

都市全域の地震等都市災害 シミュレーションに関する研究 ー都市の地震・津波応答シミュレーションー

東京大学地震研究所 堀宗朗

九州大学大学院 浅井光輝

東京大学地震研究所 市村強

東京大学地震研究所 田中聖三

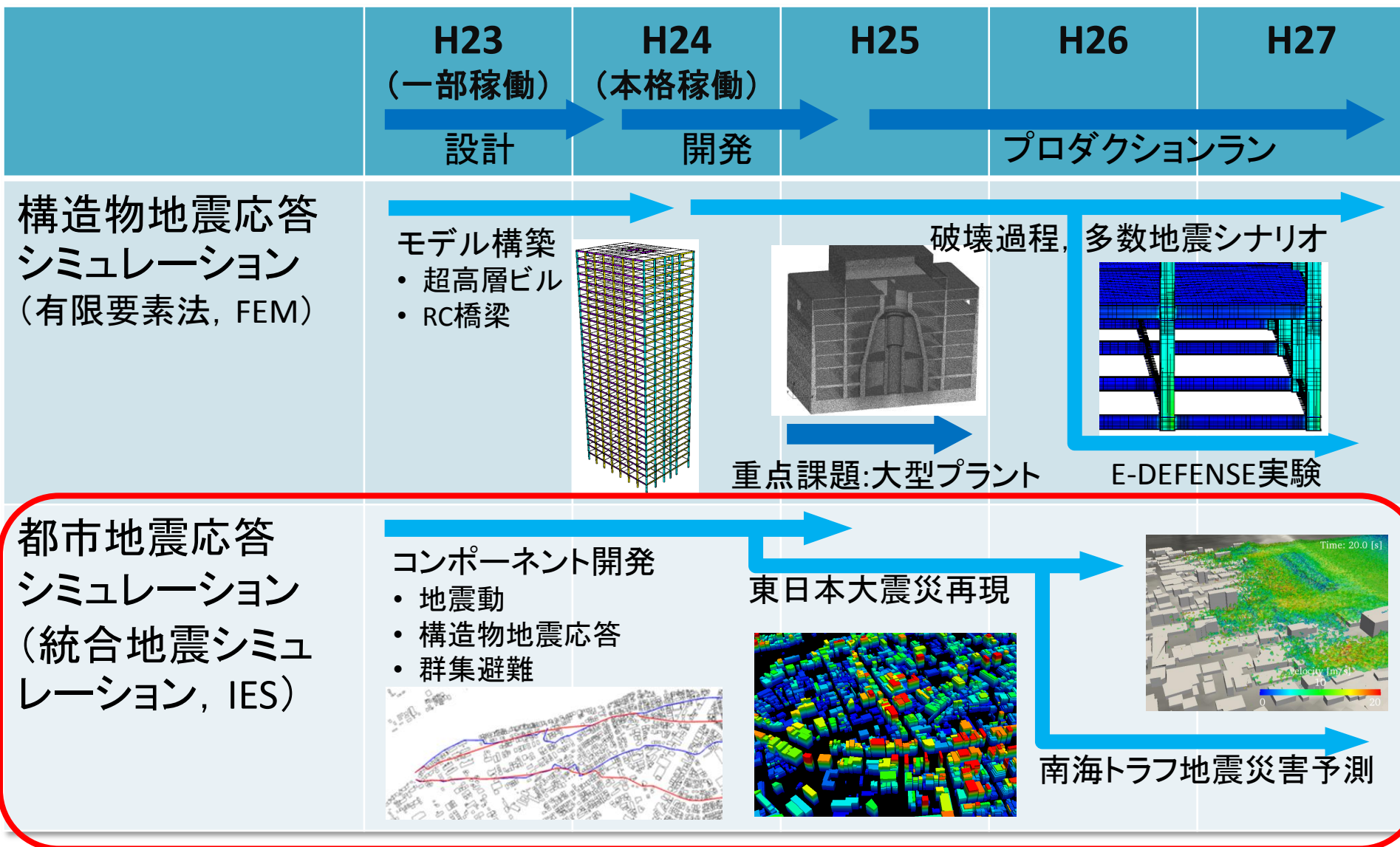
東京大学地震研究所 Lalith Wijerathne

新潟大学 Quinay Pher Errol Balde

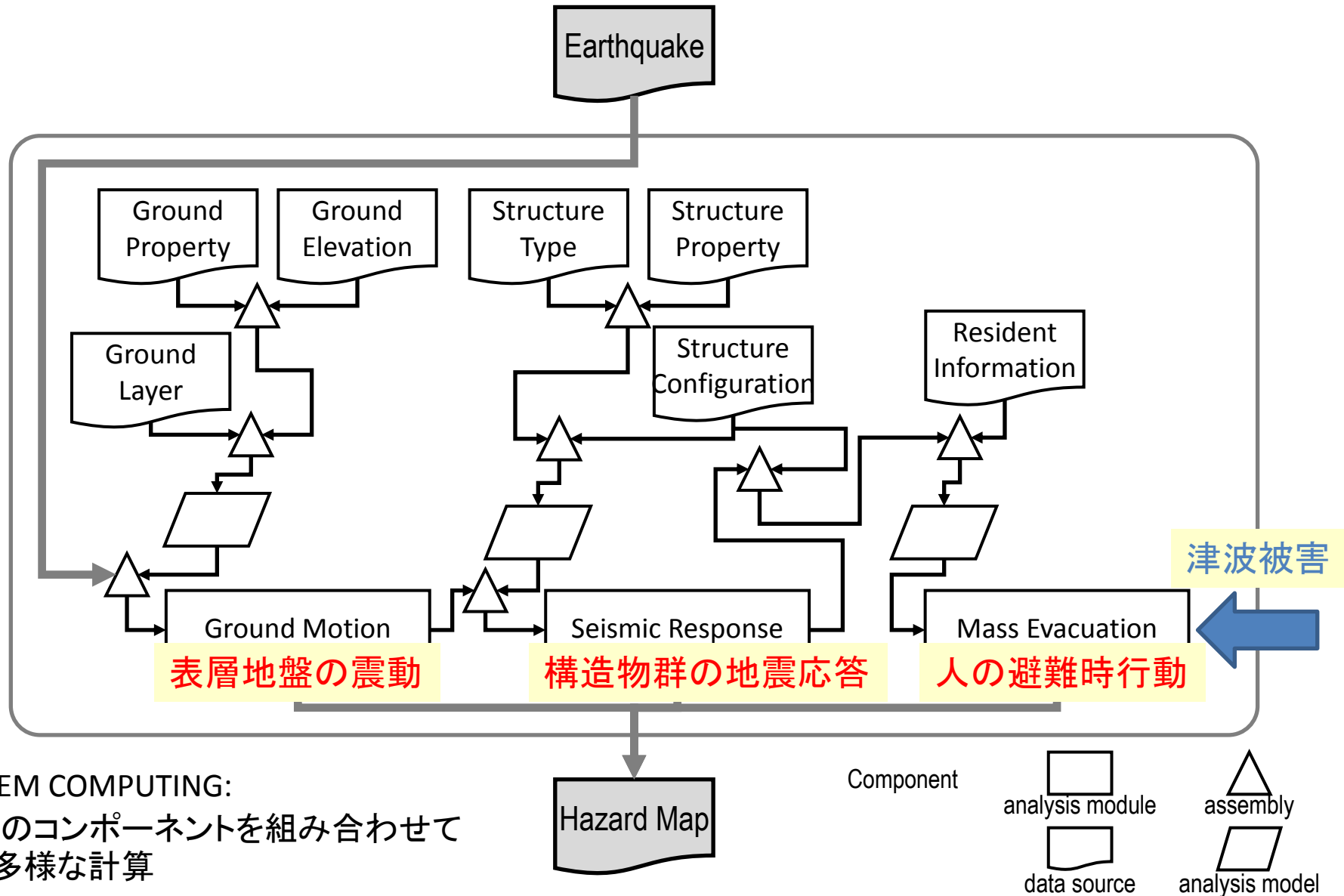
愛媛大学 一色正晴

岐阜大学 永井学志

都市全域の地震等自然災害シミュレーションに関する研究 5カ年計画



SYSTEM COMPUTING



1. 都市部の地震動シミュレーション

表層地盤の震動＋構造物群の地震応答

2. 地震津波複合災害

構造物群の地震応答＋津波遡上

3. 地震・津波と避難時行動の連成

構造物群の地震応答＋津波遡上＋避難行動

1. 都市部の地震動シミュレーション

表層地盤の震動＋構造物群の地震応答

2. 地震津波複合災害

構造物群の地震応答＋津波遡上

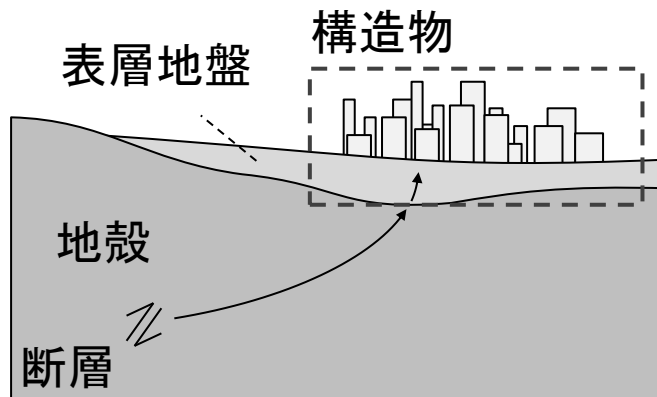
3. 地震・津波と避難時行動の連成

構造物群の地震応答＋津波遡上＋避難行動

都市部の地震動シミュレーション

表層地盤の振動解析＋構造物群の応答

- 地震災害の物理過程をシミュレーションすることで、科学的合理性の高い地震被害想定を求めることができる
 - 広域・複雑形状中での波動伝播を解析するには膨大な計算コストが必要に
- 従来からスーパーコンピュータを使った地殻内の3次元波動伝播シミュレーション手法が開発されてきた
- 都市の応答シミュレーションはまだ多く研究されていない
 - 表層地盤の振動解析＋構造物群の応答シミュレーション



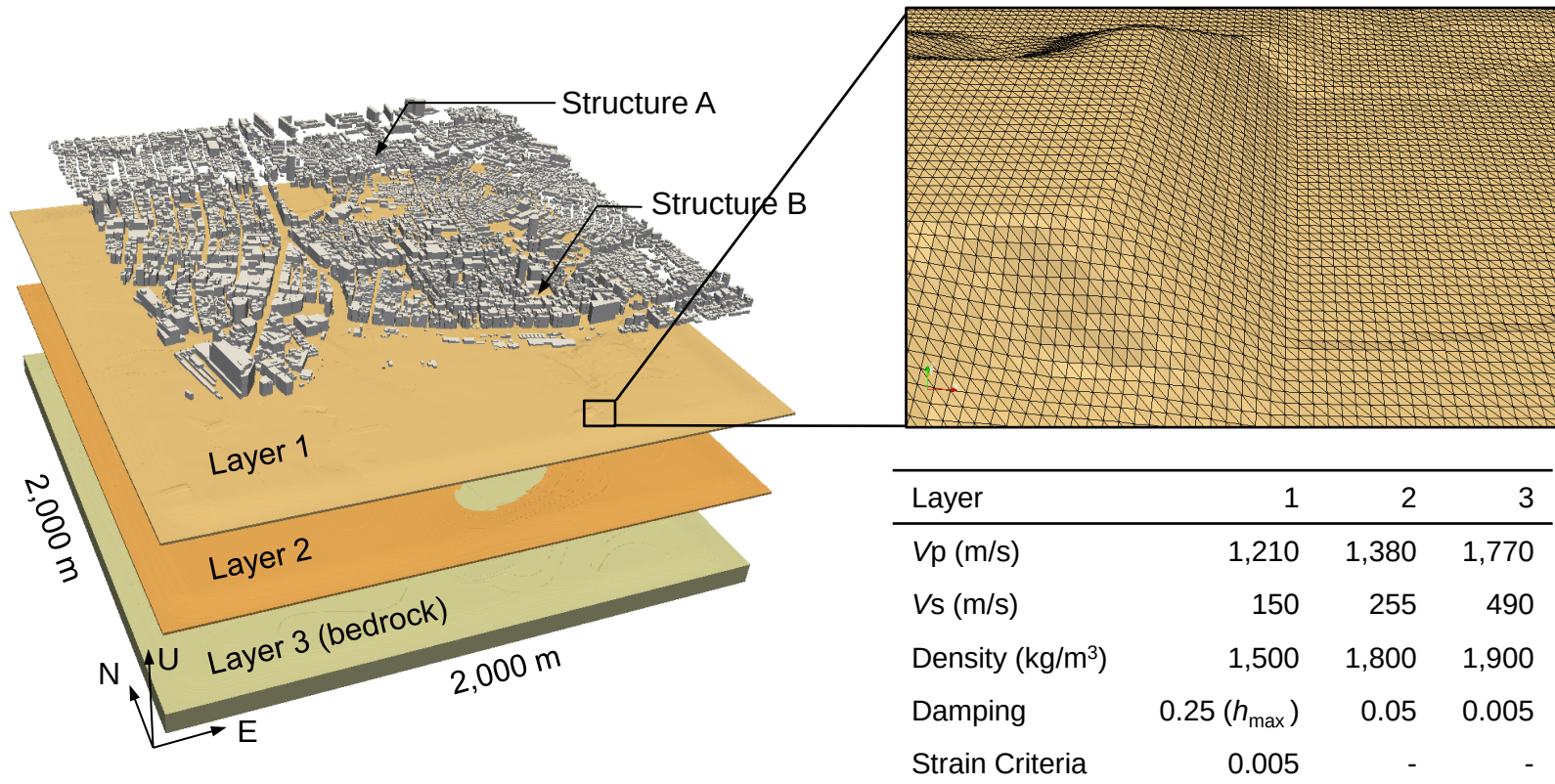
地盤振動解析の課題

- 地盤は複雑な形状をしており、また、地震時には非線形な挙動を示す
 - 3次元非線形有限要素法が適している
 - Unstructured finite elements + implicit time integration
- 構造物の固有周波数(10^1 Hz)まで精度を保証するには大規模問題を解く必要がある
 - 数km四方の領域、分解能1mで100億自由度
 - 計算の大部分を占める線形方程式のソルバが高い並列数までスケールすることが重要

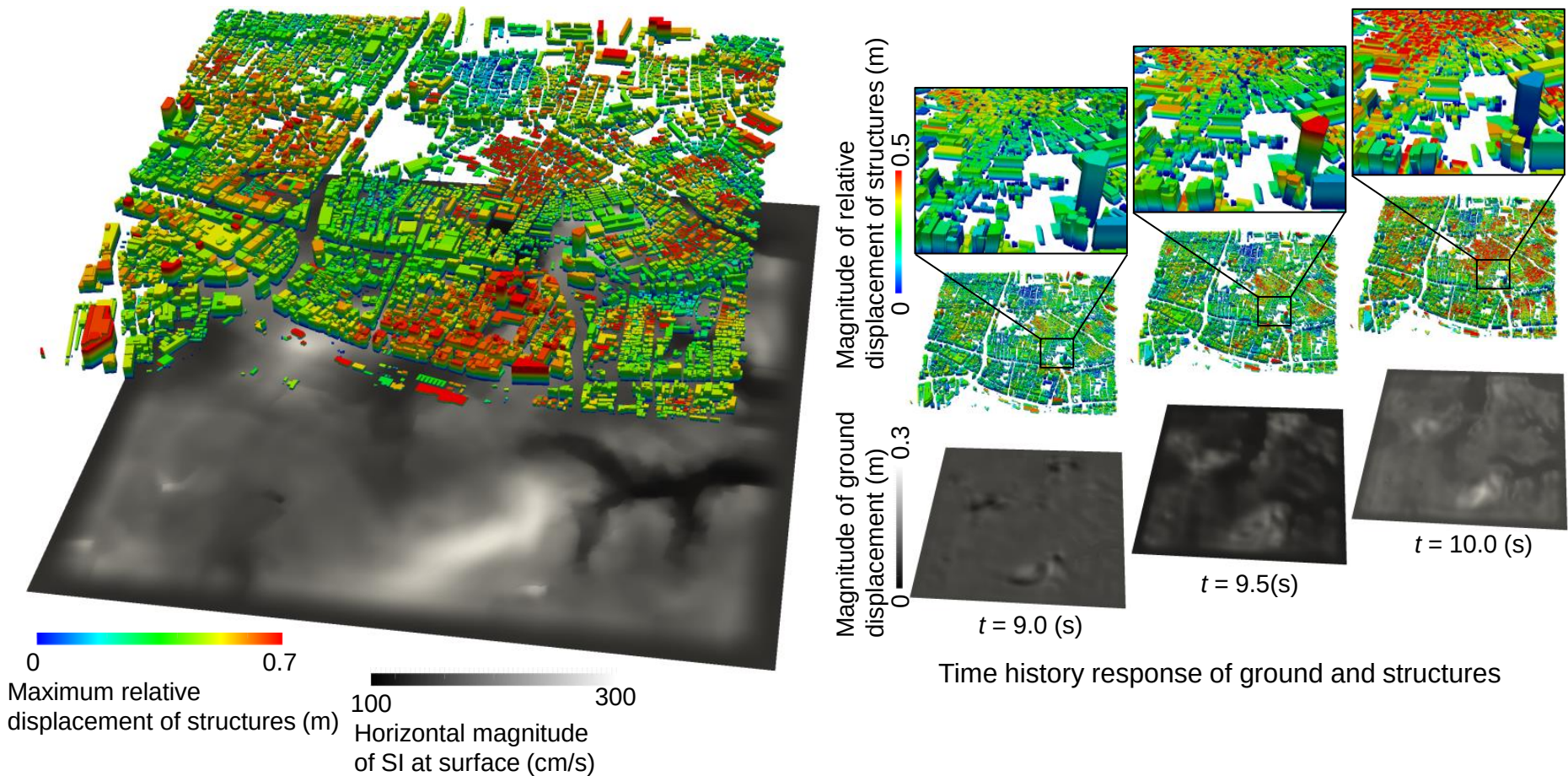
Physics-based urban earthquake simulation

- 問題設定

- 3層地盤構造, 13,275棟からなる2.0 x 2.0 kmの領域
- 最小要素寸法0.66 m, 100億自由度
- モデル底面に神戸波(時間刻み0.001 s, 30,000タイムステップ)を入力
- 地盤振動解析: 京コンピュータ294,912 CPUコア(36,864node)を使って, 11 h 32 min (41,521 s)で計算. 京の全系を使ったテスト(82,944 node, 270億自由度) 1ステップ1.63秒と, 高速に求解できている



ケイパビリティコンピューティングの成果



3次元地盤構造と各構造物の特性を反映した複雑な地表面・構造物応答を計算

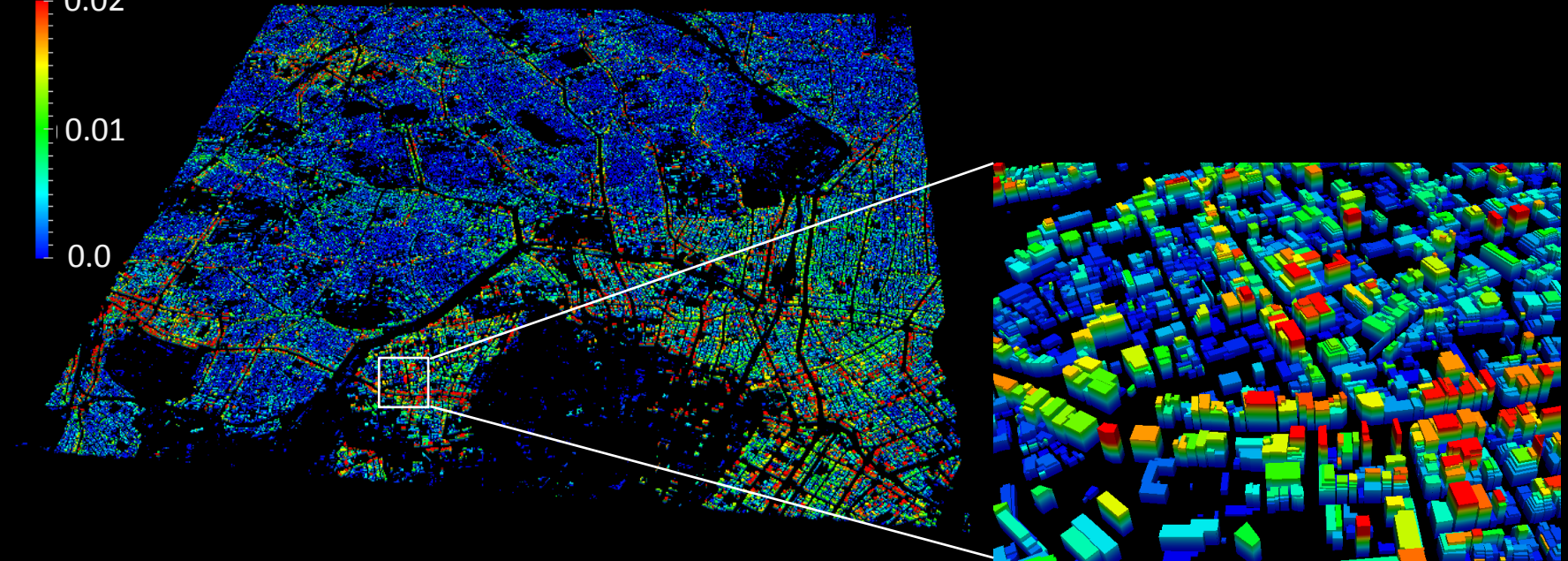
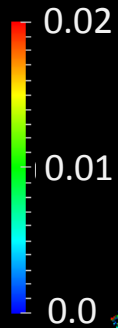
*Physics-based urban earthquake simulation enhanced by 10.7 BlnDOF x 30 K time-step unstructured FE non-linear seismic wave simulation, Tsuyoshi Ichimura, Kohei Fujita, Seizo Tanaka, Muneo Hori, Maddegedara Lalith, Yoshihisa Shizawa, and Hiroshi Kobayashi, **Accepted for SC14 Gordon Bell finalist**



適用例

- 1,000ケースの構造物の応答を計算
 - 各ケースの最大値, 平均値, 分散などの統計量を求めることができる
 - 多くの地震に対して揺れる構造物, 特定の地震に対して揺れる構造物などの把握
 - 防災対策の優先度を定めることで, 効率的な対策につながる可能性

Mean displacement [m]



1,000ケースの時系列最大変位の平均値

1. 都市部の地震動シミュレーション

表層地盤の震動＋構造物群の地震応答

2. 地震津波複合災害

構造物群の地震応答＋津波遡上

3. 地震・津波と避難時行動の連成

構造物群の地震応答＋津波遡上＋避難行動

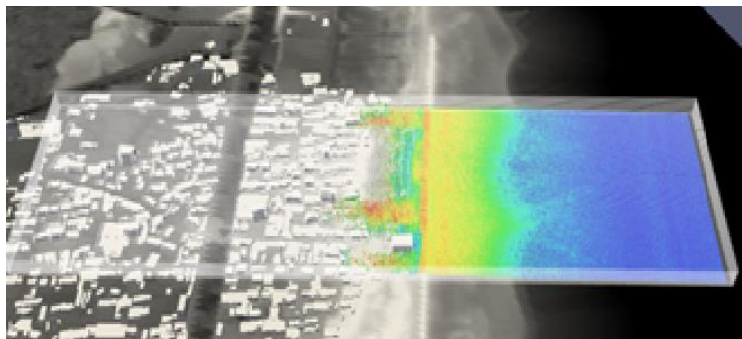
地震津波複合災害

構造物群の地震応答＋津波遡上

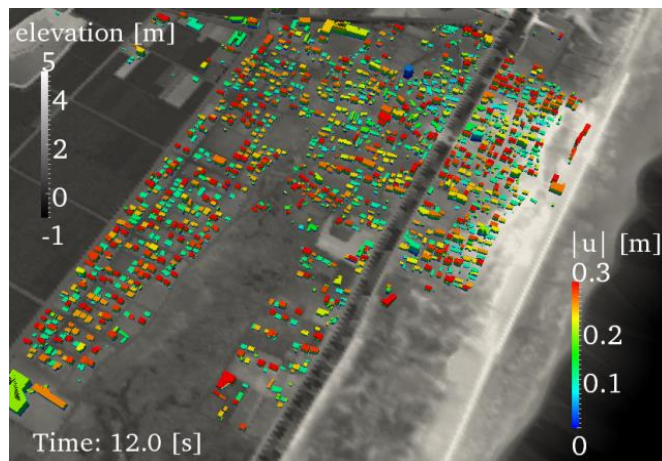
地震動・地震応答の解析モジュール
と津波の解析モジュールの利用



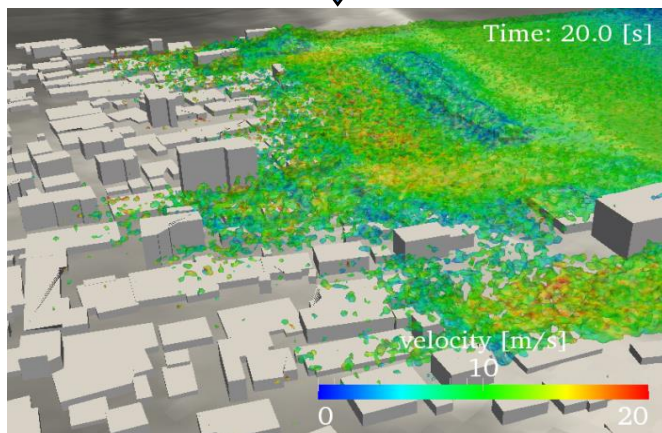
地盤・構造物の都市モデル



津波侵入の都市モデル



構造物一棟一棟
の被害の有無を
都市モデルを使っ
て推定



構造物被害を生
じた都市モデル
への津波の侵入



高精度な地形モデルの復元

<手順>

- ①航空測量データ
- ②平面データ作成
- ③粒子発生

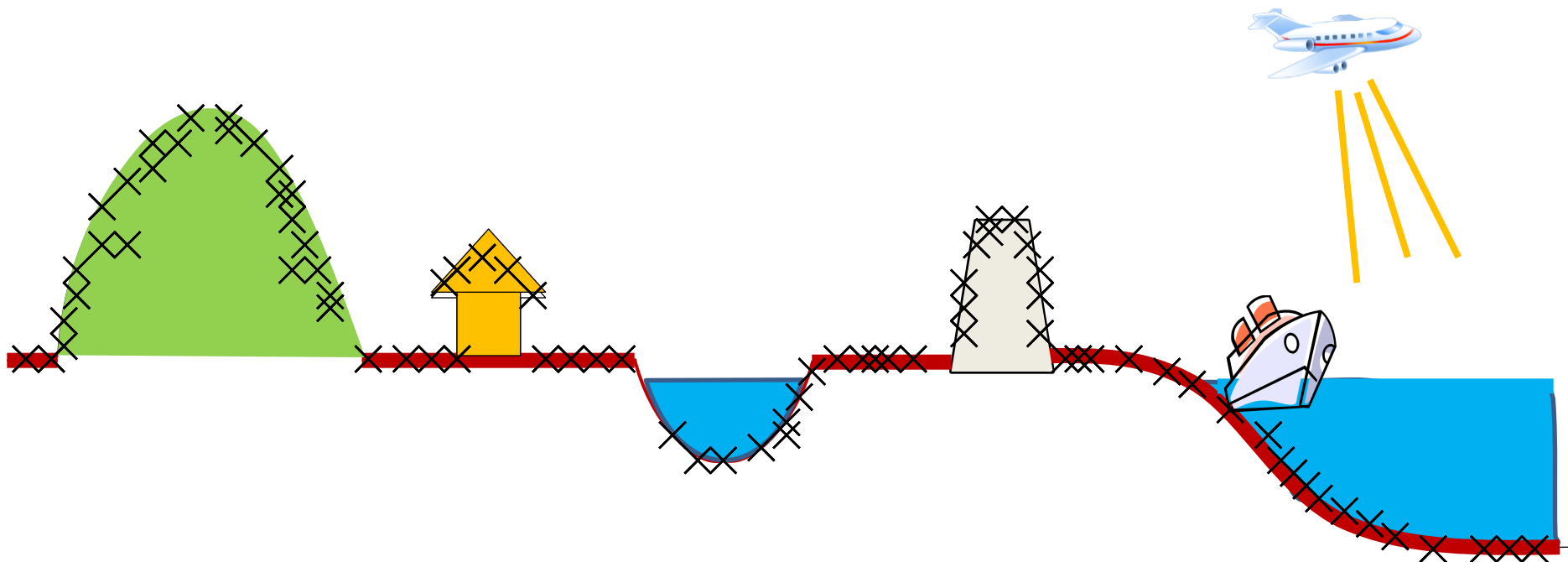
岩手県県土整備部河川課
株)防災技術コンサルタント よりデータ提供

航空レーザ測量 + 深淺測量

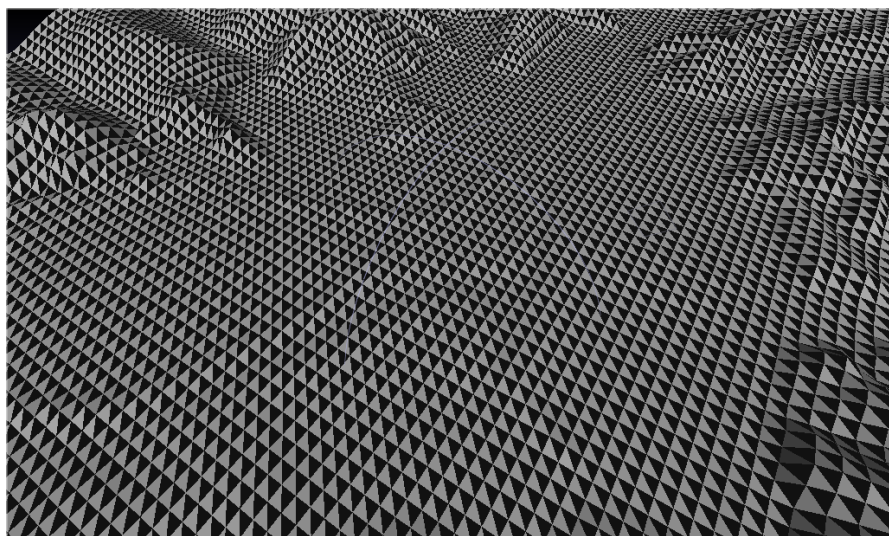
地上のデータ (約1m間隔)

海底のデータ

航空機から地上にレーザを照射し、反射波を観測



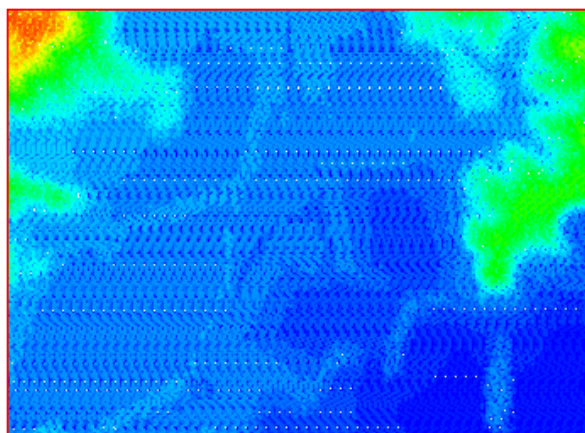
数値地図モデルと高精度モデル



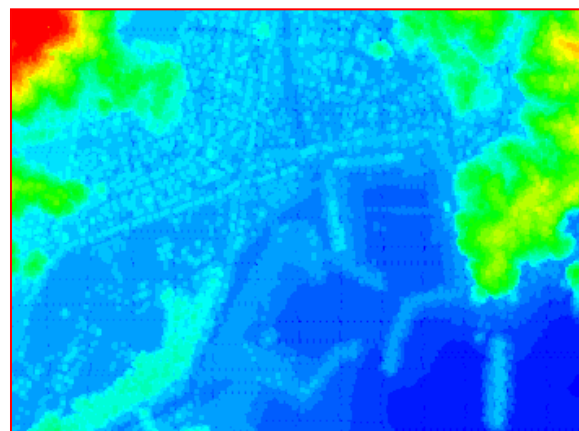
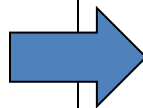
これまでのデータ



改善した地形モデル



10mの解像度



1mの解像度

カラーコンター：標高



九州大学周辺での仮想津波被害

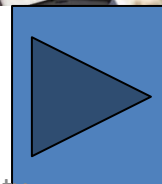
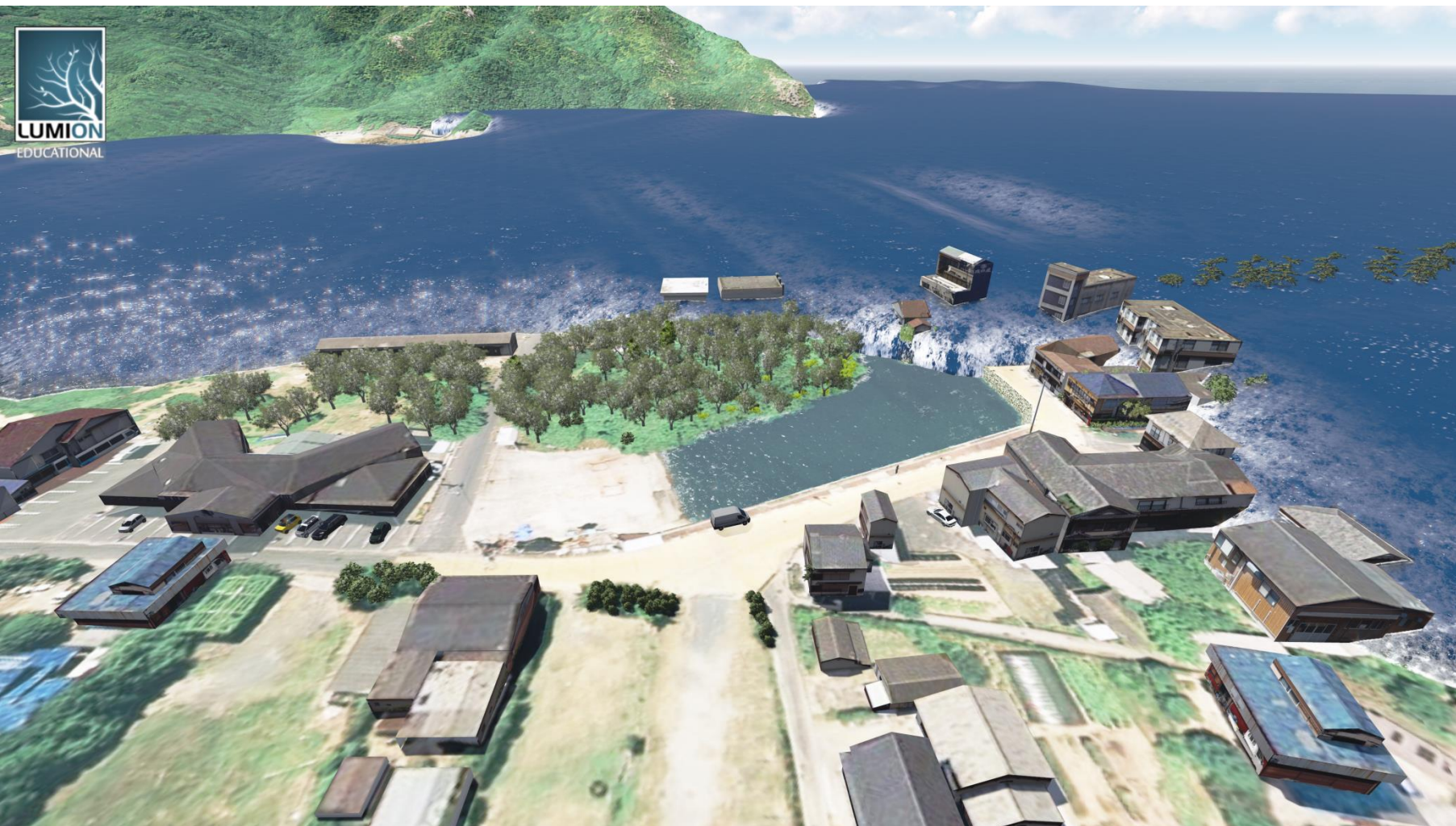


Interferenti nkle









1. 都市部の地震動シミュレーション

表層地盤の震動＋構造物群の地震応答

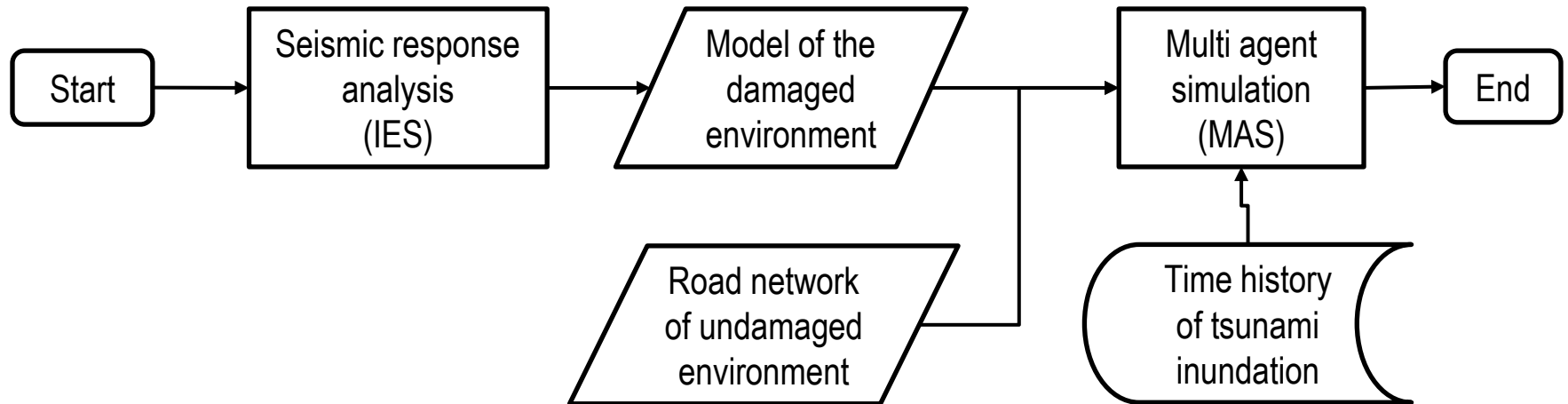
2. 地震津波複合災害

構造物群の地震応答＋津波遡上

3. 地震・津波と避難時行動の連成

構造物群の地震応答＋津波遡上＋避難行動

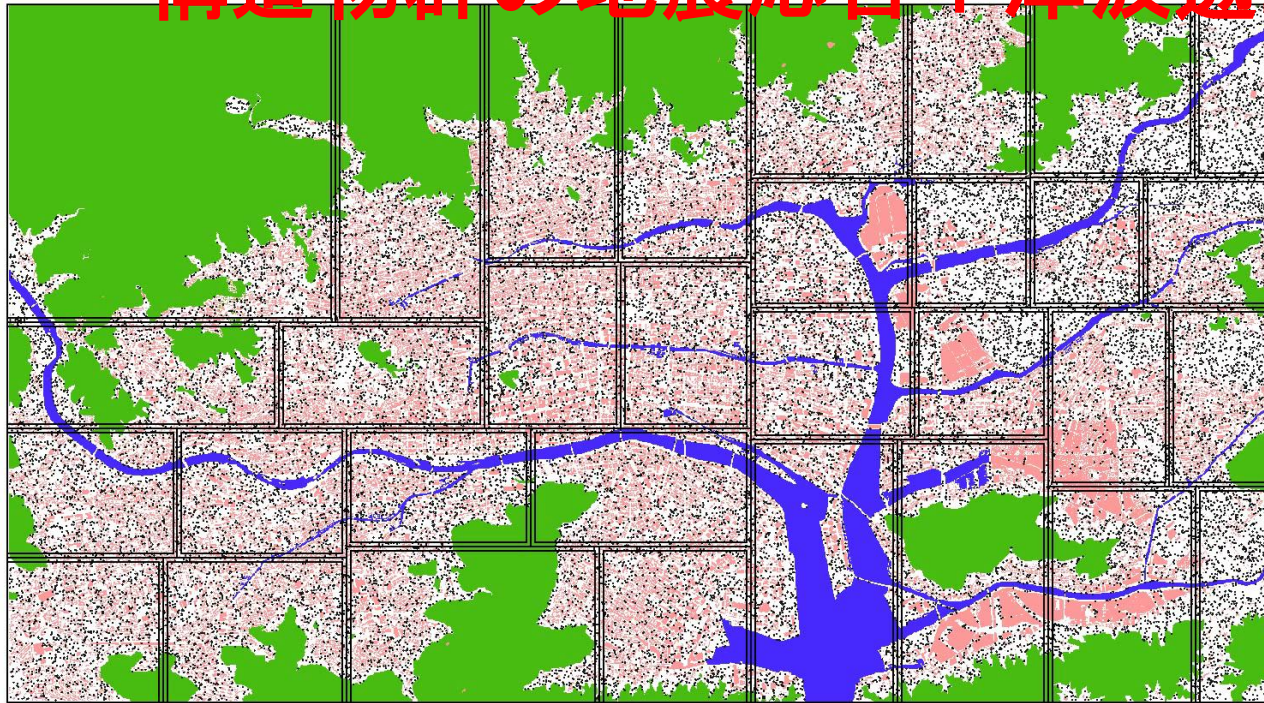
複数モジュールとの連成した避難時行動解析



- Earthquake induced damages are incorporated by modifying the initial grid according to building damages
 - Earthquake induced damages are modelled with Integrated Earthquake Simulator
- Inundation is incorporated by dynamically changing state of grid cells according to water level

地震・津波と避難時行動の連成

構造物群の地震応答＋津波遡上＋避難行動

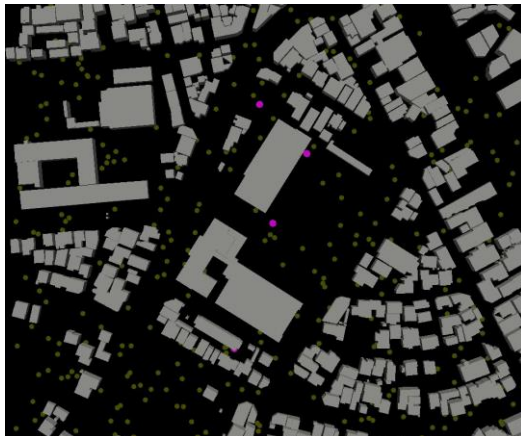


高知市200,000エージェント

- 高台へ避難
- 住民と旅行者の区別
- 津波解析(モジュール)との連成

課題

- 避難ビルの指定
- 住民情報の入力
- 地震動・地震応答モジュールとの連成

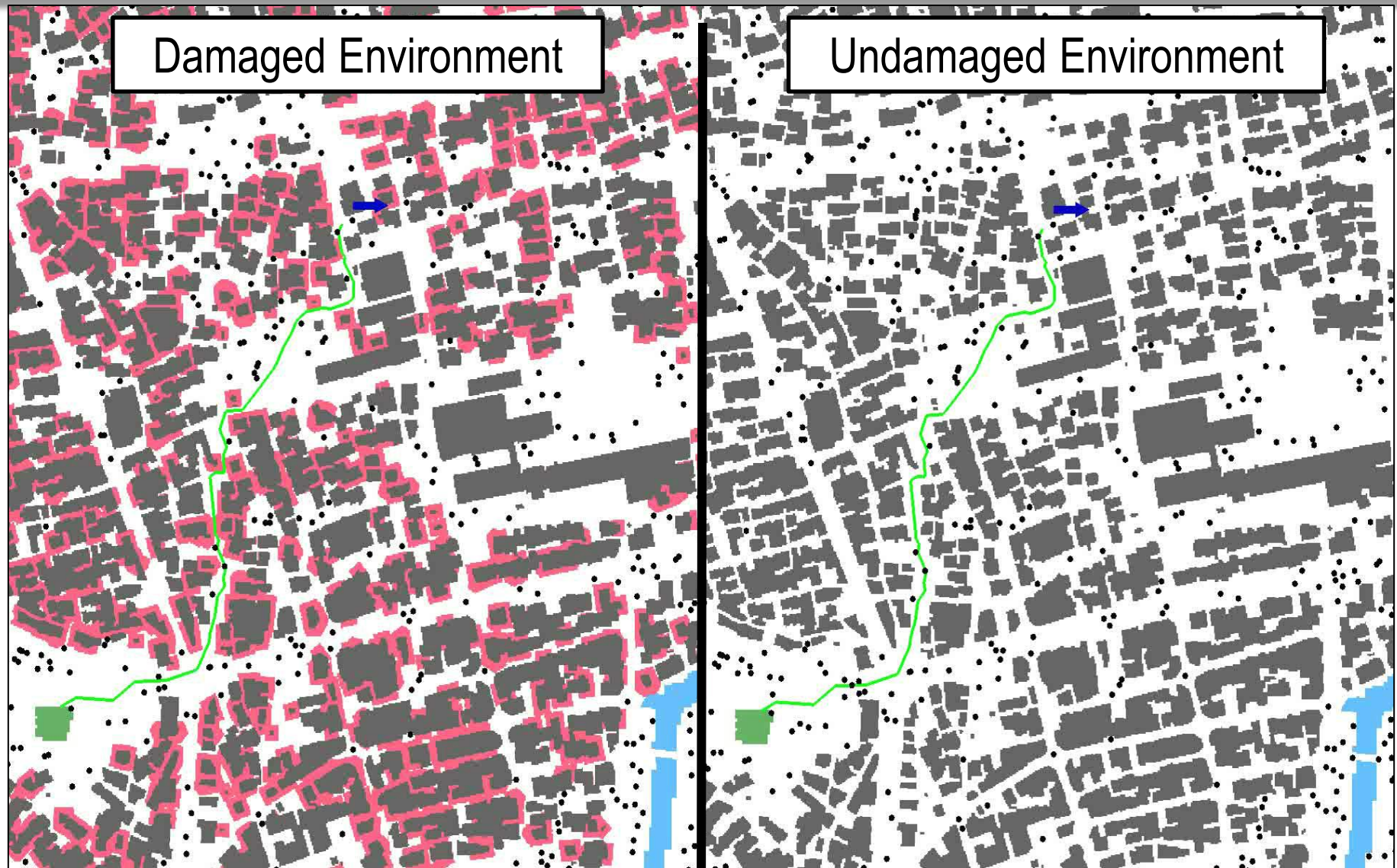


- official agent which forces evacuation
- agent which does not start evacuation
- agent which starts evacuation

避難促進者の導入への利用

- 警察官・消防団等の避難促進者を模擬した official agent の導入 (避難を開始していないエージェントを見つけ、避難を強制する)
- 「official agentを何パーセント導入するとエージェントの避難の促進を図れるか」という群集避難シミュレーションの結果を基に、避難促進者の割合を決定

地震応答モジュールとの連成



エージェントの精緻・高機能化

A resident agent
(with pre-defined path)

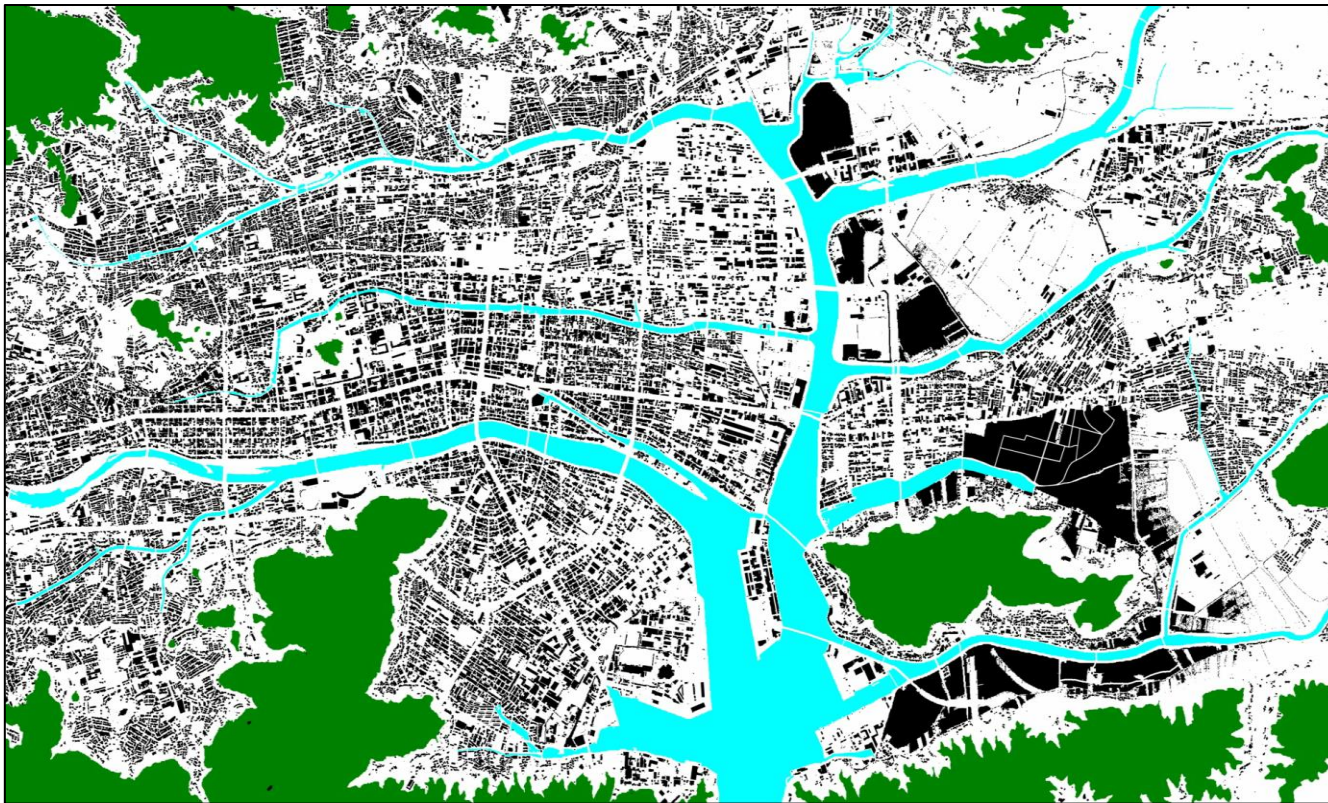


A visitor agent
(no pre-defined path)



Incorporating tsunami inundation

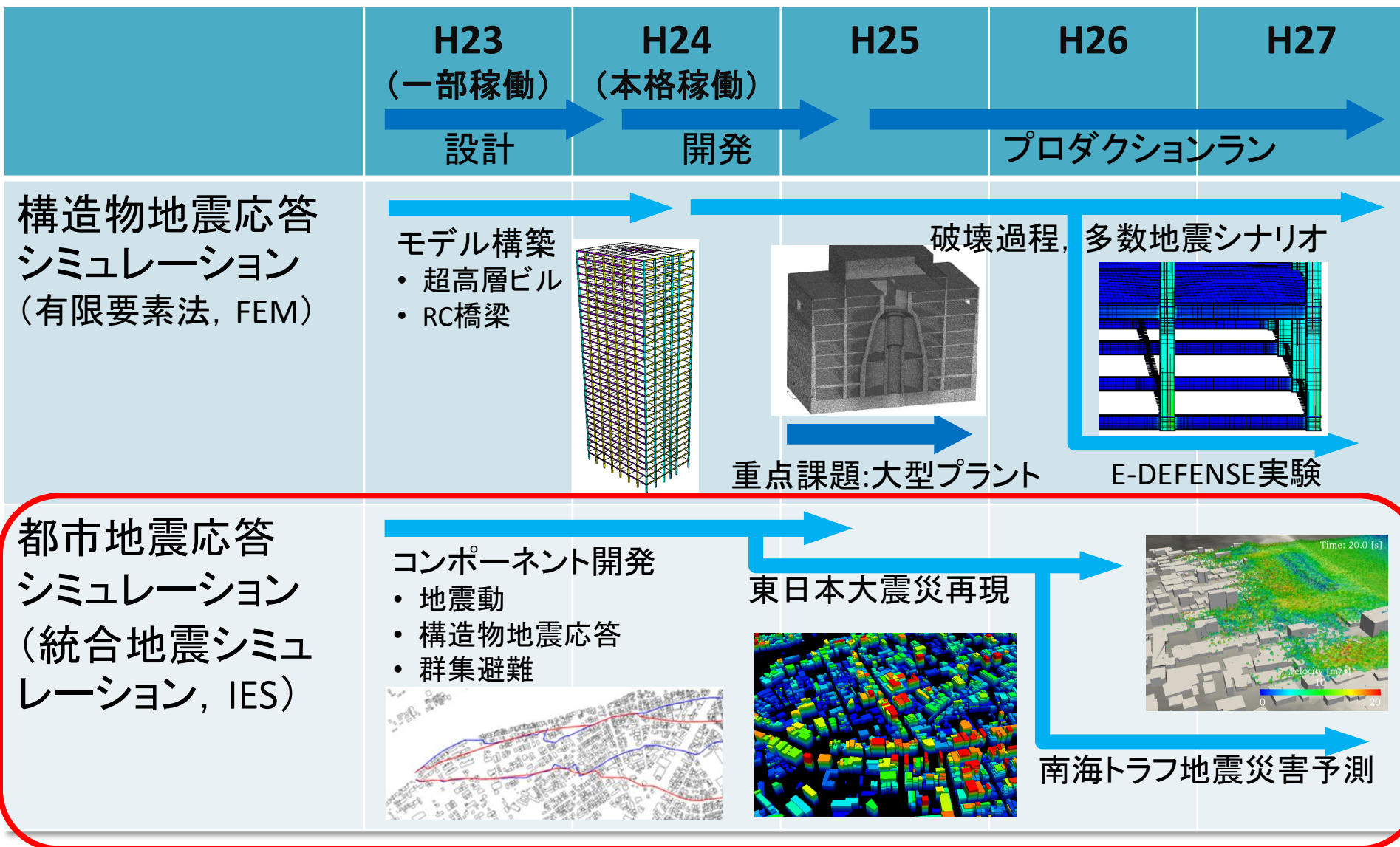
- Grid is updated at a given time interval
 - e.g. update according to tsunami simulation data at every 5 minutes



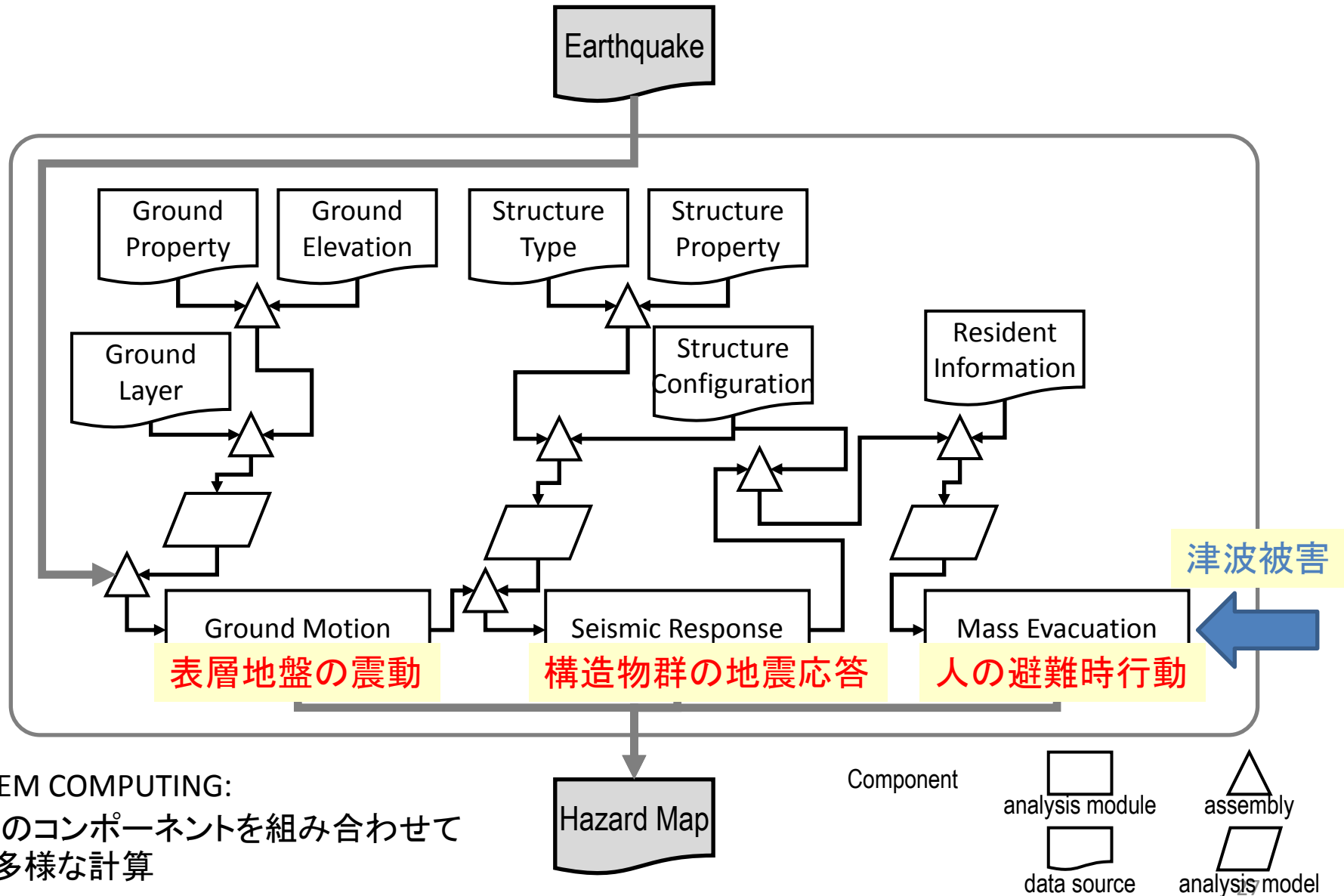
Cyan: Nominal water level
Blue: Inundation > 0.5m

Tsunami inundation data provided by Dr. T. Baba, JAMSTEC

都市全域の地震等自然災害シミュレーションに関する研究 5カ年計画



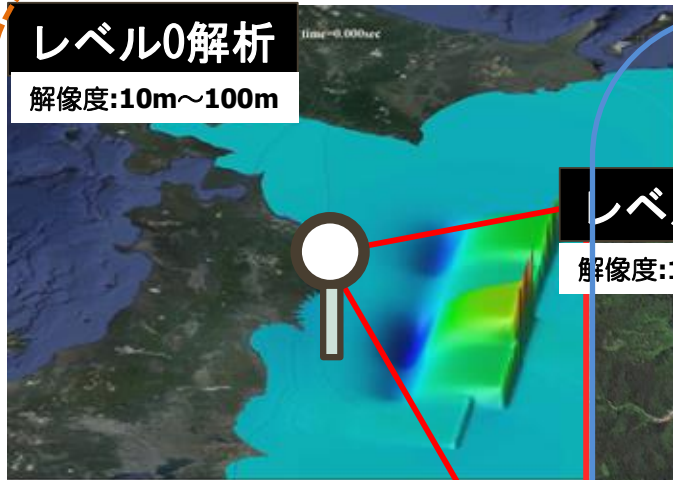
SYSTEM COMPUTING



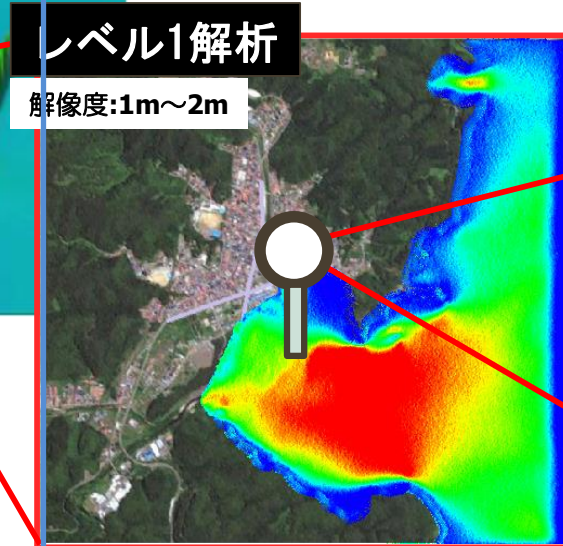
SYSTEM COMPUTING:
多数のコンポーネントを組み合わせて
使う多様な計算

津波課題に関する 他テーマとの連動の必要性

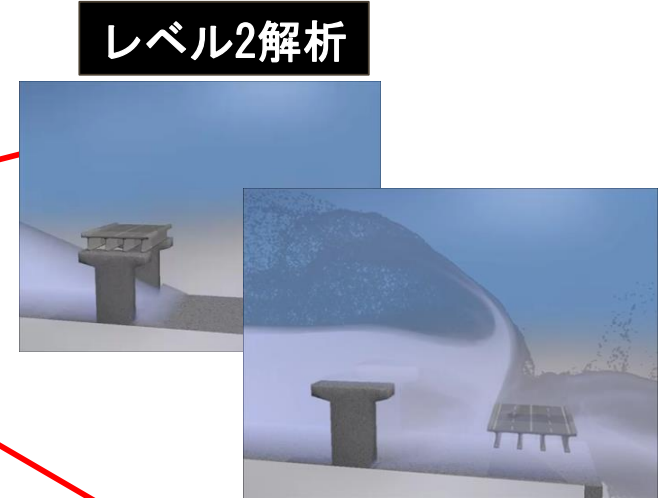
理学的な領域(予測)



従来の津波解析
(津波伝搬解析)



津波遡上現象



橋梁等の土木構造物の被害予測
(橋梁の流失被害)

工学的な領域(防災・減災)