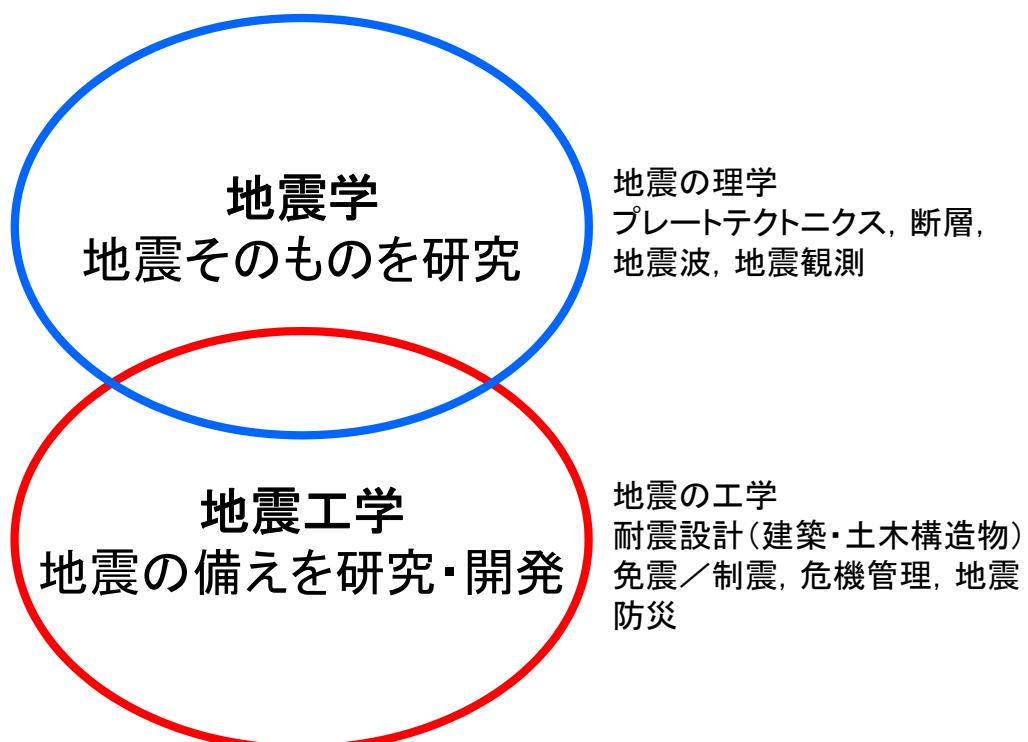


スパコンで都市を丸ごと揺らす ～地震のシミュレーション～

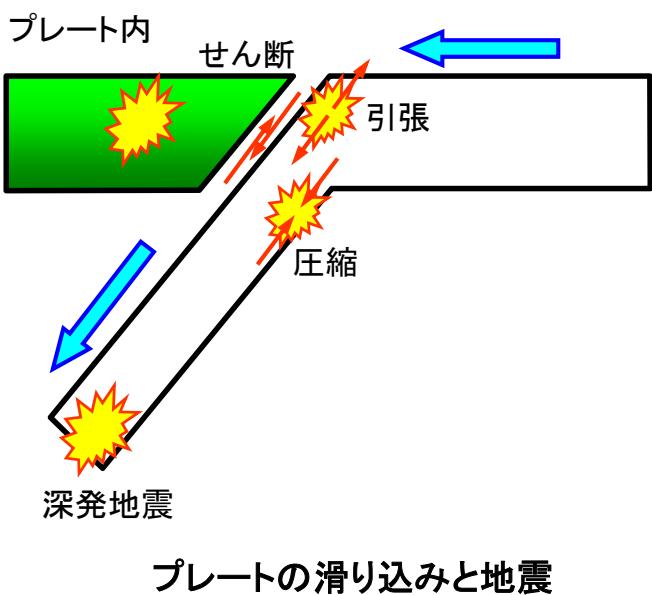
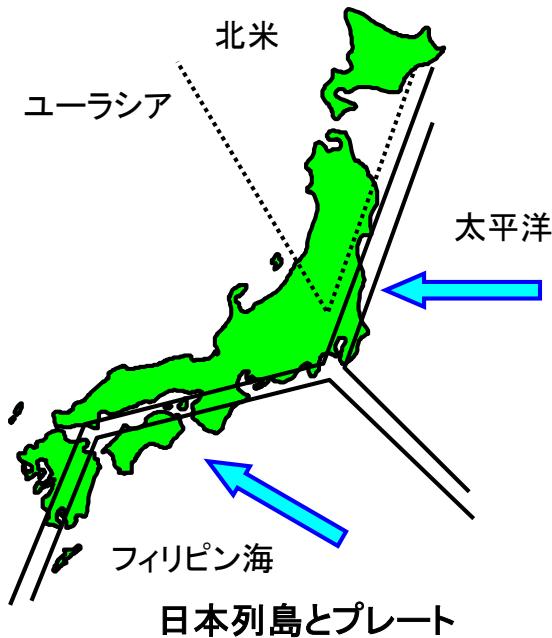
堀宗朗

総合防災・減災研究チーム(理研R-CCS)
東京大学地震研究所

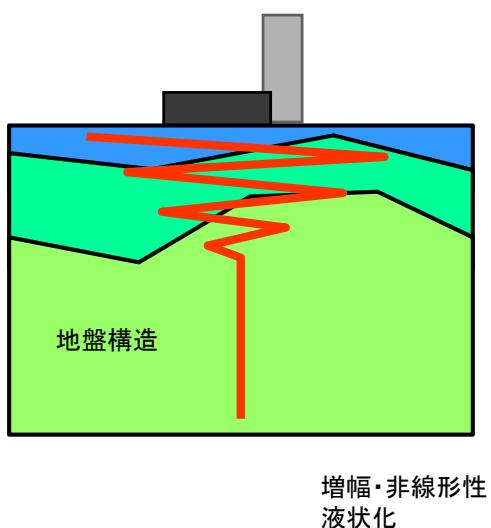
地震に関する学問



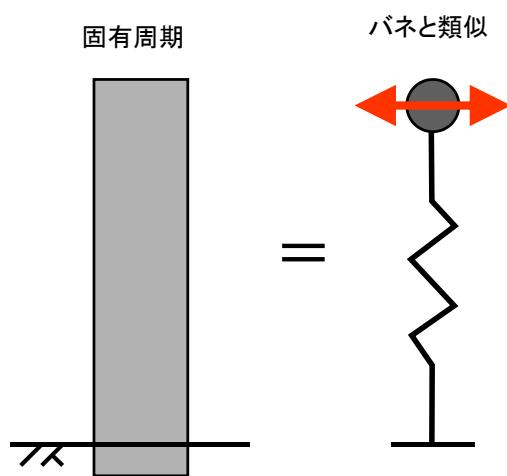
エッセンス：地震学的視点



エッセンス：地震工学的視点



軟らかい地盤は大きく揺れる



建物の揺れ

一定の間隔の揺れが卓越する

地震の計算

◆有限要素法(Finite Element Method, FEM)の開発

- 非線形波動方程式の汎用数値解析手法
0.1T自由度, 100K step
- 適用 地殻・地盤の地震波動伝播
重要構造物の地震応答

◆都市シミュレーション手法の開発

- 都市での災害・被害・被害対応の連成解析手法
- 適用 地震・津波の災害・被害過程
住民等の避難過程

有限要素法

ニュートンの運動方程式を、巨大な連立方程式に変換して計算する

◆物理

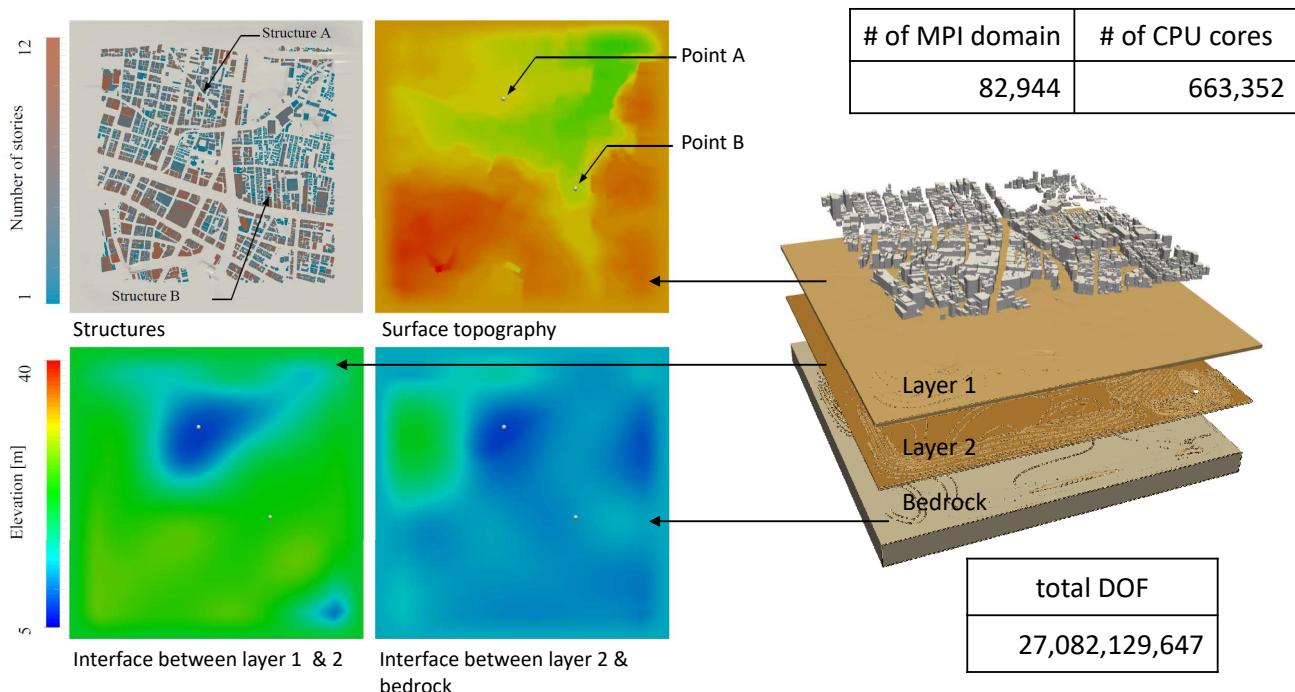
- 地盤は常に地盤として挙動
→ 地盤の材料定数から行列を決定することが可能

◆数理

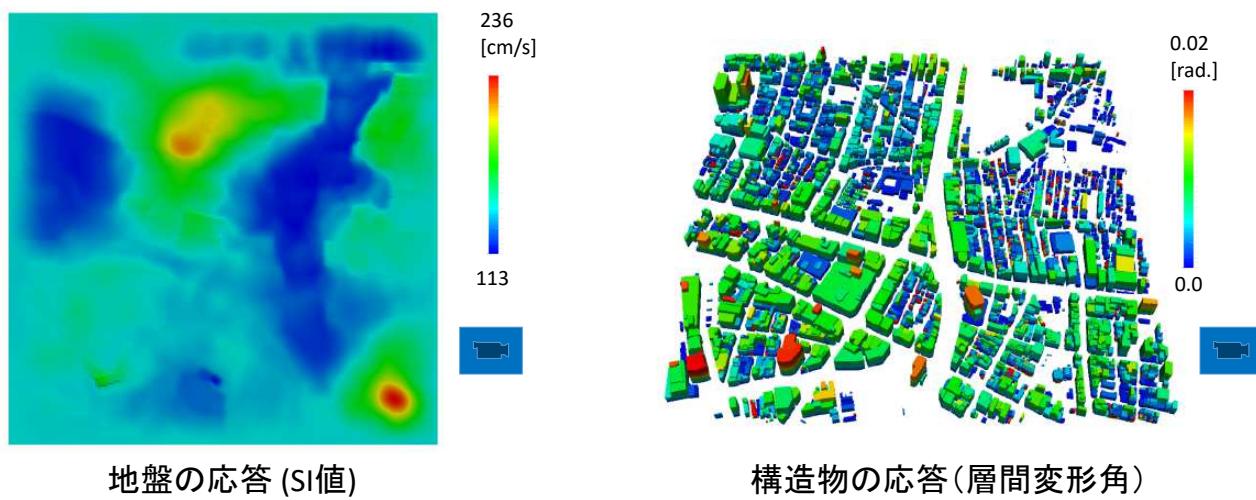
- 解の誤差を最少にしていくアルゴリズム
→ 連立方程式の解を高速で計算することが可能

都市のモデル

- 都市もニュートンの運動方程式を満たす
 - 都市の運動方程式を連立方程式に変換する

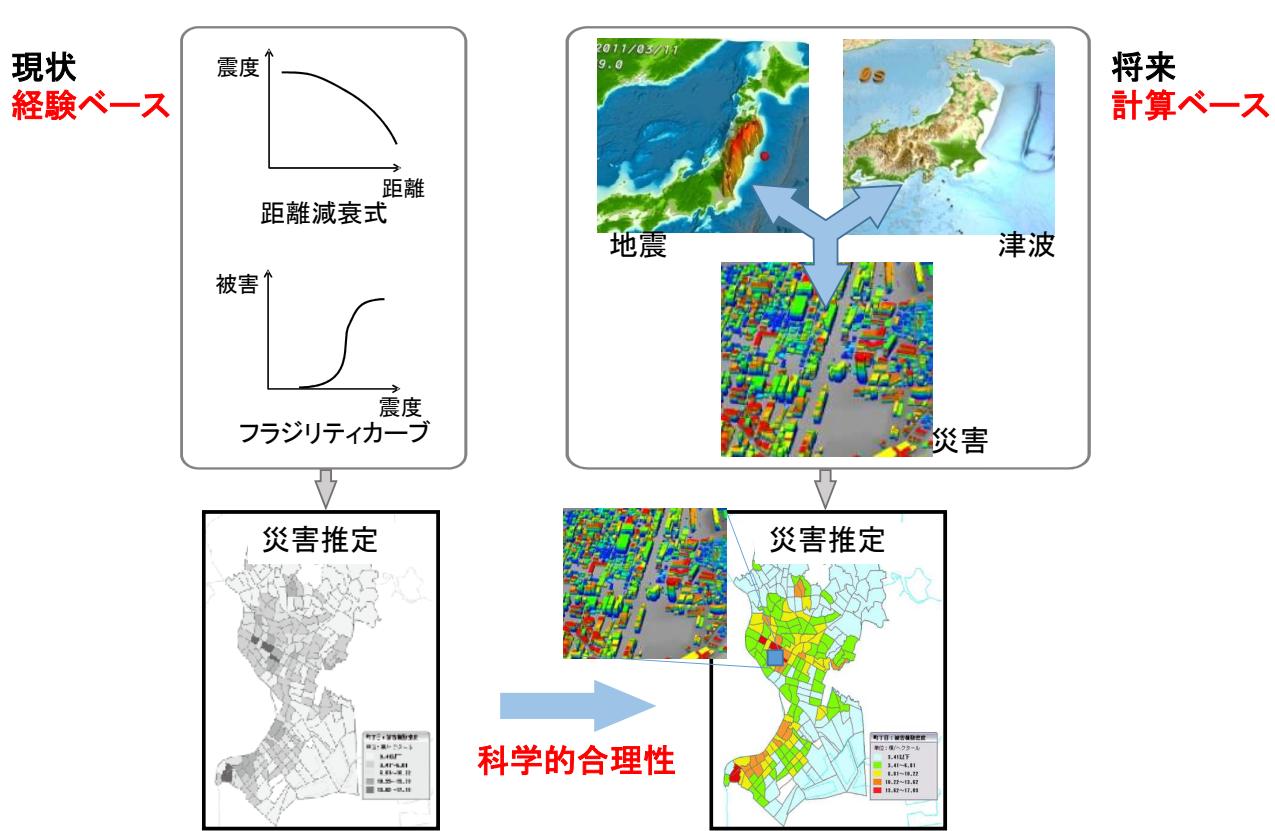


連立方程式の解



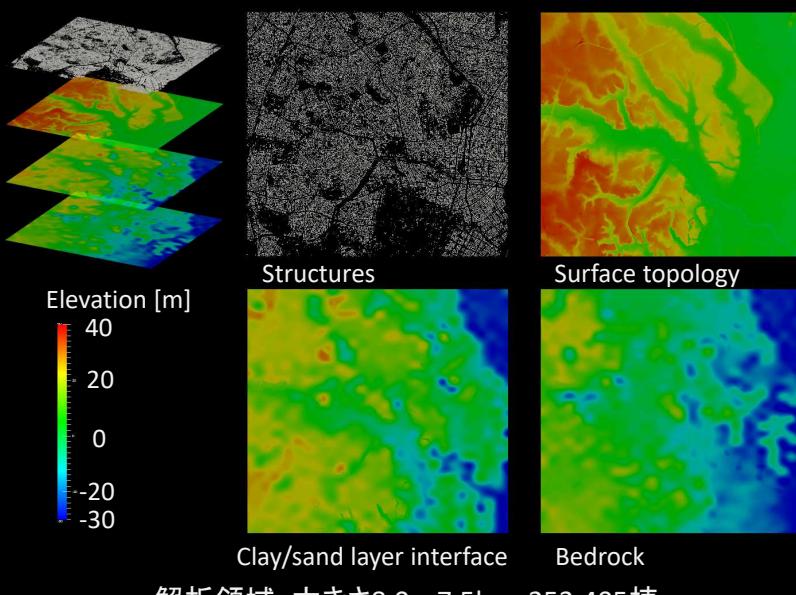
有限要素法 都市モデル	運動方程式を変換した連立方程式を解く解法 都市が満たす運動方程式を決めるモデル
----------------	--------------------------------------------

巨大地震・津波による災害予測



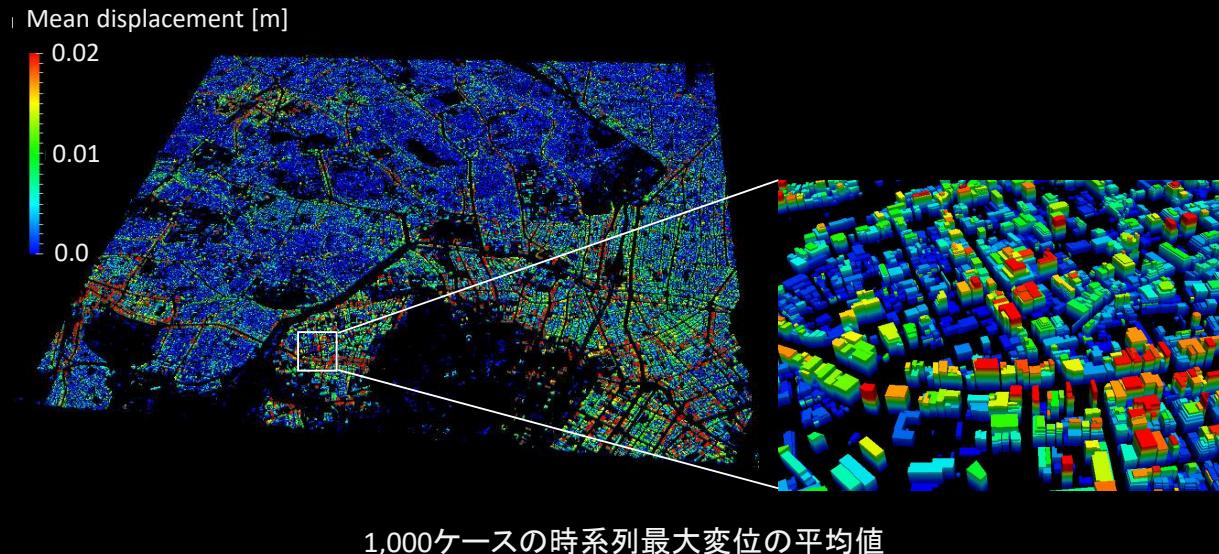
適用例

- KiK-net にて観測された1,000波を工学的基盤層に入力し、地盤・構造物の応答を計算
- 地盤工学会の全国電子地盤図をもとに作成した3層地盤モデルを使用
 - 物性値: $V_s = 115\text{m/s}$ (clay), $V_s = 260\text{m/s}$ (sand), $V_s = 500\text{m/s}$ (bedrock)
- 京コンピュータ160,000プロセス(20,000ノード)を使って計算(計算時間3,446s)



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決めることで、効率的な対策につながる可能性

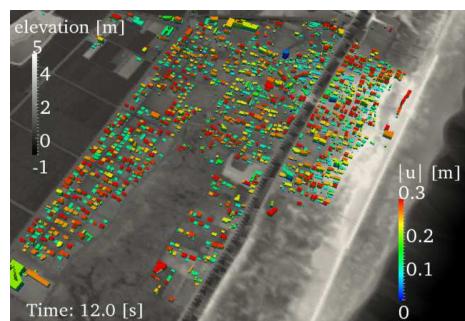


地震津波複合災害

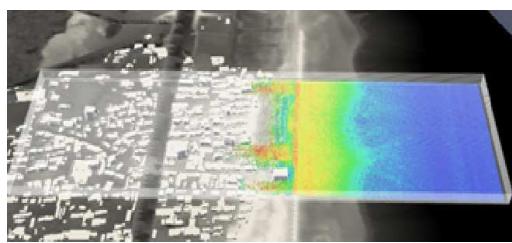
地震動・地震応答の解析モジュール
と津波の解析モジュールの利用



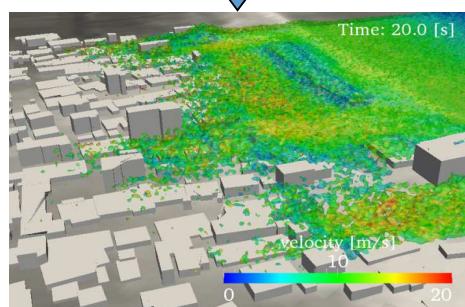
地盤・構造物の都市モデル



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



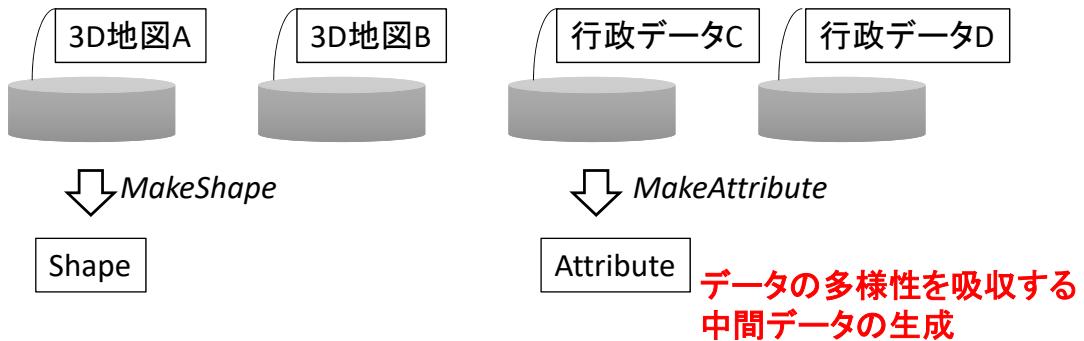
津波侵入の都市モデル



構造物被害を生じた
都市モデルへの津波の侵入

モデル自動構築

- データのサイロ問題の解決
 - 個別整備される都市情報のデータは多様
 - 都市情報のデータを効率処理し、モデル構築を普遍化



- 中間データの自動生成
中間データの管理が不要となり、データ処理が簡略

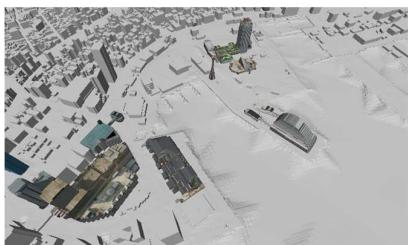
ターゲットデータ

Input of
Program P

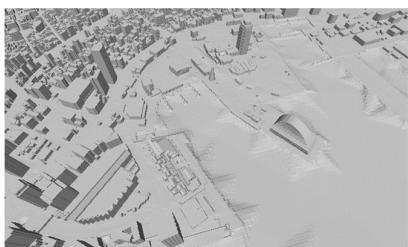


モデル構築処理の記述
*MakeInputForP (MakeShape(地図データA), MakeAttribute(行政データB))
MakeInputForP (MakeShape(地図データC))*

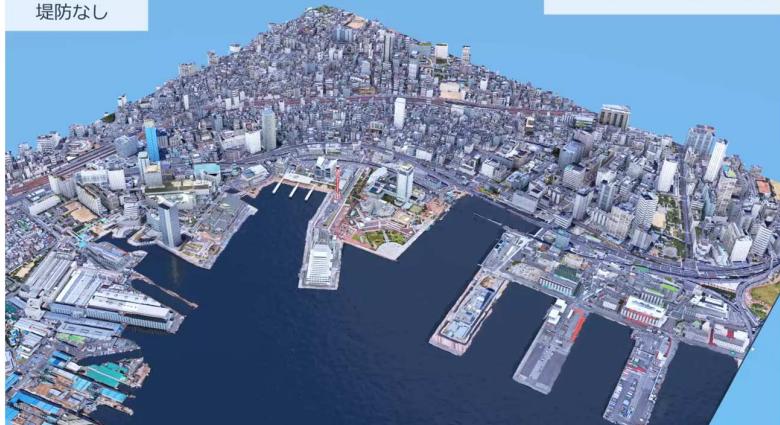
都市モデル自動構築



3次元地形データ



1m解像度2次元格子データ

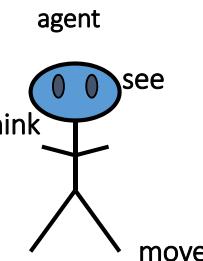


- 津波解析モジュールJAGURSIに
入力
- 地震・津波シミュレーション用の
高度都市モデルの構築可能

群集避難 Multi Agent System (MAS)

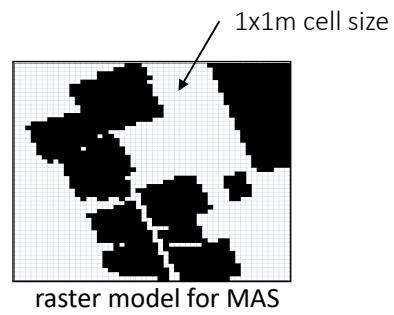
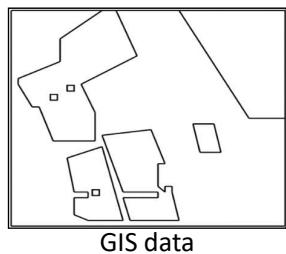
エージェント

- ・「見て」、「考えて」、「動く」機能
- ・自律的
- ・エージェントの属性(能力・仕事・情報)は多様



エンバイロンメント

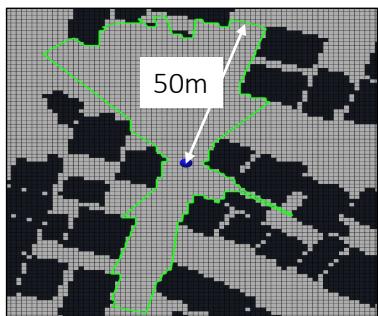
- ・「グリッド」と「グラフ」の混合モデル
- ・GISデータから自動構築



ナビゲーション

レーダー型スキャンにより、視野の範囲を同定し、地物の情報を抽出

- ・エージェントは自動的にナビゲーションを行う
- ・住民エージェントは地図データを持ち、最適経路を判定
- ・旅行者エージェントは高所を捜し、グループに追随



resident agent (pre-defined path)

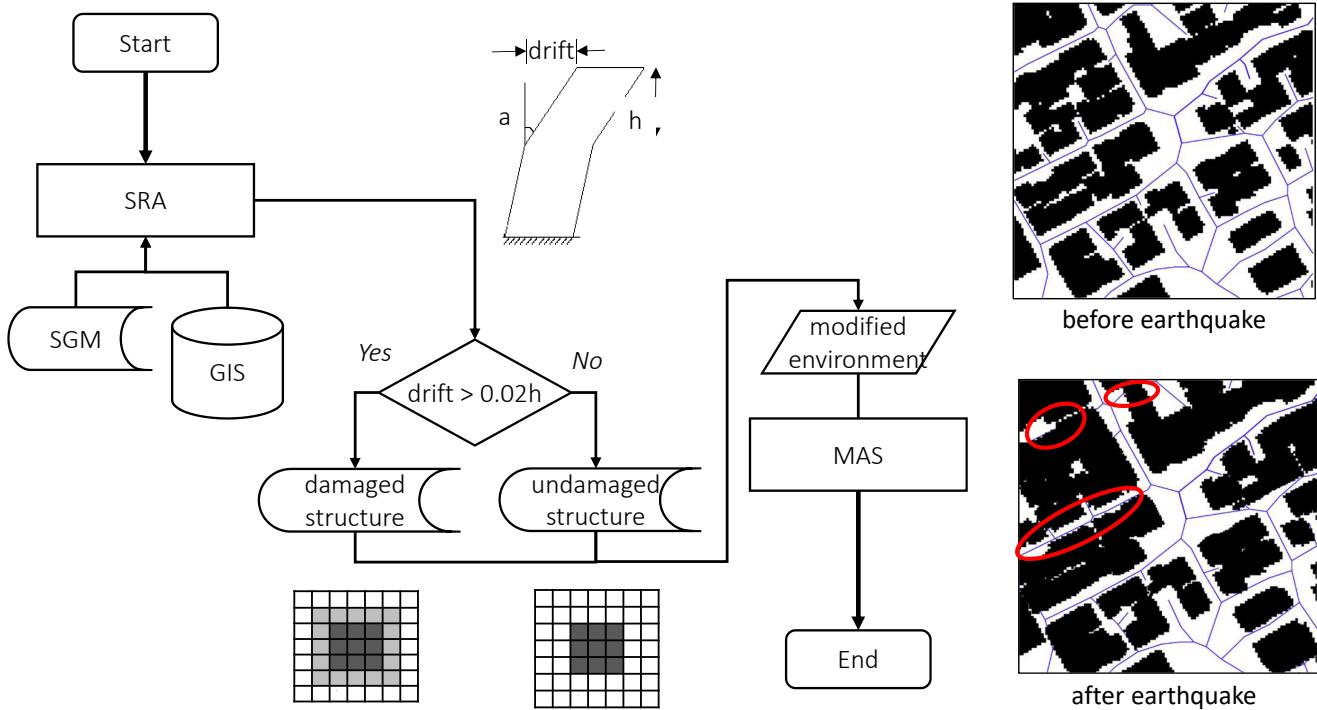


visitor agent (no pre-defined path)



地震応答と群集避難の連成

SRA 構造物の地震応答
MAS エージェントの避難



「京」からポスト「京」へ

◆「京」でできたこと

- 都市丸ごとの地震と被害のシミュレーション

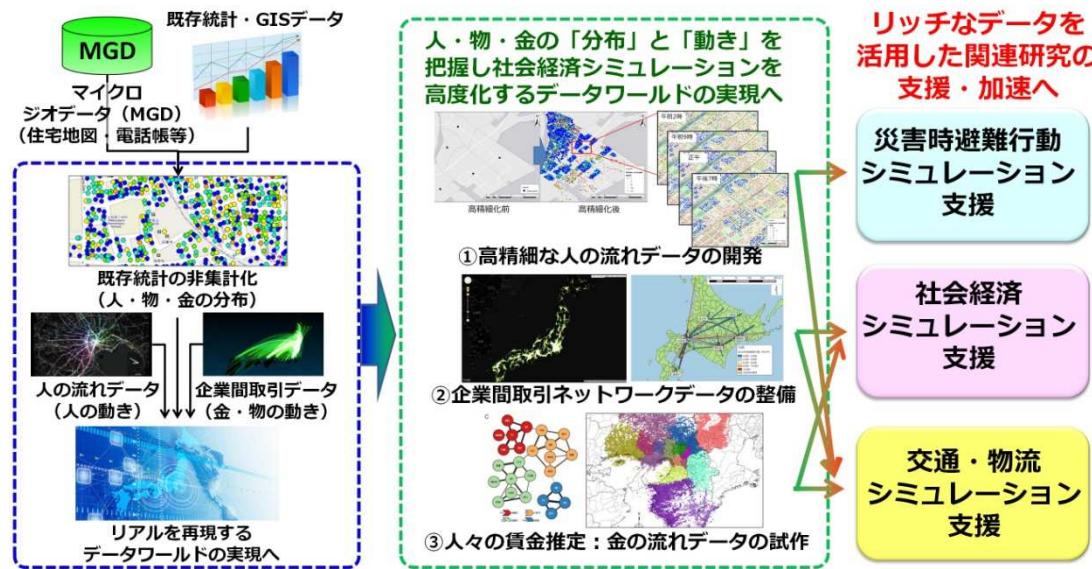
◆ポスト「京」でできること

- 都市丸ごとの地震・被害・対応のシミュレーション

マルチエージェントシステムを交通・経済へ拡張

科学技術を伸ばし、支えるスーパーコンピュータ

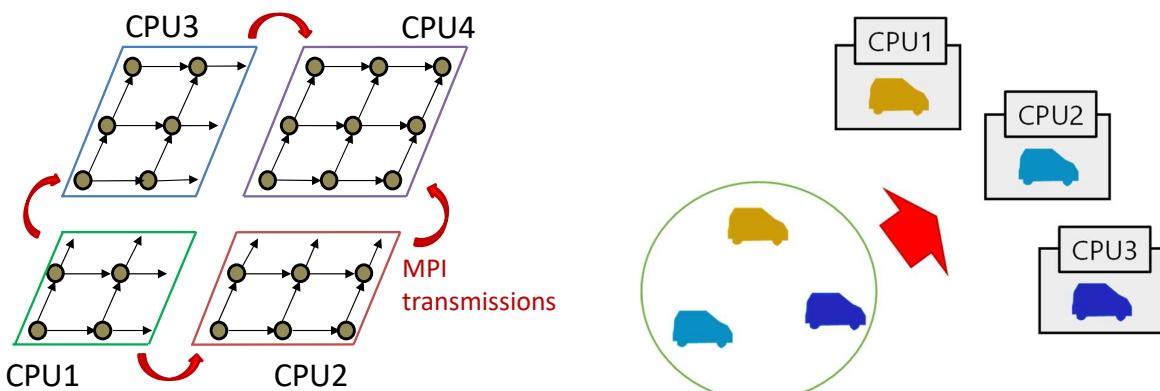
都市空間情報を使うシミュレーション



都市空間情報の利用の概要

1. 都市空間情報(マイクロジオデータ)の収集・整備
2. 高精細な人の流れデータの開発
3. 企業間取引ネットワークデータの整備
4. 人々の賃金推定: 金の流れデータの試作

交通流シミュレータの並列計算

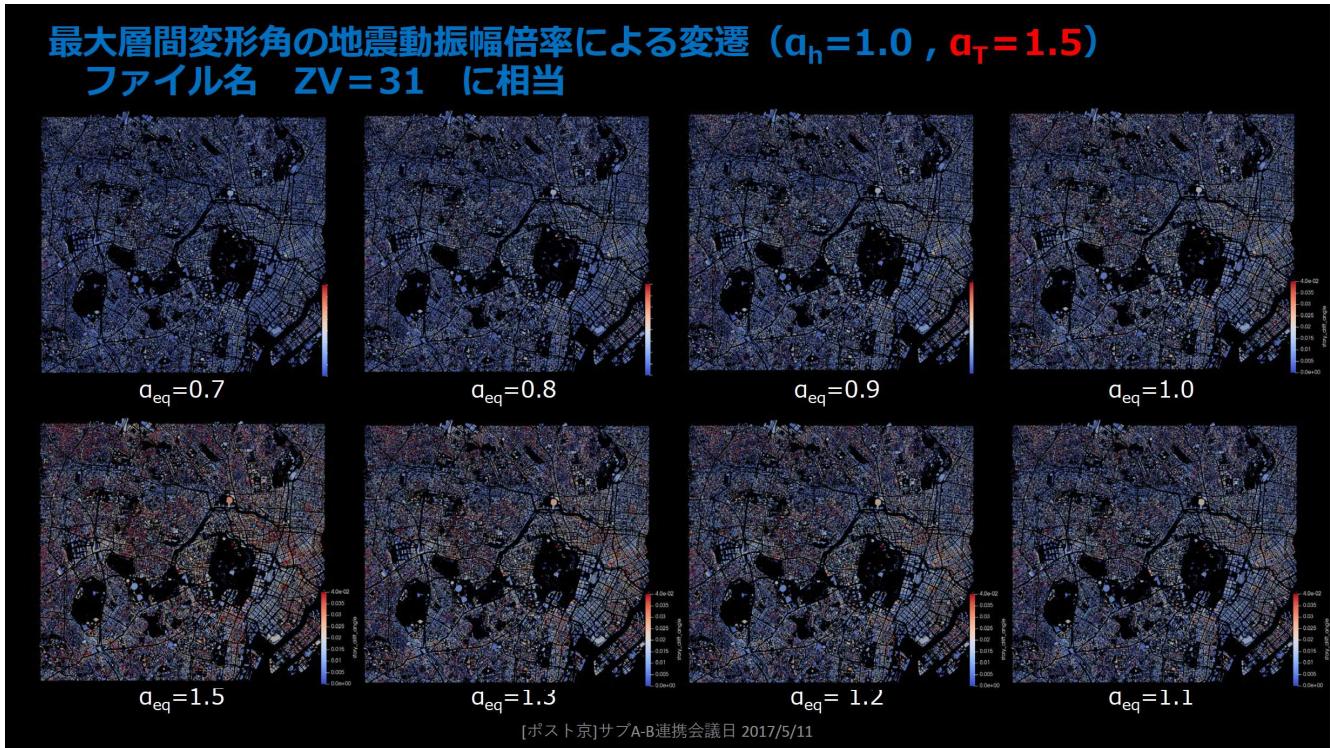


ネットワークをサブネットに分割、各サブネットの交通流計算をCPUに割り当て

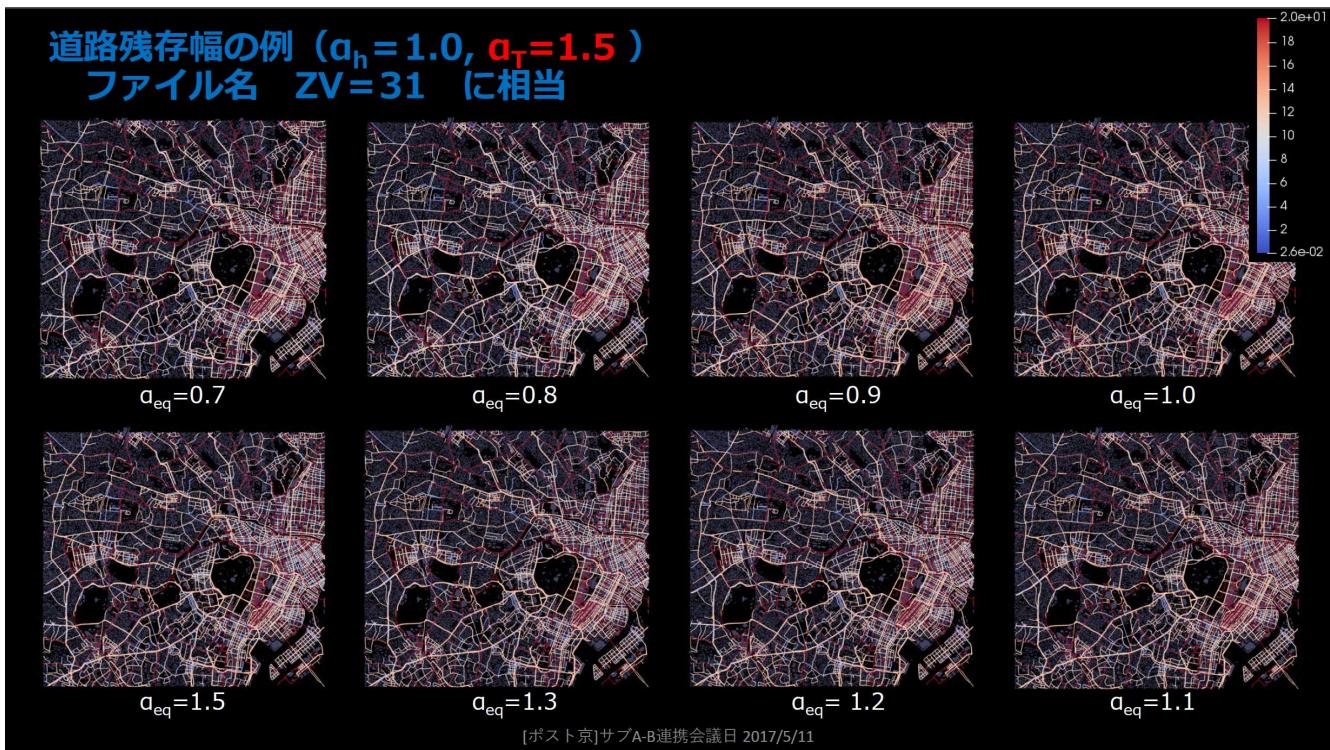
各車両の最短経路探索を各CPUに割り当て

タイムステップ毎にサブネット間で通信する場合、通信量は膨大

建物倒壊の計算(例)

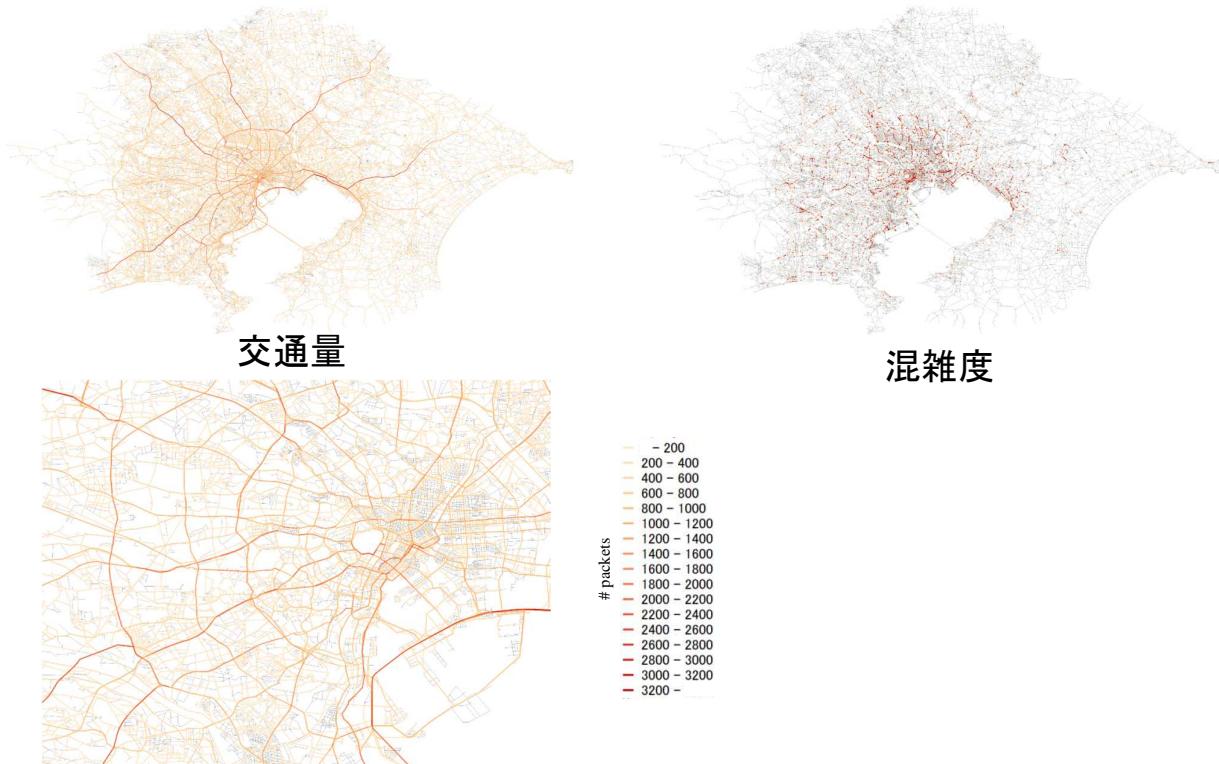


道路残存幅の計算(例)



50%以下の残存率のリンクはすべて閉塞と仮定

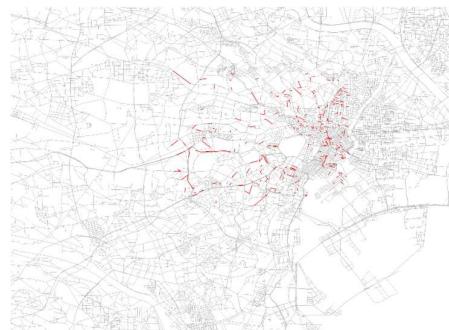
計算結果例



構造物被害が無く、道路閉塞が無い場合

計算結果例

ケース1

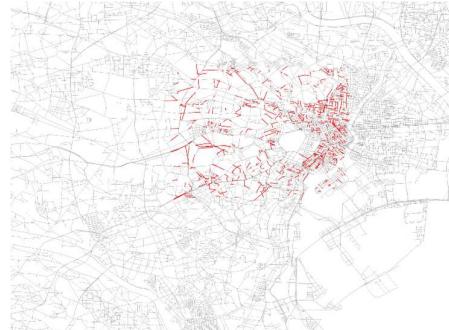


被害箇所



交通量

ケース2



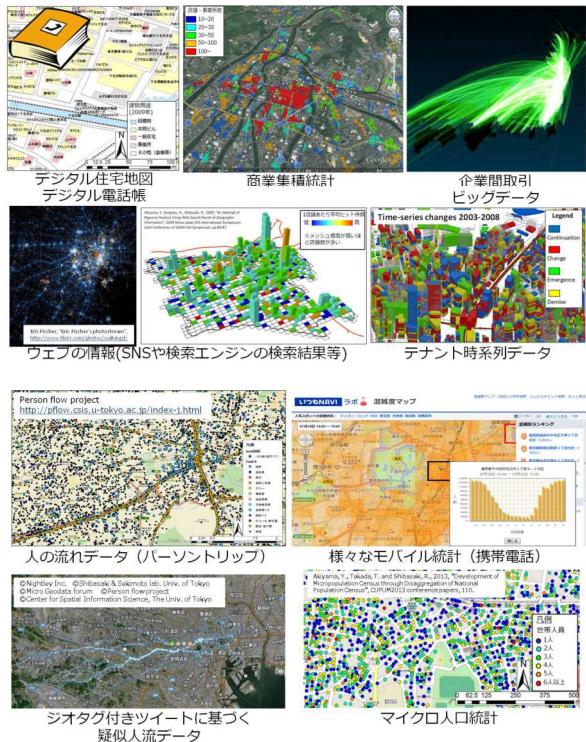
被害箇所



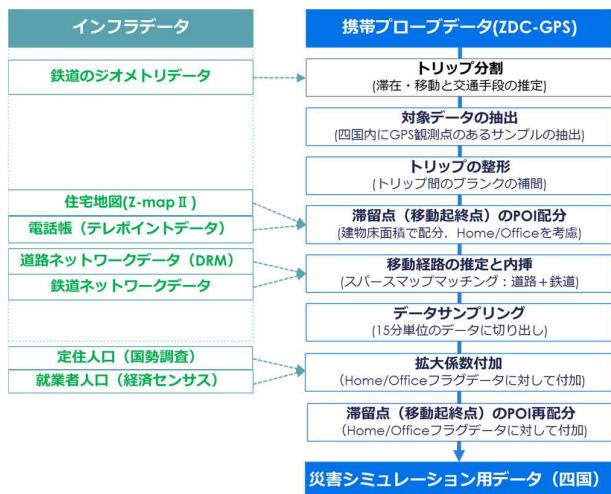
交通量

構造物被害の結果、道路閉塞がある場合

都市空間情報・人の流れデータ



収集・整理された各種都市データ



GPSデータを用いた人流データ開発：鉄道・住宅等のインフラデータとGPSを内蔵した携帯プローブデータを使って、人の流れデータ（滞在・移動、交通手段、POI配分等）を生成

GPSデータへの個人属性の推定方法

機械学習：60%程度の推定精度

- パーソントリップデータ(PTD)から性別・年齢別の行動パターンを学習し、GPSデータに付与
- 総人口を再現するために、国勢調査で補正

教師データ

PTDから特徴量として以下を算出
・外出時間・自宅出発時間・自宅帰宅時間
・滞在時間・総移動距離・自宅勤務地距離

性別・年齢のモデル化（機械学習）

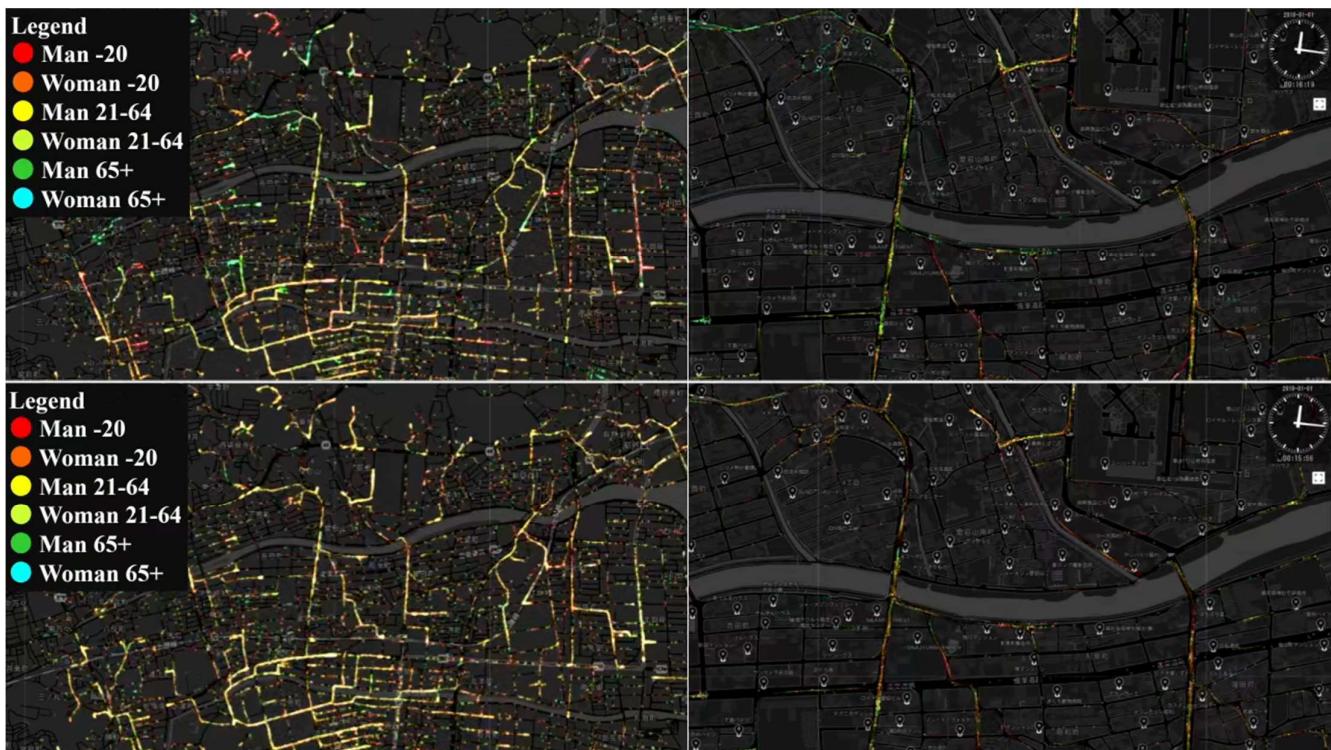
GPSデータの性別・年齢の推定
GPSデータの性別・年齢の推定結果の補正結果

GPSデータから特徴量として以下を算出
外出時間・自宅出発時間・自宅帰宅時間・滞在時間・総移動距離・自宅勤務地距離
(10月1週間、平均値)

年齢性別は地域により偏りがあるため、国勢調査500mメッシュから得られる年齢・性別別の定住人口データの割合を重みとしてメッシュ毎のモデルの補正。

GPS適用時にも誤差が生まれるため、国勢調査500mメッシュから得られる年齢・性別別の定住人口データに合うようにメッシュ毎に各属性の推定確率によりデータを拡大係数を考慮して補正

群集避難シミュレーション



上:機械学習による個人属性推計あり、下:機械学習による個人属性推計なし

おわりに

◆ 地震と津波のシミュレーション

- スパコンを使ってニュートンの運動方程式を解く
- 理学・工学・社会科学の解析手法を統合する

◆ シミュレーションの防災・減災利用

- 想定外をなくす、科学的な災害・被害想定が必要
- 大規模数値シミュレーションは重要なツール

より効果的な自・共・公助の「防災投資」に