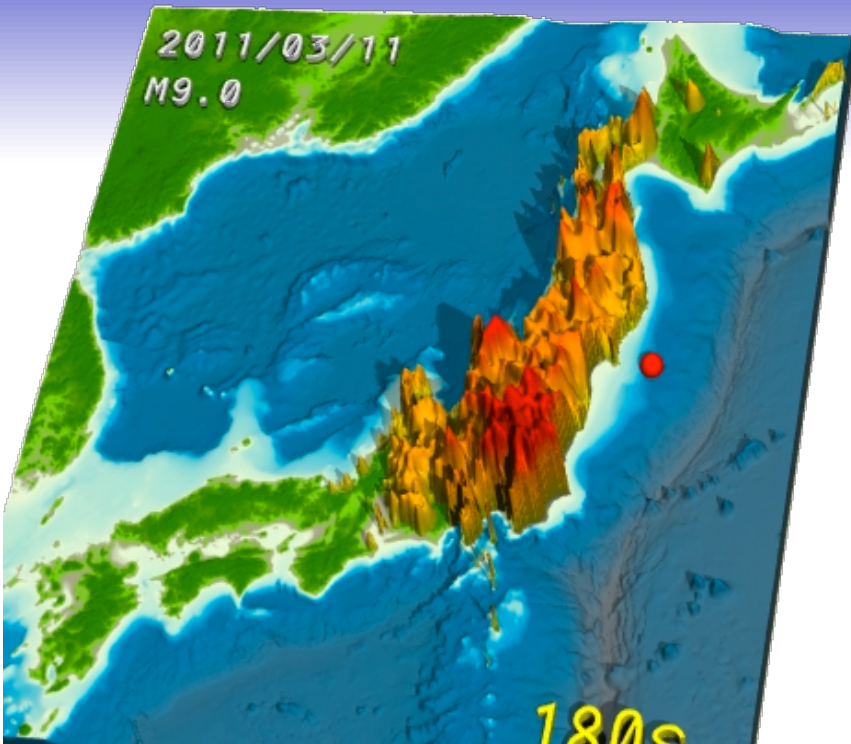


スパコンで挑む地震と津波の 高精度予測と災害軽減

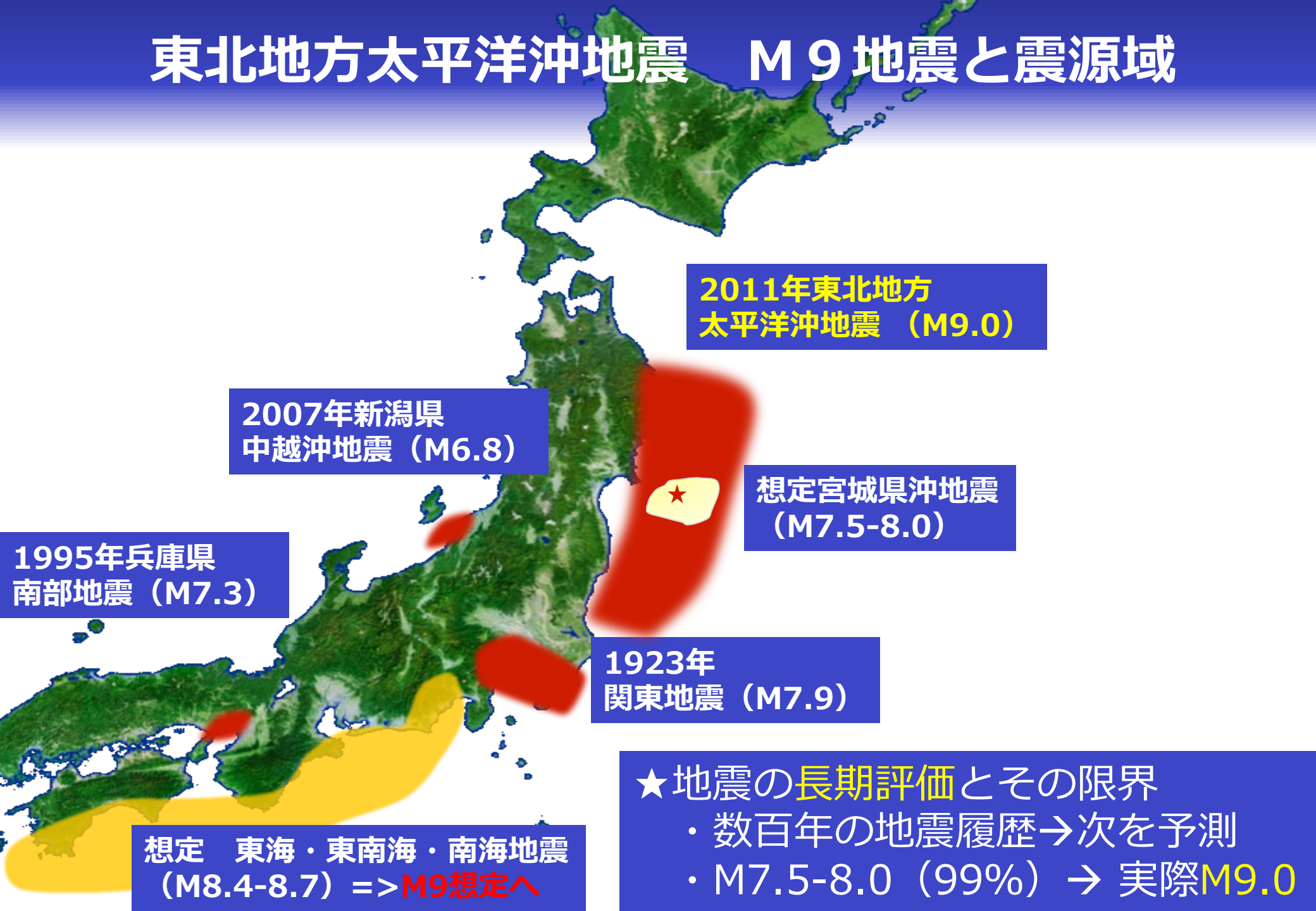
前田 拓人

東京大学 情報学環 総合防災情報研究センター



1. 巨大地震と複合災害：東北地震の場合
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



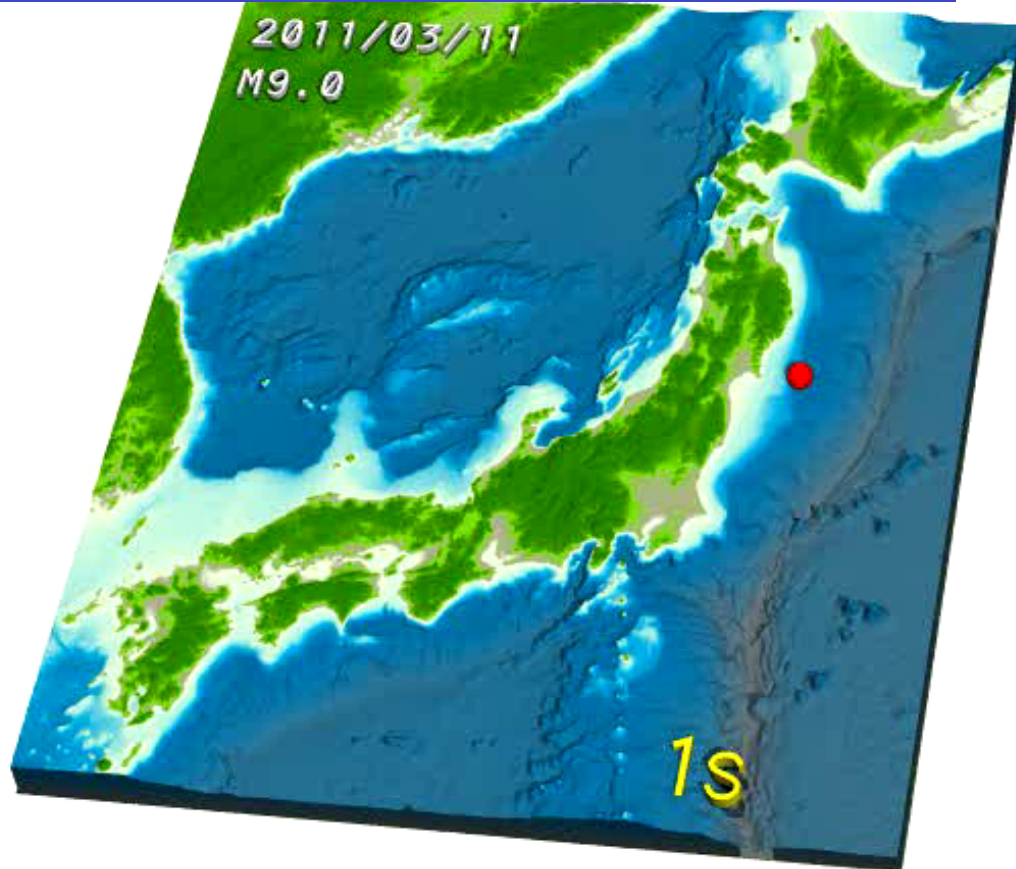
東北地方太平洋沖地震：大加速度、長い継続時間

★揺れの可視化

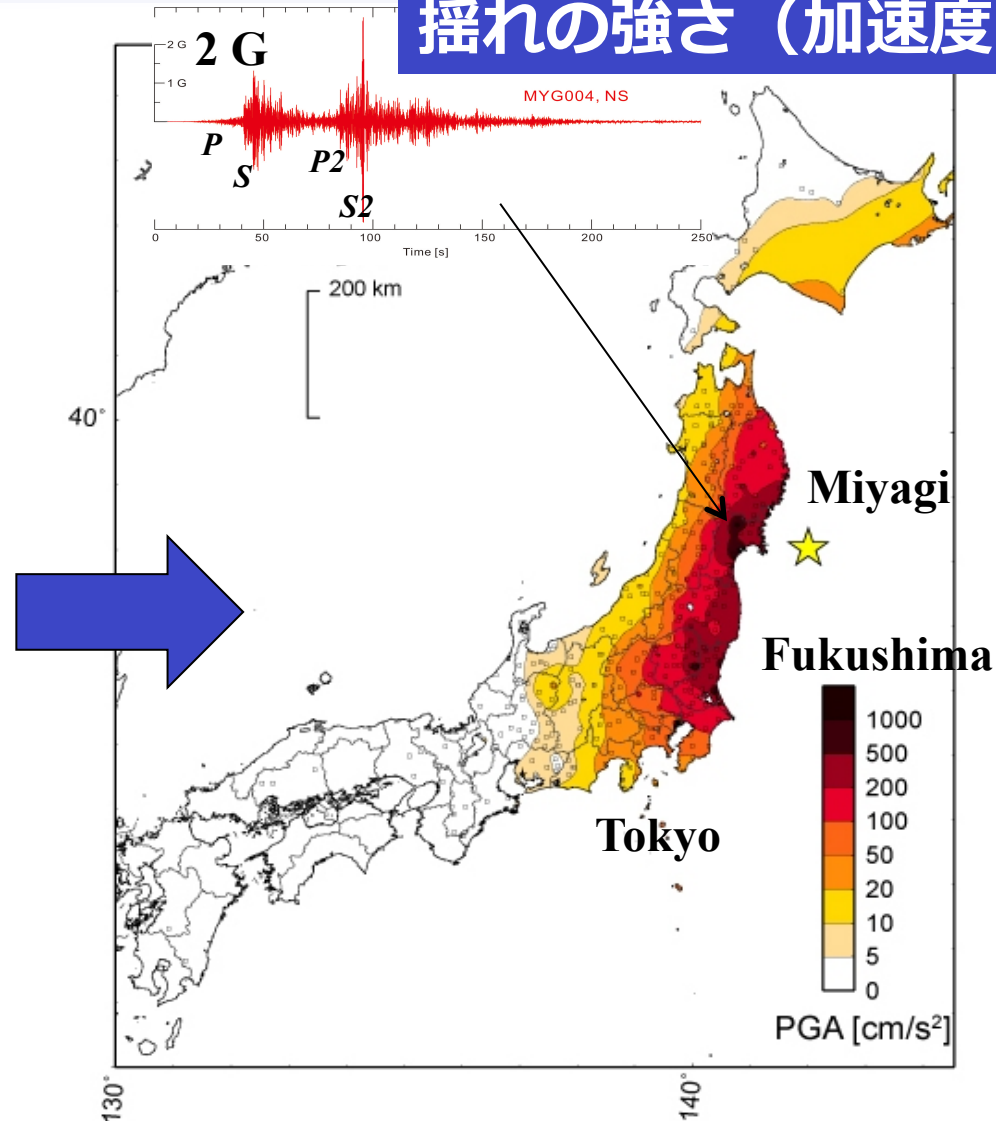
防災科学技術研究所

K-NET/KiK-net 強震観測網

1800 観測点



揺れの強さ（加速度）

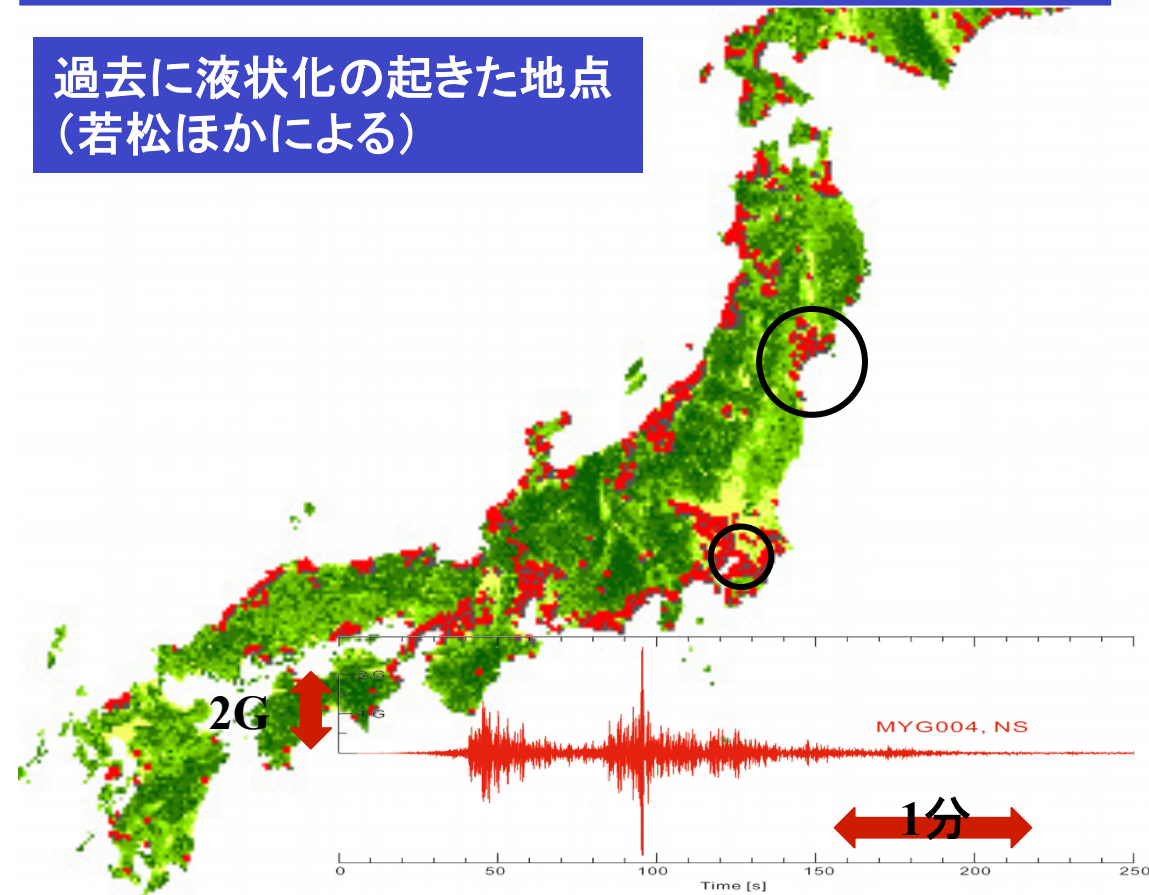


東北地方太平洋沖地震：液状化による地盤被害

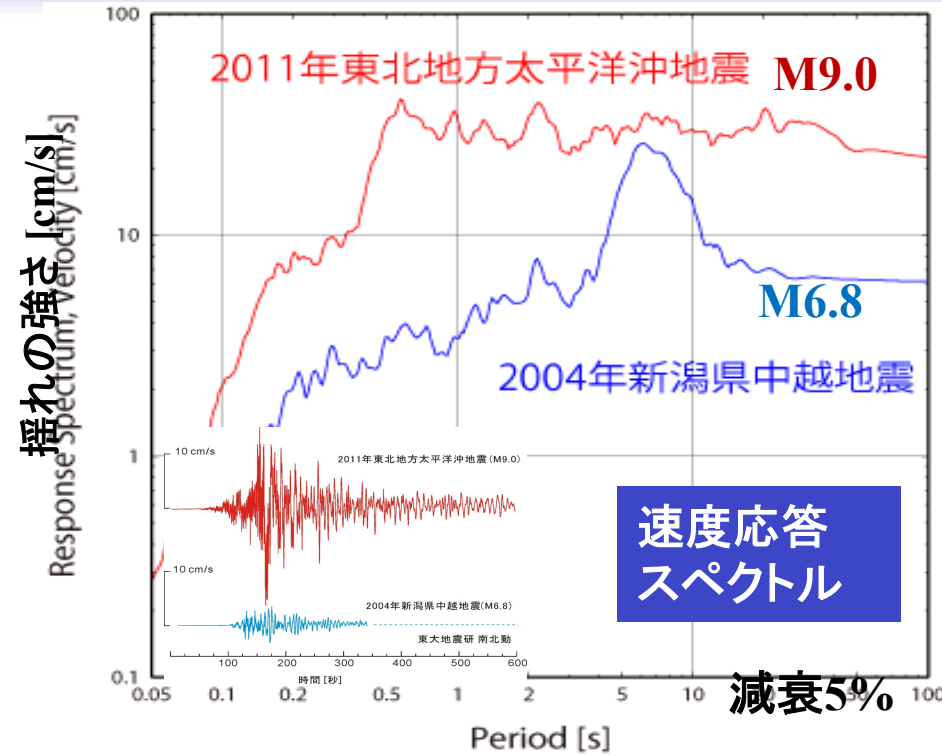
★強い揺れによる液状化の発生

- ・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

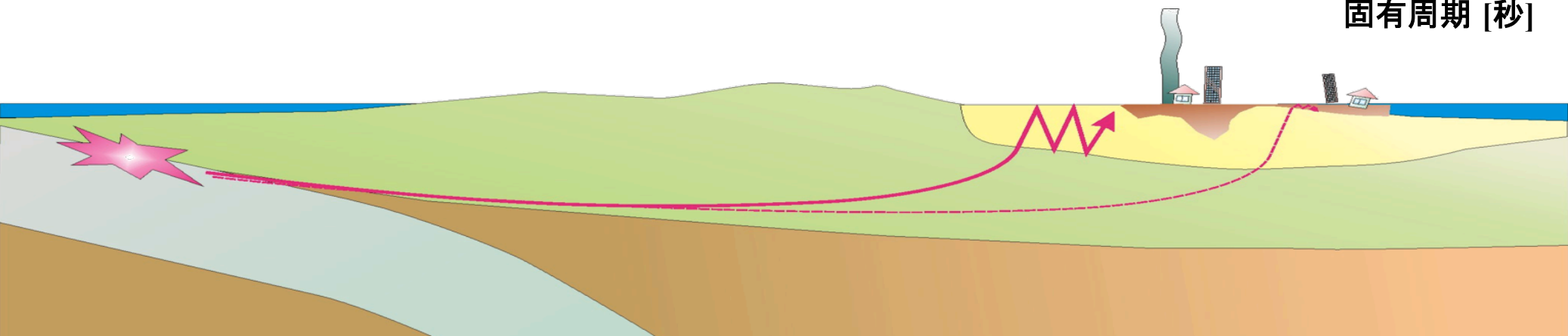
過去に液状化の起きた地点
(若松ほかによる)



東北地方太平洋沖地震：長周期地震動の生成



固有周期 [秒]

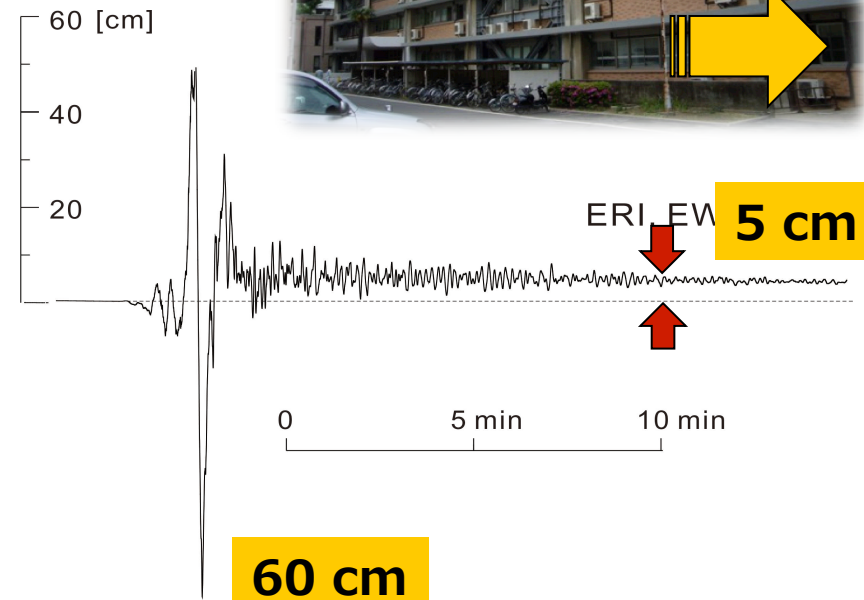
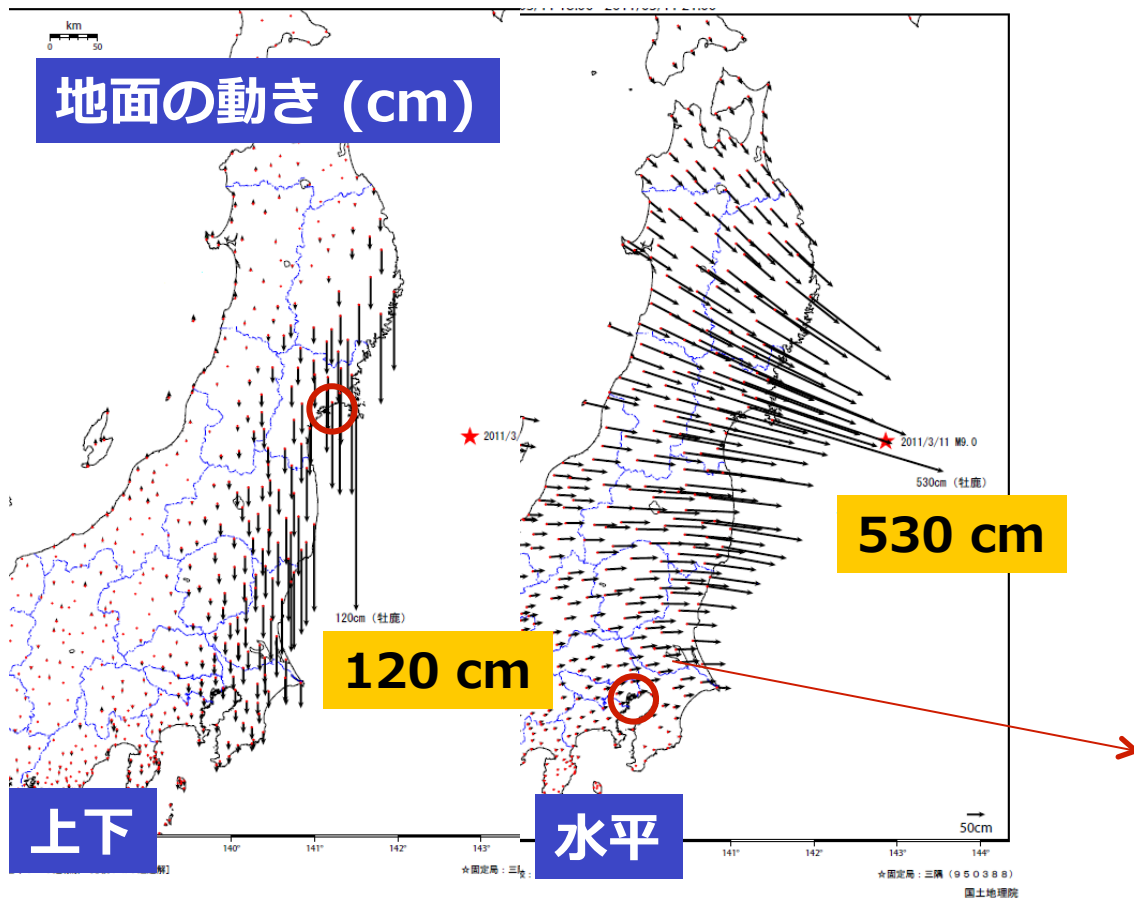


東北地方太平洋沖地震：地震による地殻変動

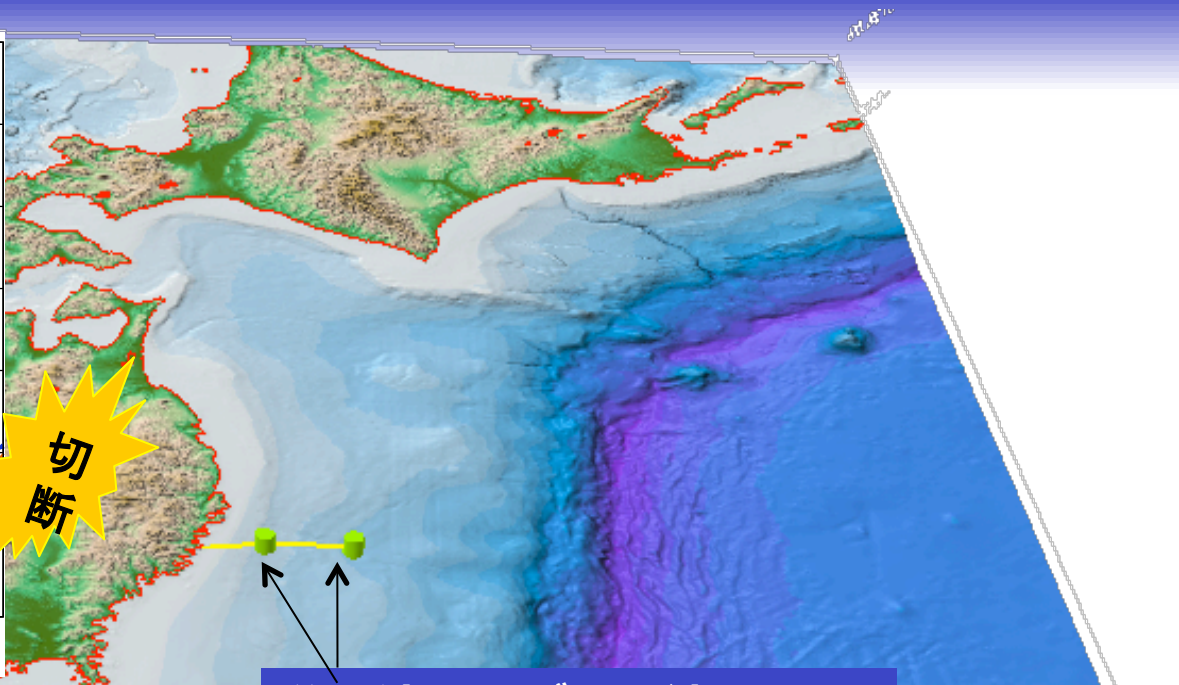
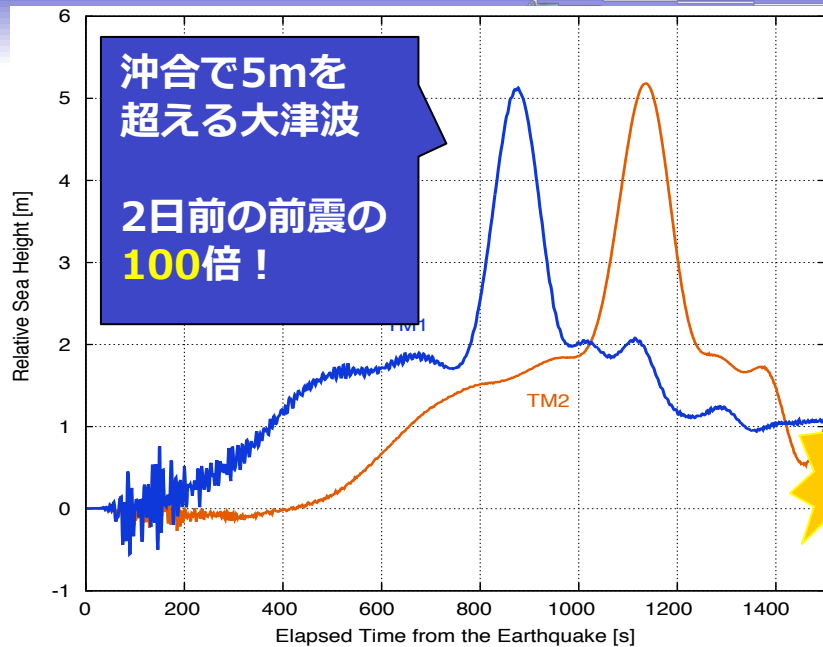
★地震地殻変動の可視化

国土地理院GEONET

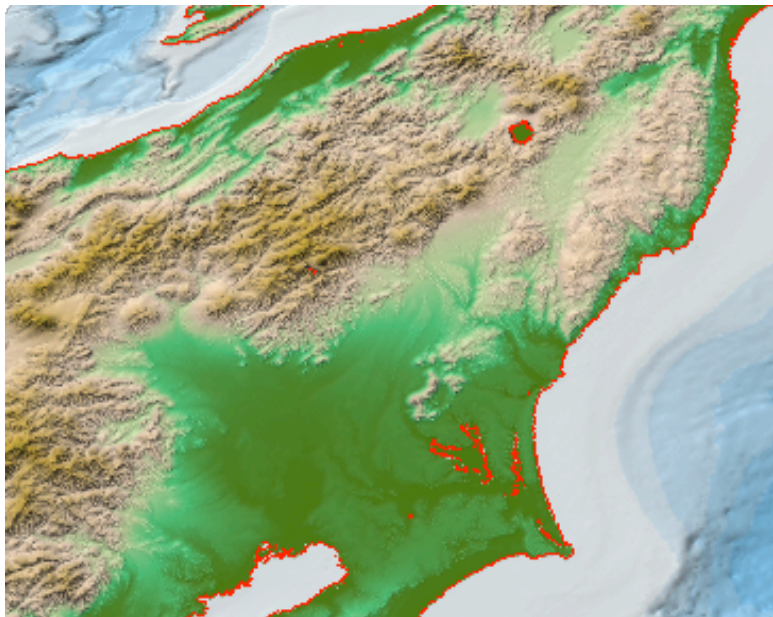
GPSリアルタイム観測網 1200点



海底ケーブル津波計が捉えた、沖合の大津波



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・・・



現在



地震直後

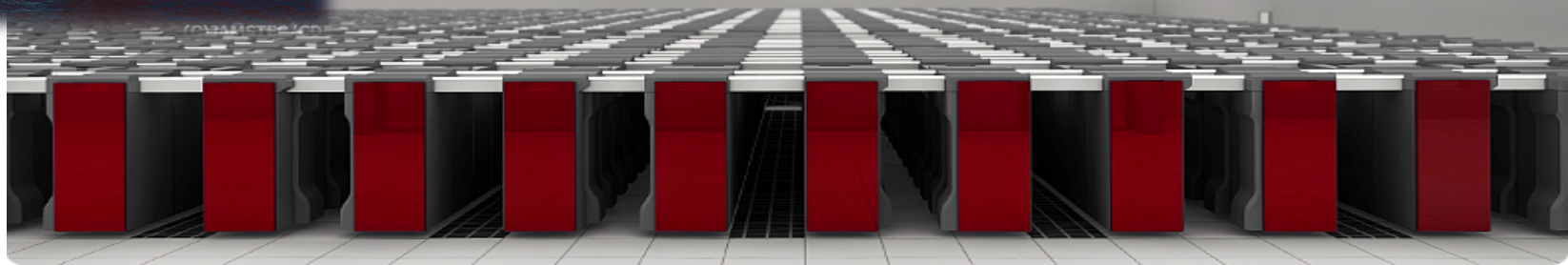
写真提供： 高知大学岡村教授、高知県危機管理室

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
- 東北地方太平洋沖地震特有の現象では無い。
これからも繰り返す。

観測—シミュレーション—融合 地球の監視、未来予測

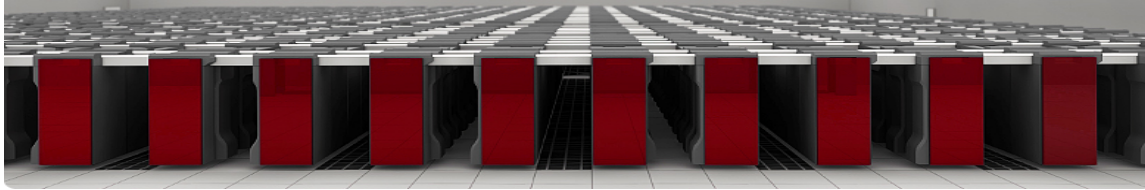


観測—シミュレーション融合 次世代津波防災システム

(2) 高速スパコン



K-Computer
@ RIKEN



(3) 津波予測、 浸水予測



未来予測

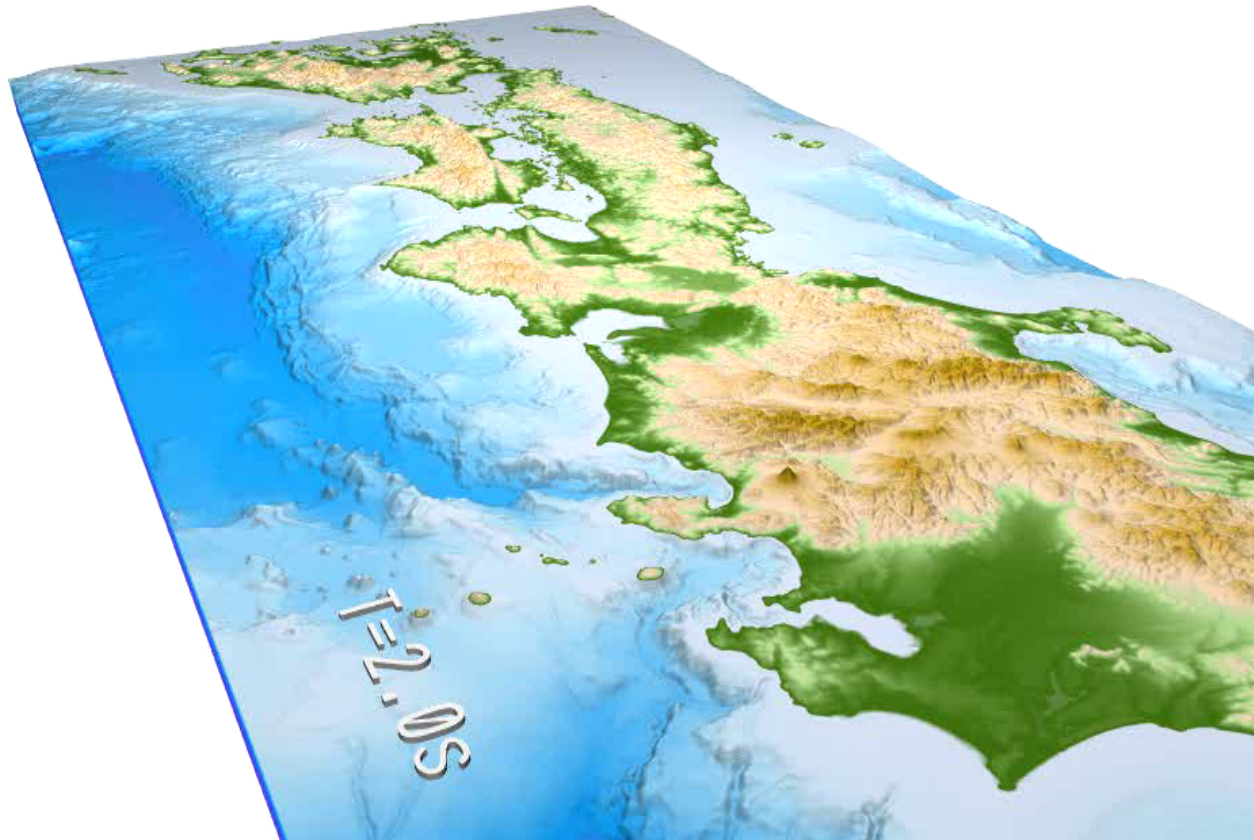
観測データ

海洋研究開発機構DONET

(1) 沖合津波観測



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・・・被害想定に寄与

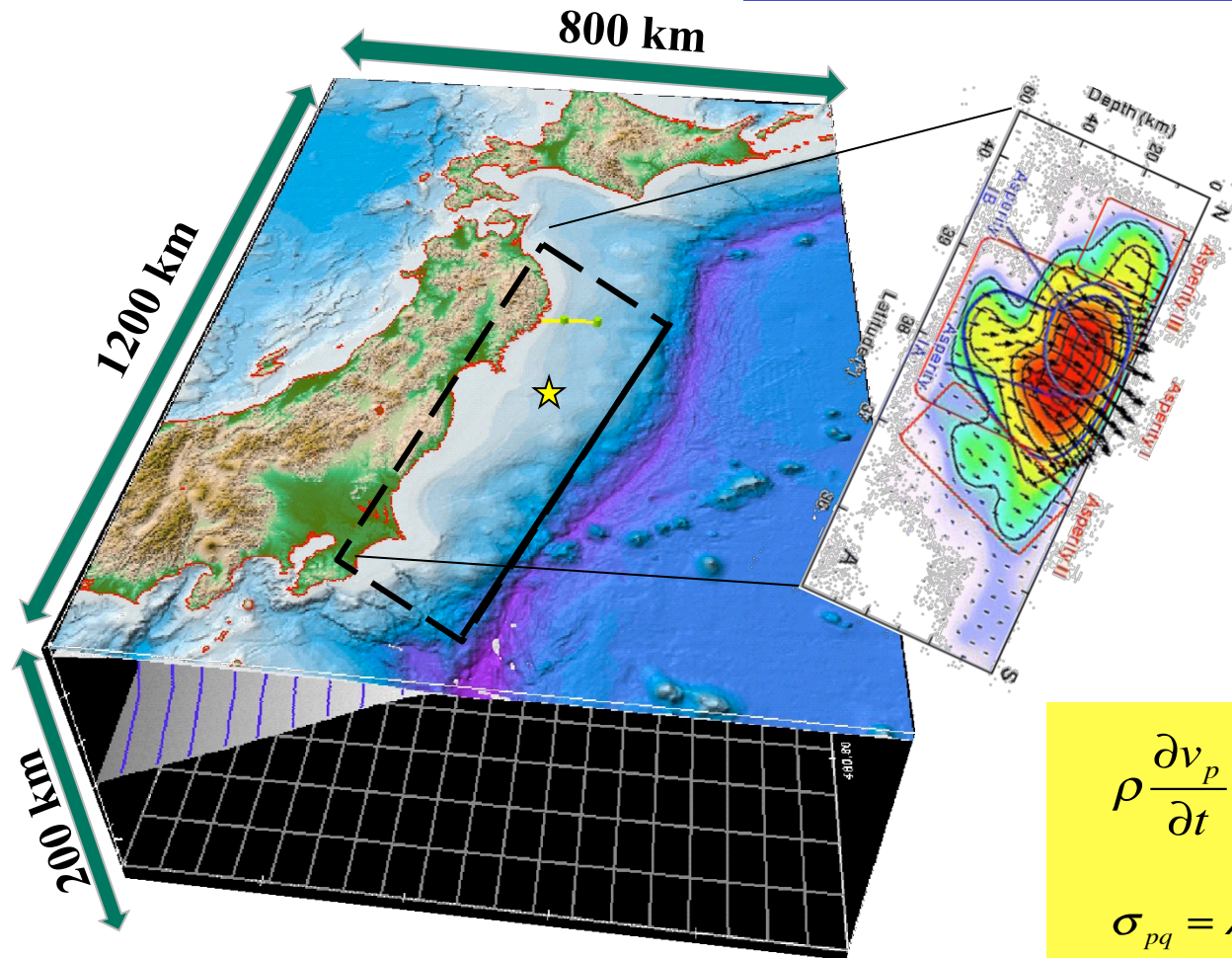
過去の地震に学ぶ：東北地方太平洋沖地震のシミュレーション

(1) 地下構造モデル

(2) 震源断層モデル (Lee et al., 2011)

3D FDM (差分法) 計算

- 800*1200*200 km
- @1.0*1.0*0.25 km
- f=0.5 Hz ($V_{s_min}=0.5$ km/s)
- **K-computer 2304 nodes**
- CPU Time: 1 hour@K



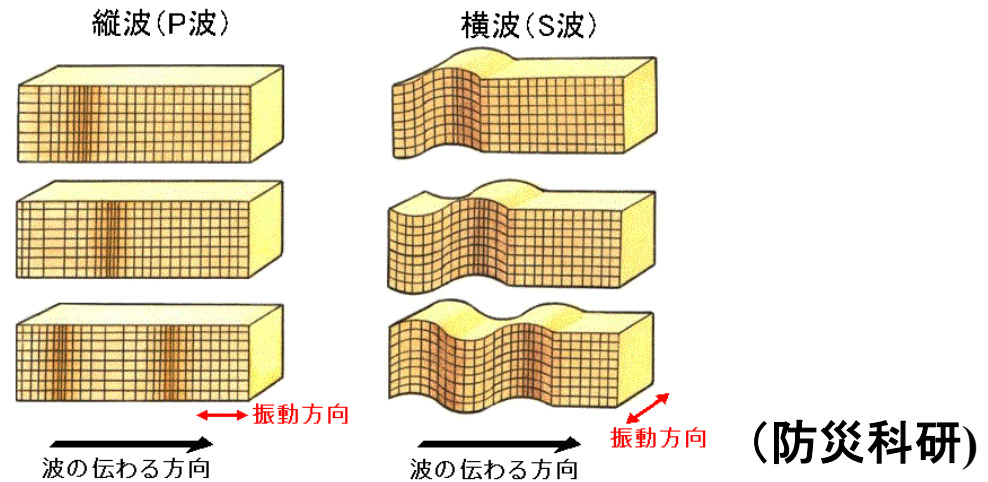
運動方程式

$$\rho \frac{\partial v_p}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{xp}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yp}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zp}}{\partial z} + f_p$$

$$\sigma_{pq} = \lambda \left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right) \delta_{pq} + \mu \left(\frac{\partial U_p}{\partial q} + \frac{\partial U_q}{\partial p} \right)$$

そもそも、シミュレーションって？

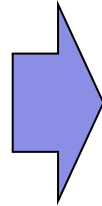
- 地震のゆれ = バネの運動
 - 地面のなかがのびたり、ちじんだりねじれたり



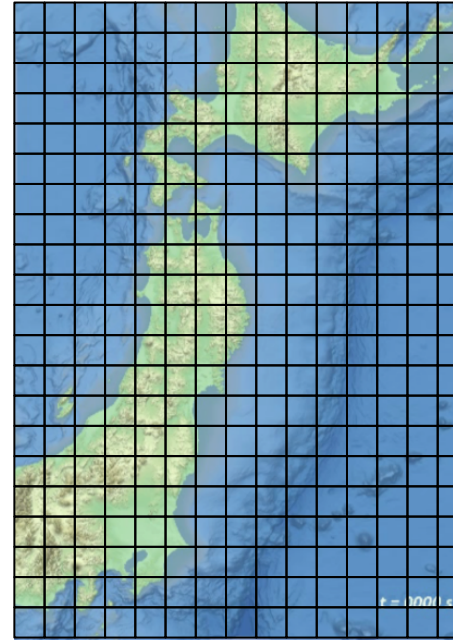
- 高校で習う $ma=F$ の運動方程式ほとんどそのまま
 - ただし人は解けない: **スパコンに解いてもらう**
- 現象を記述する運動方程式 (物理・数学を考える)
 - 離散化 (コンピュータに解りやすい表現を考える)
 - 方程式の解き方を考える (これも人間が考える)
 - 解き方をプログラミング (もう疲れたよ・・・)
- **より深い地球の理解**が高精度化に直結

「超」大規模並列計算へのチャレンジ

ES2@JAMSTEC
160ノード

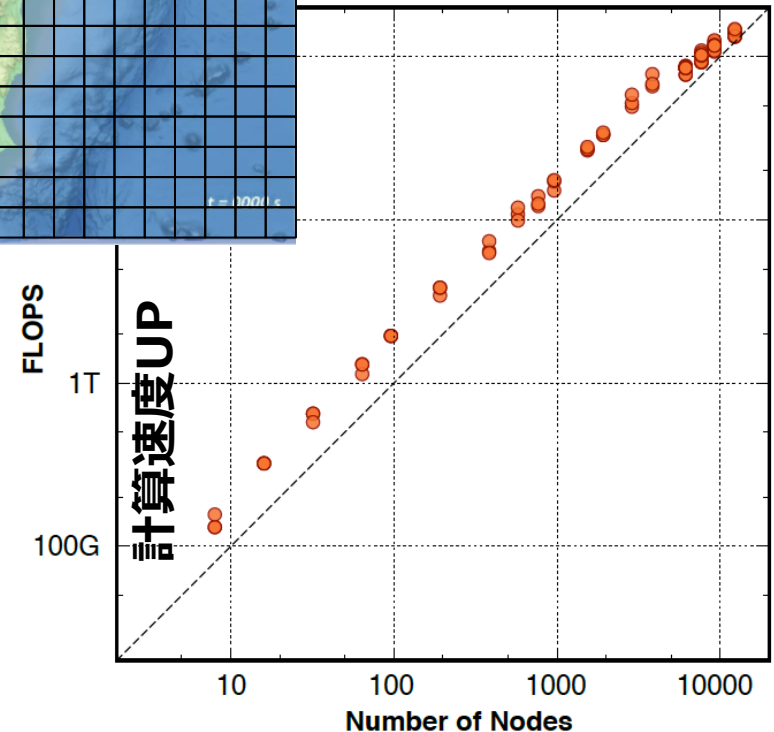


K@RIKEN:
86000ノード



日本列島を
細かな領域に分割

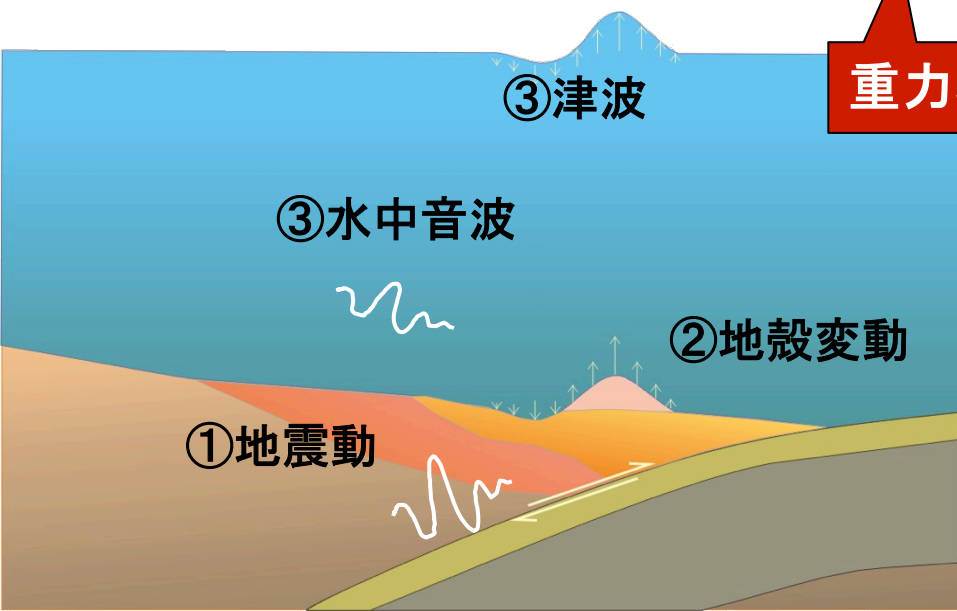
- 複数のノードを同時に活用することで高速計算・・・特に「京」はかつて無い大規模並列を要求
- 理研チームのスーパーサポート
- 既に12,000ノード超の大規模並列計算に成功



複合災害評価に向けたあたらしい方法の開発

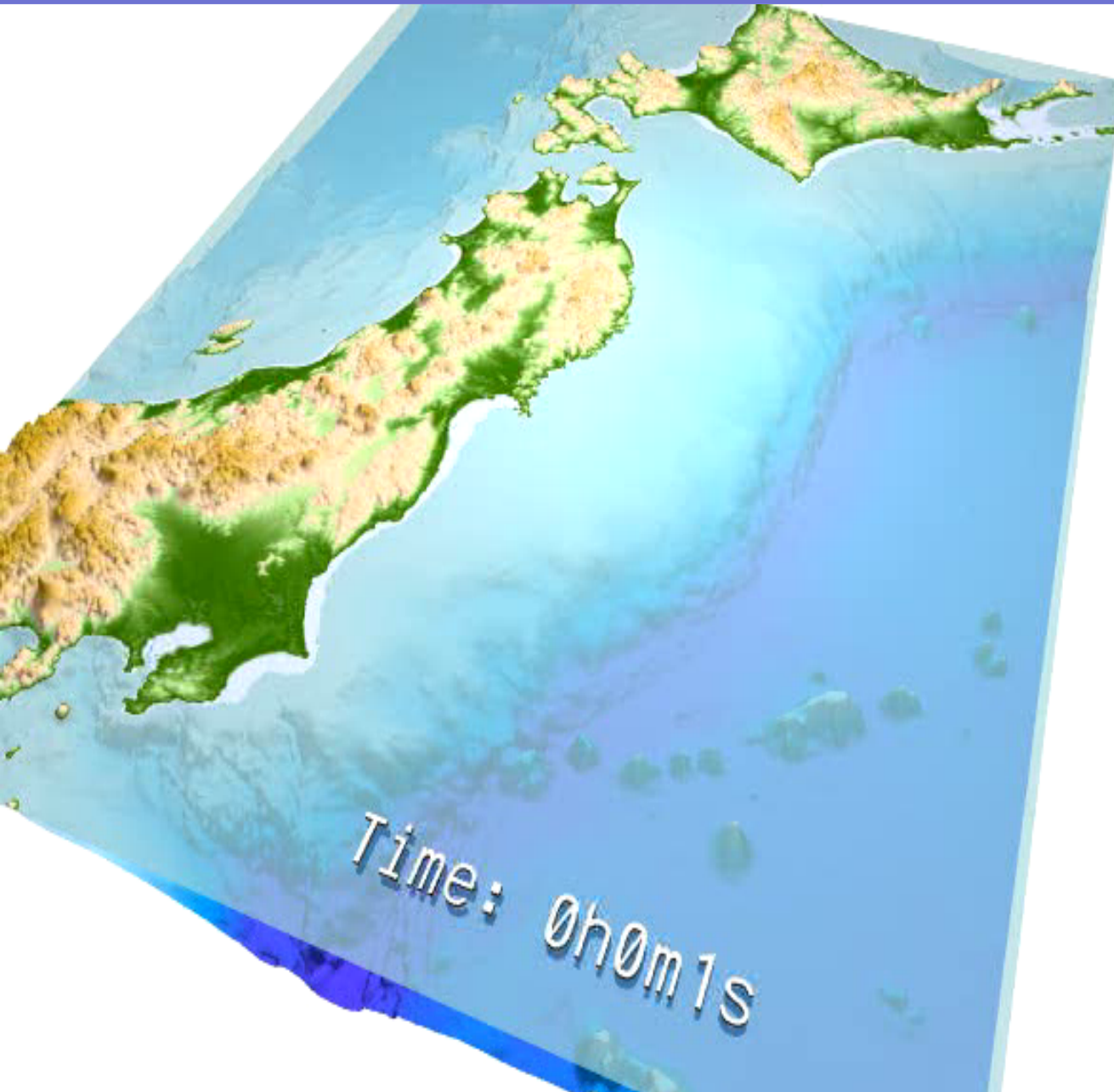
$$\begin{aligned}\rho \frac{\partial v_x}{\partial t} &= \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \\ \rho \frac{\partial v_y}{\partial t} &= \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial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

重力項



- 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
- 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**



(1kmメッシュ)
ES 24ノード
* 8時間計算



観測地震動の再現

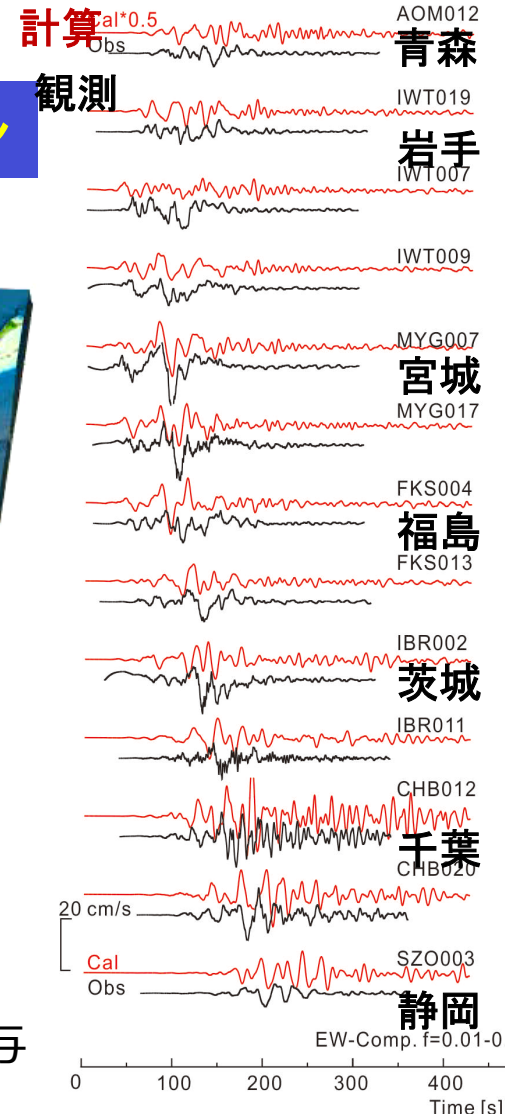
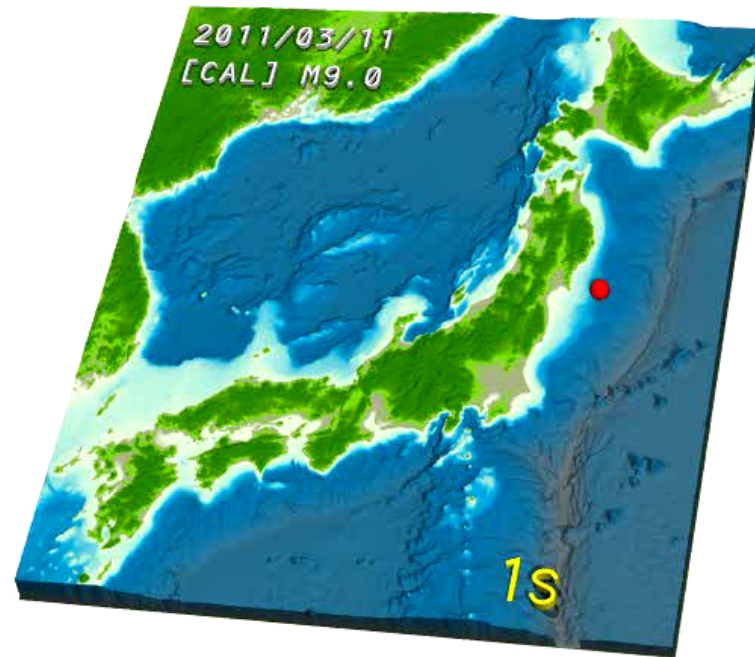
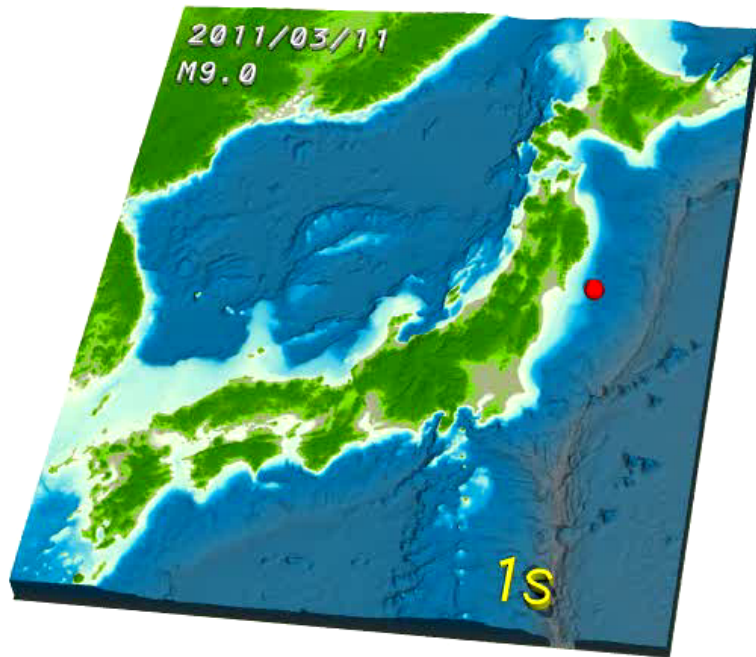
大地震の強い揺れの再現・予測

地震波形の再現性

(A) 高密度強震観測
1800地点の観測

比較

(b) 大規模シミュレーション



ただのテストではなく、東北地方太平洋沖地震発生過程の理解にも寄与

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？



紀元前後

紀元 300-600

天武地震

康和地震

宝永地震

龍神池 (大分)

蟹ガ池 (高知)

小川溜 (徳島)

1707年宝永地震 (M8.7)

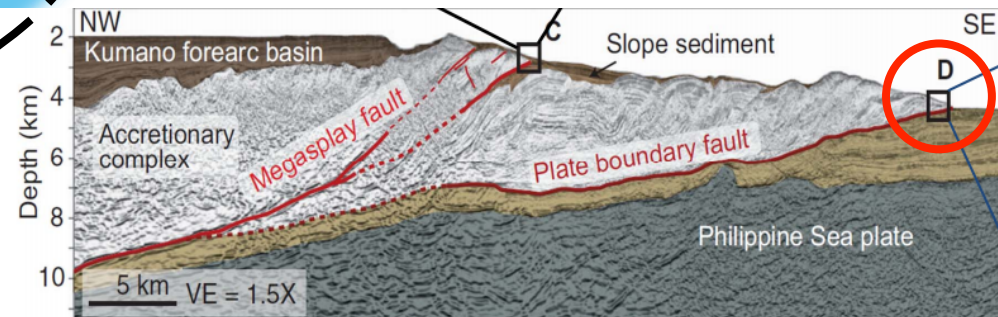
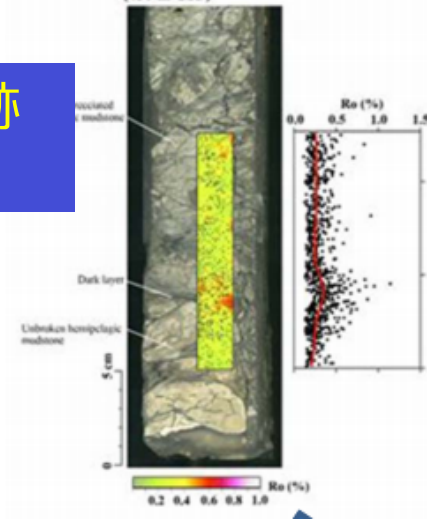
1605年慶長地震 (M8?)

拡大?

ちきゅう深海掘削 (JAMSTEC)



C0007: Plate boundary frontal thrust (438 m CSF)



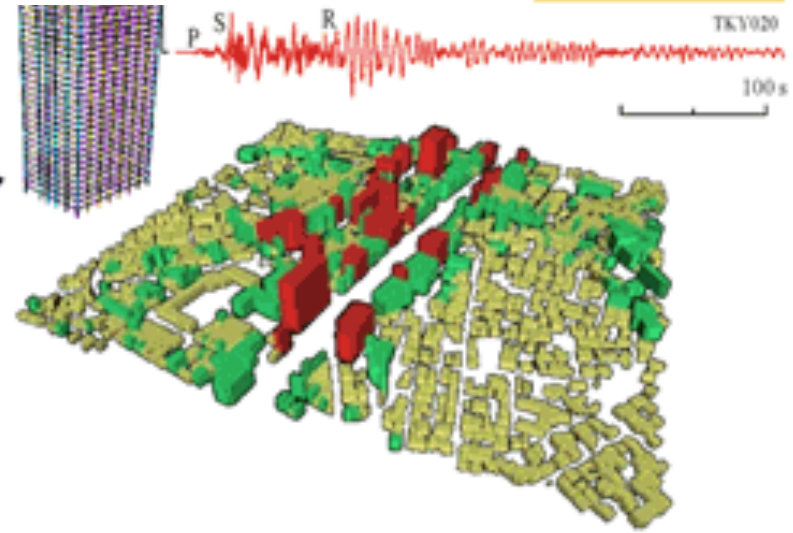
防災へのチャレンジ

地震津波シミュレーションの高度化

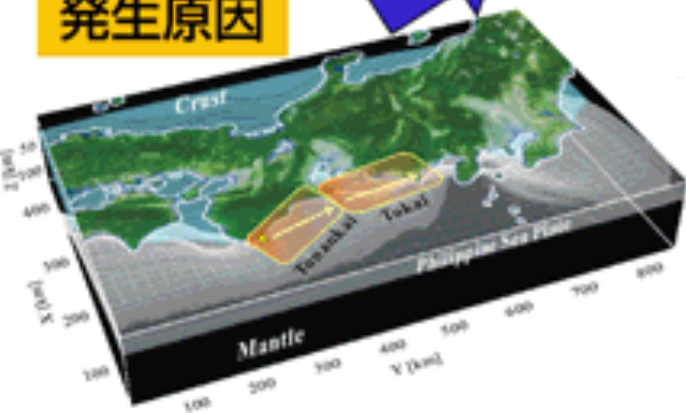


建物・被害予測の高度化

被害予測



発生原因



- (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