

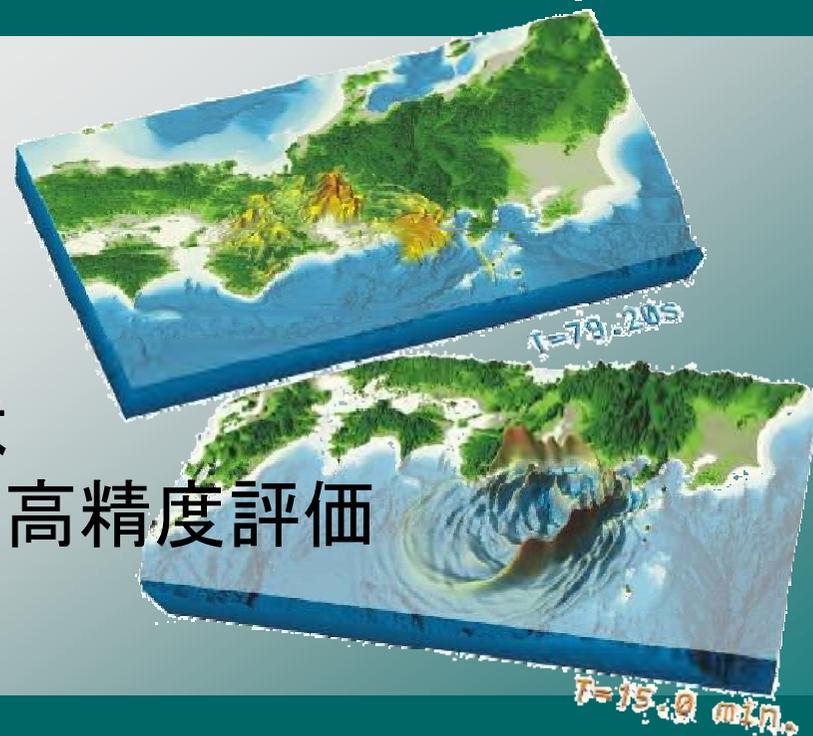
第2回 次世代スパコンを知る集い(2010/3/2 仙台)

次世代スパコンが切り拓く可能性

地震と津波の高精度予測・災害軽減

古村 孝志

東京大学 情報学環 総合防災情報研究センター/地震研究所



- ① 地震動・津波シミュレーションの現状
- ② 次世代スパコンによる地震と津波の高精度評価
- ③ 大規模並列計算に向けた課題

高密度地震観測網 と 超並列スーパーコンピュータ

兵庫県南部地震から10年:

- ①高密度地震観測網、
- ②平野部地下構造探査、
- ③高速シミュレータ の整備

①. 高密度強震観測網

K-NET, KiK-net, 1800 Stations, NIED



- ③. 高速並列計算機(地球シミュレータ)
5120 CPU, 40TFLOPS, JAMSTEC

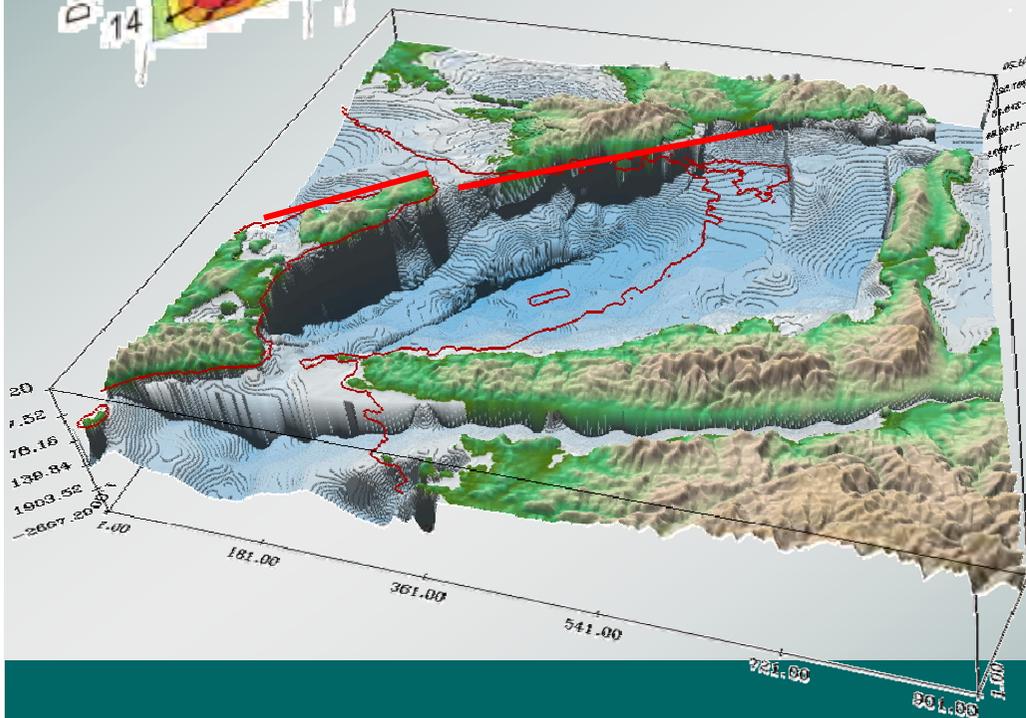
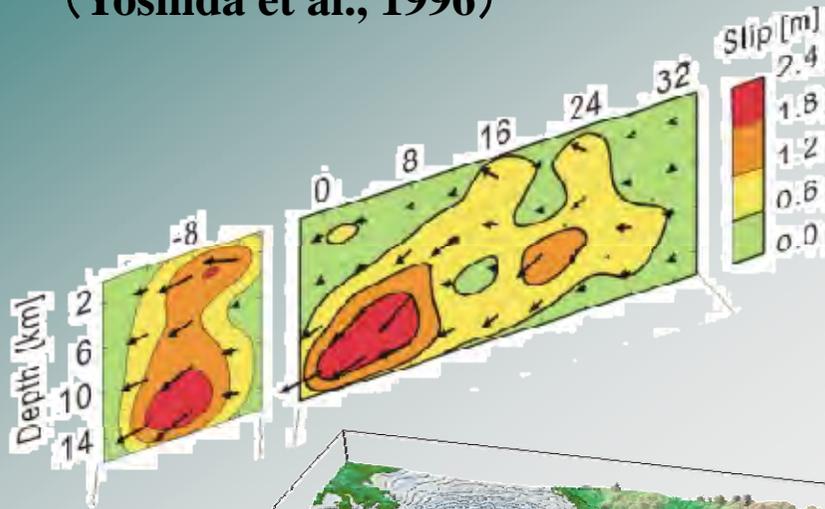


- ②. 全国の平野部地下構造調査
文科省、自治体他



地震動シミュレーションによる揺れの再現、予測

兵庫県南部地震 震源断層モデル
(Yoshida et al., 1996)

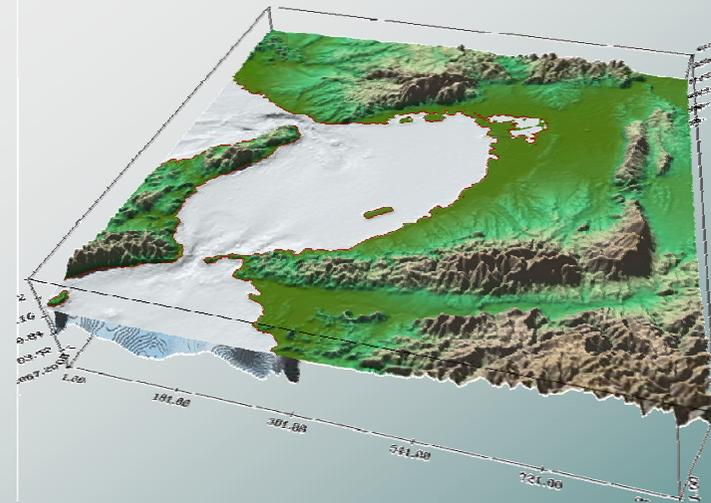


運動方程式 (釣り合いの式)

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

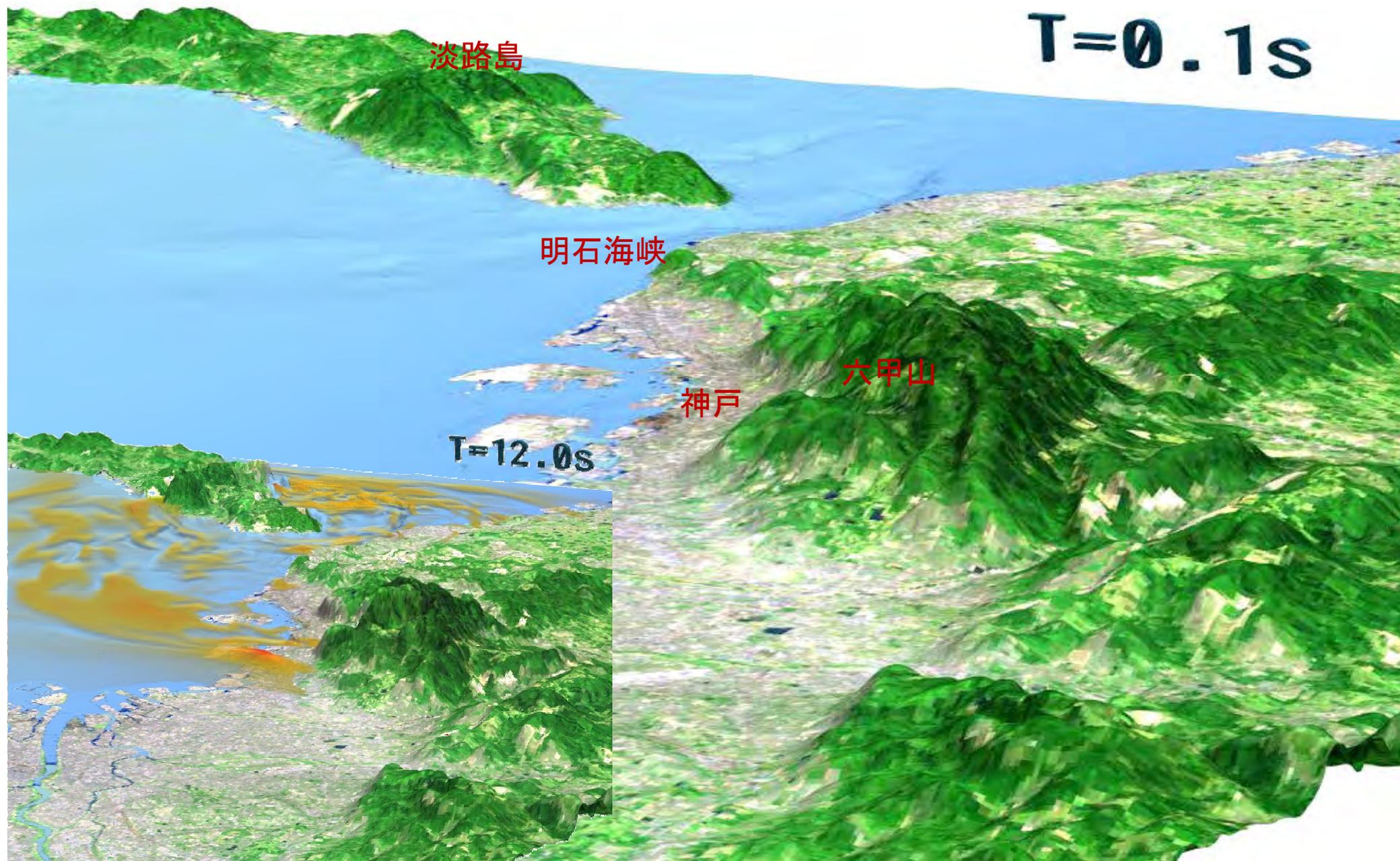
応力-歪み構成方程式 (Hooke's Law)

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

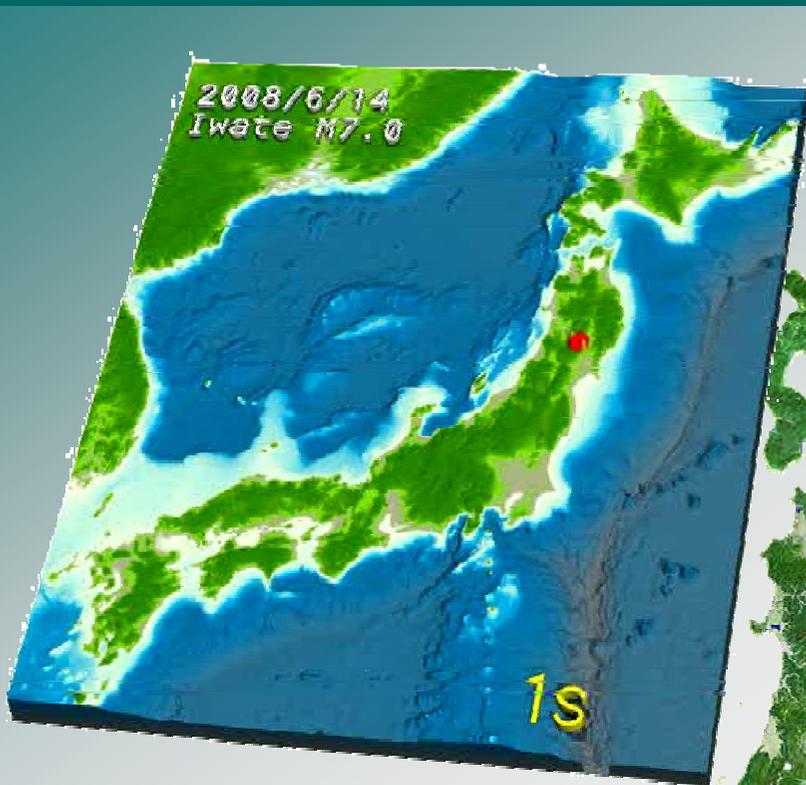


大阪堆積盆地地下構造モデル
産業総合技術研究所(2003)
大阪府(2003;2005)

地球シミュレータで再現した兵庫県南部地震の揺れ

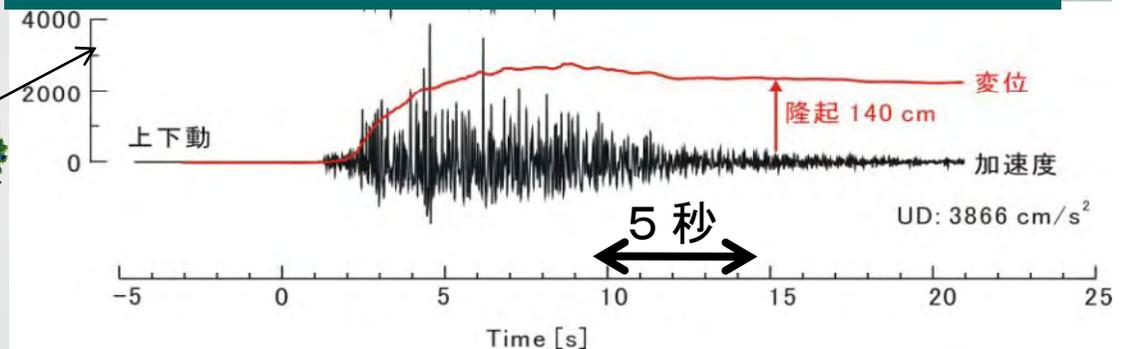


高密度観測網で見た 2008年岩手宮城内陸地震



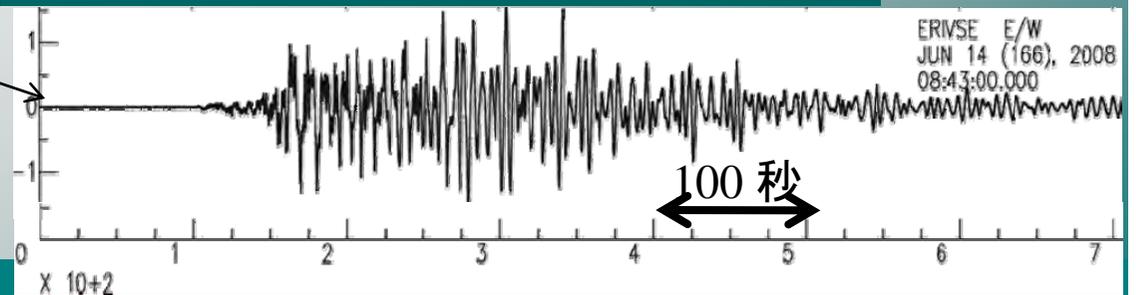
多様な地震動、現代の多様な
構造物による被害の多様性

(岩手県一関市) 大加速度 ($A > 4G$)

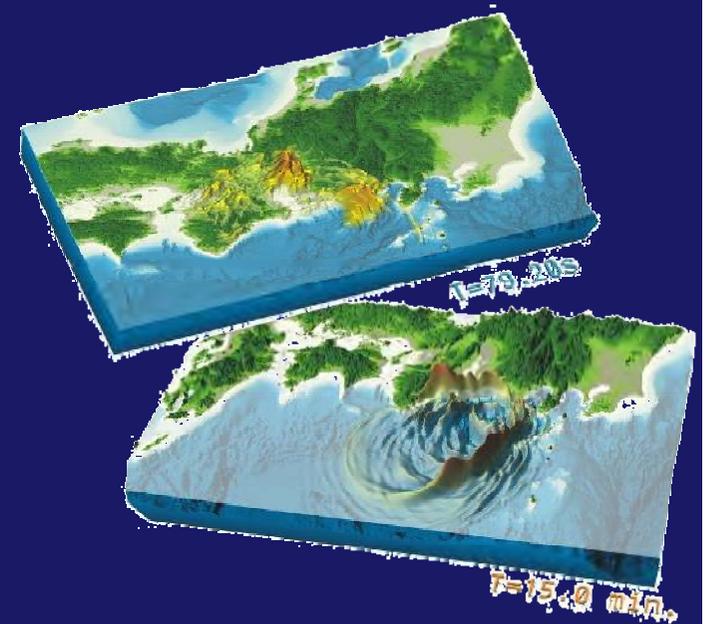


防災科学技術研究所
強震観測網(全国1800点)
地震計データの可視化

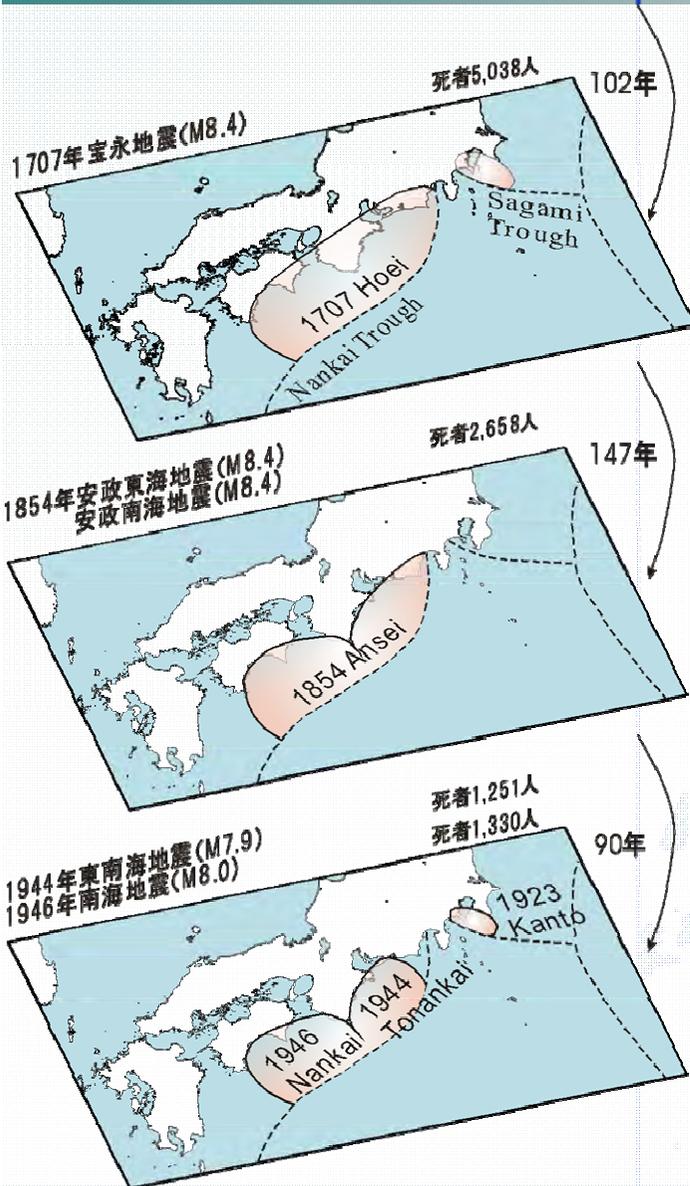
(東京) 長周期地震動 ($T > 7s$)



南海トラフ巨大地震による 強震動、地殻変動、津波



繰り返す巨大地震

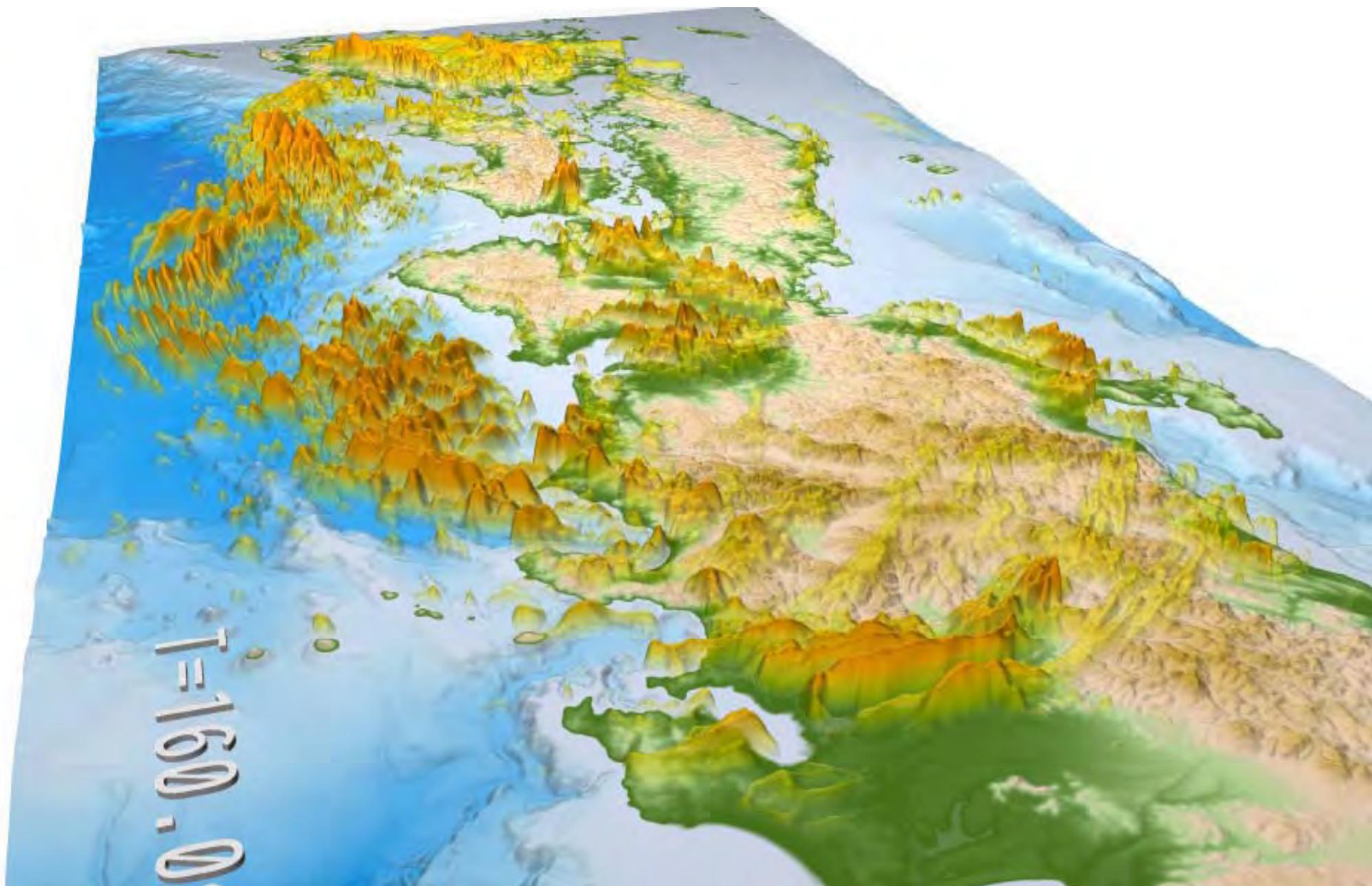


今後30年以内の地震発生確率

- ・南海・東南海・東海地震(M8.0): 40-80%以上
- ・宮城沖地震(M7.5): 99%以上

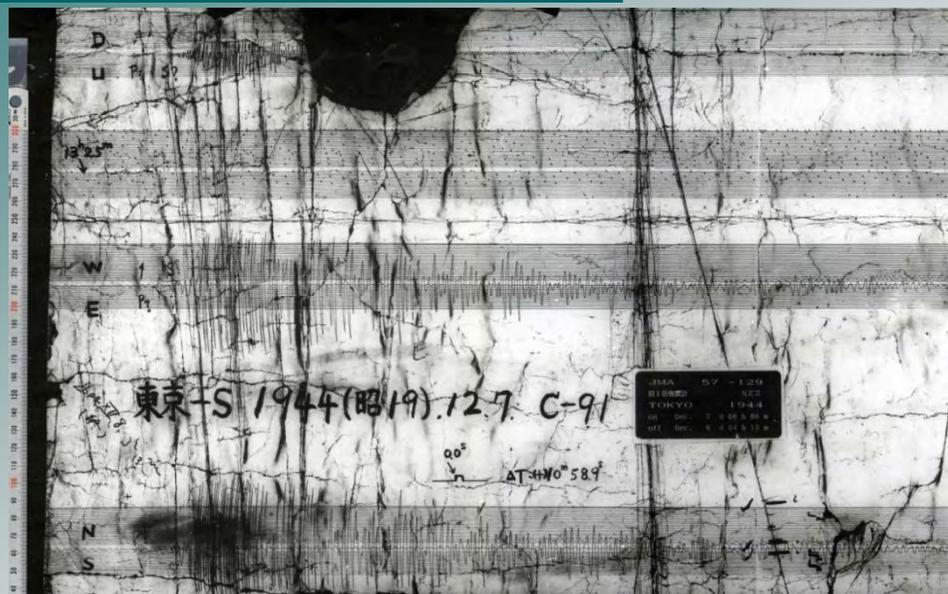


1707年宝永地震による強震動(ES2による計算)



1944年東南海地震による長周期地震動

地震計実記録(大手町)

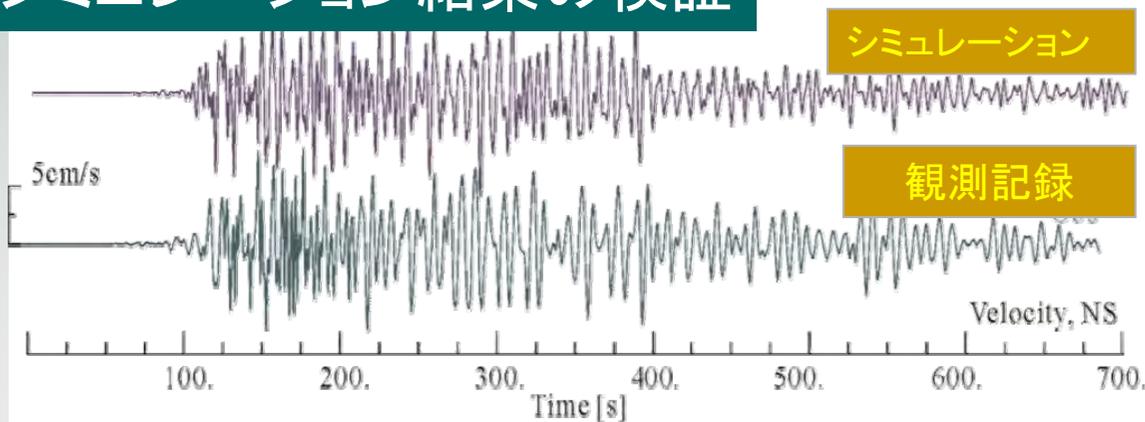


被害の予測(実大振動台実験)

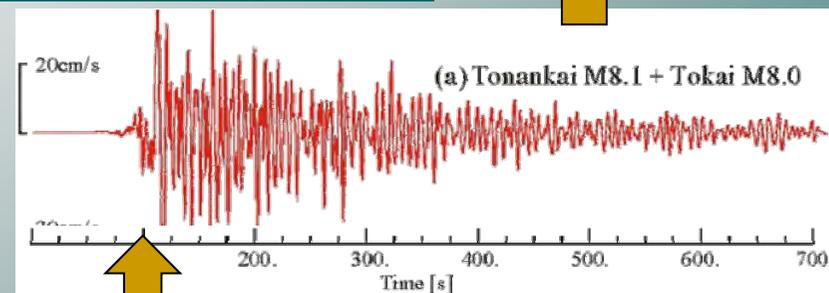


防災科学技術研究所HPより

シミュレーション結果の検証



地震動の予測



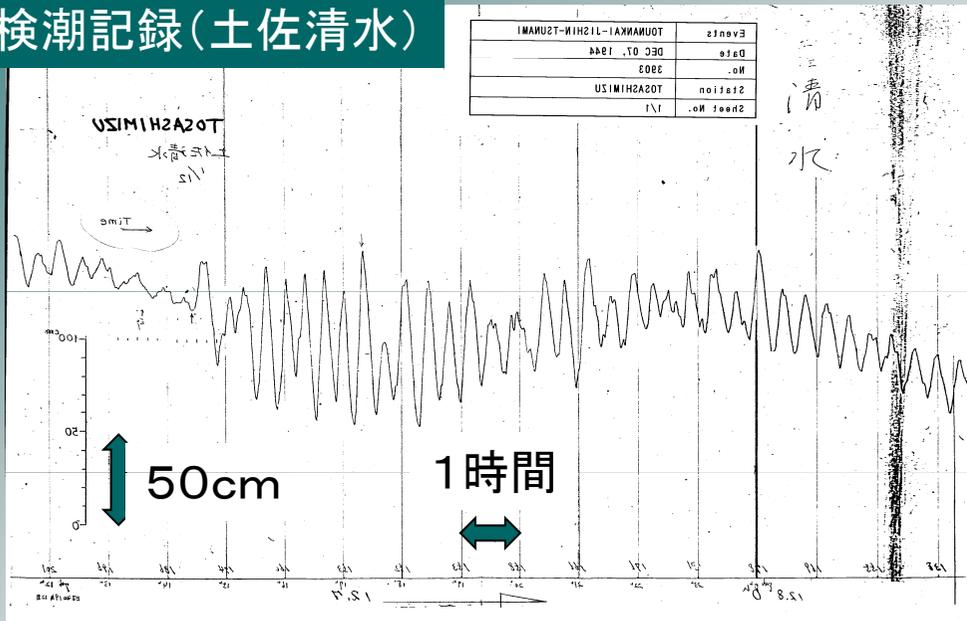
東海地震+東南海地震
連動発生シナリオ

1707年宝永地震による津波(ES2による計算)

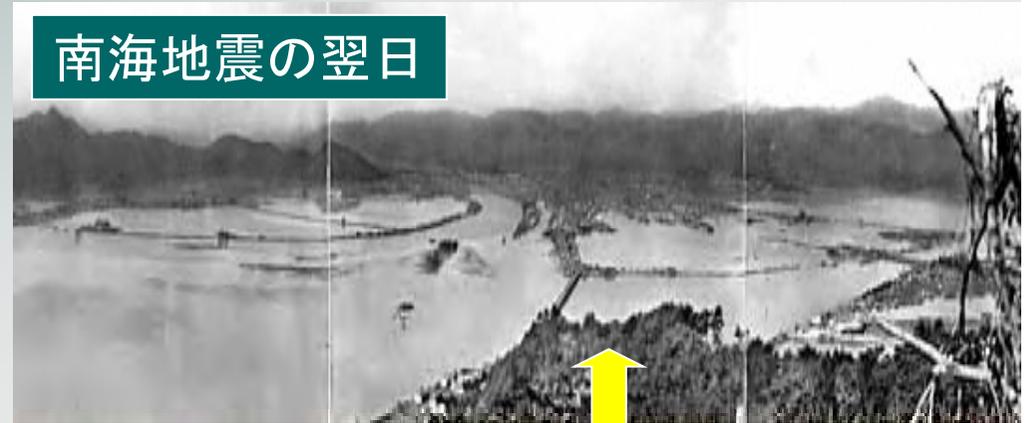


1946年南海地震による強震動、地殻変動、津波

検潮記録(土佐清水)



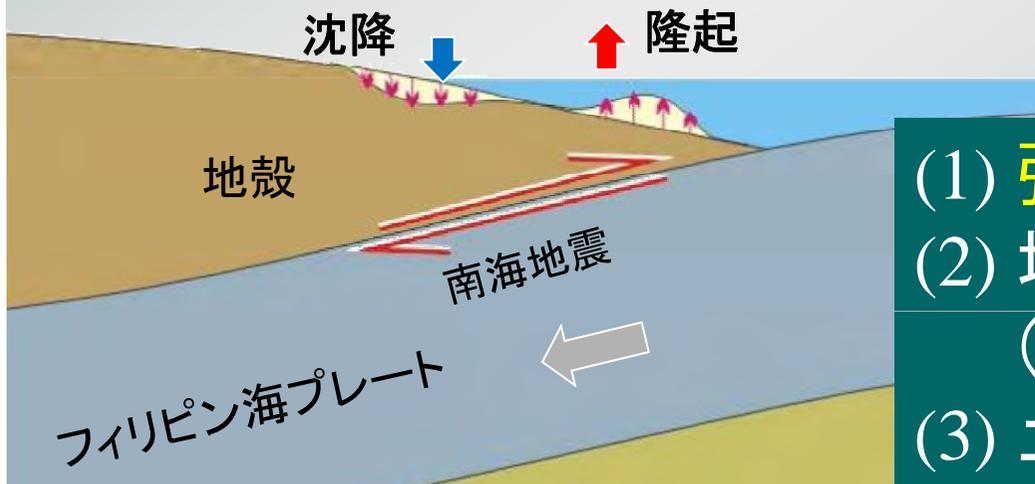
南海地震の翌日



現在の高知市街地

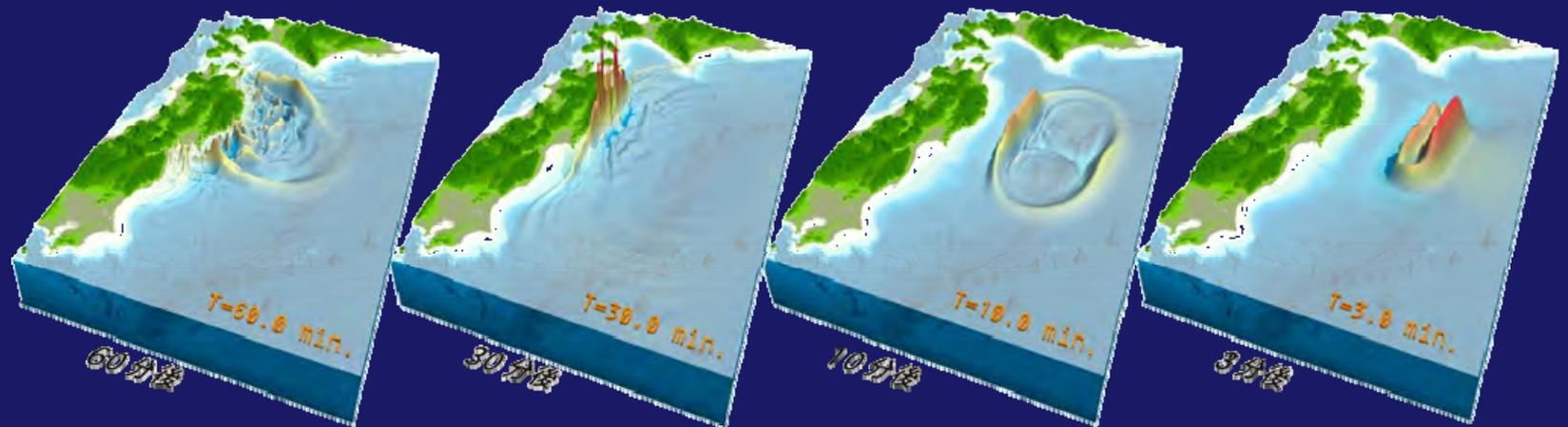


写真: 高知大岡村教授、高知県危機管理局による



- (1) 強震動による影響・被害
- (2) 地震地殻変動による隆起・沈降
(高知市街地は0.6~2m沈降)
- (3) 土佐湾では津波が十数時間継続

地震動と津波の シミュレーションの高度化

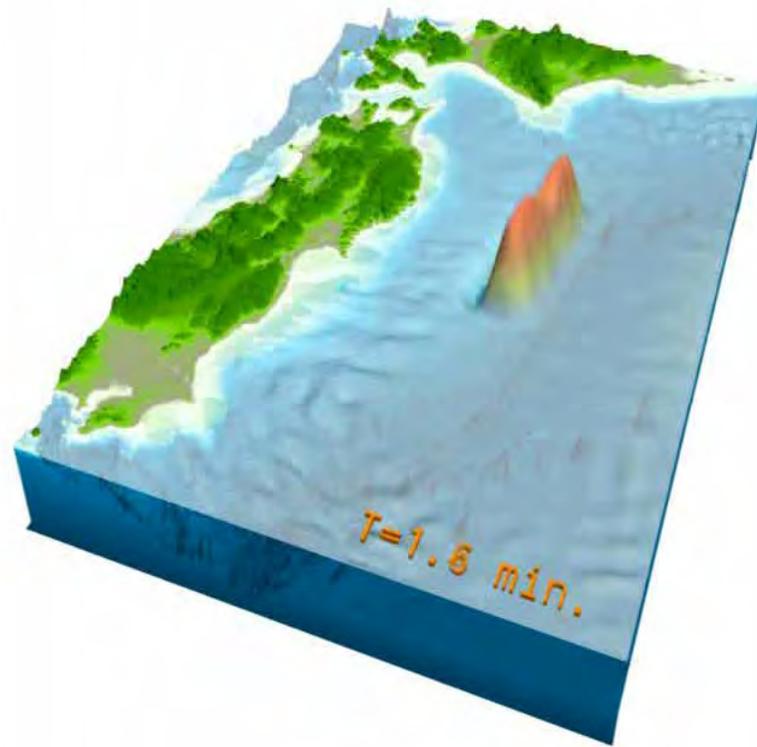
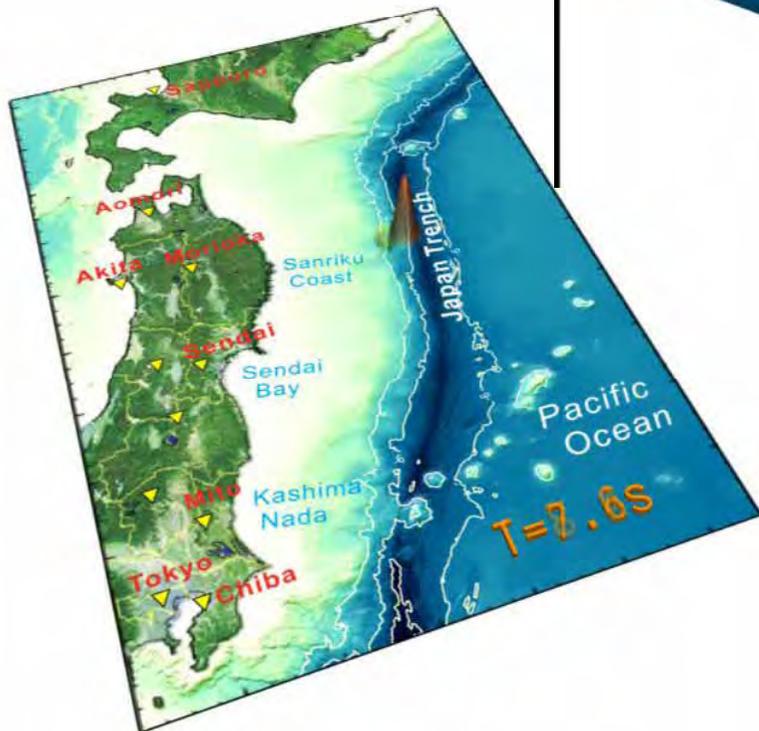


地震—津波連成計算：1896年明治三陸地震

(1) 地震動

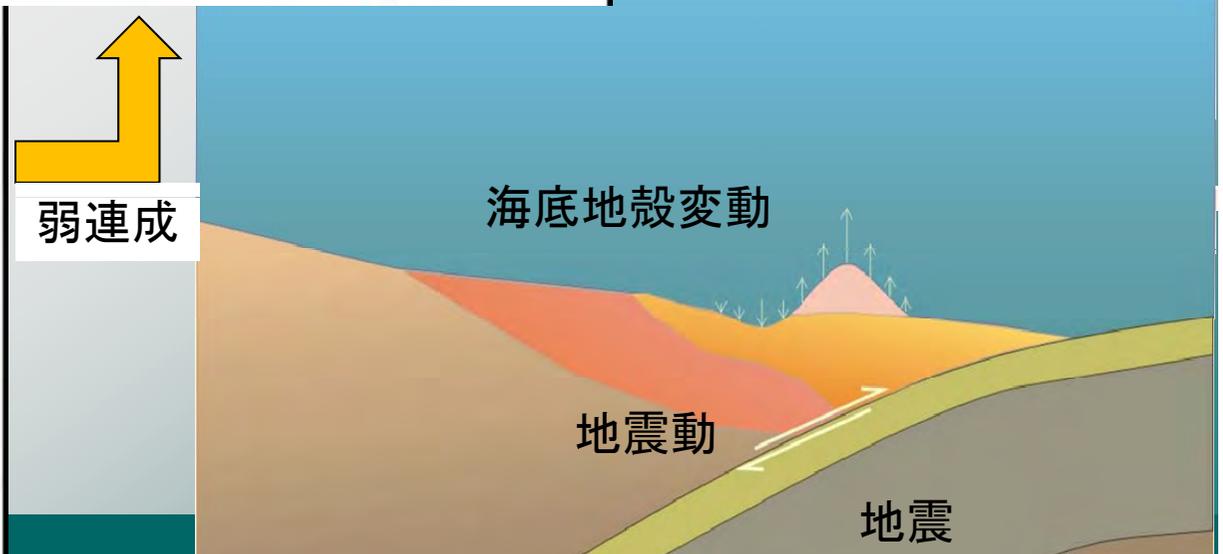
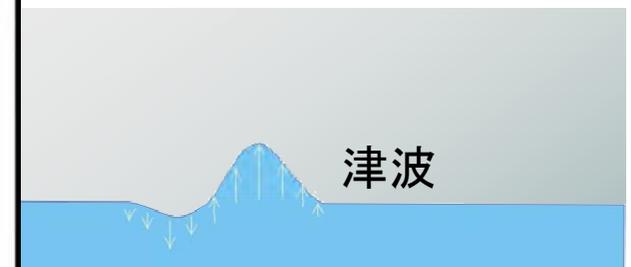
・地殻變動計算

- ・3次元運動方程式
- ・FDM計算



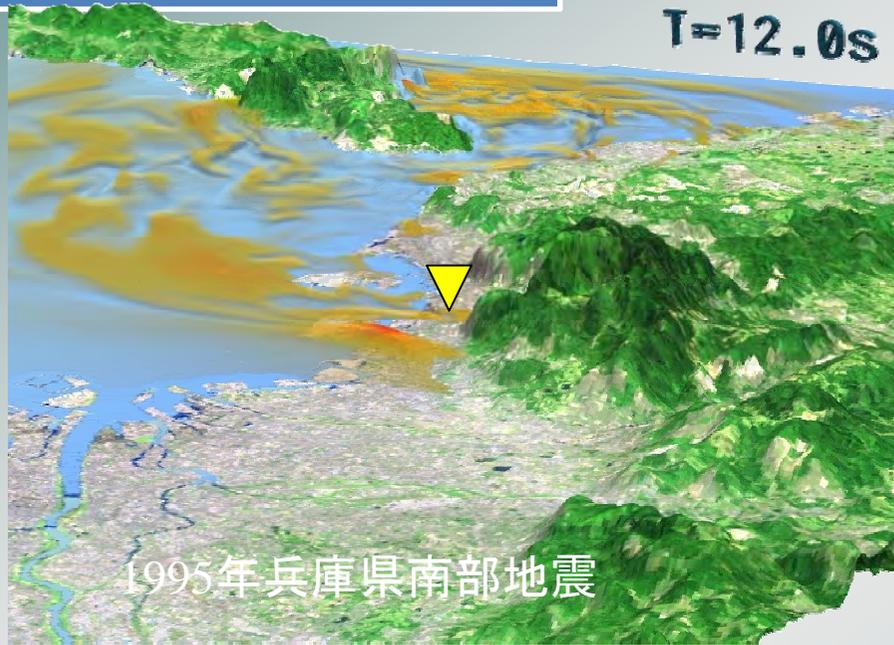
(2) 津波発生 ・伝播計算

- ・3次元Navier-Stokes式
- ・FDM計算



強震動と津波の予測から被害の予測・災害軽減へ

強震動シミュレーション

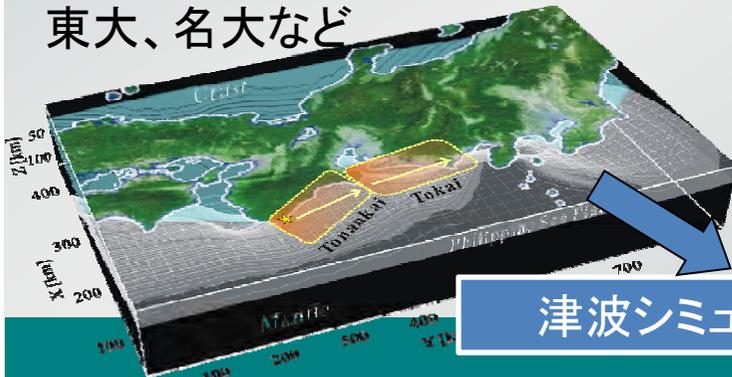


被害検証・予測
シミュレーション

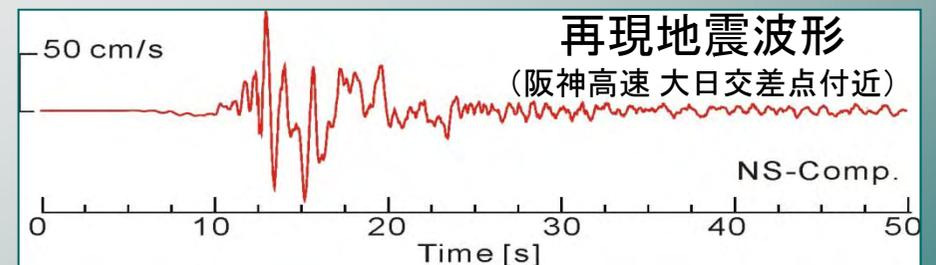
阪神高速道路
倒壊写真

地震発生予測
シミュレーション

JAMSTEC,
東大、名大など



津波シミュレーション

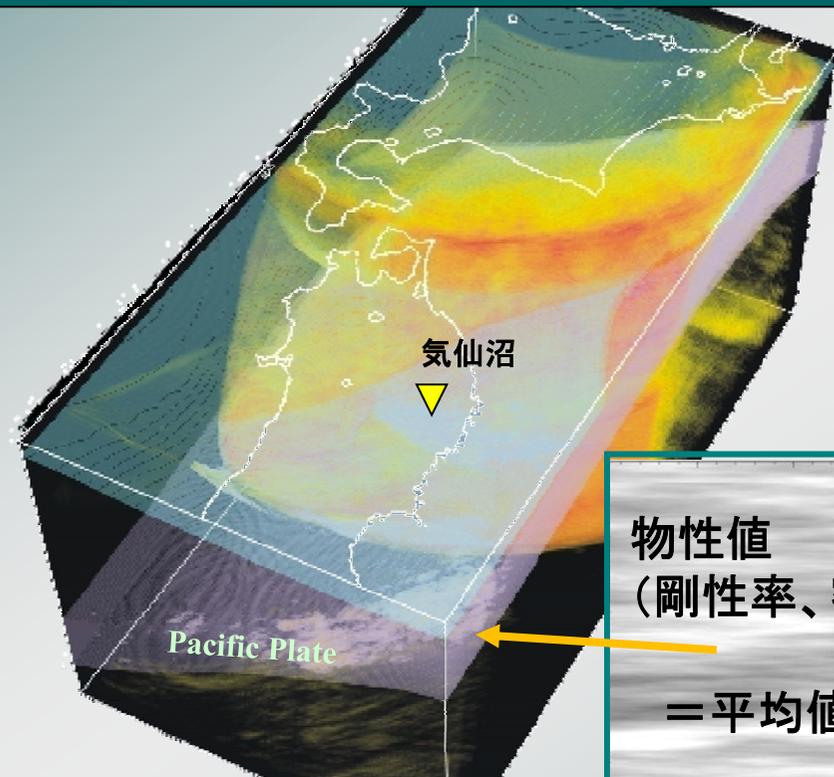


各要素シミュレーションを結合(連成)『地震まるごと(end-to-end)』シミュレーションの実現

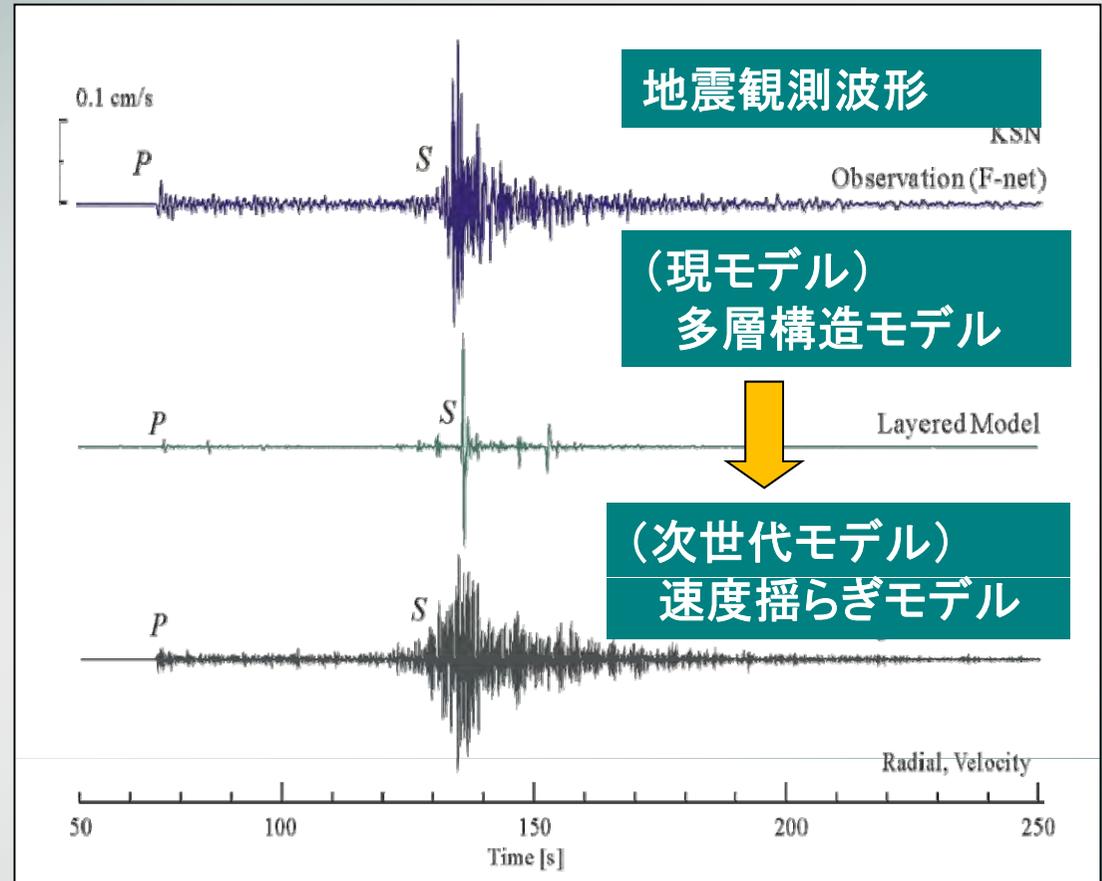
広帯域、短周期 ($T < 1s$) 地震動の高精度評価

短周期地震動の散乱評価

- ・短波長 ($< 100m$) 不均質構造のモデル化
- ・高分解能計算



物性値
(剛性率、密度etc):
= 平均値 + 揺らぎ

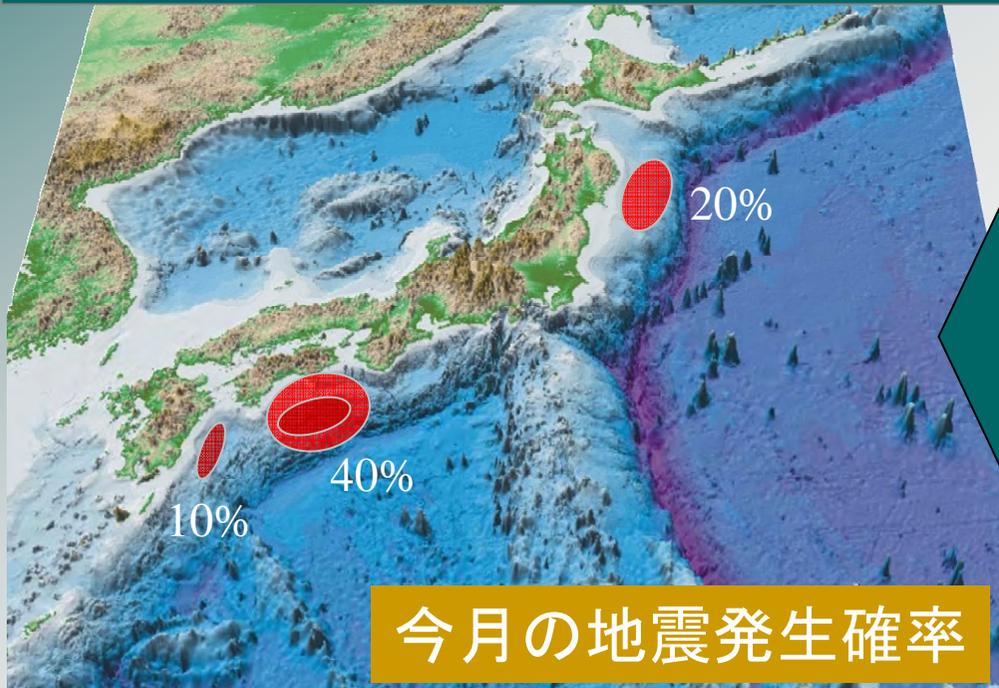


計算規模:

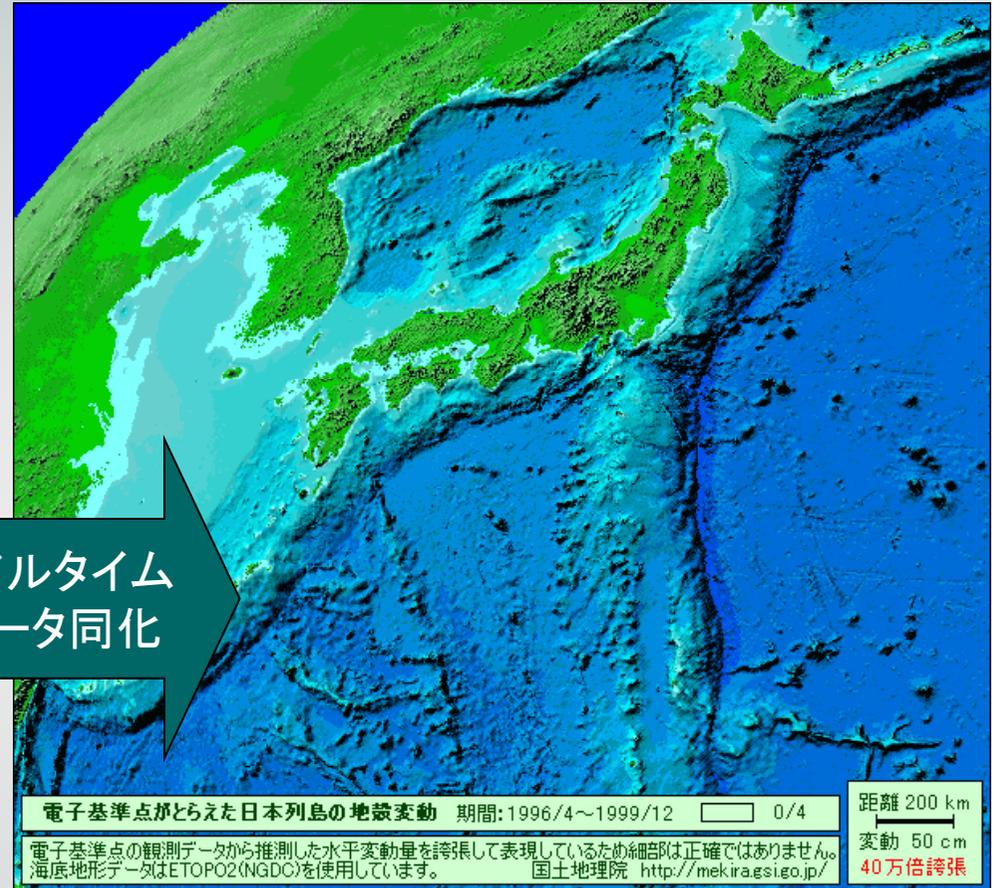
- ・分解能 40m (現在の 1/5)
- ・計算規模 $5^4 = 625$ 倍

地球変動の長期・短期予測—地震予報

仮想地球：Earthquake Simulator (ES)



リアルタイム
データ同化



陸域・海域高密度観測網
(地震、地殻変動、津波)

シミュレータ内に仮想地球を作る
地震発生を監視、危険度を警告

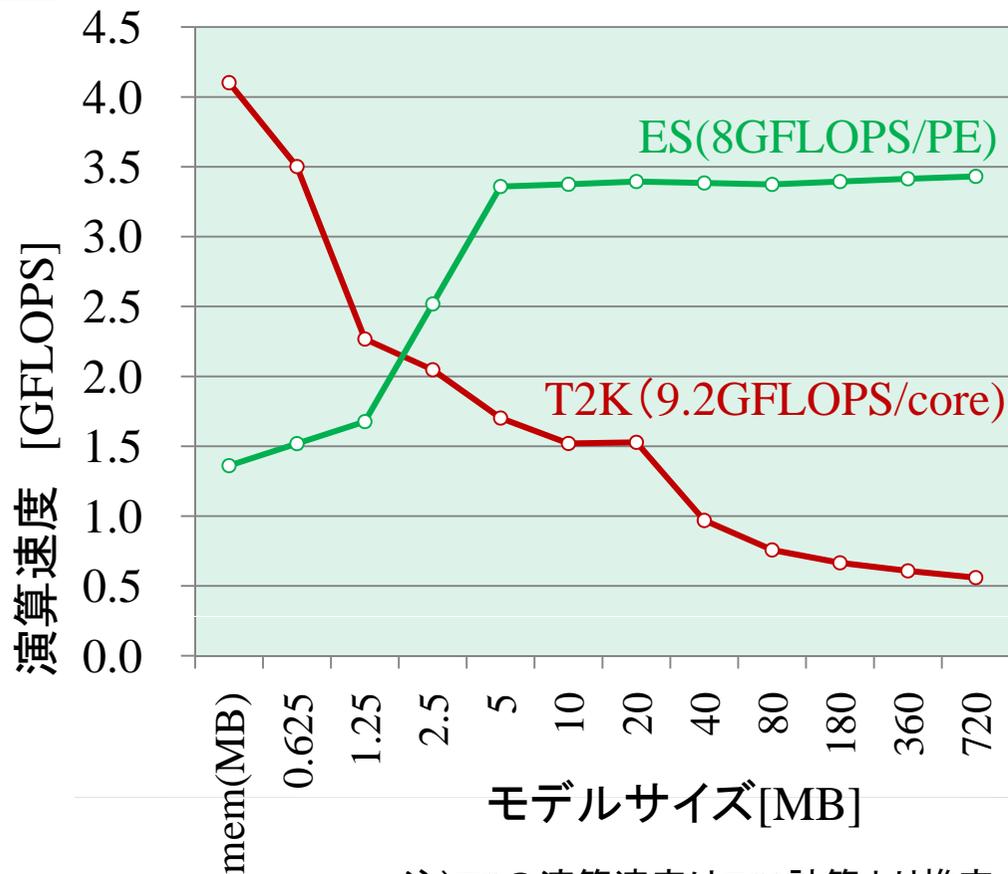
次世代スパコンによる 大規模計算の実現



出展: 理研次世代スパコン開発本部HP

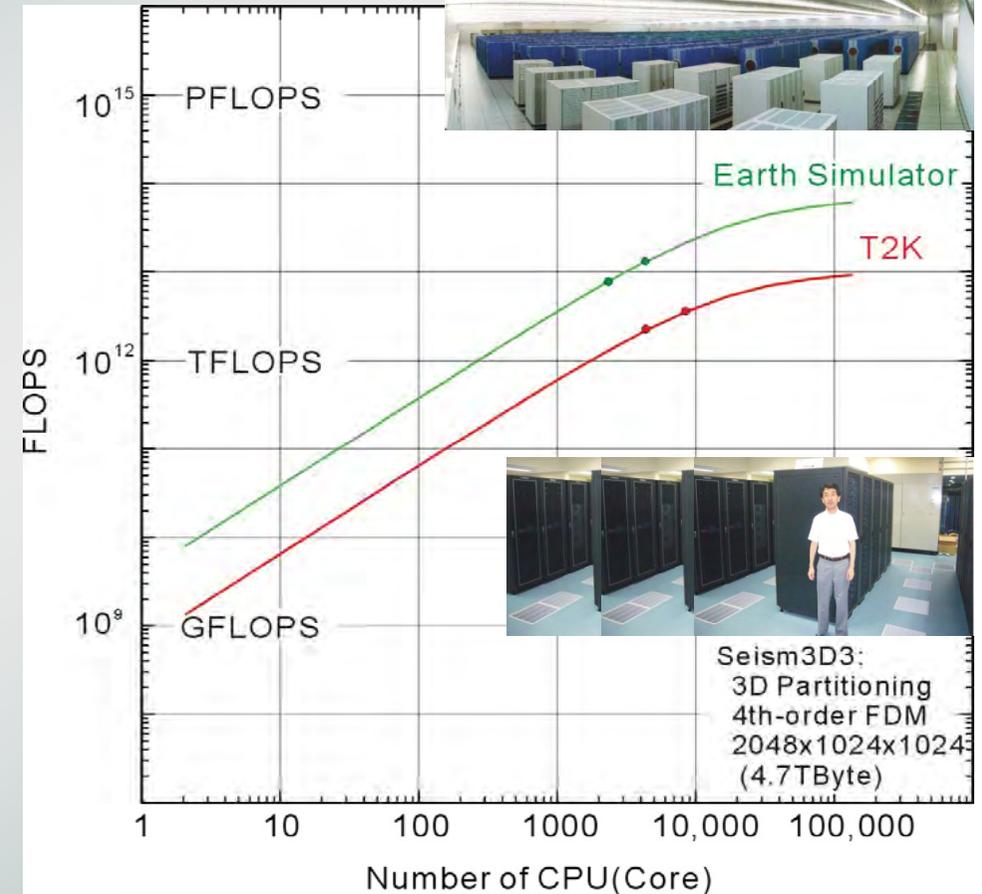
地震動計算の効率(ベクトルvsスカラーCPU)

(1) 演算速度



注)ESの演算速度はES2計算より推定

(2) 並列計算効率



【T2K】小モデルがGood(キャッシュ効果)

【ES】大モデルがGood(ベクトル長効果)

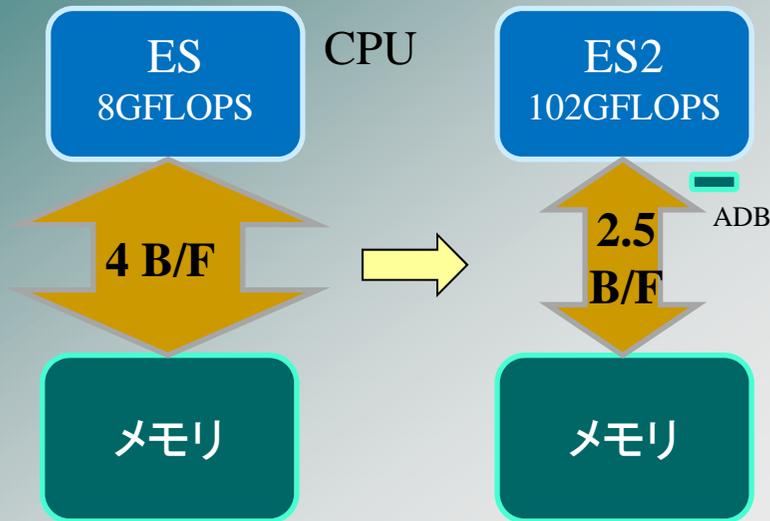
【実効性能】

- ・T2Kは、ESの1/6程度
- ・6倍の並列化が必要

地震動計算の効率低下 (ES→ES2へ)

(1) メモリ速度の暴落

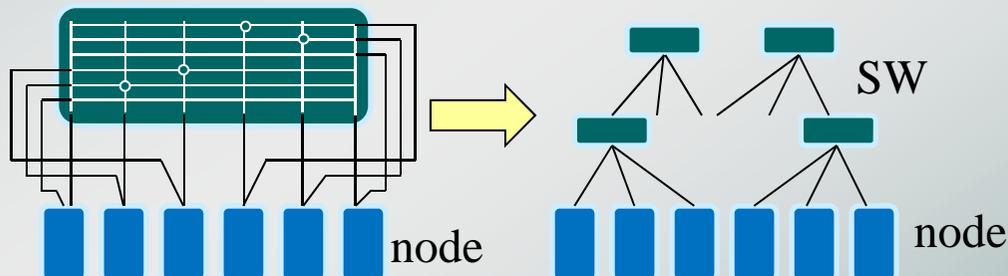
地震動シミュレーションコード (Seism3D3)



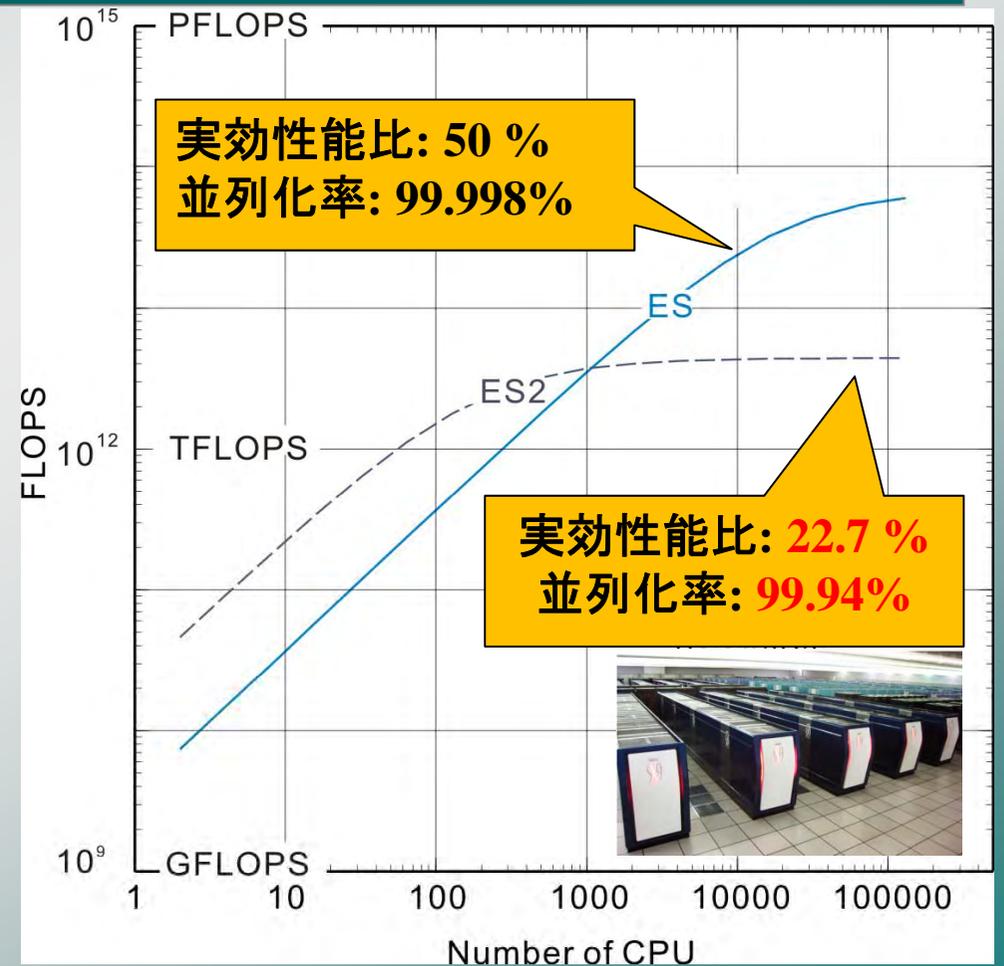
(2) 通信効率の低下 (レイテンシ大)?

ES: クロスバSW 接続

ES2: Fat Tree 接続



(3) 並列計算効率 (ES2 vs. ES)



地震動シミュレーションコードの最適化

(1) 計算手順の変更

$$\rho \ddot{u}_x = \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}^{\textcircled{1}}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}^{\textcircled{2}}}{\partial z} + f_x,$$

$$\rho \ddot{u}_y = \frac{\partial \sigma_{xy}^{\textcircled{1}}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}^{\textcircled{3}}}{\partial z} + f_y,$$

$$\rho \ddot{u}_z = \frac{\partial \sigma_{xz}^{\textcircled{2}}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}^{\textcircled{3}}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + f_z.$$

【Before】方程式に従い順番に計算
 【After】同一変数の演算を一括実行
 (データロード回数の節約)

(2) MPI通信の最適化



【Before】MPI_CREATE_SUBARRAY() を利用
 【After】Pack/Unpack操作を自分で書く

★コードチューニングの効果
 (ES2/ES性能比 = 7.97 倍)

・演算性能向上: 1.36 倍

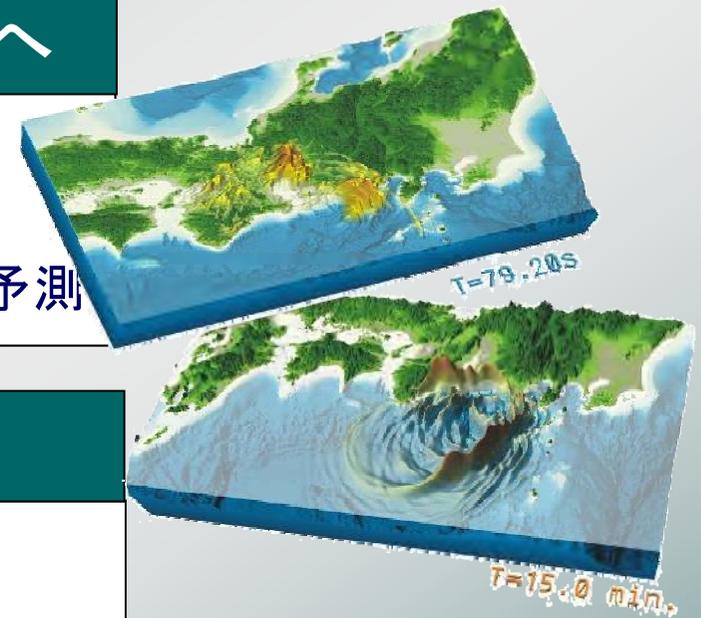
・最大並列化数: 1.3 倍



次世代スパコンが拓く未来 —課題—

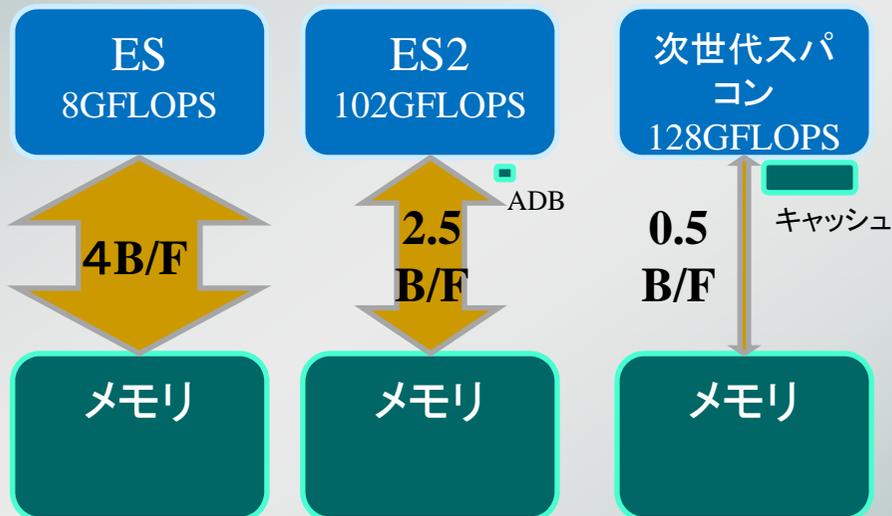
(1) 地震と津波の高精度予測・災害軽減へ

- 広帯域 ($f > 5\text{Hz}$) シミュレーション (計算量は625倍)
- 地震—津波連成、地震災害まるごとシミュレーション
- 計算—観測融合、“仮想地球”をスパコンに作り未来予測



(2) 大規模並列計算の求めるもの

- 高精度化以上の成果 (突然見えてくる世界)
- 次次世代スパコンに向けた新たな計算物理の創出



(3) 次世代スパコンに向けた課題

- メモリ速度の低下 (スカラー、ベクトル共通)
- ユーザ主体のコード (高度) チューニング
- 大容量データ処理、可視化 (4次元データ)