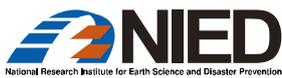


S-netデータを用いた 津波即時予測手法の開発について

国立研究開発法人 防災科学技術研究所
青井 真

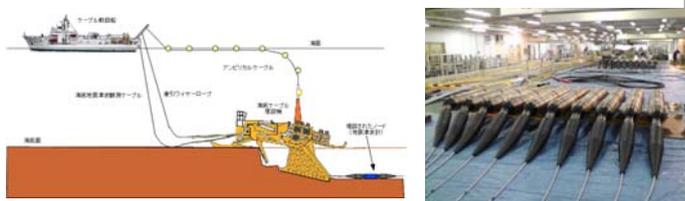


気象庁 第13回津波予測技術に関する勉強会 (2016/1/27)

日本海溝海底地震津波観測網 (S-net)

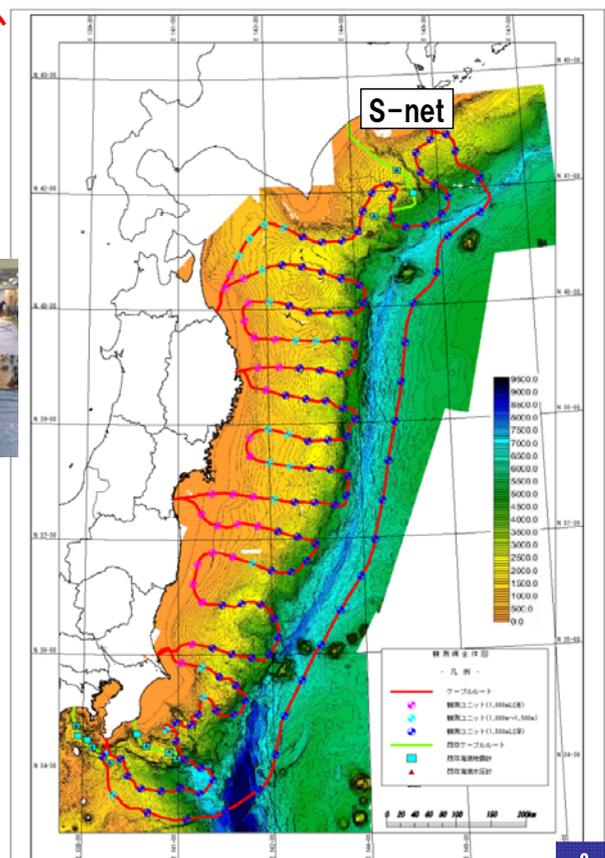
世界初の広域多点(150観測点)リアルタイム
海底ケーブル式地震津波観測網

- ・全長約5700kmの海底ケーブル
- ・東西方向に30km間隔南北方向に50-60km間隔
- ・マグニチュード7~7.5クラスの地震の震源域相当の面積に少なくとも1つの観測点を配置



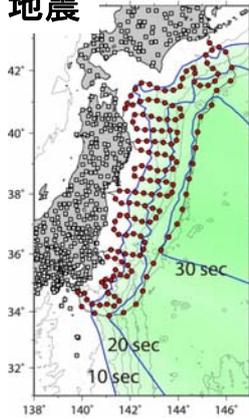
期待される成果

- ①津波を現状より最大**20分程早く**検知して実測値の情報を発信(伝播する津波の実況)。手法の開発を進めて沿岸津波高と到達時刻を現状より精度高く迅速に予測して、災害を軽減する(津波即時予測の高度化)。 **本課題で取り組む**
- ②東北地方の地震像の解明
 - ・地殻変動(鉛直方向)の観測
 - ・将来起きる地震の正確な予測
- ③最大**30秒程度早く**検知して緊急地震速報に活用。



S-netによる地震・津波検知への貢献について

地震



海底観測網を設置することによって、海溝型地震の発生を現状よりどれだけ早く検知できるか？(猶予時間)

シミュレーションの結果
(地震波の速度を秒速7kmに仮定)

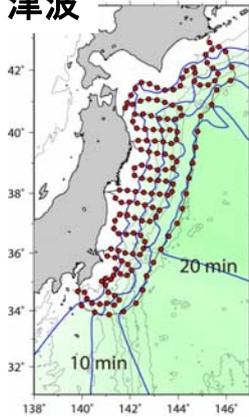
最大30秒程度早く検知して、緊急地震速報に活用
⇒約30秒ほど、緊急地震速報が早くなる。

海溝型地震の震源近くで観測できることから、地震の規模(Mや深さ、位置)が正確にわかる。

⇒気象庁の津波警報にも寄与

(気象庁の津波警報は、震源情報を基に事前に計算したデータベースから予測し、警報を出します)

津波



海底観測網を設置することによって、津波の発生を現状よりどれだけ早く検知できるか？

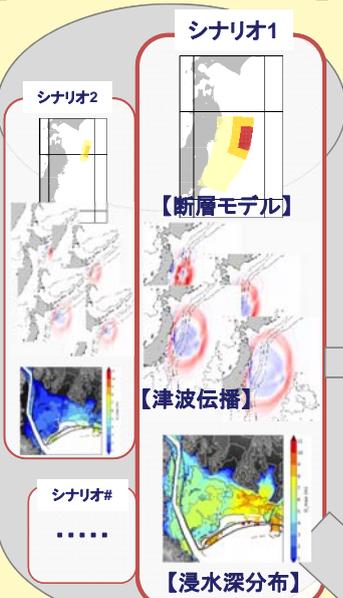
シミュレーションの結果
(津波の速度を時速623kmに仮定)

津波を現状より**最大20分程早く検知**して実測値の情報を発信
(伝播する津波の実況)

⇒既存の津波の観測点(ブイなど)と比較し、実際の津波の検知が早くなります
手法の開発をすすめて沿岸津波高と到達時刻を現状より精度高く迅速に予測して、災害を軽減する(津波即時予測の高度化)

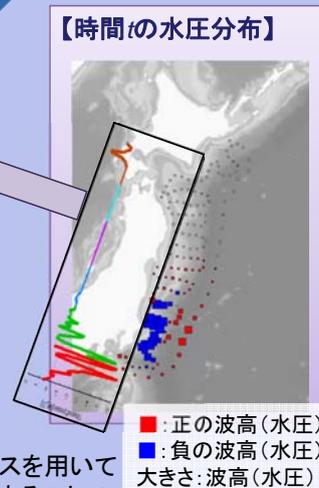
開発している津波即時予測手法：概要

【津波シナリオバンク】



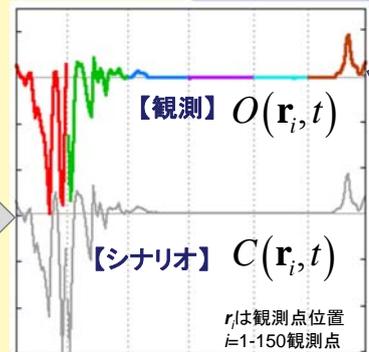
特性化(単純化)された断層モデル(すべり量分布)に基づいて計算した津波伝播(時系列)と沿岸最大水位分布および浸水深分布をデータベース化する。

【(疑似)観測データ】



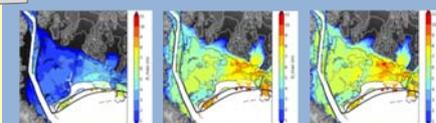
マルチインデックス(指標)によるマッチング(比較)

【時間tにおける水圧分布の比較】



マルチインデックスを用いて水圧分布を比較することで適切なシナリオ群を選別し、浸水深分布の予測を行う。

【選別されたシナリオ群】



観測データを説明可能な複数の津波シナリオを選別することで不確実性を取り込んだ予測を可能にする。

開発している津波即時予測手法：特徴と想定している利点

主なターゲットは、技術的に即時予測の難しい近地津波

1. データベース検索型

- 津波伝播計算結果を予めデータベースに登録しておくことで**広範囲・高分解能**な津波即時予測を可能とする

2. 地震の震源や津波波源に立ち戻らない

- 観測される海底水圧データのみを用いて直接津波即時予測を行うことで、地震波から求まる震源情報やインバージョンから求まる初期津波水位の**不定性に左右されない**

3. 複数指標により選別

- 複数の指標を同時に用いることで**適切な**津波シナリオの選別を可能とする

4. 予測結果の不確実性を考慮

- 一定の条件を満たす複数の津波シナリオを選別することで予測結果の**不確実性を表現**を可能とする

5

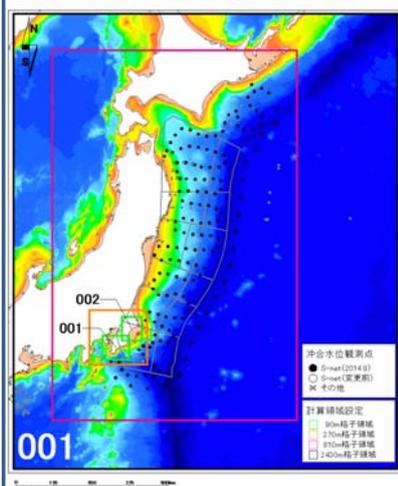
開発している津波即時予測手法：対象地域

千葉県九十九里・外房地域を対象として、津波**遡上**即時予測システムプロトタイプ構築を進めている。対象地域について最小10m格子の詳細な沿岸・陸域地形モデルを構築。

沖合地形モデル

- S-net観測点の津波波形計算用
- 沿岸の津波水位計算用

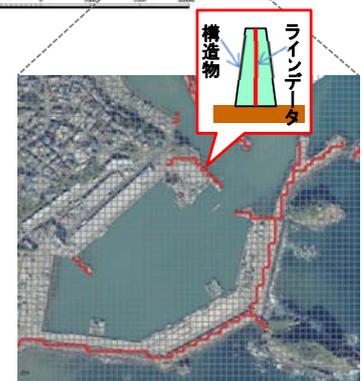
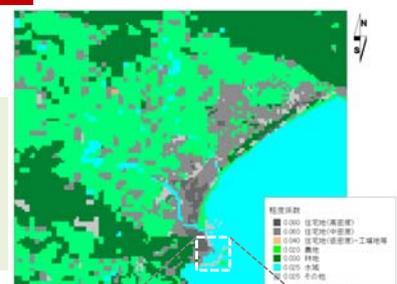
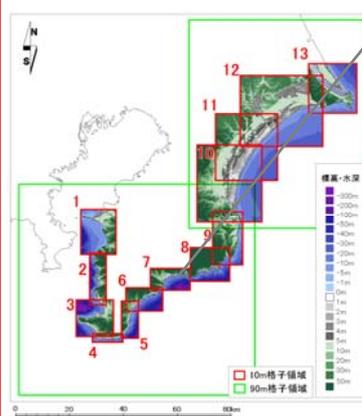
- UTM座標系54帯
- 格子サイズ:90m~2,430m(1:3接続)
- 対象震源域ごとに2,430m領域を設定



沿岸・陸域地形モデル

- 陸域への遡上計算用

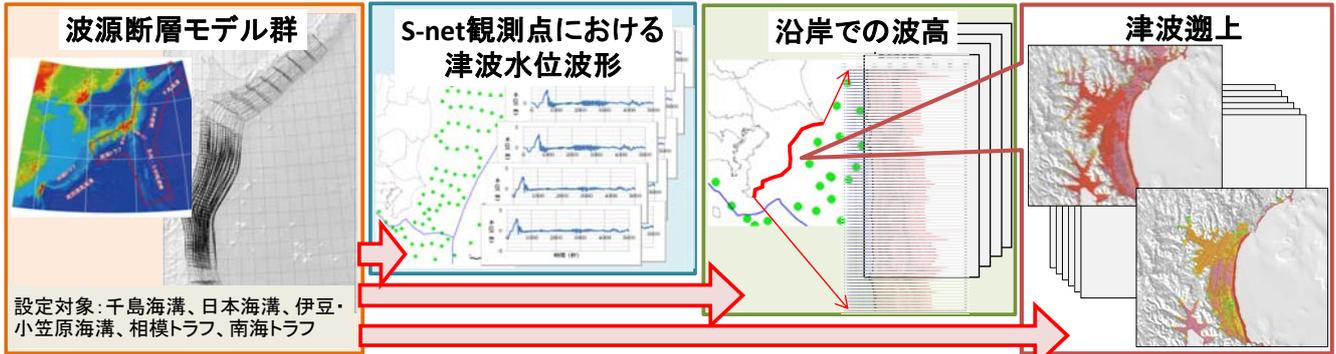
- UTM座標系54帯
- 格子サイズ:10m~2,430m(1:3接続)
- 東北地方太平洋沖地震による地盤変動を考慮
- 海岸・河川構造物をラインデータ化



6

津波シナリオバンク構築のための検討

発生しうるあらゆるパターンの津波を津波シナリオバンクが網羅していれば予測精度向上につながる一方で、時間的、計算資源的には準備できる津波シナリオの数には限りがある
 →対象地域に影響を及ぼす津波シナリオをいかに過不足なく設定できるかが重要



設定対象: 千島海溝、日本海溝、伊豆・小笠原海溝、相模トラフ、南海トラフ

計算対象ごとにそれぞれの特徴に応じたシミュレーションモデルを採用

支配方程式	線型長波	非線型長波	非線型長波
地形モデル	沖合地形モデル	沖合地形モデル	沿岸・陸域地形モデル

計算負荷:

大

必要計算ケース数:

多

似通った波源断層モデルに共通の沿岸波高・津波遡上の計算結果を結びつける

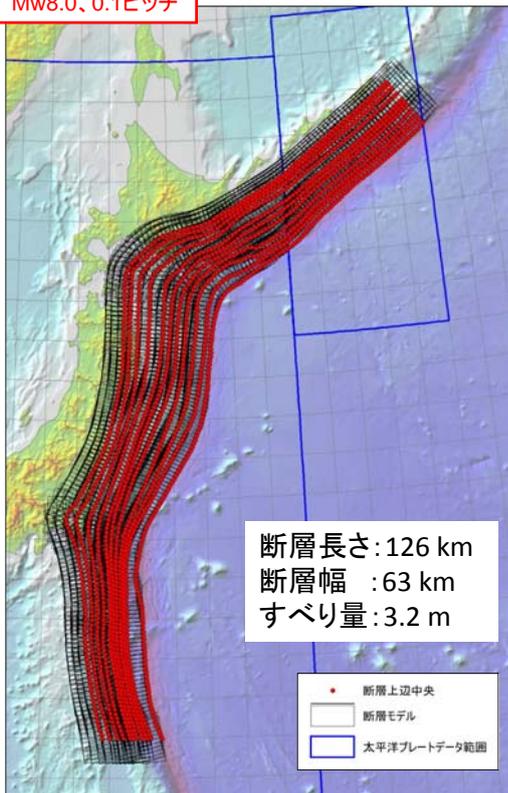
波源断層モデルのわずかな違いが、その直上での海底水圧データに影響する

波源断層モデルのわずかな違いによる影響を受けにくいことが想定される

遡上の懸念される沿岸での水位上昇量が大きな波源断層モデルに限定して計算

津波シナリオバンク構築のための検討：感度解析の概要

Mw8.0、0.1ピッチ

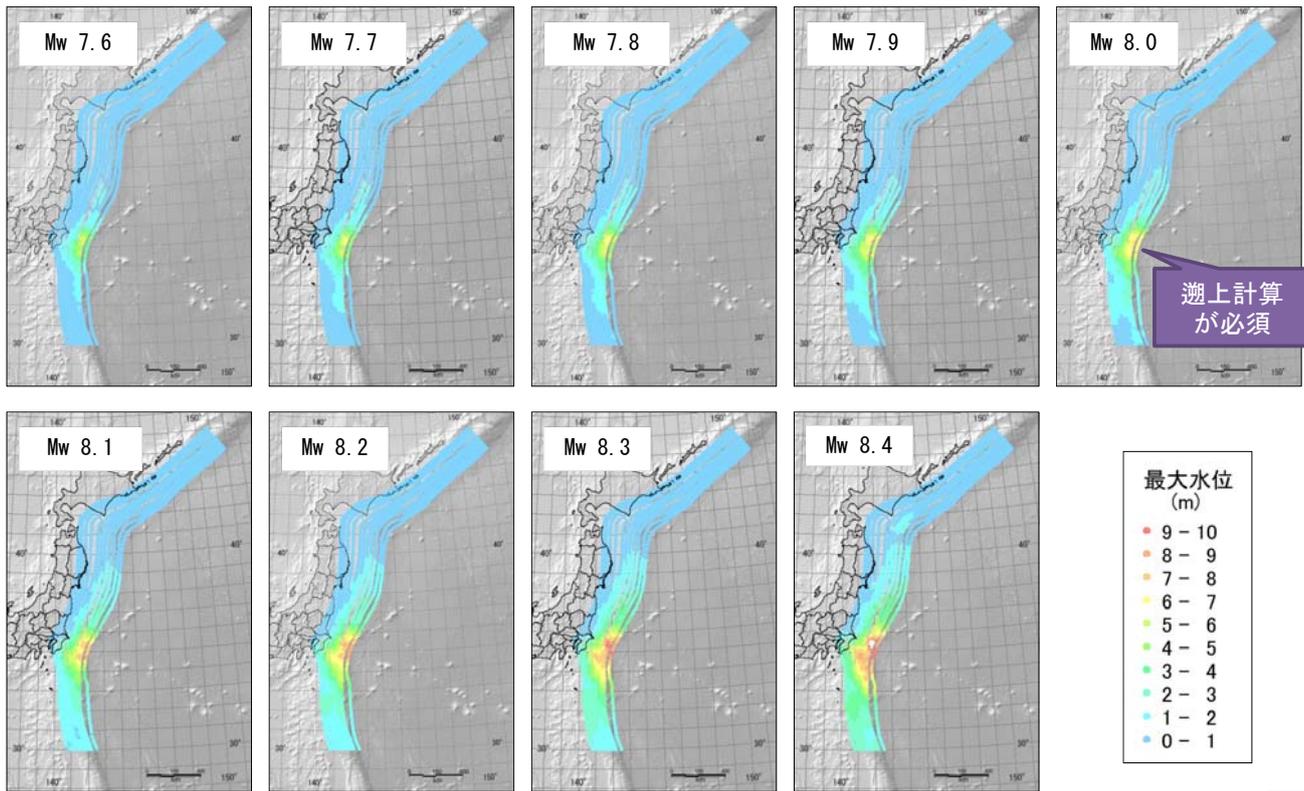


津波遡上計算を実施するケースを絞り込むために、太平洋プレート上面でのプレート間地震(Mw7.6-8.4)を対象に、深さごとに走向方向一定間隔で敷き詰めた矩形の波源断層モデル群を設定し、千葉県九十九里・外房沿岸での最大水位上昇量の変化を検討した

支配方程式	非線型長波理論
計算手法	Staggered-grid Leap-frogスキームを用いた差分法
地形モデル	沖合地形モデル(2,430m、810m、270m、90m)である4領域を1:3の割合で接続)
境界条件	・陸側: 陸域への遡上を考慮 ・海側: 完全無反射の透過境界
施設条件	構造物条件なし
計算時間	3時間
初期水位	海底地盤変位量の鉛直成分に海底地形傾斜による水位成分の寄与を付加し、水理フィルタの影響を考慮する
潮位条件	T.P.+0.0m
粗度係数	一律0.025

津波シナリオバンク構築のための検討：遡上計算実施範囲の評価

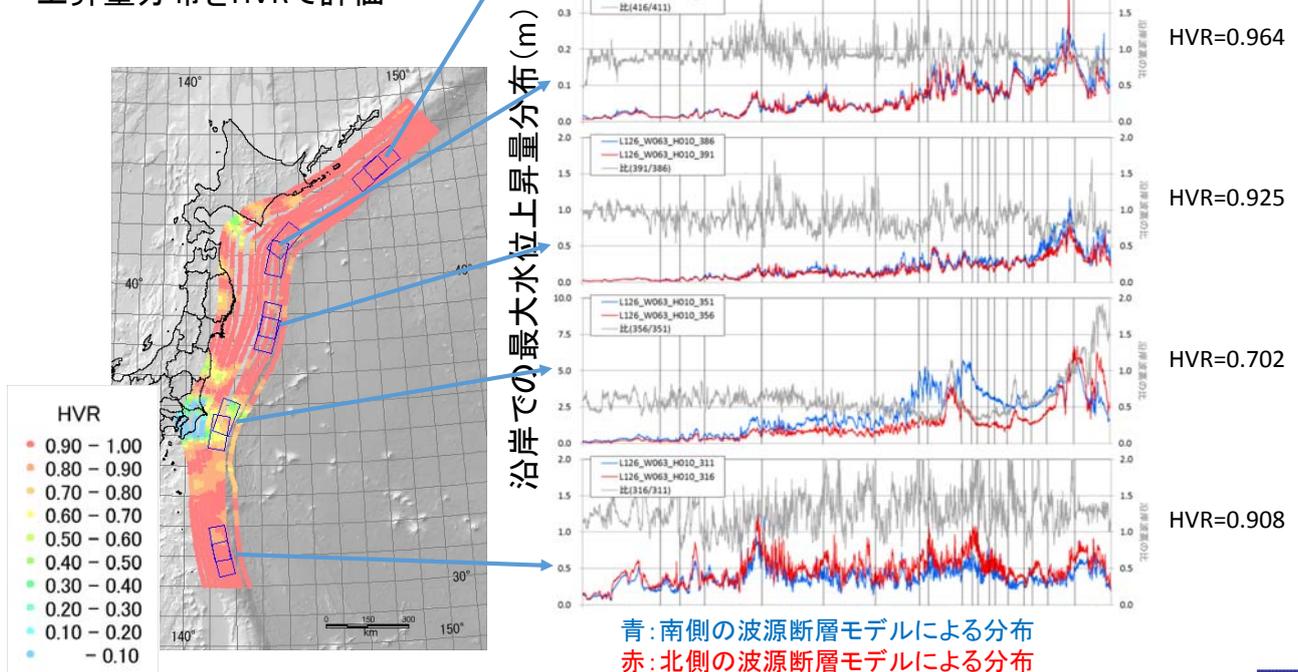
波源断層モデル位置と最大水位上昇量の検討



9

津波シナリオバンク構築のための検討：断層配置間隔の評価

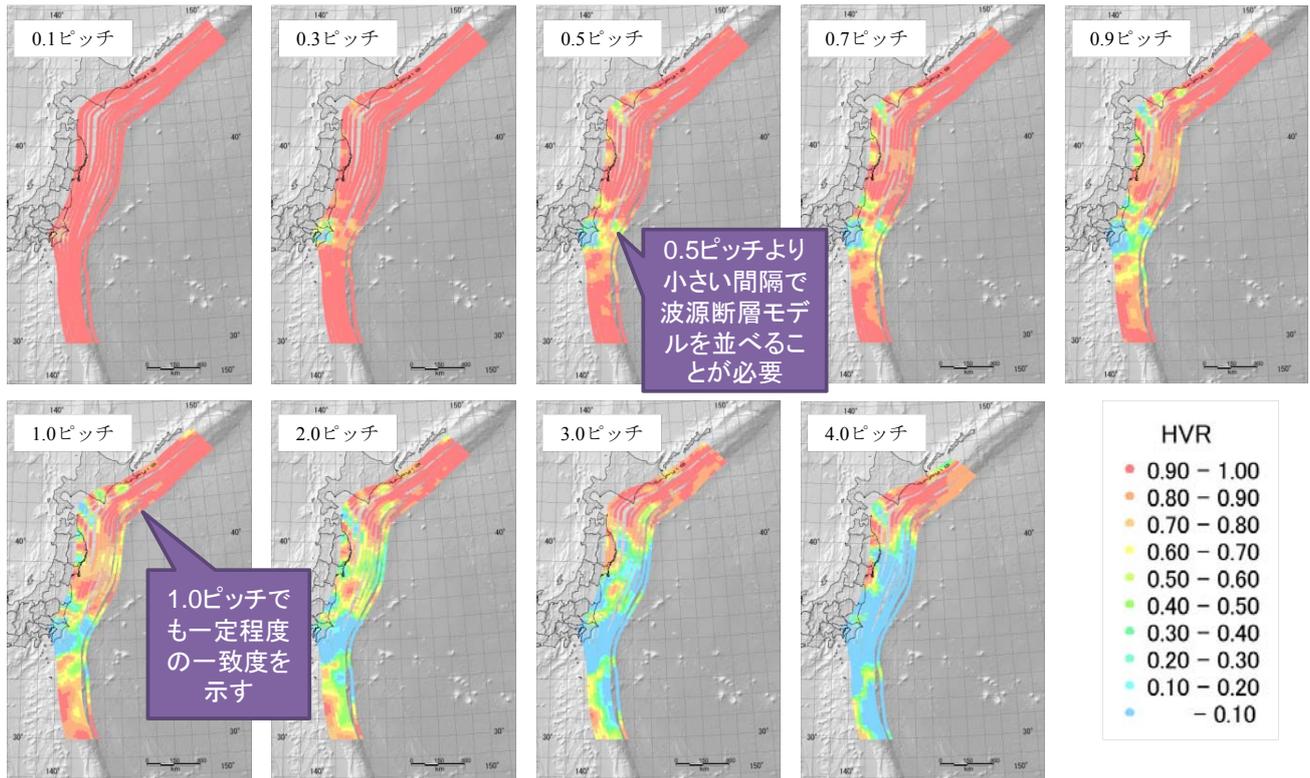
Mw8.0の波源断層モデルを0.5ピッチずらした時の千葉県九十九里・外房沿岸での最大水位上昇量分布をHVRで評価



10

津波シナリオバンク構築のための検討：断層配置間隔の評価

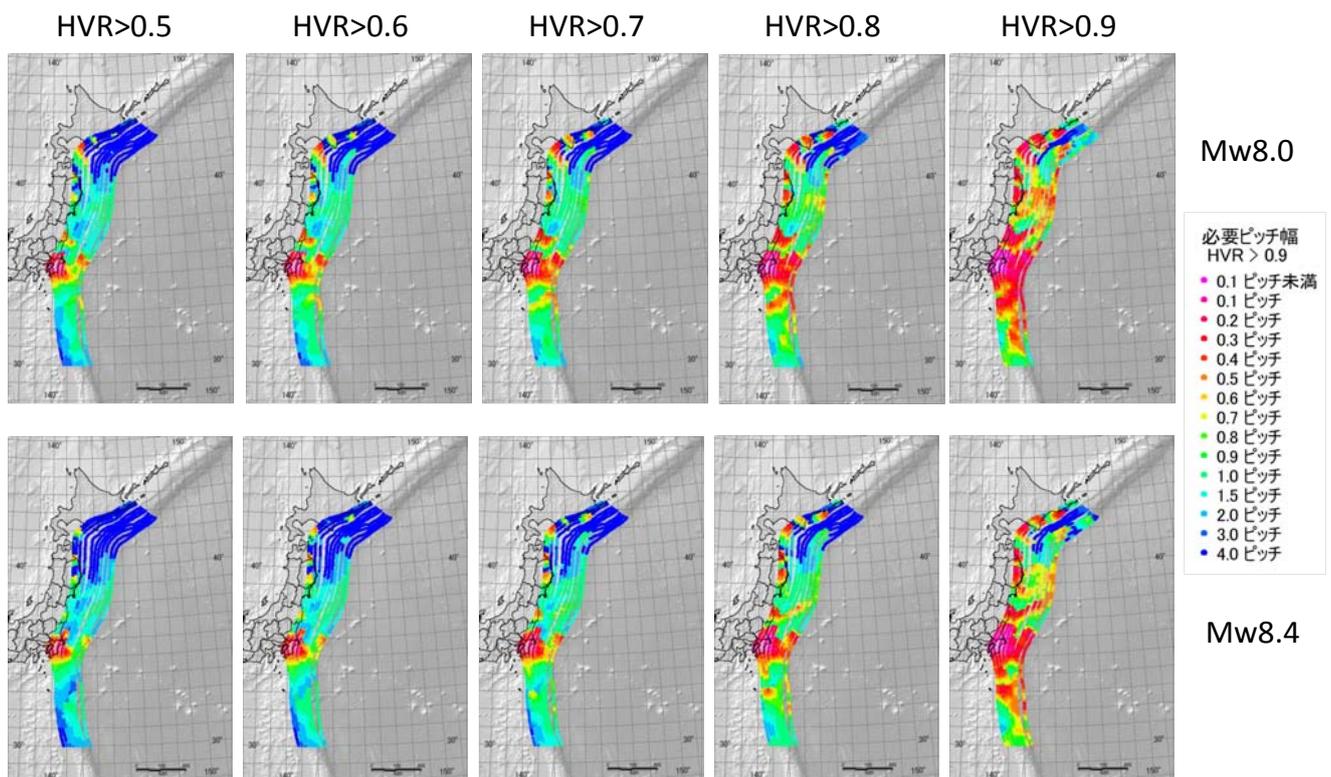
一定ピッチ北隣りの波源断層モデル(Mw8.0)との一致度(HVR)の分布



11

津波シナリオバンク構築のための検討：断層配置間隔の評価

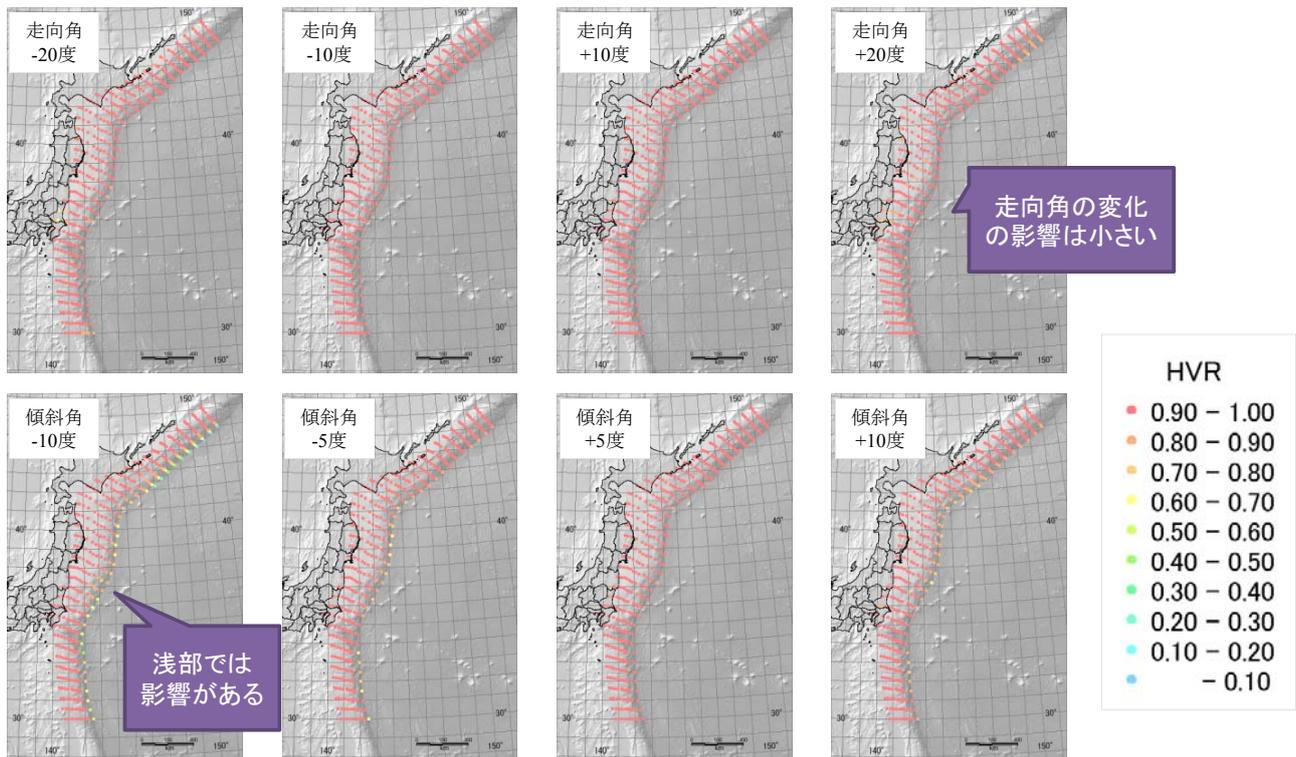
HVRを一定値以上にするために必要なピッチ幅の空間分布



12

津波シナリオバンク構築のための検討：断層形状の評価

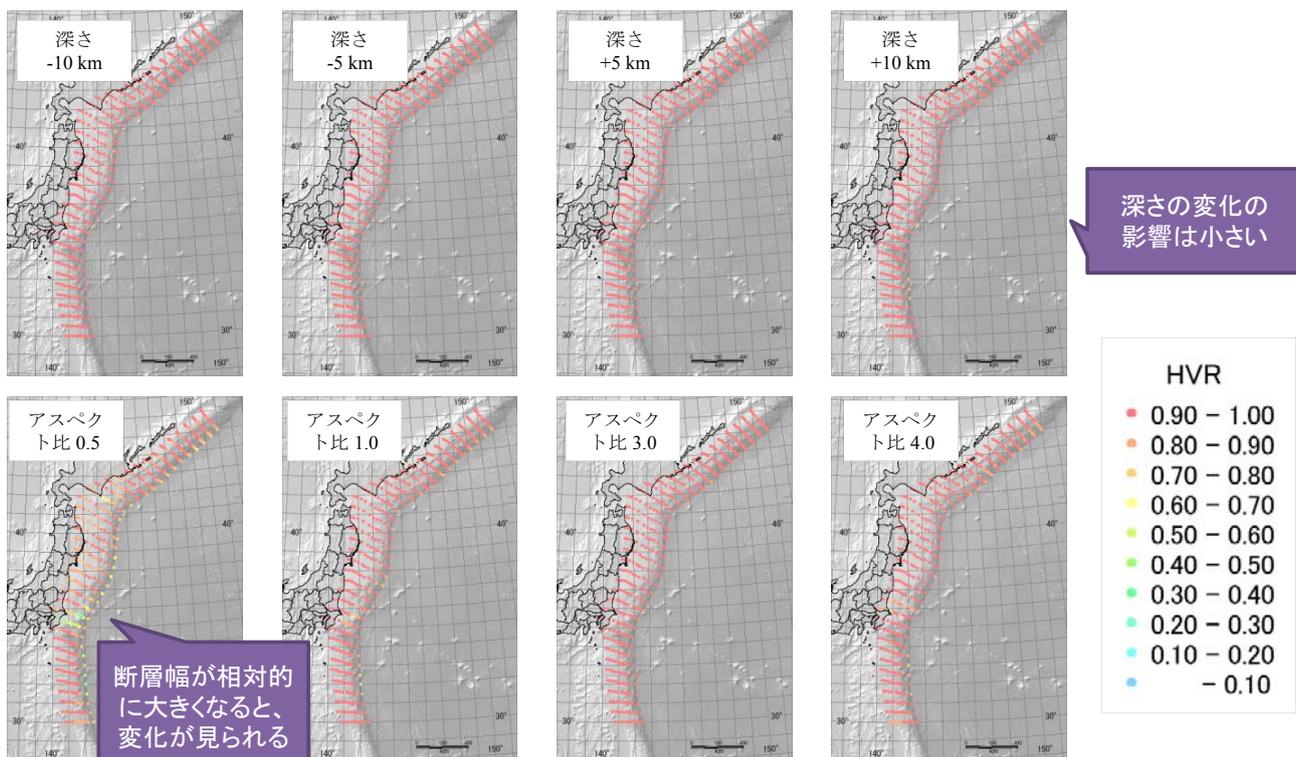
仮定したプレート形状モデルに基づく波源断層モデル(Mw8.0)より、走向、傾斜を変化させたときのHVRの分布



13

津波シナリオバンク構築のための検討：断層形状の評価

仮定したプレート形状モデルに基づく波源断層モデル(Mw8.0、アスペクト比2.0)より、深さ、アスペクト比を変化させたときのHVRの分布



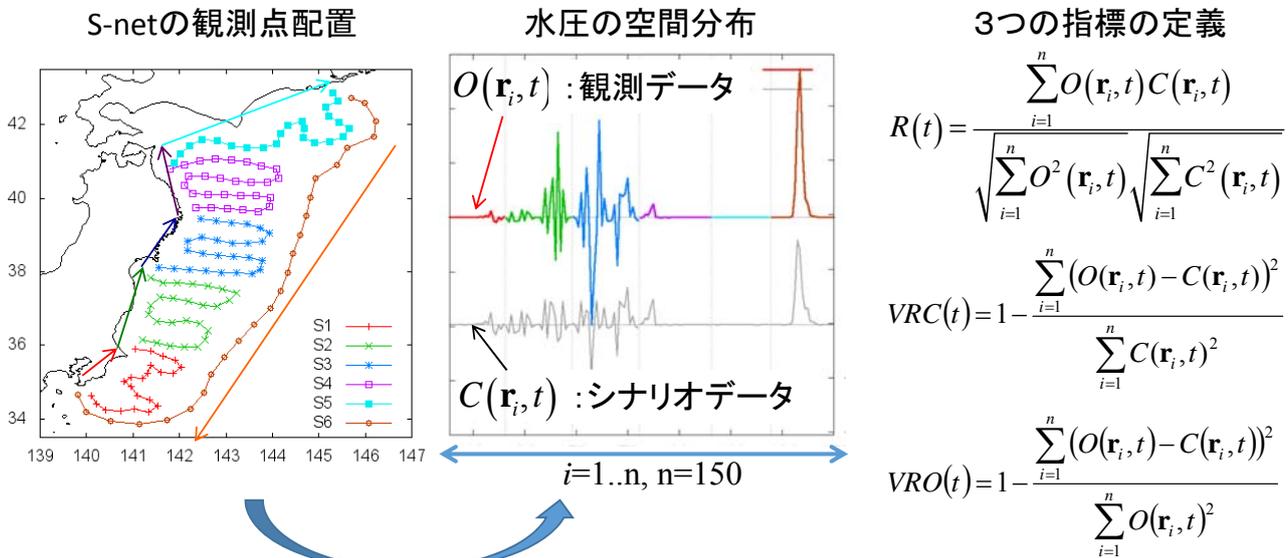
14

シナリオ選別アルゴリズムの検討：用いる指標

ある時間 t における水圧の空間分布について、

- $R(t)$: 相関係数
- $VRO(t)$: 観測データで規格化したVariance Reduction
- $VRC(t)$: シナリオデータで規格化したVariance Reduction

の3つの指標を用いて、観測された水圧データを説明する津波シナリオを津波シナリオバンクより選別する



シナリオ選別アルゴリズムの検討：用いる指標

2種類のVariance Reductionには以下のような特徴がある。

$$\alpha(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n C^2(\mathbf{r}_i, t)}{\sum_{i=1}^n O^2(\mathbf{r}_i, t)}}$$

観測データ $O(\mathbf{r}_i, t)$ とシナリオデータ $C(\mathbf{r}_i, t)$ の二乗和の比の平方根とすると、

- $\alpha(t) \gg 1$ のときシナリオデータの振幅が大きい → 過大評価
- $\alpha(t) \ll 1$ のとき観測データの振幅が大きい → 過小評価

観測データで規格化したVariance Reduction

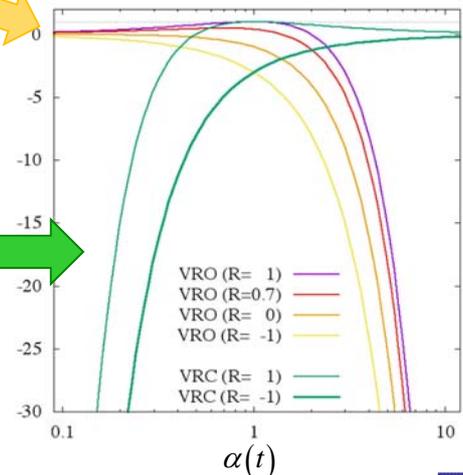
$$VRO(t) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O(\mathbf{r}_i, t) - C(\mathbf{r}_i, t))^2}{\sum_{i=1}^n O(\mathbf{r}_i, t)^2} = -\alpha^2(t) + 2R(t)\alpha(t)$$

シナリオデータで規格化したVariance Reduction

$$VRC(t) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O(\mathbf{r}_i, t) - C(\mathbf{r}_i, t))^2}{\sum_{i=1}^n C(\mathbf{r}_i, t)^2} = \frac{1}{\alpha^2(t)} + 2\frac{R(t)}{\alpha(t)}$$

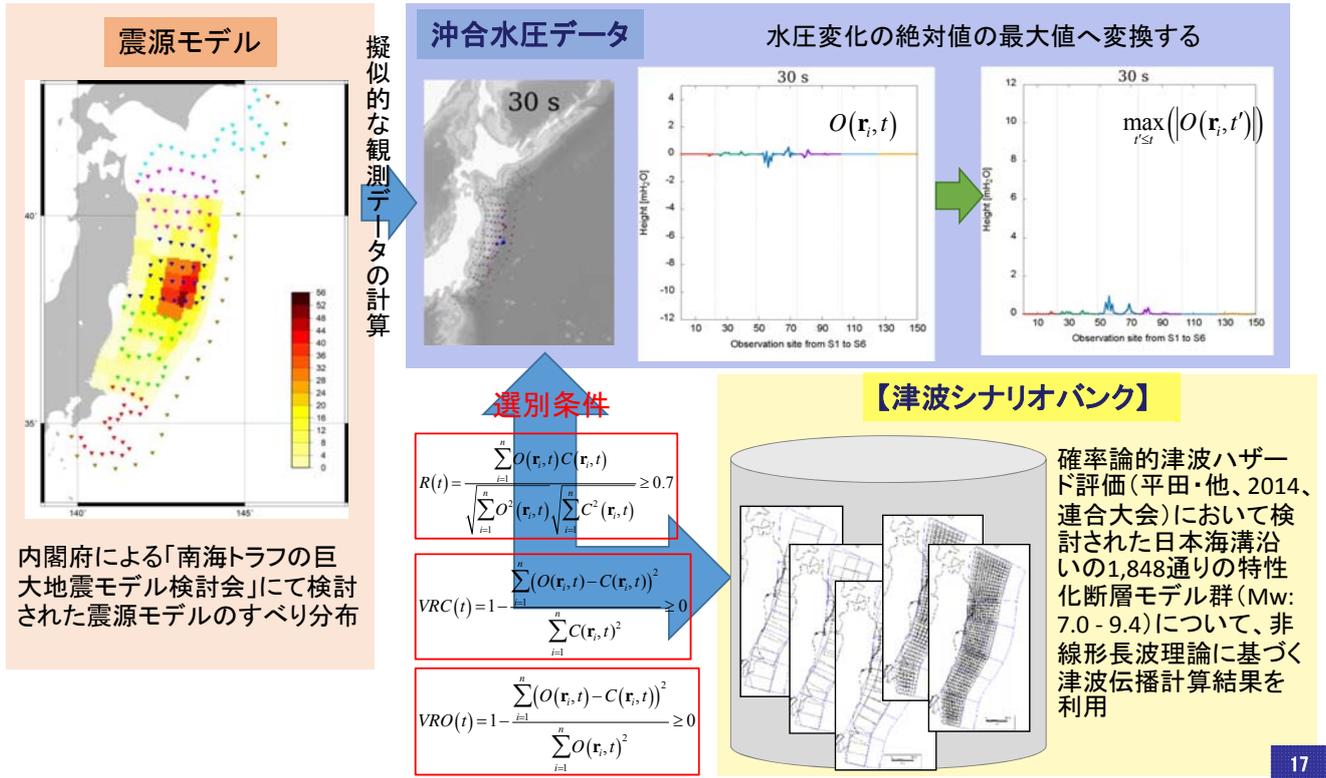
VRO(t)は過大評価に感度があり、
VRC(t)は過小評価に感度がある

$R(t)$ を固定した場合の $\alpha(t)$ に応じたVariance Reductionの変化



シナリオ選別アルゴリズムの検討：東北沖地震津波での検証概要

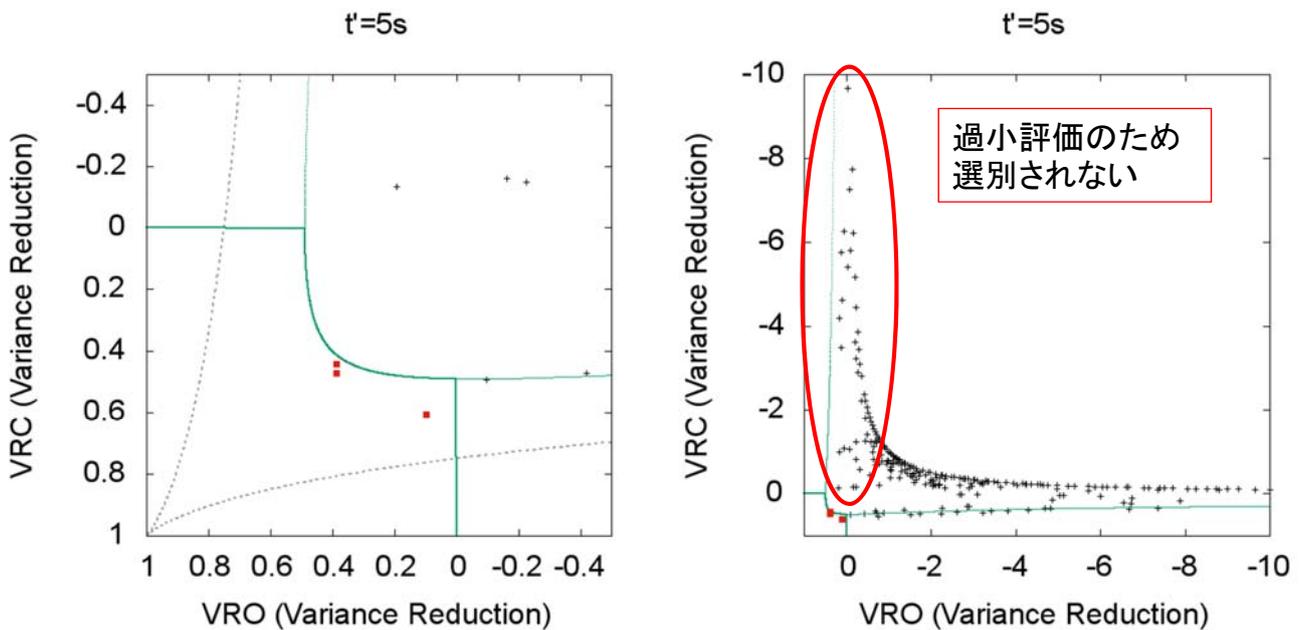
2011年東北地方太平洋沖地震津波を再現した擬似的な観測データに対し、試験的な津波シナリオバンクを用いて、シナリオ選別アルゴリズムの検証を行った



シナリオ選別アルゴリズムの検討：東北沖地震津波での検証結果

5秒毎のシナリオ選別状況を示すVRO(t)-VRC(t)ダイアグラム

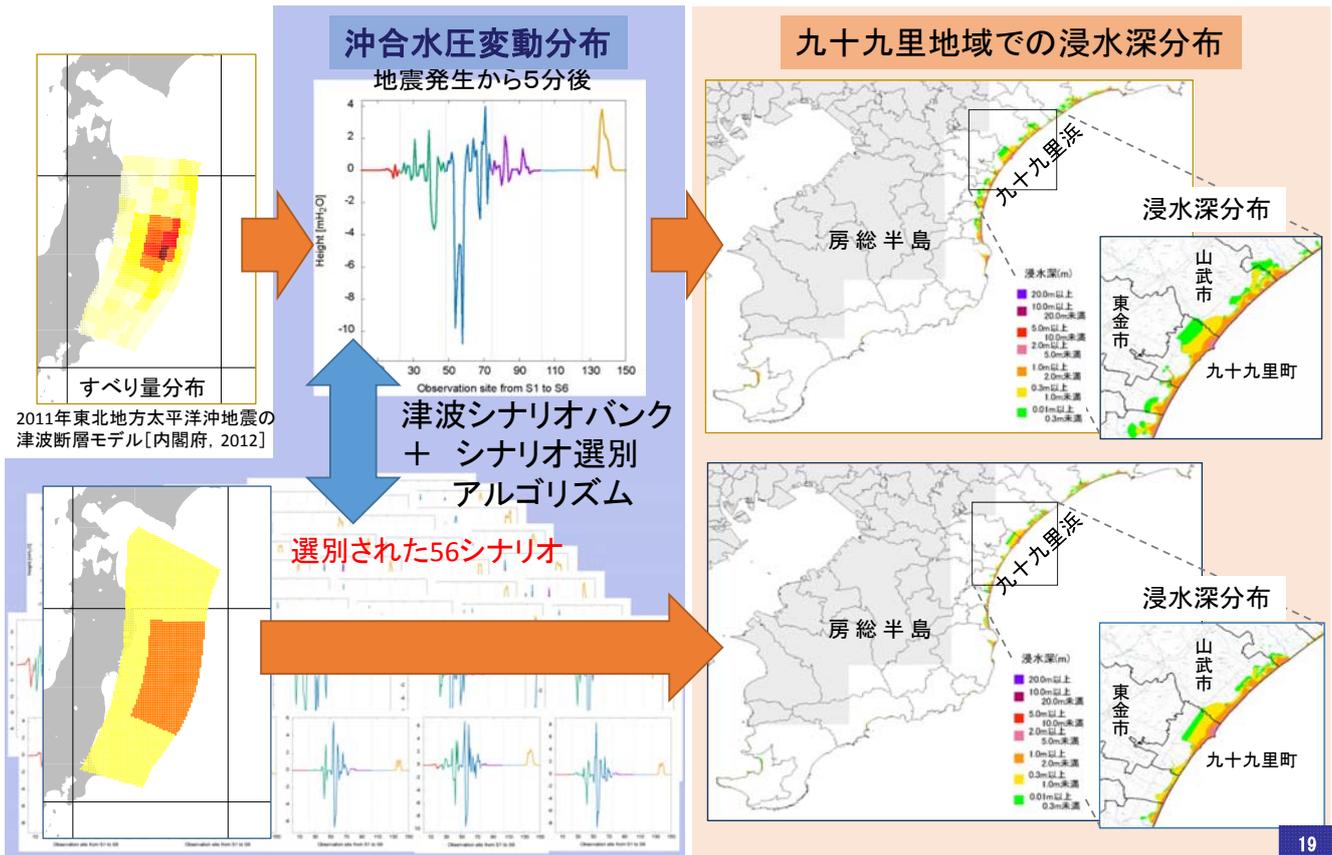
■ 選別されたシナリオ
+ その他のシナリオ
□ 選別条件の範囲



時間の経過と共に一定値に収束する傾向が見られる

シナリオ選別アルゴリズムの検討：東北沖地震津波での検証結果

選別されたシナリオによる沿岸での津波高さの予測



まとめ

- 事前に構築した津波シナリオバンクより、S-net観測点での水圧データを説明する津波シナリオを選び出すことで陸域の津波遡上までを予測する、データベース検索型の津波即時予測手法の開発を行っている。本発表ではそのための2つの検討について紹介した。
- 検討1: 必要な津波シナリオを効率的に網羅する津波シナリオバンク
 - S-net観測点での沖合津波、沿岸での津波、陸域への津波遡上それぞれの計算について特徴に応じた津波シミュレーションモデルを採用することを提案した。
 - 波源断層モデルの位置、間隔、形状の千葉県九十九里・房総沿岸での津波高さに対する感度解析を行った。これにより津波遡上計算が必要な領域、波源断層モデルの設定間隔等に関する定量的な評価が可能となった。
- 検討2: 沖合水圧データを説明する津波シナリオを選別するアルゴリズム
 - ある時刻における沖合での水圧変動の空間分布について、相関係数および規格化するデータを変えた2種類のVariance Reductionの3つの指標を用いるシナリオ選別アルゴリズムを提案した。
 - 2011年東北地方太平洋沖地震の波源断層モデルを用いて提案したアルゴリズムの評価を行い、適切な予測結果が得られていることを示した。
 - 沖合水圧データについて的一致度指標が高いシナリオについては、沿岸での最大水位上昇量分布についての指標も高く、沖合水圧データに基づく予測実施の妥当性を示した。

謝辞

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「レジリエントな防災・減災機能の強化」(管理法人:JST)によって実施されています。