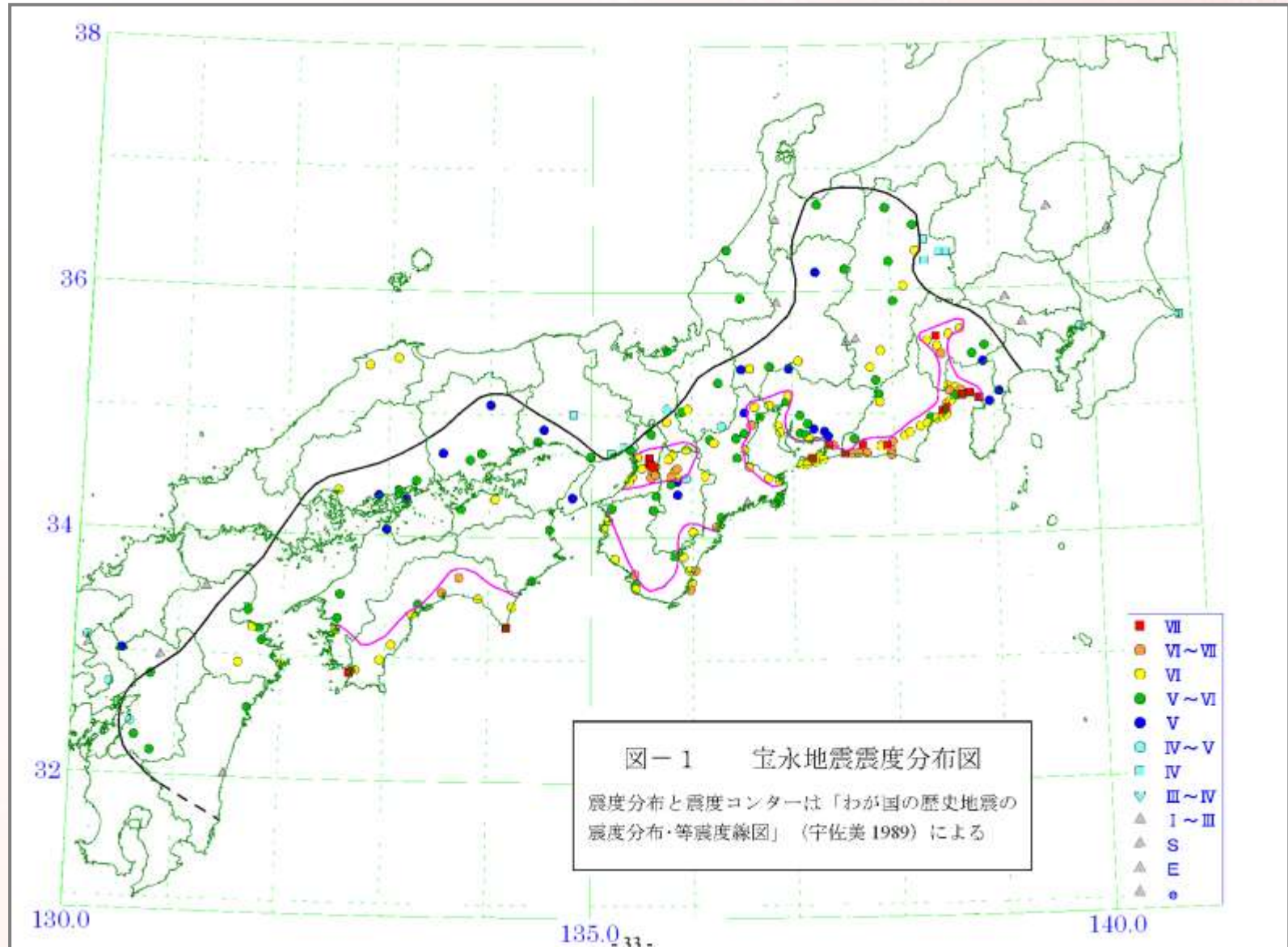


1944/1946年 昭和地震

東南海地震が発生し、続いて南海地震が発生

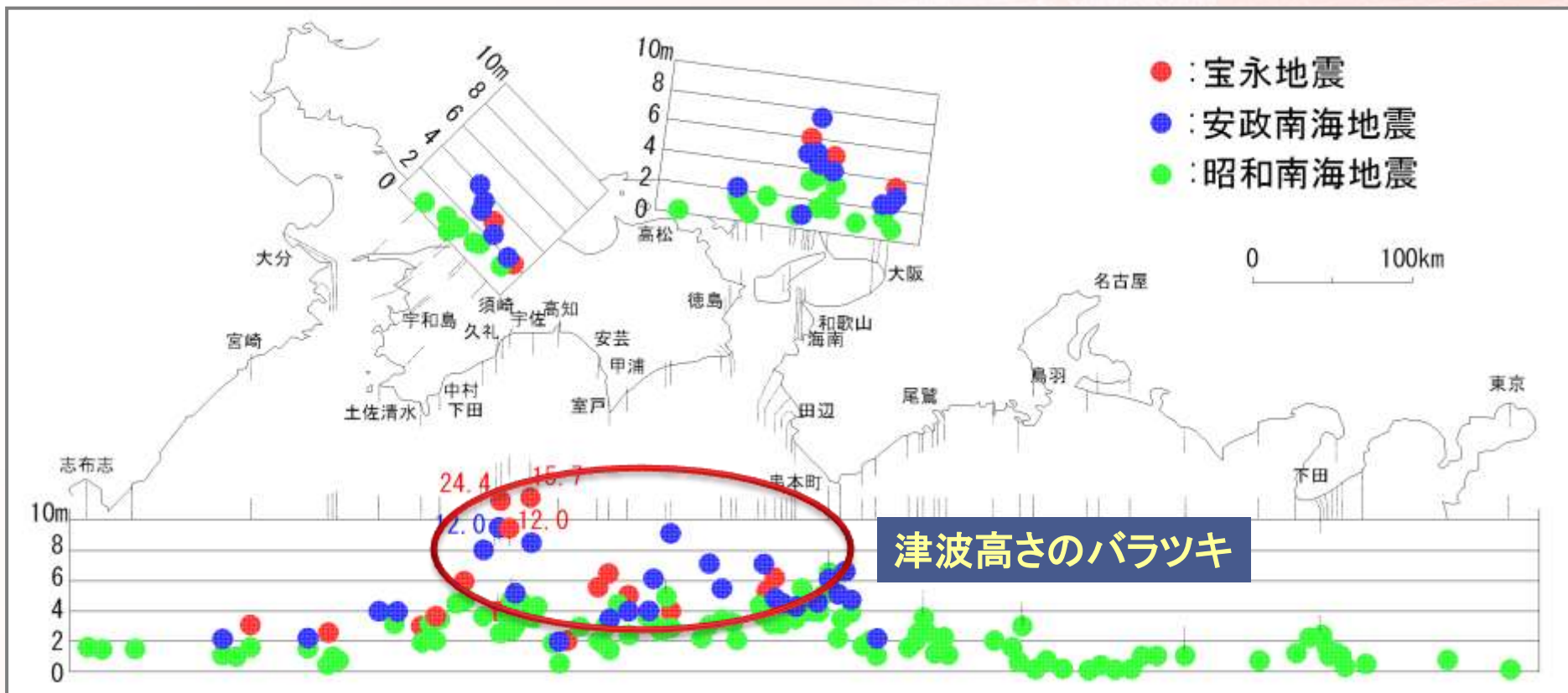


宝永地震(1707)の震度分布図



東南海、南海地震の津波高さ分布図

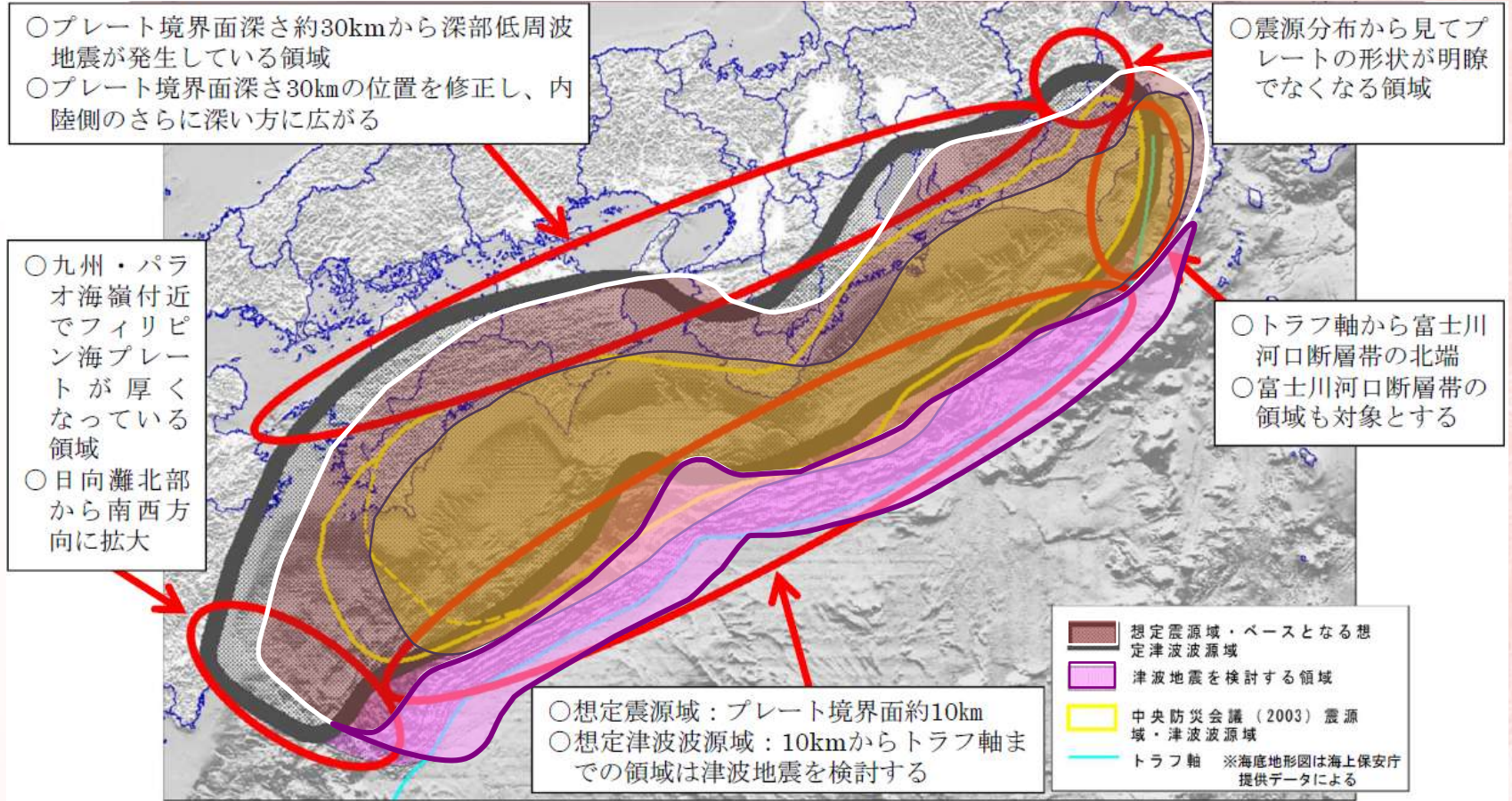
温故知新とより柔軟な想定のお考えが必要



出典：都司(1992)「南海地震」、地震学会ニューズレター、に加筆

現在 内閣府でこれらの資料の見直しがなされている

南海トラフ地震の新たな想定震源域

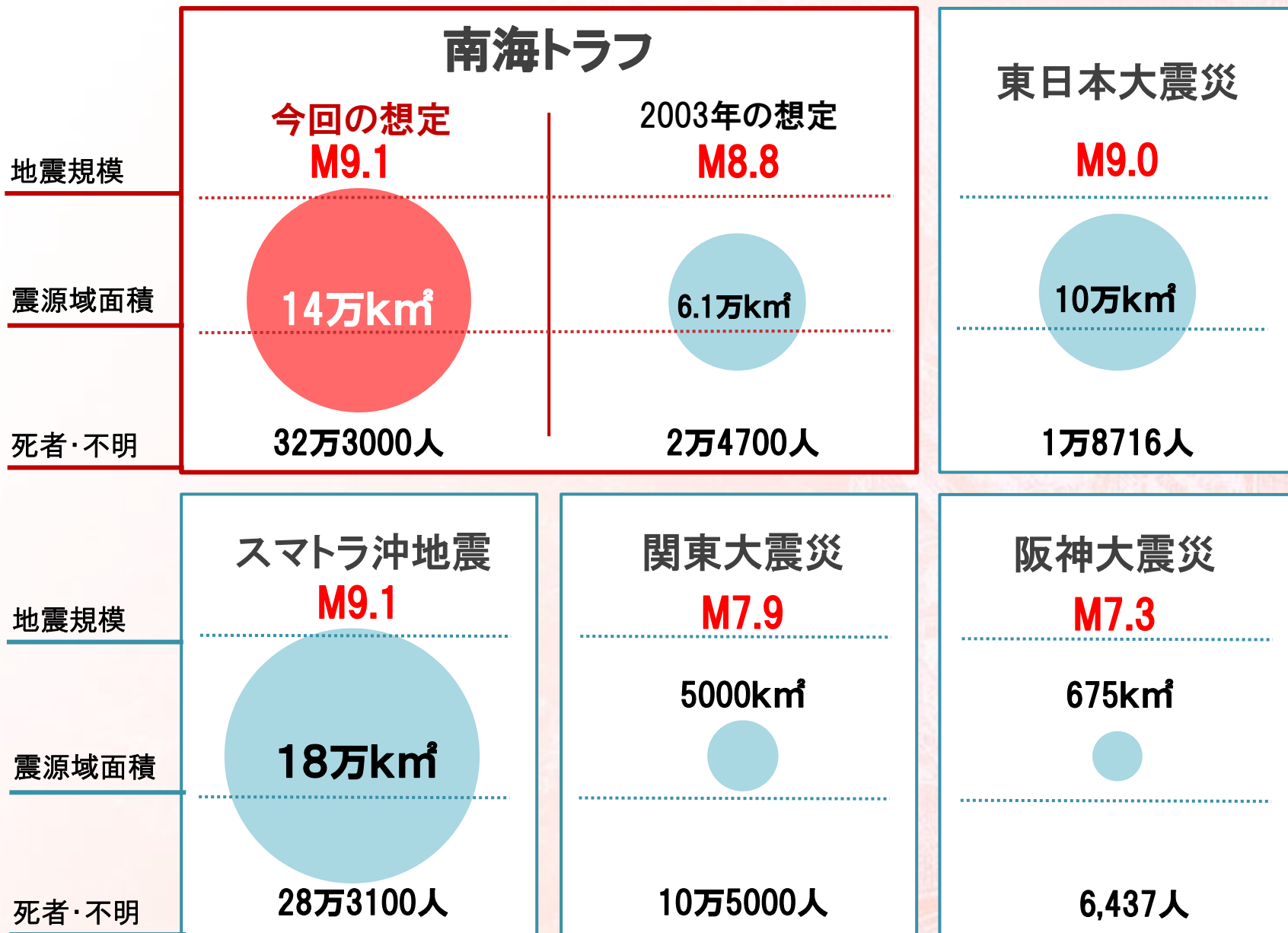


新たな想定震源域に対応する地震の規模(暫定値)の推定

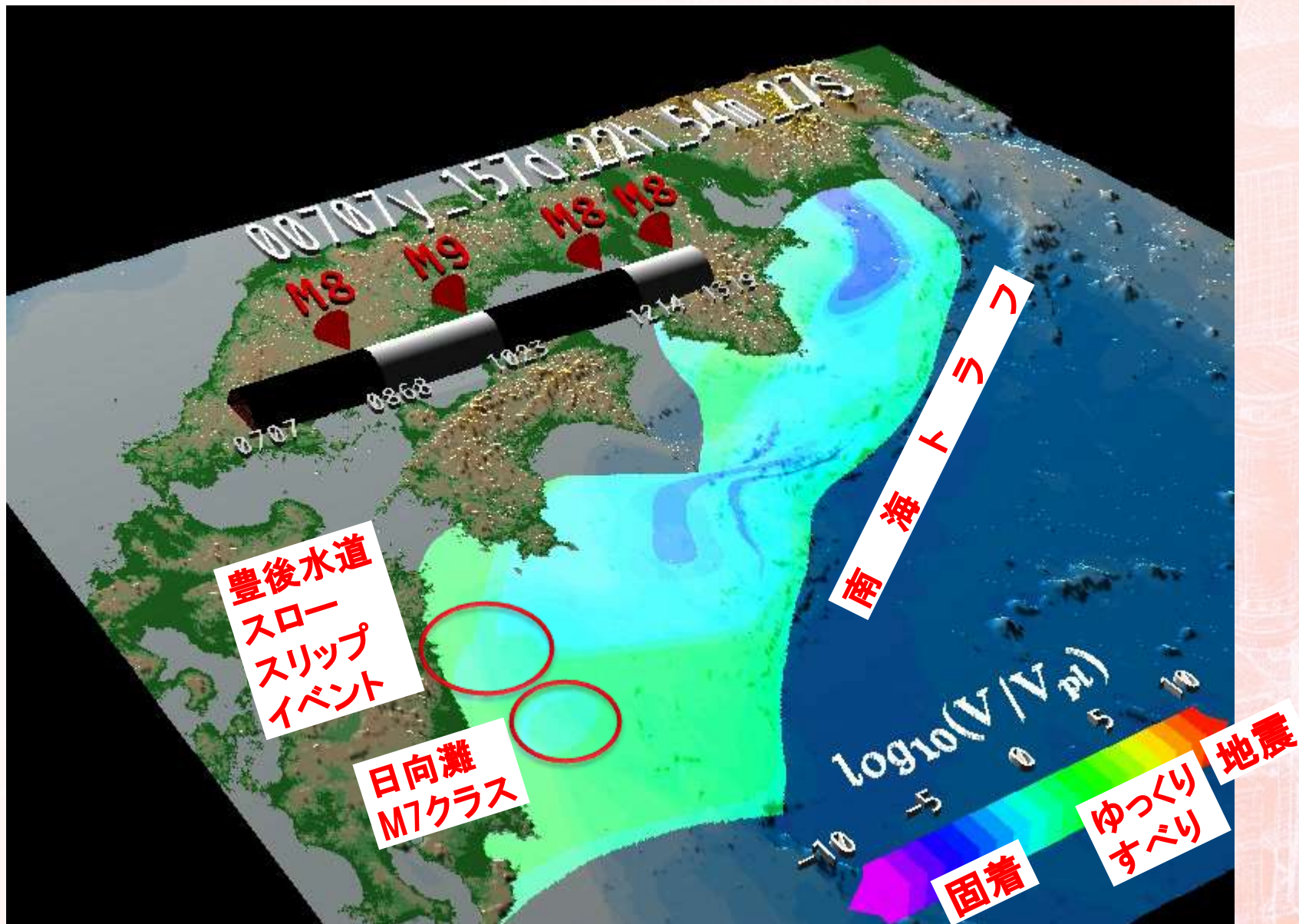
南海トラフの巨大地震モデル検討会第7回)中間とりまとめ(案)資料に加筆
2011年12月27日開催

	南海トラフの巨大地震(暫定値)	参考		
		2011年東北地方太平洋沖地震	2004年スマトラ沖地震	2010年チリ中部地震
面積	約11万Km ² (暫定値)	約10万Km ² (約500km×約200km)	約18万Km ² (約1200km×約150km)	約6万Km ² (約400km×約140km)
地震モーメント M ₀ (N・m)	4.5 × 10 ²² (暫定値)	4.22 × 10 ²² (気象庁)	6.5 × 10 ²² (Ammon et al., 2005)	1.48 × 10 ²² (Pulido et al., in press)
モーメントマグニチュード Mw	9.0(暫定値)	9.0(気象庁)	9.0(理科年表)	9.0(理科年表)

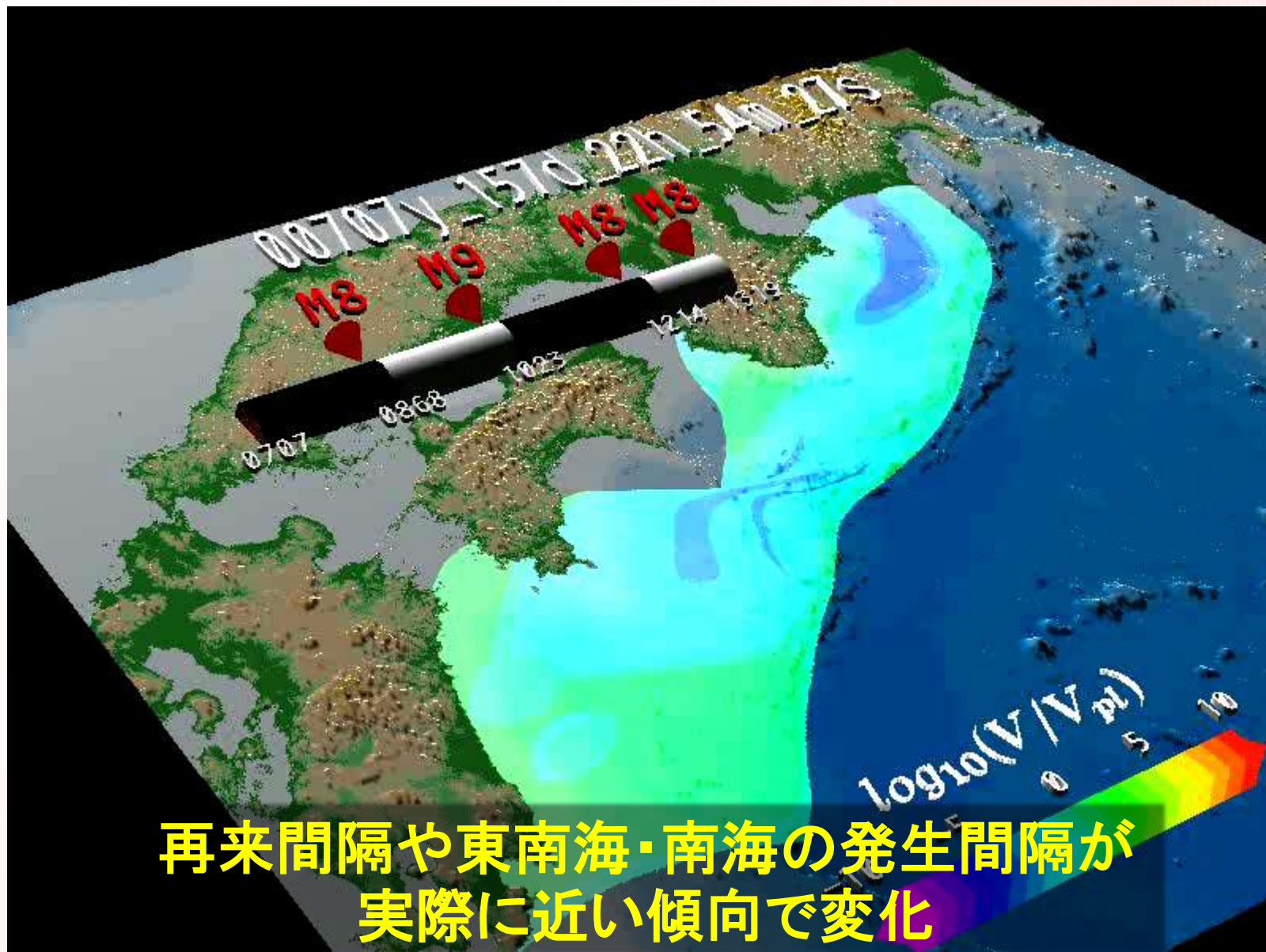
南海トラフ巨地震大津波被害想定の見直し



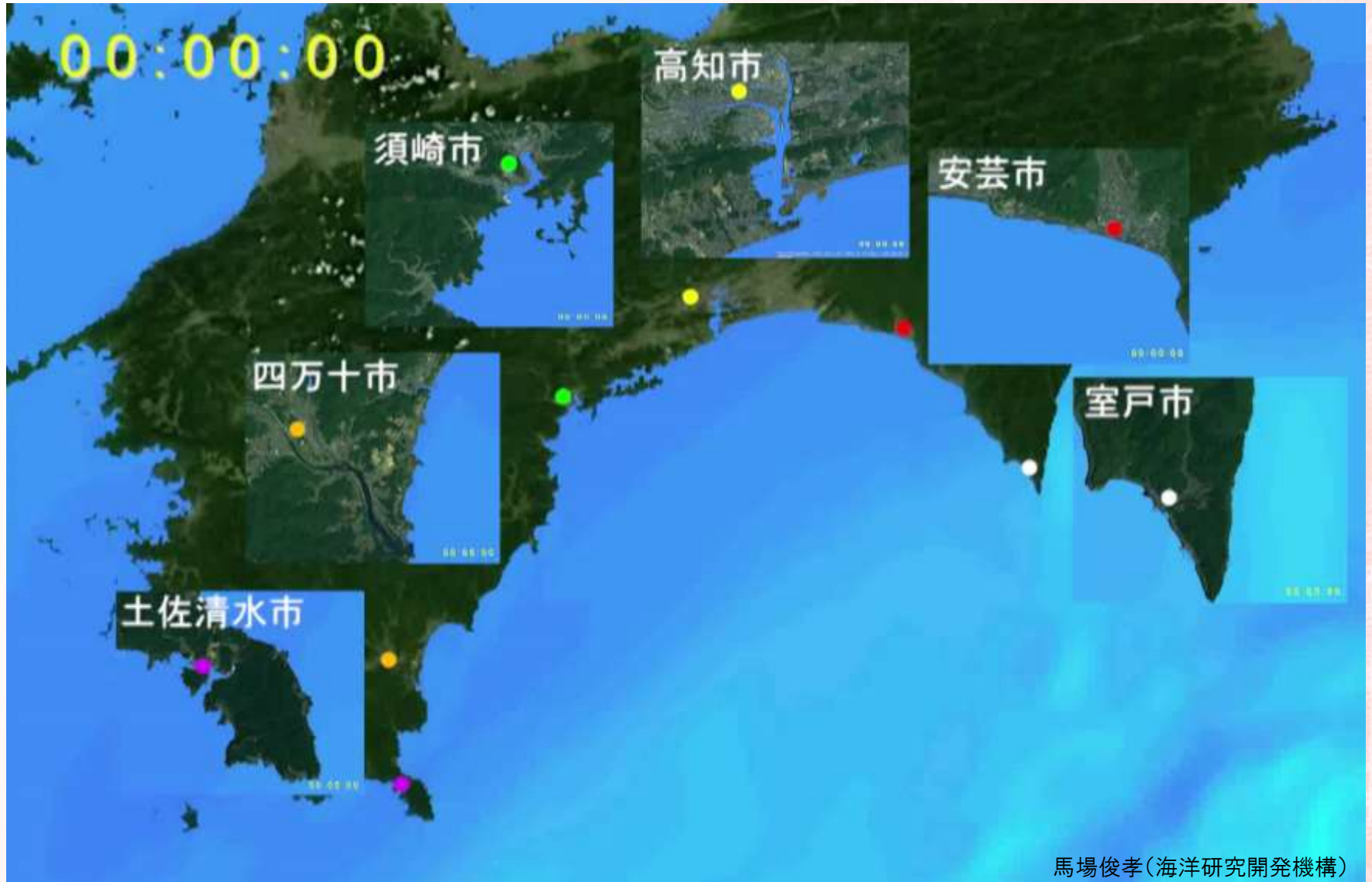
南海トラフ巨大地震発生サイクルシミュレーション



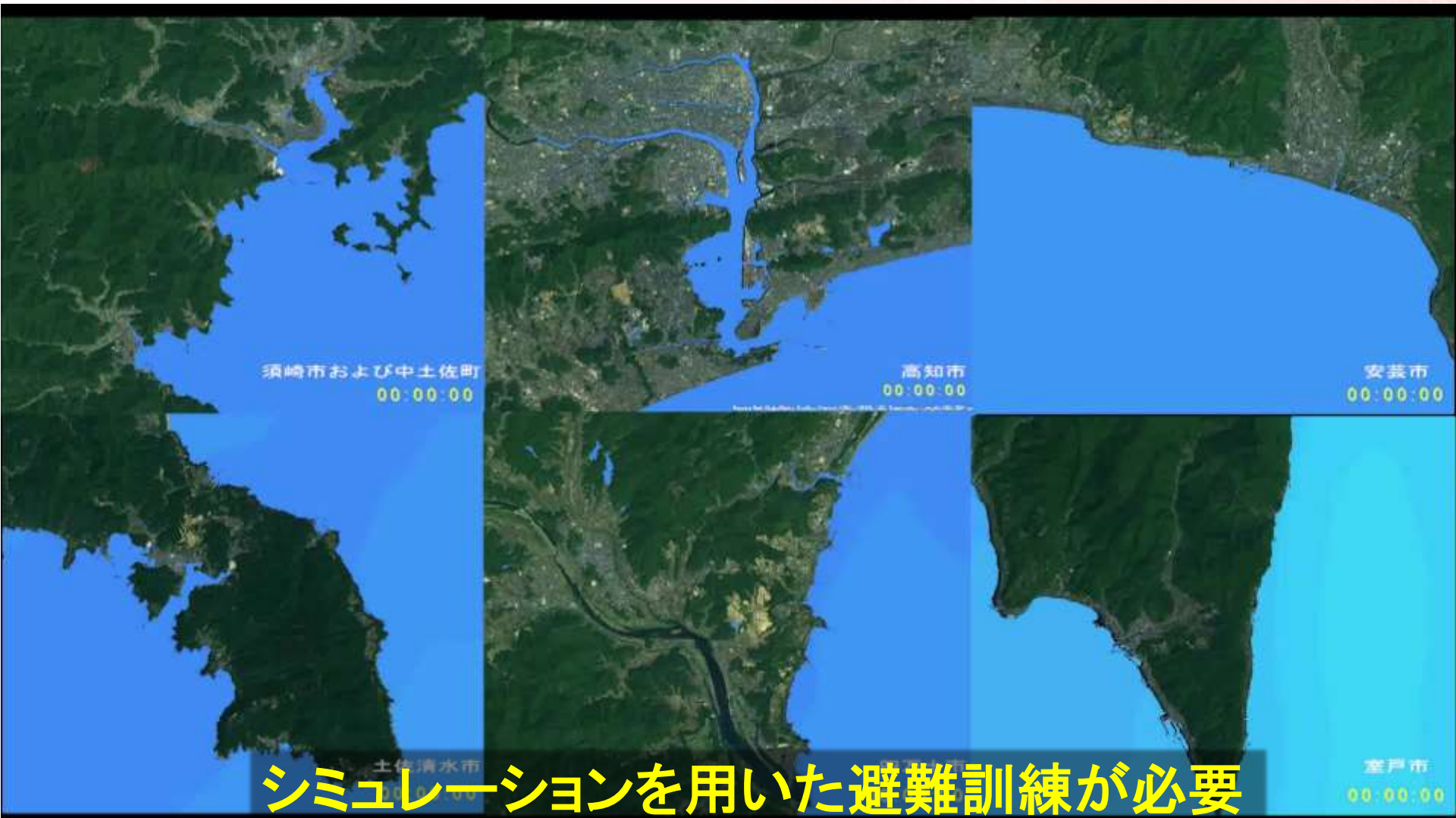
南海トラフ巨大地震発生サイクルシミュレーション



南海トラフ巨大地震 広域詳細な津波計算 (高知県全域5m分解能、約6.8億格子)



南海トラフ巨大地震による広域詳細な津波シミュレーション (高知県全域5m分解能、約6.8億格子)



シミュレーションを用いた避難訓練が必要

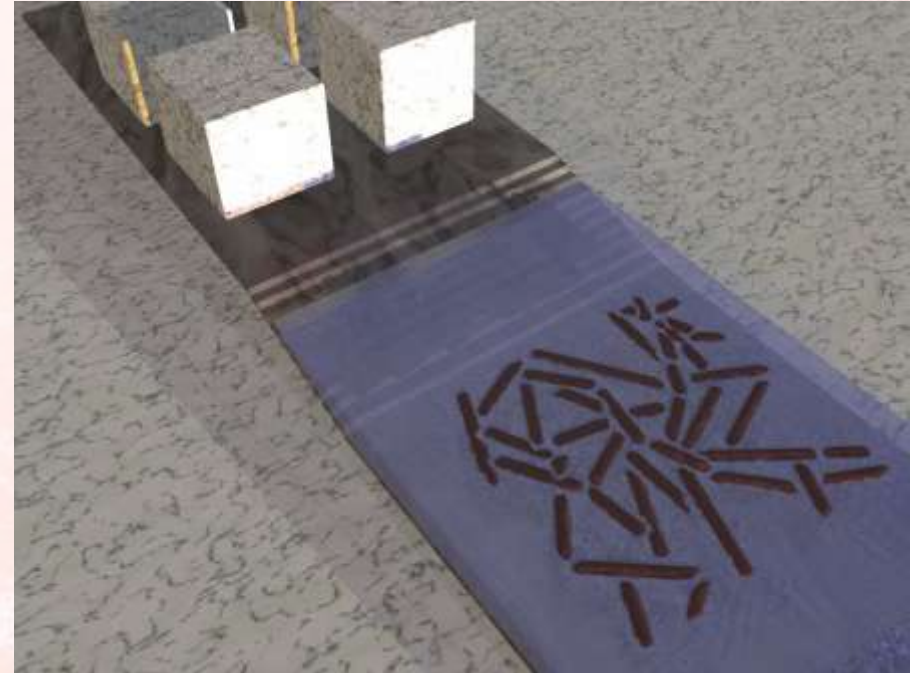
疑似リアルタイム広域津波伝播監視シミュレーション

馬場俊孝(海洋研究開発機構)

船舶の乗り上げ / 漂流物の遡上 衝突と破壊



津波高さ10m:
船舶は変形破壊あり・地上構造物は剛体



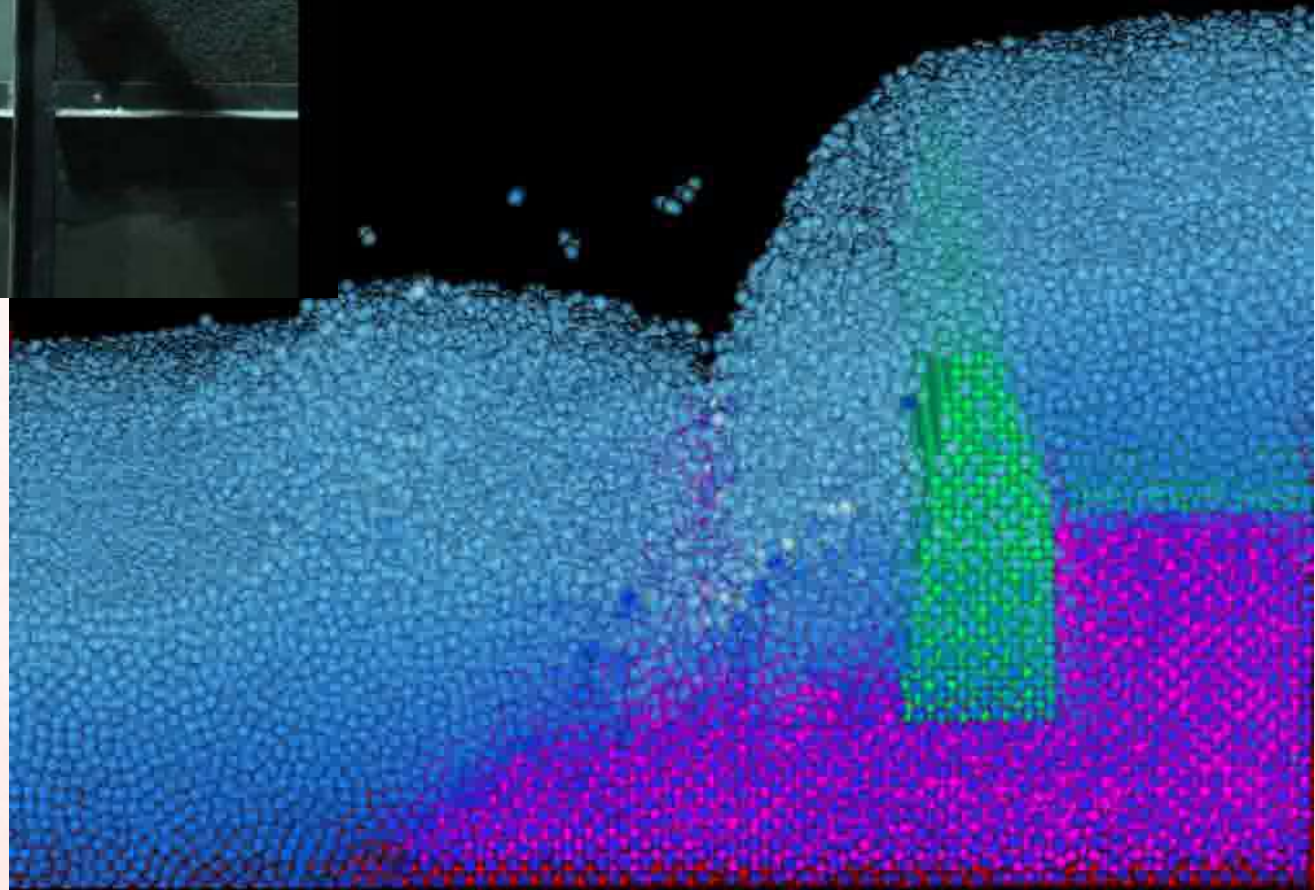
津波高さ2m:
丸太は弾性体・破壊無し条件 構造物は剛体

引き波による防潮堤の転倒

現実的な対策に向けた
実験とシミュレーション研究

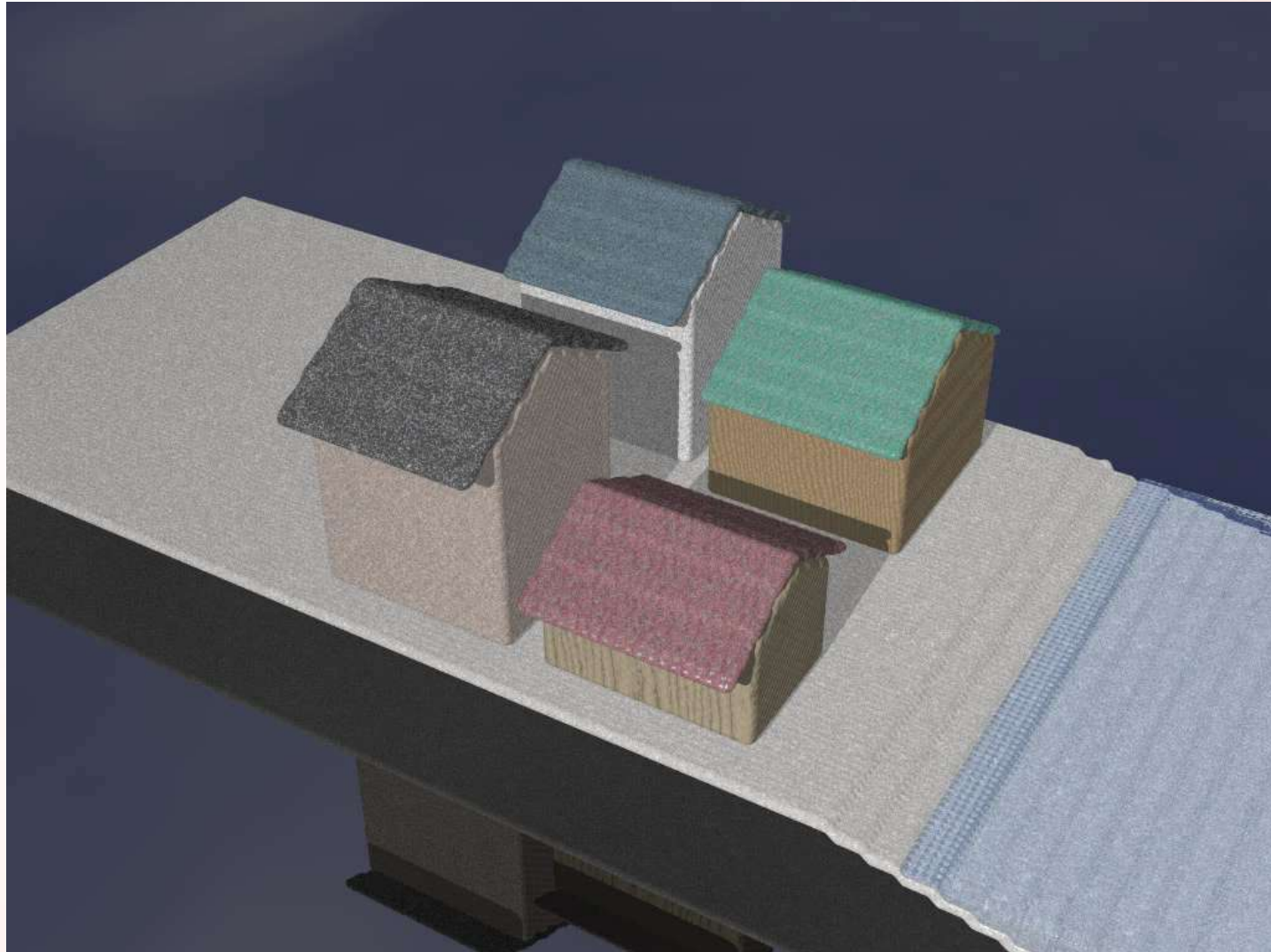


有川太郎(港湾空港技術研究所)

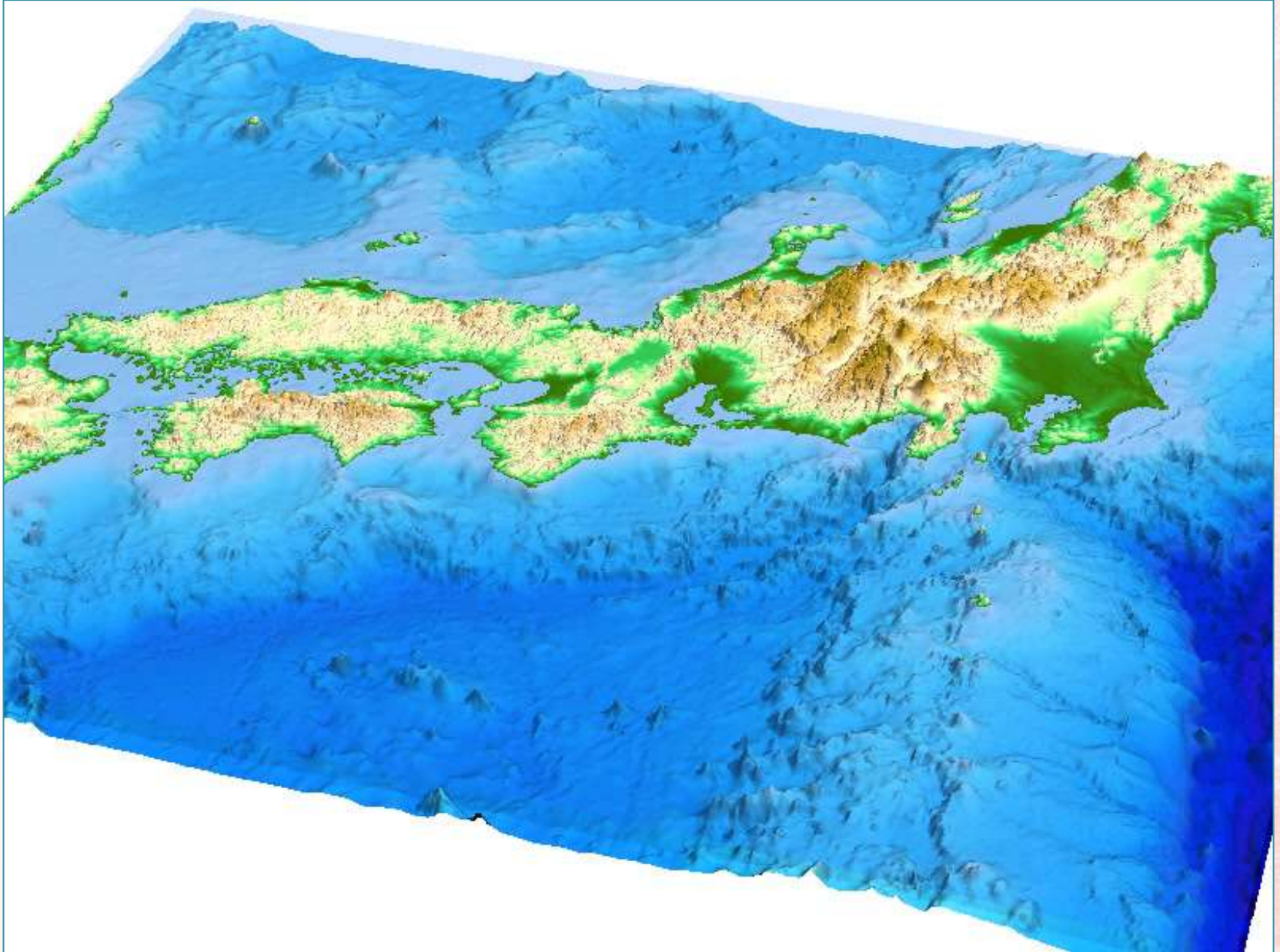


住宅の浸水・漂流・衝突

津波高さ2m：住宅は空洞構造

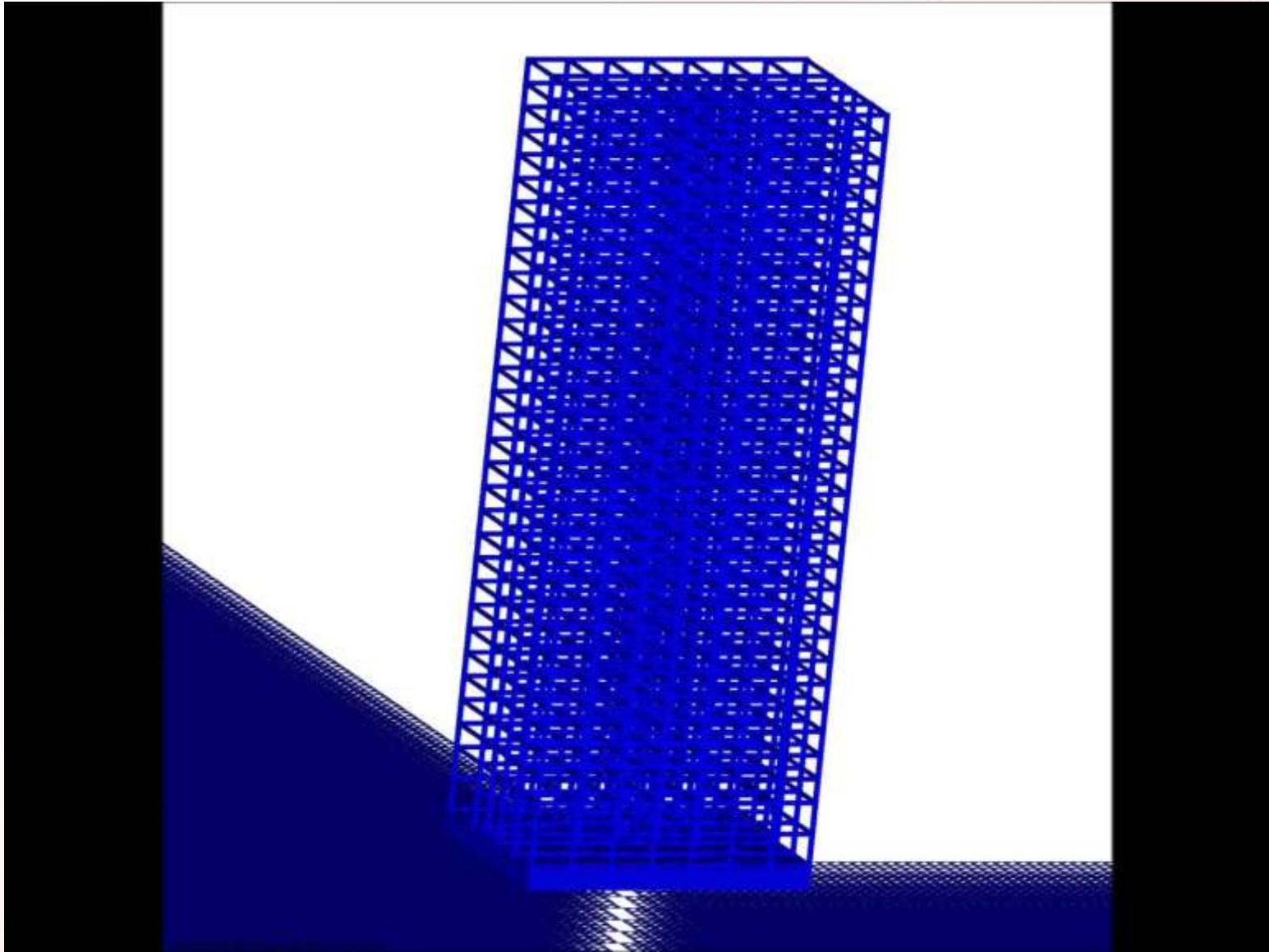


南海トラフ巨大地震：地震波伝播シミュレーション

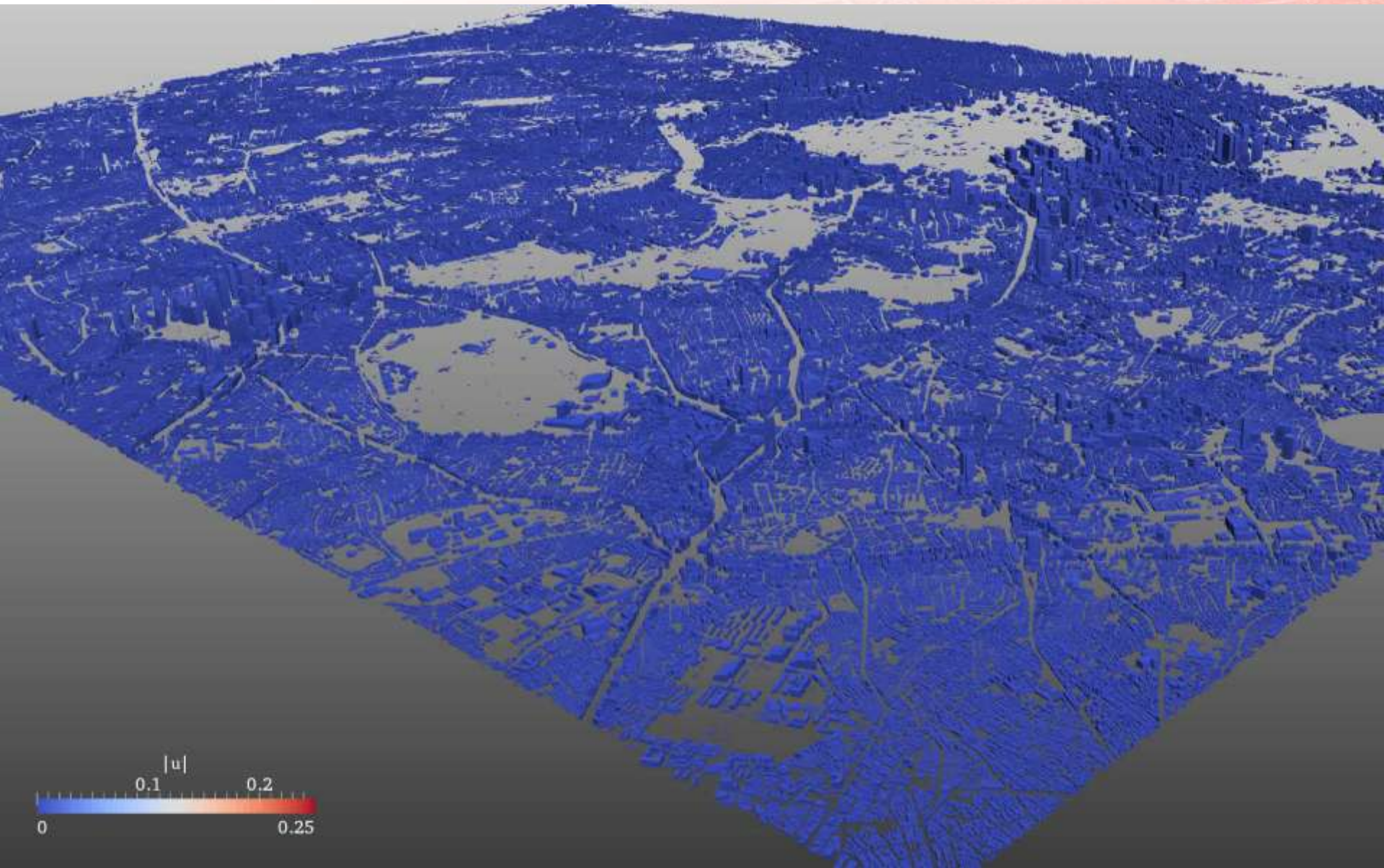


等々力・他, 2012, 日本地震学会秋季大会 Todoroki et al., 2012, Proc. ACES Workshop

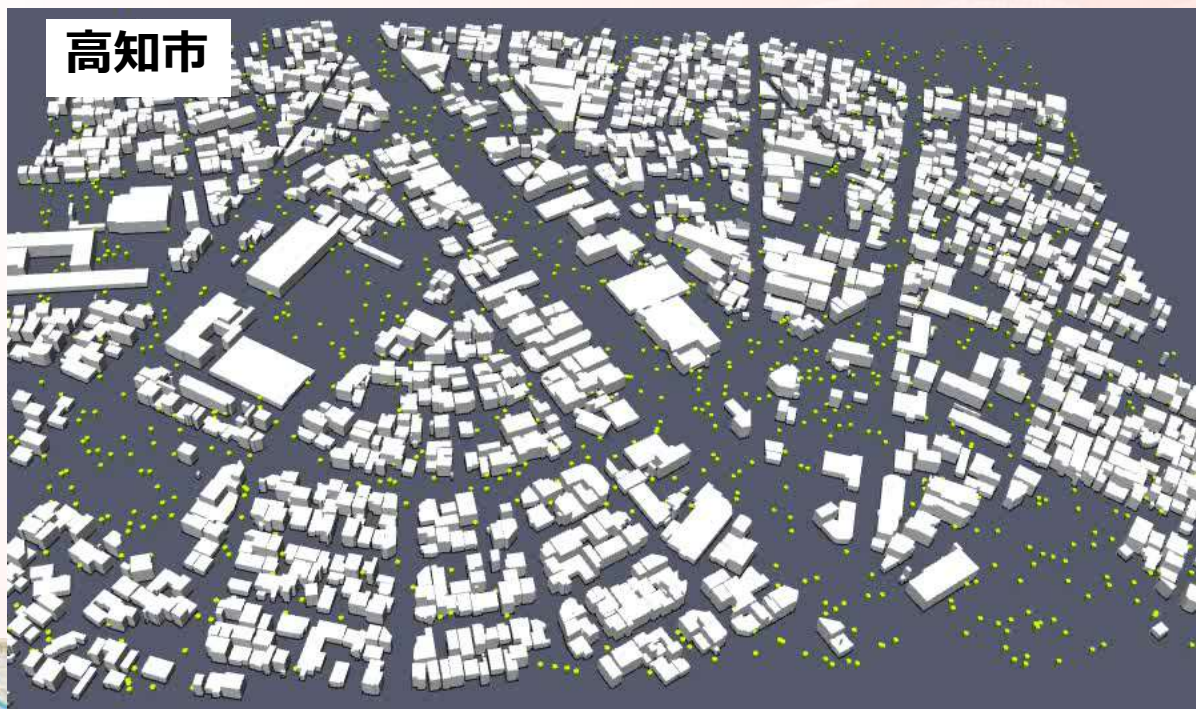
長大構造物の精緻な地震動応答



「都市丸ごと」地震動応答計算



大規模避難 シミュレーション



堀宗朗(東京大学地震研究所)

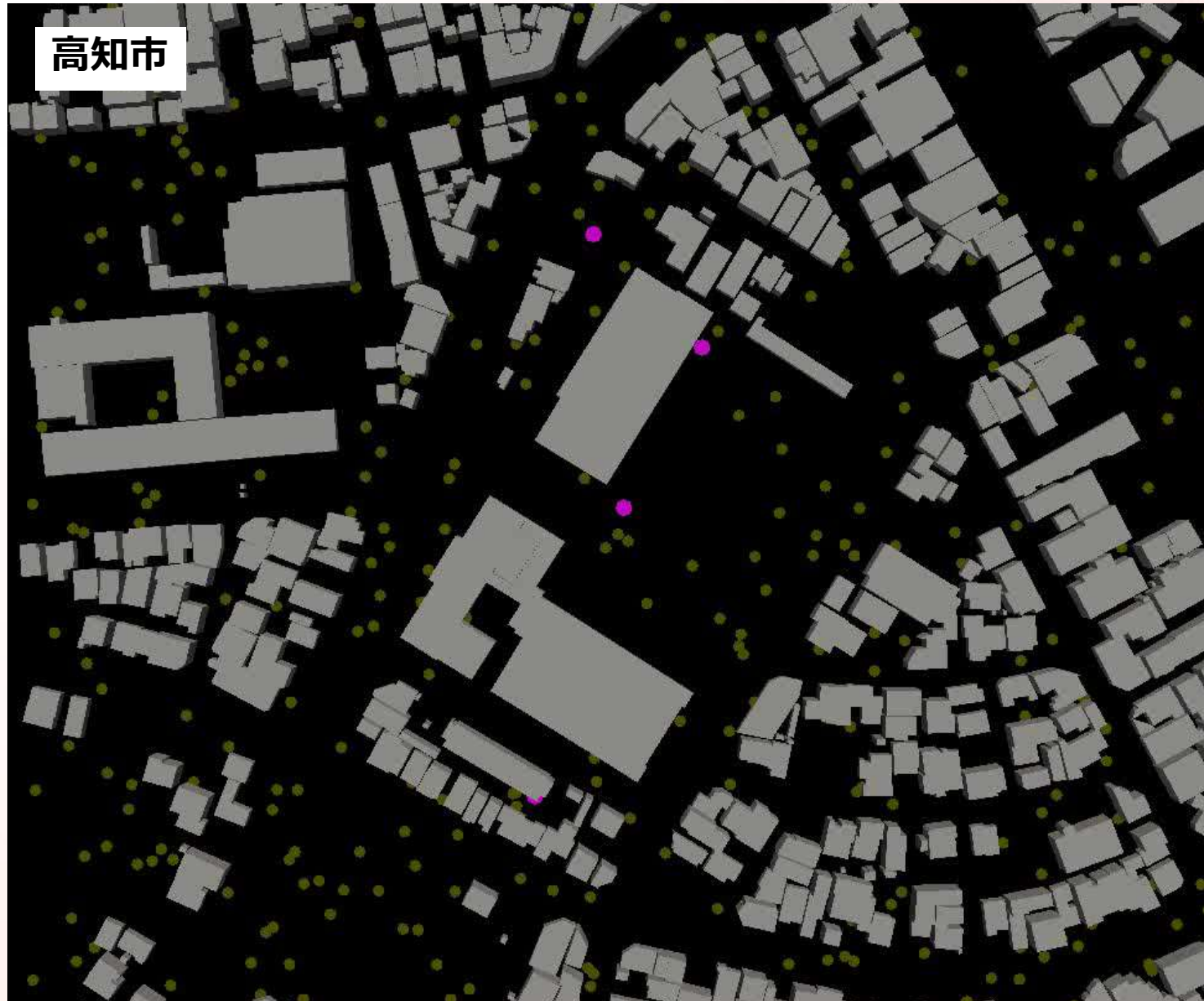
さらに以下の被害要因が

- ・液状化
- ・地盤沈下
- ・火災／津波火災
- ・長期湛水
- ・その他

人の流れ（京阪神都市 平成12年）

地震津波の発生時間帯によって避難・被害が大きく異なる

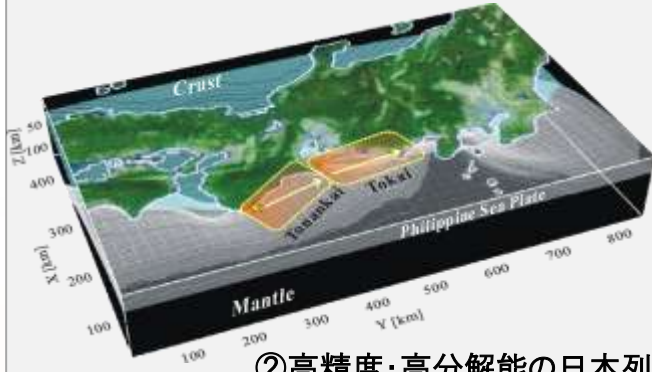
高度な避難シミュレーション(誘導あり●)



個別シミュレーションから連携シミュレーションへ

発生

- ① データ同化手法を用いた地震の発生シナリオの予測



- ② 高精度・高分解能の日本列島下地震波速度構造モデルの構築

地震・津波事象

地震動

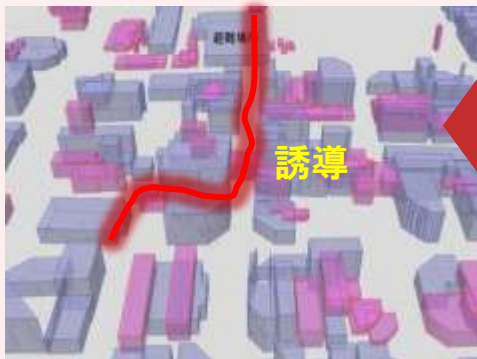


- ③ 高精度地震動・津波シミュレーション



津波

被害予測・避難シミュレーション

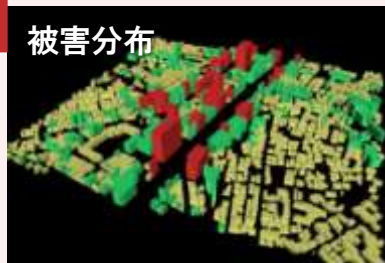


- ⑥ 避難誘導シミュレーション

浸水分布



被害分布



- ⑤ 都市全構造物に対する地震・津波の被害予測

構造物被害



- ④ 地震動および津波を入力とした都市丸ごとシミュレーション

地震発生と地震動の連携

RSGDX

地震発生サイクル
シミュレーション



output

coupler

input

SE/SM

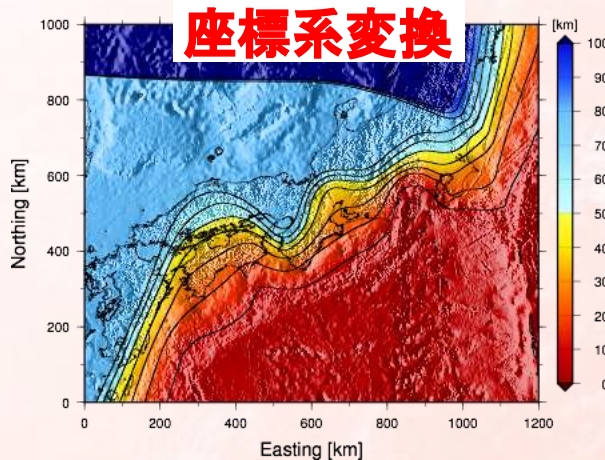
地震動・地殻変動
シミュレーション



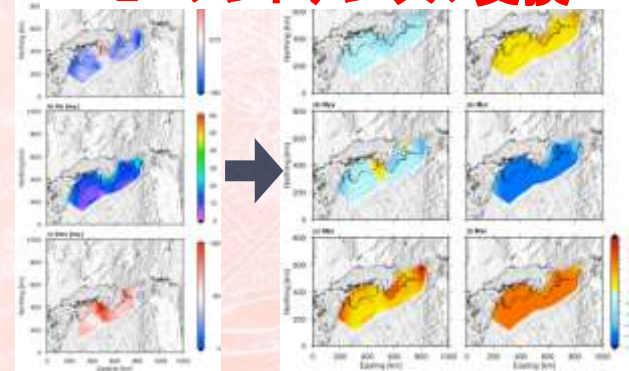
Coded by T. Maeda

(Hyodo&Hori, 2013)

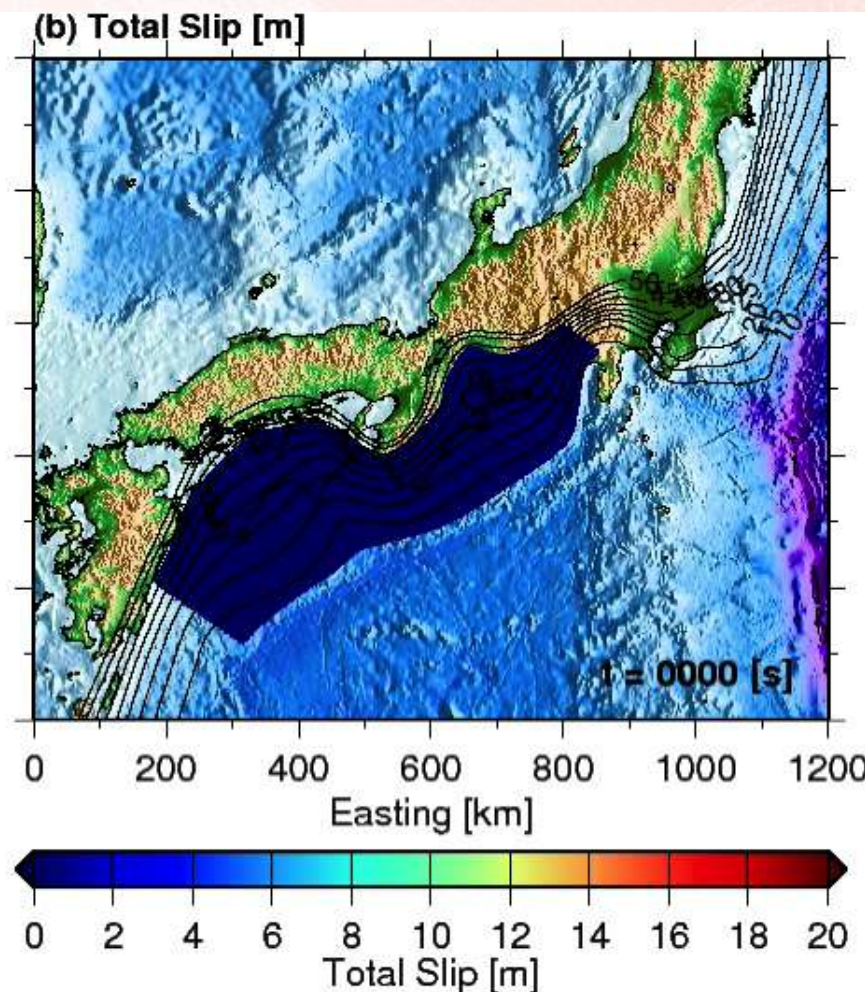
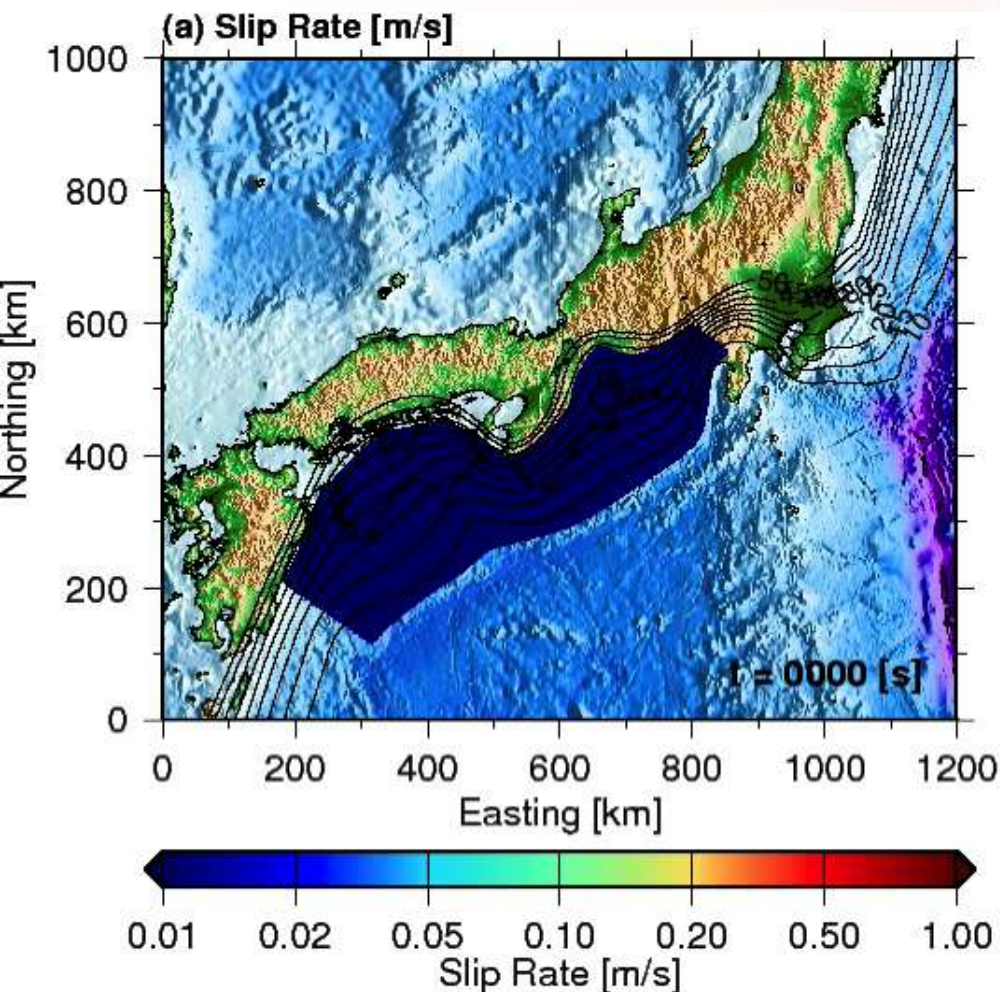
(Maeda et al., 2013)



メカニズム(strike/dip/rake)
→モーメントテンソル変換



地震発生サイクルシミュレーション結果にもとづく地震時のすべりの時間発展



前田拓人(東京大学地震研究所)

すべり速度

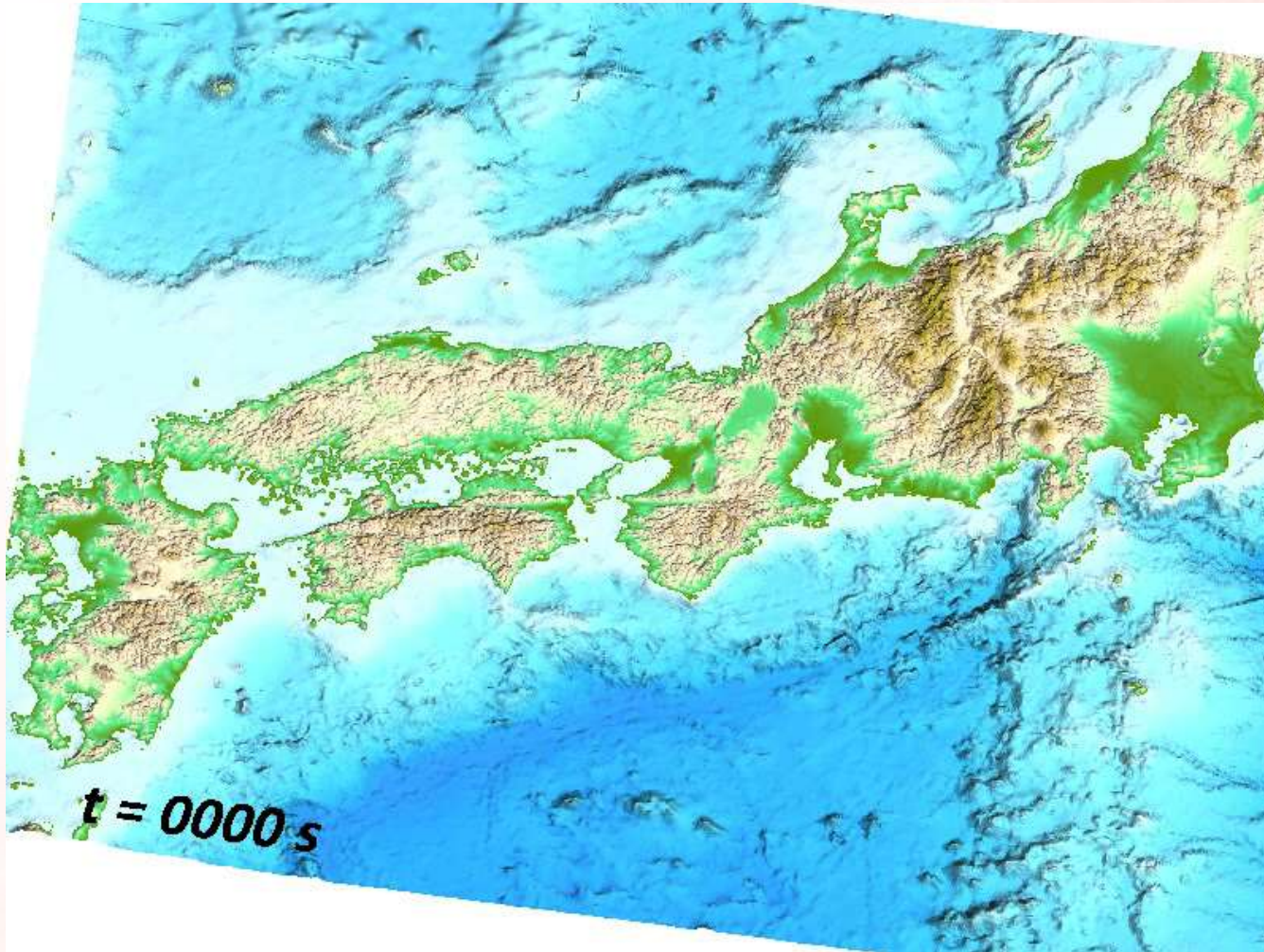
総すべり量

変位場



海底上下変動
時間発展する地殻変動が見える。沈降→再隆起なども。

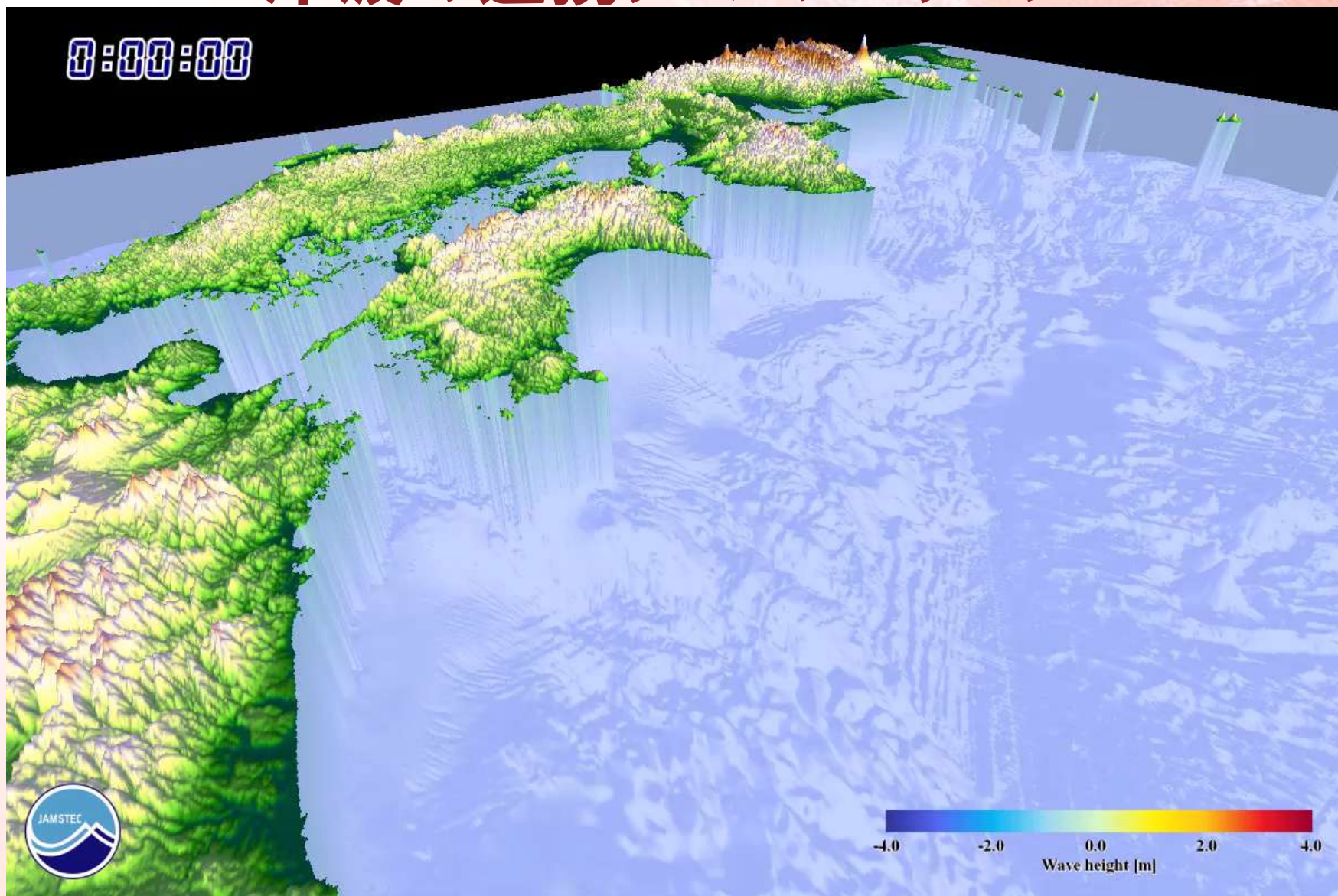
速度振幅



数値誤差をおさえるため10x10(5km)で平滑化
発生シミュレーションのメッシュの粗さの問題か？

前田拓人(東京大学地震研究所)

同じ地震発生モデルからの 津波の連携シミュレーション



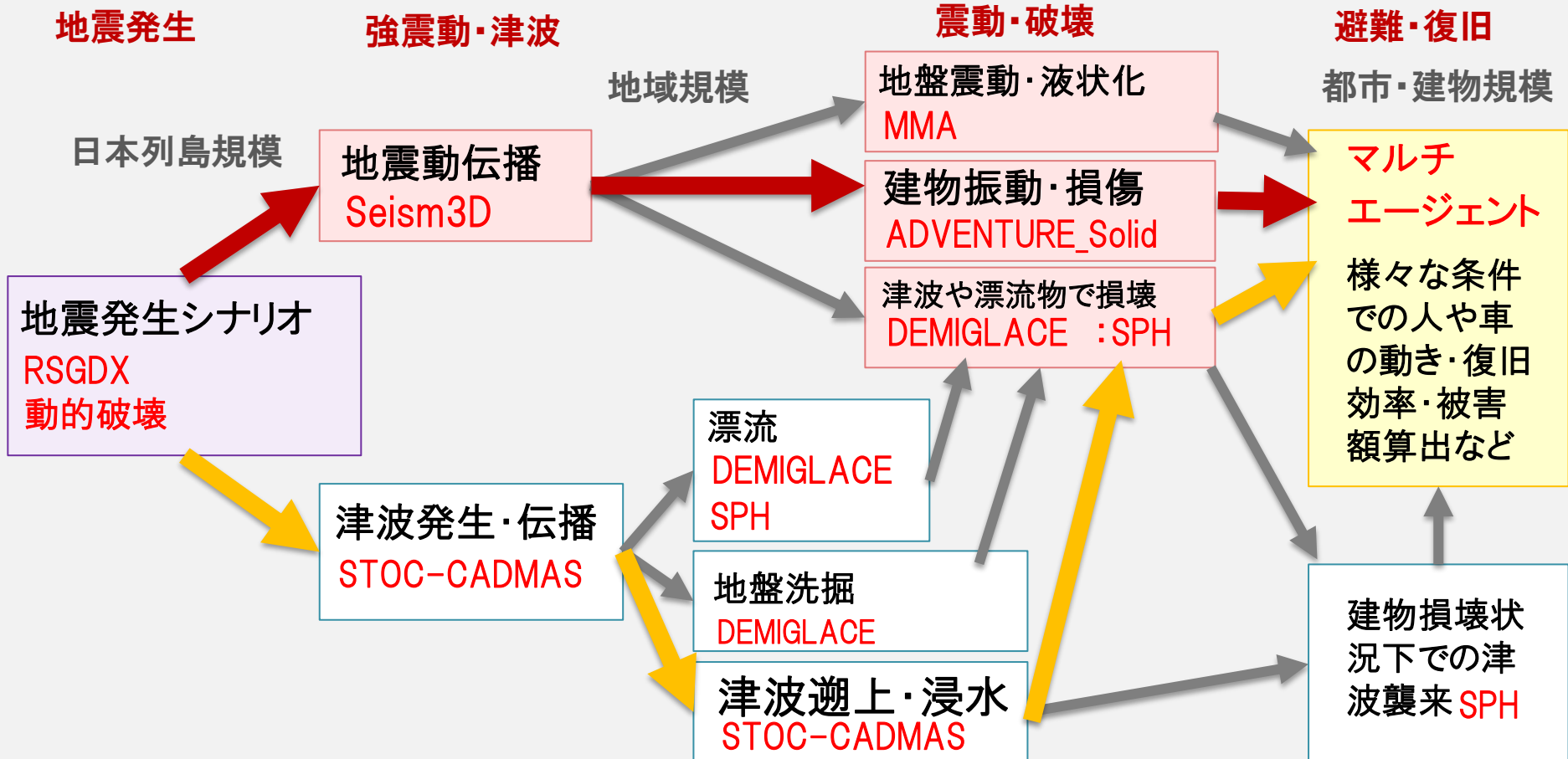
3課題の統合解析に向けて

地震課題

津波課題

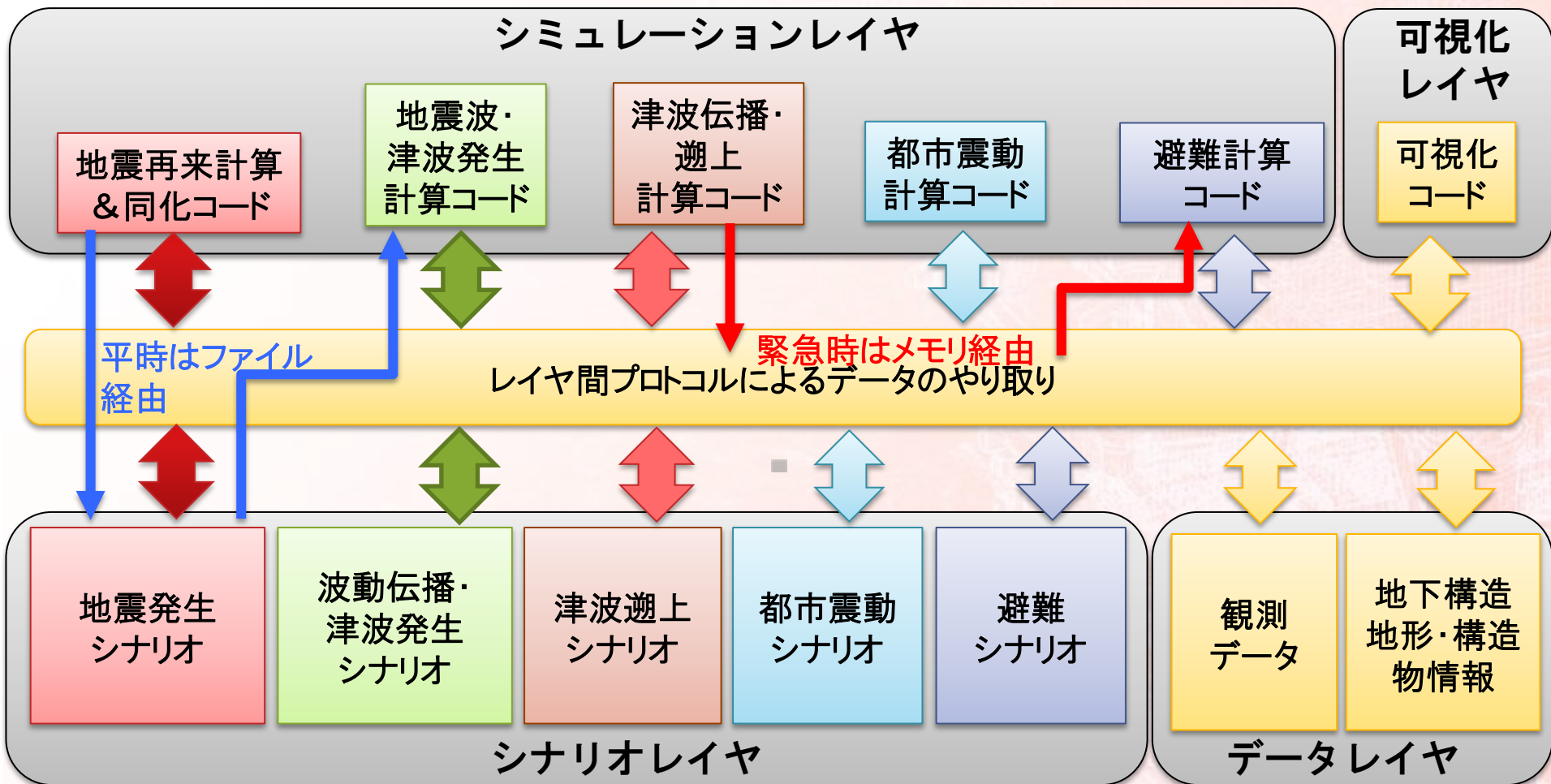
都市課題

地下構造モデル構築



統合シミュレーションの試行実験

将来の統合地震シミュレータのイメージ



- ・各シミュレーションコードのIn/Outのプロトコルの共通化
- ・平時はファイル経由のオフライン、緊急時はメモリ経由のオンライン
- ・地下構造、地形情報の共有
- ・観測データは普段から蓄積。緊急時もデータレイヤから供給
- ・各シナリオも普段から蓄積し、これを可視化してハザードマップを作成

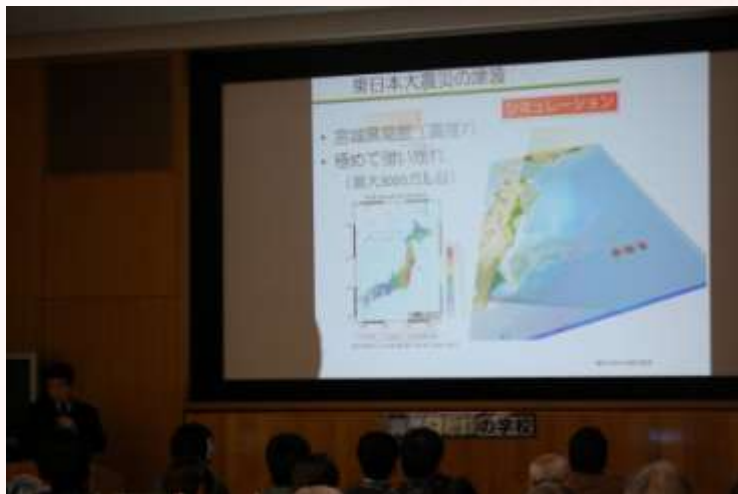
成果の普及と連携



地方自治体との連携



一般への啓発活動



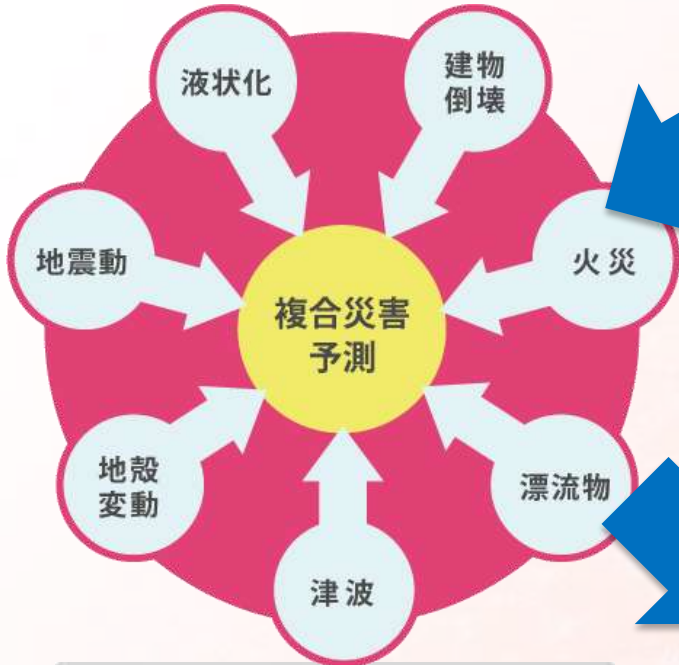
学校教育への協力



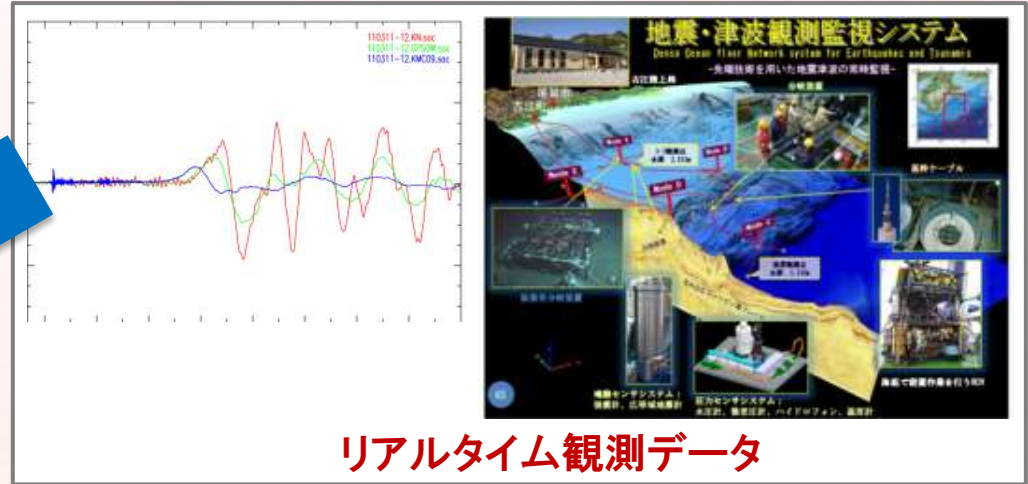
メディア出演による成果の紹介

情報発信のあり方

複合災害予測シミュレータ

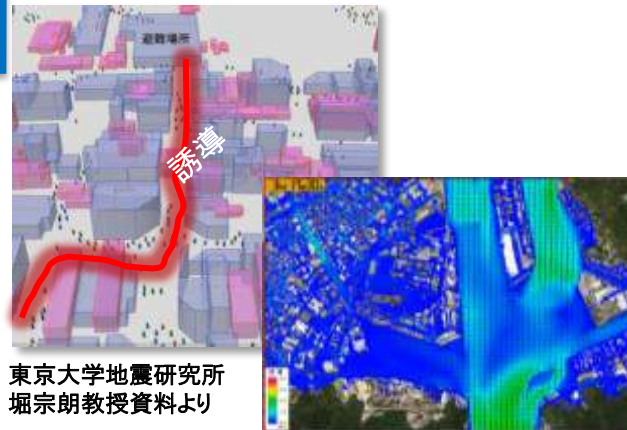


観測データを同化し、複合災害をリアルタイムで予測し、避難経路等を携帯端末等へ伝達。



リアルタイム観測データ

避難経路の検索



東京大学地震研究所
堀宗朗教授資料より

東北大学 今村教授資料より

スマートフォン
等で伝達



先進の地震津波シミュレーション研究成果の 社会実装を目指して

ご清聴ありがとうございました。

