

防災・減災のための地震シミュレーション ～スパコンで都市を丸ごと揺らす～

堀宗朗

総合防災・減災研究ユニット (RIKEN AICS)

東京大学地震研究所

地震に関する学問

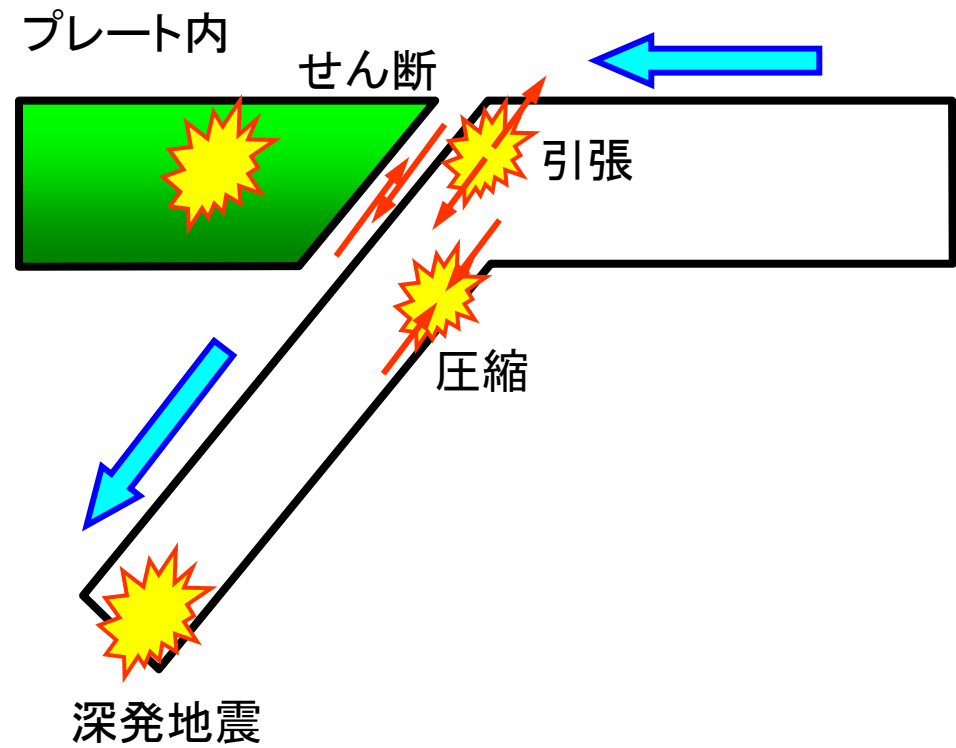
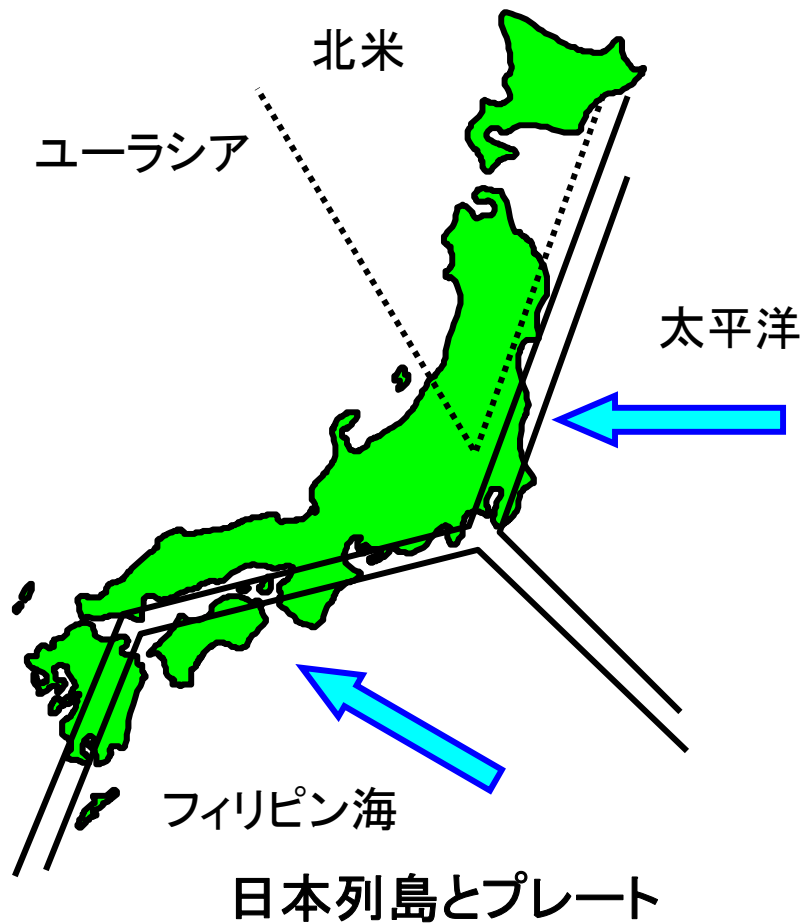
地震学
地震そのものを研究

地震の理学
プレートテクトニクス, 断層,
地震波, 地震観測

地震工学
地震の備えを研究・開発

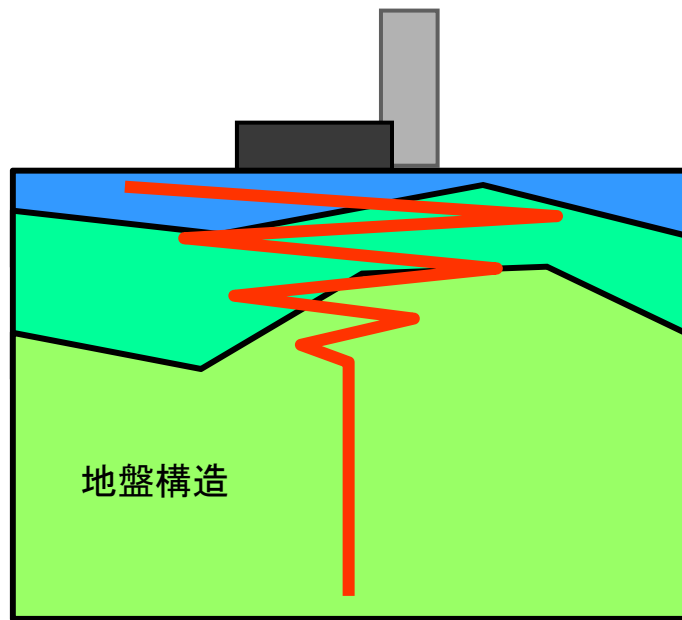
地震の工学
耐震設計(建築・土木構造物)
免震/制震, 危機管理, 地震
防災

エッセンス:地震学的視点



プレートの滑り込みと地震

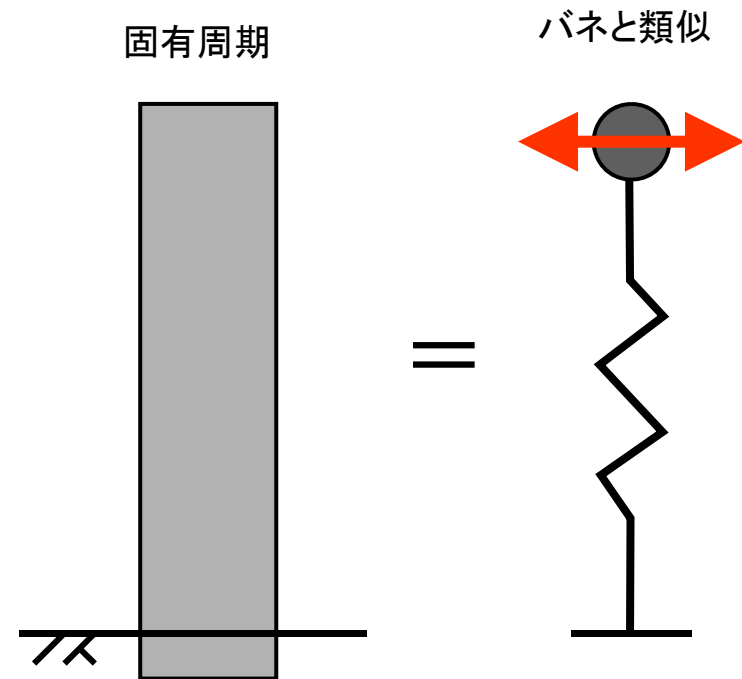
エッセンス：地震工学的視点



増幅・非線形性
液状化

強震動

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

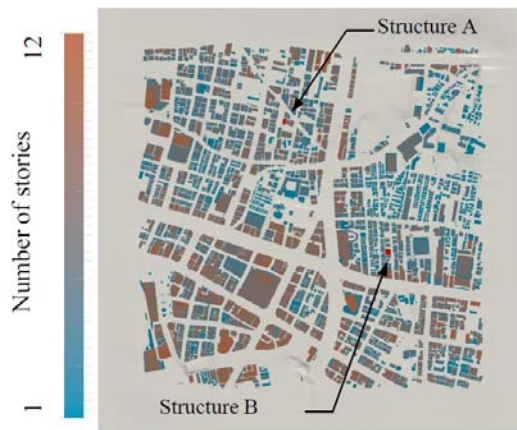
- 地盤は常に地盤として挙動
→ 地盤の材料定数から行列を決定することが可能

◆ 数理

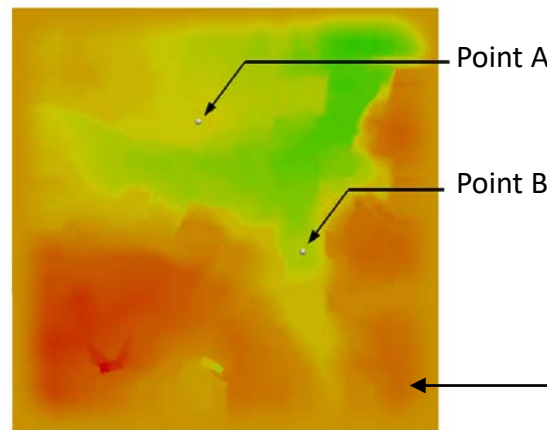
- 解の誤差を最少にしていくアルゴリズム
→ 連立方程式の解を高速で計算することが可能

都市のモデル

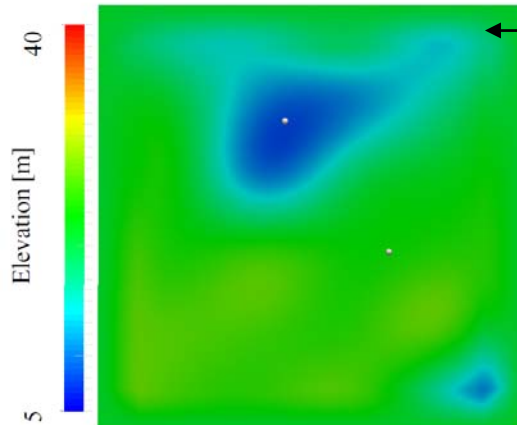
- 都市もニュートンの運動方程式を満たす
- 都市の運動方程式を連立方程式に変換する



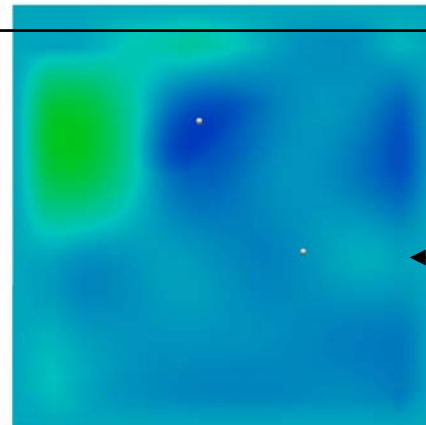
Structures



Surface topography

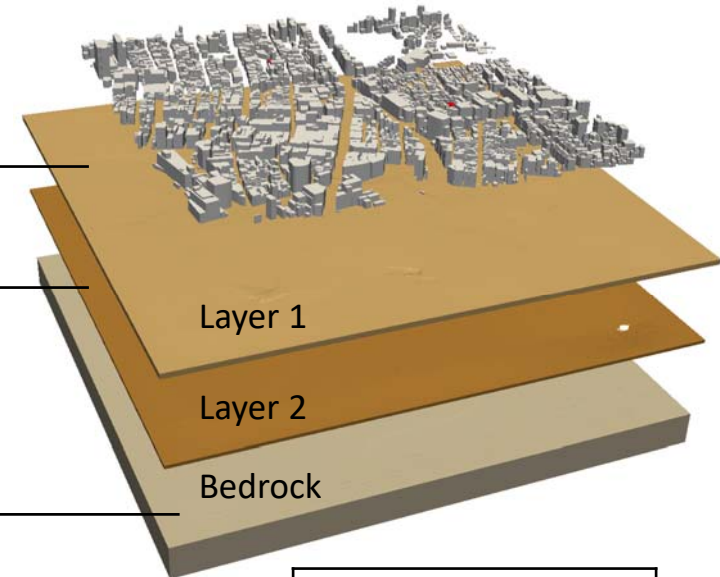


Interface between layer 1 & 2



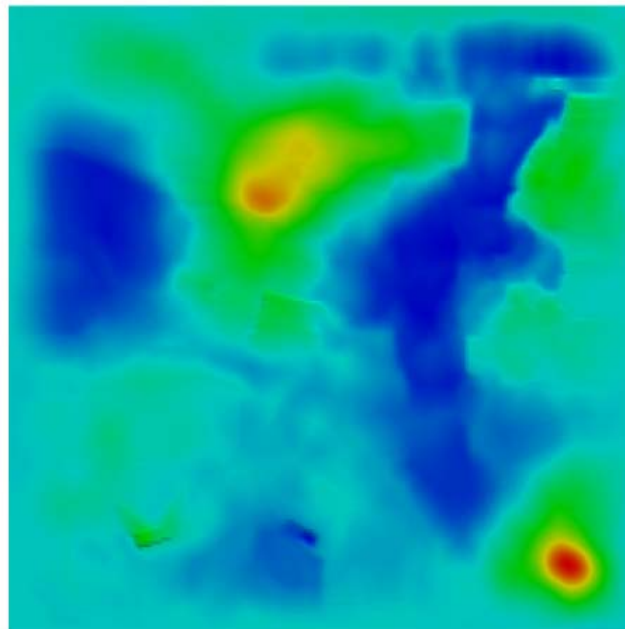
Interface between layer 2 & bedrock

# of MPI domain	# of CPU cores
82,944	663,352

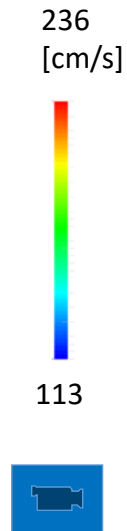


total DOF
27,082,129,647

連立方程式の解



地盤の応答 (SI値)



建造物の応答 (層間変形角)

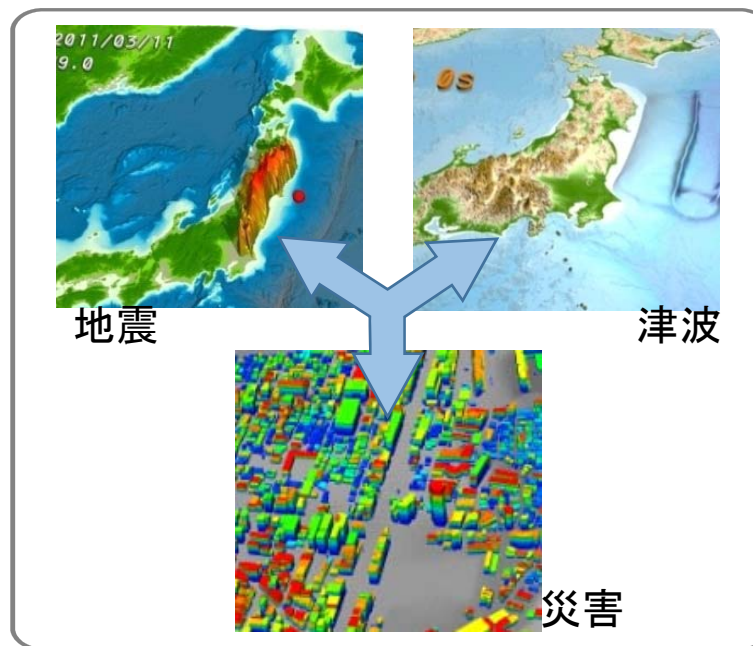
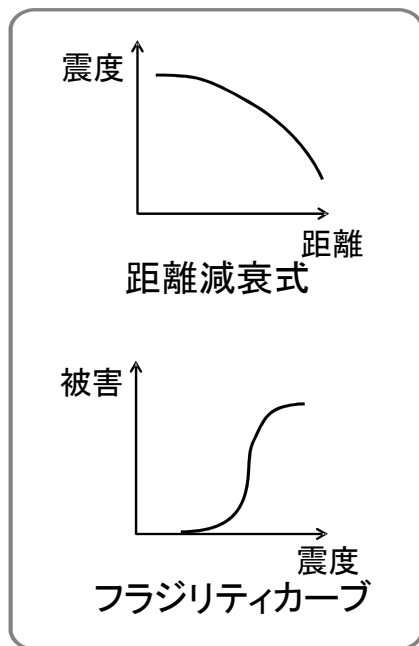


有限要素法
都市モデル

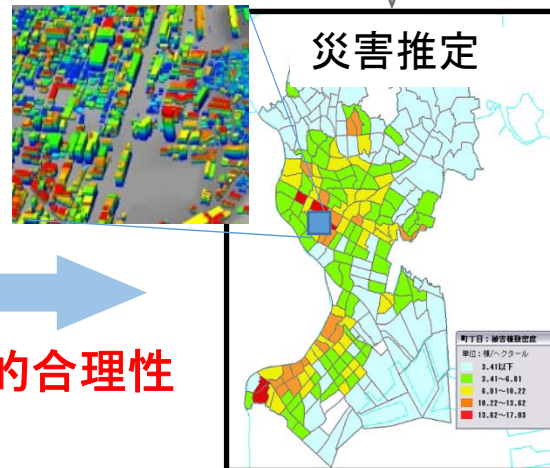
運動方程式を変換した連立方程式を解く解法
都市が満たす運動方程式を決めるモデル

巨大地震・津波による災害予測

現状
経験ベース



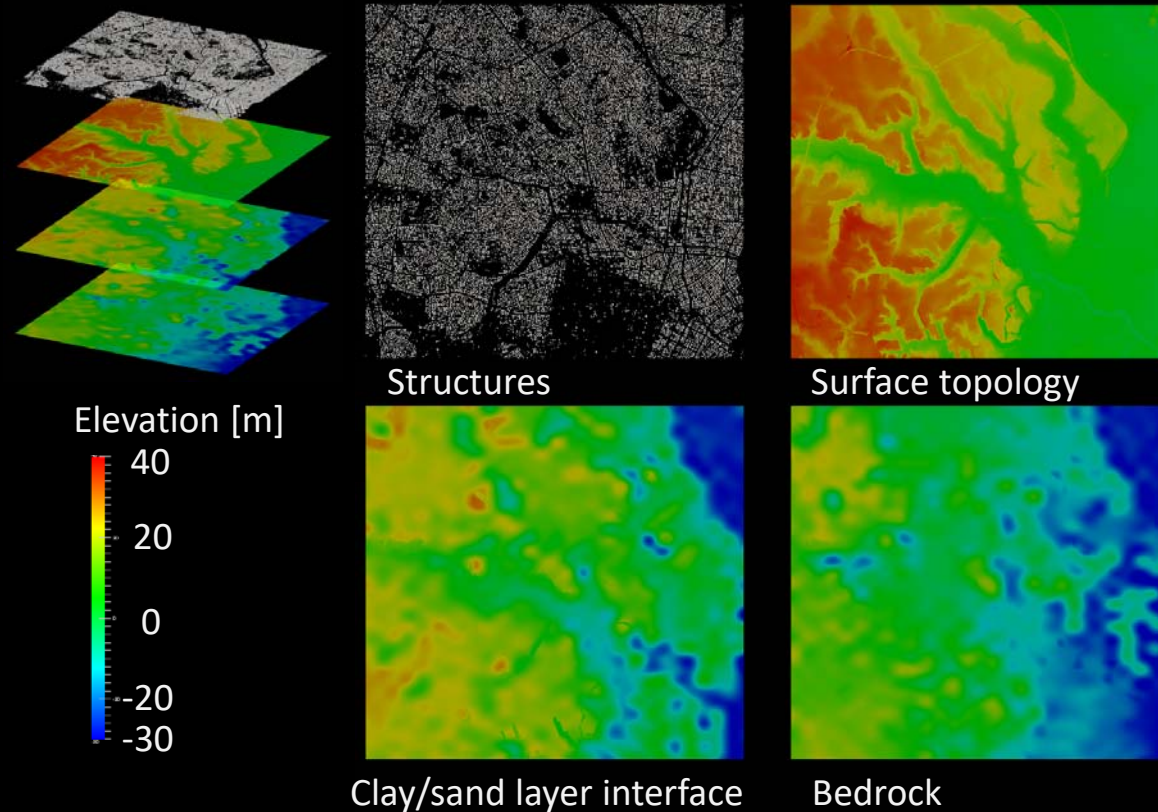
将来
計算ベース



科学的合理性

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)

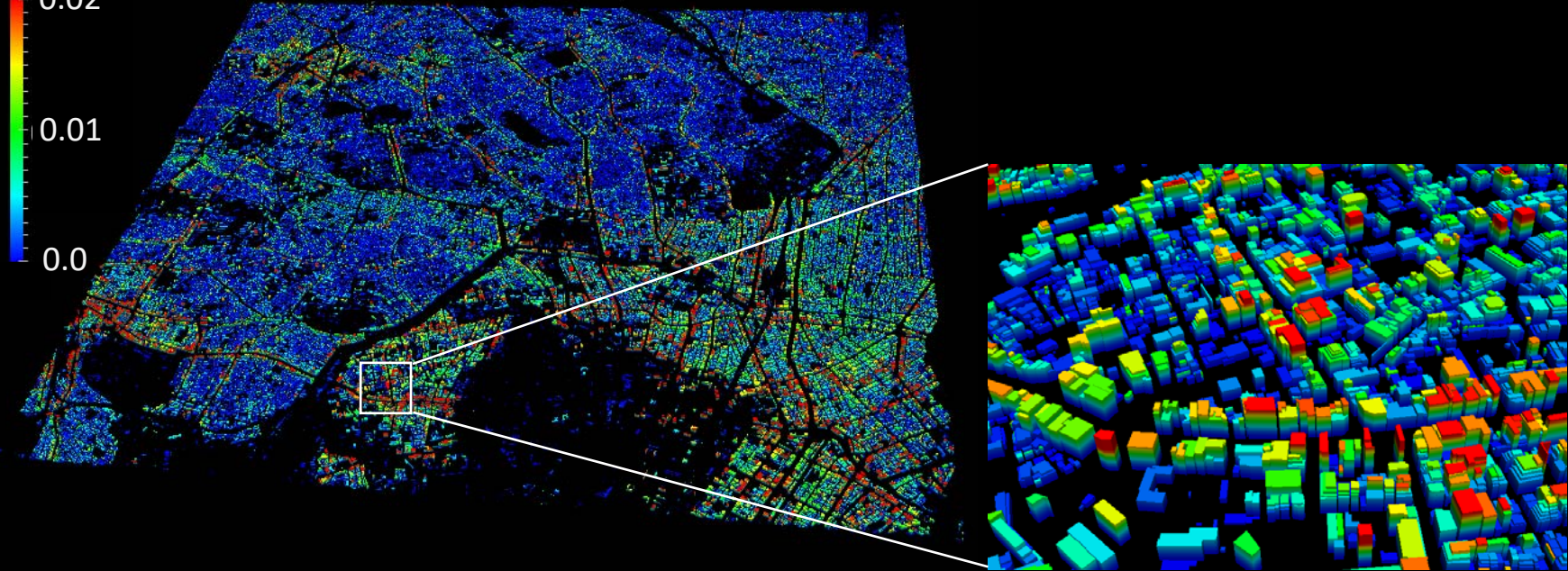


解析領域: 大きさ8.0 x 7.5km, 253,405棟

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

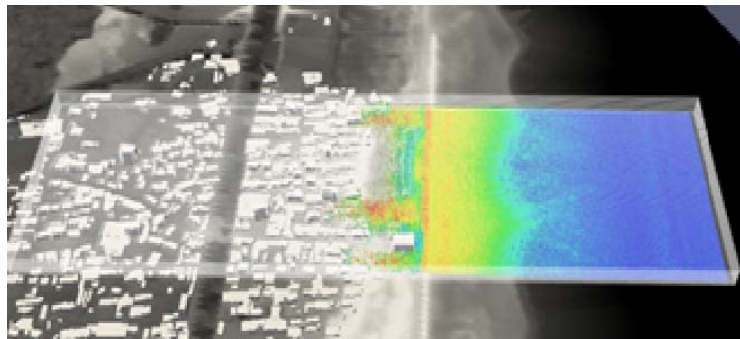
地震津波複合災害



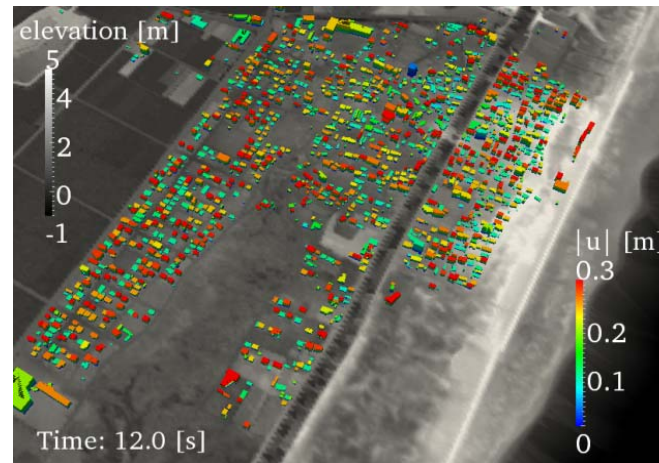
地震動・地震応答の解析モジュール
と津波の解析モジュールの利用



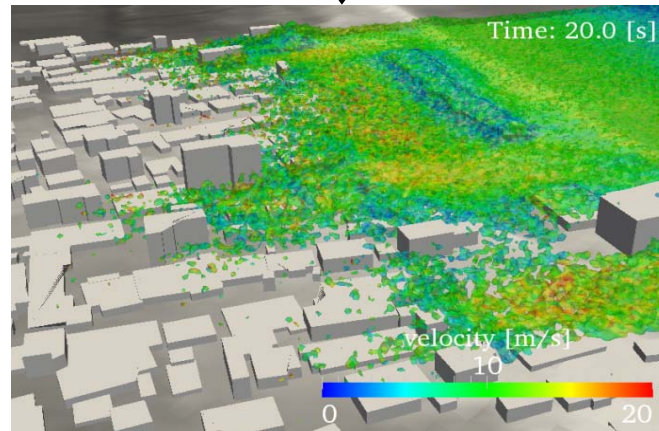
地盤・構造物の都市モデル



津波侵入の都市モデル



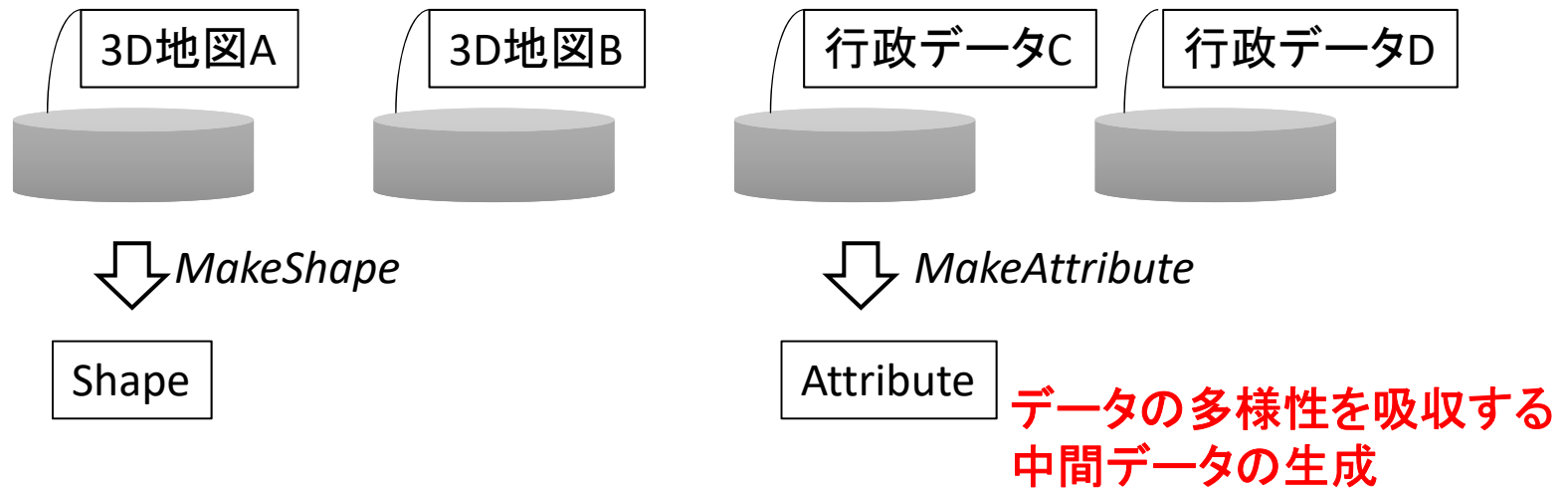
構造物一棟一棟
の被害の有無を
都市モデルを使っ
て推定



構造物被害を生
じた都市モデル
への津波の侵入

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

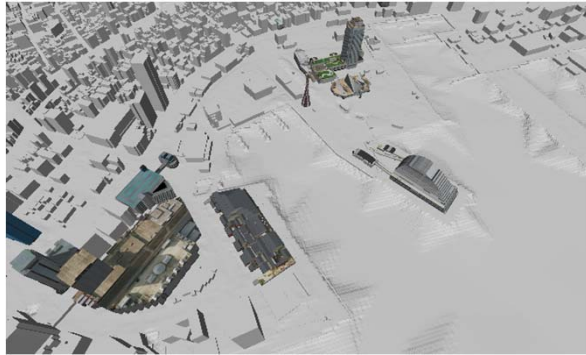
モデル構築処理の記述

Input of
Program P

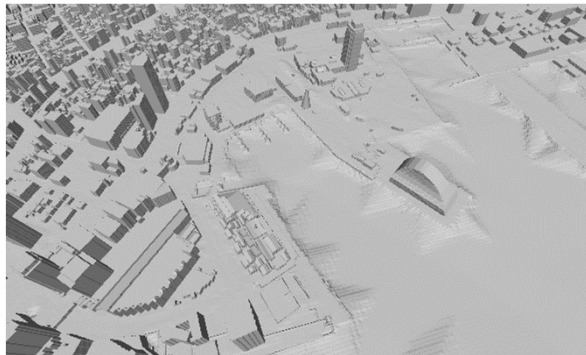


```
MakeInputForP ( MakeShape( 地図データA ), MakeAttribute( 行政データB ) )  
MakeInputForP ( MakeShape( 地図データC ) )
```

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

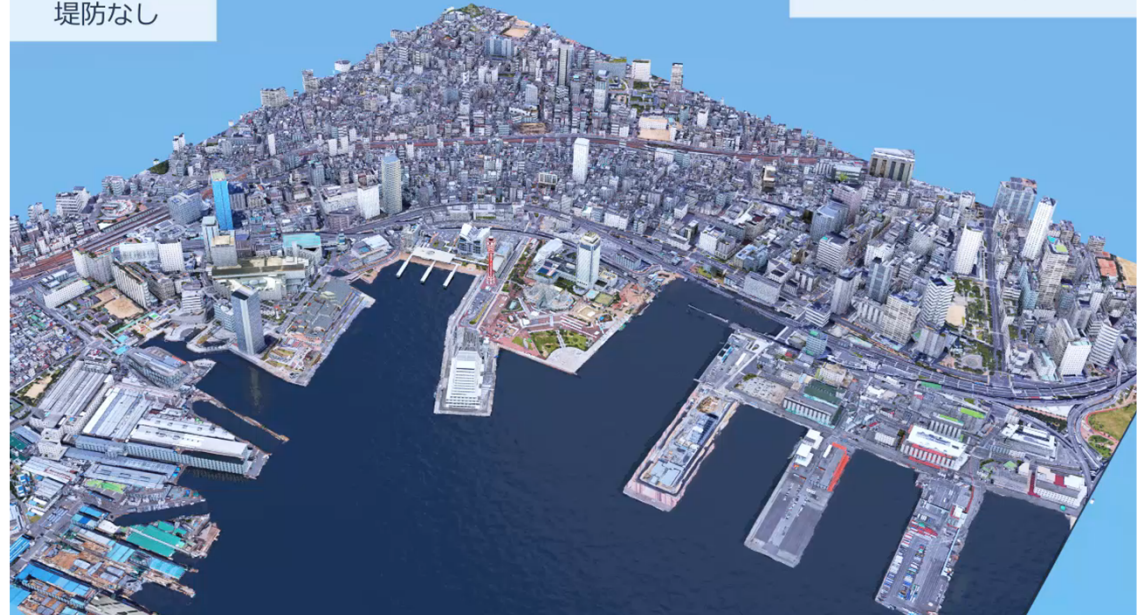
- 津波解析モジュールJAGURSに入力
- 地震・津波シミュレーション用の高度都市モデルの構築可能



堤防あり

堤防なし

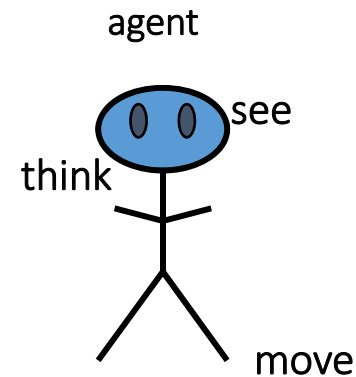
地震発生から 01:30:00



群集避難 Multi Agent System (MAS)

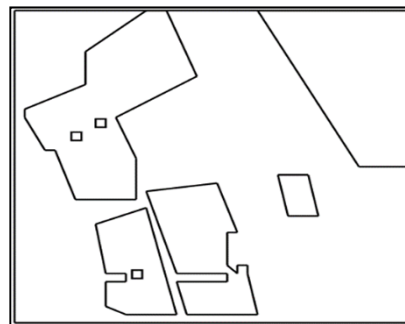
エージェント

- 「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

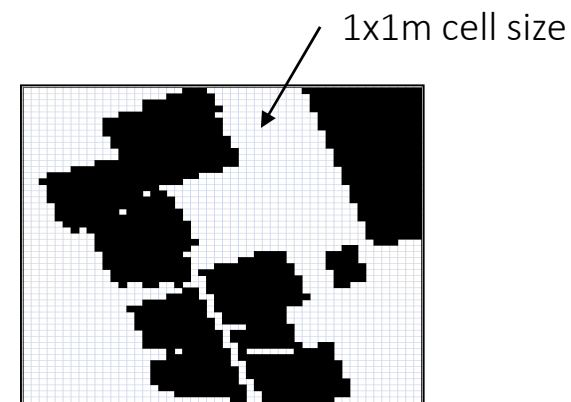
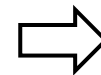


エンバイロメント

- 「グリッド」と「グラフ」の混合モデル
- GISデータから自動構築



GIS data

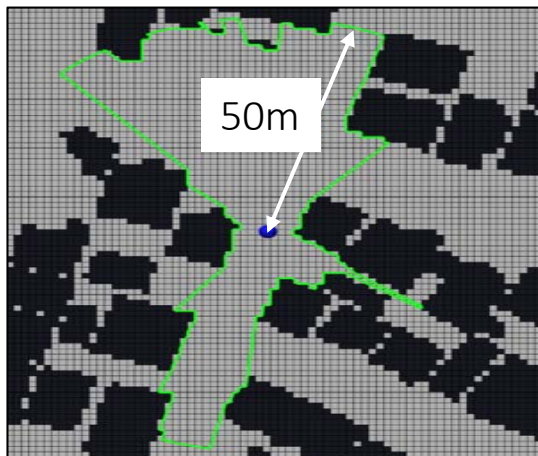


raster model for MAS

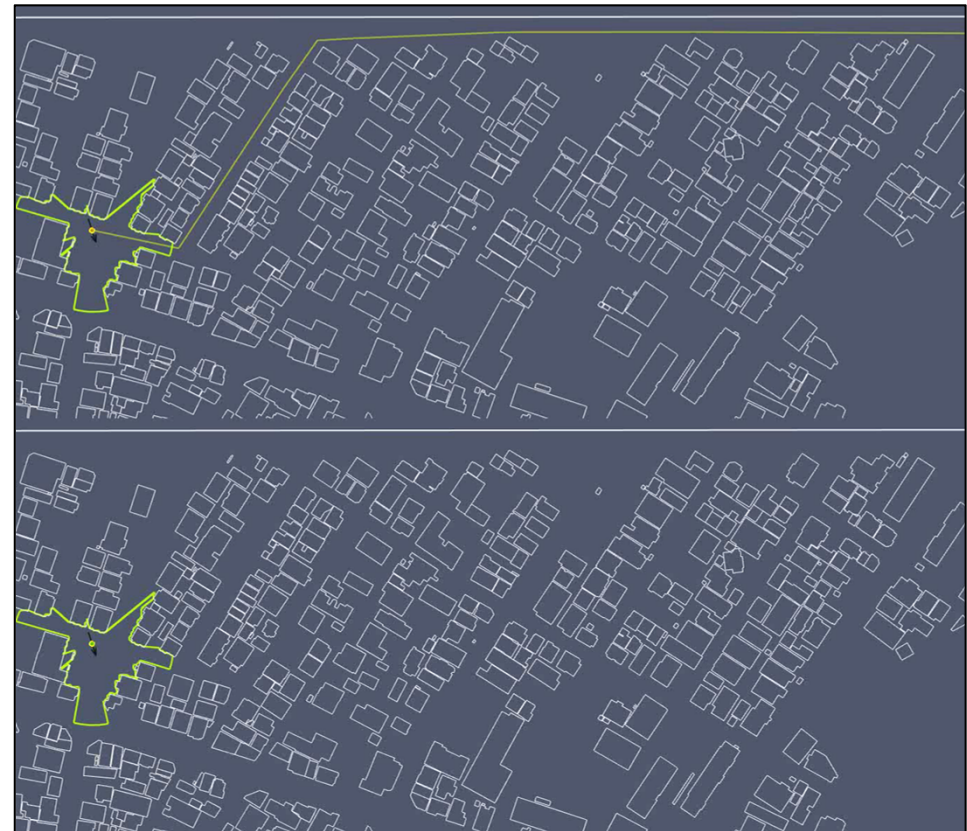
ナビゲーション

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



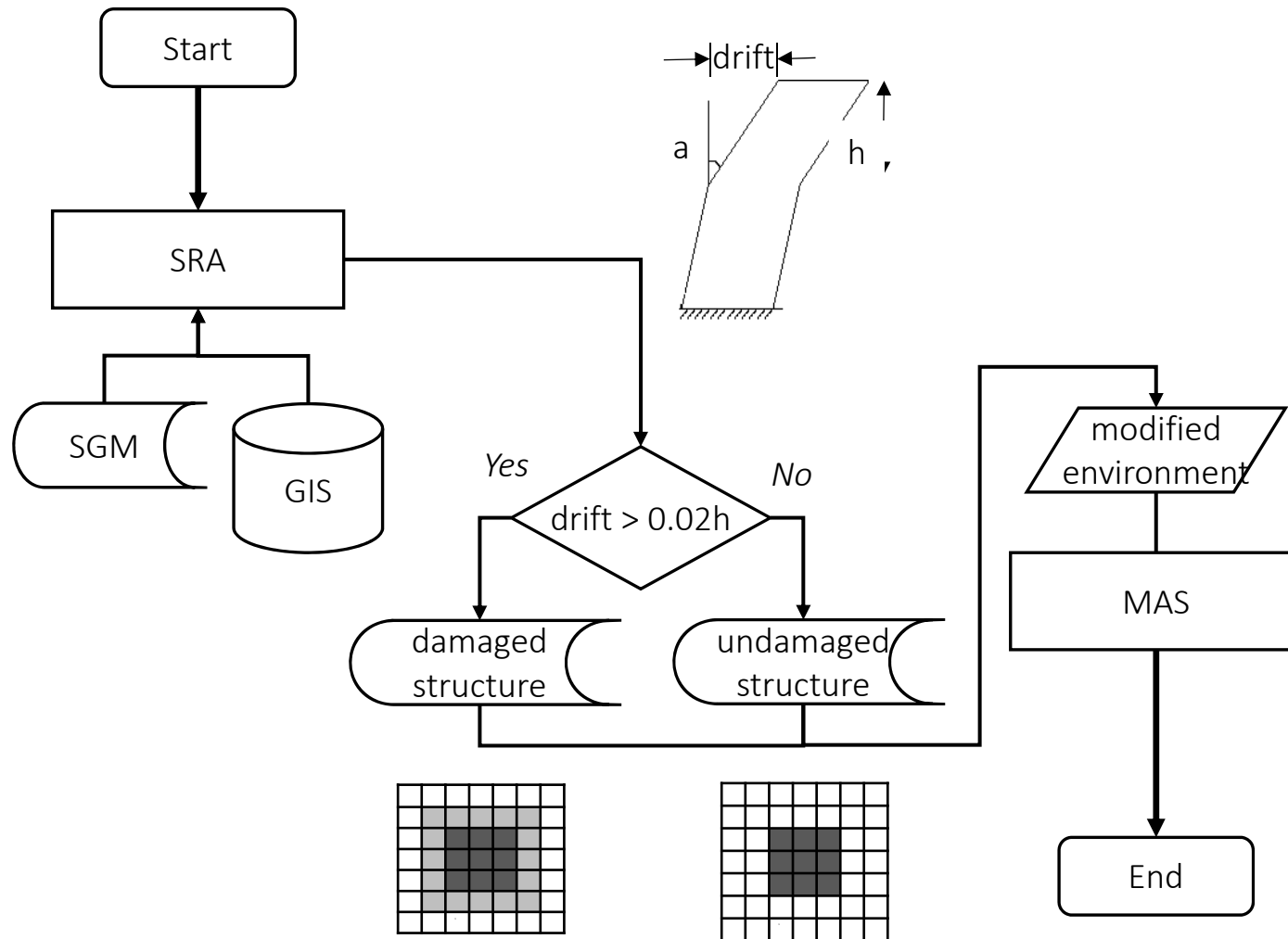
resident agent (pre-defined path)



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



before earthquake



after earthquake

「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

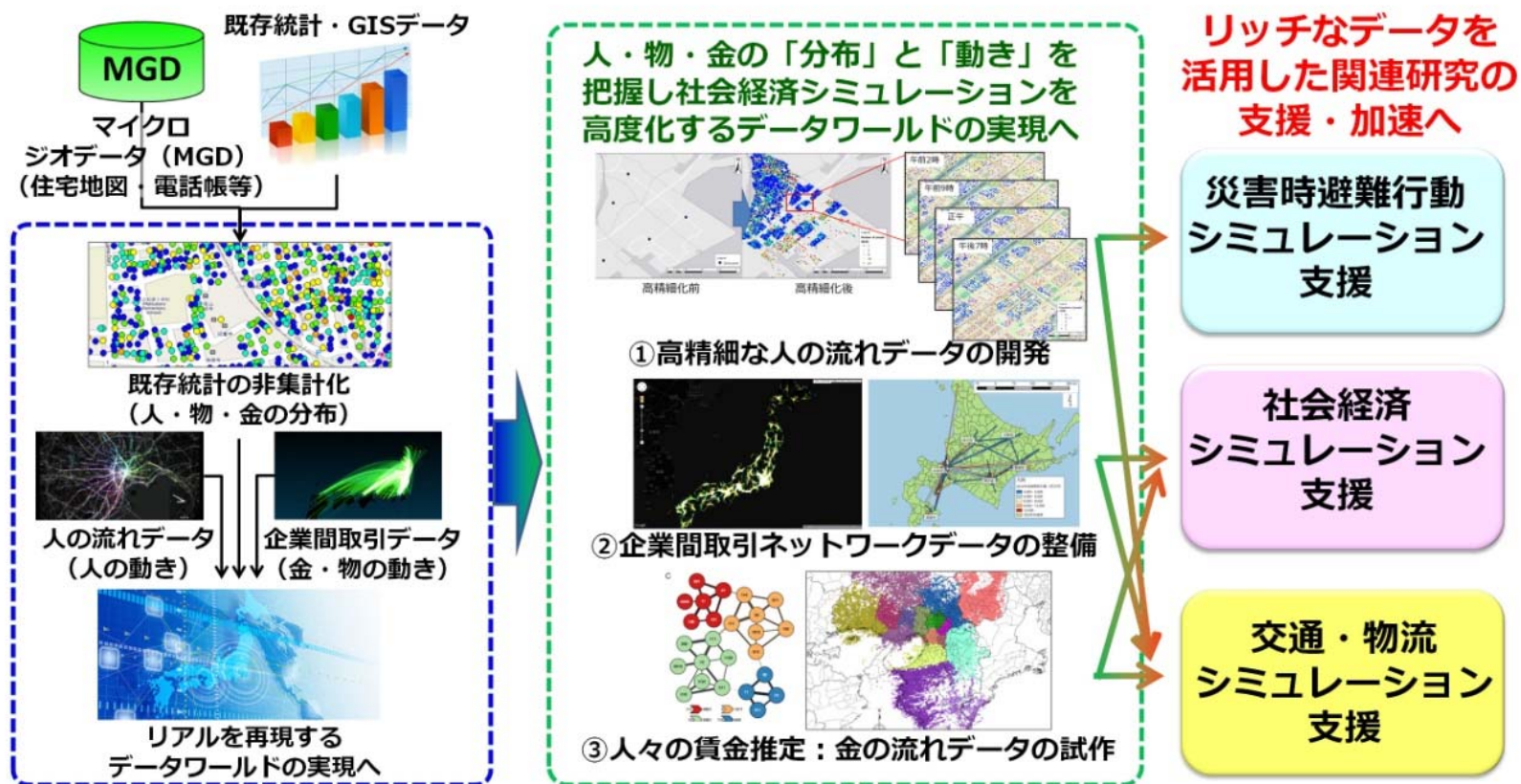
◆ポスト「京」でできること

- 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

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