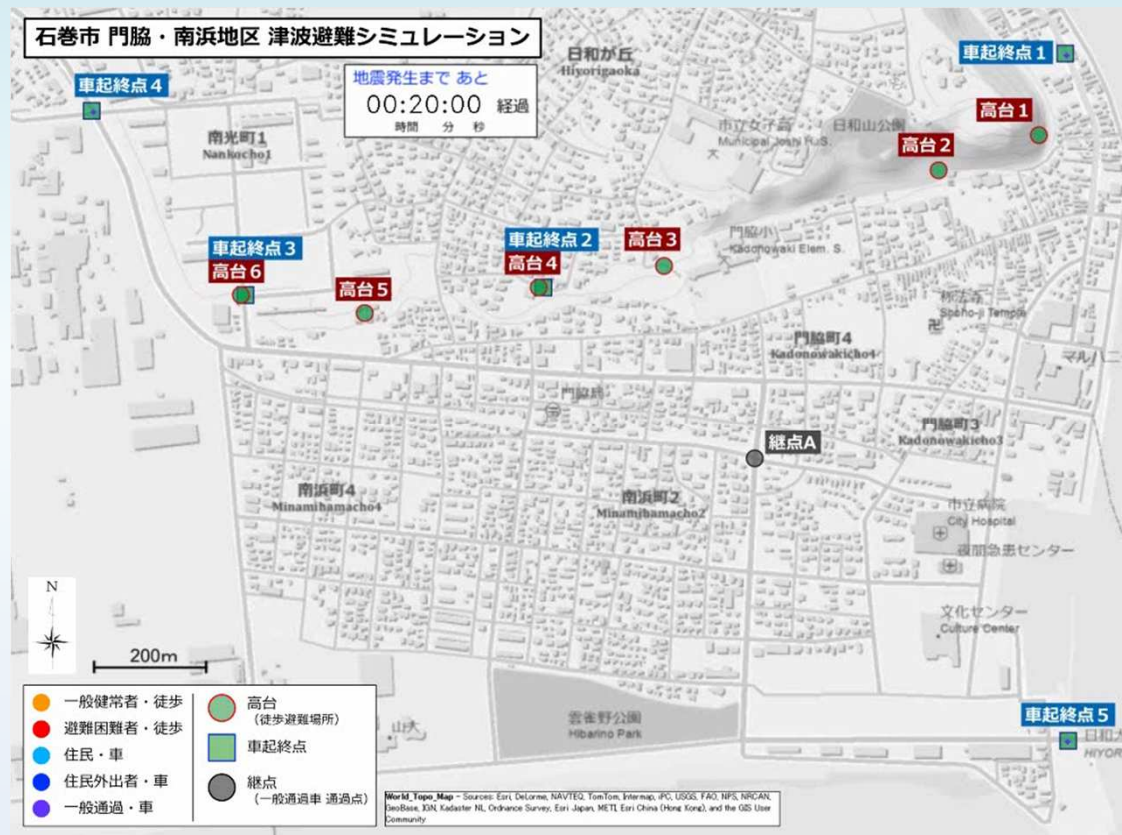


# 日本地震工学会 津波等の突発大災害からの避難の課題と対策に関する研究委員会 報告会

## 「避難シミュレーションの方向性と可能性」



2016年5月10日  
避難シミュレーション普及部会

- 1 シミュレーションの概要
  - ・活用目的、事例紹介
  
- 2 避難シミュレーションの概要
  - ・位置づけ、事例、機能
  
- 3 現状の課題とニーズ、取り組み
  - ・モデル精度の検証と公開  
Verification & Validation
  - ・継続性と活用促進

# 1 シミュレーションの概要

**活用目的、事例紹介**

## 各種事業におけるシミュレーションの背景、位置づけ

これまで地域や施設管理は、一律的基準や経験・勘で計画、管理されてきた。

しかし、対象の大規模化・複合化や管理効率化に伴い、**利用特性に合致した安全確保とコストダウンのニーズ**が高まり、科学的根拠のある指標、手法が不可欠となっている。



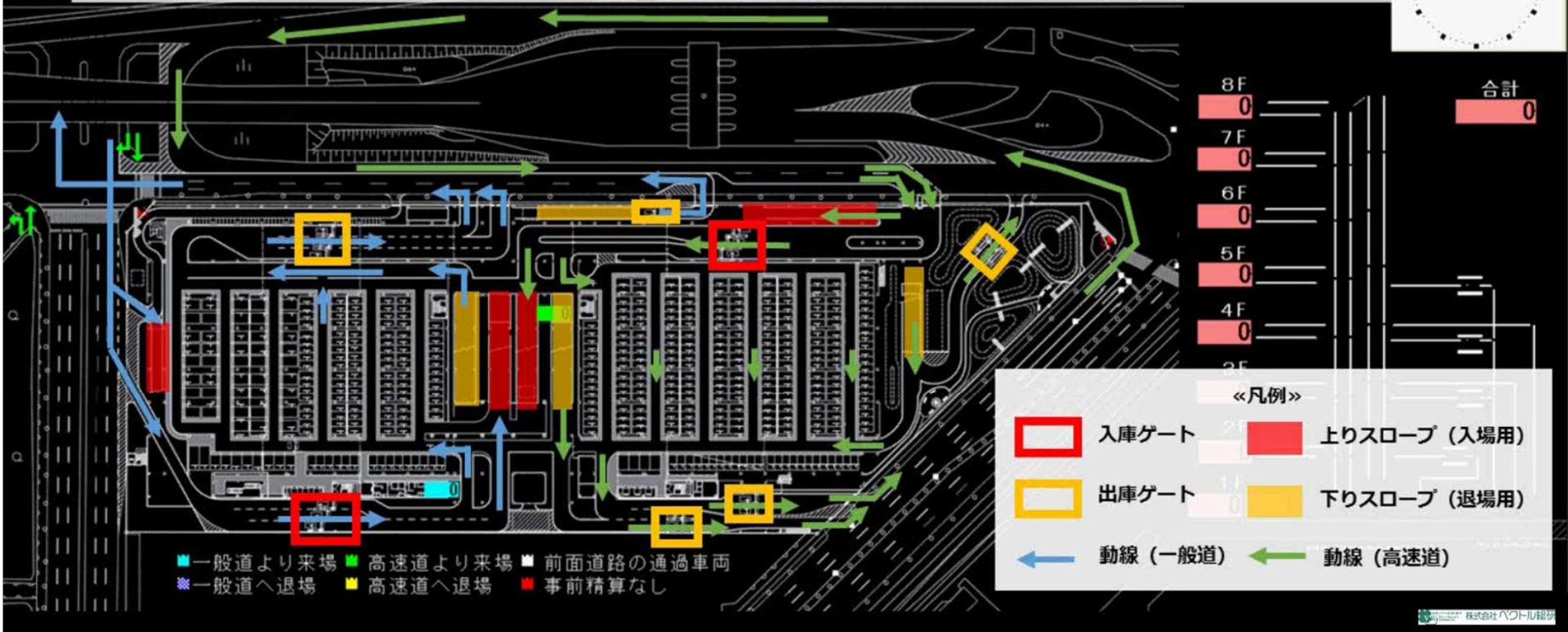
- ✦ **いくつかの想定ケースを評価する必要性**  
(需要予測値、処理効率精度のばらつき)
- ✦ **多角的、相関的視点からの判断の必要性**  
(部分的、断面的、平均的な検証の限界)
- ✦ **計画／管理権者の状況(動的)認識共有化**  
(計画策定業務の効率化、コスト削減)  
(リアルタイム管理、教育への応用)

# 道路交通シミュレーション（集客施設周辺）

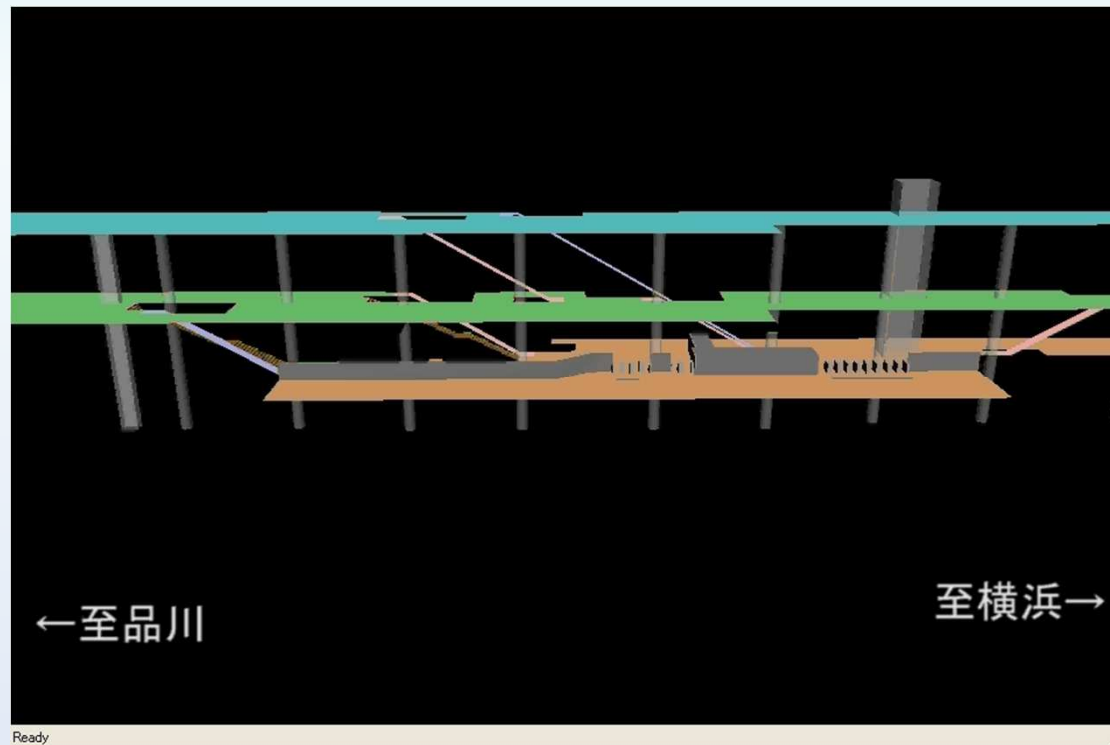
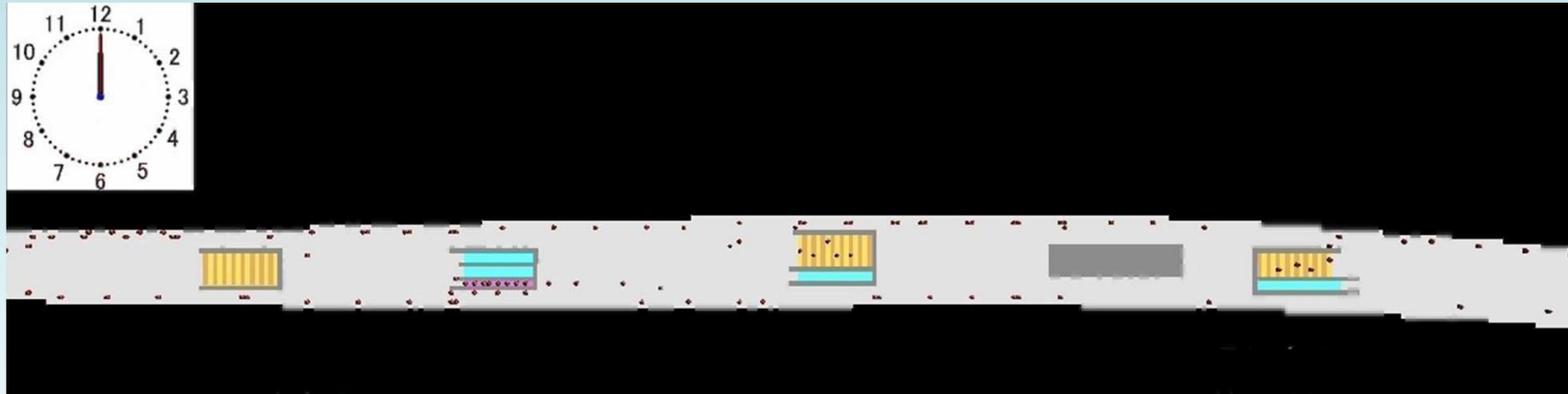


# 駐車場シミュレーション（商業施設）

入出庫シミュレーション・検証動画：入出庫ゲートとスロープの配置と車両動線



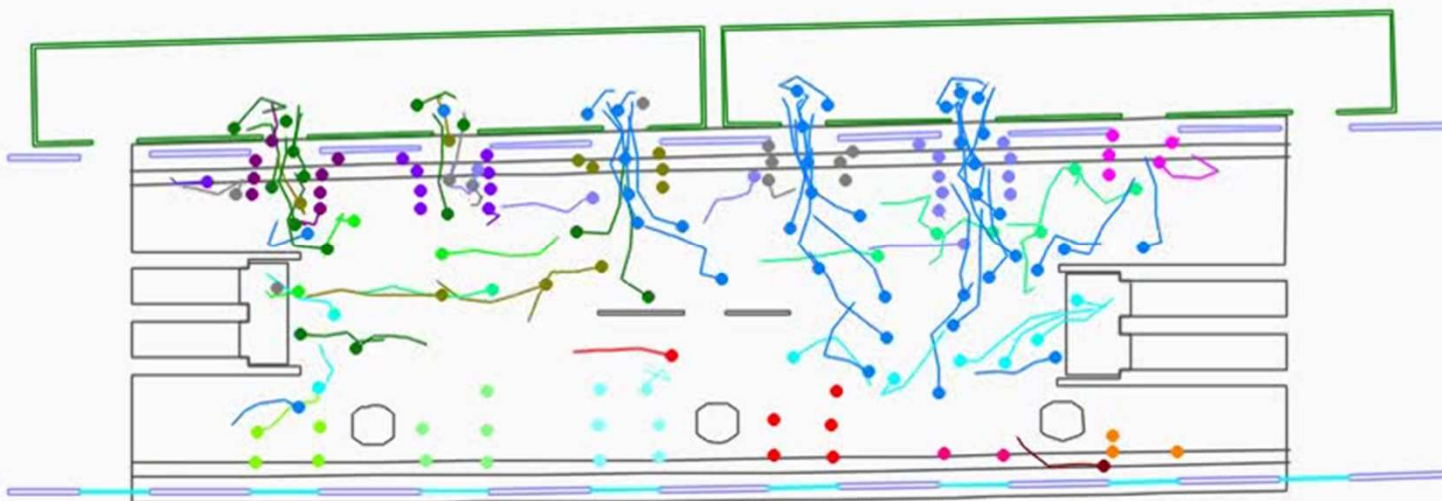
# 事例紹介（駅ホーム改良に伴う混雑度評価）



Ready

## 事例紹介（駅ホームドア設置に伴う流動処理評価）

8:36:57.6 (Elapsed time after doors open 0:00:05.5)



- 狭隘部での旅客動線の確保を確認
- 列車待ち徒列方法
- 再現精度確認済み (95%)



## 2 避難シミュレーションの概要

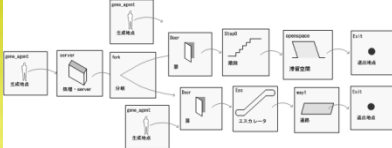
・位置づけ、事例、機能

# シミュレーションの活用マップ

人やモノ、情報の動きを捉え、現状課題や改善効果を効率的に検証

**A**

## エリアモジュール モデル



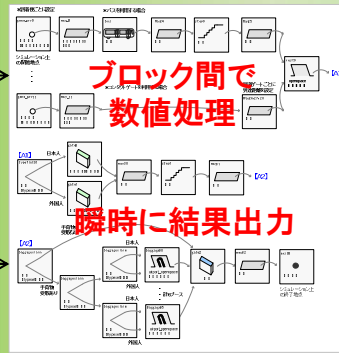
- 対象エリアを分割したブロックで捉える
  - 各ブロックの混雑や処理時間を数値計算
  - 適正規模やボトルネックを多ケース検証
- ➡ 俯瞰的な一次検討や管理教育用に適合

## 各種施設や狭域

**A1** 集客施設、高層ビル

**A2** 駅全体、改札

**A3** 駐車場、トイレ



## 都市部や広域

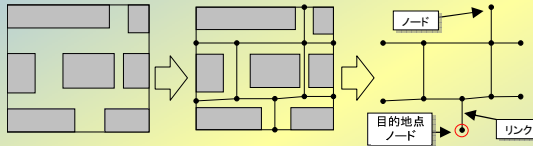
**A4** ターミナル周辺の避難

**A5** 資源、備蓄の適正需給



**B**

## ネットワーク モデル

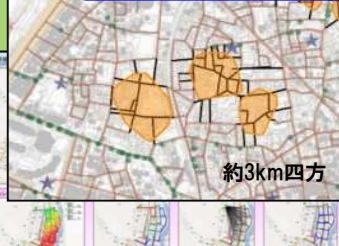


- 対象エリアをノードとリンクで捉える
  - 移動体はリンク上を設定ルール\*で移動
  - 各リンクでの混雑状況を動的に表現
- ➡ 広域エリアでの経路手段の検討に適合

**B1** 津波からの避難 (狭域)



**B2** 木造密集地の延焼避難



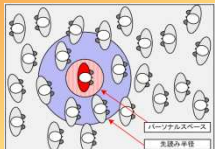
**B3** 津波からの避難 (広域)



**B4** 管理、合意形成用の一次検討津波避難システム

**C**

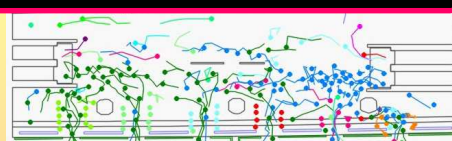
## マルチエージェント モデル



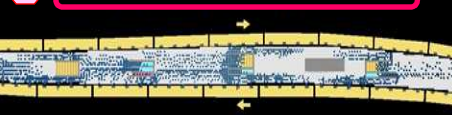
\* 独自のOD(発生地→目的地)推計技術とカメラ画像解析技術でサポート。

- 対象エリアを実座標やメッシュ上で捉える
  - 移動体は互いの動き\*、情報や設備に影響
  - 瞬間的、リアルな状況を動的に再現
- ➡ 狭域エリアでの精緻な施設検討に適合

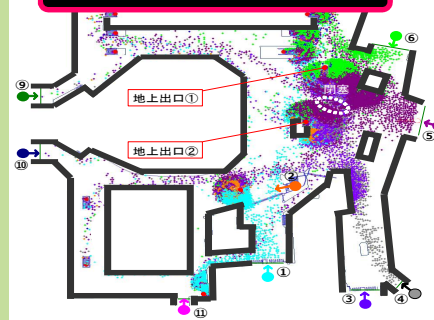
**C1** 流動性評価(階段、エスカレータ、ホームドア)



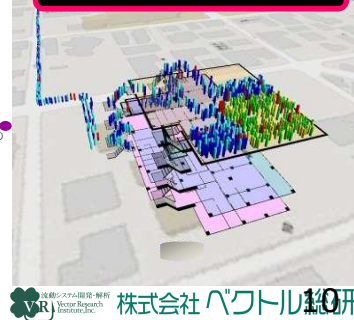
**C2** 駅ホームの改良計画



**C3** 地下街の避難(火災、浸水)



**C4** 地域用津波避難ビルの検討

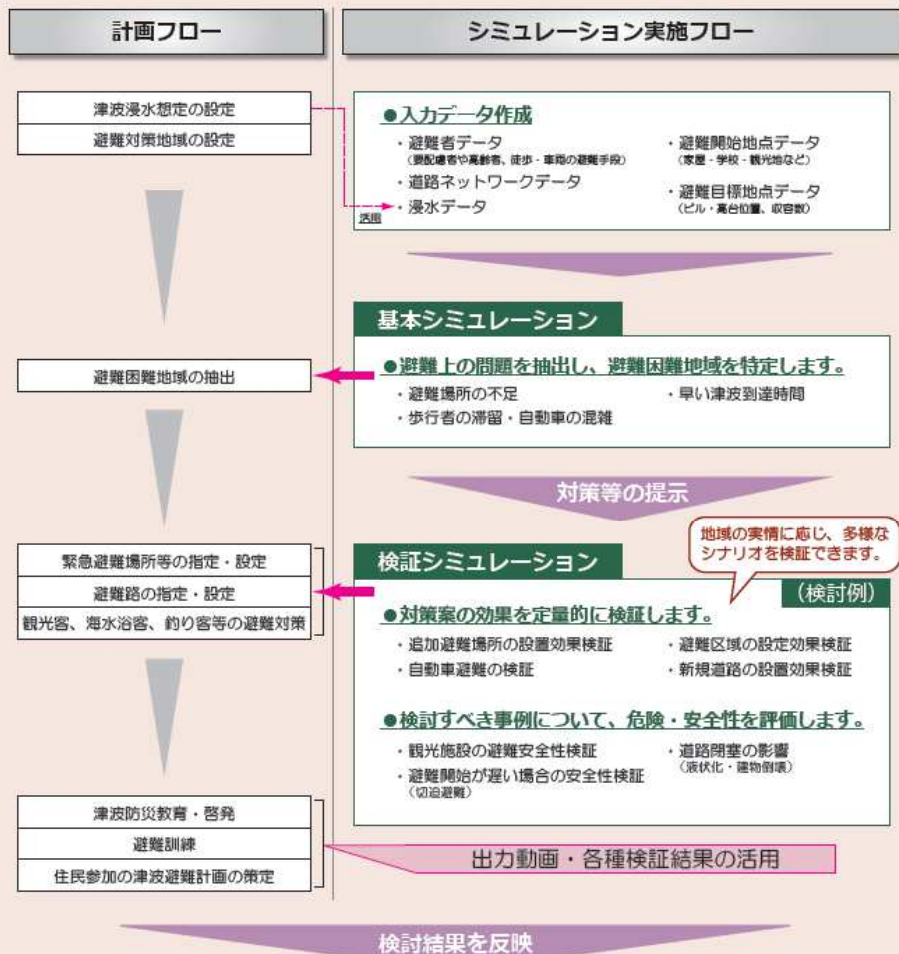


# 避難シミュレーションの位置づけ

# 地域防災計画の支援

## 津波防災の計画をサポート

避難上の問題点を的確に抽出し、有効性の高い対策を導出できます。



津波避難計画の策定 / 津波防災まちづくりの計画策定  
ハザードマップの作成 / 津波避難ガイドラインの作成

## 津波避難の計画に活用できる出力項目

### ◇シミュレーション動画

津波浸水傾向の把握や、避難上の問題抽出、対策案の妥当性検証に効果的です。さらに住民への啓発などにも活用できます。



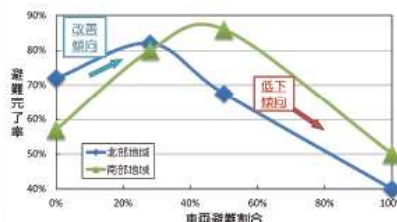
### ◇「詳細な」避難困難地域

「津波浸水域の拡大」や「避難場所の収容数」、「歩行者と自動車の干渉」なども考慮した、より詳細な避難困難地域の抽出が可能です。



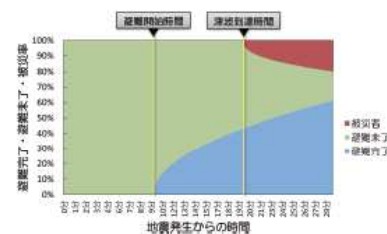
### ◇自動車避難の限界量

要配慮者の避難や、遠方からの避難など、車両避難がやむを得ない場合、安全に避難できる自動車限界量を検証できます。



### ◇その他の評価指標

(例) 避難完了・被災状況集計



→ ご要望により、新たな評価指標の出力も可能です。

## 計画時のケーススタディサポート

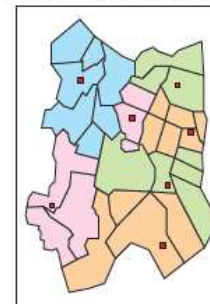
### ◇追加避難場所 (避難タワーなど) の配置

避難可能時間・収容人数を満たす追加避難場所の配置を容易にケーススタディできます。また、担当者様が簡単にオペレーションできるツールもご用意しております。



### ◇避難区域の設定

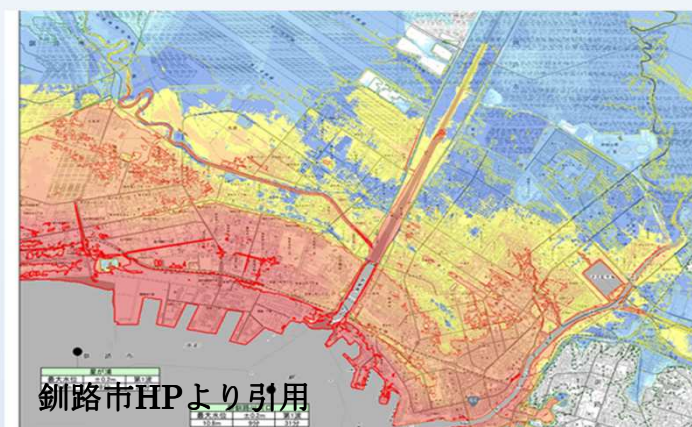
避難区域を町丁目の単位で設定できます。避難区域の設定により、避難場所収容数や避難距離に見合った計画が立てられます。



# 避難シミュレーションの機能

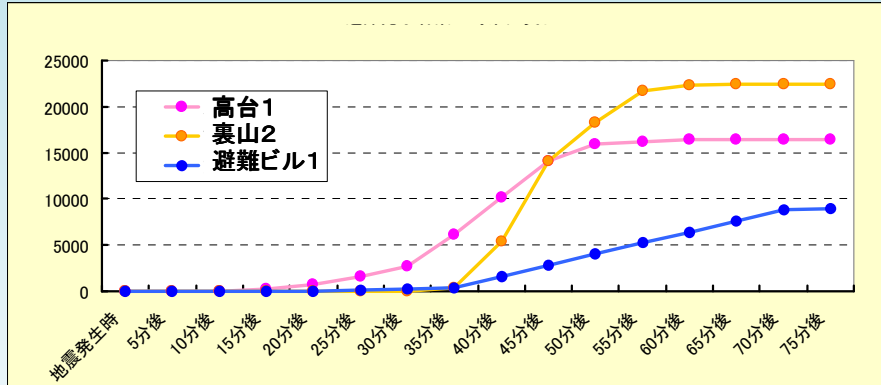
## ★インプット

項目	必要データ	付随して必要な情報
(1) 昼夜間人口データ	① 住宅データ ② 学校データ ③ 観光地データ ④ 商工業施設データ	位置、世帯ごと人数、町丁目居住数 位置、児童、教職員数 位置、就業者、観光客数 位置、就業者数、客数
(2) 現行の避難計画データ	① 避難場所データ ② 避難経路データ ③ 津波データ	位置、収容人数 避難経路として想定される経路 津波浸水高、到達時間
(3) 背景地図データ	配布可能なJPGファイル	JPGファイルの四隅の平面直角座標
(4) 逃げにくい方向の設定	想定される避難方向を記載した 特になし 地図データ	

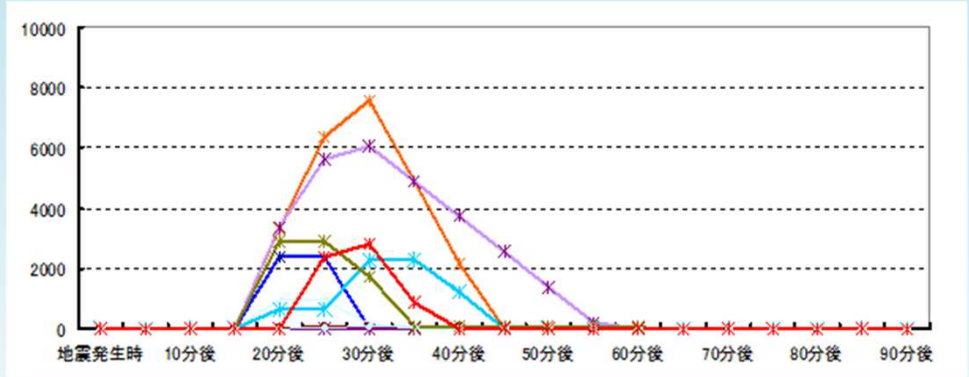


# 避難シミュレーションの機能

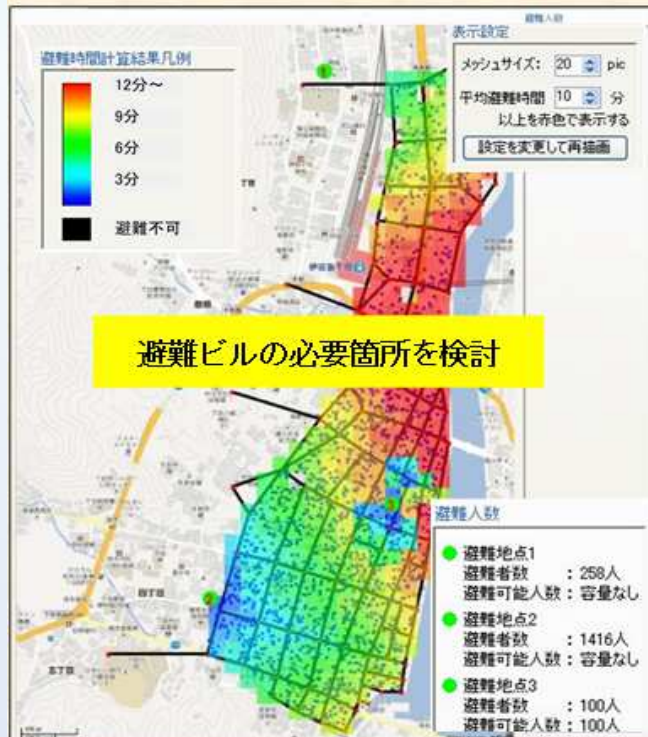
## ★アウトプット



避難完了者の時系列累計数



避難経路上の時系列滞留者数



避難ビルの必要箇所を検討

何分で避難可能かを地点別に表示



道路整備箇所を検討

通行量の多い道路を色分け

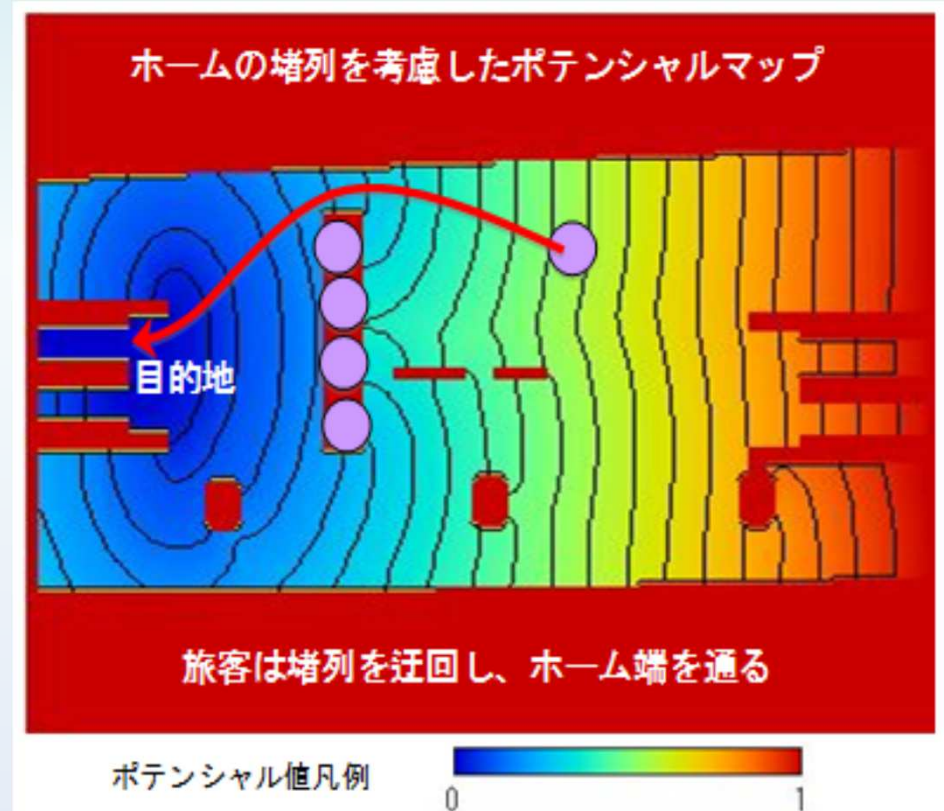
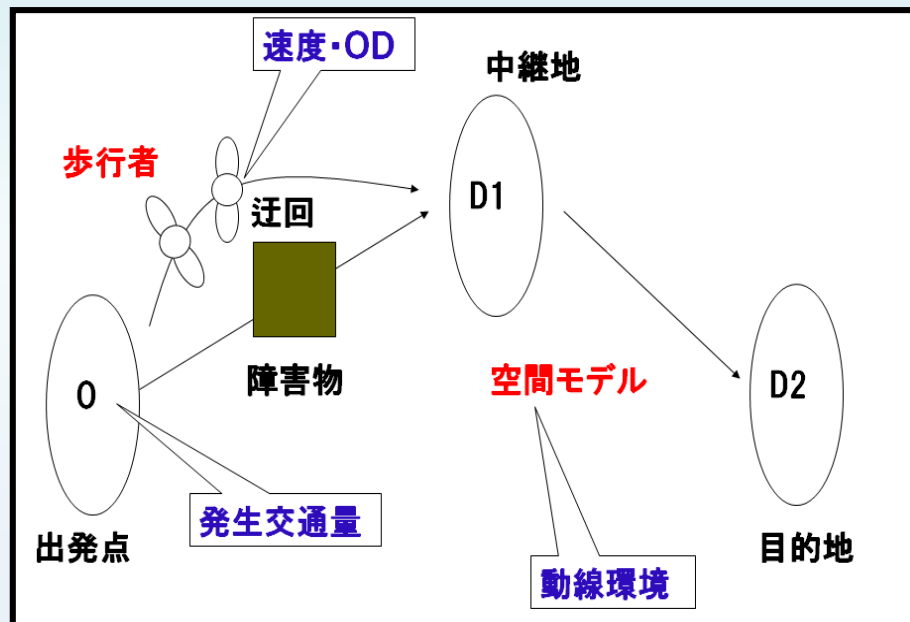


避難ビルの収容人数を検討

避難先の分担図

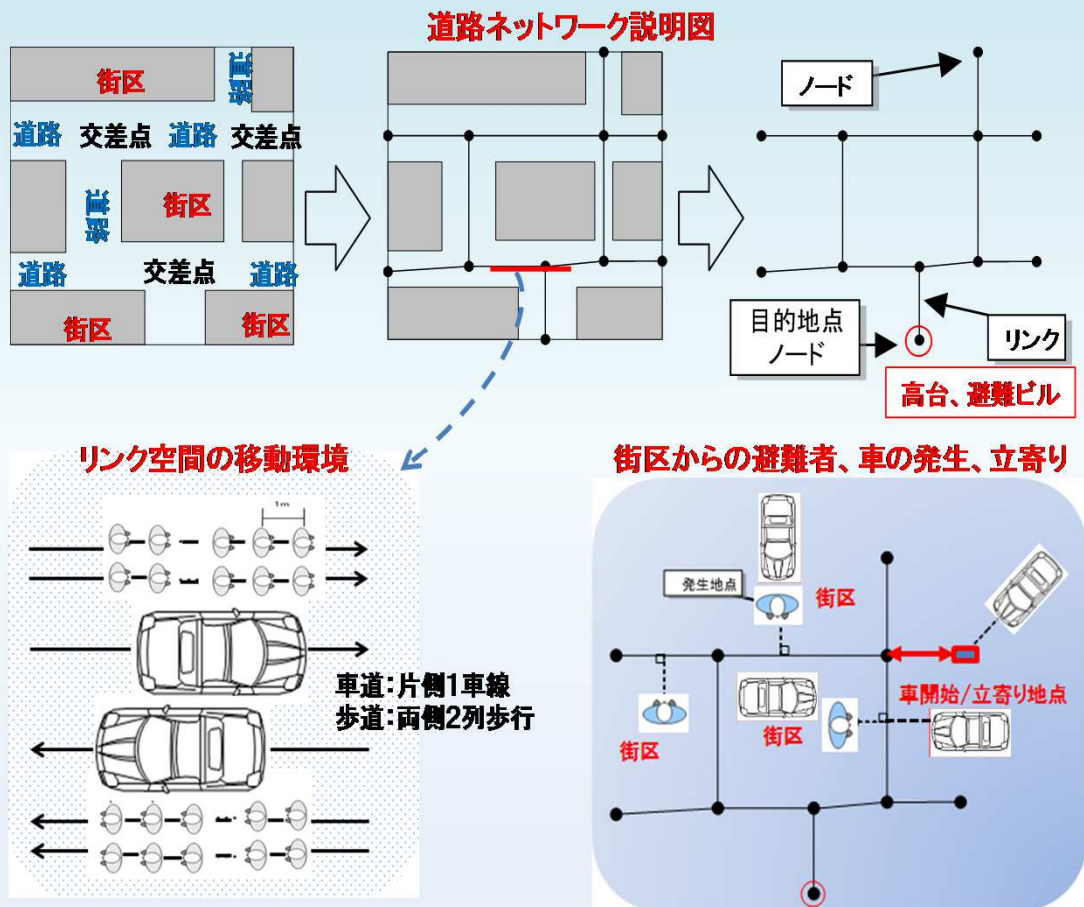
# エージェントシミュレーションの制御ルール

- 歩行者別の属性値設定(目的地、歩行速度など)
- 行動の状態遷移
- 目的地までの経路選択
- 他者や障害物との衝突回避

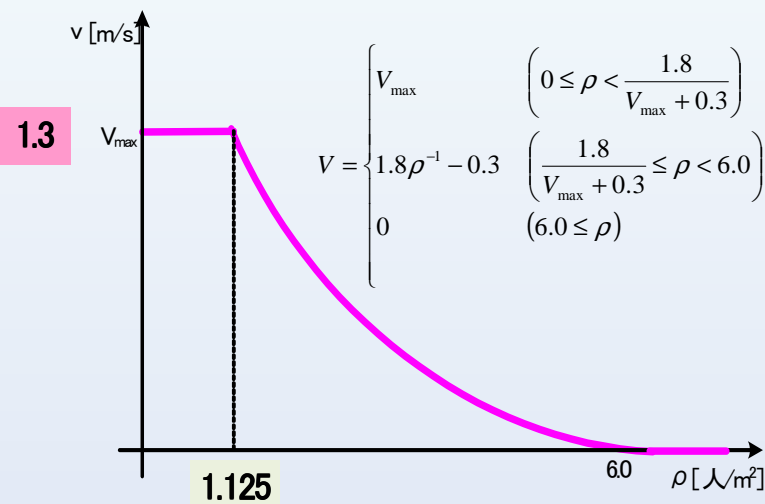
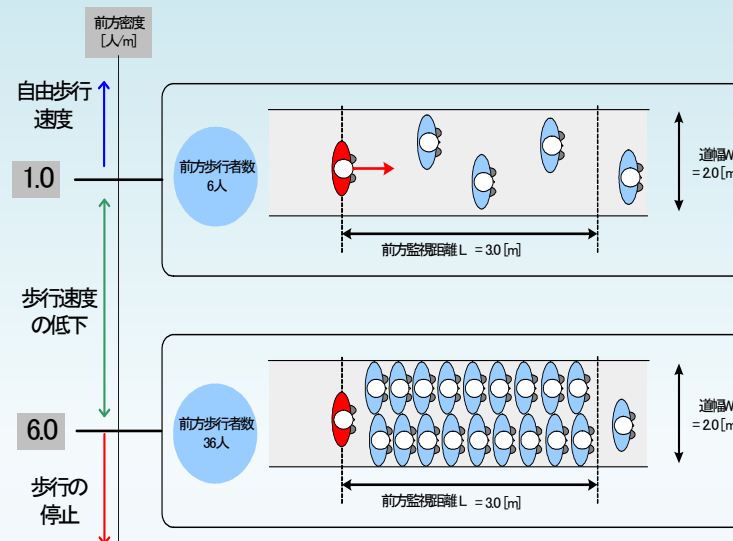


# 避難シミュレーションの制御ルール

## モデル構造



## 密度による速度低減則



# 事例紹介 (地下施設での浸水避難検証)

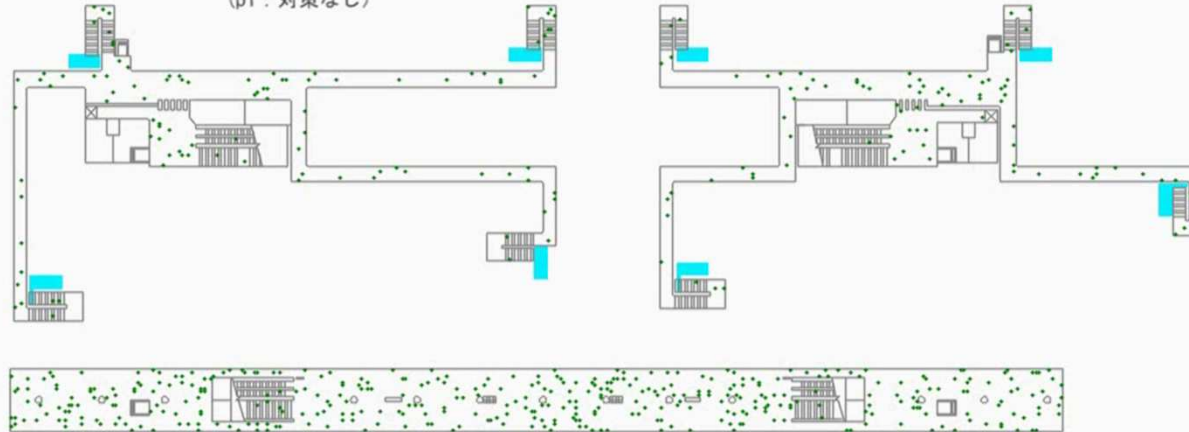
対策なし

CaseName:d2-i1-p1 ; s1=568 s2=0 s3=0 ; Time:90

ケース名 d : 浸水ケース  
i : 間接障害ケース  
p : 制御実施プラン  
(p1 : 対策なし)

s1= 避難開始前の  
旅客数 s2= 避難中の  
旅客数 s3= 避難完了の  
旅客数

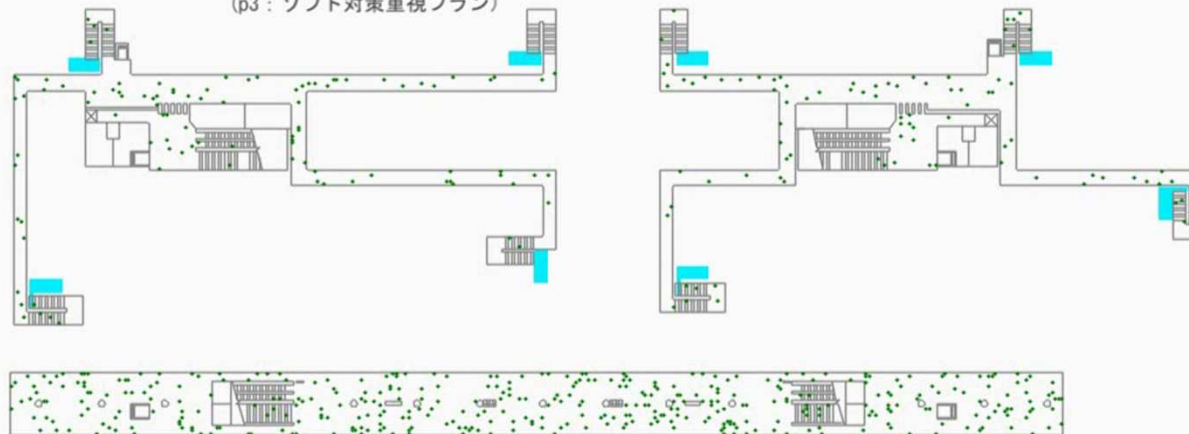
浸水開始からの  
経過時間



ソフト対策あり  
(非常放送ほ  
か)

CaseName:d2-i1-p3 ; s1=568 s2=0 s3=0 ; Time:90

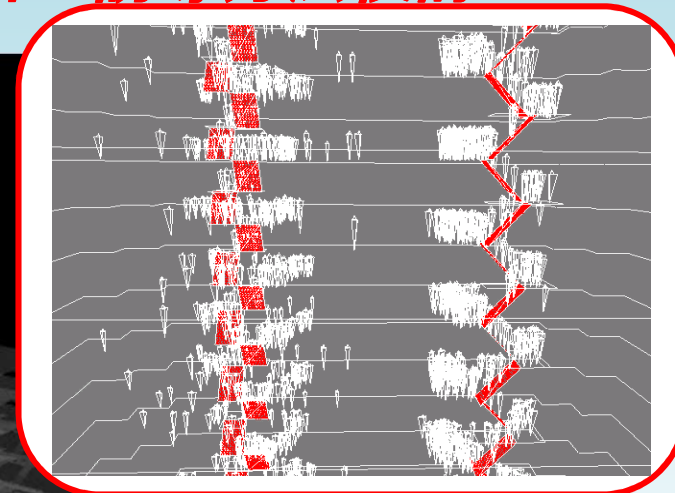
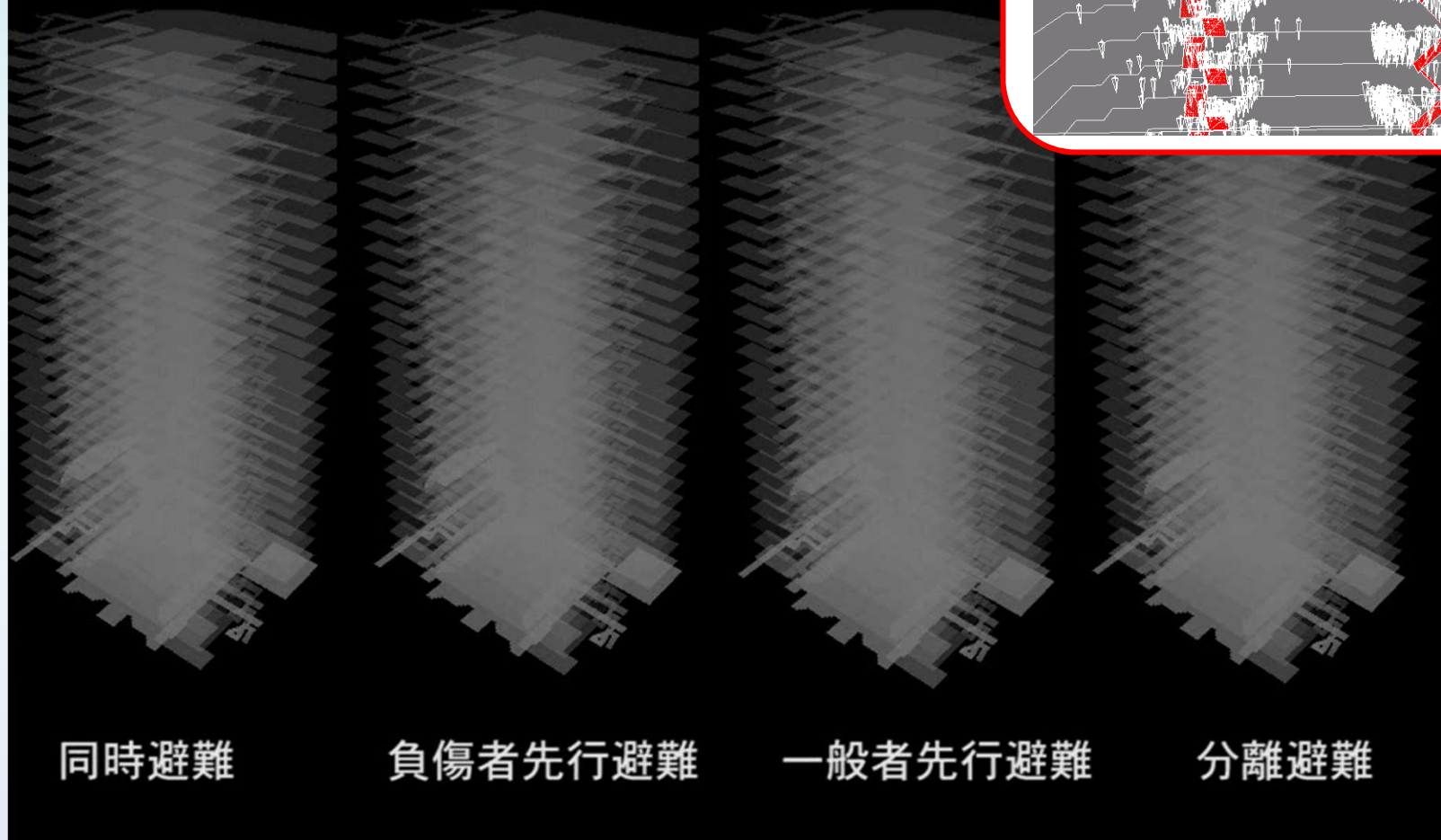
d : 浸水ケース  
i : 間接障害ケース  
p : 制御実施プラン  
(p3 : ソフト対策重視プラン)





# 高層ビルの避難検証 避難困難者の誘導方法検討

避難開始まであと 5秒



同時避難

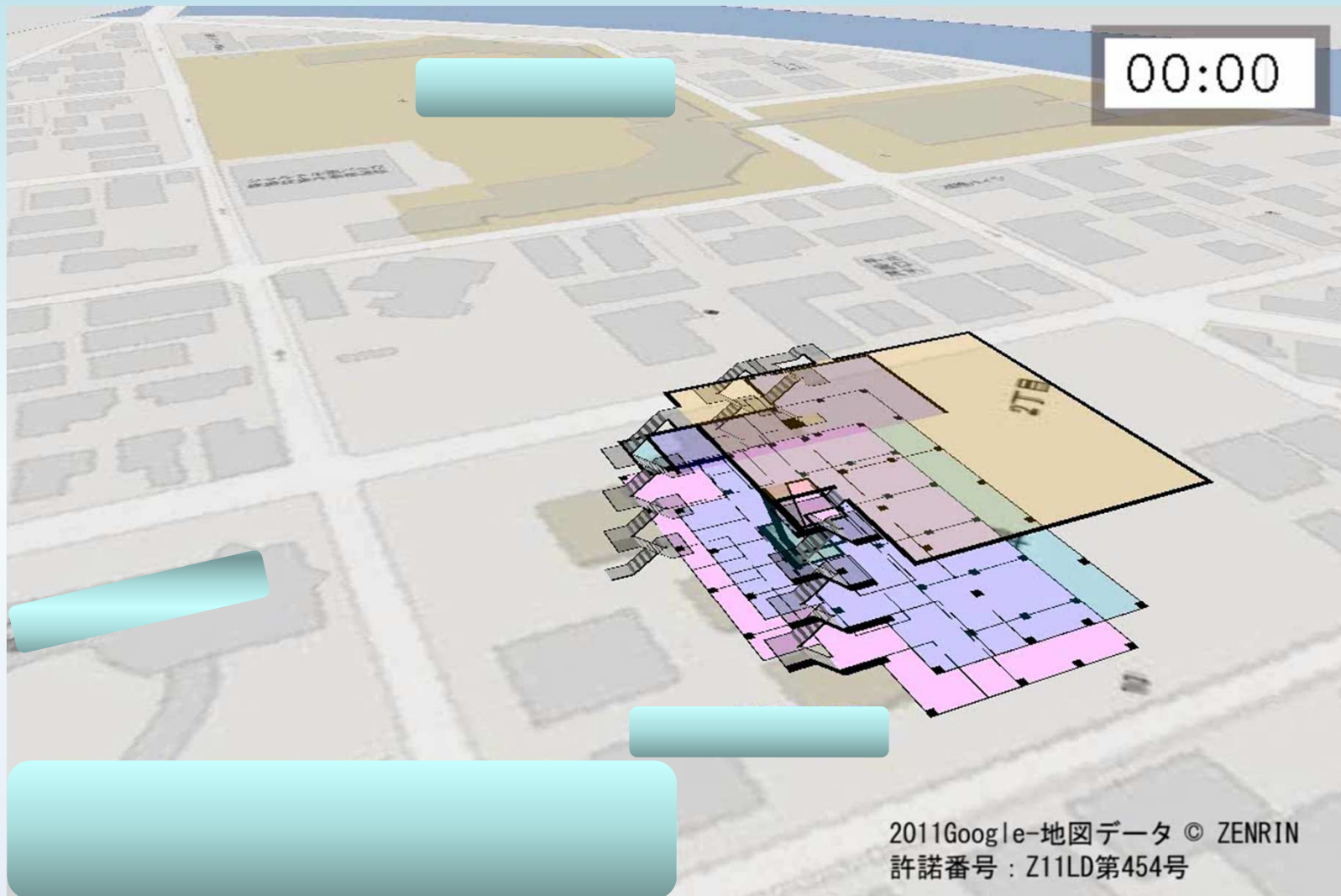
負傷者先行避難

一般者先行避難

分離避難

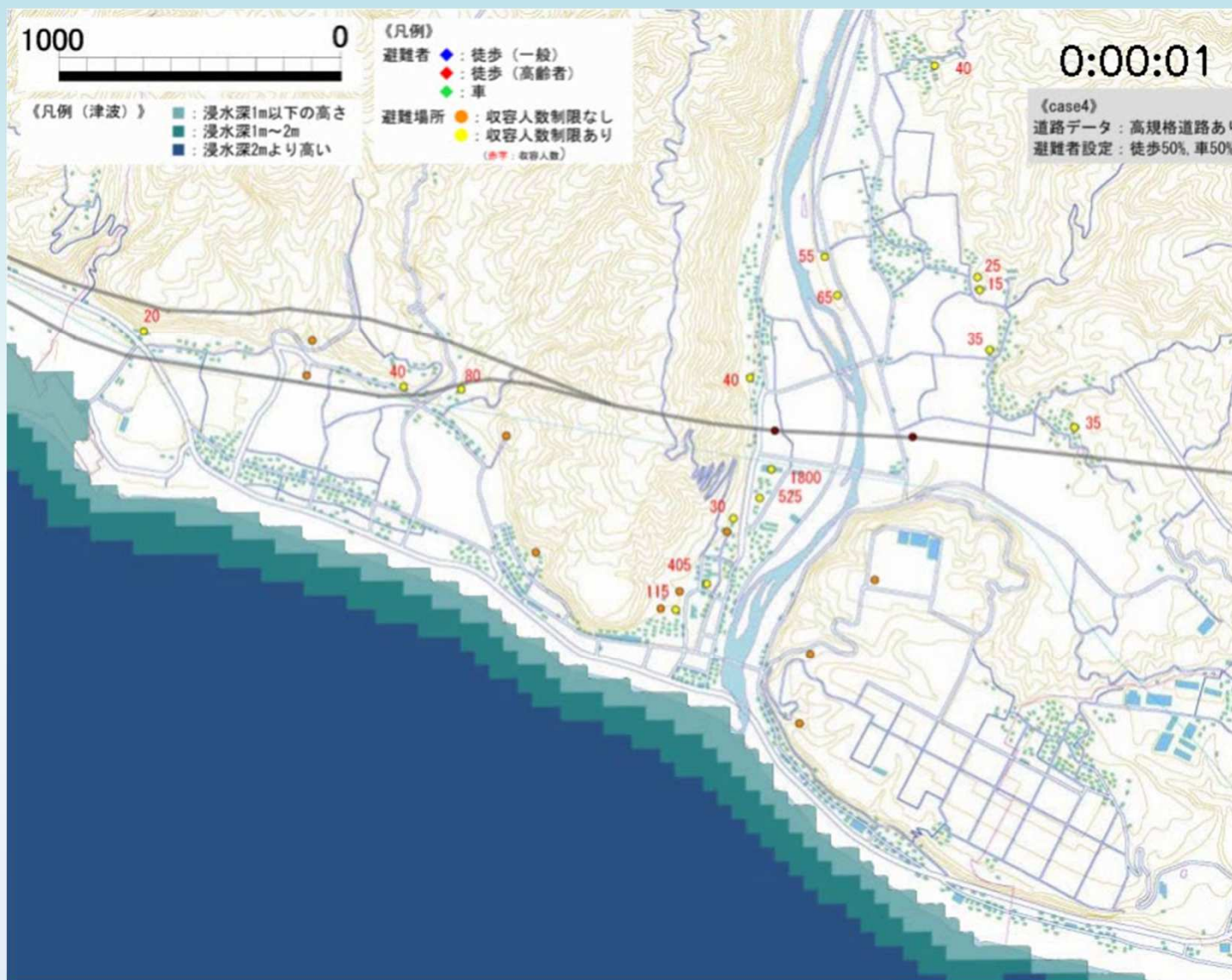
# 津波避難シミュレーション

# 学校の児童避難



# 津波避難シミュレーション

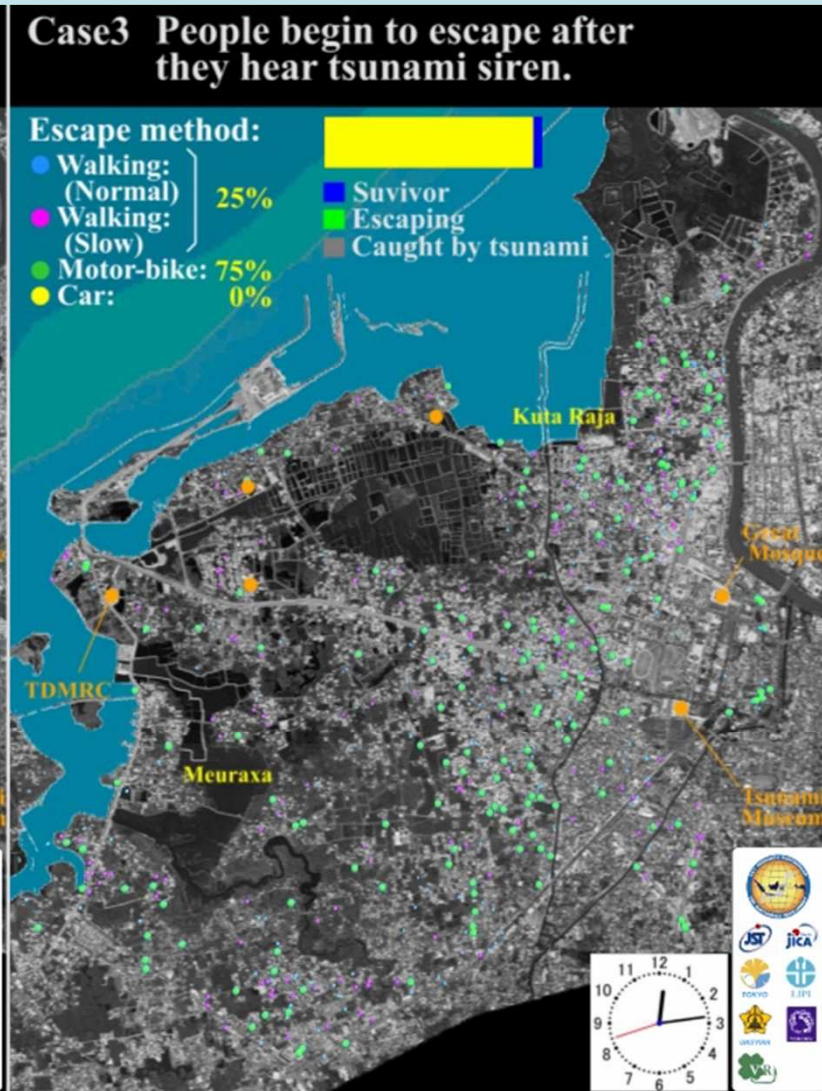
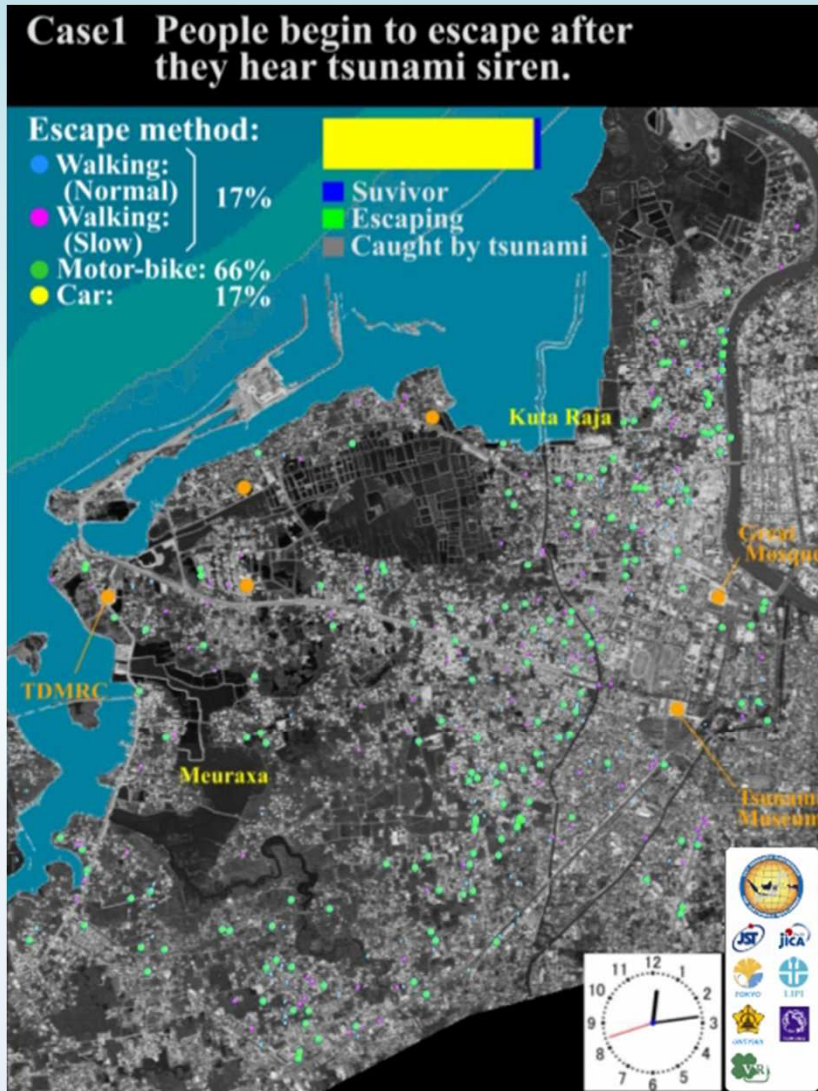
# 地域防災計画、道路整備検討の支援



- ・各種ケース別（避難経路、避難開始時間、避難場所）の被害者数の推計
- ・避難手段別（徒歩、車）の割合変更による被害者数の推計

# 津波避難シミュレーション

# インドネシア現地住民向け教育ツール



地球規模課題対応国際科学技術協力(SATREPS) 防災研究分野「開発途上国のニーズを踏まえた防災科学技術」領域  
 インドネシアにおける地震火山の総合防災策の成果

- ・避難手段別（徒歩、バイク、車）の割合変更による被害者数の推計
- ・各種ケース別（避難経路、避難開始時間、津波タワーの位置と数）の被害者数の推計

### 3 課題やニーズに対する取り組み

- ・モデル精度の検証と公開  
Verification & Validation
- ・継続性と活用促進

## 避難シミュレーションの活用促進における 現状の課題とニーズ

- ① 必要な入力データの入手、設定が困難な場合がある。
- ② 実現象との差異検証が困難であるため、予測精度が明確ではない。
- ③ 制御ルールが非開示、アルゴリズム化されていないモデルが存在する。
- ④ ユーザーが自由に想定シナリオや設定条件を変えてケース検討したい。
- ⑤ 安全性能評価の相対的な基準がないため、ケース際限の見極めが難しい。

## データと各種モデル検証の枠組み整備

各種シミュレーションモデルに対して、  
検証（Verification）と妥当性確認（Validation）を行う環境の整備

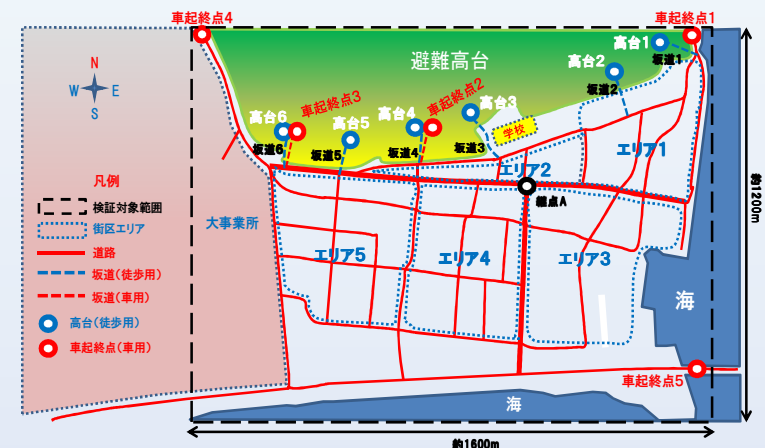
### 検証（Verification）

：所定アルゴリズム通りにシミュレーションが実行されること

### 妥当性確認（Validation）

：解析対象となるモデルが実現象に即していること

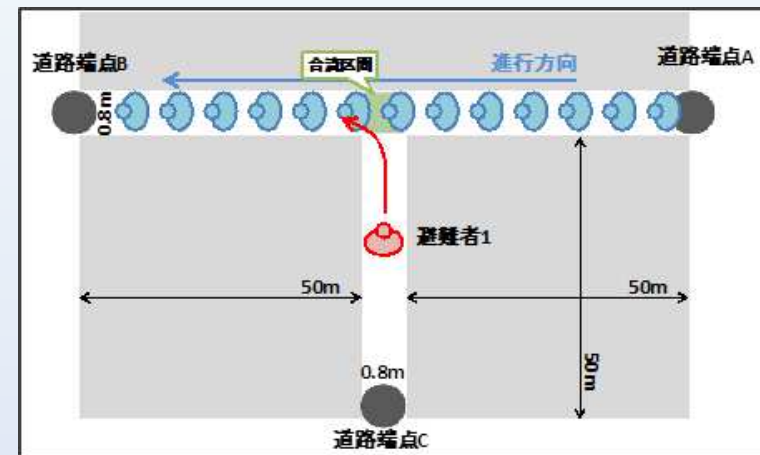
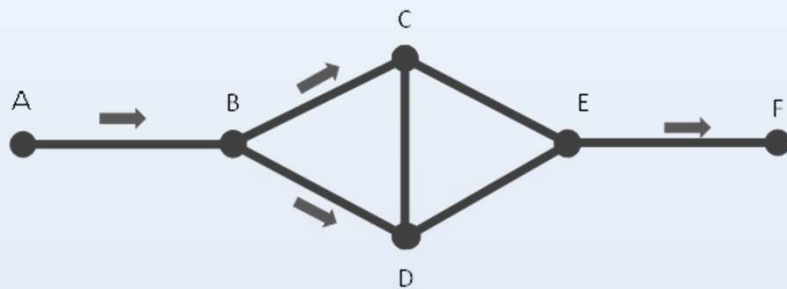
- ① 同一事象、データでの実行
- ② シミュレーション結果の説明
- ③ 3.11被災地避難実態調査の活用



## 基本的検証 (Verification)

所定アルゴリズム通りにシミュレーションが実行されること

- ① 避難者の発生の検証 (徒歩・車両)
  - ・避難者が設定された避難開始時間に避難開始位置から避難することを確認
- ② 避難者の移動速度の検証 (徒歩・車両)
  - ・避難者が設定された通りの移動速度で移動していることを確認
- ③ 避難者の避難路選択の検証 (徒歩・車両)
  - ・避難者が選択した通りの経路を利用していることを確認
- ④ 避難路の状態による移動速度に与える影響の検証 (徒歩のみ)
  - ・避難者が道路勾配や階段によって移動速度が変化することを検証する。
- ⑤ 避難路の混雑による移動速度の増減の検証 (徒歩・車両)
  - ・混雑の発生原因について検証

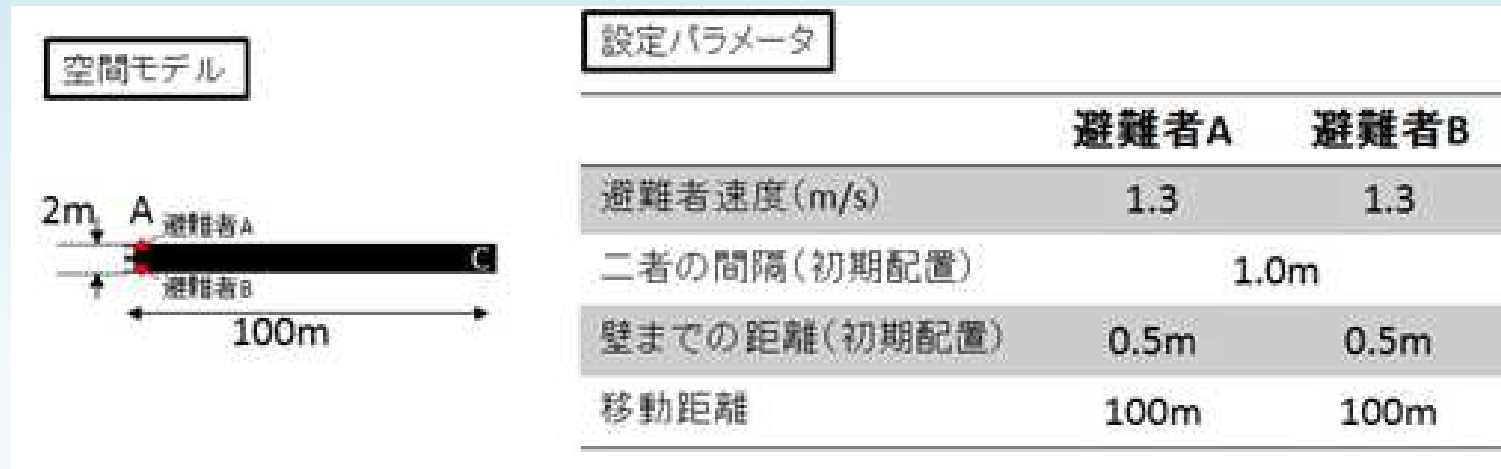




# 基本的検証 (Verification)

## 避難者の移動速度の検証 (徒歩・車両)

- 避難者が設定された通りの移動速度で移動していることを確認



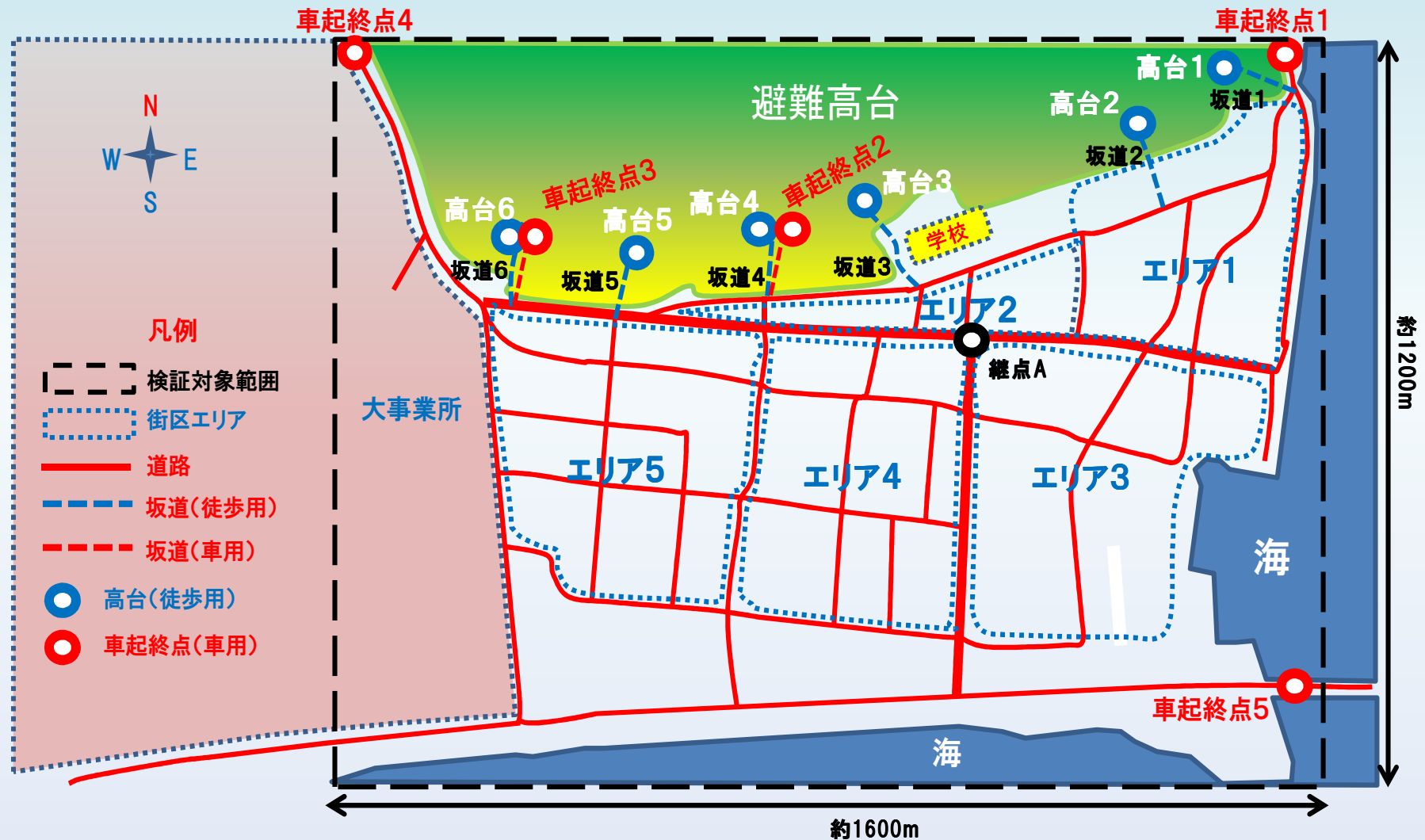
### Verification (検証) の実施結果

	移動時間 (秒)		移動時間の誤差 (秒)
	理論値 (a)	シミュレーション (b)	(b) - (a)
避難者A	76.9	80.6	3.7
避難者B	76.9	80.6	3.7

# 妥当性確認 (Validation)

## 解析対象となる数理モデルが実現象に即していること

石巻市門脇町、南浜町での3.11震災直後の避難行動ヒアリング調査結果を基にした想定事象



# 妥当性確認 (Validation)

## 解析対象となる数理モデルが実現象に即していること

### 条件、制御ルール、アルゴリズム、パラメータの開示

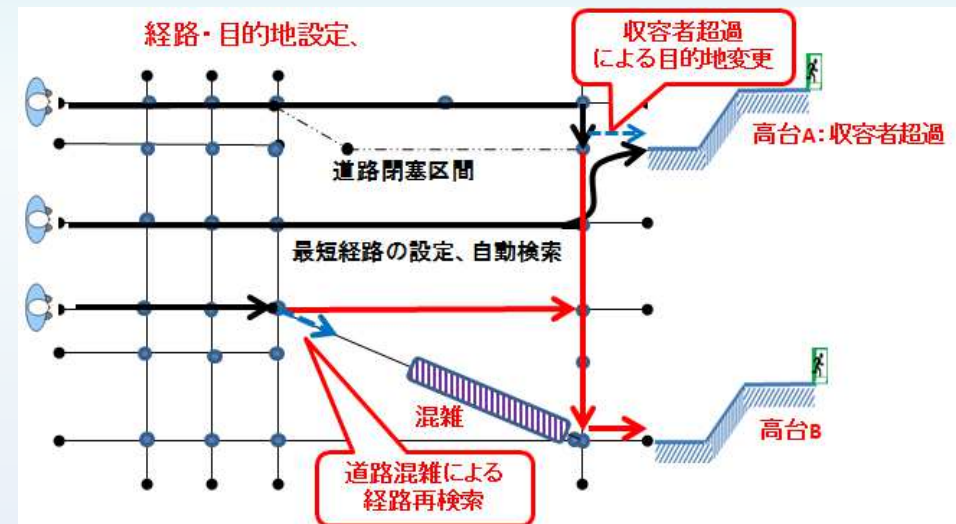
#### ① 避難者・車の属性

- ・属性1 住民の徒歩避難
- ・属性2 住民の車避難
- ・属性3 住民外出者の車一時帰宅避難
- ・属性4 一般通過車の避難
- ・属性5 事業所からの避難

#### ② 発生分布

#### ③ 経路設定

#### ④ 避難速度 (密度速度低減則)

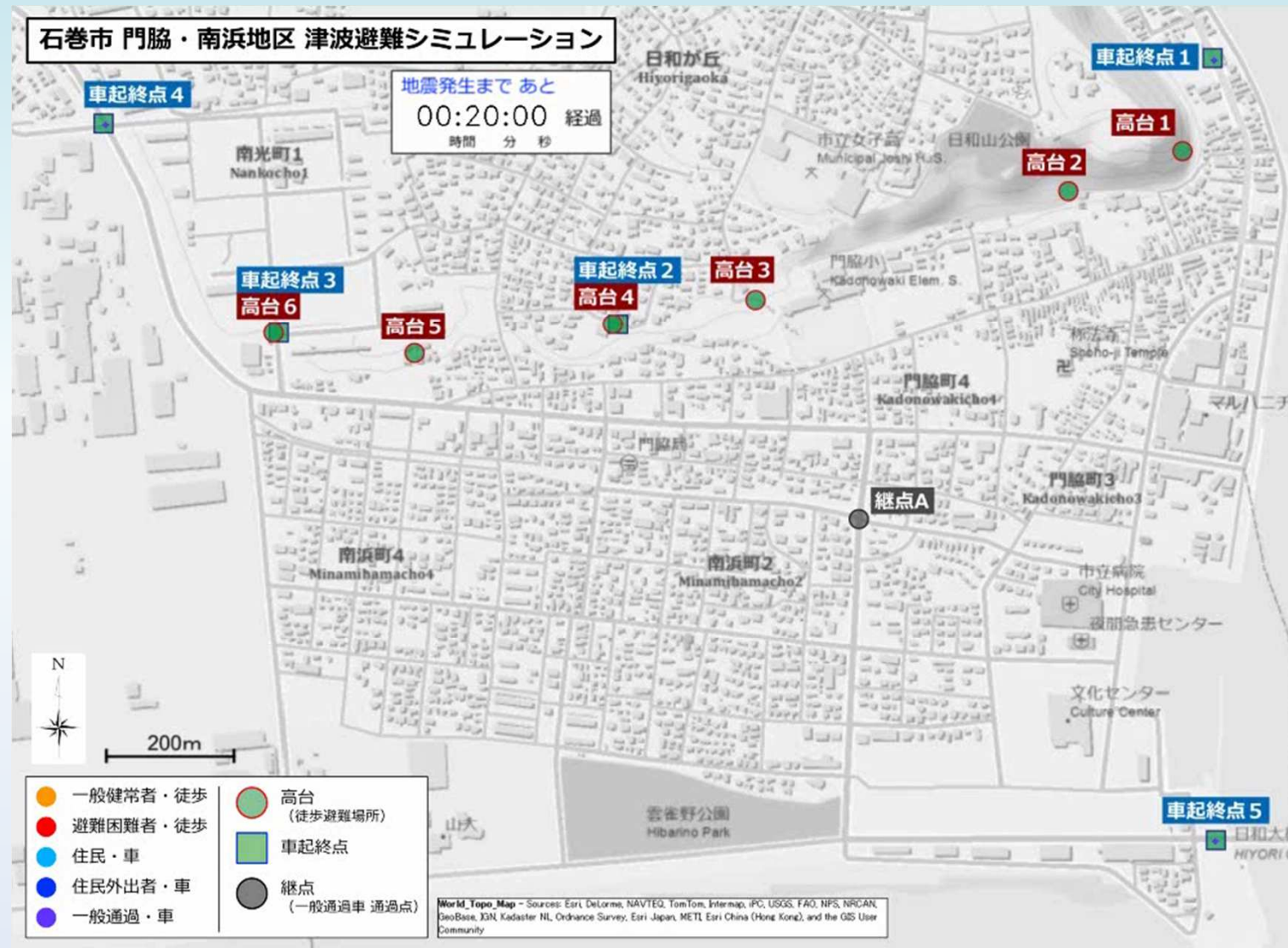


### 出力結果の開示

- ① 避難完了時間、時系列避難者数、箇所別混雑度
- ② 再現精度 (最低限度、平均、最高限度)
- ③ 計算時間、動作環境

# 妥当性確認 (Validation)

石巻市門脇町、南浜町での3.11震災直後の避難行動ヒアリング調査結果を基にした想定事象



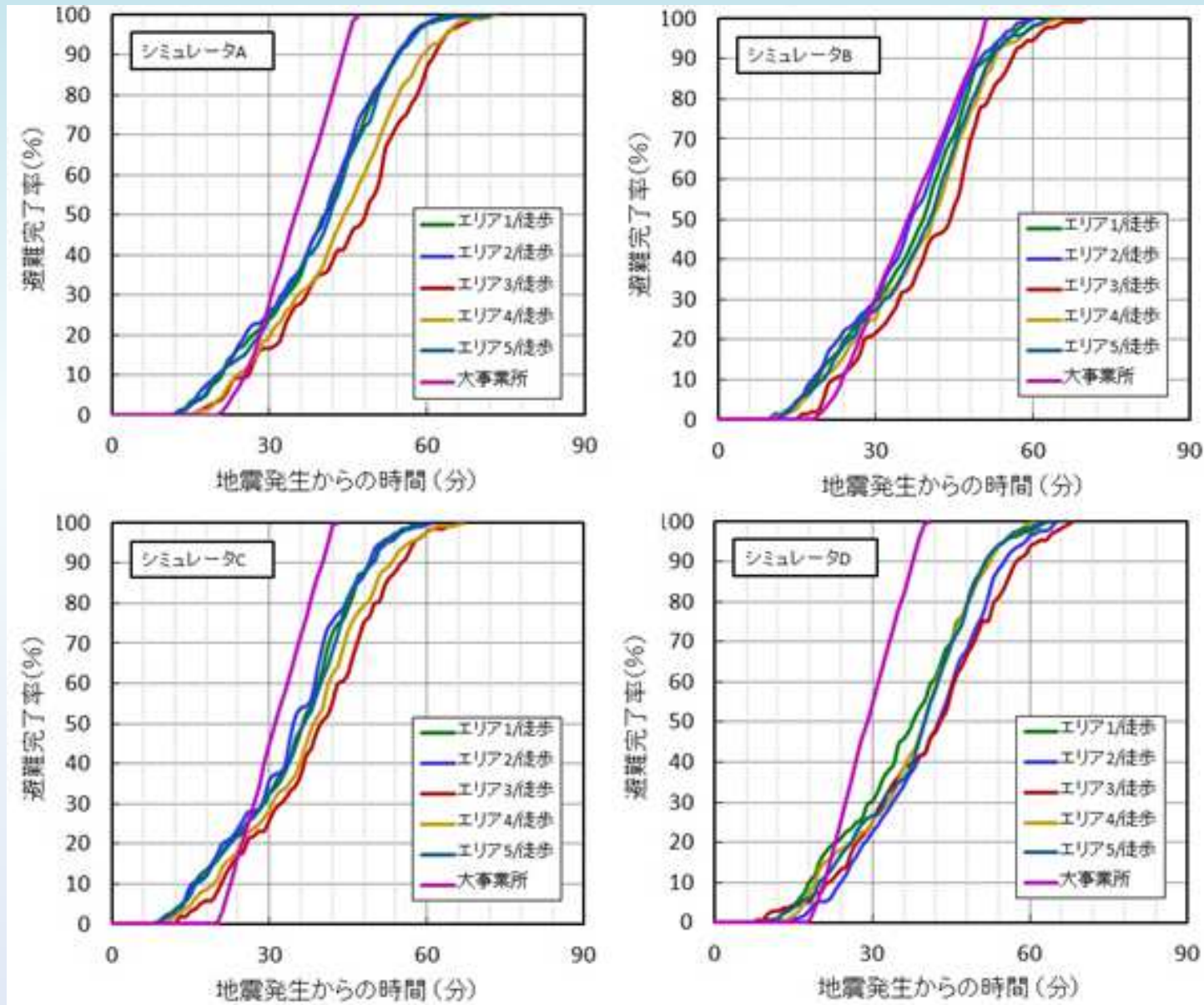
# 先行モデルによるV&V

## ・各モデルに特徴がある

		シミュレータ A <sub>0</sub> (ベクトル総研) <sub>0</sub>	シミュレータ B <sub>0</sub> (構造計画研究所) <sub>0</sub>	シミュレータ C <sub>0</sub> (東大 堀研) <sub>0</sub>	シミュレータ D <sub>0</sub> (京大 清野研) <sub>0</sub>
空間モデル <sub>0</sub>	徒歩 <sub>0</sub>	道路ネットワーク線上を移動 <sub>0</sub>	道路ネットワーク線上を移動 <sub>0</sub>	道路ネットワークのグリッドを使って追い越し等しながら移動 <sub>0</sub> 道路ネットワークのグラフを使って経路選択 <sub>0</sub>	矩形の組み合わせで表現した二次元の道路空間内を移動 <sub>0</sub>
	車両 <sub>0</sub>	同上 <sub>0</sub>	同上 <sub>0</sub>	同上 <sub>0</sub>	
避難者の発生 <sub>0</sub>	徒歩 <sub>0</sub>	設定条件に従った決定論的取扱い <sub>0</sub>	設定条件に従った決定論的取扱い <sub>0</sub>	設定条件に従った決定論的取扱い <sub>0</sub> 位置等をばらつかせる確率論的取扱い <sub>0</sub>	設定条件に従った決定論的取扱い <sub>0</sub> 位置等をばらつかせる確率論的取扱い <sub>0</sub>
	車両 <sub>0</sub>	同上 <sub>0</sub>	同上 <sub>0</sub>	同上 <sub>0</sub>	
避難者の移動速度 <sub>0</sub>	徒歩 <sub>0</sub>	設定条件に従う。道路勾配に合わせた一定速度 (非混雑時) <sub>0</sub>	設定条件に従う。道路勾配に合わせた一定速度 (非混雑時) <sub>0</sub>	設定条件に従う。道路勾配に合わせた一定速度 (非混雑時) <sub>0</sub>	設定条件に従う。道路勾配に合わせた一定速度 (非混雑時) <sub>0</sub>
	車両 <sub>0</sub>	同上 <sub>0</sub>	同上 <sub>0</sub>	同上 <sub>0</sub>	
	相互作用 <sub>0</sub>	【徒歩-徒歩】避難者の前方密度によって制御 <sub>0</sub> 【車両-車両】前方車と車線変更時の衝突判定により制御 <sub>0</sub> 【徒歩-車両】混雑により車道にはみ出す徒歩避難者によって制御 <sub>0</sub>	【徒歩-徒歩】避難者の周辺密度によって制御 <sub>0</sub> 【車両-車両】同上 <sub>0</sub> 【徒歩-車両】移動可能範囲を分け合うことにより影響を考慮。ただし動的相互作用は考慮しない <sub>0</sub> 【交差点】信号ではなく前方密度による速度制御。右左折不能による停止も考慮。 <sub>0</sub>	【徒歩-徒歩】追い越し・一時停止等を行う衝突回避によって決定。独自のパラメータを設定。 <sub>0</sub> 【車両-車両】同上 <sub>0</sub> 【徒歩-車両】同上 <sub>0</sub>	【徒歩-徒歩】周辺の避難者との心理的・物理的な相互作用によって制御 <sub>0</sub>

# 妥当性確認 (Validation)

解析対象となるモデルが実現現象に即していること



# Validation と Verification の公募と評価

## 2016年4月現在、6機関

検証と妥当性確認の判定

参加機関	検証	妥当性確認
(株)アイ・トランスポート・ラボ	可	可
パシフィックコンサルタンツ株式会社 都市・環境 事業本部 交通政策部	可	可
日本工営株式会社 地盤環境部	可	可
宇都宮大学地域デザイン科学部社会基盤デザイン 学科	可	可（車両のみ）
徳島大学大学院理工学研究部総合技術センター	可	－
応用技術株式会社 エンジニアリング本部 国 土基盤情報部 社会マネジメントグループ	可	－

「マニュアルに沿った作業が行われたか否か」という観点で可否を判定 ーはレポートに記載なし

## 継続性と活用促進

- **共有性**:関係者が共同で安全性能向上を図り、活動を促進、継続する仕組み
- **効率性**:行政や施設管理者がデータや安全施策、整備を効率的に検討、更新できる仕組み
- **経済性**:現状業務のスリム化、役割分担、ルーチン化により管理コストを削減
- **拡張性**:将来的に通常行動分析や各種設備管理（点検、交換）との兼用性を考慮



### 評価基準の整備

例:地域安全性能共有プラットフォーム(仮称)の検討



# 今後の展開

## 地域の安全性向上のための継続的活動

- ・協議会関係者による活用、周知
- ・避難情報や資源管理状況の共有
- ・防災教育、訓練、人材育成



- ・共有活用 (連携検計: 役割分担、シナリオ設定、疑似防災訓練)
- ・独自活用 (社外秘検計: 設備計画、社内管理マニュアル)

・地域の安全度向上、避難結果の提示、更新



⑦ 地域連携による地域災害対応アプリケーション技術の研究開発

