

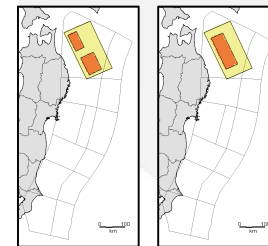
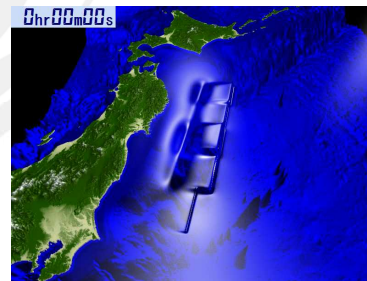


東北大学

東日本大震災を踏まえた津波 の即時予測・評価への取組

2015. 6. 23 20周年特別シンポ
東北大学 災害科学国際研究所
今村文彦

- 我が国での津波研究の取組—50年の振り返り
- 東日本大震災での課題
- 地震調査調査員会/津波評価部会の発足と取組
- 即時予測・評価への挑戦 —HPCI京などの利用
- 今後の課題



1 津波関連の科学技術—50年の振り返り

- 1952年 日本で津波警報システム始まる(地震規模・位置を基礎として)
- 1960年 チリ沖地震津波(遠地津波対応, 国際警報システム, 沿岸防災施設整備)
- 1980年代 数値シミュレーション技術発達
- 1983年 日本海中部地震津波(警報10分以内に)
- 1993年 北海道南西沖地震津波(警報5分以内に)
- 1990年 ハザードマップ作成展開, 海底津波計, GPS波浪計観測
- 1999年 気象庁量的予報始まる(データベース)
- 2000以降 スマトラ地震・インド洋津波, サモア, ムンタワイ地震津波など 国内外で災害多発
- 2010年 チリ中部地震津波(遠地津波, 津波避難での課題), HPCI 京プロジェクト
- 2011年 東日本大震災(現在, 関連死も含めて2万1千名の犠牲) 想定を遥かに上回る規模

2. 東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）での津波研究課題

- **M9地震による津波**は過去に記録がなかった。
- 甚大な浸水域，巨大な津波パワー，甚大な津波被害，復旧・復興の遅れ，国内外への影響
- 津波関連研究の課題整理；
- 1 津波の**発生過程**
 - 2段階の津波発生（浅部発生メカニズム）— 超大すべり域
- 2 津波の**伝播過程**
 - ソリトン分裂波，構造物との相互作用，漂流物
- 3 津波の**遡上過程**およびその他
 - 都市域での複雑な挙動，津波堆積物，土砂移動（浸食・堆積），漂流物の移動と補足
- 4 **津波被害**（破壊力，火災，長期浸水）

2.1第1段階：穏やかな上昇と第2段階の急な上昇」(港空研資料,2011)

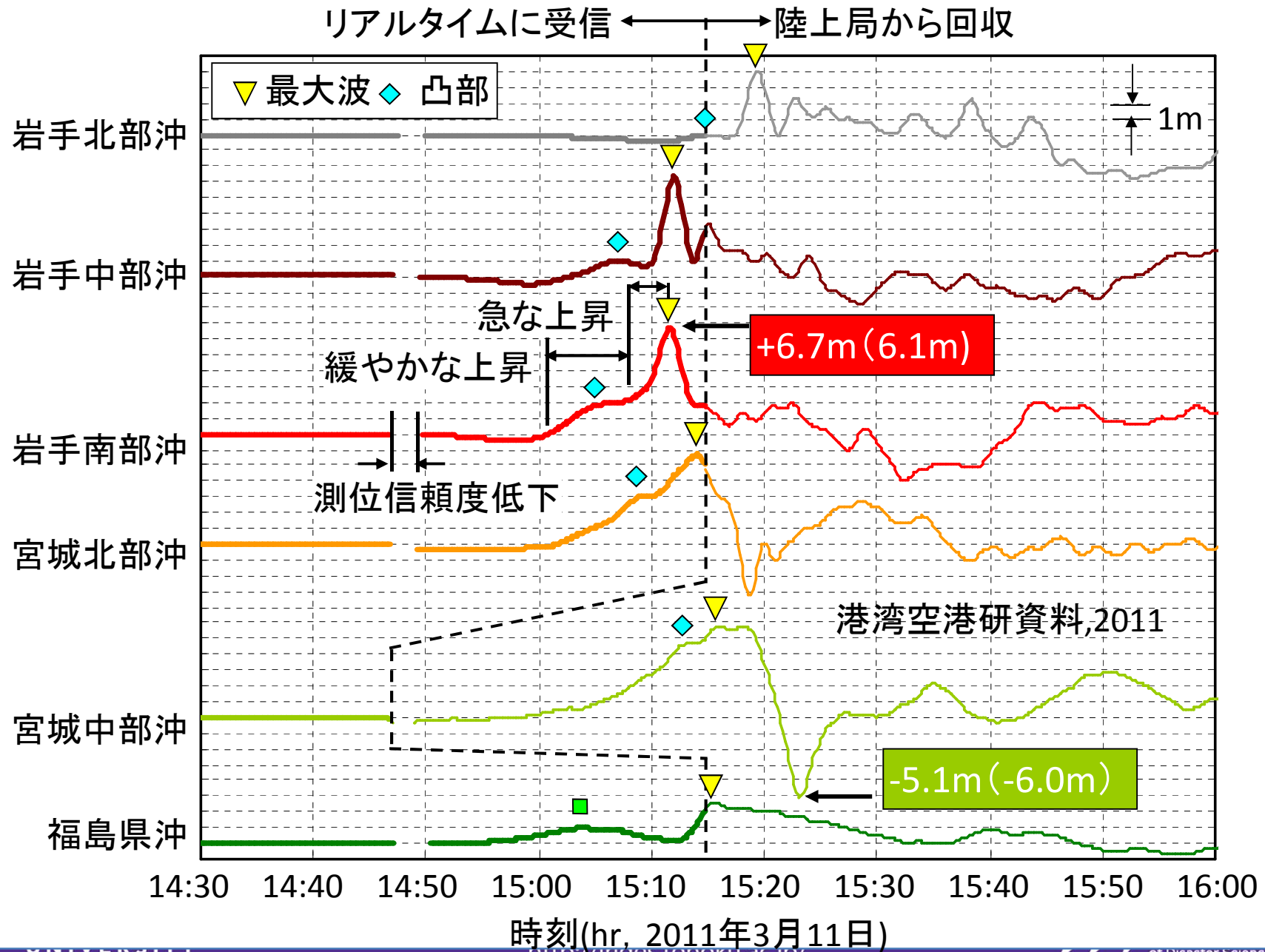


Photo taken at Miyako City, Iwate Prefecture 岩手県宮古市
Courtesy of Tarocho Fisheries Cooperative Association

津波の濁流の色，沿岸での瓦礫の色





2011.4.20
UNIVERSITY

津波の濁流の色，沿岸での瓦礫の色

<http://irides.tohoku.ac.jp/>

International Research Institute
of Disaster Science

2.2 仙台平野での津波による被害・影響

膨大な漂流物



津波避難ビル



浸水域



救助・捜索活動



防潮林の破壊

素因	誘因	影響(拡大要因)	被害	
浸水(泥水)	海水(塩分), 土砂移動, 火災発生	溺死(呼吸困難, 津波肺), 延焼, 海水植物枯	地域崩壊, 火災, 農業被害	
流れ	漂流物・船舶, 土砂, 可燃物	破壊, 浸食, 堆積, 火災, 延焼, 土砂移動	家屋・施設被害, インフラ被害, 環境破壊	
波力	浸水x流れ ²	破壊力(破壊増)	家屋・施設被害, インフラ被害	

2.3 今後の主な課題

- 津波の**予測**や**評価技術**の向上
 - リアルタイム性
 - 長期評価と不確定性(確定と確率) => レシピの作成
 - 複雑系津波波源の推定, 非地震性津波の発生
- 津波**影響**・**被害の推定**・**評価**
 - 陸上の遡上過程(土砂移動, 漂流物)
 - 交通インフラへの影響
 - 津波火災
 - 複合災害の多段階影響評価(地震動, 液状化, 津波浸水, 火災など)

3. 地震調査委員会 津波評価部会の発足と取組

- 想定外を無くす
- 地震長期評価との対応

3.1 津波評価部会の発足



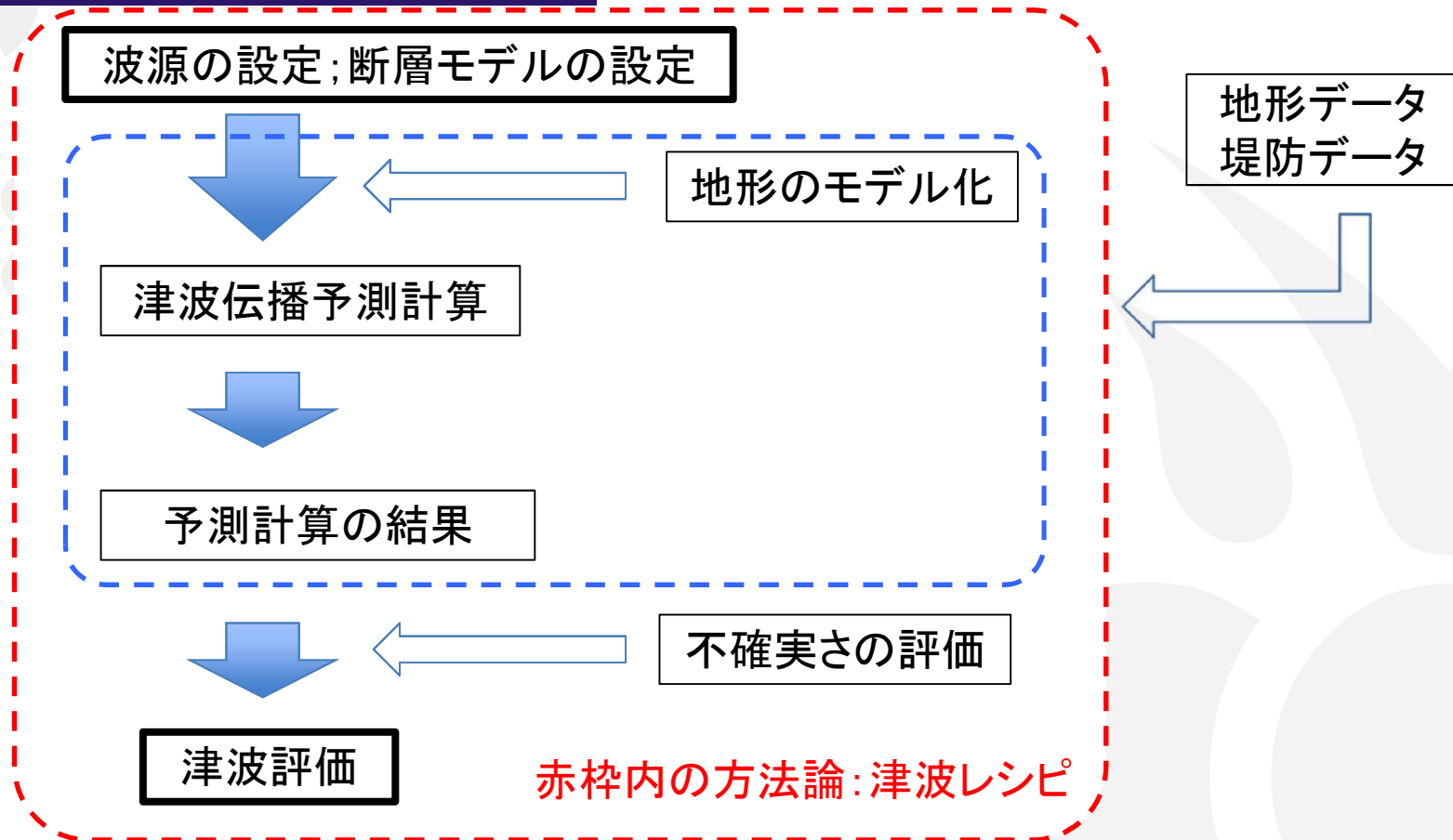
津波評価部会では、地方公共団体等による避難計画や施設整備等の津波防災対策の検討に資するため、科学的知見に基づき、以下の3点を中心に検討を進めることとしている。

- (1) 津波の予測や評価のための標準的な手法
- (2) 標準的な手法に基づく津波評価
- (3) 利活用のためのニーズや課題の把握及び分かりやすい表現方法

レシピとして取りまとめ予定

レシピの適用例として、日本海溝(三陸沖から房総沖)の地震に伴う津波の評価を取りまとめ予定

3.2 津波レシピの概観



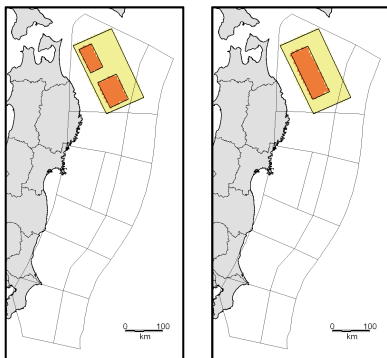
※上図中の断層モデルの設定については、震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)(地震調査委員会, 2009改定)を参考にしている。

※青枠内にある地形のモデル化、津波予測計算(シミュレーション)、予測計算結果は、最大クラスの津波が悪条件下で発生した場合について「津波浸水想定の設定の手引き」(国土交通省, 2012)に既に記載・公表されている部分であり、同手引きに既に記載されている内容については、これを引用する形で用いる。

3.3 断層モデルの設定

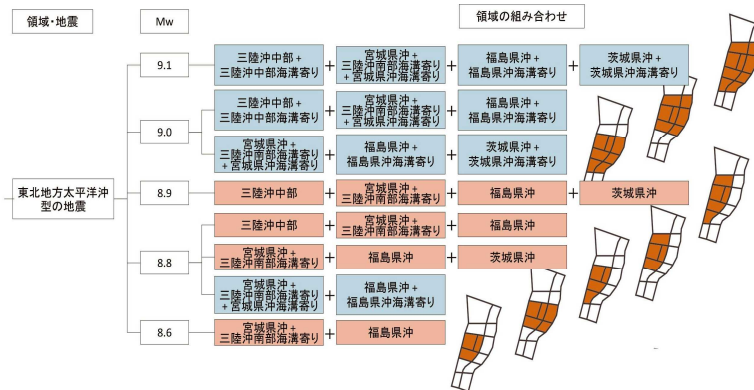
「長期評価」により、震源域の形状評価がある場合には、その形状評価を推定根拠に留意して利用することを基本とする。

- ・**単一領域で繰り返し発生する地震**：
長期評価に基づき設定



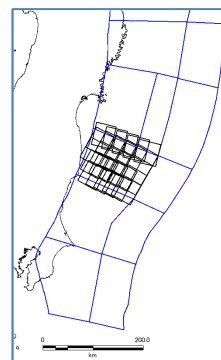
例：三陸沖北部の繰り返し発生する地震

- ・**複数の領域を震源域とする地震**：
長期評価の領域区分を基に、
連動する領域の多様な組み合わせを考慮

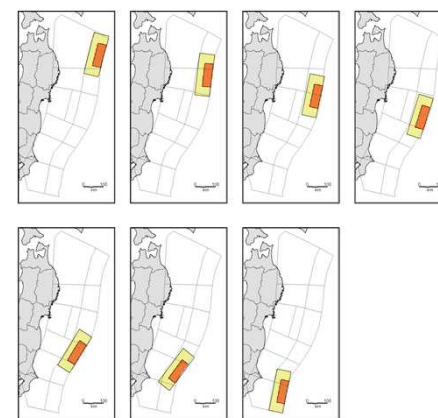


例：東北地方太平洋沖型の地震

- ・**繰り返し発生する地震以外の地震**、
領域内のいずれかの位置で発生する地震：
長期評価の領域区分を基に、
多様な波源断層の位置を考慮

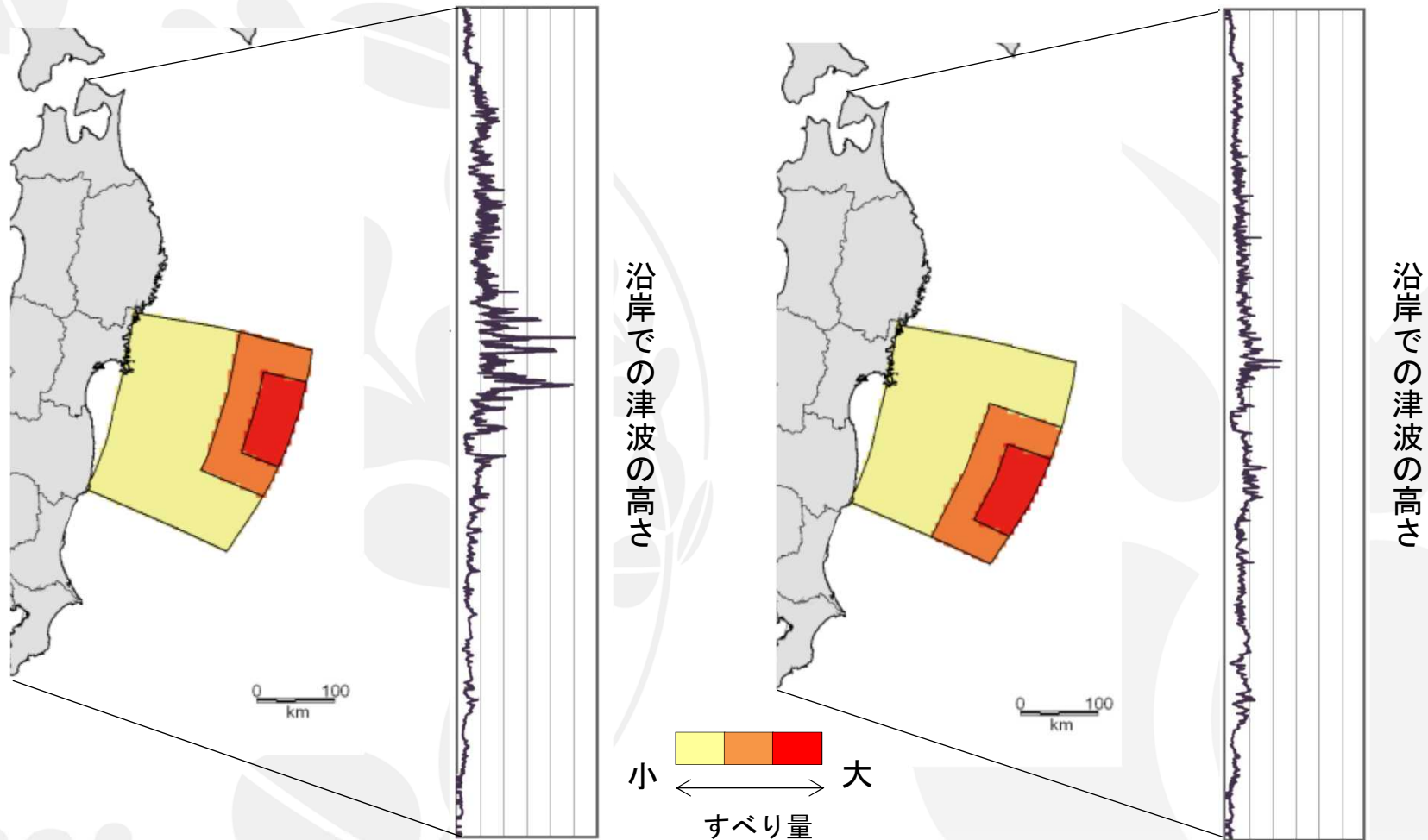


例：福島県沖のプレート間地震



例：津波地震

3.3 断層モデルの設定とそれに対応する津波予測計算結果(例)



震源域が同じでも、大きくすべる場所が違っていると発生する津波も異なる



すべり分布等の不確実性を踏まえた評価手法や計算結果の表し方を検討

3.4 利活用のためのニーズや課題の把握

I 目的に対し;どのような対策, 何に対して(シナリオ), 誰が? を整理

1. どのような対策を実施するのか?		2. 考えられる被害をリストアップする		3. 被害シナリオを選択する		4. 対策を実施する
目的	対策手段	実施する津波シミュレーション	必要想定項目	被害想定シナリオ選択主体	シナリオの選択	対策実施者
命を守る	避難、避難場所の設定、避難訓練	科学的合理性を持った最悪	浸水範囲、到達時間	行政、住民	—	住民
	津波避難施設設計	科学的合理性を持った最悪	浸水範囲、浸水深さ、到達時間	行政、住民	—	行政・住民
命・財産・業務を守る	土地利用計画	全て	浸水範囲+建物被害	住民、水産事業者	合意可能なシナリオ	住民、水産事業者、行政
	堤防計画	発生確率の高いシナリオ	津波高	堤防設置者	妥当性の高い複数のシナリオの中から合意可能なシナリオ	堤防設置者(行政、堤外地の事業者等)
財産・業務を守る	保険補償	全て	確率密度をもった浸水範囲・浸水深	保険業者	確率密度	保険業者
	事前復興計画	全て	建物被害	市民、事業者	合意可能なシナリオ	住民、事業者、行政

3.4 利活用のためのニーズや課題の把握

Ⅱ 各利用者が関係する対策・必要な情報・留意点 (誰がどのような情報を使うのか?)

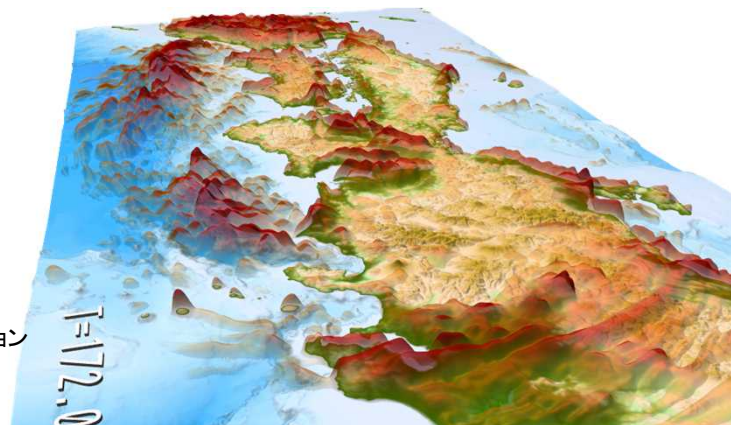
各利用者	避難	津波避難施設	土地利用	堤防計画	保険	事前復興	必要な情報	留意点
住民	◎	○	◎	○		◎	浸水範囲、到達時間、津波による建物被害想定、津波高、想定の方法(震源等々)	分かりやすく/ばらつきを踏まえる
事業者	◎	○	◎	○		○	浸水範囲、到達時間、津波による建物被害想定、津波高、各シナリオの確からしさ 浸水深、流速	分かりやすく/ばらつきを踏まえる
福祉・医療事業者	◎	◎	◎			○	浸水範囲、到達時間、津波による建物被害想定、浸水深、各シナリオの確からしさ	分かりやすく/ばらつきを踏まえる
学校等	◎	○	○			○	浸水範囲、到達時間、津波による建物被害想定、各シナリオの確からしさ、想定の方法	分かりやすく/ばらつきを踏まえる
行政	◎	◎	◎	○		◎	浸水範囲、到達時間、浸水深さ、津波による建物被害想定、各シナリオの確からしさ、想定の方法	分かりやすく/ばらつきを踏まえる
堤防設置者			○	◎		○	津波高、発生確率の高いシナリオ	—
保険業者					◎		確率	確率

自分で情報を作成できない

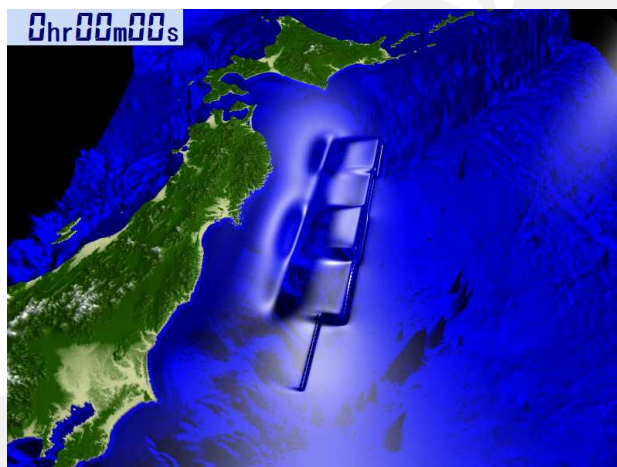
自分で情報を作成できる

4. 即時予測・評価への挑戦 —HPCI京などの利用

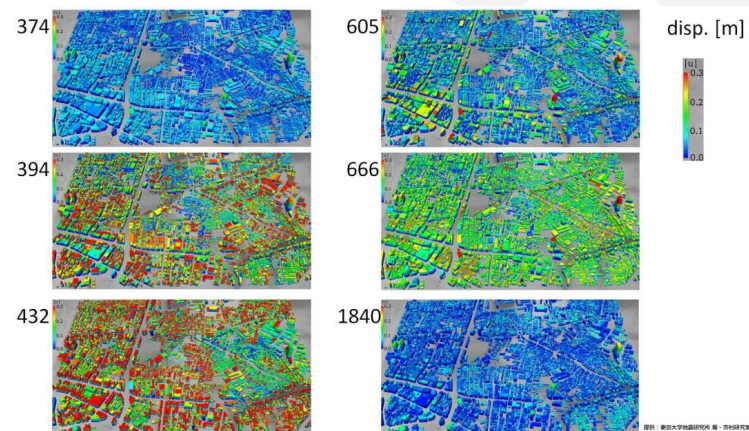
HPCI戦略プログラム分野3 防災・減災に資する地球変動予測



1707年宝永地震の地震動シミュレーション
(東京大学情報学環 古村孝志)



2011年東北地方太平洋沖地震の
津波シミュレーション
(東北大学大学院 今村文彦)

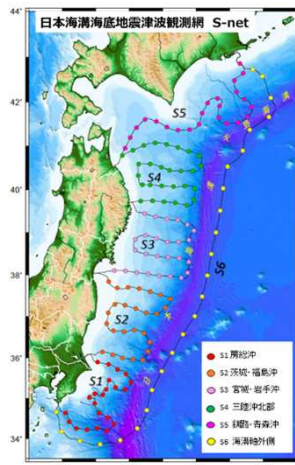


都市モデルと損傷分布の計算結果
(東京大学地震研究所 堀・市村研究所)

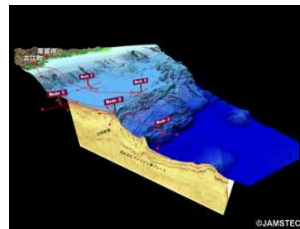
4.1 リアルタイム浸水予測に向けた課題

課題： 浸水を高精度に予測可能な波源推定技術

充実化が進む
リアルタイム観測網



<http://www.bosai.go.jp/>



<https://www.jamstec.go.jp/>

波源推定・
データ同化

計算機技術の発展で
広範囲津波浸水解析でも実
施可能な計算に



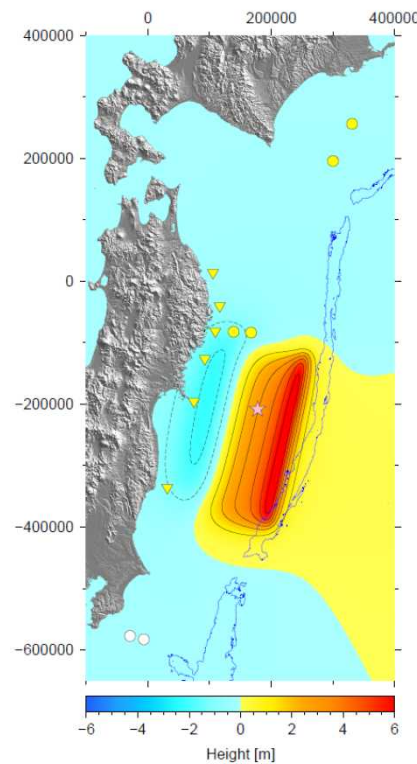
<http://www.aics.riken.jp/>

4.2 即時的波源解析 (tFISH/RAPiD)

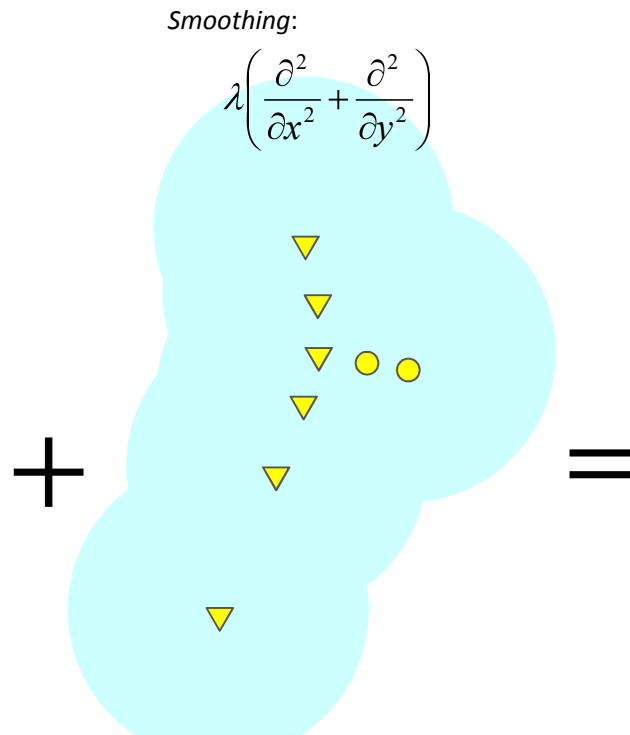
Tsushima et al. (2014)

- GNSS測地データから5分で得られるRAPiD解 (Ohta et al., 2012)を初期解として、**沖合津波データ**で時々刻々修正する
- 観測点からの逆伝播領域**→沖合津波データで修正**
- その外側**→GNSS測地データ**

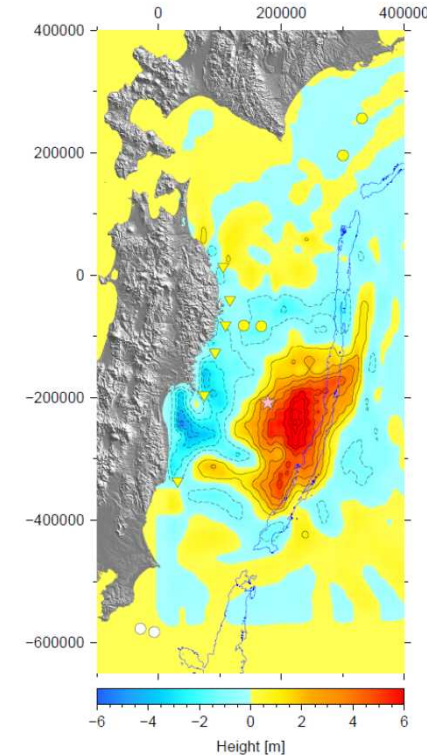
GNSS衛星測位システム



RAPiD解



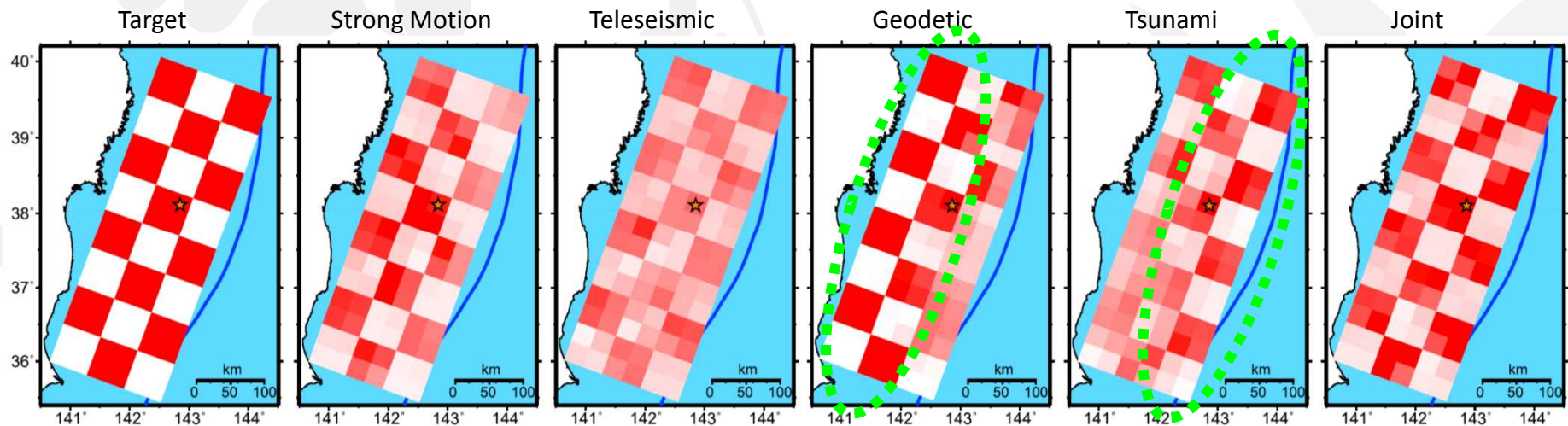
観測とRAPiD波形の差分
と津波波形で逆解析



修正解 (t = 40min)

4.2 浸水予測精度向上に向けた波源解析の要件

1. 波源の長波長成分の早期検出 (Ohta et al., 2012; Tsushima et al., 2014)
2. 津波が浸水までに伝播する経路の海面変動の高精度推定
3. 陸上の地盤沈下・隆起のモデル化



Yokota et al. (2011)

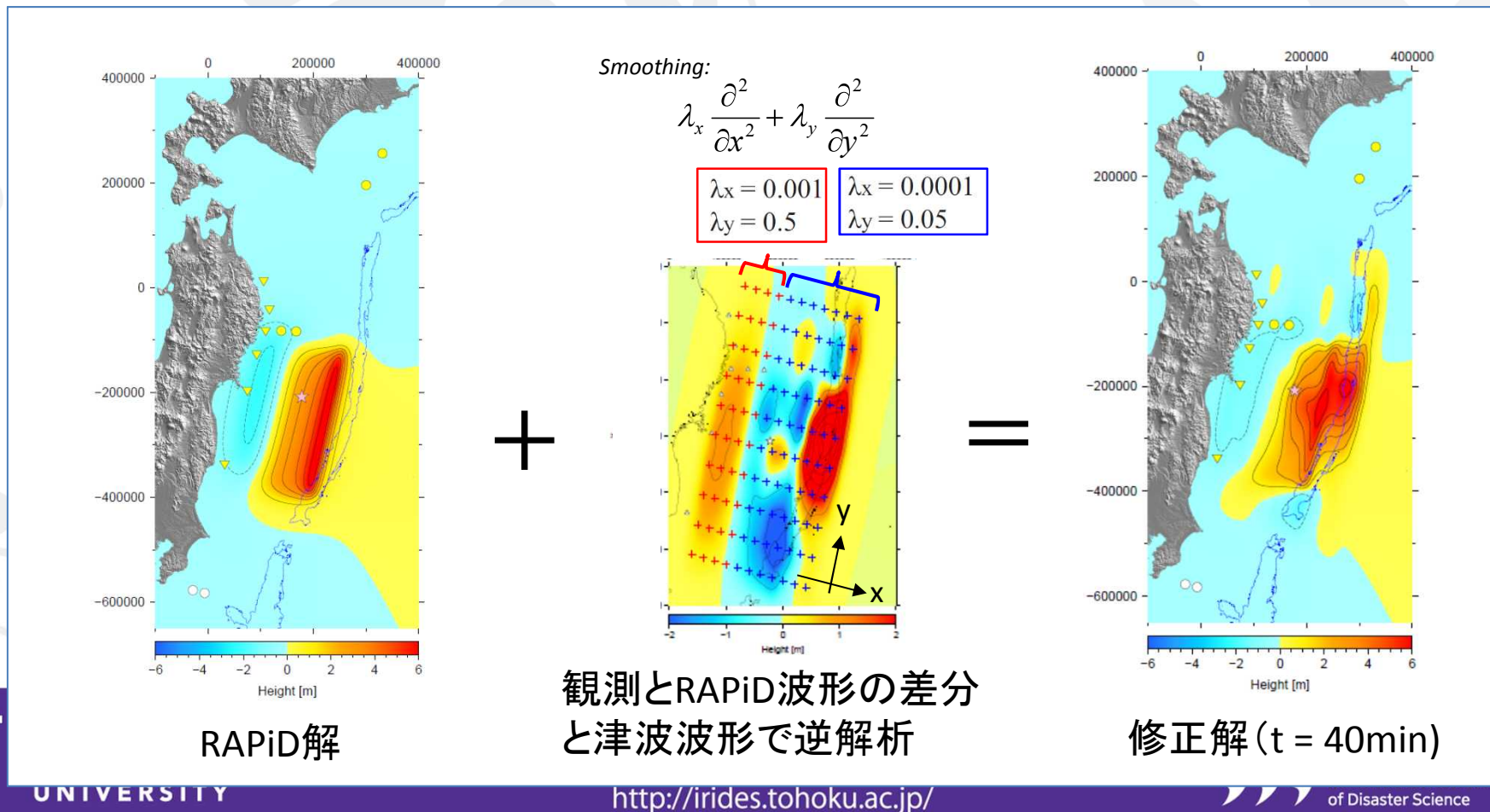
	検出速度	解像度 (沿岸)	解像度 (沖合)
GNSS測地 観測	早い	高い	低い
沖合津波 観測	遅い	低い	高い



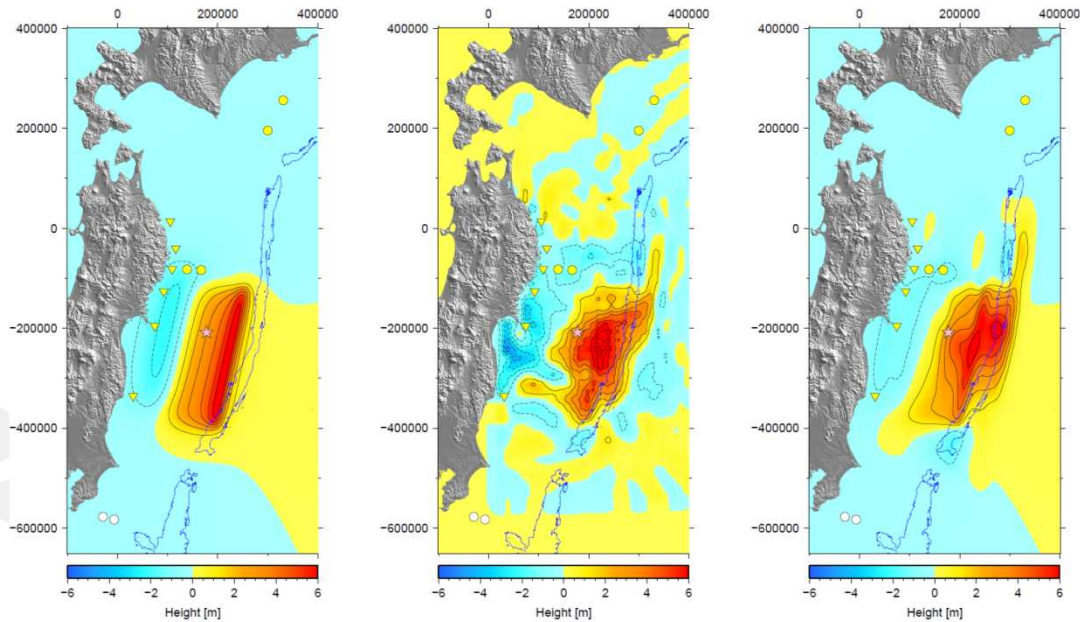
GNSS測地データと沖合津波データの利用が必要

4.2 提案手法 Oishi et al., (2015, in prep)

- GNSS測地データから5分で得られるRAPiD解 (Ohta et al., 2012)を初期解として、沖合津波データで時々刻々修正する
- 沿岸・陸上 → **GNSS測地データのみで推定**
- 沖合 → 沖合津波データで修正



4.3 浸水計算による予測精度の検証



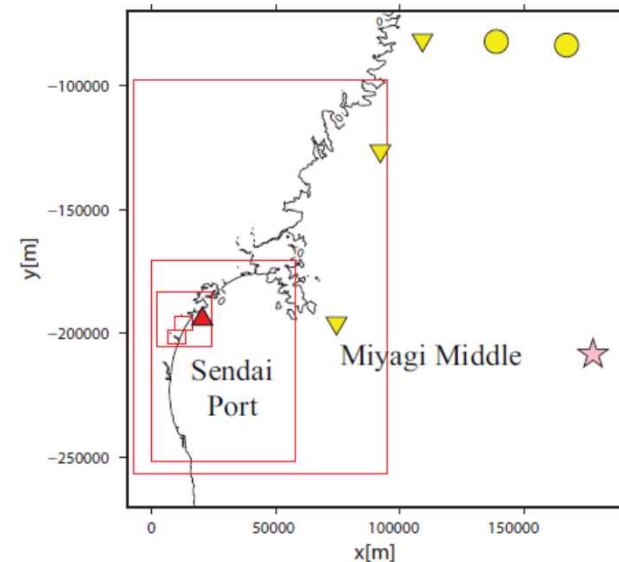
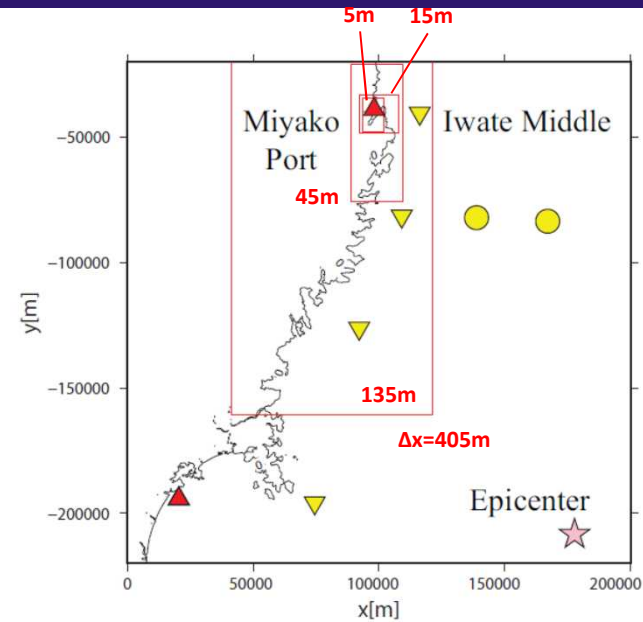
RAPiD

tFISH/RAPiD(40min)

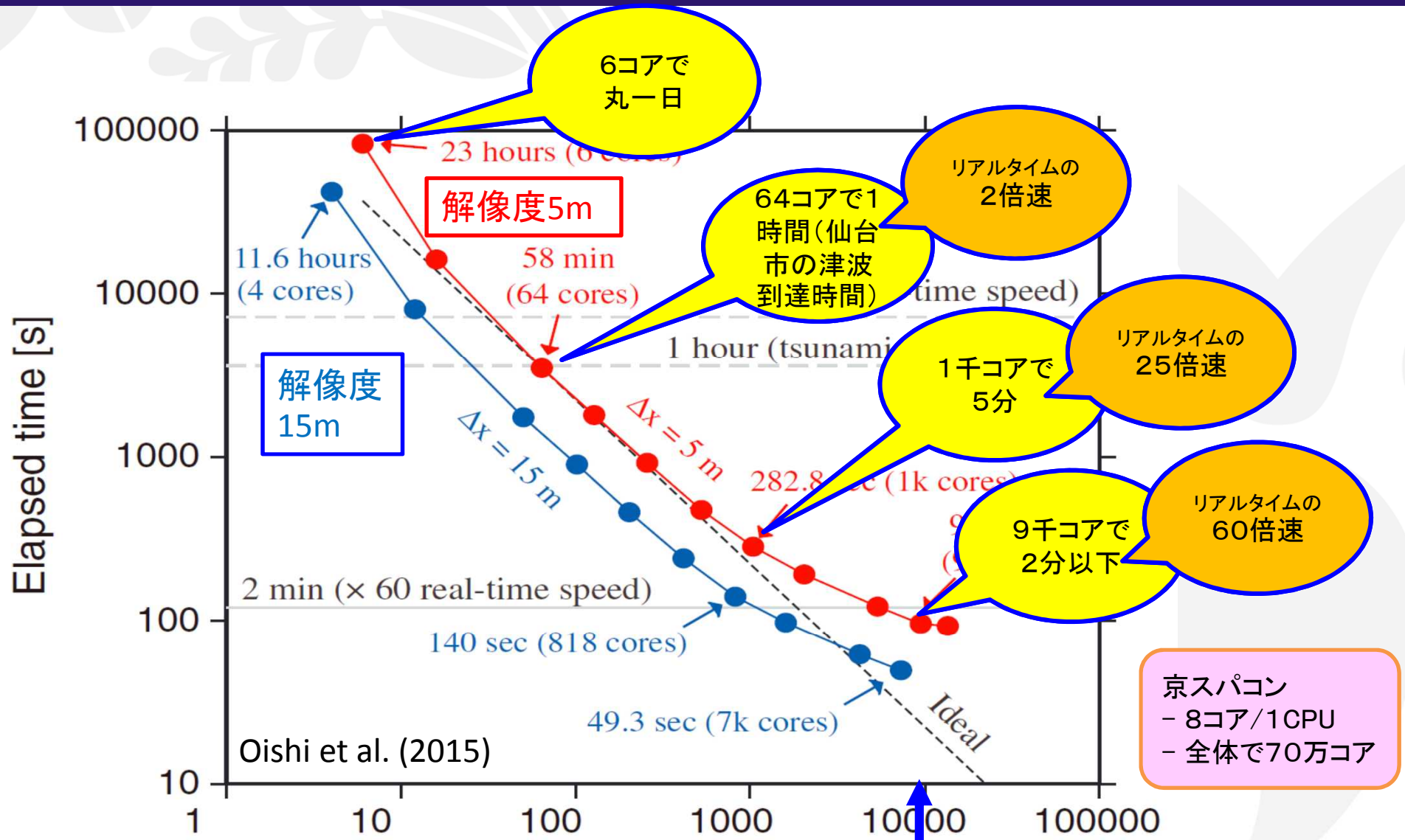
This study(40min)

浸水計算

- ✓ 並列版TUNAMI-N2 (Oishi et al., 2015)
- ✓ Manning粗度係数 $n = 0.025$
- ✓ タイムステップ $\Delta t = 0.1 \text{ s}$
- ✓ 5段階ネスティング格子 ($\Delta x = 5\text{m} - 405\text{m}$)



4.4 津波浸水計算の「京」での並列性能



京スパコン
 - 8コア/1CPU
 - 全体で70万コア

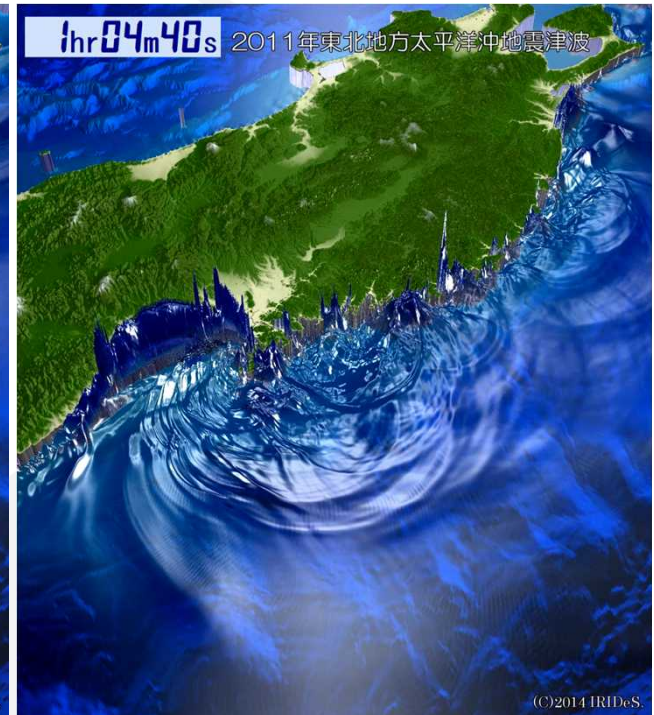
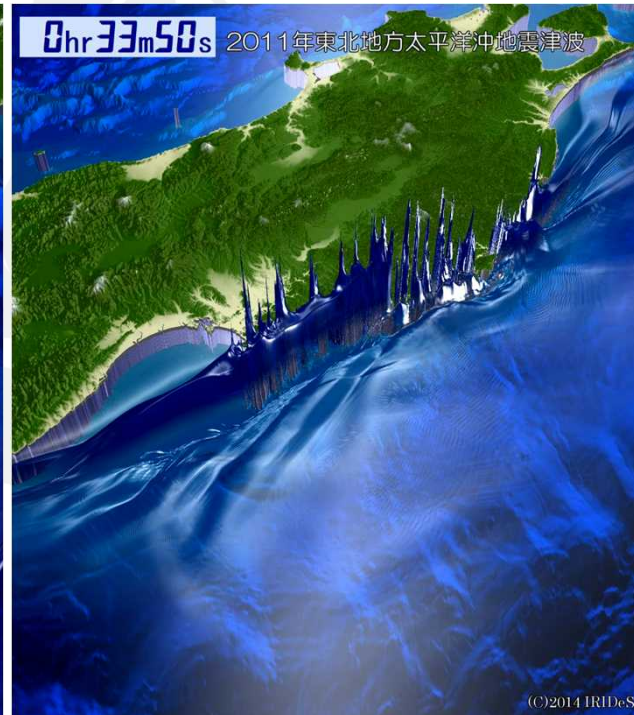
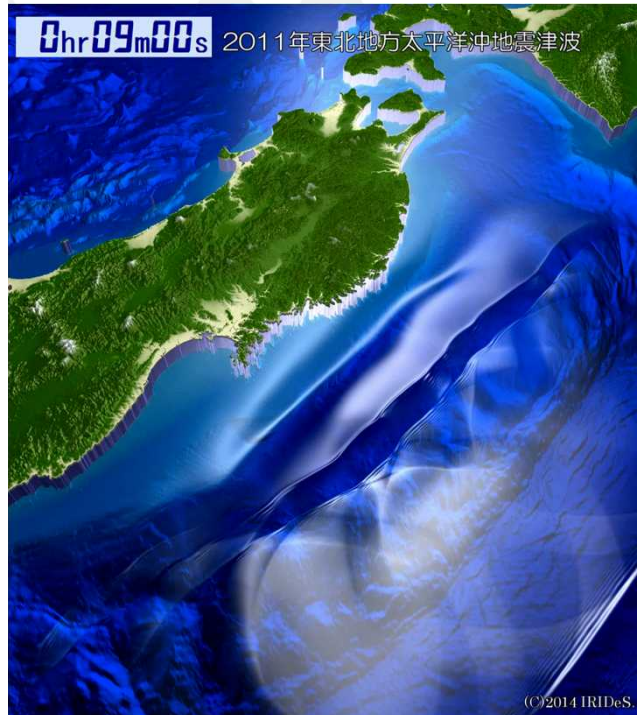
Oishi et al. (2015, GRL)

コア数

京の全系の約1.5%

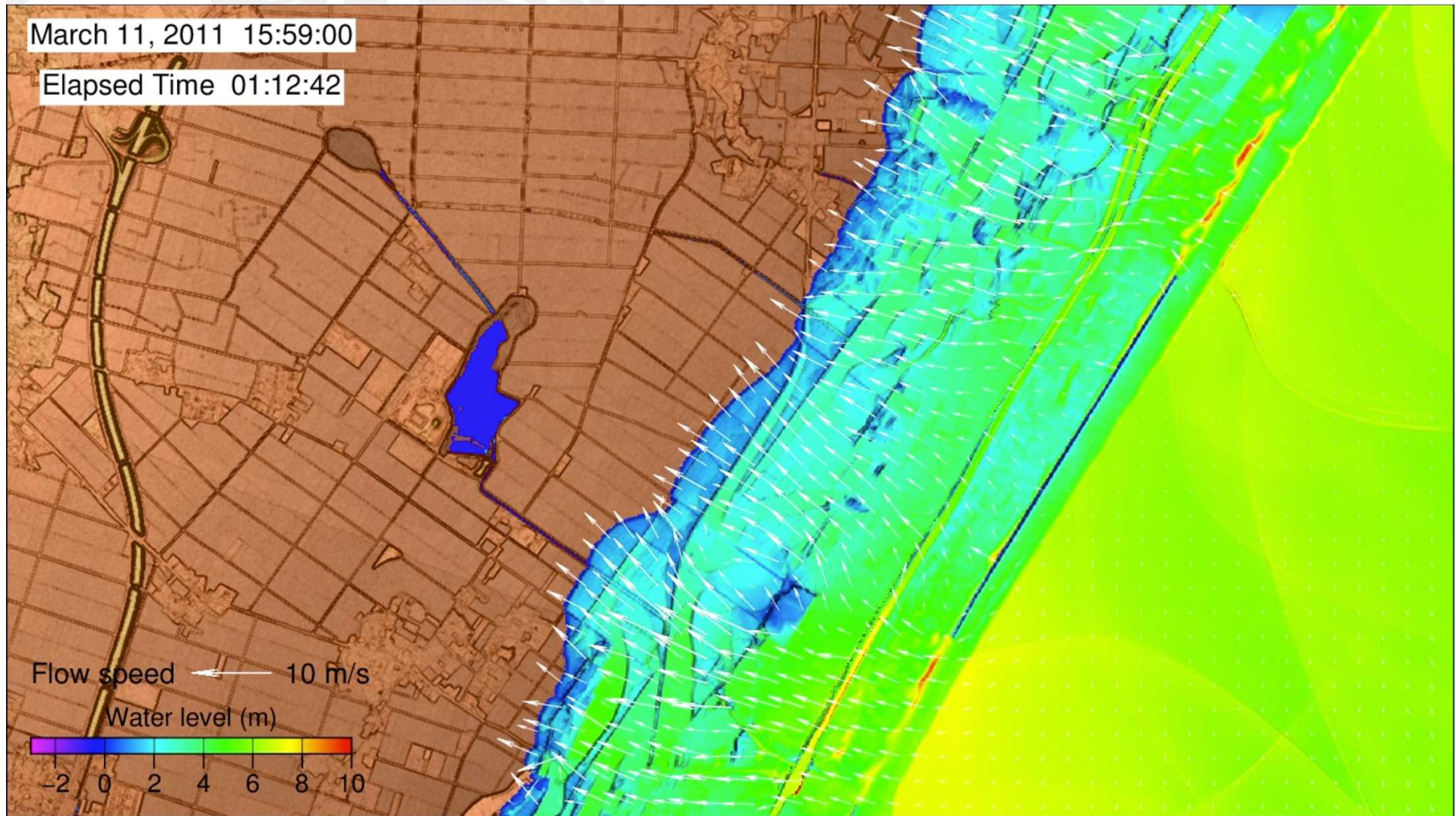
津波リアルタイム浸水予測—現実的に

2011年東北地方太平洋沖地震の津波シミュレーション結果



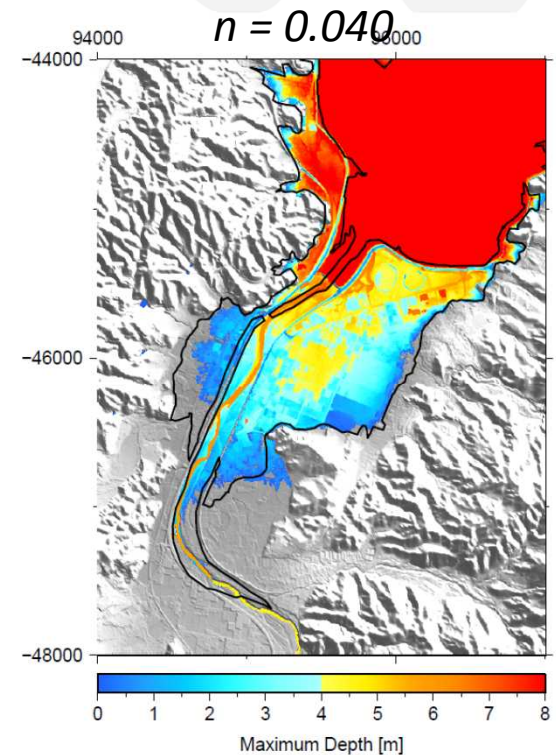
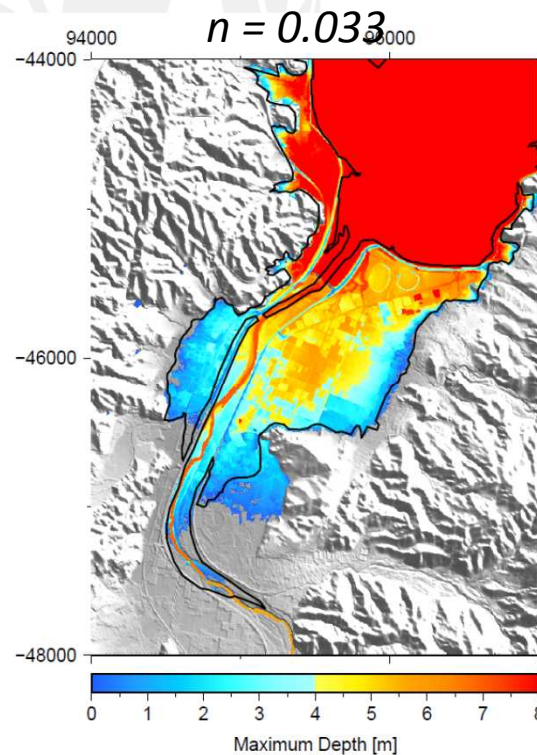
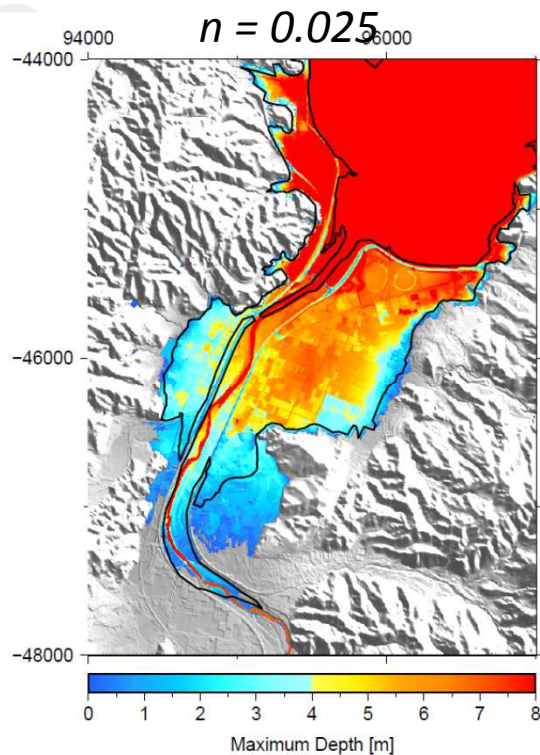
津波リアルタイム浸水予測—現実的に

2011年東北地方太平洋沖地震の津波シミュレーション結果(仙台平野)



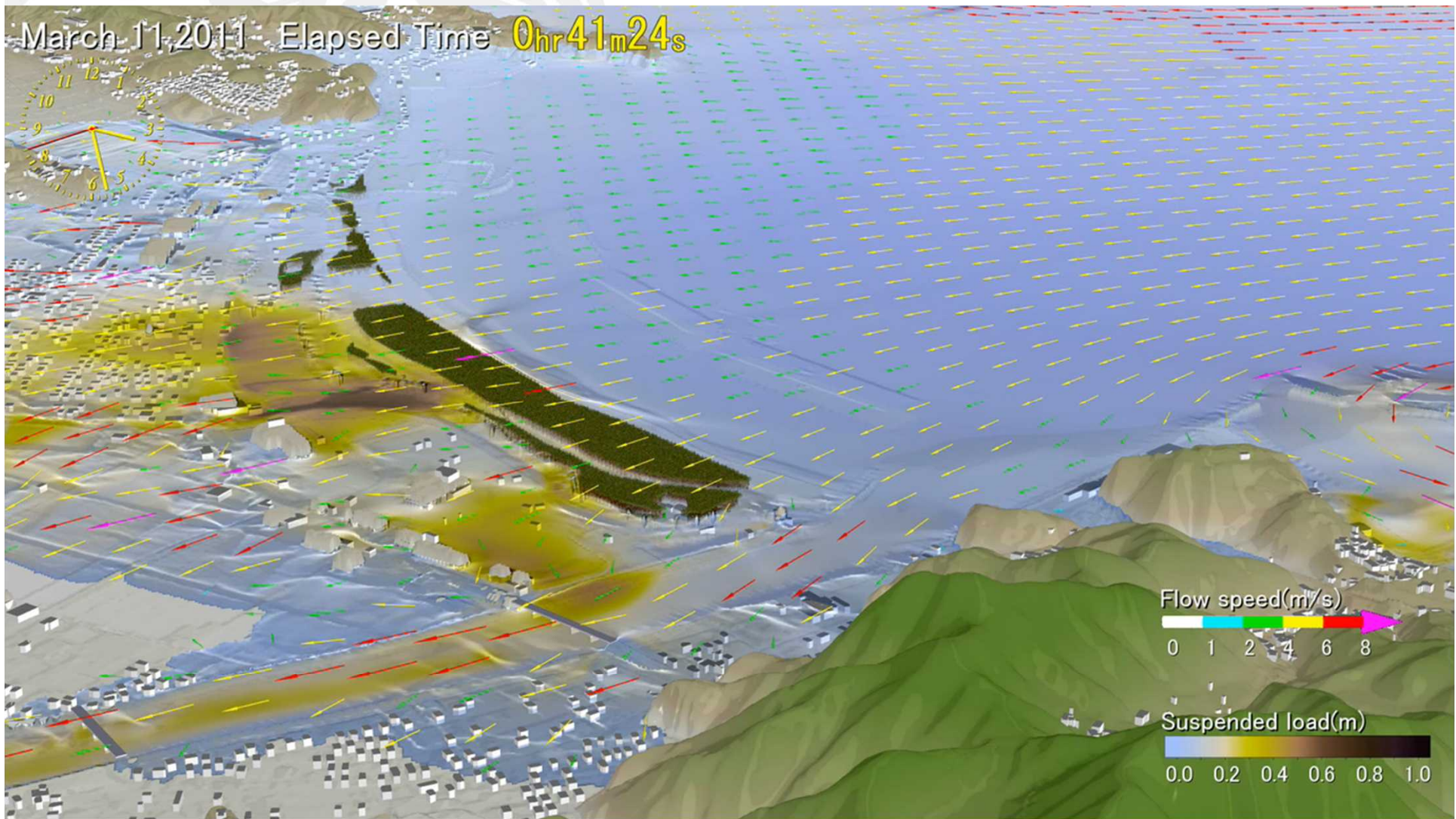
4.5 浸水予測精度について

- 並列処理により2時間分の浸水解析は2分以内
- 今後は、浸水解析の高精度化が必要
 - ➡本研究の高精度の入射波は再現計算にも有効
- 現状では、浸水解析の不確実性を考慮した予測が必要
 - ➡例えば、浸水域予測で粗度係数に幅を持たせる
- ➡例えば、土砂移動計算



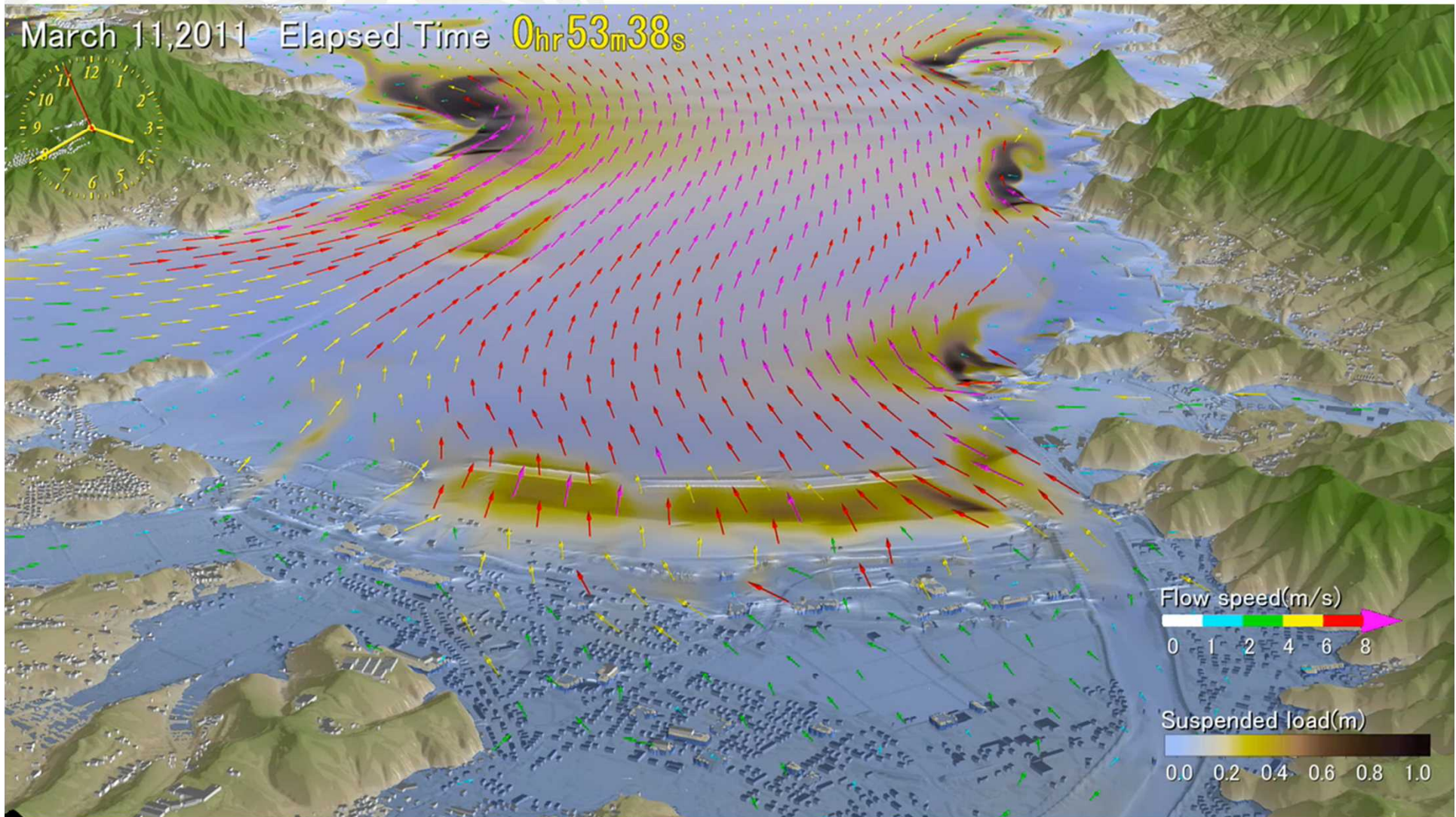
土砂移動も含めた津波解析—将来像

2011年東北地方太平洋沖地震におけるシミュレーション結果(陸前高田)①



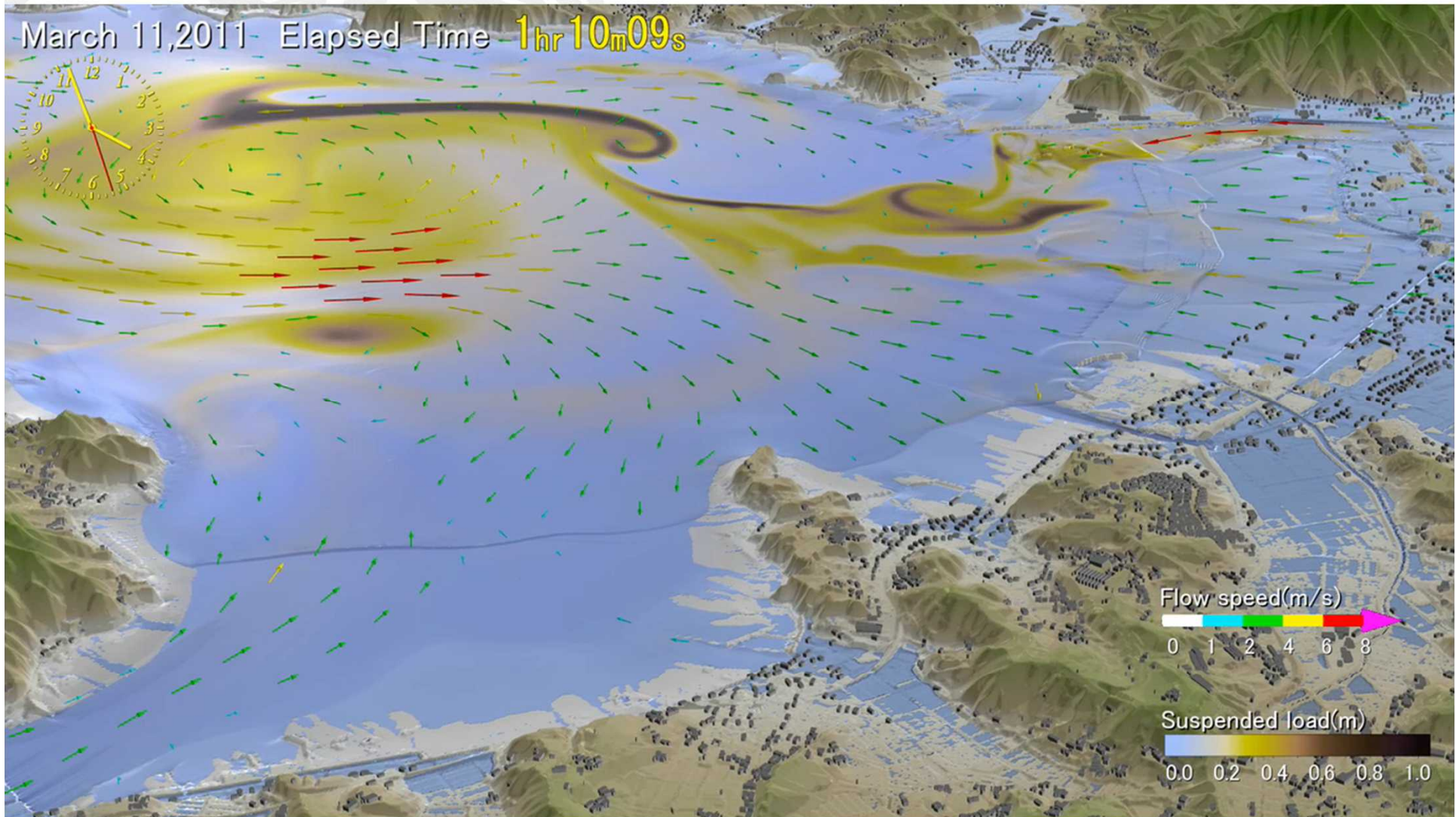
土砂移動も含めた津波解析—将来像

2011年東北地方太平洋沖地震におけるシミュレーション結果(陸前高田)②



土砂移動も含めた津波解析—将来像

2011年東北地方太平洋沖地震におけるシミュレーション結果(陸前高田)③



4.6 まとめ

- ◆ 浸水予測精度向上に向けた波源予測手法を開発
 - 沿岸 → GNSS測地データのみで予測
 - 沖合 → 沖合津波観測データで更新
- ◆ 既存の観測データを適切に解析することで、沖合の観測波形から沿岸の波形を高精度に予測可能であることを確認
 - 浸水解析技術の高精度化に向けた再現計算にも有効
- ◆ 今後の課題は、浸水解析の不確実性への対処

謝辞

本研究の計算では理研AICSのスパコン「京」を利用しました(課題番号:hp150216)。tFISH/RAPiDの解析データは気象庁気象研究所の対馬様に提供頂きました。東日本大震災時の観測データについては、国土交通省港湾局・港湾空港技術研究所のNOWPHAS、JAMSTECの海底水圧計、NOAAのDART、東大地震研の海底水圧計、気象庁の巨大津波計によるものを使用しました。地形データは、中央防災会議、東北地方整備局、国土地理院、海上保安庁によるものを使用しました。