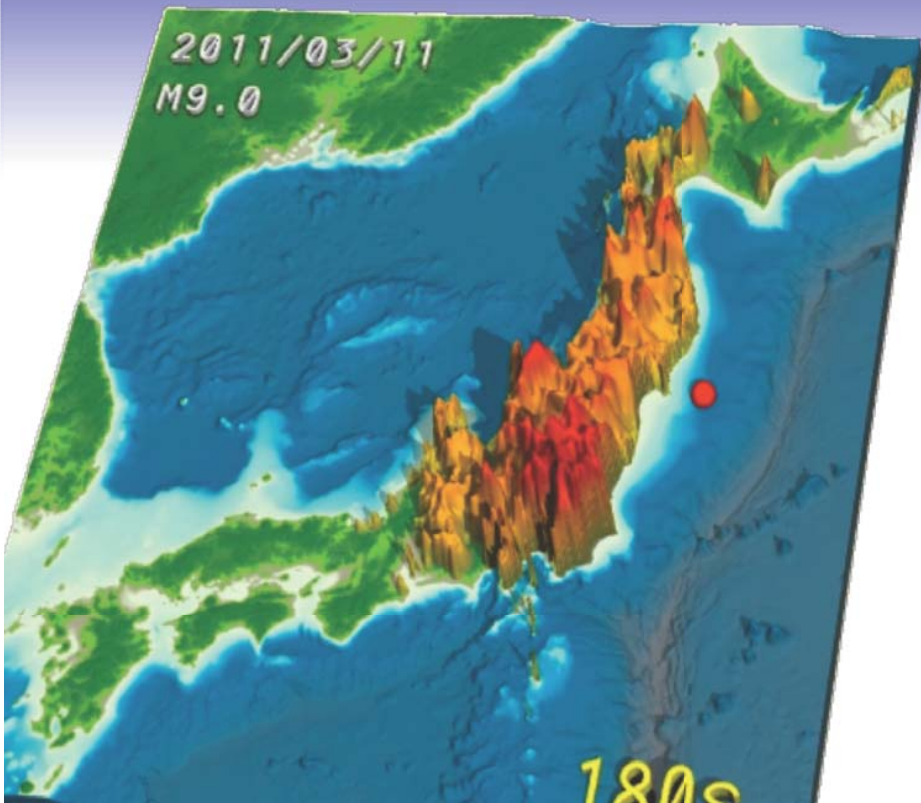


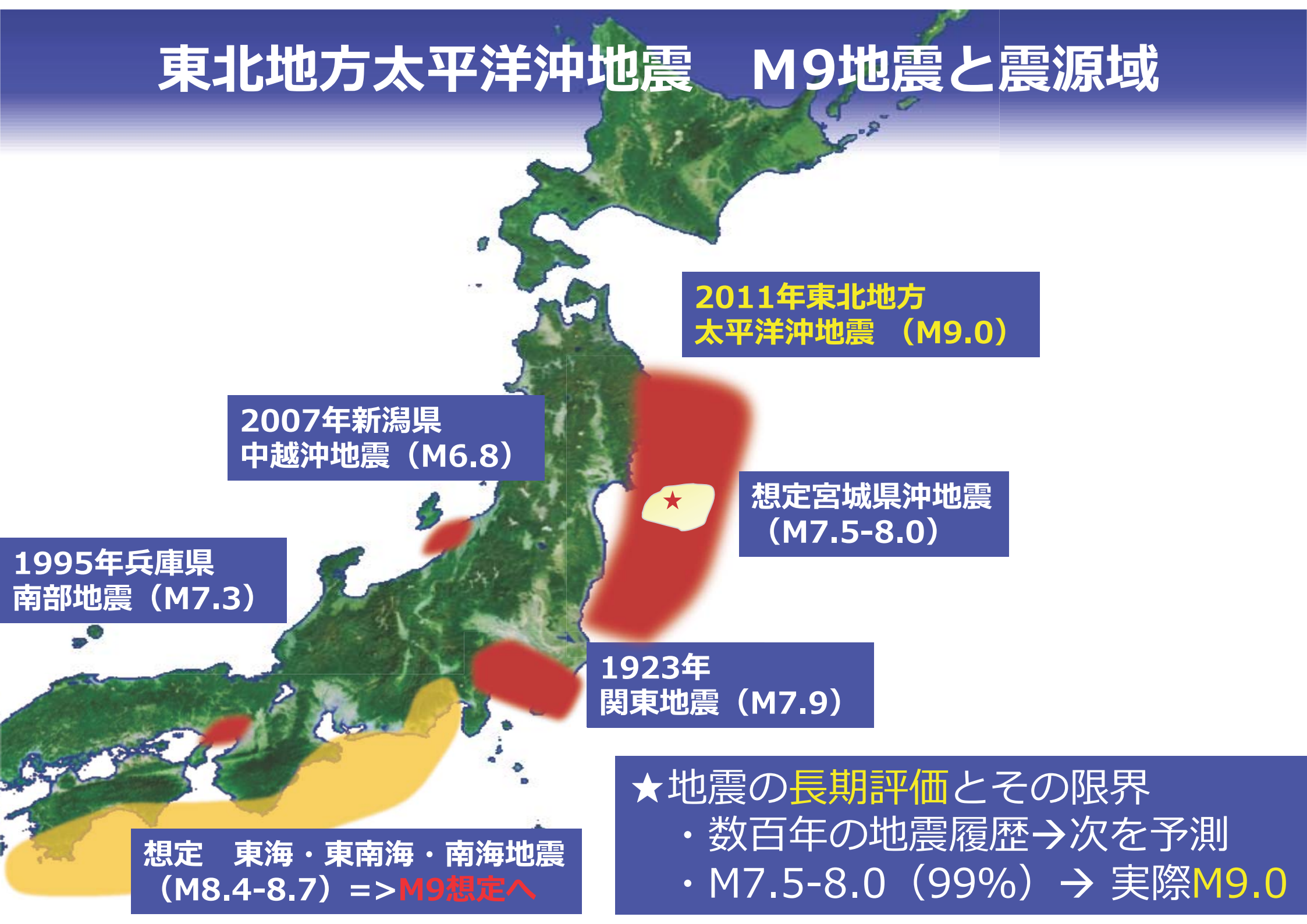
# スパコンで挑む 地震と津波の災害軽減

前田 拓人  
東京大学 地震研究所



1. 巨大地震と複合災害：東北地震から学ぶこと
2. 「京」による超大規模シミュレーション
3. 災害軽減に向けて

# 東北地方太平洋沖地震 M9地震と震源域



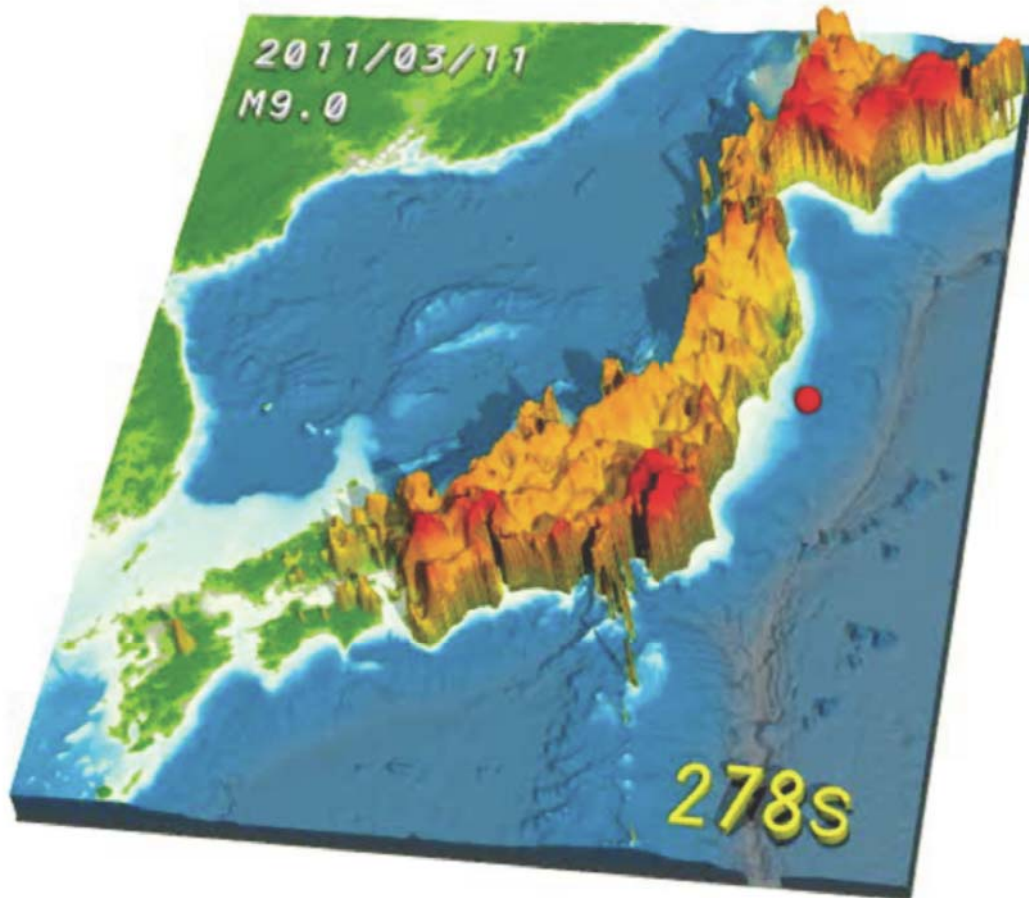
# 東北地方太平洋沖地震：大加速度、長い継続時間

## ★揺れの可視化

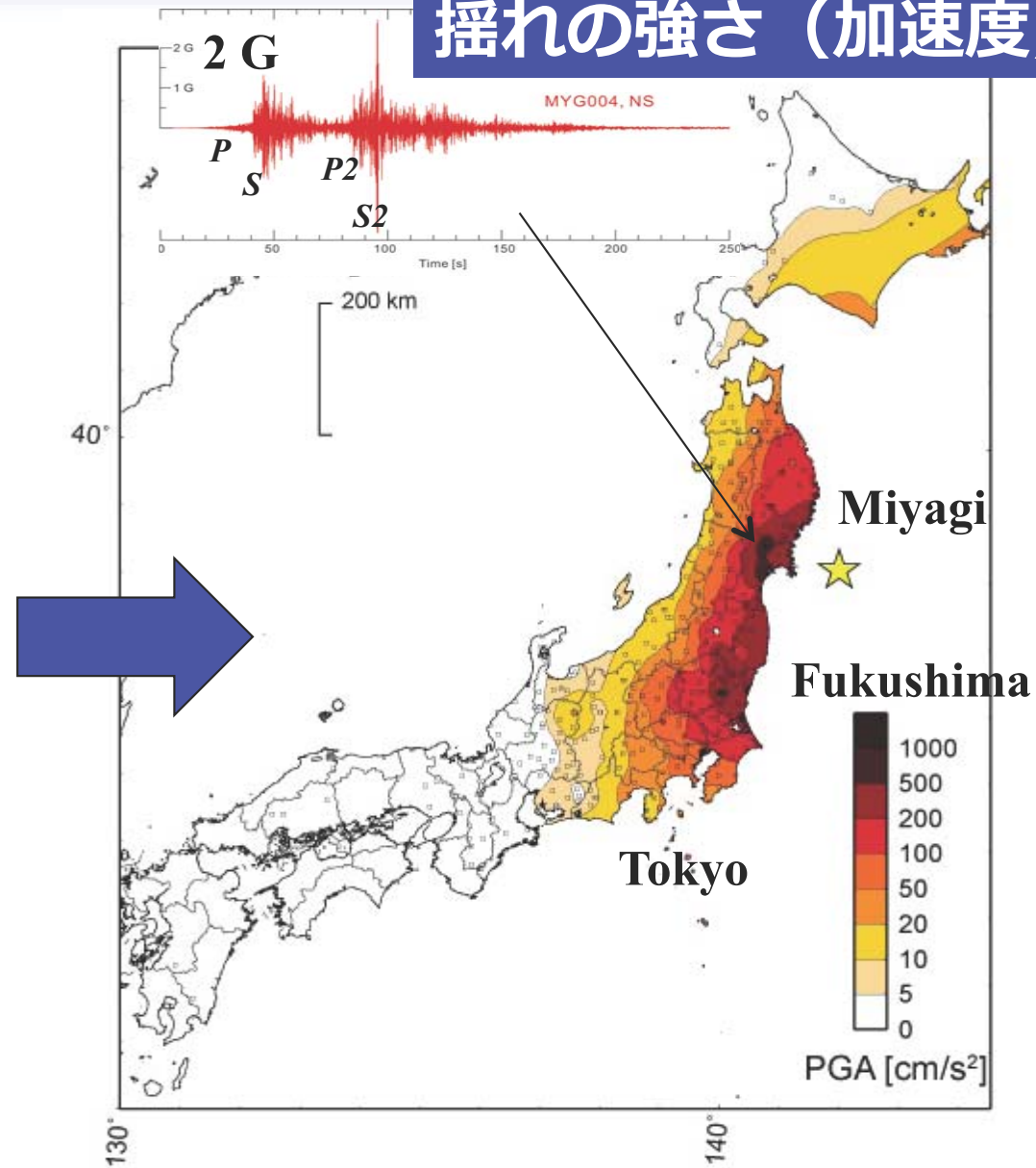
防災科学技術研究所

K-NET/KiK-net 強震観測網

1800 観測点



## 揺れの強さ（加速度）



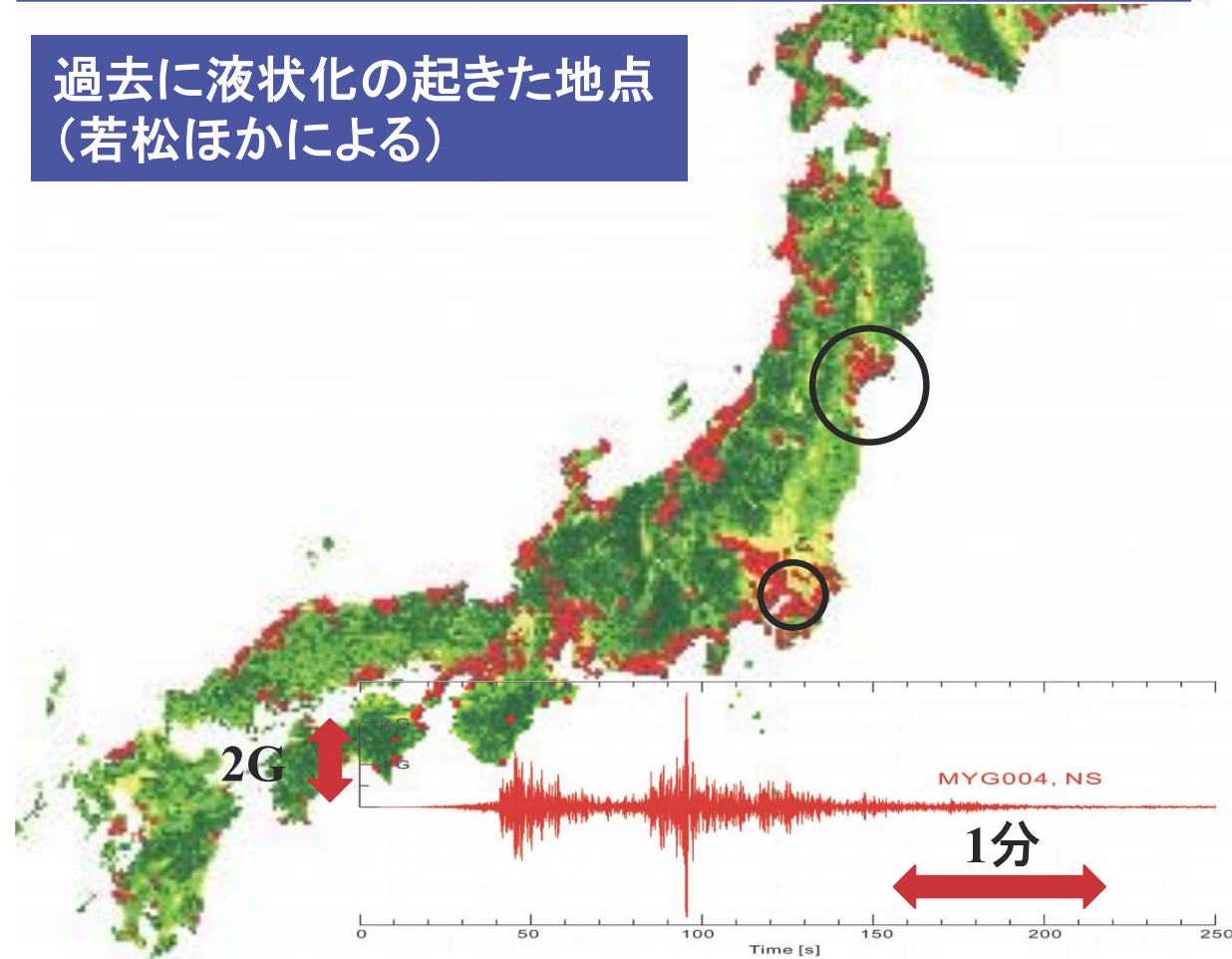


# 東北地方太平洋沖地震：液状化による地盤被害

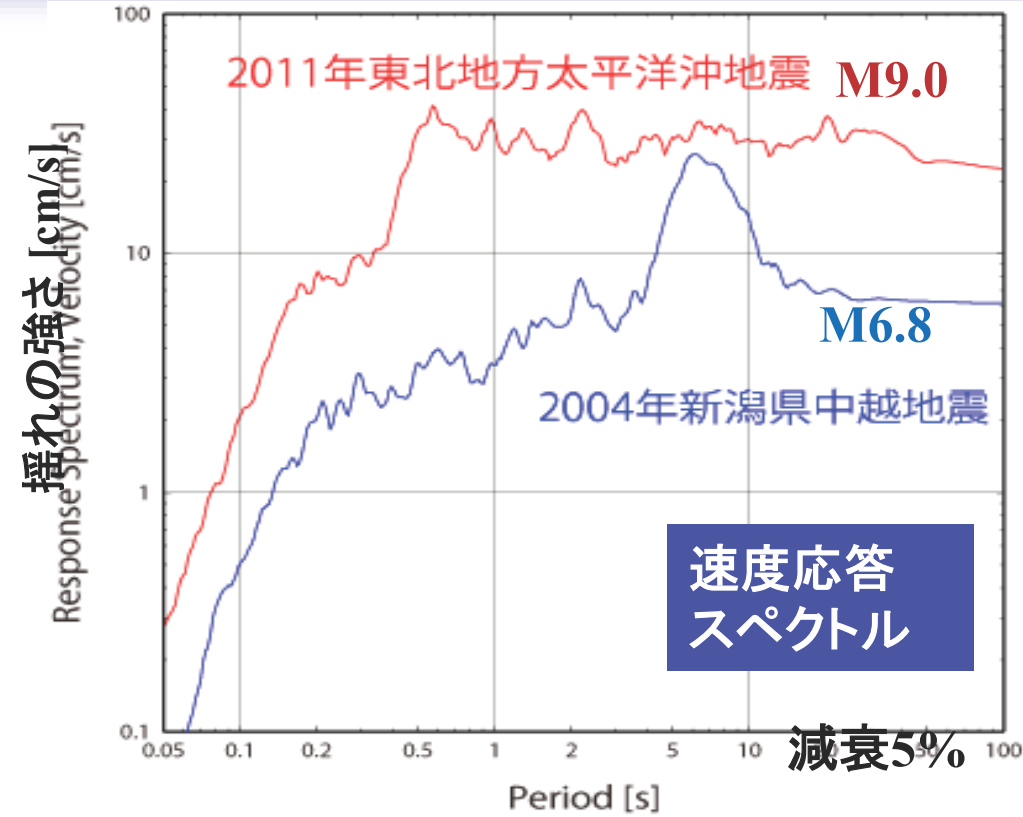
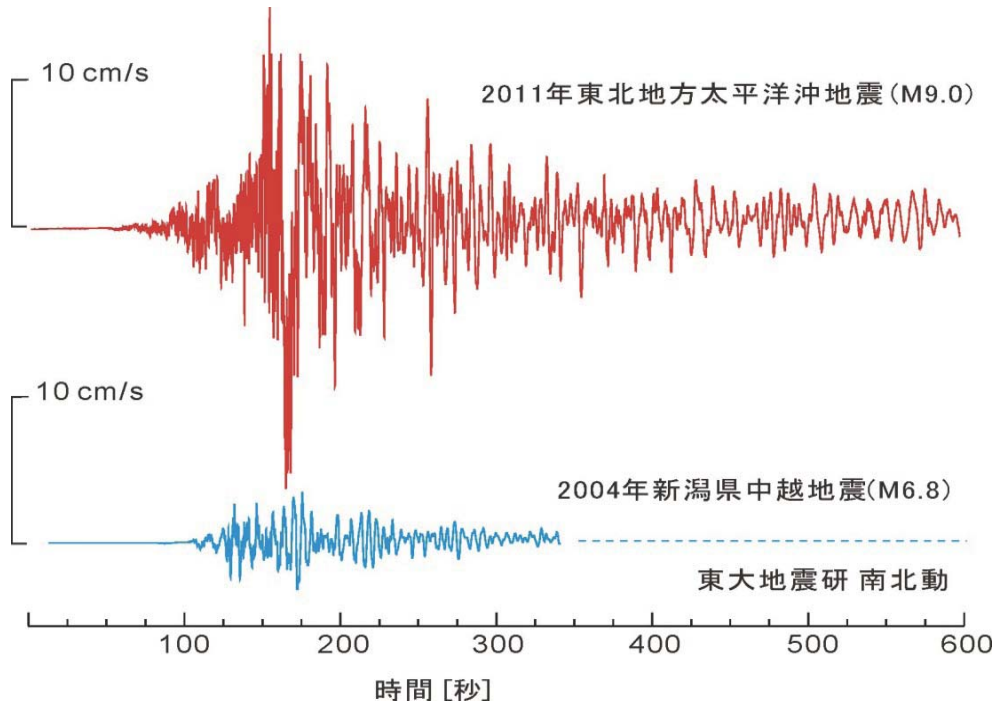
★強い揺れによる液状化の発生

- ・強い**加速度**+長い**継続時間**
- ・緩い**砂地盤**(埋め立て、河川流路)
- ・高い**地下水位**

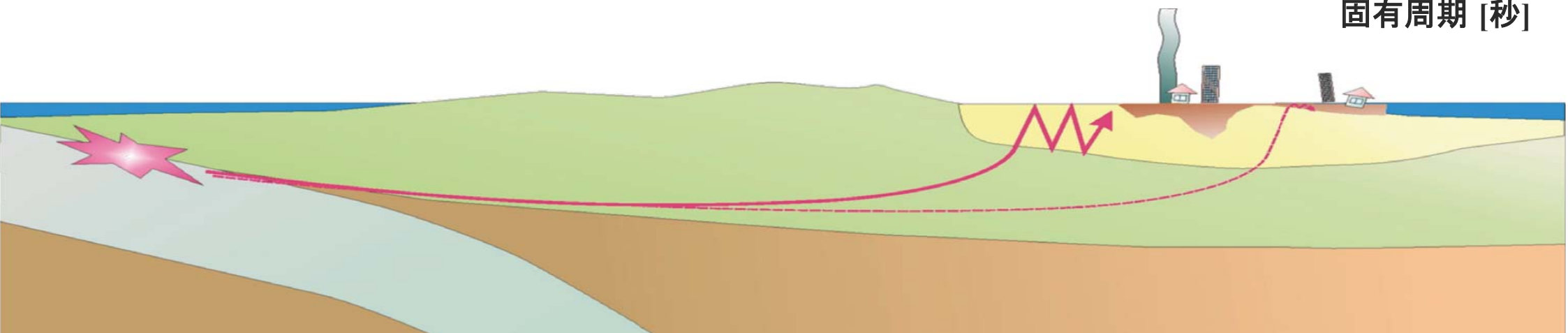
過去に液状化の起きた地点  
(若松ほかによる)



# 東北地方太平洋沖地震：長周期地震動の生成



固有周期 [秒]

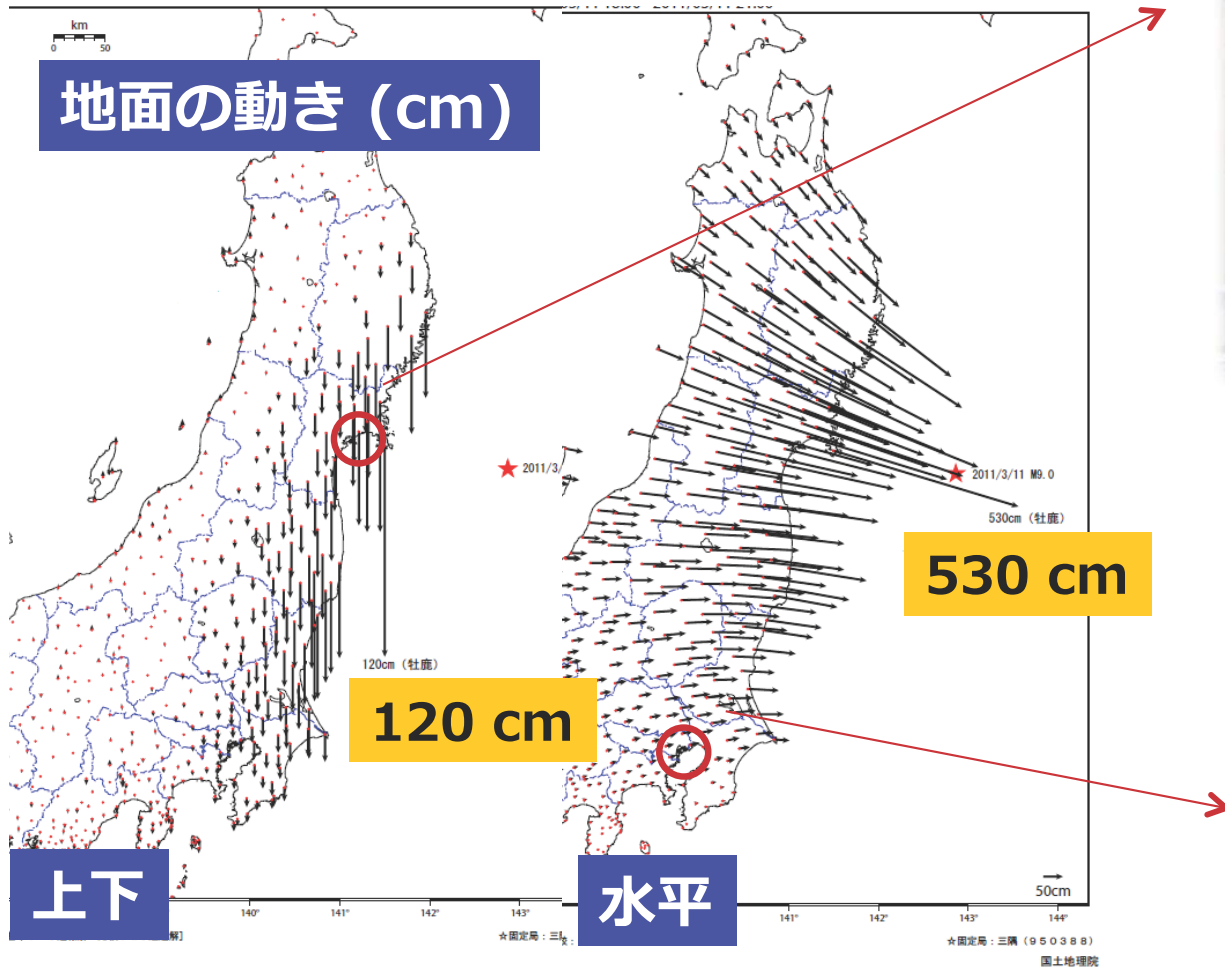


# 東北地方太平洋沖地震：地震による地殻変動

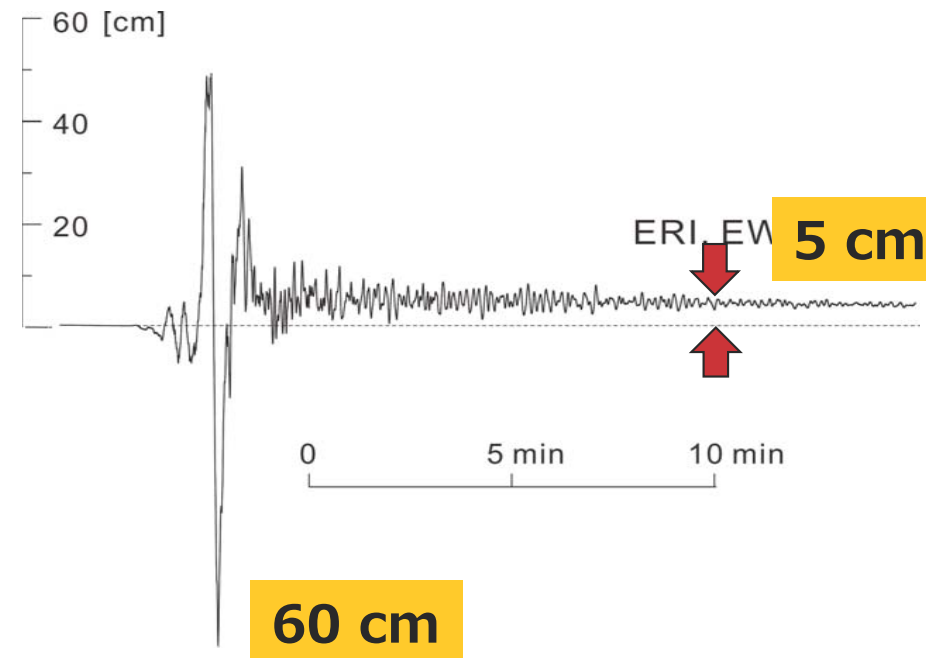
## ★地震地殻変動の可視化

国土地理院GEONET

GPSリアルタイム観測網 1200点

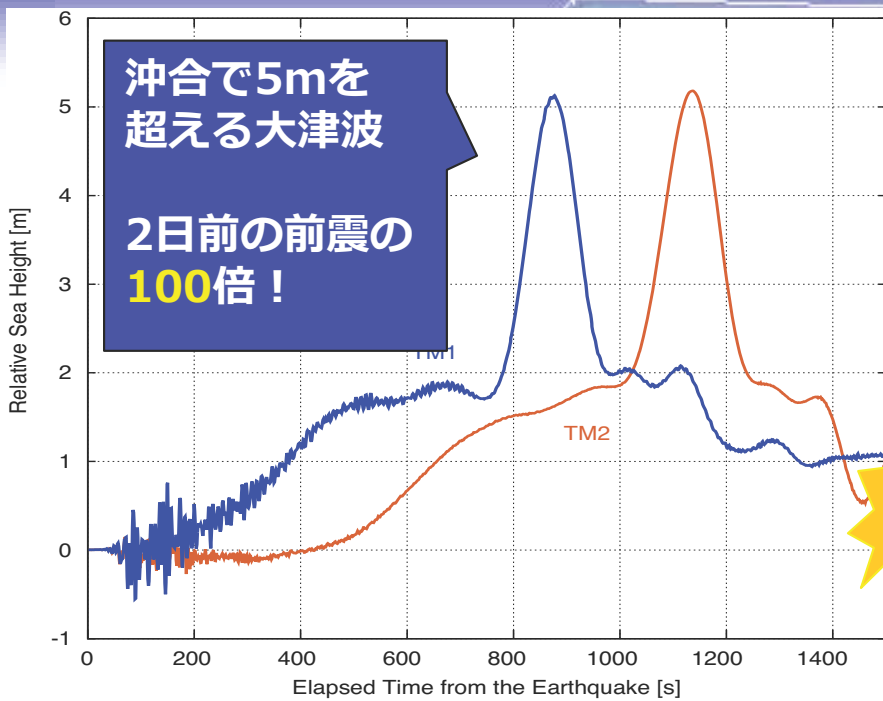


## 東大地震研





# 海底ケーブル津波計が捉えた、沖合の大津波



切断

釜石沖ケーブル津波計  
(東大地震研、東北大)

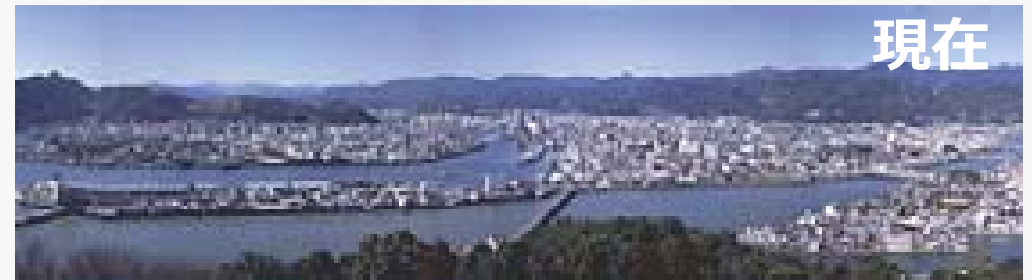


# 複合災害の恐怖

宮城県女川町@2011/8/21

地殻変動＋津波  
による浸水

地震＋津波被害  
避難場所になり得る  
はずの建物が・・・



写真提供： 高知大学岡村教授、高知県危機管理室

1946年南海地震による高知県高知市の地盤沈下と浸水

- 地震・津波・地殻変動
  - これまでバラバラに考えてきた災害の複合効果



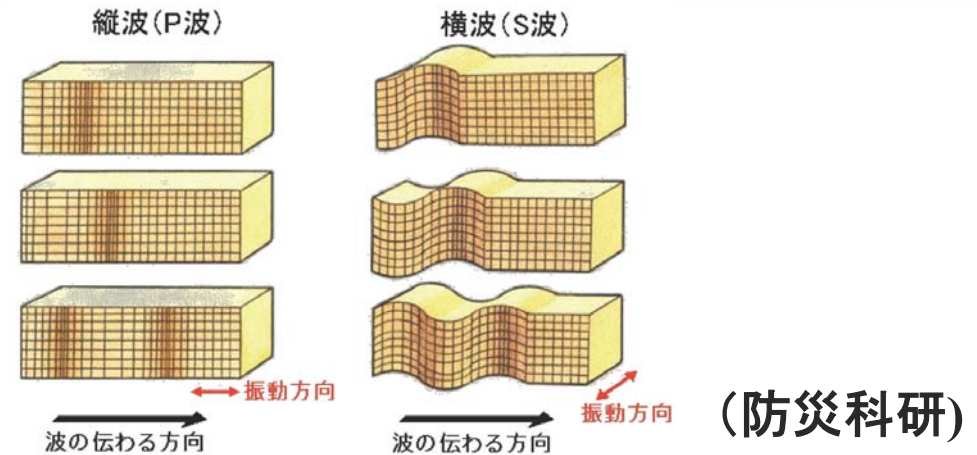
# 地震の「実験場」としてのスパコン



- 計算機の中で地震を起こしてみる
  - 事前に沢山試しておいて、被害想定に繋げる

# そもそも、シミュレーションって？

- 地震のゆれ = バネの運動
  - 地面の中がのびたり、ちじんだりねじれたり



- 高校で習う  $ma=F$  の運動方程式ほとんどそのまま
  - 人はほとんど解けない: コンピュータに解いてもらう
  - バネの強さ = 地球の内部構造

● **より深い地球の理解**が高精度化に直結

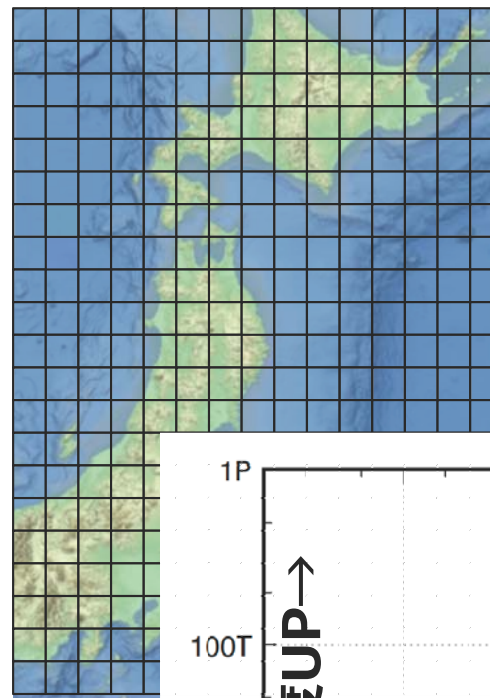
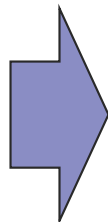
- 現象を記述する運動方程式 (物理・数学)
  - 離散化 (コンピュータに解りやすい表現)
  - 方程式の解き方を考える (効果的な方法)
  - 解き方をプログラミング

# 「超」大規模並列計算へのチャレンジ

ES2@JAMSTEC  
160ノード

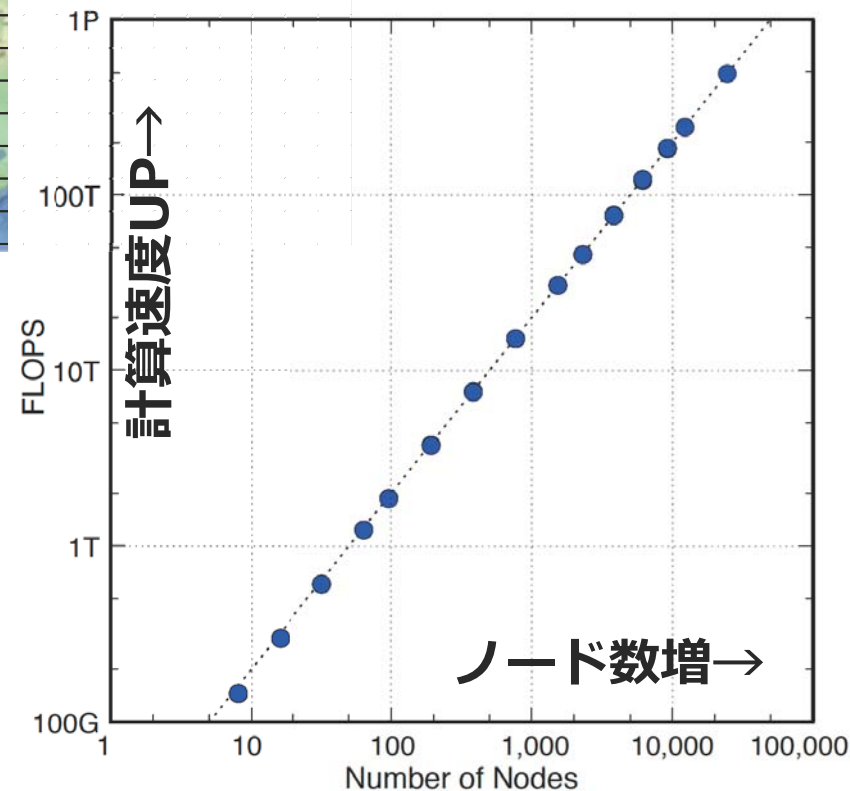


K@RIKEN:  
80000ノード超



日本列島を  
細かな領域に分割

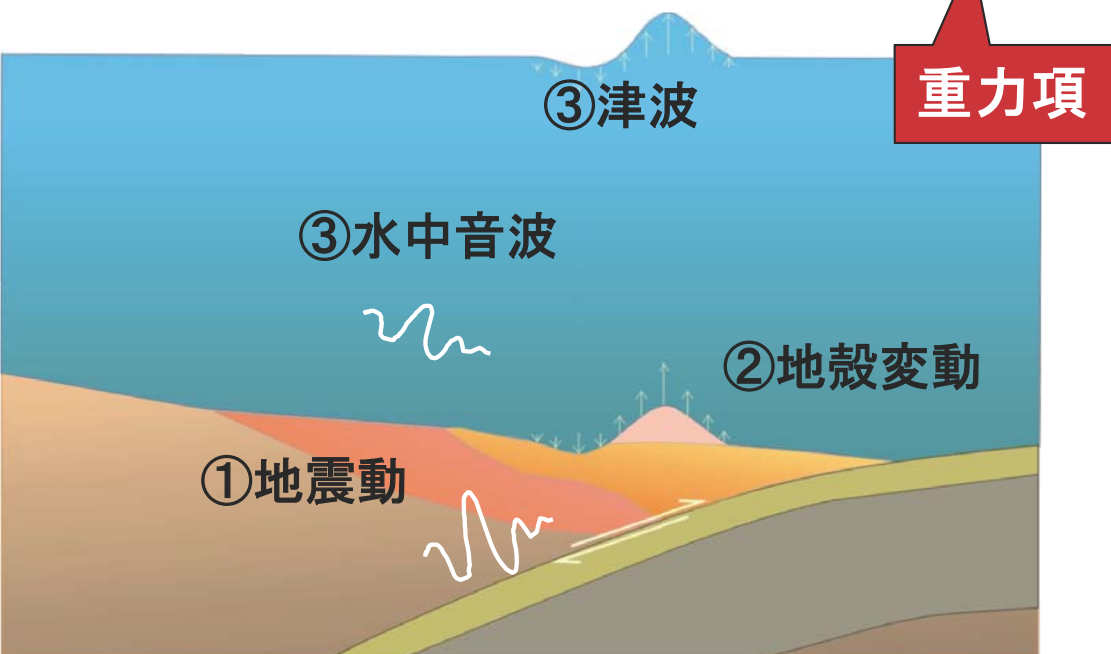
- 複数のノードを同時に活用することで高速計算
  - 特に「京」はかつて無い大規模並列計算を要求
  - 最高性能を使い切るのはとても大変
- 計算機の専門家（理研）と地震の専門家の共同研究





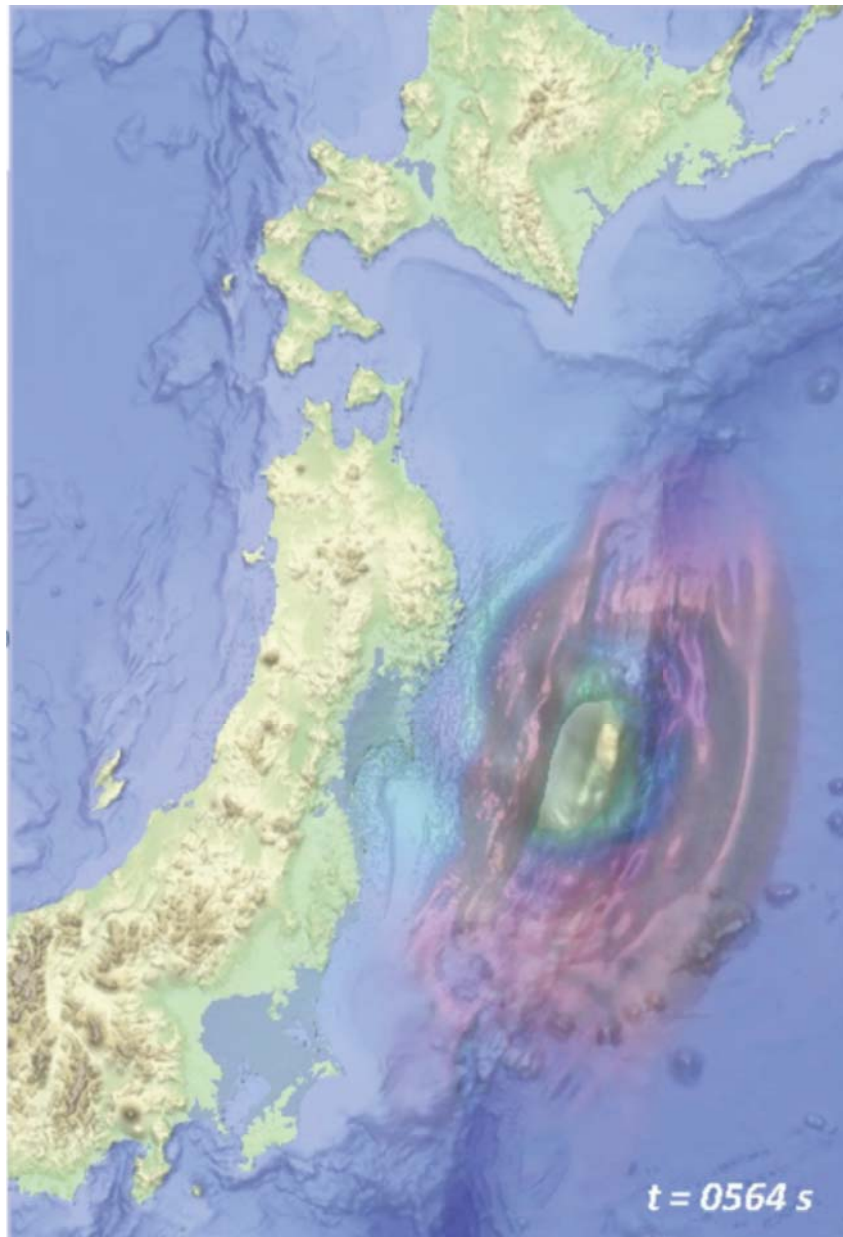
# 複合災害評価に向けたあたらしい方法の開発

$$\rho \frac{\partial v_x}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z}$$
$$\rho \frac{\partial v_y}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z}$$
$$\rho \frac{\partial v_z}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \rho g_0$$



- 重力場中の地震動—地殻変動—津波統一シミュレーション (Maeda&Furumura, 2011)
- 地震津波地殻変動の複合災害をまるごと全部シミュレーション
- 海水を再現できるくらい高解像度が必要
- 莫大な計算量のため、昔はやろうとすら考えなかった・・・  
「京」ならではの研究

# 地震—津波同時シミュレーション

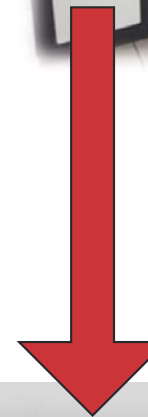


## ★重力付運動方程式

- ・地震動、地殻変動、津波を同時評価
- ・巨大地震の複合災害



ES2 1000mメッシュ



京 500/125m メッシュ



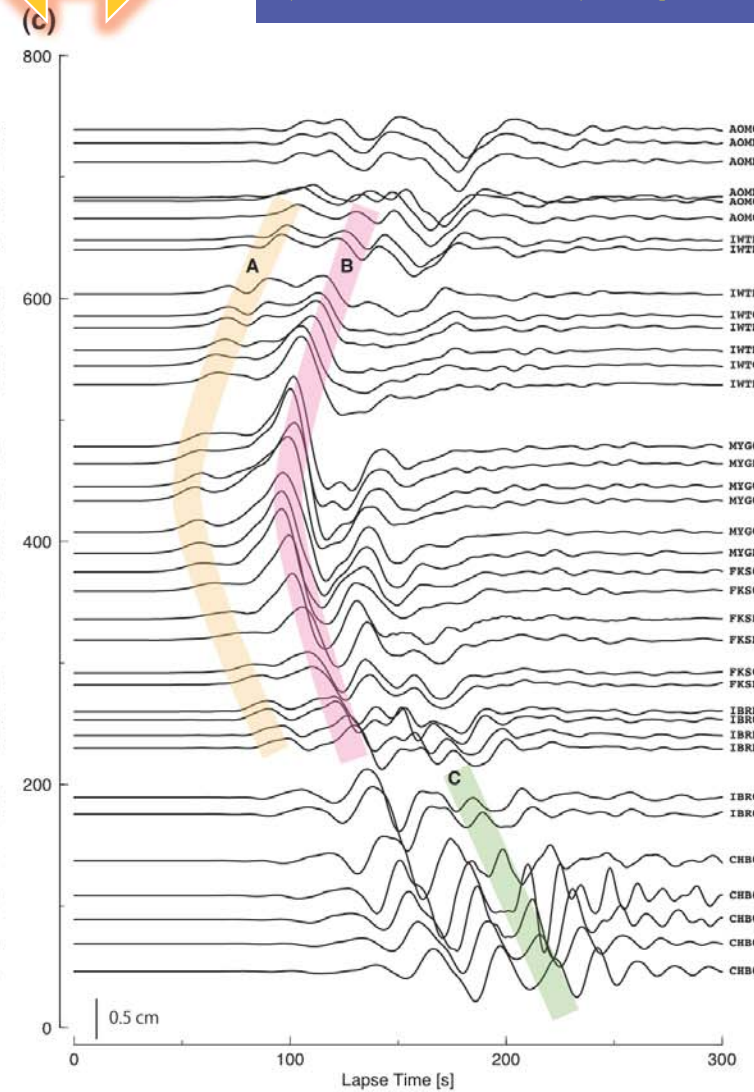
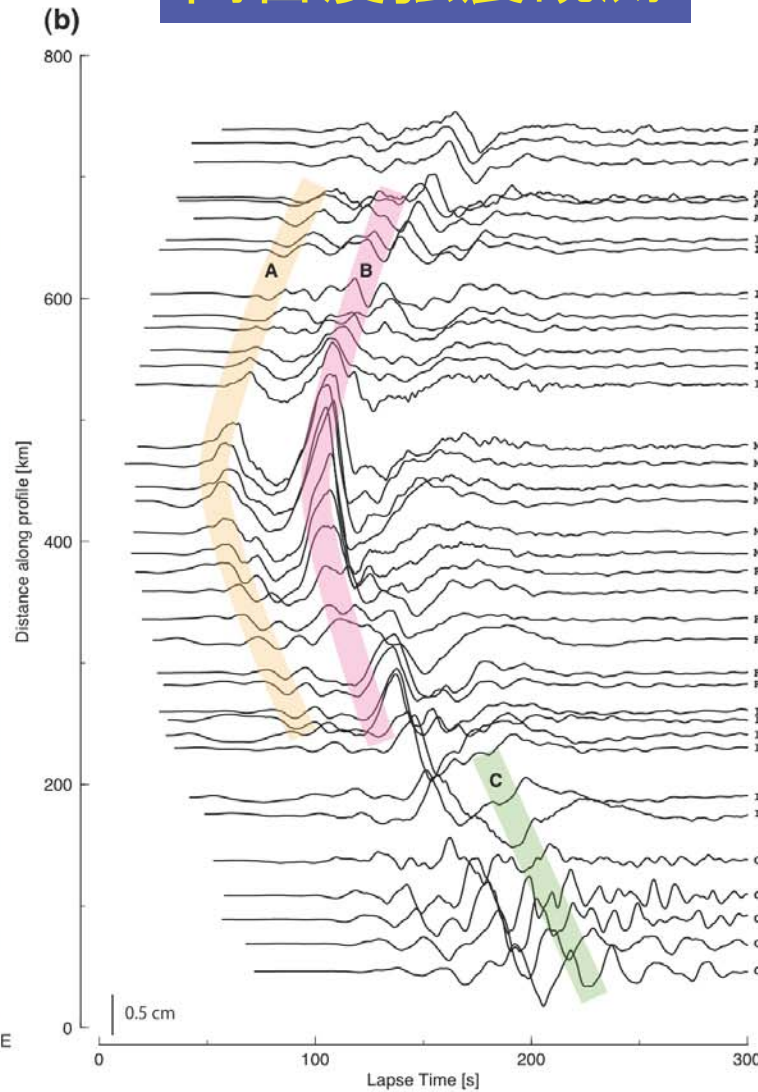
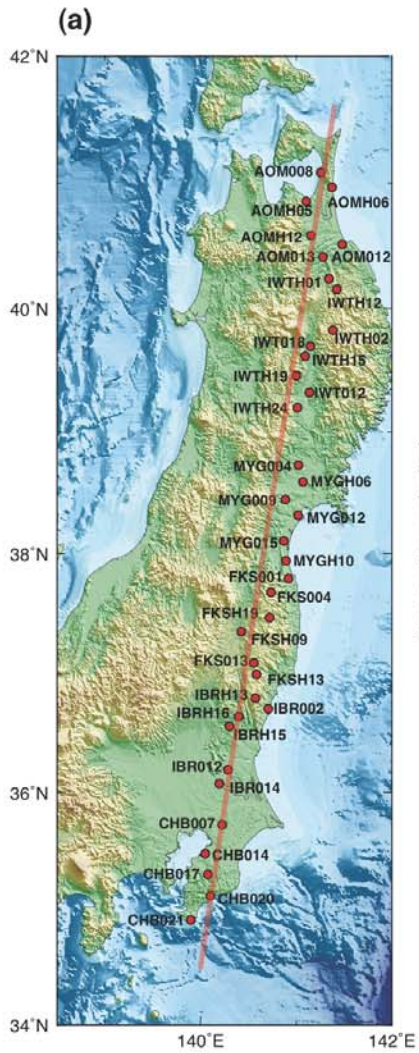
京 K computer 京コンピュータ

# 観測地震動の再現

高密度強震観測

比較

シミュレーション



地震波形をよく見ると再現できているところとできていないところ・・・東北地震のさらなる理解に向けた努力



# 観測地震動の再現

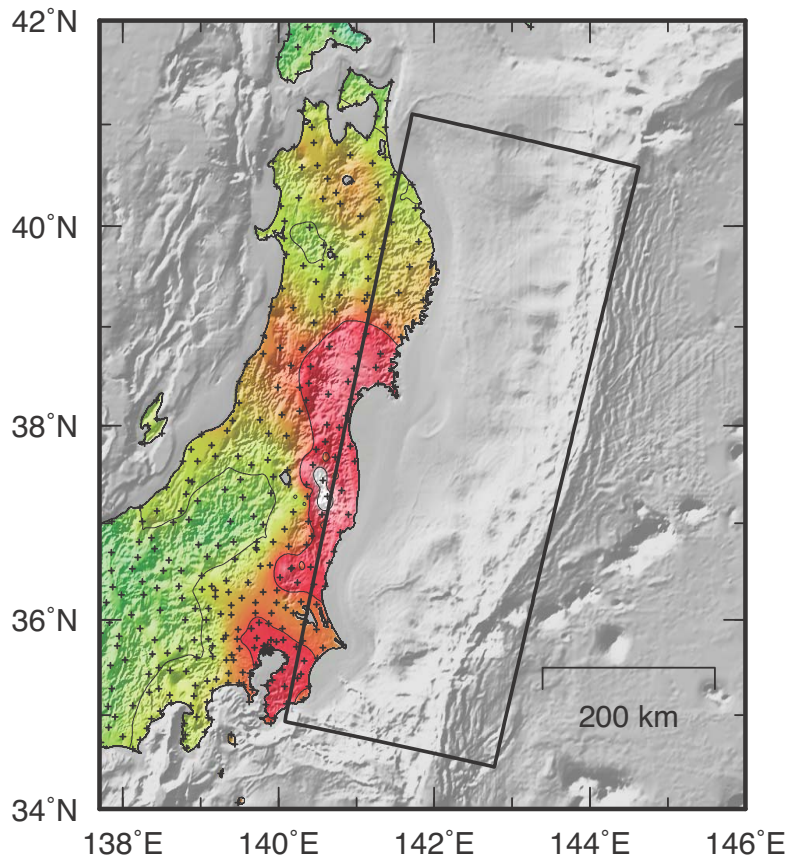
## 大地震の強い揺れの再現・予測

(A) 高密度強震観測  
1800地点の観測

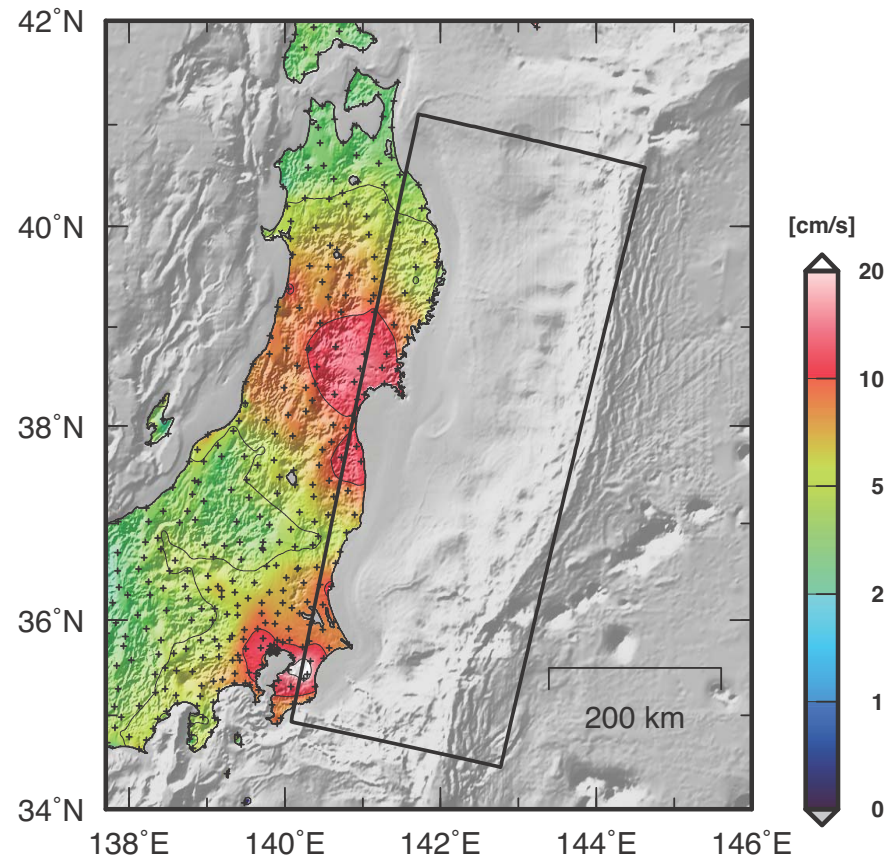


(b) 大規模  
シミュレーション

(a)



(b)



# 南海トラフ地震における大連動の可能性？

## (1) 巨大地震の津波堆積物

- ・ 宝永地震の2～5倍
- ・ 高知、徳島、九州東岸

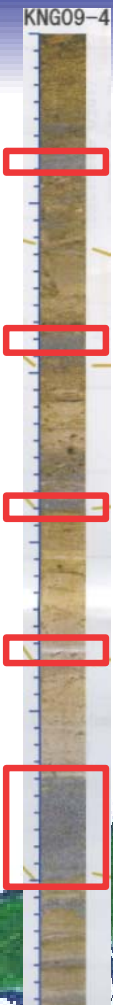
津波堆積物調査 (高知、蟹ガ池)  
高知大：岡村・松岡 (2008)

## (2) 海溝軸プレート境界の痕跡

- ・ 地震性 (高速) 滑り？

ちきゅう深海掘削 (JAMSTEC)

拡大？



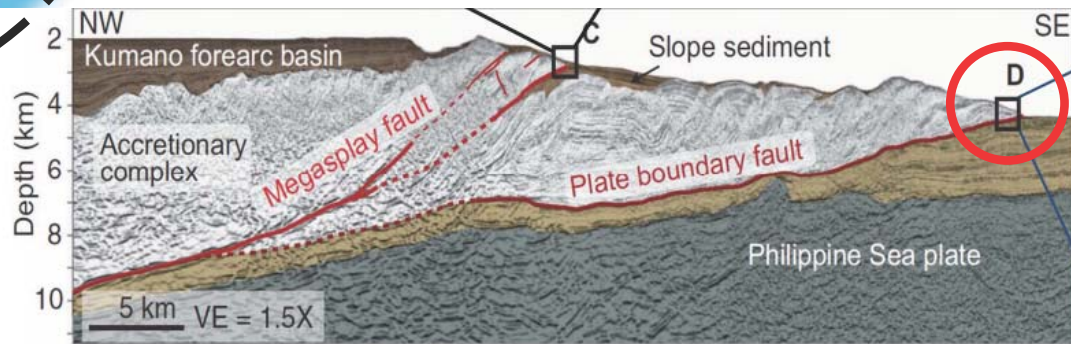
龍神池 (大分)

蟹ガ池 (高知)

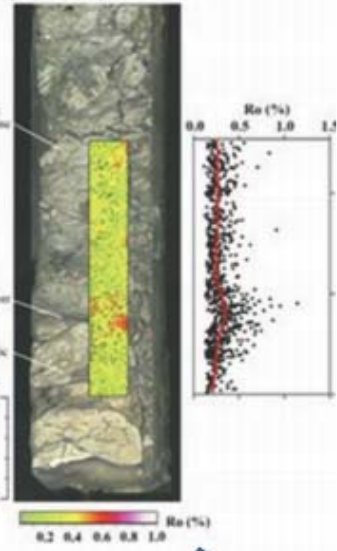
小川溜 (徳島)

1707年宝永地震 (M8.7)

1605年慶長地震 (M8?)



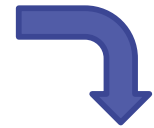
C0007: Plate boundary frontal thrust (438 m CSF)



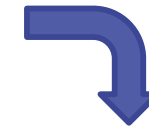
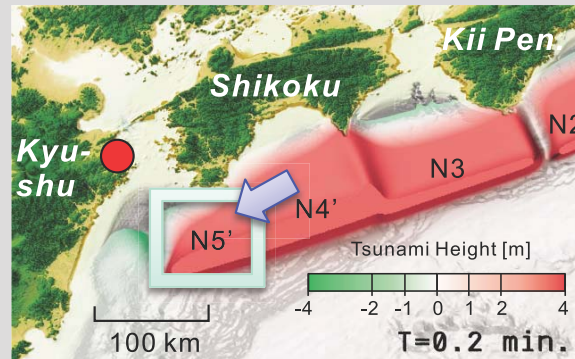


# 分野連携による津波防災への取り組み:1807宝永地震

津波堆積物の発見 (高知大G)



新しい震源モデルの提唱 (東大G)



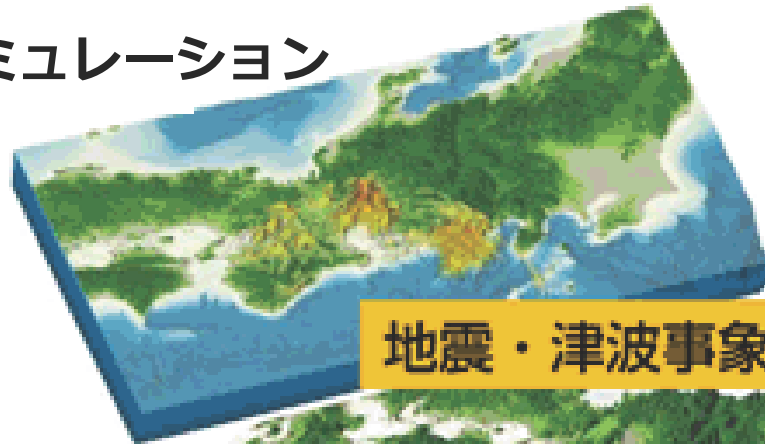
高知浸水シミュレーション (東北大G)





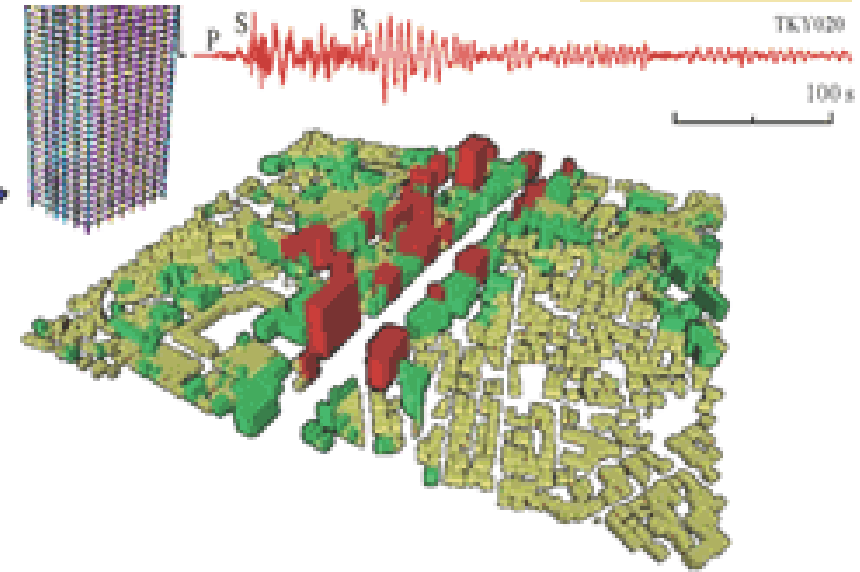
# スパコンを用いた分野間連携による減災へのチャレンジ

地震津波シミュレーションの高度化

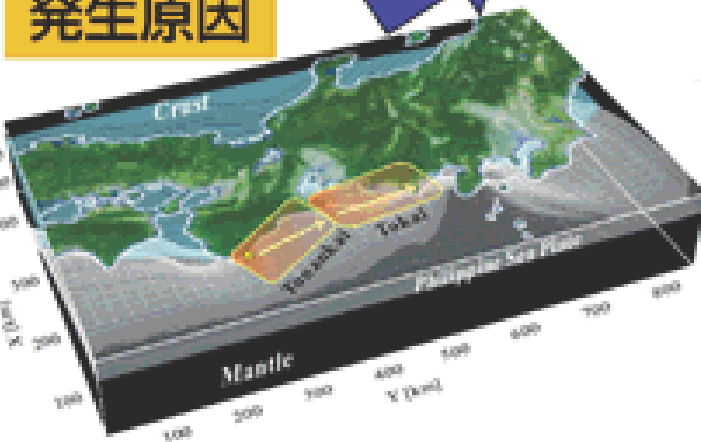


建物・被害予測の高度化

被害予測



発生原因



T=15.8 min.

- (1) シミュレーションの高度化（高速、高精度）  
自体は最終目的ではない
- (2) 個別要素モデルの統合により被害予測・軽減  
シミュレーションを行う
- (3) 地震動の予測から、被害の予測・軽減へ

地下構造・地震発生モデルの高度化