

スパコンで地震の揺れと津波を予測 ～京で災害を減らす～

古村 孝志
東京大学 地震研究所

1. 地震国日本、そして富山の地震

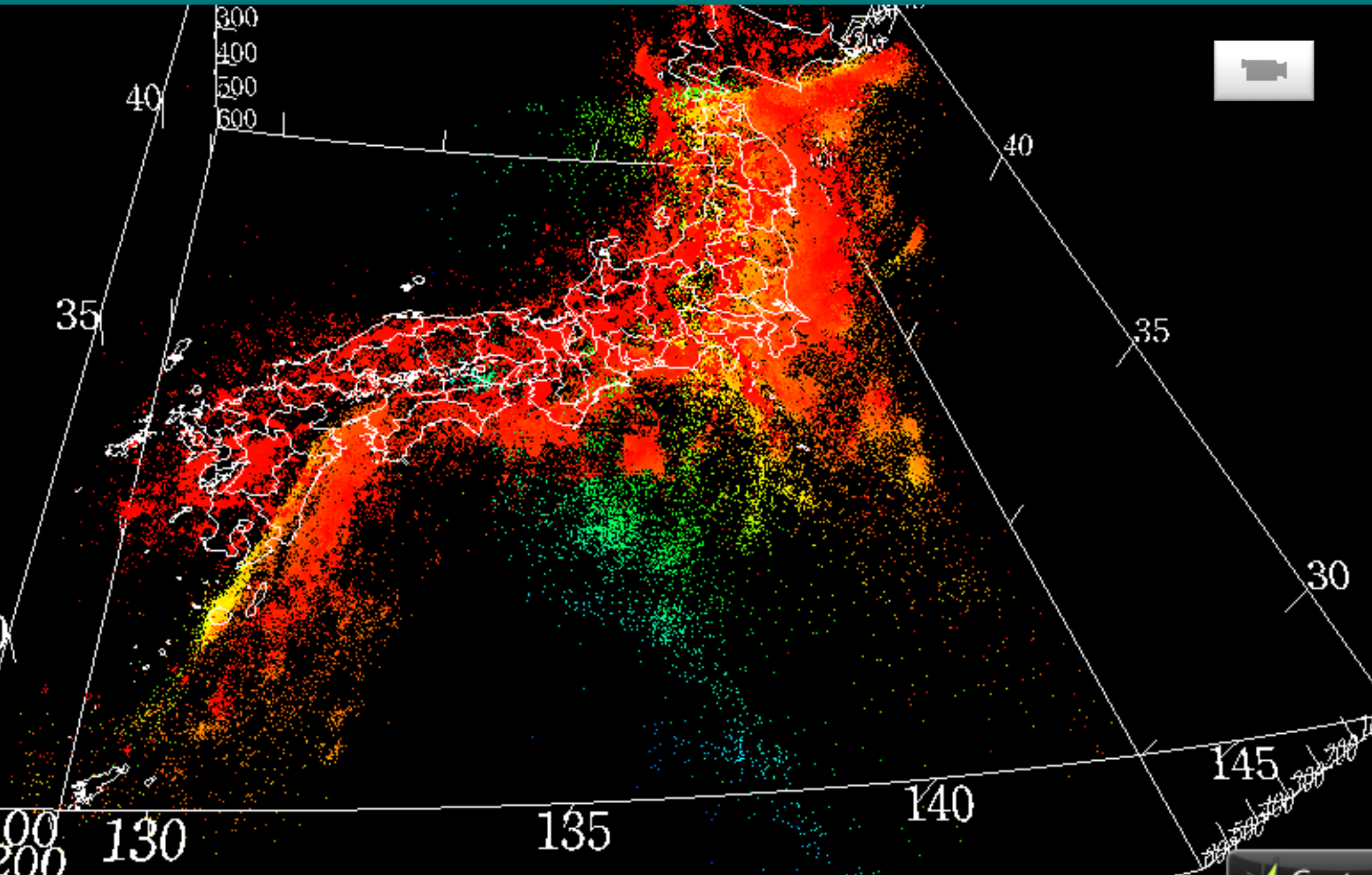
2. 地震の揺れを「京」で再現・予測する

3. 地震の謎を解く、スパコンの挑戦

「大鷲山伐図」
(富山県立図書館蔵)



地震国日本: 4つのプレートが衝突、そして多数の活断層



地震国日本: プレートに押されてひずむ日本列島

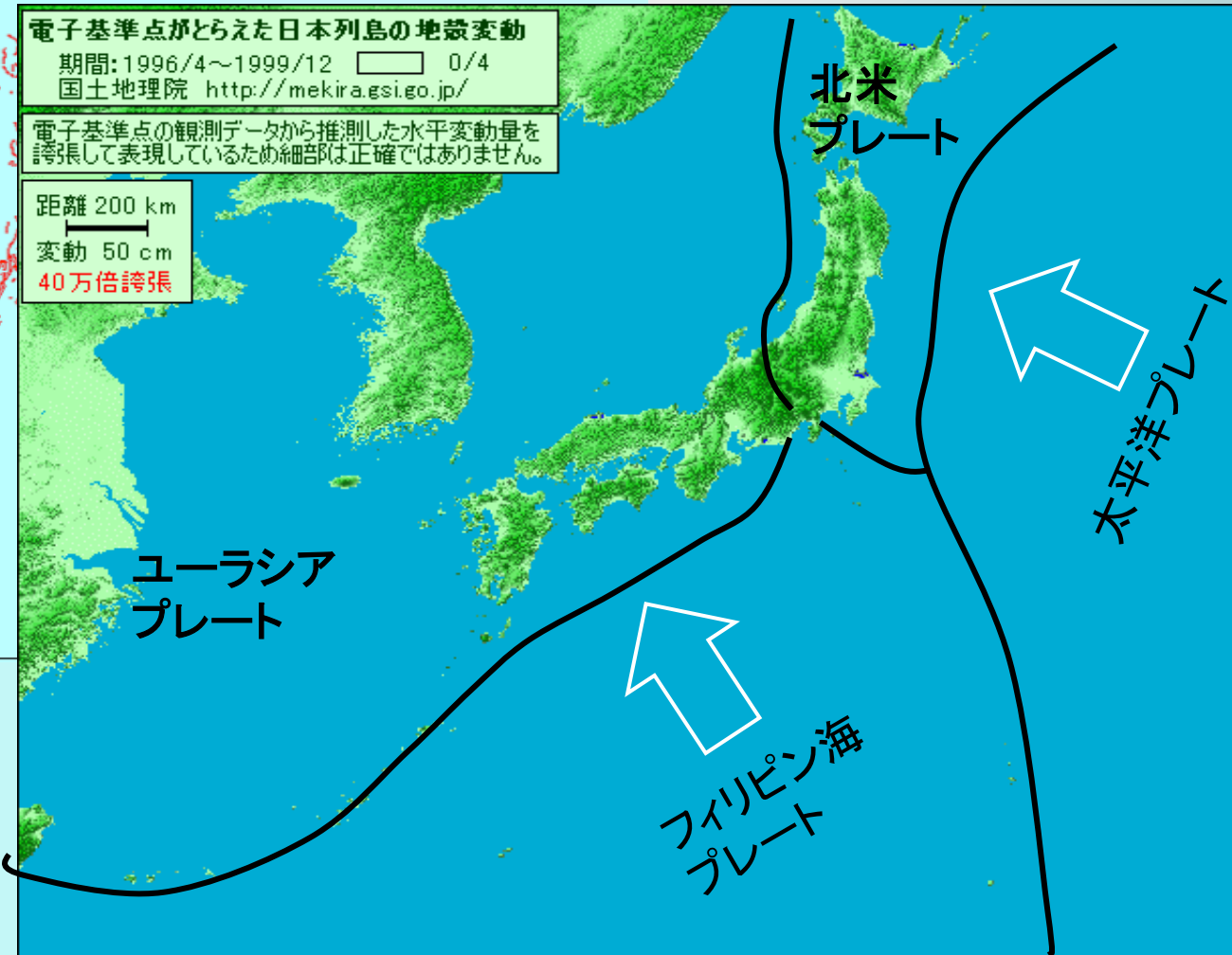
- ★日本の活断層
- ・既知の**2000本**
- ・さらに、未知の断層

電子基準点測量が捉えた、日本列島のひずみ

電子基準点がとらえた日本列島の地殻変動
期間: 1996/4~1999/12 0/4
国土地理院 <http://mekira.gsi.go.jp/>

電子基準点の観測データから推測した水平変動量を誇張して表現しているため細部は正確ではありません。

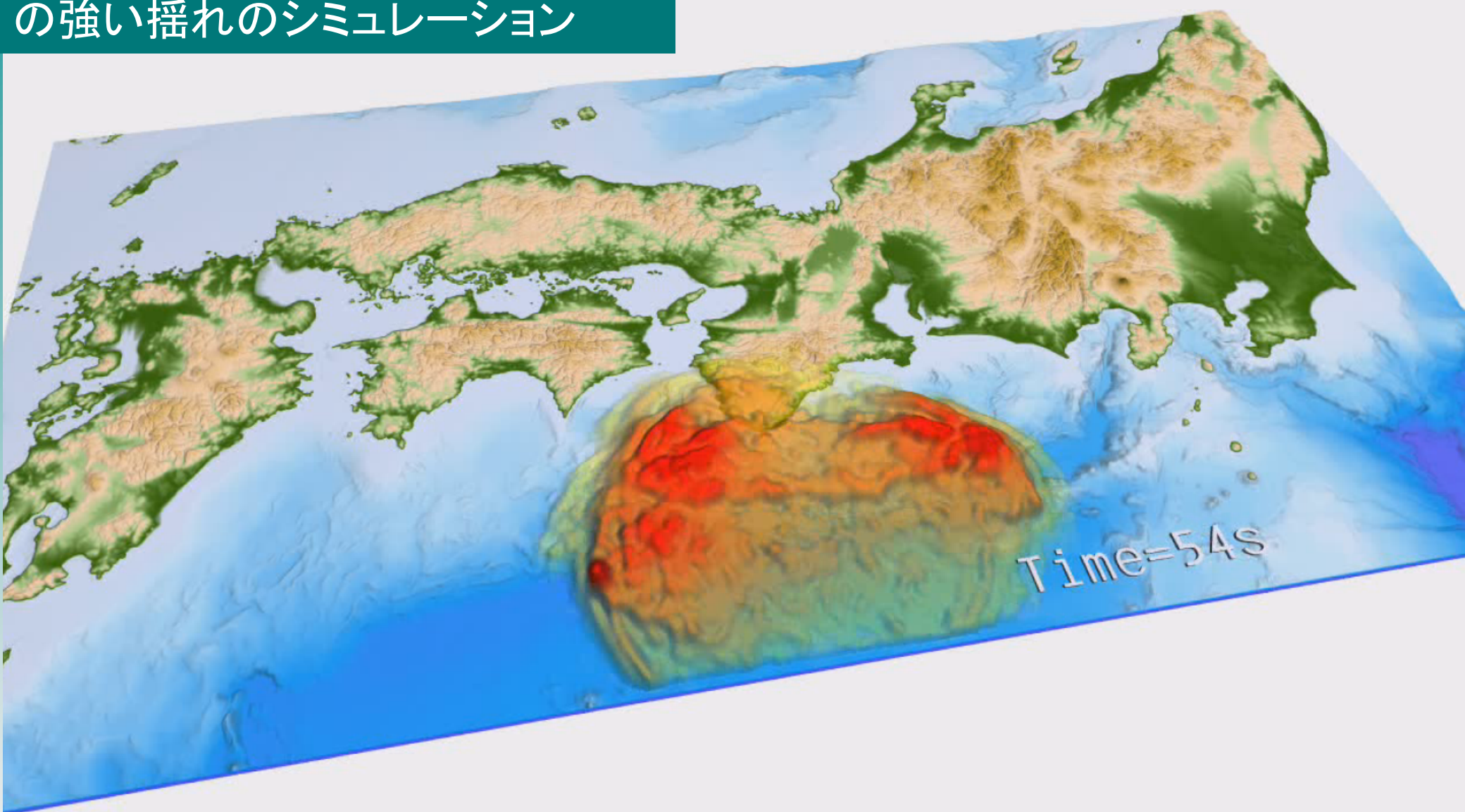
距離 200 km
変動 50 cm
40万倍誇張



国土地理院による

地震の揺れを再現・予測する： スパコンで地震を起こす

南海トラフ地震(1707年宝永地震)
の強い揺れのシミュレーション



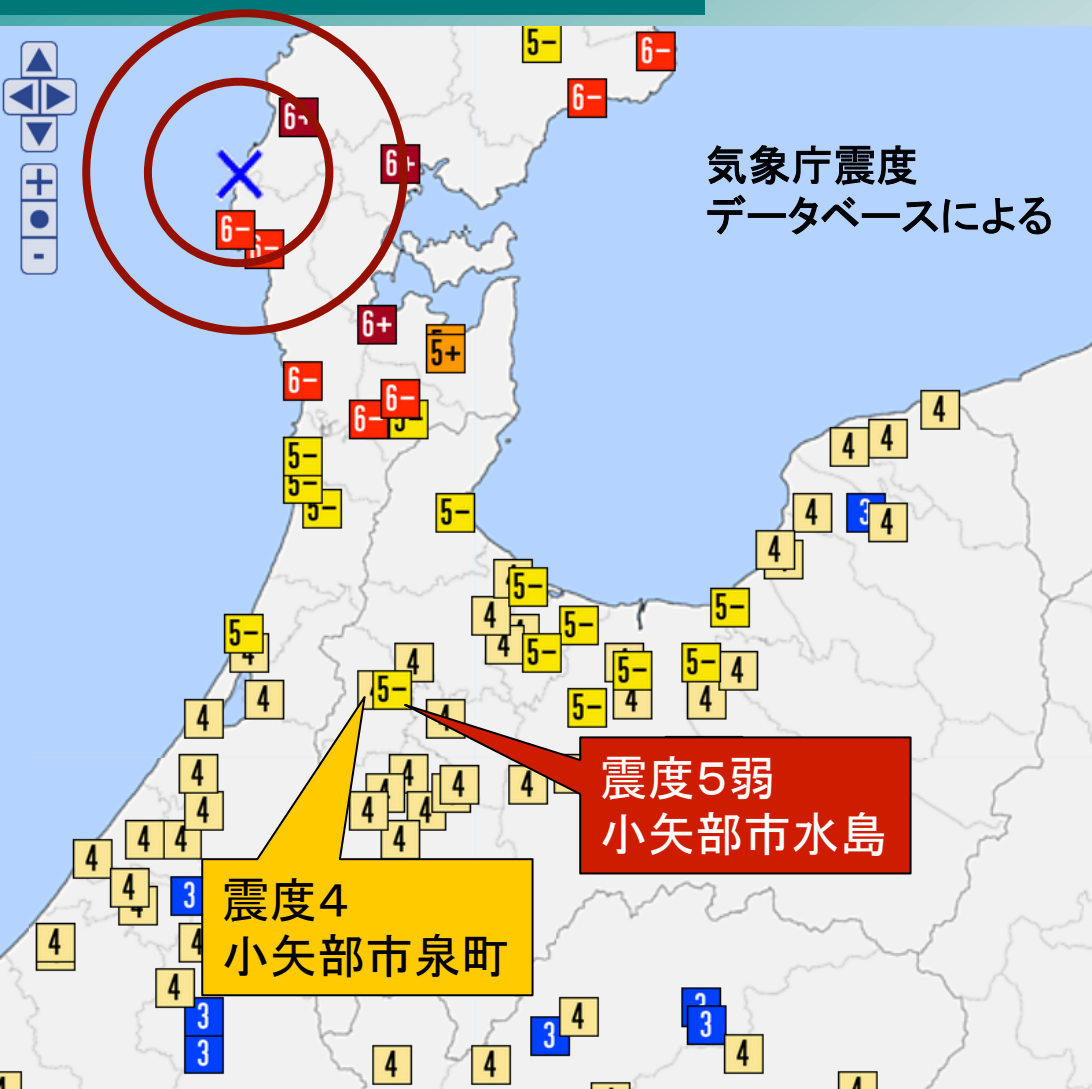
地震の揺れを再現・予測する： スパコンで地震を起こす

南海トラフ地震(1707年宝永地震)
の津波シミュレーション



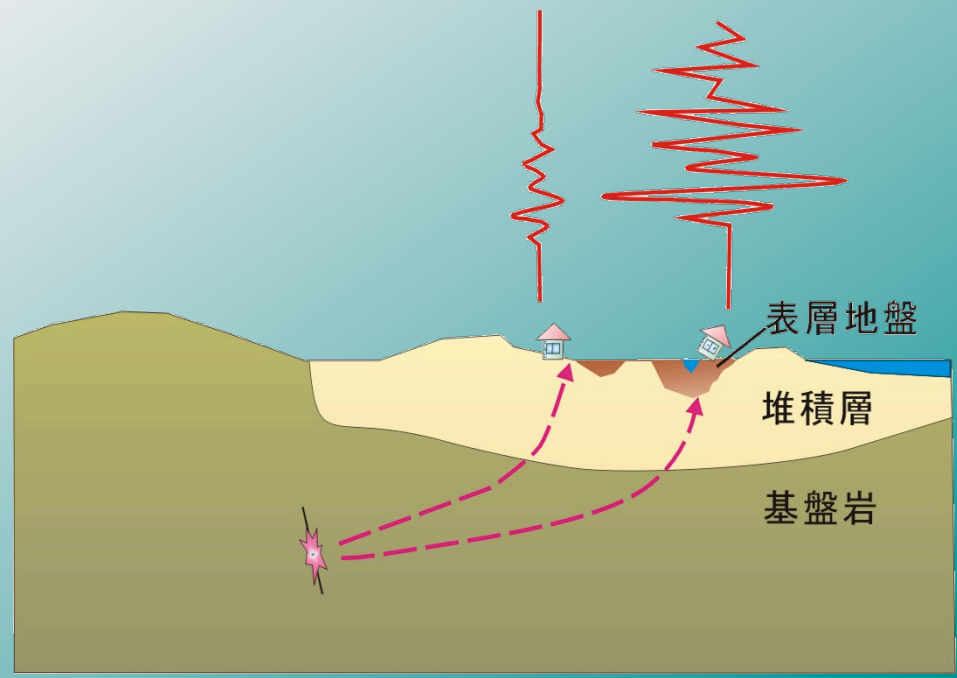
地震の揺れを再現・予測する： 柔らかい地盤で強く増幅

2000年 能登半島沖地震 (M6.9) の震度



「とやま科学オリンピック2015」 中学校問題より

- (1) 【表1】より、富山県内最大震度が震源付近での最大震度よりも小さいのはなぜか。理由を説明しなさい。
- (3) 【表1】の No. 1 能登半島沖で発生した地震では、県内最大震度は5弱であるのに対して No. 5 長野県北部のときは3であった。同じような地震の規模で震源からの距離もほぼ等しいにもかかわらず、県内で感じる揺れの程度に違いが生じたのはなぜか。【資料1】と【資料2】を参考にして、自分の考えを書きなさい。



地震の揺れを再現・予測する： 地下構造・柔らかい地盤

☆地震の揺れのシミュレーション

- (1) 地盤(強い・柔らかい)をモデル化する
- (2) 細かく分割、個々に揺れの伝わりを計算

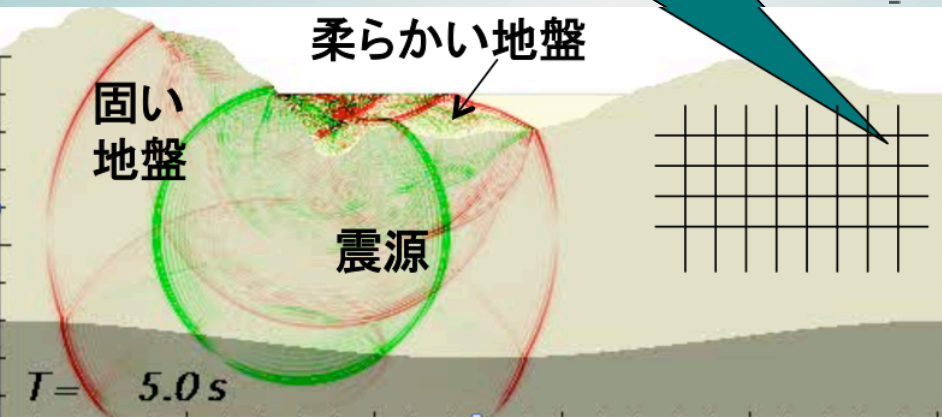
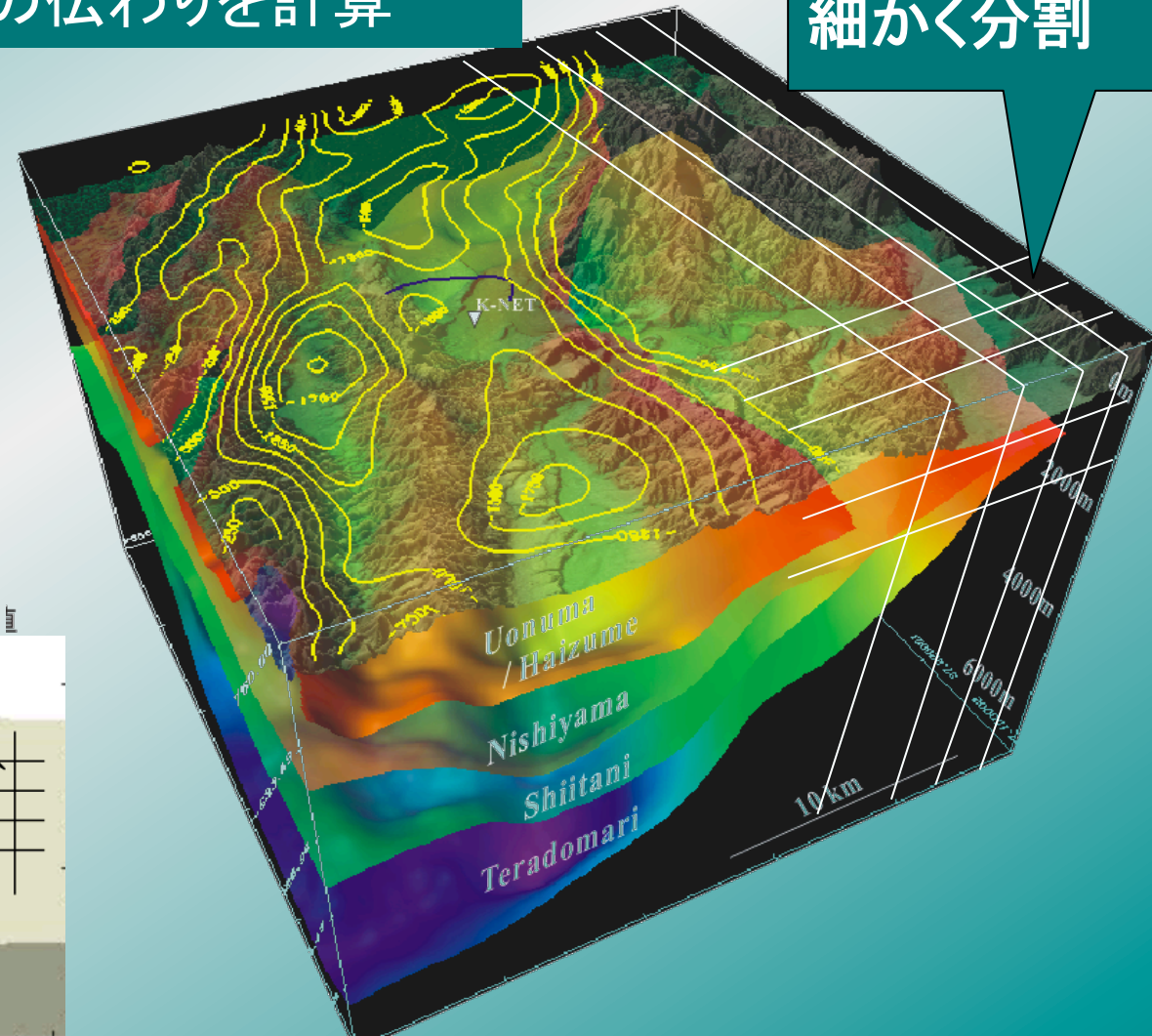
モデルを
細かく分割

揺れの計算(運動方程式)

$$\rho \frac{\partial v_x}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} + f_x$$

$$\rho \frac{\partial v_y}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} + f_y$$

$$\rho \frac{\partial v_z}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + f_z$$



自己紹介



- ・1963年富山県小矢部市生まれ(1963)
- ・石動小学校卒、石動中学校卒
- ・高岡高校理数科卒
- ・北海道大学理学部、理学研究科(博士)修了(1992)
- ・北海道教育大学(1992-2000)、助手・講師・助教授
オーストラリア国立研究員(1995,1997)
- ・東京大学地震研究所(2000-)、准教授・教授
東京大学 情報学環 総合防災情報研究センター・教授(2008-2014)

博士論文—地震動の数値計算法の開発研究

地震波(屈折波)の発生・伝播

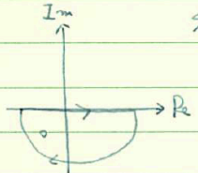
平面波

$$\frac{1}{R} \exp\left[i\omega\left(\frac{R}{c} - t\right)\right] = \frac{\exp(-i\omega t)}{2\pi^2} \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{x})}{k^2 - \frac{\omega^2}{c^2}} dk_x dk_y dk_z$$
 Special wave.

$$= \frac{1}{2\pi^2} \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{x} - i\omega t)}{k^2 - \frac{\omega^2}{c^2}} dk_x dk_y dk_z$$
 平面波の可

$$R = \frac{\omega}{c} \quad (k^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)$$

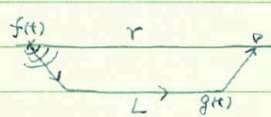
解析解・複素積分

同様 z < 0 の場合.
 積分路は右図の.


$$\oint_C \frac{\exp(-i\omega t)}{2\pi} \frac{\exp(ik_x x + ik_y y + i\omega z)}{\gamma} dk_x dk_y$$
 Weyl integral

$$\frac{1}{R} \exp\left(i\omega \frac{R}{c}\right) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp(ik_x x + ik_y y - \gamma |z|)}{\gamma} dk_x dk_y$$

$$\gamma = (k_x^2 + k_y^2 - \frac{\omega^2}{c^2})^{1/2} \quad \text{Re}[\gamma] > 0$$

平面波については、初回で扱っている。
 反射透過係数。の。

 Head wave (尾稜波) の伝播

大学3年次の講義ノートより

コンピュータシミュレーション

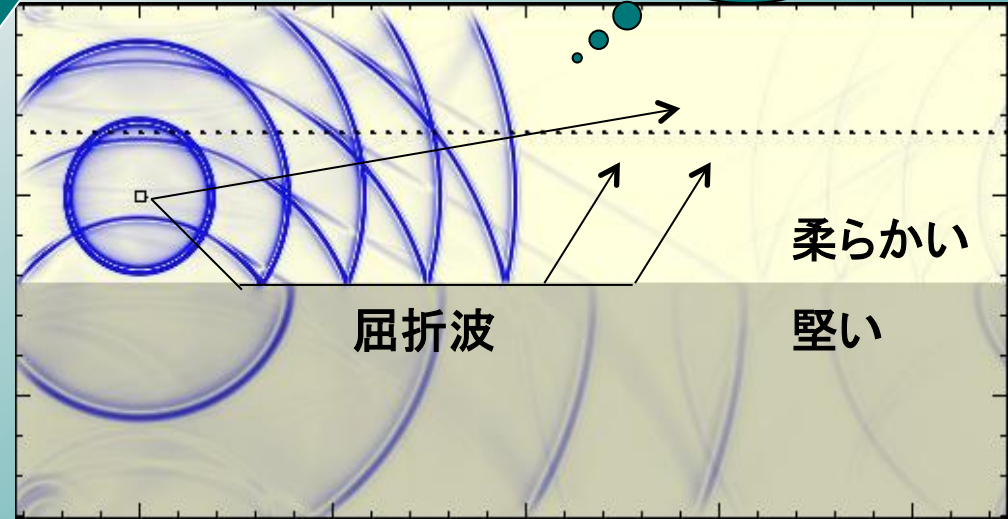
地震の揺れに関する基本方程式

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

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

数値計算

見える化・直接理解



計算機の性能の進展: 10年で1000倍

2002年 地球シミュレータ(海洋研究開発機構)



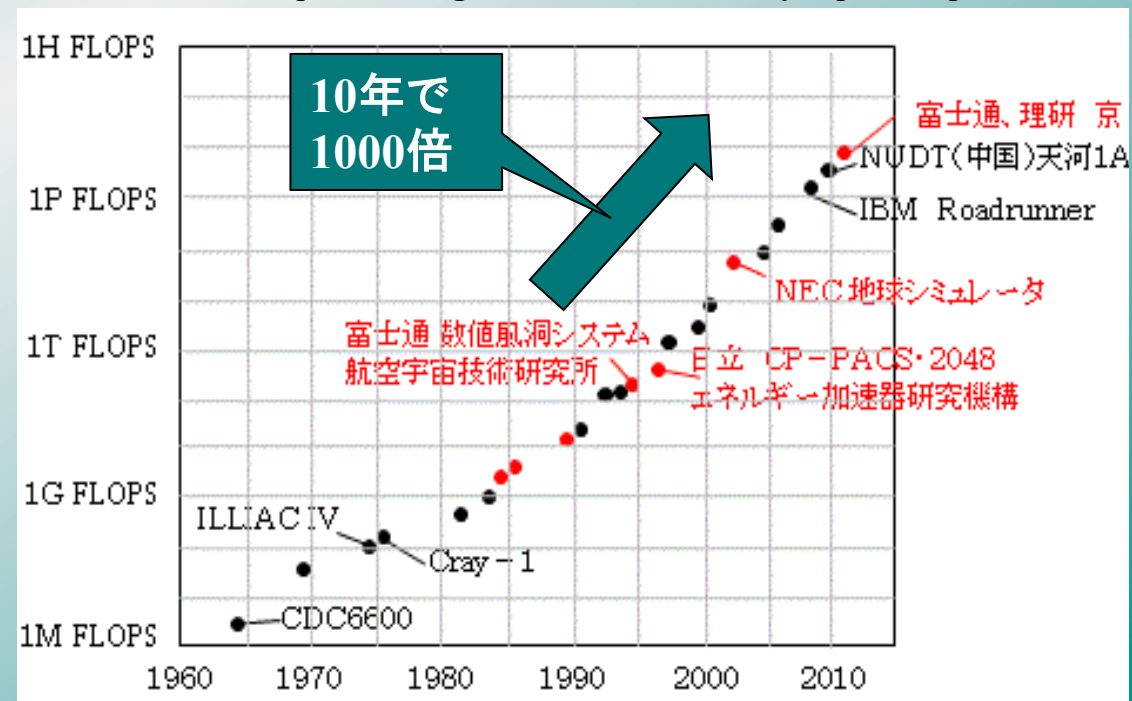
2011年 京コンピュータ(理化学研究所)



1990年代 汎用計算機(日立 M682H)



図の出典: <http://www.kogures.com/hitoshi/history/super-computer/>

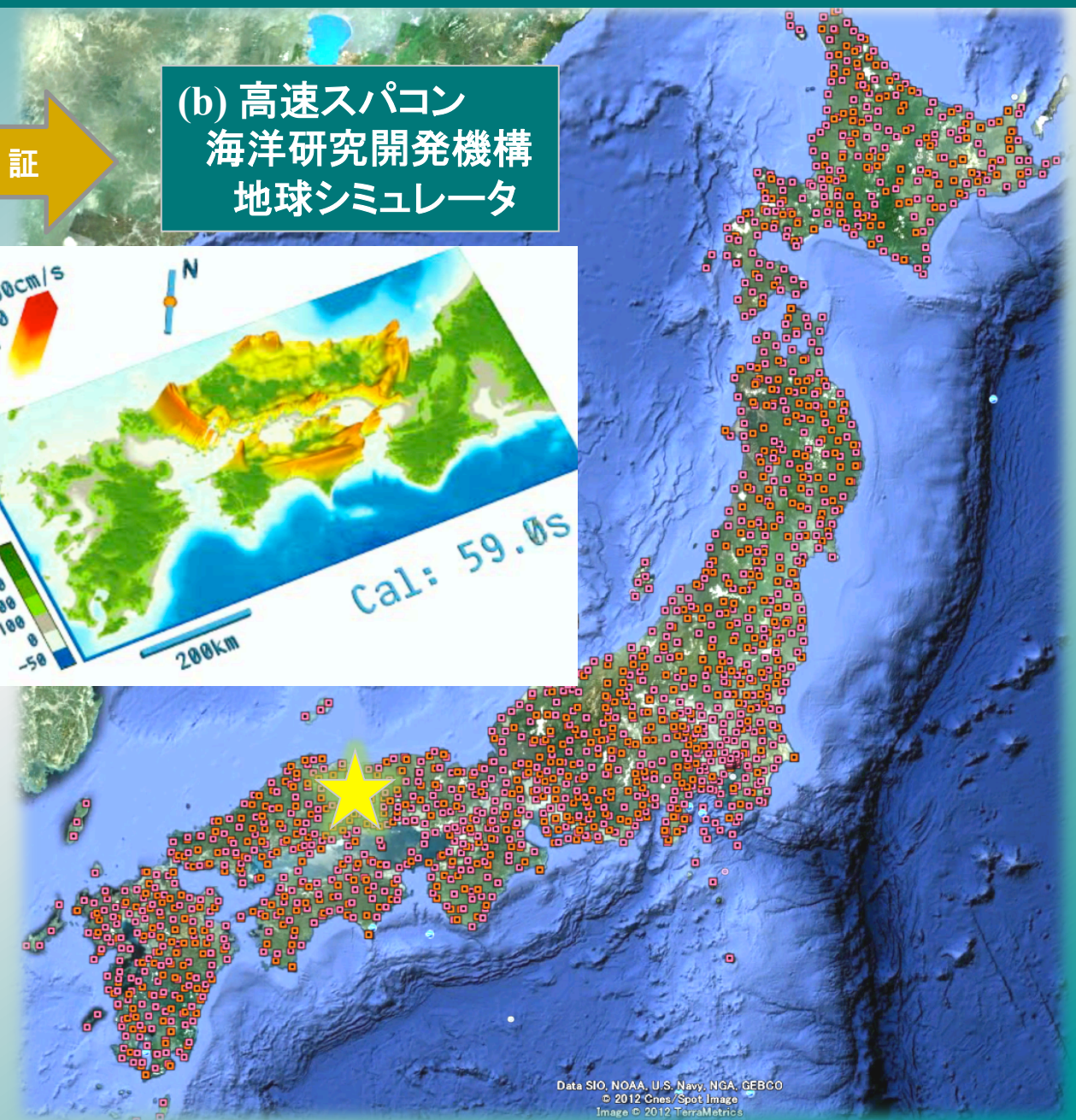
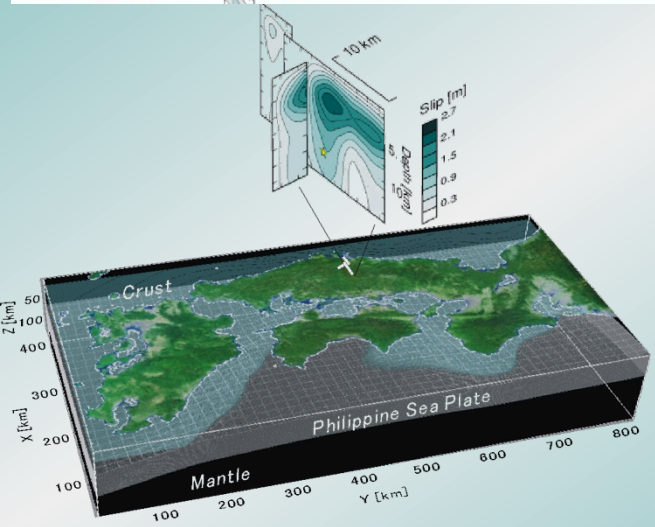
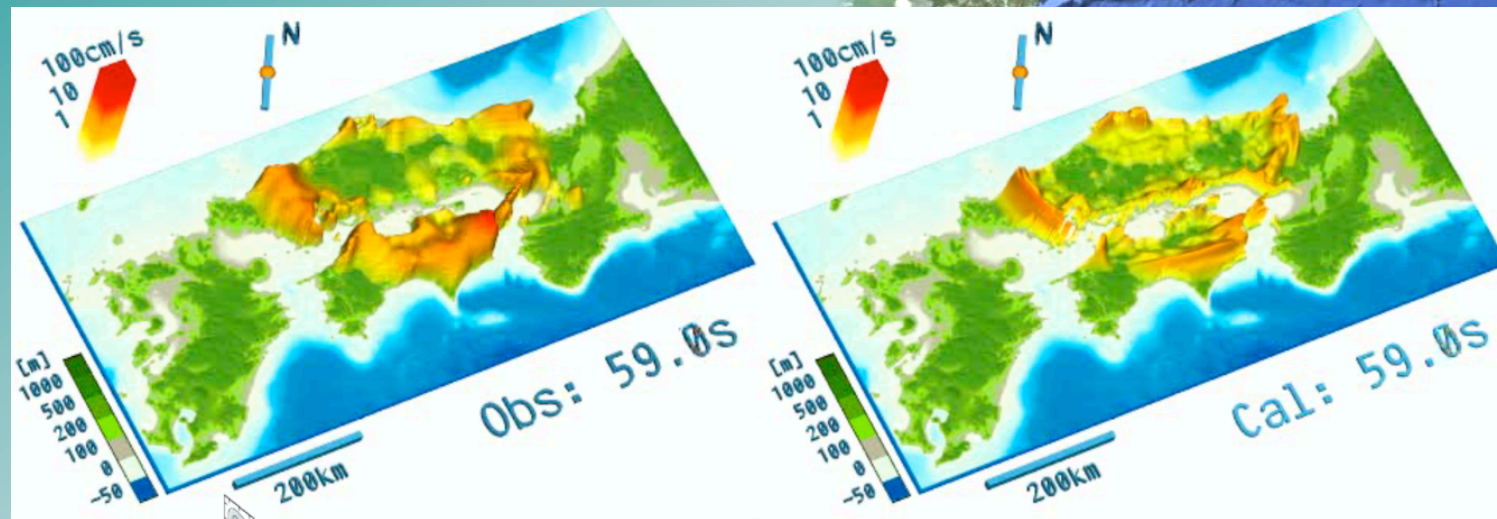


地震観測網の整備：モデルの検証・高度化

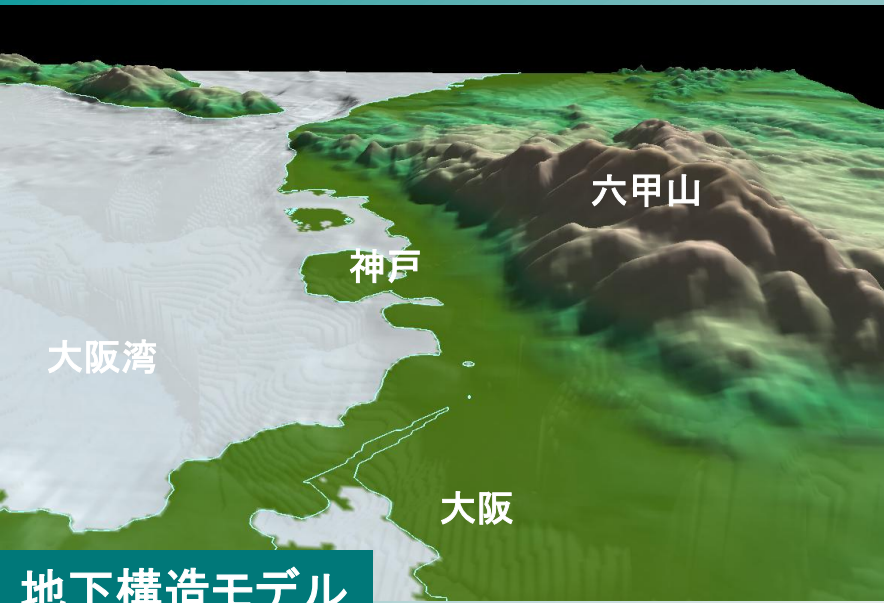
(a) 高密度地震観測
防災科学技術研究所
K-NET/KiK-net



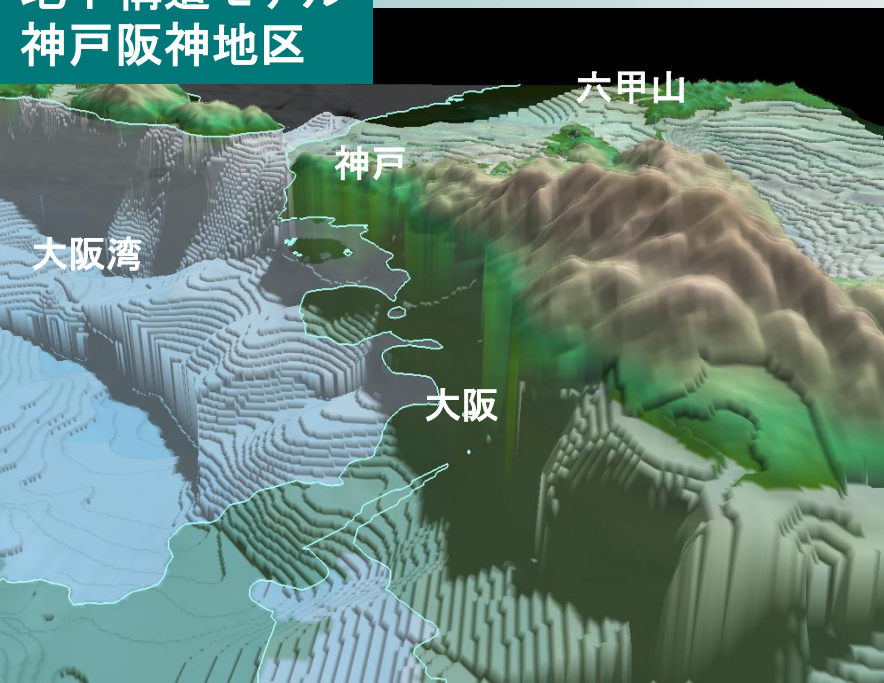
(b) 高速スパコン
海洋研究開発機構
地球シミュレータ



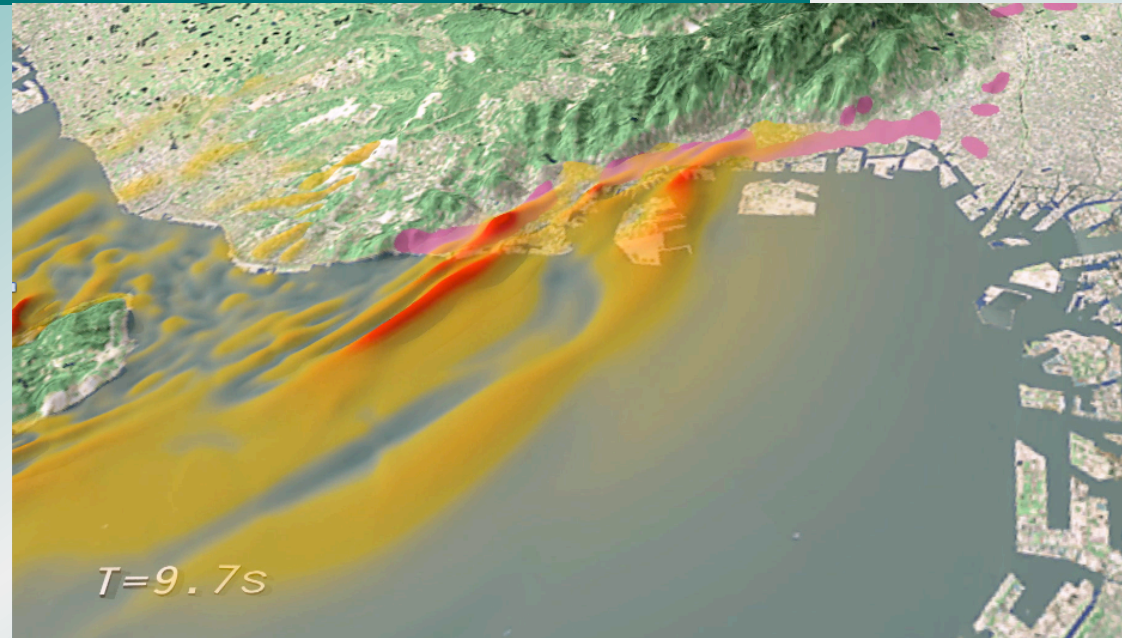
大震災の強い揺れ・被害の原因探り、次の地震に生かす



地下構造モデル
神戸阪神地区



京で再現した、阪神淡路大震災の揺れ

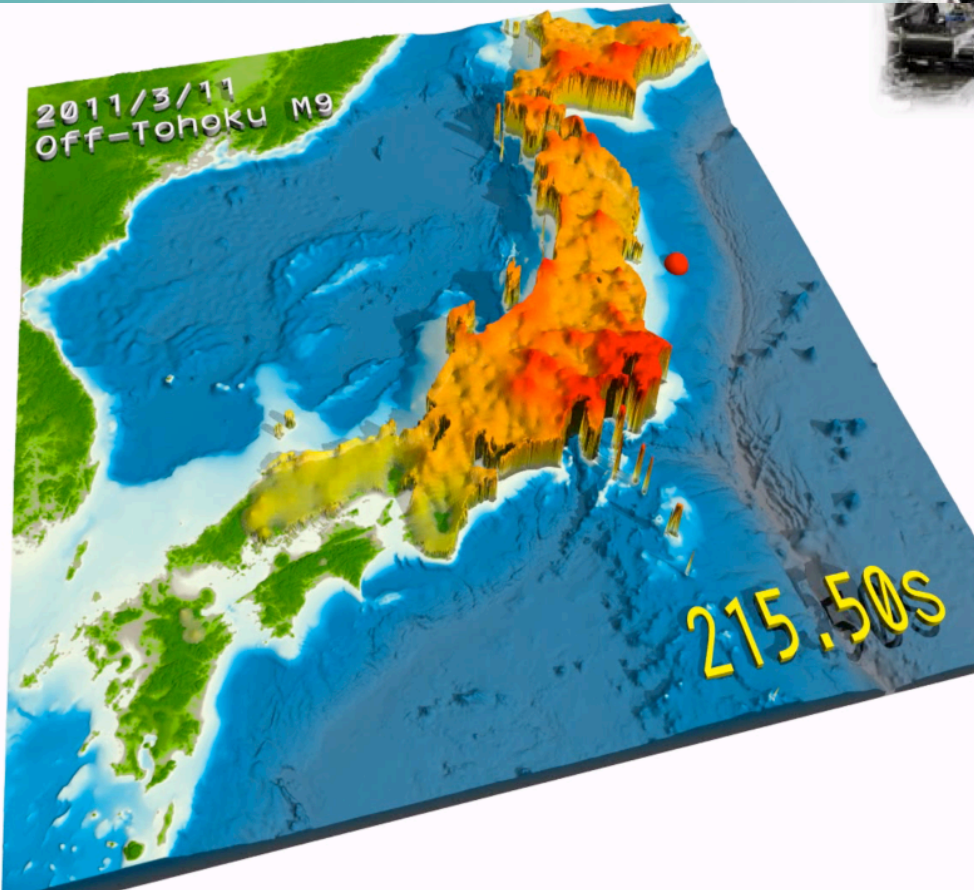


★地震の発生の直前予測
(地震予知)は難しい

★だが、地震の揺れ、
被害はシミュレーション
で予測できる？

東北地方太平洋沖地震： M9.0地震による複合災害

★巨大地震による
地震津波災害



地震地殻変動



津波



液状化



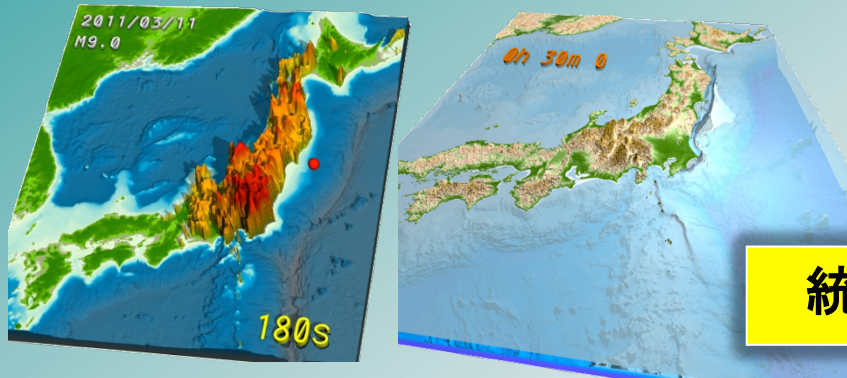
巨大地震による揺れと津波“まるごと”シミュレーション

2011年東北地方太平洋沖の地震
地震津波同時シミュレーション

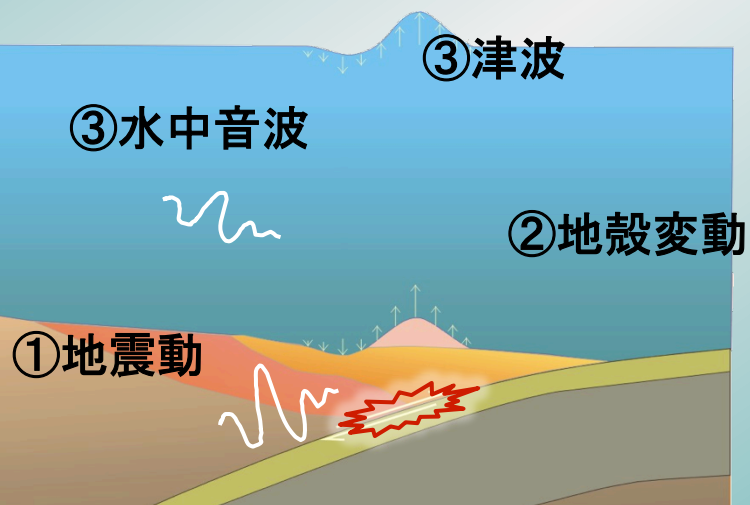
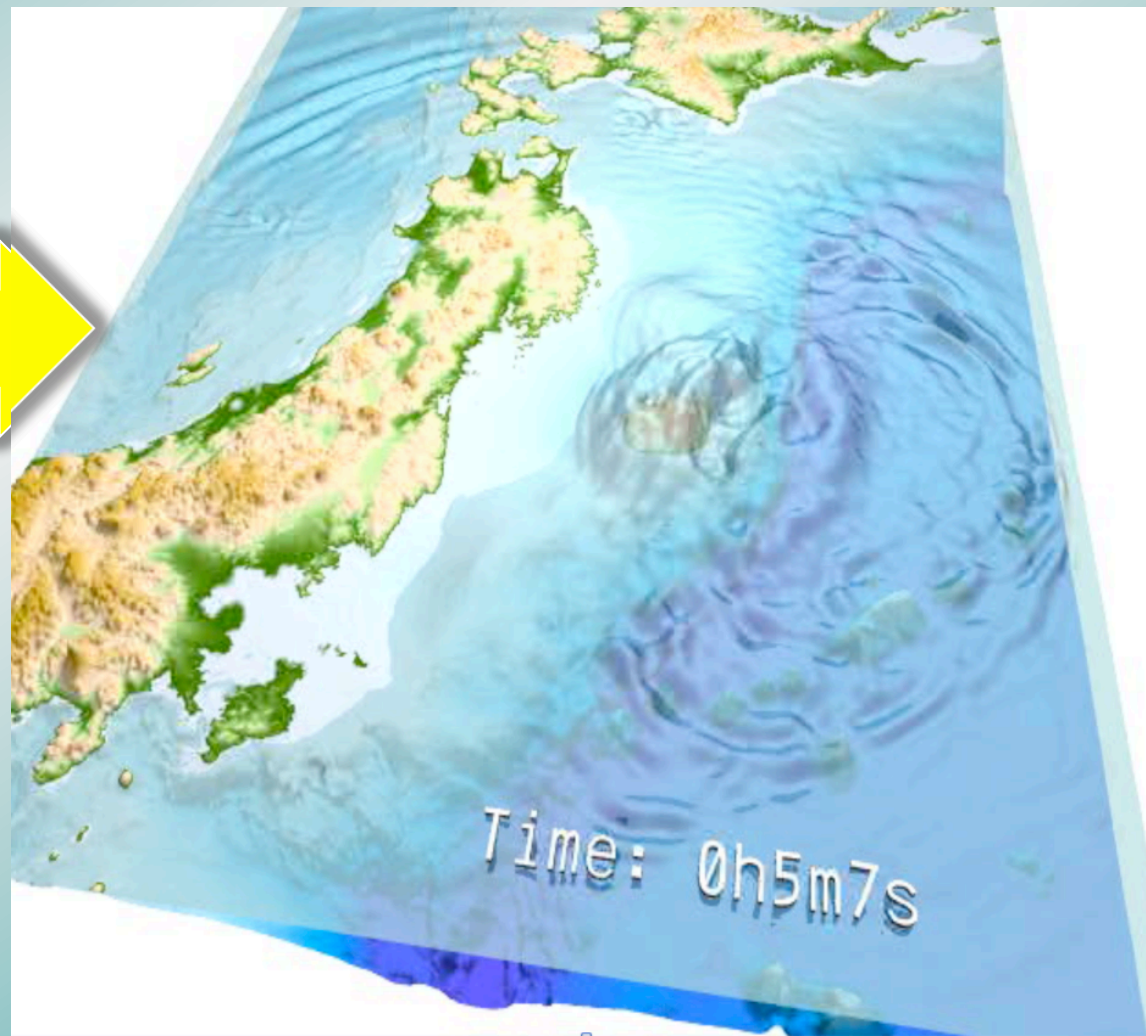
Maeda & Furumura (2011); Maeda et al. (2012)

(1)地震動シミュレーション

(2) 津波シミュレーション

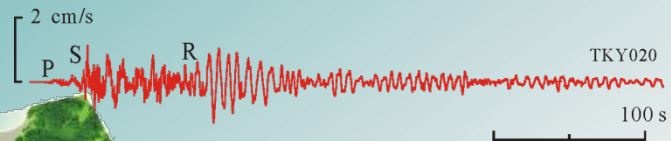


統合

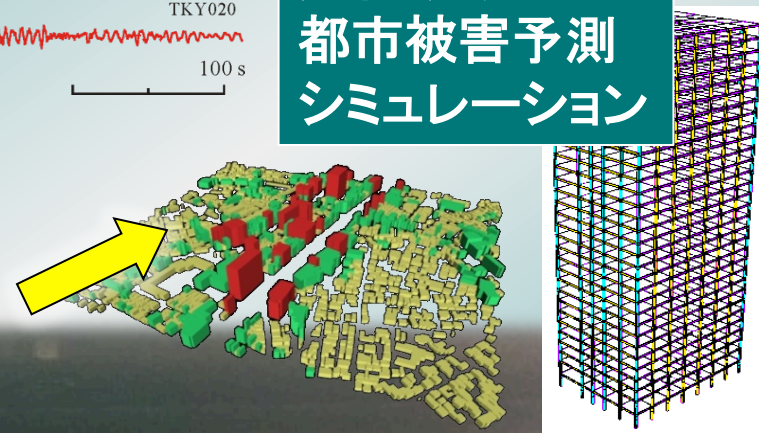


地震発生予測から被害の予測、防災に向けて

強震動予測
シミュレーション

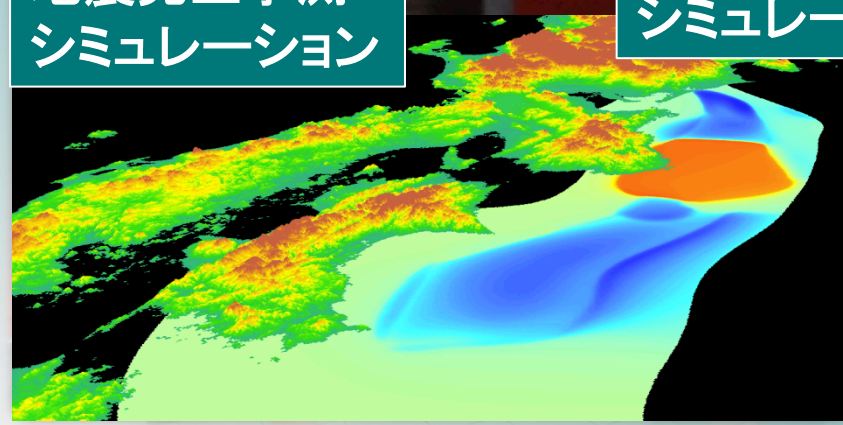


建物振動
都市被害予測
シミュレーション

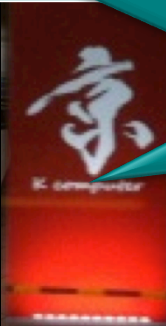


地震発生予測
シミュレーション

津波予測
シミュレーション

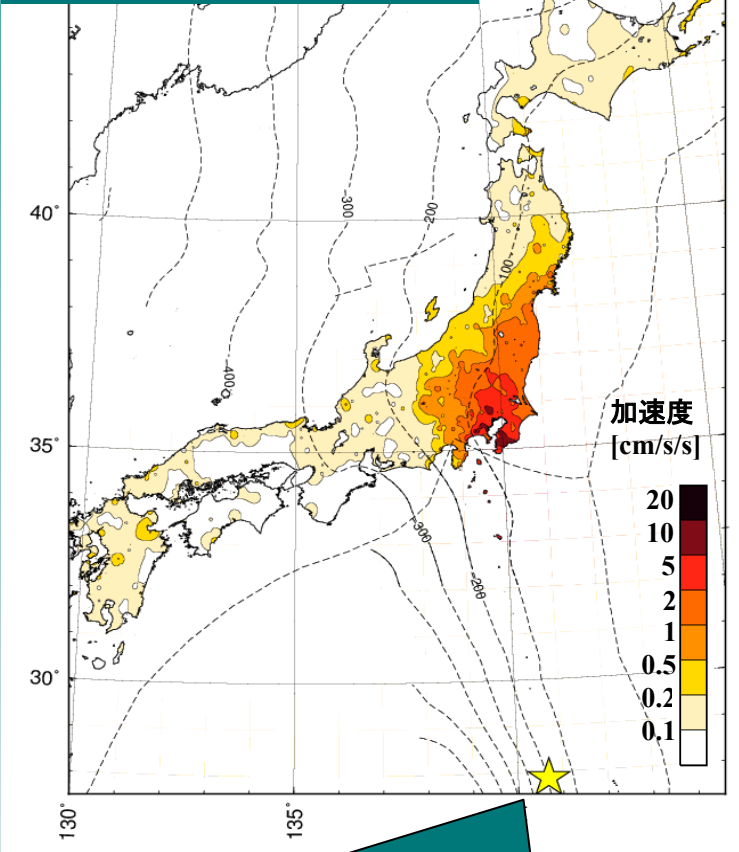


必須：今より**10倍**精度向上
(**10,000倍**の計算性能)
.....
まず**100倍**を、さらに**100倍**
(科学目標達成に向け、**努力を継続**)

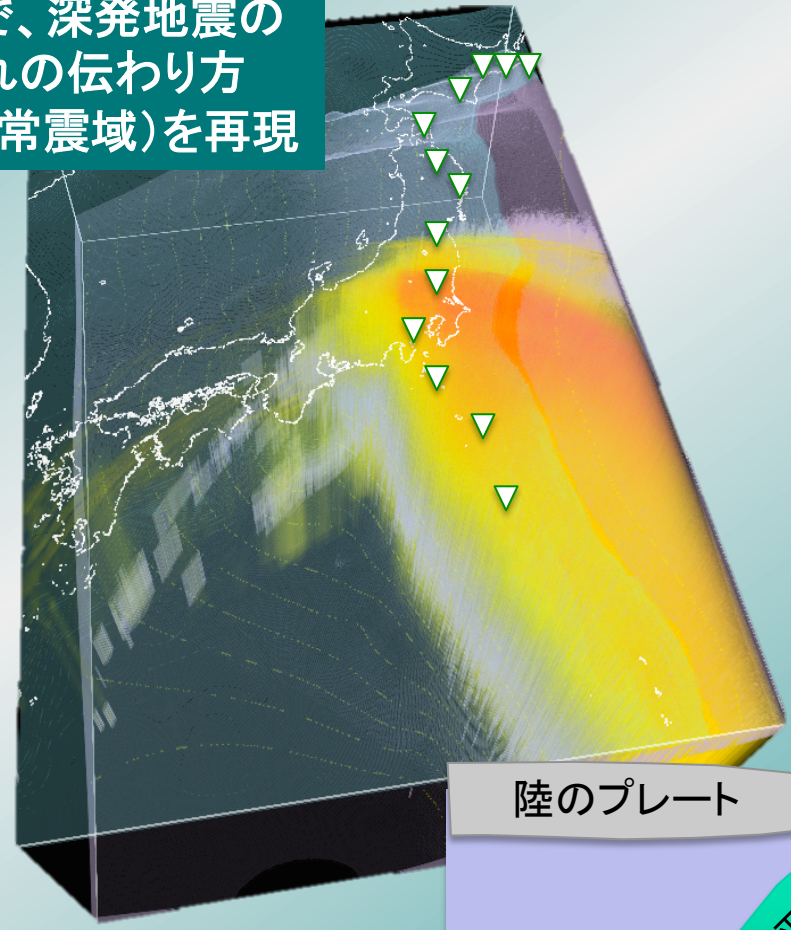


地震学の謎！ 深発地震の発生原因を調べる

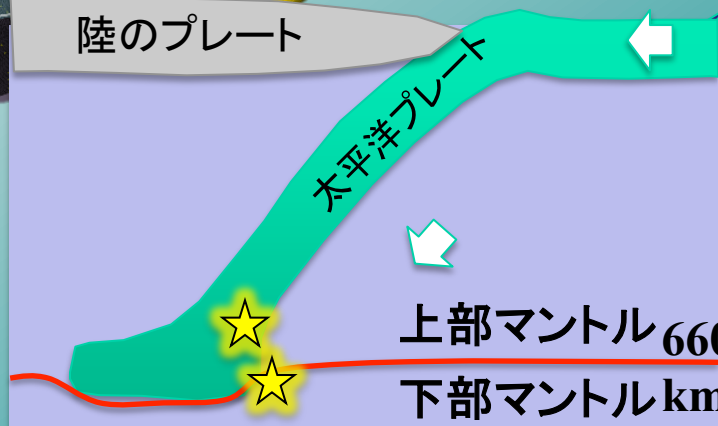
2015年5月30日
小笠原西方沖の地震
(M7.9; h=682 km)



京で、深発地震の
揺れの伝わり方
(異常震域)を再現



深さ(682km)も規模(M7.9)も地球で起きる深発地震として最大級。地震が起きたのはプレートの中？外？

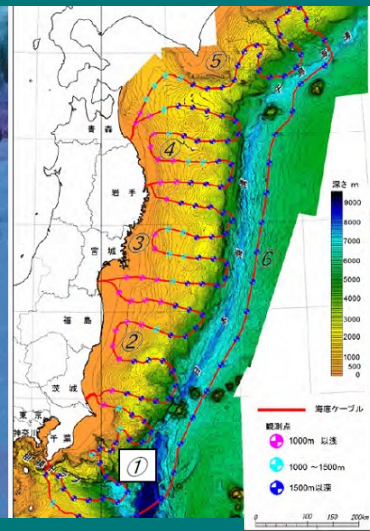


地震を調べる・予測する、観測とシミュレーションを両輪に

★DONET海底ケーブル観測網
(海洋研究開発機構)



★S-net海底ケーブル
地震・津波観測網
(防災科学技術研究所)



★深海掘削船「ちきゅう」
(海洋研究開発機構)



★京コンピュータ
(理化学研究所)

