

Cyber HPC Symposium 2023

リアルタイム津波浸水被害推計システムから 津波災害デジタルツインへ（抜粋版）

株式会社RTi-cast

東北大学サイバーサイエンスセンター

日本電気株式会社

撫佐 昭裕

1. リアルタイム津波浸水被害推計システム
2. 津波災害デジタルツイン

東日本大震災では

大きな地震発生後，津波襲来．

しかし，

- ・ 津波がどこまできたのか？
- ・ どのような被害が起こったのか？

わからないため，

- ・ 的確な救援計画

（どこへ，何を支援するのか）

の立案が困難であり，対応が遅れた．



もし、情報があれば

大きな地震発生後、津波襲来。

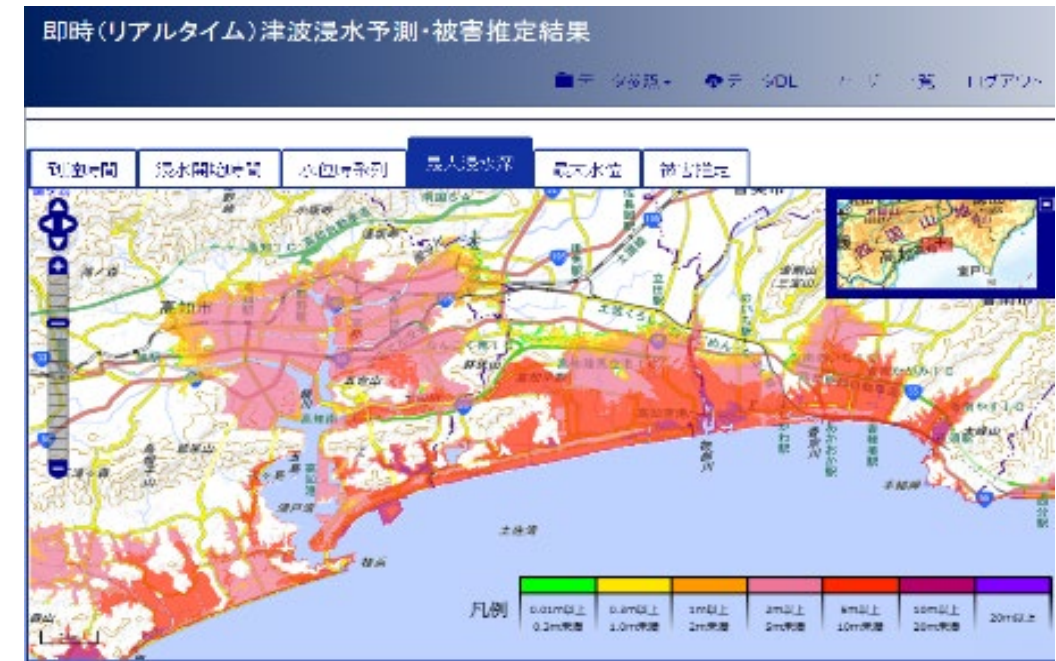
数十分以内に、発生した地震による津波の浸水範囲、被害状況がわかれば、

的確な救援計画が立案できる。

そして、いち早く救援活動を開始できる。

具体的には

- ・ 救援先の決定
- ・ 救援体制の確立
- ・ 救援ルート決定 など



南海トラフ地震発生時の高知市の浸水範囲予測

本システム開発の背景

◆ 津波災害発生時には被害状況の早期把握が必要

- 浸水範囲は？（避難所は浸水しているか？）
- 建築物，ライフライン，交通網等の被害は？

コンピュータシミュレーションを活用して被害状況を早期把握
・ 地震発生後速やかに，浸水範囲や被害推計が可能

◆ 迅速な救援計画・体制の確立

- 被災地近隣地域からの迅速な支援

◆ 2次的被害の最小化



シミュレーションによる被害推計

最新の科学的・技術的知見を活用

◆ 断層推定の理論

- 地震・GPSの観測データから推定
- プレートの特徴を考慮

◆ 津波の伝搬・遡上の理論

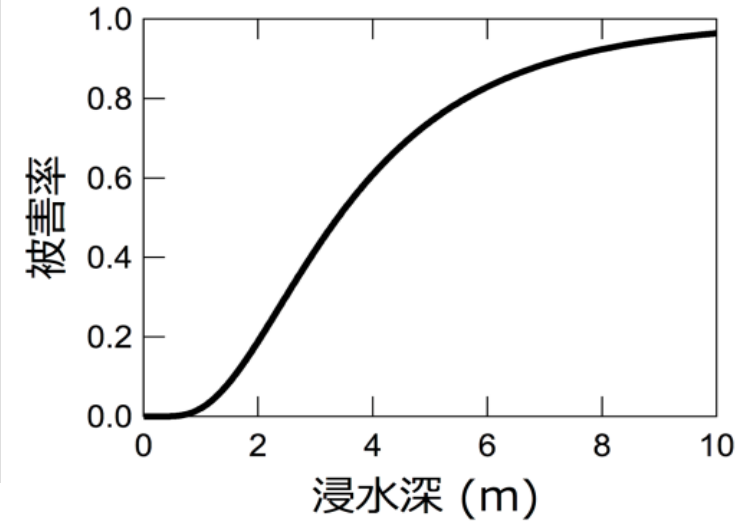
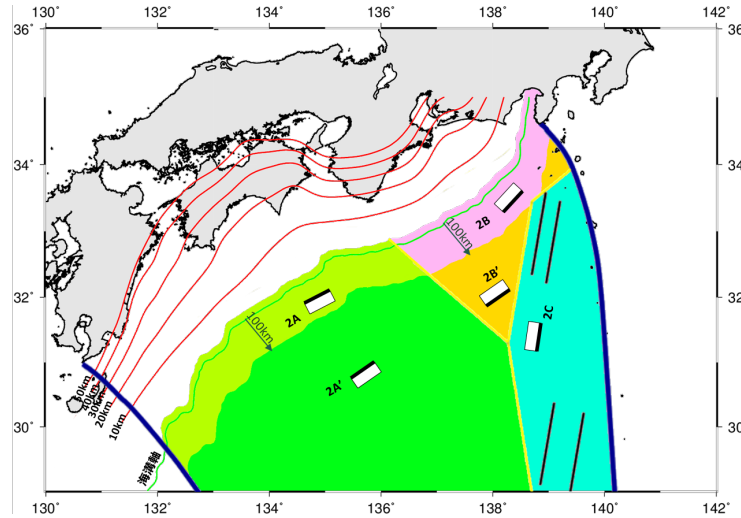
- シミュレーションの高解像度化

◆ 被害推計を行う統計的知見

- 津波浸水から被害を推計

◆ スーパーコンピュータへの実装

- プログラムの高速化
- 緊急時のみ利用する仕組み

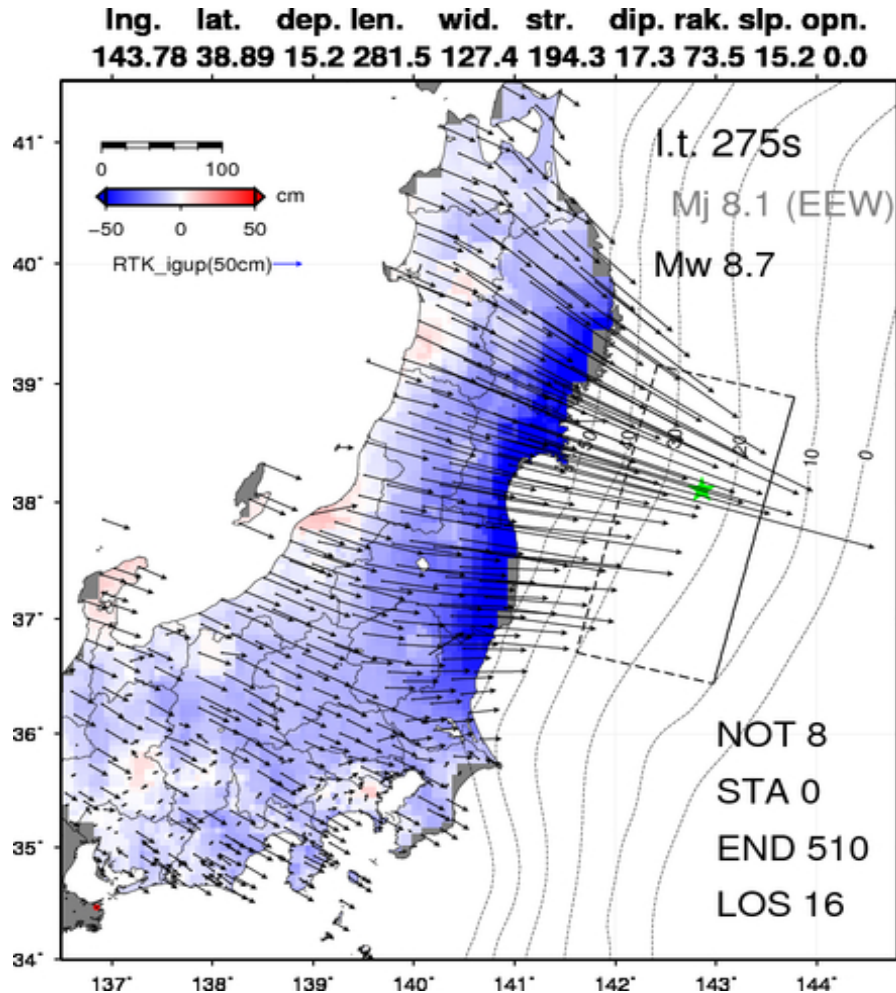


$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$
$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho}$$
$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho}$$

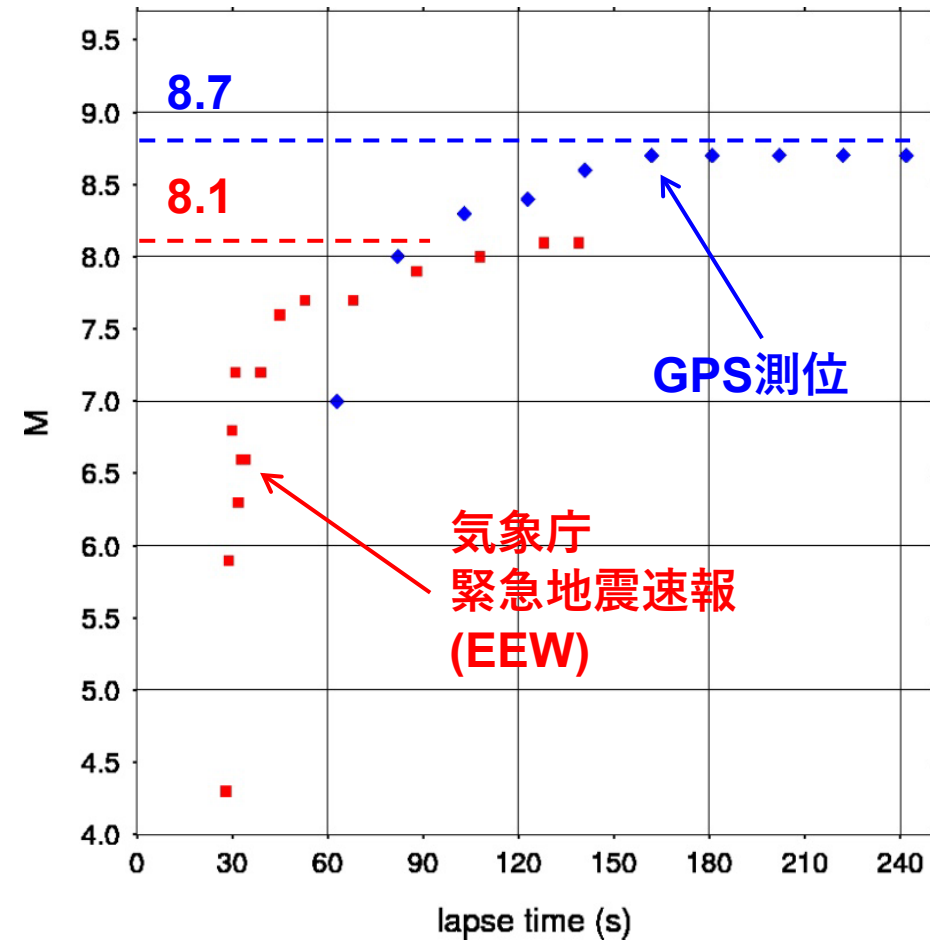
$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u}(\eta + h)$$
$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v}(\eta + h)$$
$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2}$$
$$\frac{\tau_{by}}{\rho} = \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2}$$

断層の推定

◆ GPSによる測位データの活用



2011年3月11日の観測データでの再現



スーパーコンピュータの緊急利用

◆ スーパーコンピュータは高価

- 緊急時のみの利用でスーパーコンピュータを所有するには壁がある。

◆ 緊急時のみスーパーコンピュータを貸し出す仕組みを構築

- 短時間でスーパーコンピュータの運用を切り替える（貸し出す）
- 実行している計算（ジョブ）は削除しない

◆ 緊急ジョブを優先して実行する機能を開発

- 先行ジョブは停止，一部メモリをSSDへスワップ
- 緊急ジョブ終了後，先行ジョブ継続実行
- 4分以内に緊急ジョブを実行開始

緊急ジョブ

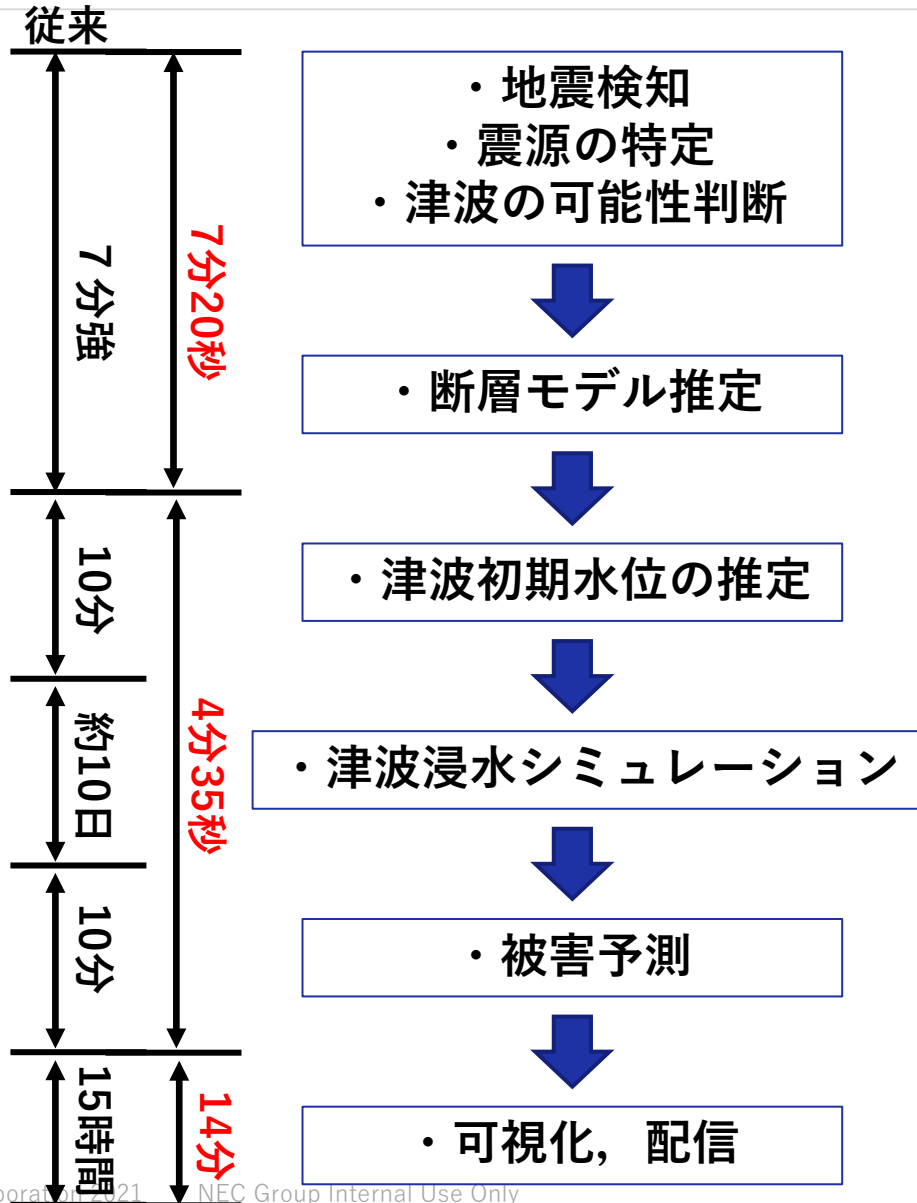


ノードにメモリを確保して緊急実行



処理の流れと課題

日本の太平洋沿岸（約13,000km）
被害推計の処理時間



課題 1：処理時間の短縮

- 各フェーズでの処理方式の選択
- 各処理の時間短縮の方法

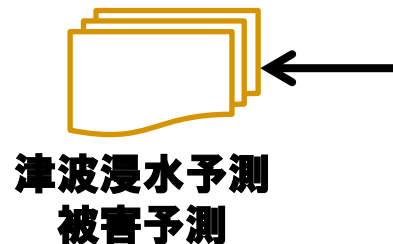
課題 2：事業化できる実装

- 地震データ入力から津波予測までの自動化
- 妥当なコストでのシステム構成

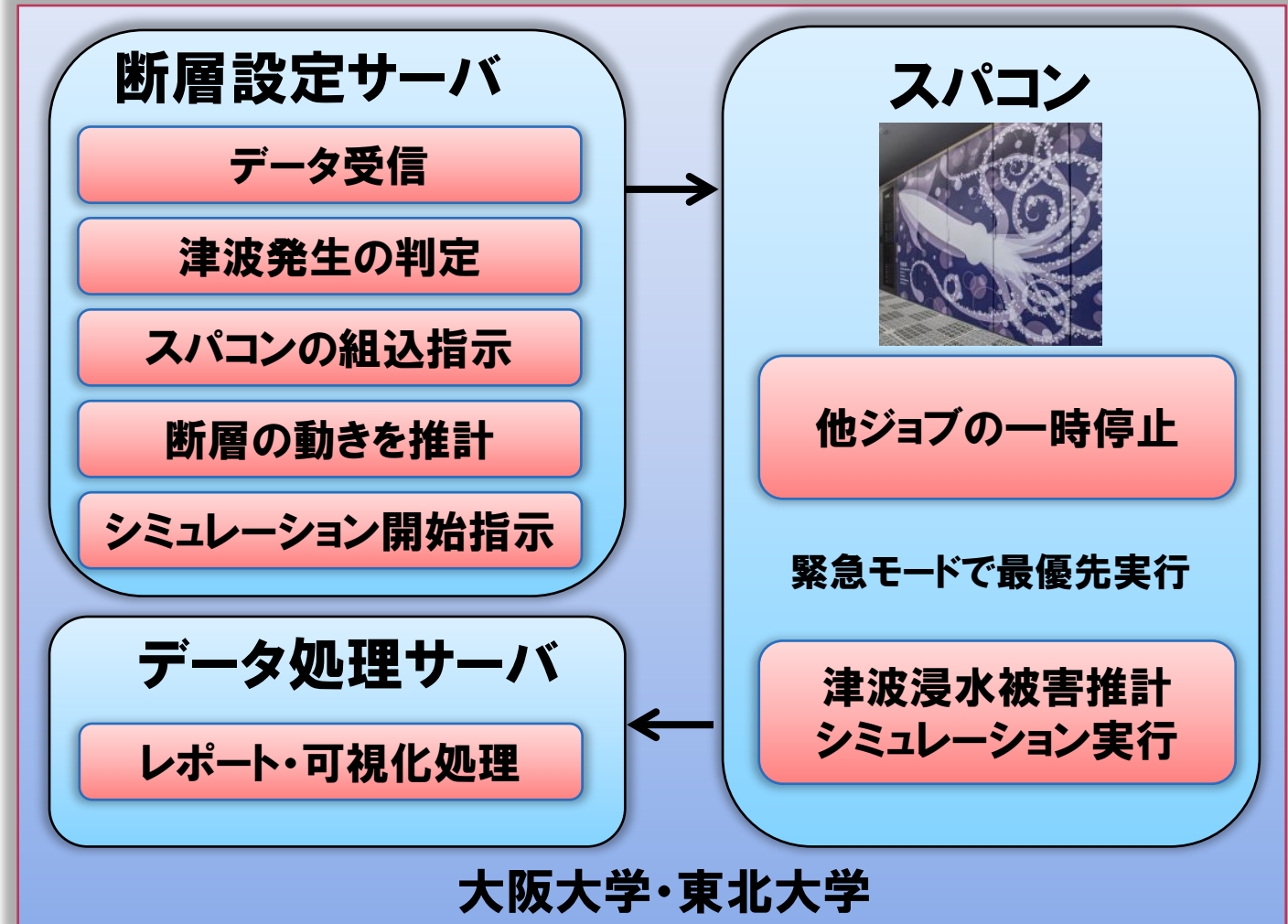
結果

- 全処理の自動化
- スパコンの一時利用
- 処理時間 約26分

処理の流れ（全処理の自動化とスパコンの貸し出し）



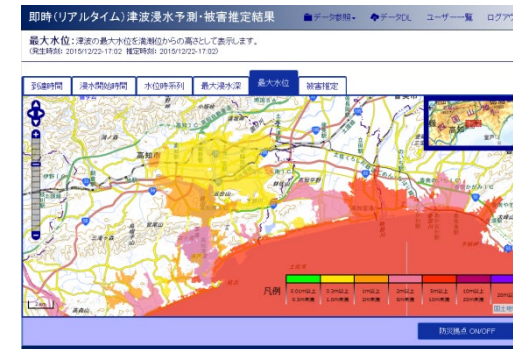
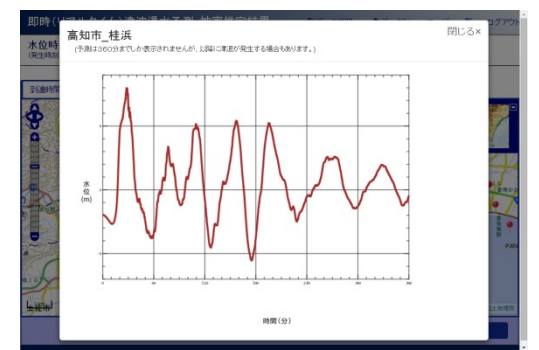
津波の可能性がある場合、
スパコンをシステムに自動組み込みを行う



推計結果例

◆ 津波浸水推計

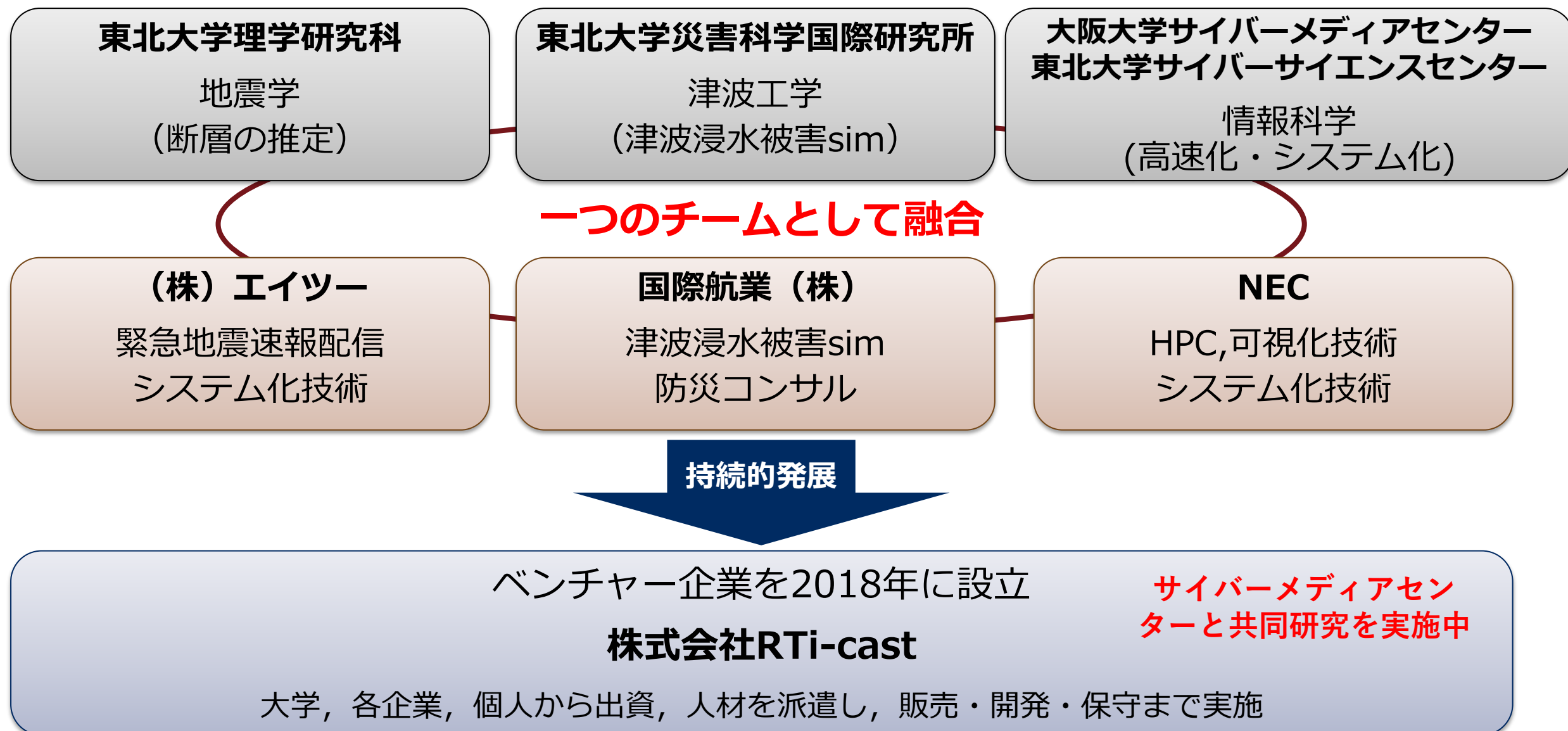
- 津波到達時間
- 浸水開始時間
- 津波水位変化
- 津波最大浸水深
- 最大水位



◆ 被害推計

- 昼間における被災人口
- 夜間における被災人口
- 建屋被害状況

開発体制



システム導入例

◆ 内閣府 津波浸水被害推計システム

- 本システムは、政府が津波による浸水被害状況を早期に把握し、迅速かつ的確な意思決定を支援するものである。
 - 2017年11月 試験運用開始
 - 2018年4月 運用開始

◆ 総務省 地域IoT実装推進事業

- 高知県，高知市，香南市，四万十市に津波被害情報を配信
 - 2019年3月 情報配信環境を構築
 - 2019年4月 情報配信を開始

高知県震災対策訓練

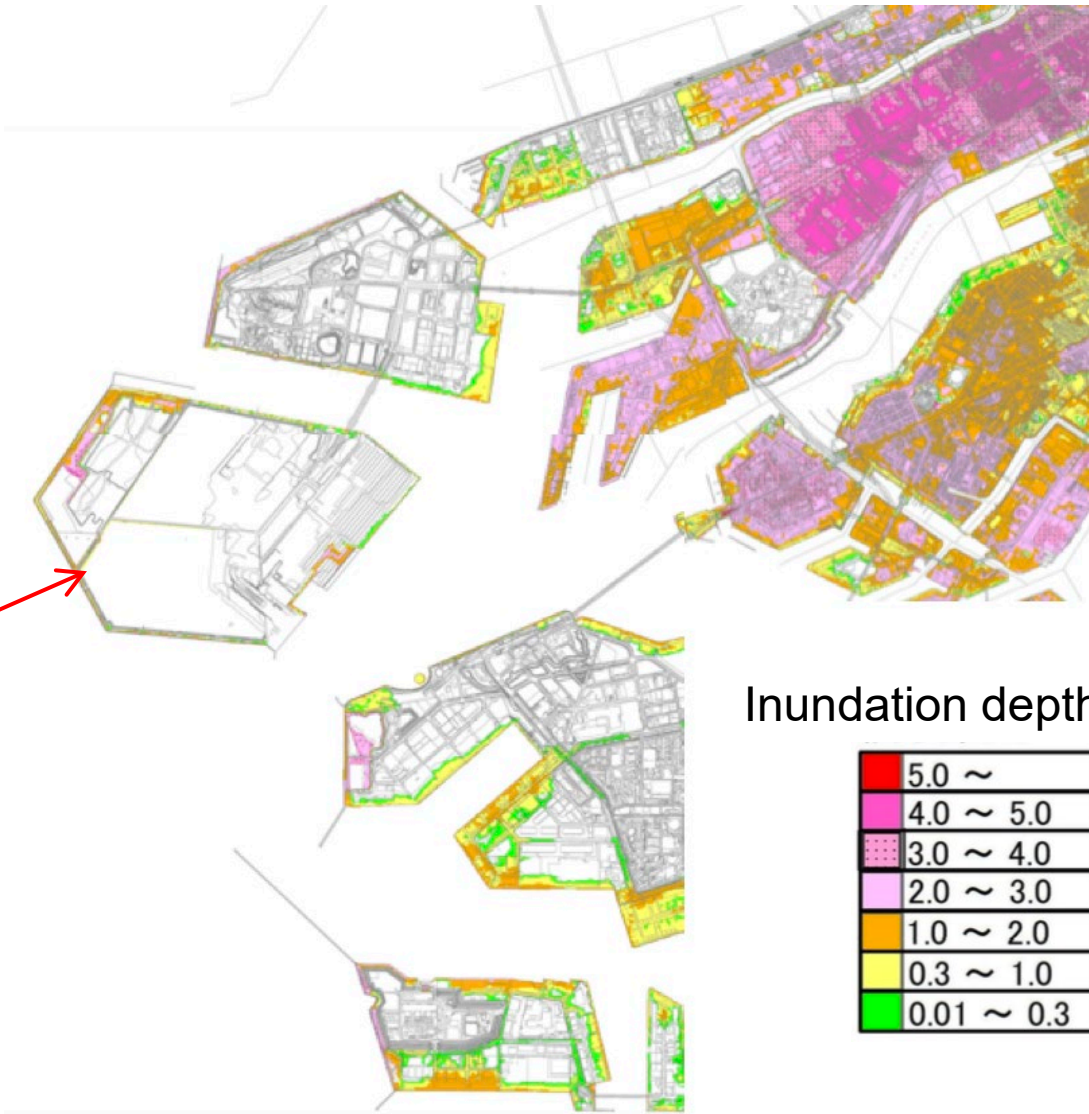
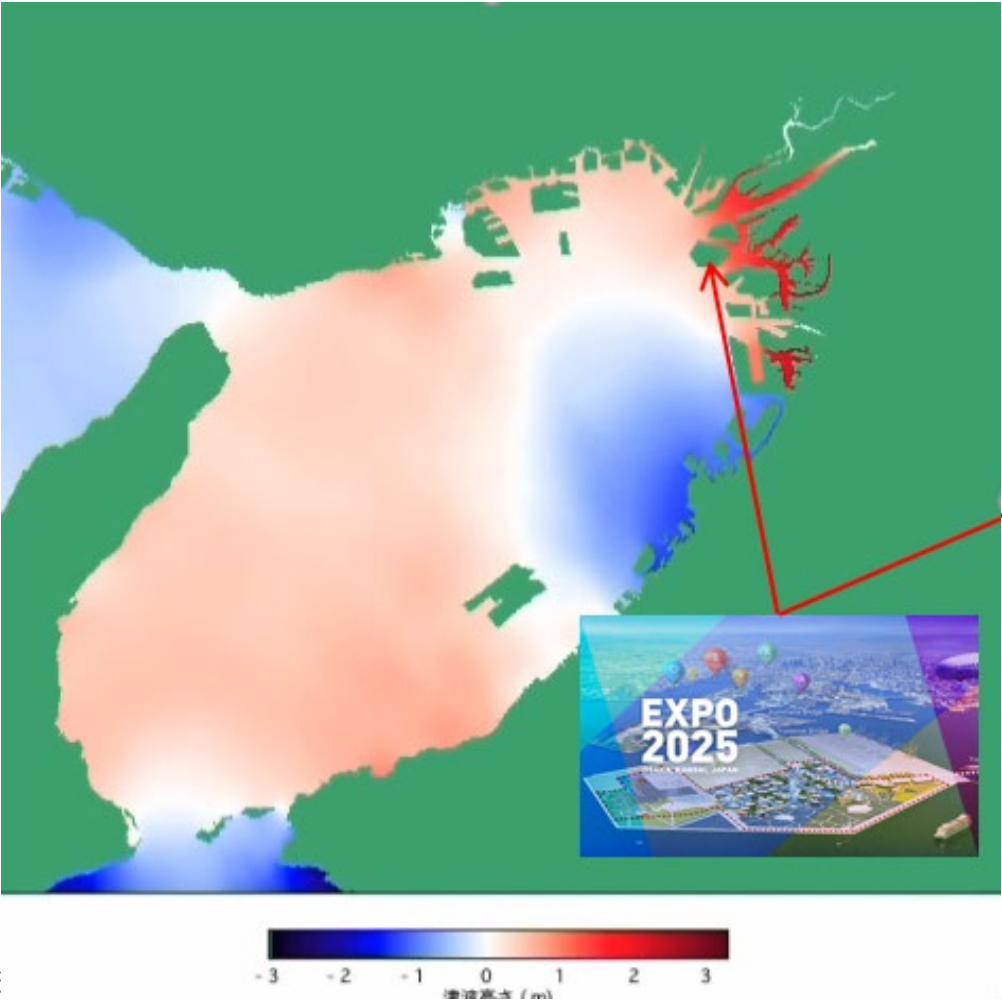
◆ 高知県で実施された「高知県災害対策本部事務局等震災対策訓練」

- 災害対策本部のメインディスプレイや各職員のパソコンに本システムの被害推計結果を表示し，震災対応の訓練が行われました。



大阪万博会場

◆ 大規模な南海トラフ地震がきたら



1. リアルタイム津波浸水被害推計システム
2. 津波災害デジタルツイン

災害デジタルツインの構想

未来ビジョン

順風: Society5.0の実現（自律型モビリティ、国・自治体DX、レジリエントICT、スマートセンシング、サイバー・フィジカルシステム、量子技術の発展、AIの普及）
逆風: 自然災害の激甚化と国難災害（南海トラフ、首都直下）による国力衰退、GDPの毀損、高齢化率30%超

バックキャスト

達成目標・研究テーマ

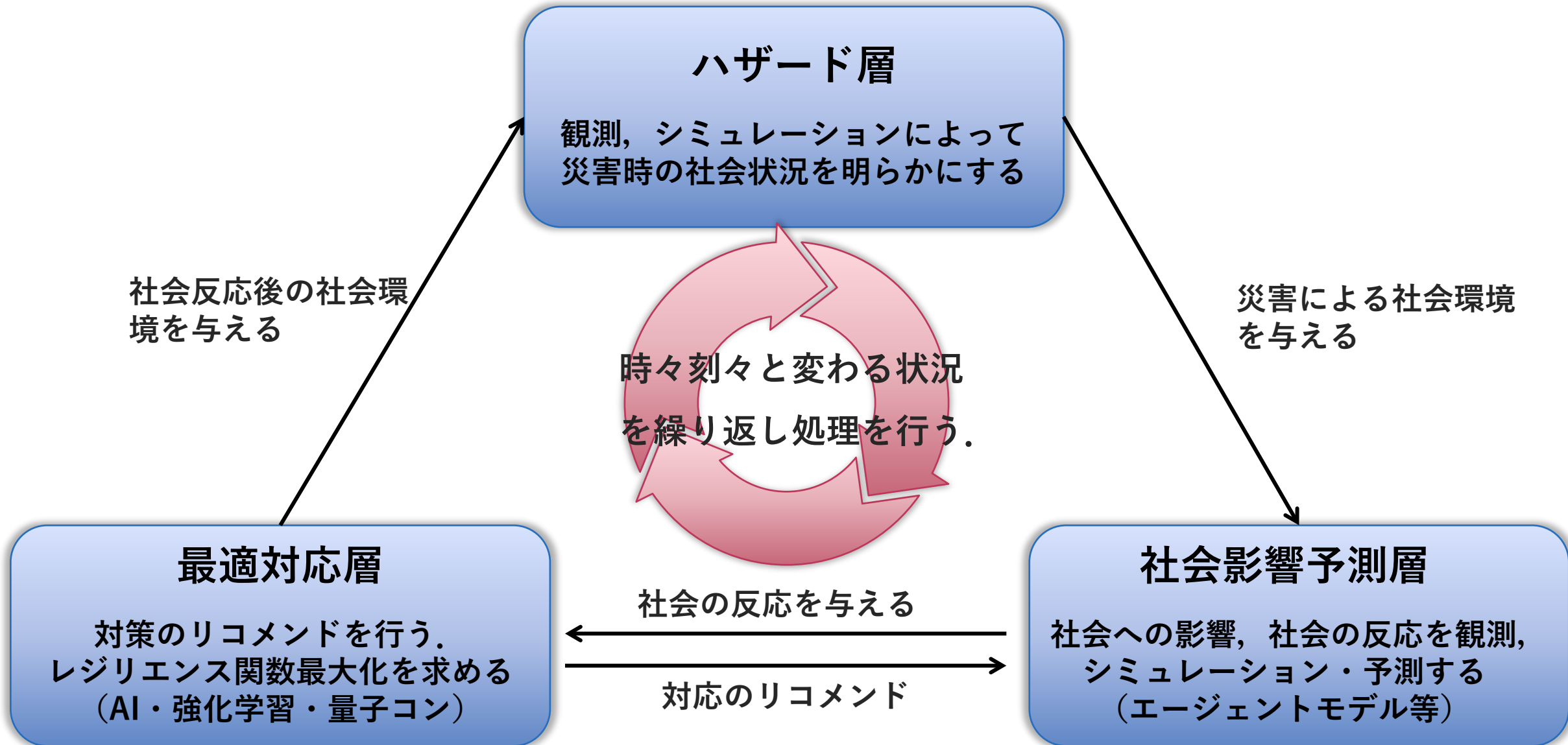
©Shunichi Koshimura

- ・スマートセンシング・データ同化・シミュレーションの深化による自然・社会現象としての災害過程の解明
- ・災害レジリエンス数量化と、その最大化を探索する政策シミュレーションの実現
- ・文理融合による災害教訓の経験知・暗黙知の収集と形式知化
- ・災害レジリエンス最大化を実現する政策の自律的学習機能の獲得と集合知の創発

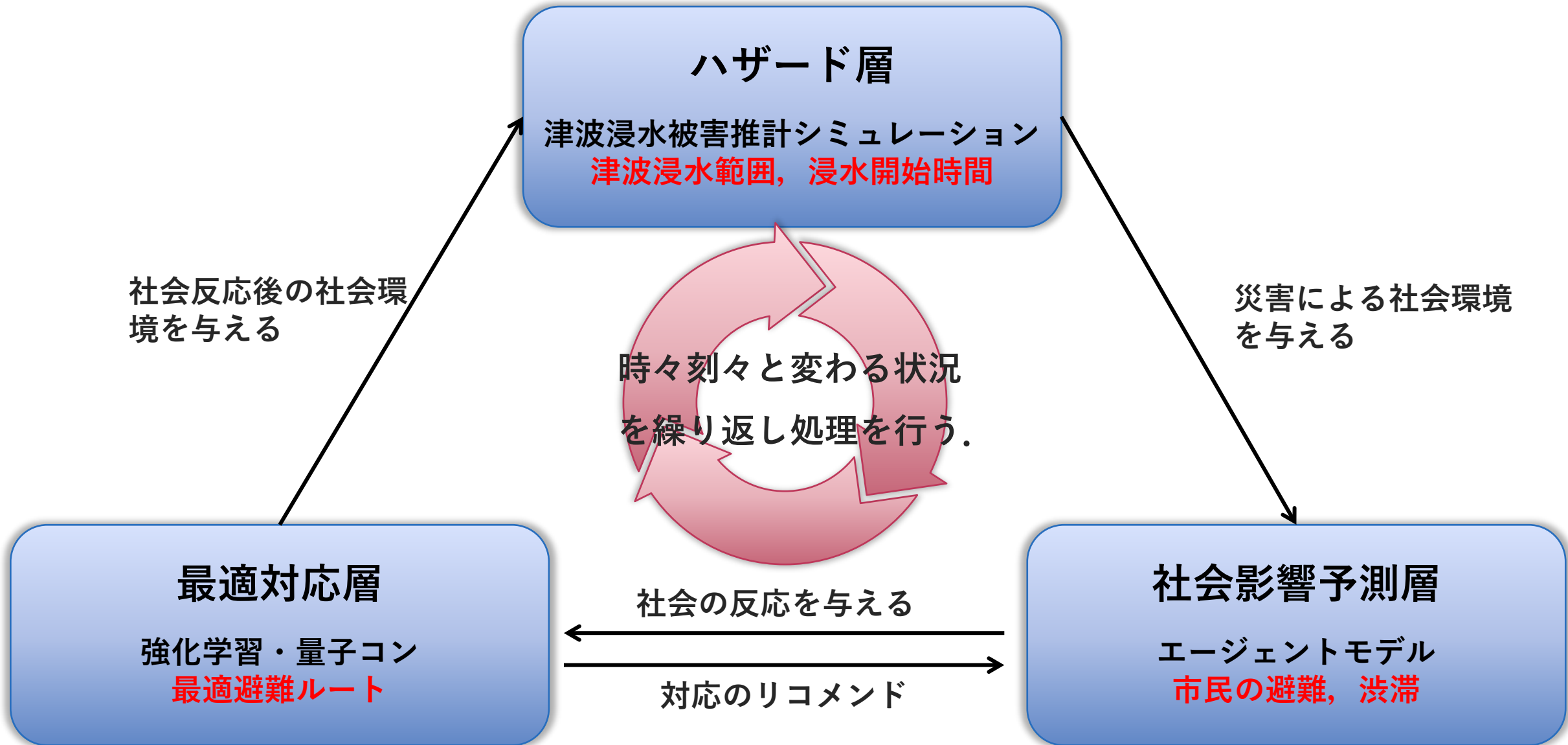


東北大学災害科学国際研究所
越村教授の構想

現在の状況



津波災害デジタルツインの動作イメージ



津波災害デジタルツインで扱う事象（予定）

◆ 自然現象

- 断層破壊
- 津波現象
- 浸水

◆ 市民

- 人口分布（国勢調査，人流データ）
- 死傷者
- 避難者

◆ 居住環境

- 避難所
- 家屋

◆ 公共機関

- 自治体
- 医療機関

◆ 公共インフラ

- 電気，水道，ガス，通信
- 鉄道，道路，港湾

◆ 産業

- 農業，水産業
- 工業（工場）
- 物流，小売店

最適避難経路提示システムの開発

◆ 文部科学省補助事業

- 「量子アニーリングアシスト型次世代スーパーコンピューティング基盤の開発」
- 代表：東北大学大学院 情報科学研究科 小林広明教授

◆ 人の動きをエージェントモデルで再現し，強化学習を行って最適解を求める。

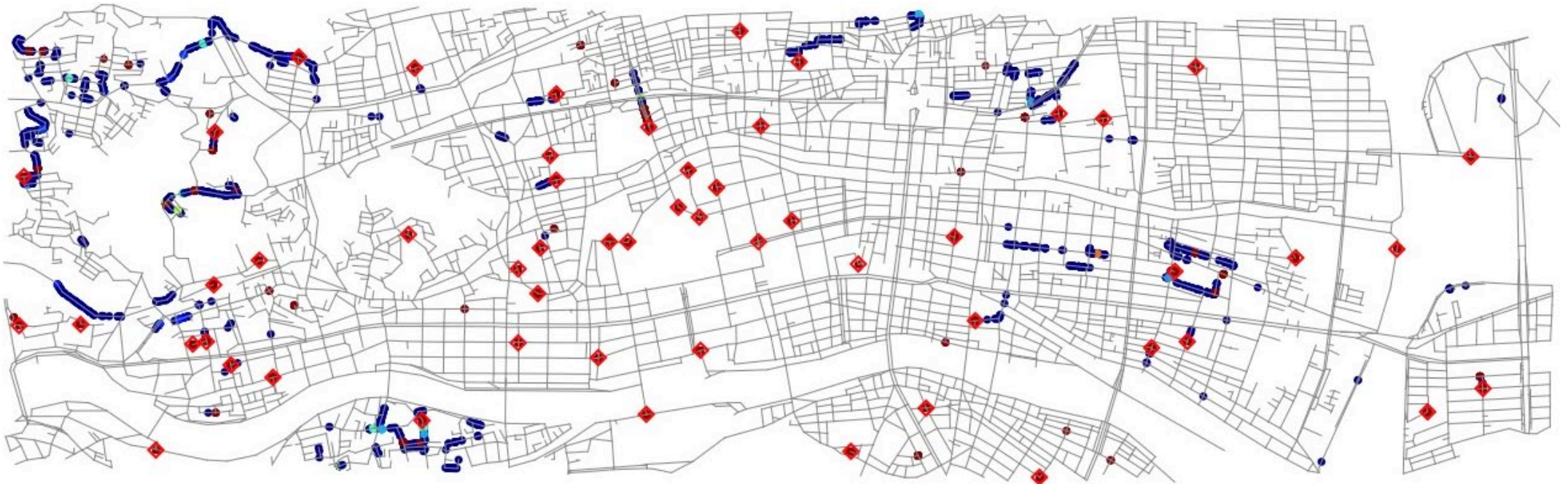
- 東北大学 災害科学国際研究所 エリック・マス准教授
- Q-Learning法

◆ 量子アニーリングを用いて最適化を求める。

- 東北大学大学院 情報科学研究科 大関真之教授
- QUBO式に強化学習から得られた道路混雑度を利用
- BOCS（ブラックボックス最適化）法とMCMC法により経路探索空間の拡大
- カナダのD-WAVEをリモート利用

強化学習の例

- ◆ 高知市中心の35,930人を対象に実施
- ◆ 処理時間は約8時間



t = 29.85 min; evacuated: 32690 of 35930

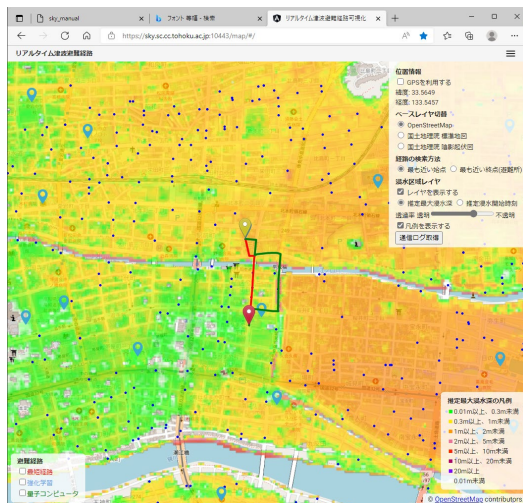
スマホでの避難経路表示

◆ WEB用GISライブラリOpenLayersを用いて開発

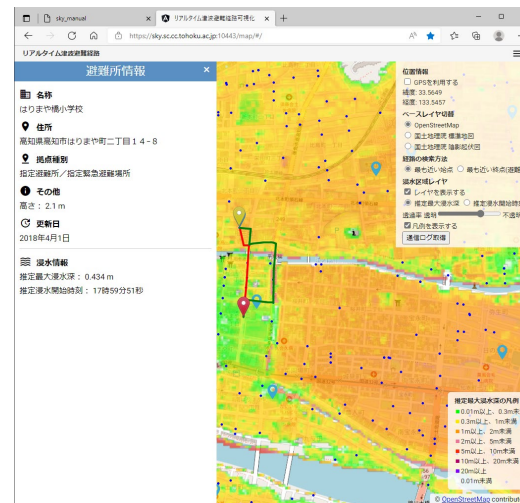
- 国土地理院・OpenStreetMapに対応
- スマホ（iPhone, Android）に対応
- 推定最大浸水深・推定浸水開始時刻を表示
- 避難所情報を表示
- GPSによる位置情報から避難所までの経路を表示
- 写真・動画を位置情報をもとに地図上にアップロード



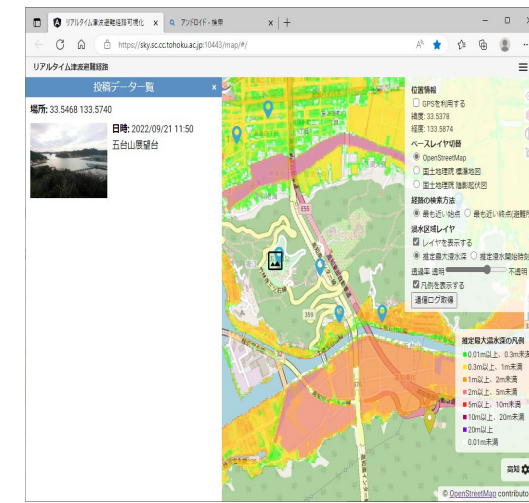
GPSによる表示



津波浸水深の画面



避難所情報の表示



写真の表示

まとめ

- ◆ SQUID は政府のリアルタイム防災システムとして活躍をしている。
- ◆ リアルタイムシミュレーションは防災システムに有効な手段である。
- ◆ リアルタイムシミュレーション・AIなどの技術を活用した災害デジタルツインを開発して、国民の安全・安心に貢献をしていく

\Orchestrating a brighter world

NEC