

0:00:00

南海トラフにおける超高並列津波 シミュレーション

馬場俊孝（海洋研究開発機構）
分野3 報告会@イイノホール,
2014.8.12 14:45-15:00



大規模津波シミュレーションが減災に果たす役割

- 津波災害発生前（平時）

- 多数のシナリオ津波に基づく高分解能ハザードマップの作成
- 三次元流体-固体連成モデルによる津波災害の詳細な再現

- 津波災害発生直後（初動対応時）

- 数分以内：津波警報に役立つ
- 数時間以内：迅速な災害初動体制の確立に役立つ
- 大規模津波災害の全貌をつかむのは容易ではない
- 夜間・悪天候ならなおさら

東日本大震災における地方自治体の初動対応

3.11
14:46

東北地方太平洋沖地震発生

(失見当期:誰も何が起きたのか分からない)

- ・ 災害対応要員の参集
- ・ 災害対策本部の立ち上げ (15:36 第1回会議)
- ・ 自衛隊・警察等への応援要請ならびに連携体制の構築

- ・ **被害規模の把握**

航空機による鳥の目 (12日朝:知事がヘリで視察し「高台以外は全壊の状況である」ことが判明)

職員派遣による虫の目

- ・ 救助・救急活動
- ・ 災害医療活動
- ・ 復旧・復興に向けた拠点を整備する活動
- ・ 避難所の開設と運営

つづく

時間のながれ

東日本大震災における地方自治体の初動対応

3.11
14:46

東北地方太平洋沖地震発生

(失見当期:誰も何が起きたのか分からない)

- ・ 災害対応要員の参集
- ・ 災害対策本部の立ち上げ (15:36 第1回会議)
- ・ 自衛隊・警察等への応援要請ならびに連携体制の構築
- ・ **被害規模の把握**

シミュレーションによる千里眼 (数時間以内)

航空機による鳥の目 (12日朝:知事が視察し「高台以外
は全壊の状況である」ことが判明)

職員派遣による虫の目

- ・ 救助・救急活動
- ・ 災害医療活動
- ・ 復旧・復興に向けた拠点を整備する活動
- ・ 避難所の開設と運営

つづく

(東日本大震災時の宮城県の例:奥村、2013JpGU) 4

時間のながれ

津波計算コード

- JAGURS (Baba et al, 2014)
 - 並列津波計算コード
 - 平面2次元非線形長波式
 - 球面座標系, リープフロッグ, スタッガード格子の差分法
 - MPI & OpenMPによるハイブリッド並列
 - 地形ネスティング
 - 波源の時間発展
 - Wet/dry判定による陸上への浸水
 - 動作確認済みプラットフォーム
 - PCクラスタ
 - 京コンピュータ @ RIKEN AICS
 - 地球シミュレータ @ JAMSTEC

基礎方程式

非線形長波式（球面座標系）

運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{R \sin \theta} \frac{\partial u}{\partial \phi} + \frac{v}{R} \frac{\partial u}{\partial \theta} = -\frac{g}{R \sin \theta} \frac{\partial h}{\partial \phi} - C_f \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{d + h}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{R \sin \theta} \frac{\partial v}{\partial \phi} + \frac{v}{R} \frac{\partial v}{\partial \theta} = -\frac{g}{R} \frac{\partial h}{\partial \theta} - C_f \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{d + h}$$

連続の式

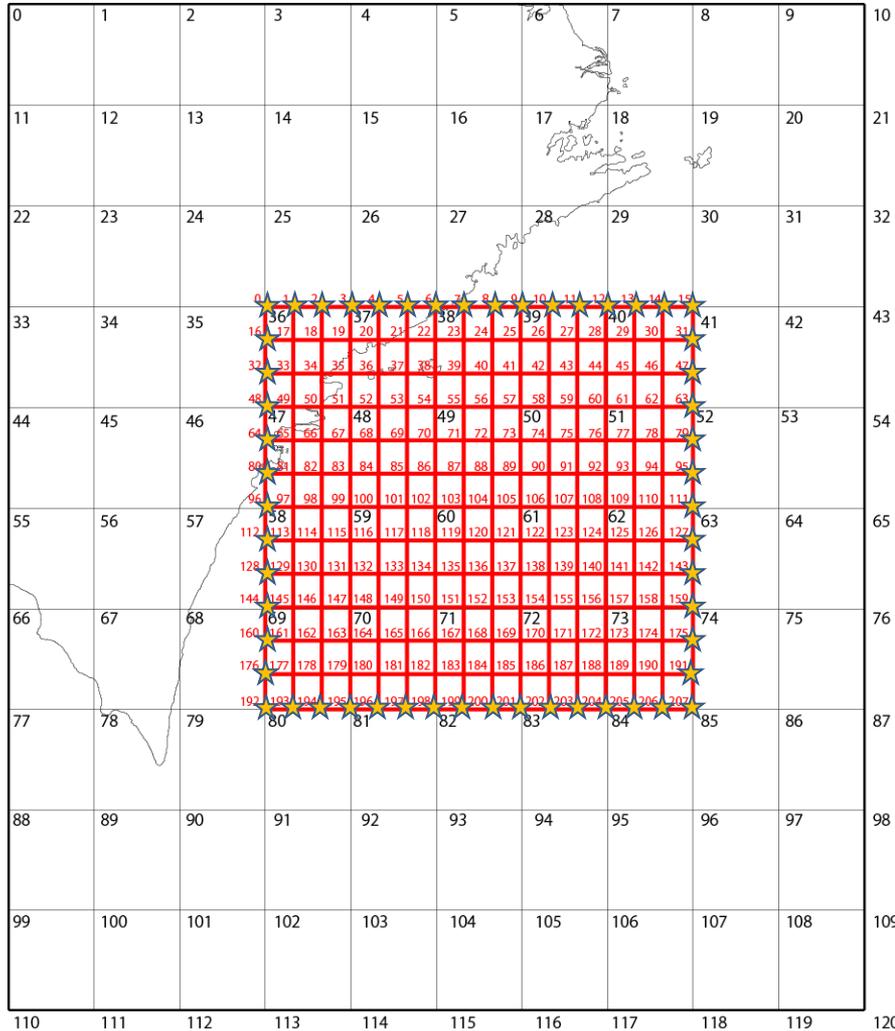
$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{1}{R \sin \theta} \left[\frac{\partial \{u(d + h)\}}{\partial \phi} + \frac{\partial \{v \sin \theta (d + h)\}}{\partial \theta} \right]$$

記号	意味
t	時間
R	地球半径
ϕ	経度
θ	余緯度
u	流速（経度）
v	流速（緯度）
d	水深
h	波高
g	重力定数
C_f	摩擦係数

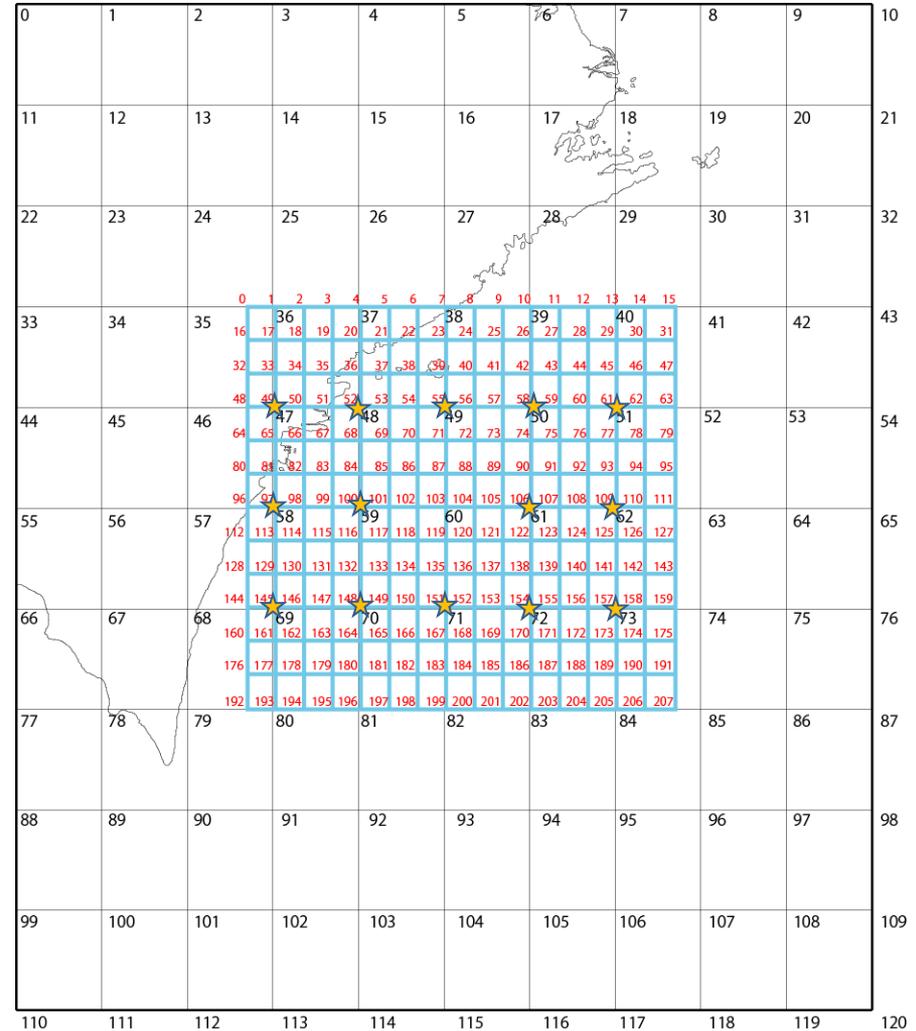
K. Satake, *Pure Appl. Geophys.* **144** (1995) 455-470 (3)

ネスティングアルゴリズム

親から子への波高の受け渡し



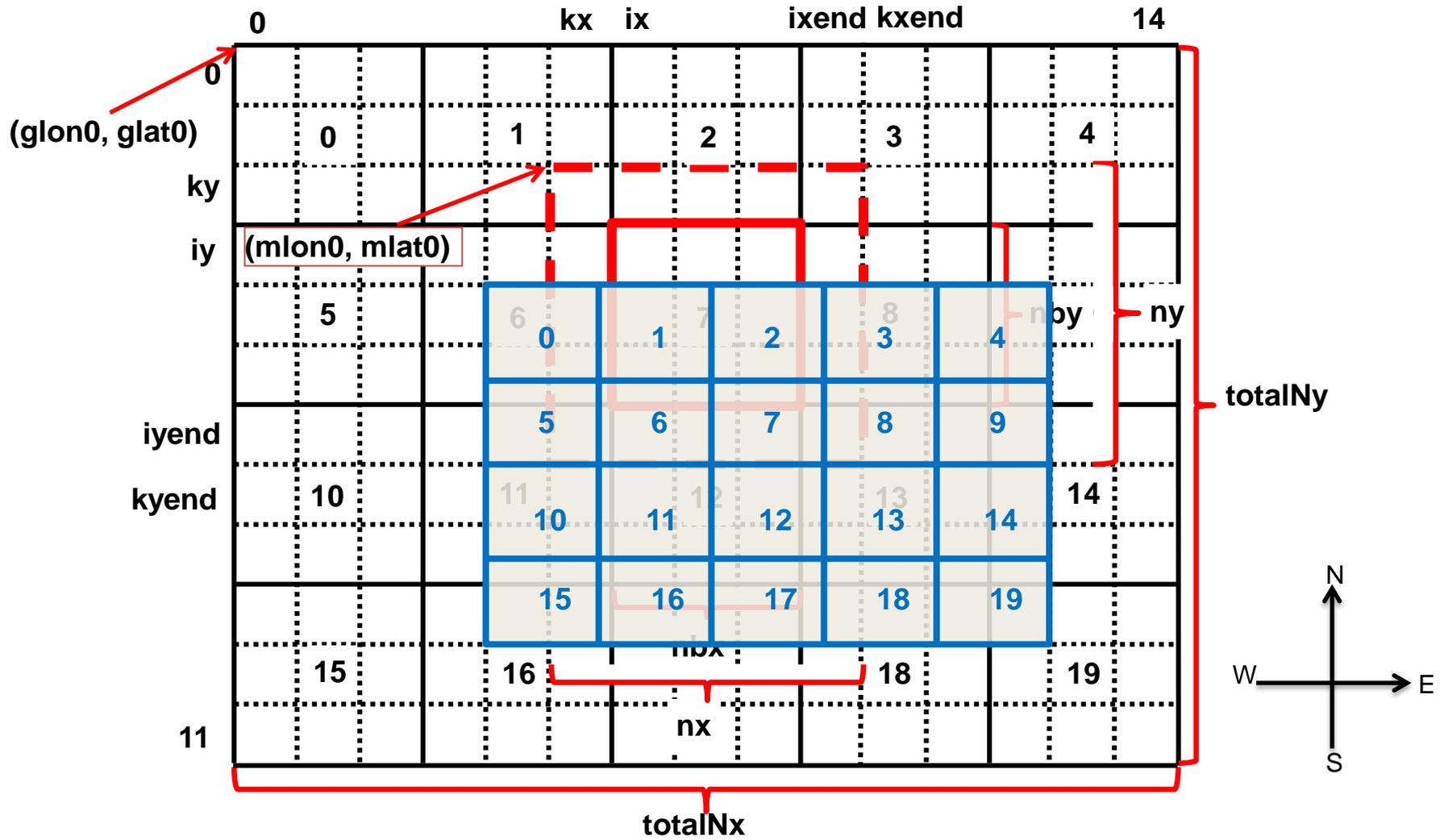
子から親へ流速 (x) の受け渡し



予め対応表を作っておき、各ステップ毎に受け渡す

★ 受け渡し点

MP I 領域分割



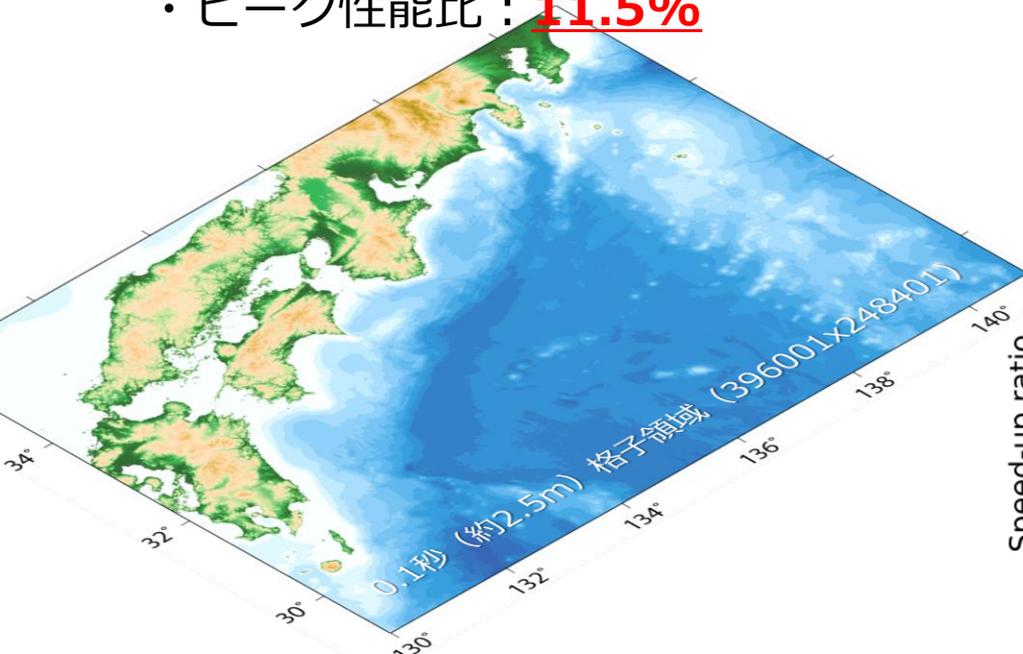
1 階微分方程式系 = 袖領域 1 で充分
同じレイヤー内では隣接通信

親子間通信では非隣接通信

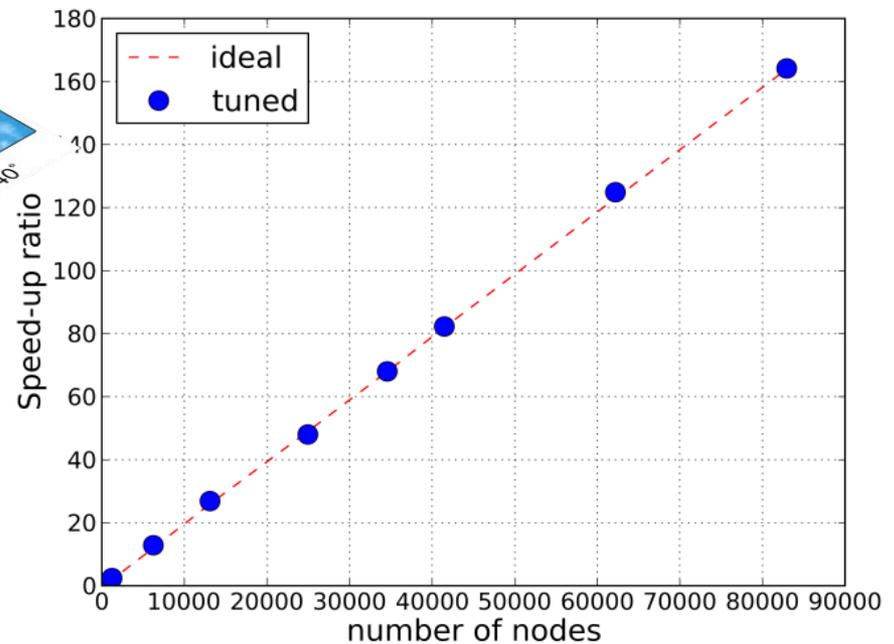
親子間通信なし南海トラフ1000億格子計算

- 南海トラフ全体の0.1秒格子（総格子数約1000億）
- ネスティングはなし，非線形長波計算
- 実時間20秒分の計算
- 使用ノード数：82,994ノード（フルノード）
- 計算時間：82.11秒
- ピーク性能：1.22PFLOPS
- ピーク性能比：11.5%

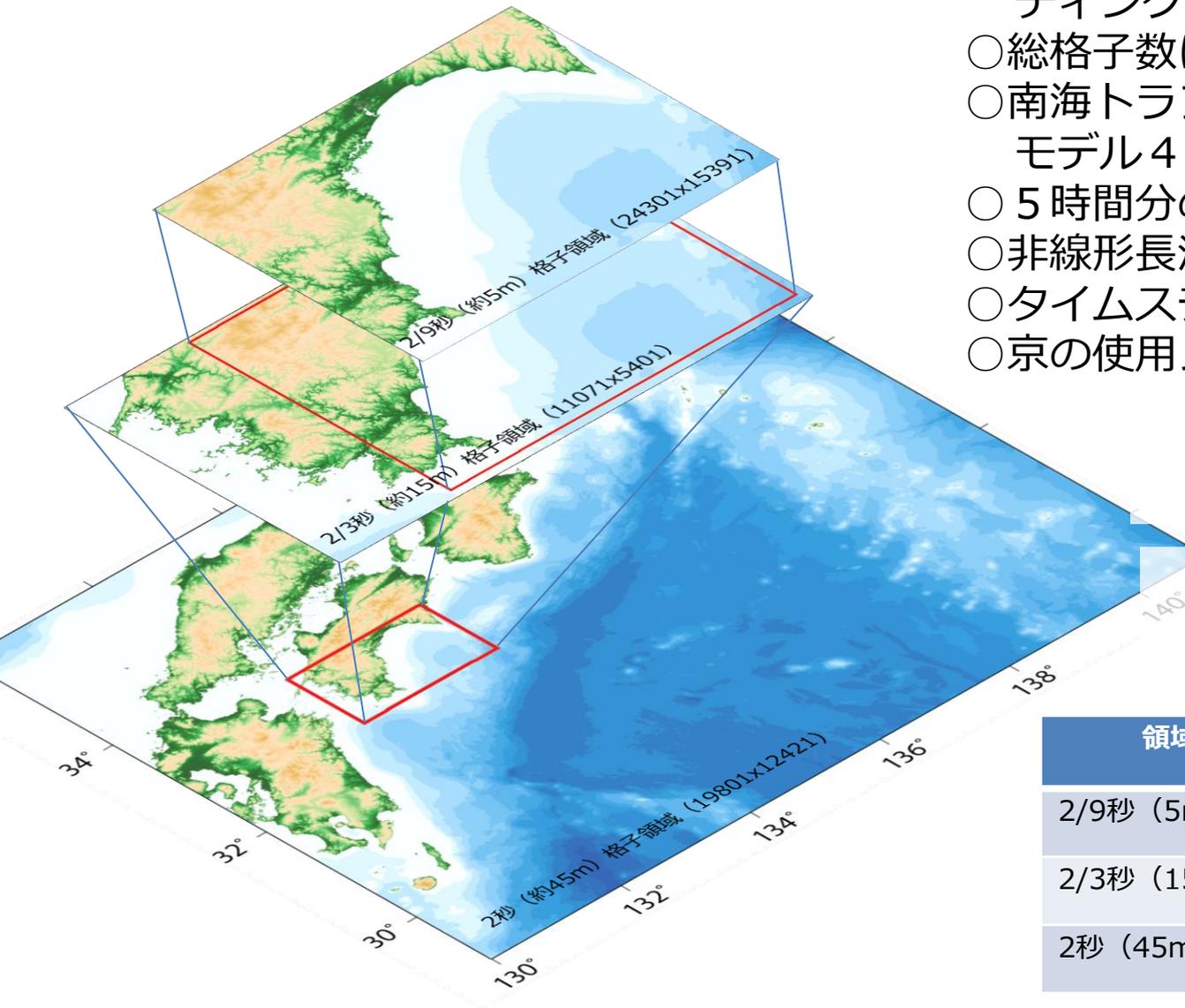
全系まで完全にスケール
高いピーク性能比



0.2秒（5m）格子だったら、
格子数は1/4（約250億格子）、
計算ステップ数は1/2（dtが2倍）、
計算コストは1/8→実時間の半分か？



親子間通信あり高知県全域5m格子モデル



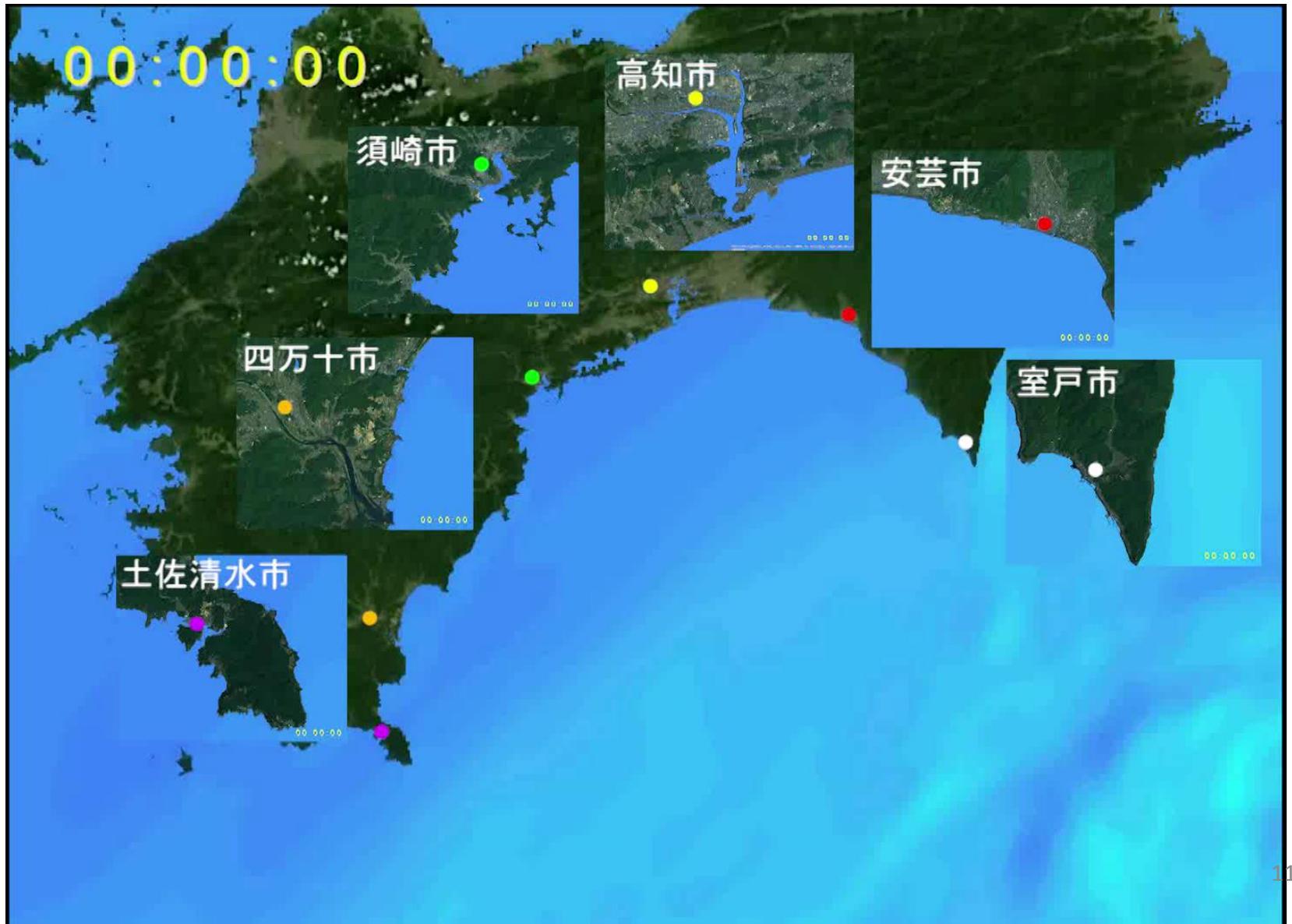
- 2秒から2/9秒までの3層のネスティングレイヤー
- 総格子数は約6.8億
- 南海トラフの巨大地震検討委員会モデル4番
- 5時間分の津波伝搬を計算
- 非線形長波モデル、浸水あり
- タイムステップは $dt=0.015\text{sec}$
- 京の使用ノード数は8192

チューニング前 :
約7時間

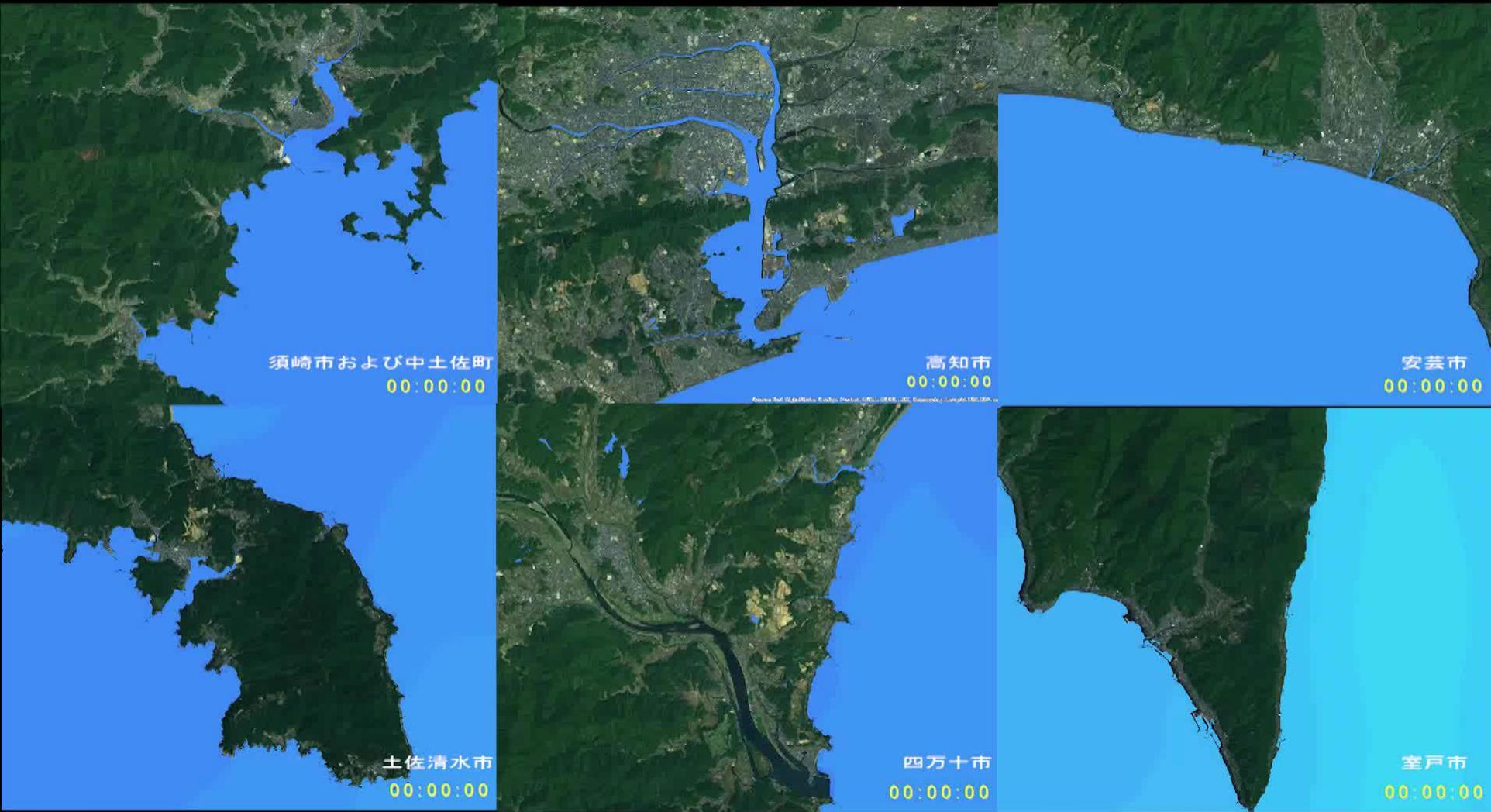
チューニング後 :
約1.5時間

領域	最大水深	dt $\Delta x/\text{sqrt}(2gh)$
2/9秒 (5m)	2262m	< 0.017 秒
2/3秒 (15m)	2307m	< 0.050秒
2秒 (45m)	6127m	< 0.090秒

京コンピュータによる大規模実時間津波計算 (高知県全域5m分解能、計6.8億格子)



京コンピュータによる大規模実時間津波計算 (高知県全域5m分解能、計6.8億格子)

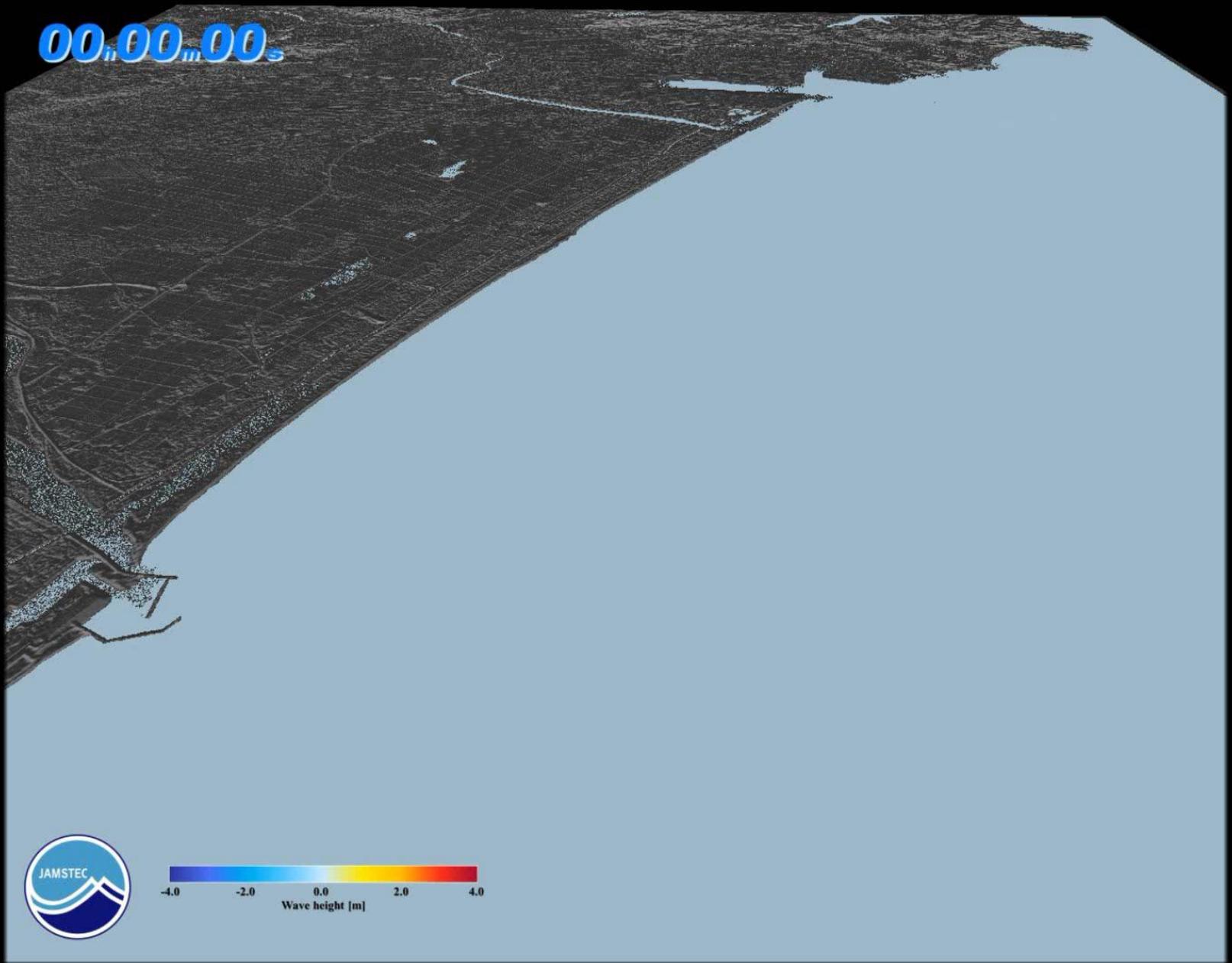


オリジナルバージョンでの性能 (5184ノード使用で約7時間)

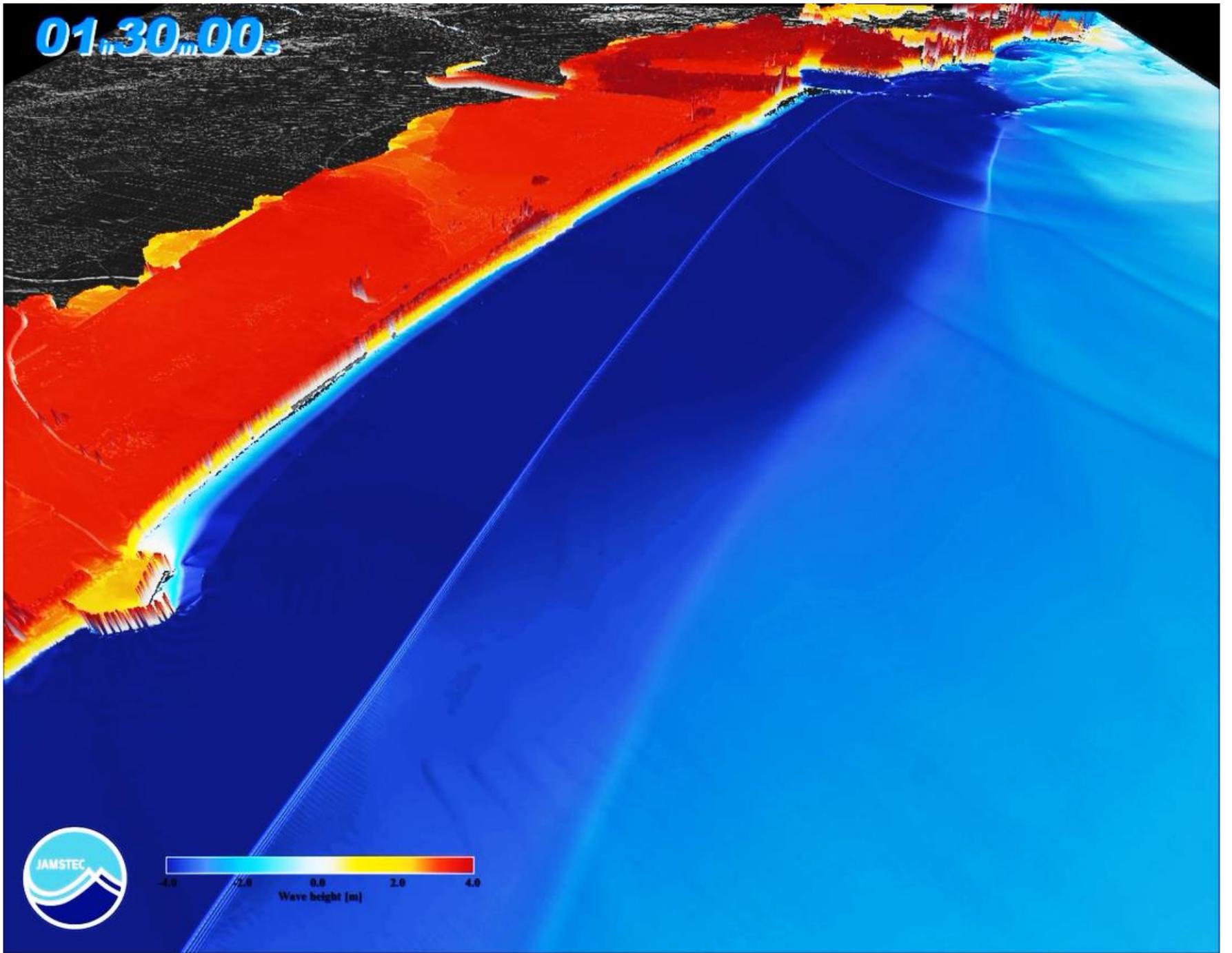
高精度モデルの開発

東北津波シミュレーション

00:00:00

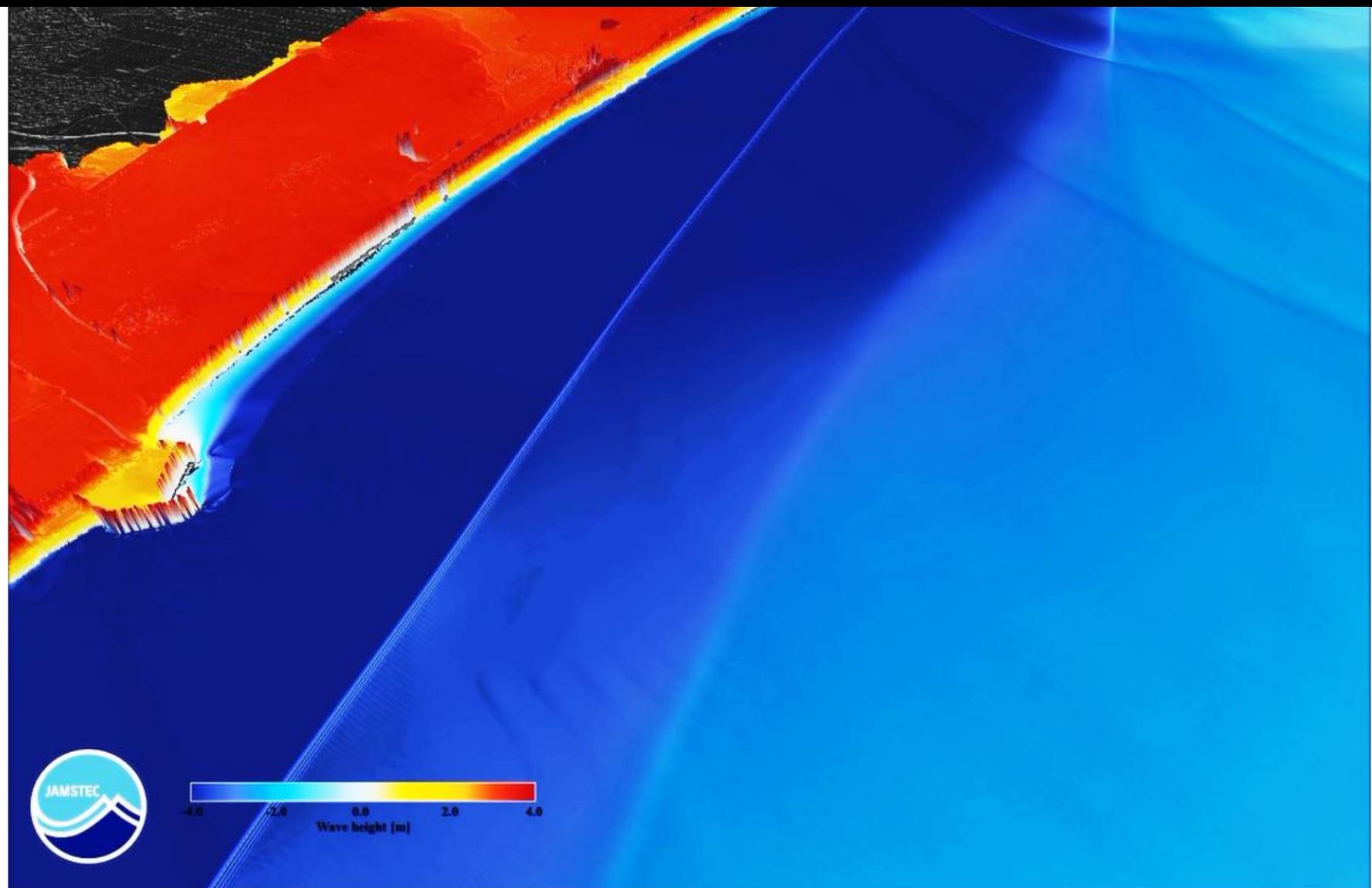


01_h30_m00_s



01:30:00

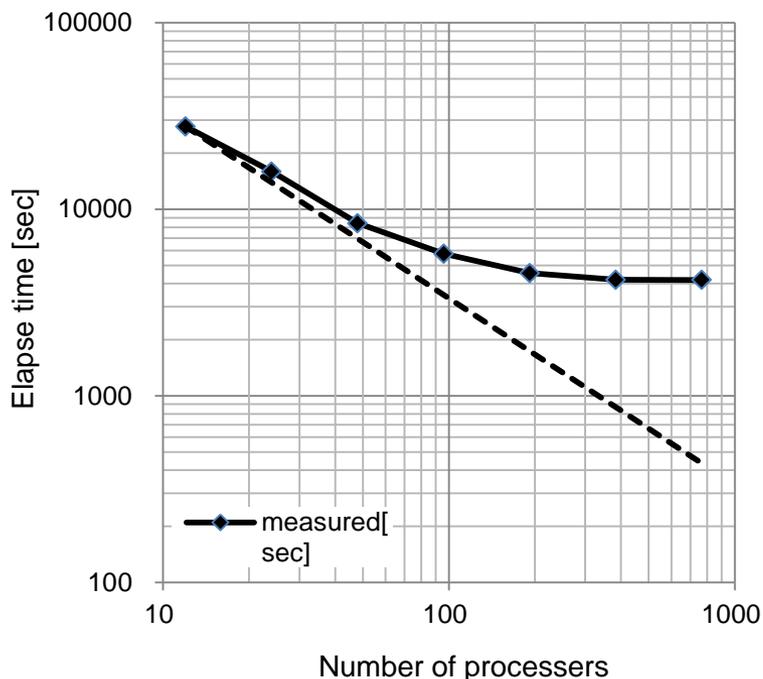
非線形長波モデルではソリトン分裂を再現できない



非線形分散波モデルの開発（中）

- 計算モデル：非線形分散波式
- 波源モデル：Saito (2011)
- 地形ネスティング数：5層
- グリッド数：計2119万 18秒格子 (360万)
→6秒 (103万) →2秒 (385万) →2/3秒 (323万) →2/9秒 (約5m、948万)
- 積分時間：3時間
- 時間ステップ：0.1秒
- 計算時間：約9.5時間 (729ノード)

非分散モデルの20から30倍の計算量



$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{1}{R \sin \theta} \left[\left(\frac{\partial M}{\partial \varphi} + \frac{\partial (N \sin \theta)}{\partial \theta} \right) \right] \quad (1)$$

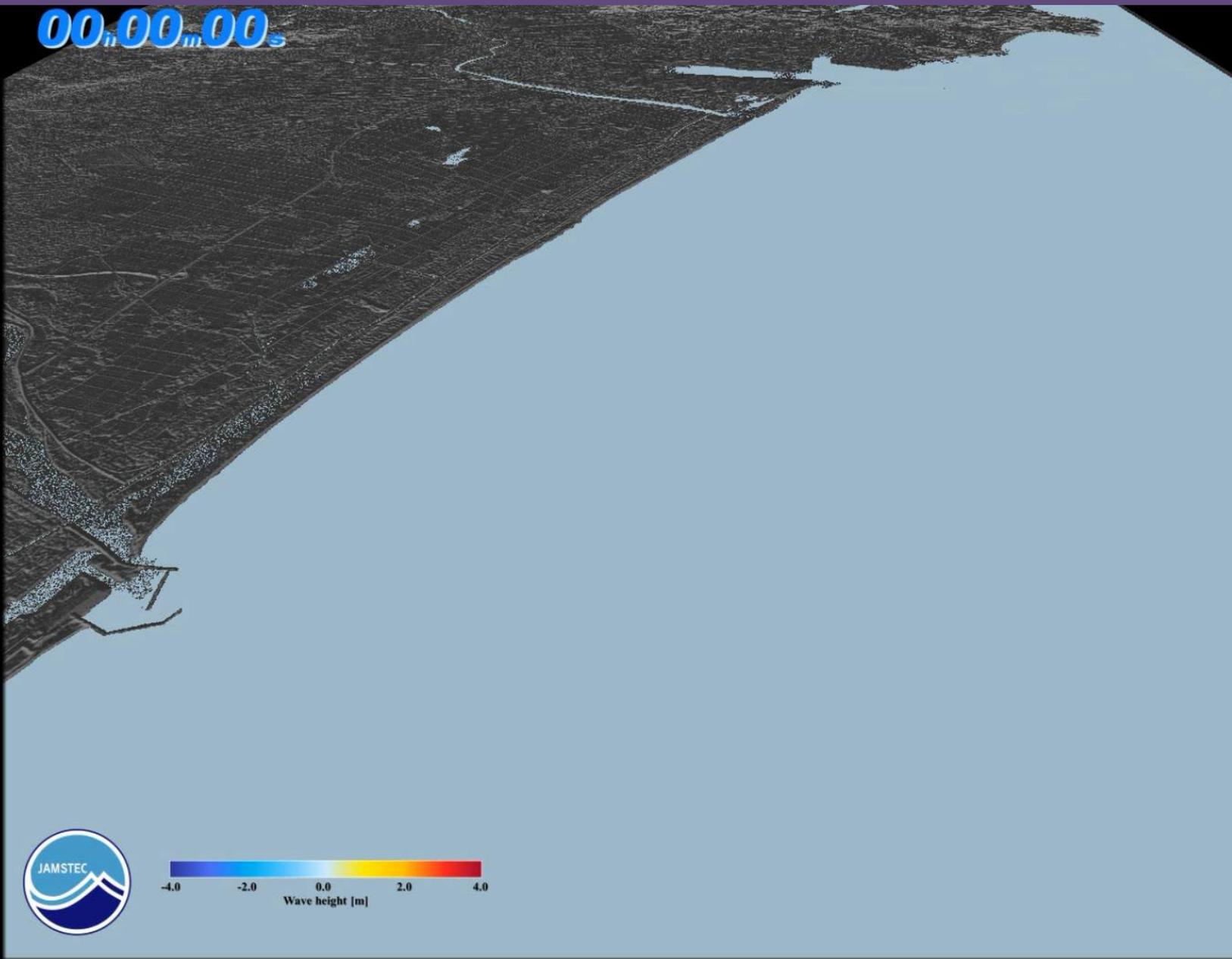
$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{1}{R \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{M^2}{d+h} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{MN}{d+h} \right) \\ = -\frac{g(d+h)}{R \sin \theta} \frac{\partial h}{\partial \varphi} - fN - \frac{gn^2}{(d+h)^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \\ + \frac{d^2}{3R \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[\frac{1}{R \sin \theta} \left(\frac{\partial^2 M}{\partial \varphi \partial t} + \frac{\partial^2 (N \sin \theta)}{\partial \theta \partial t} \right) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{R \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{MN}{d+h} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{N^2}{d+h} \right) \\ = -\frac{g(d+h)}{R} \frac{\partial h}{\partial \theta} + fM - \frac{gn^2}{(d+h)^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \\ + \frac{d^2}{3R} \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\frac{1}{R \sin \theta} \left(\frac{\partial^2 M}{\partial \varphi \partial t} + \frac{\partial^2 (N \sin \theta)}{\partial \theta \partial t} \right) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

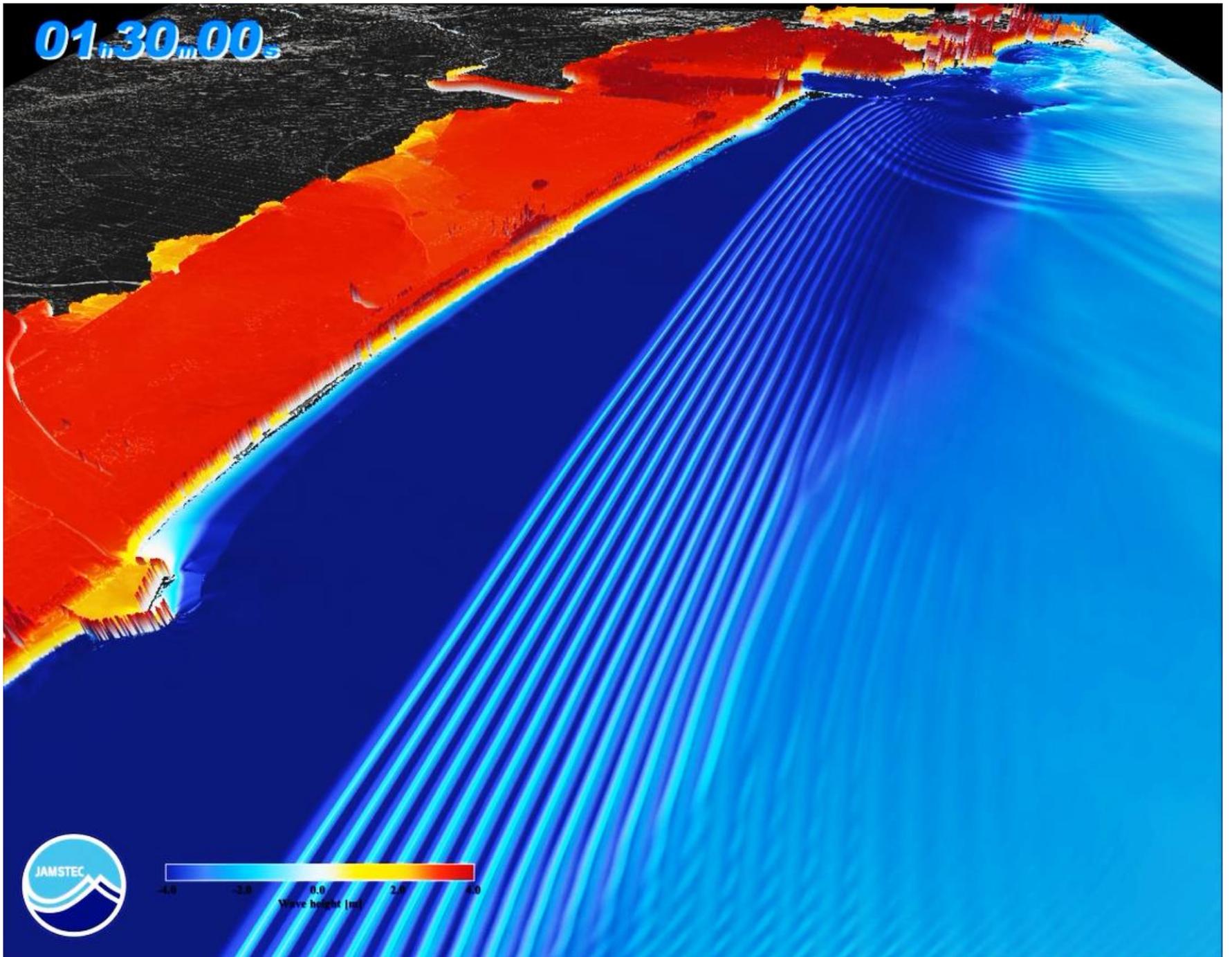
今後の課題：分散波モデルの最適化

非線形分散波モデルによる東北津波シミュレーション

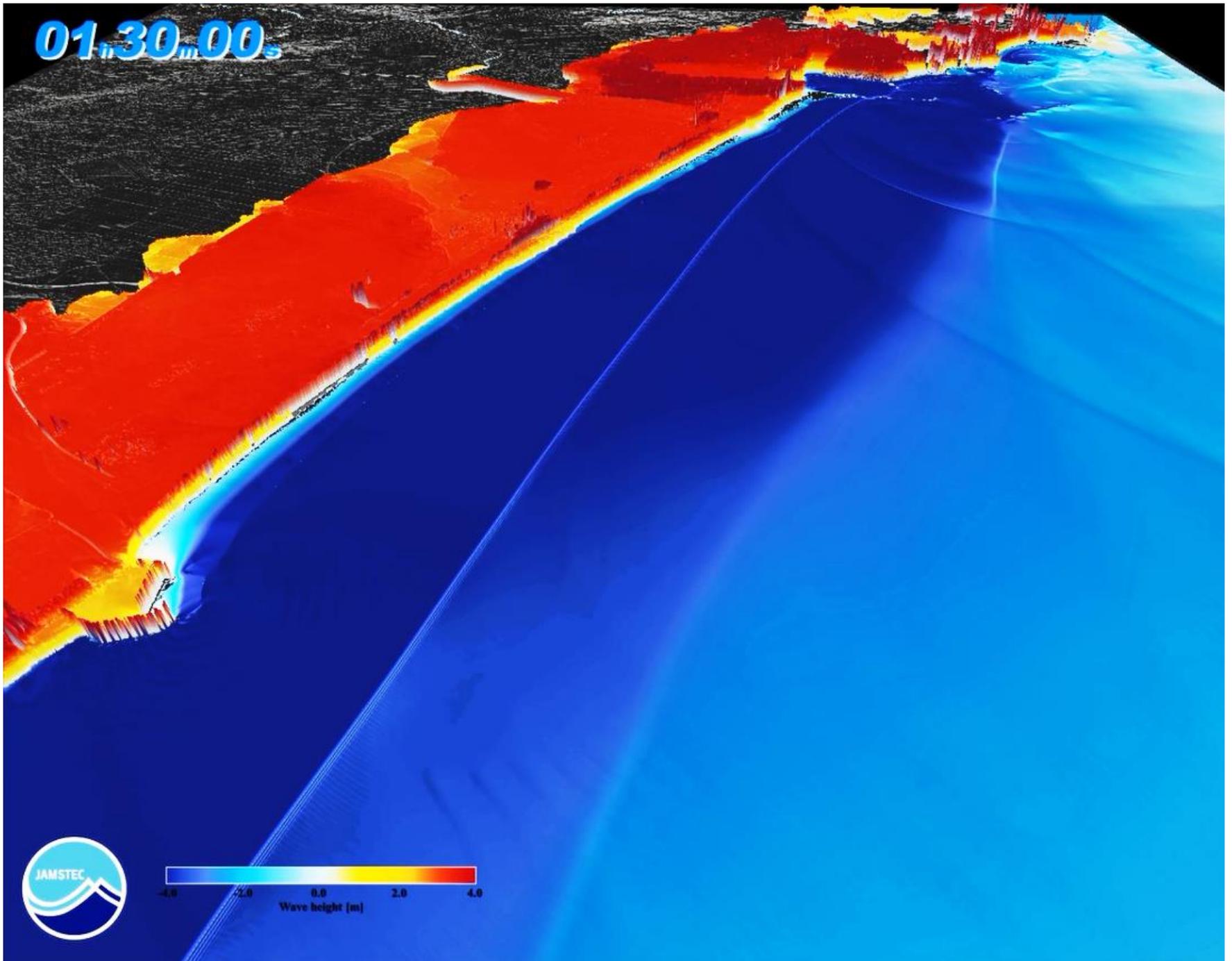
00:00:00



01_h30_m00_s



01_h30_m00_s

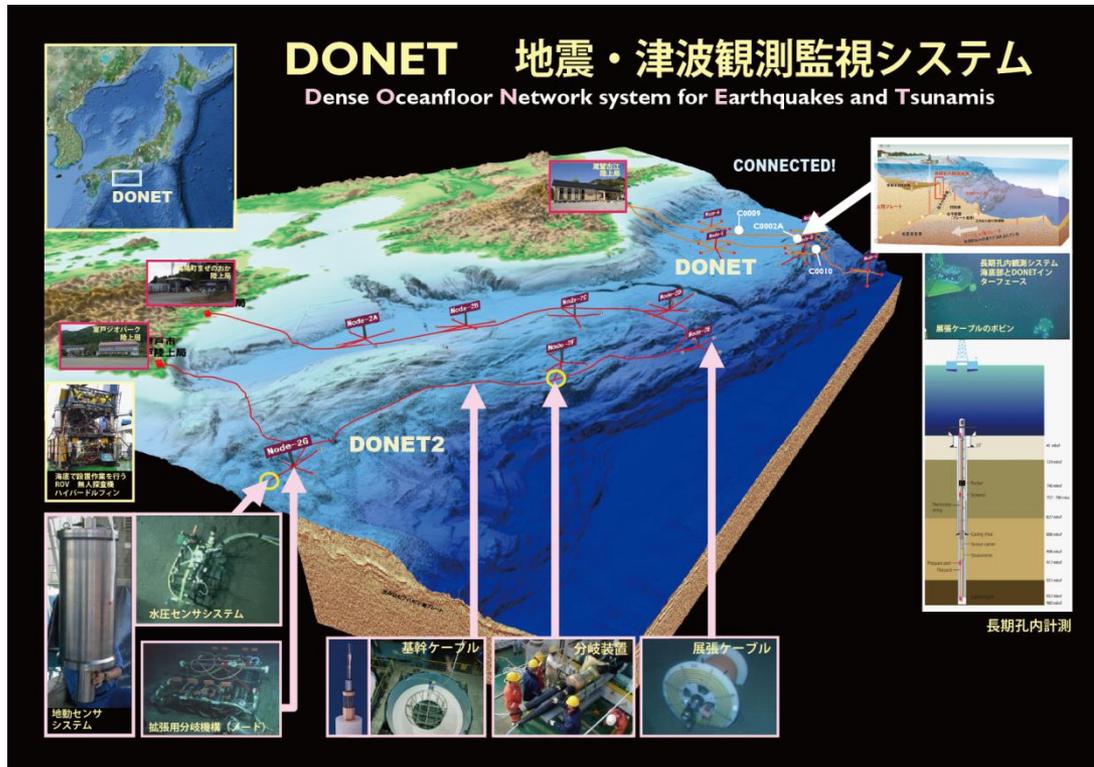


**広域・高分解能な津波計算も高速
で解けるようになった。
では、次の課題は.....**

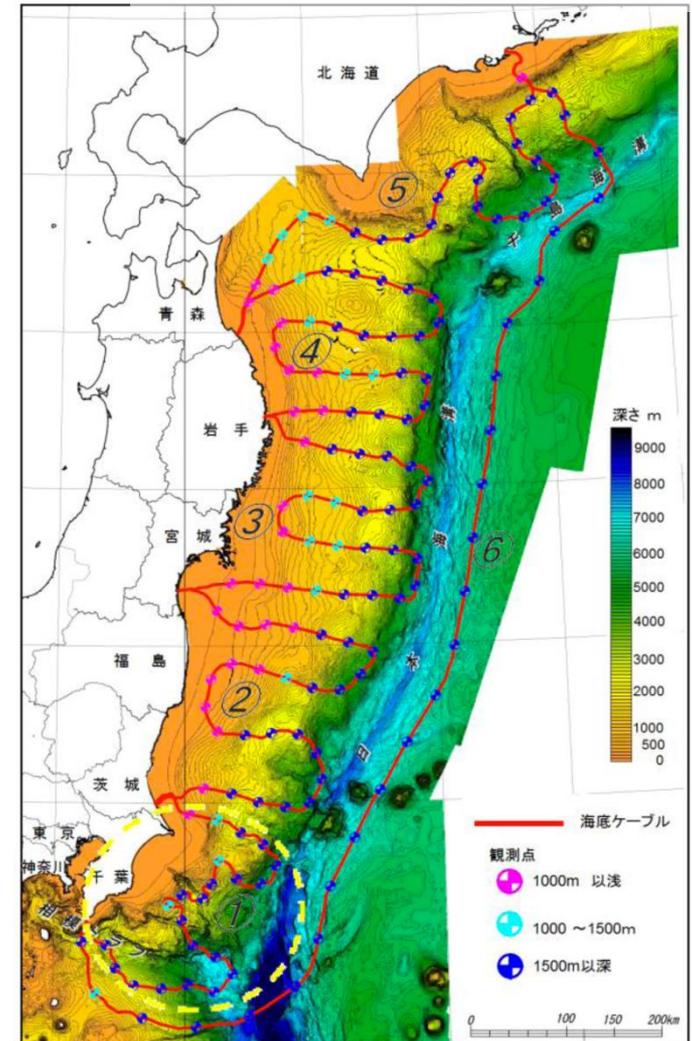
いかに波源を早く推定するか

リアルタイム海底地震・津波観測網の活用

地震・津波観測監視システム
(DONET, 海洋研究開発機構)



日本海溝海底地震津波観測網
(防災科学技術研究所)



沖合で津波の発生をいち早く捉え、波源を推定する

まとめ

- 論理トーラス形状に最適な計算アルゴリズムを適用することによって、津波計算の高速化を実現。
- 1000億格子（ネストなし）モデルでは、全系で1.22PFLOPS（ピーク性能比11.5%）を達成
- 当初、7時間必要だった高知県モデル（高知県全域5m分解能、6.8億格子、積分時間5時間）が、1.5時間以下で完了するようになった。

今後の予定と課題

- 初期水位分布推定の高度化with津波課題気象研
- 海域観測網の整備

ありがとうございました。