

災害時の交通モニタリングと 避難シミュレーションの最前線

平成28年2月5日 「震災対策技術展」横浜 セミナー

第6回震災予防講演会, 主催 (社) 日本地震工学会

命を守る避難の課題
ー災害時の交通モニタリングと避難シミュレーションの最前線ー

東北大学大学院情報科学研究科
桑原 雅夫

社会的ニーズと研究目的

- ・ 人命を守る減災のためには、**迅速なモビリティ支援**が重要
 - 避難インフラ, 交通マネジメントの効果的な事前立案
 - 被災状況と交通状況の迅速な市民・自治体への提供

研究目的

- ① 人々の避難行動を理解した**避難支援策の設計・評価ツール**開発
- ② 自然現象, 被災状況, 交通状況の**リアルタイムモニタリング**



2011.3.11
東日本大震災



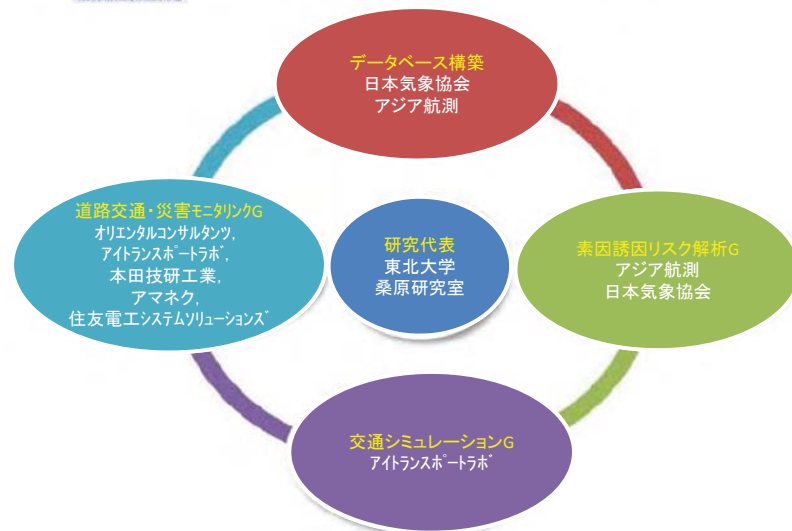
2012.10.28
ハリケーンサンディ



2014.2.16
甲信地方豪雪



データ指向型モビリティ情報生成グループ
【 DOMINGO PROJECT 】 Data Oriented Mobility Information Group



① 避難支援策の設計と評価



- ・ 災害時の避難行動の理解 (どこに, いつ, 何を使って避難しようとするのか)
- ・ 災害時の交通現象の解明 (歩車錯綜, 信号減灯の交差点挙動など)
- ・ 避難インフラ (避難道路, 避難ビル, 避難所など), 交通管理策の設計と評価

避難交通シミュレーション開発状況

- これまで、首都圏直下型地震時に想定される交通課題を表現する避難交通シミュレーションを開発
- 交通、気象、災害リスク等の災害ビッグデータを入力することで、避難交通の事前評価が可能
- 東日本大震災及び予測データを開発システムに入力し、東京23区を対象に実施検証

【入力データ】
交通・気象・災害リスクデータ

【避難交通シミュレーション】
避難者・帰宅者の行動予測

【避難施策の評価】
道路速度、旅行時間 等

避難交通シミュレーション全体像



濃色：開発済み、淡色：今後開発予定のシミュレーション機能

ミクロ(狭域)モデル



避難交通シミュレーションの開発状況

Time 14:40:43

14:46:00 地震発生、避難開始したケース



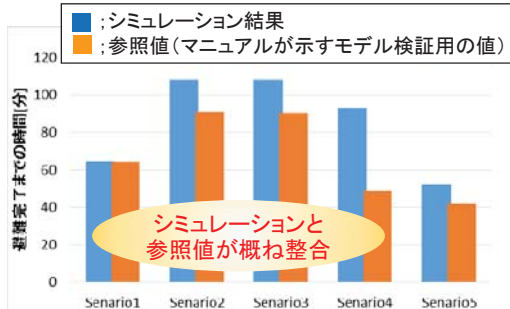
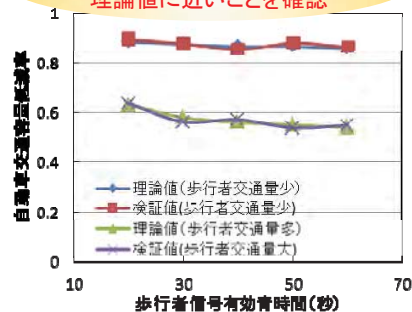
凡例 ■;歩行者 ■;自動車

避難交通シミュレーションの開発状況

- (社)交通工学研究会、(社)日本地震工学会の避難シミュレーションマニュアルに示される方法に従い、モデルの「動作検証」及び「妥当性の検証」を実施

◆歩車錯綜による自動車容量低減率※1 ◆様々な避難シナリオに基づく避難完了時間の検証の検証

シミュレーション(検証値)が理論値に近いことを確認



石巻市との連携により、適用実績あり

規範的避難行動による避難ベンチマーク

災害シナリオの設定
(災害の規模、種類、避難時刻など)

避難行動
(不確実性がきわめて高い)

避難インフラ整備
避難オペレーション設計

避難行動の不確実性を除く

→ 避難行動を最適に制御した場合の避難パフォーマンス(ベンチマーク)

避難インフラ整備、避難オペレーション設計には、ベンチマークが必要

規範的避難行動による避難ベンチマーク

避難行動の最適制御＝**経路と避難開始時刻**を最適に制御
(待ち行列を作らせない)

線形計画問題(柔軟なモデル化)

目的関数

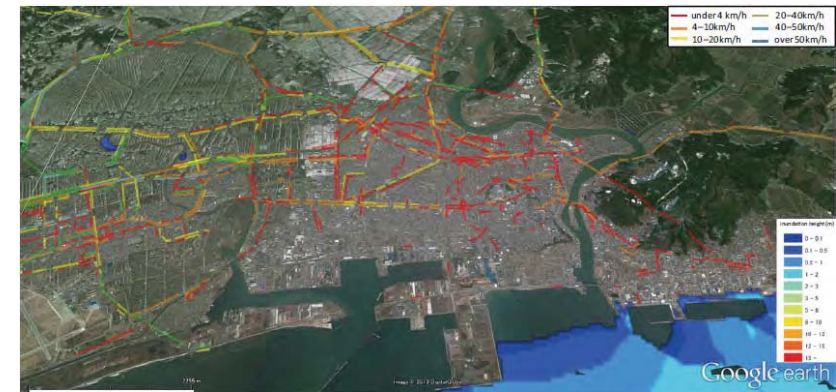
- 総避難時間の最小化
- 避難完了時間の最小化
- 危険場所存在人数の最小化

トリップ行動

- 避難トリップ
- 避難以外のトリップ
- ピックアップ行動(トリップチェーン)

9

規範的避難行動による避難ベンチマーク



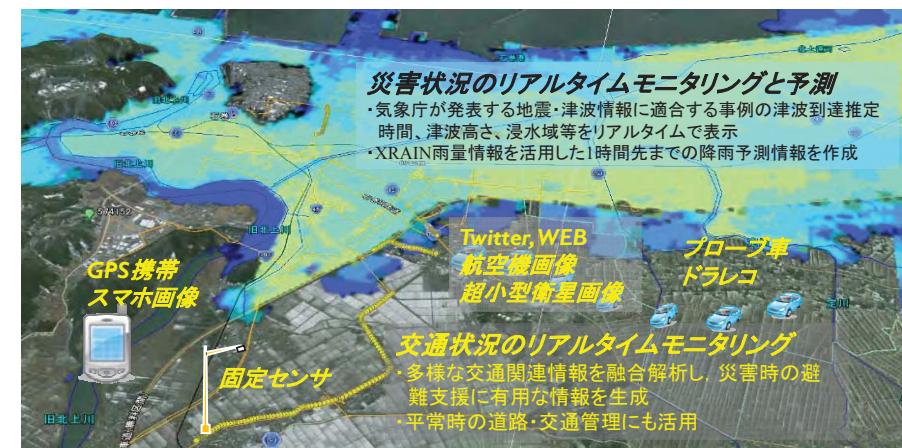
石巻市中心部における規範的行動モデル

10



11

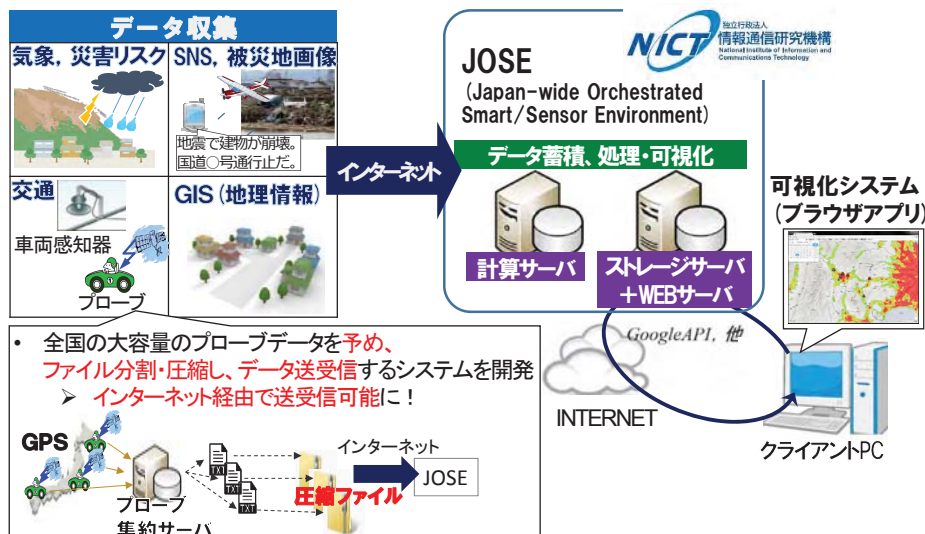
②自然・交通・被災状況のリアルタイムモニタリング



- 災害時は、迅速に災害情報や交通状況を提供し、適切な避難を支援
- 平常時は、エリアワイドな交通情報を迅速に提供し、快適な移動を支援

リアルタイム・データ収集・可視化システム

- 各種センサーデータをリアルタイム処理・可視化するシステムを開発



リアルタイム・データ収集・可視化システム

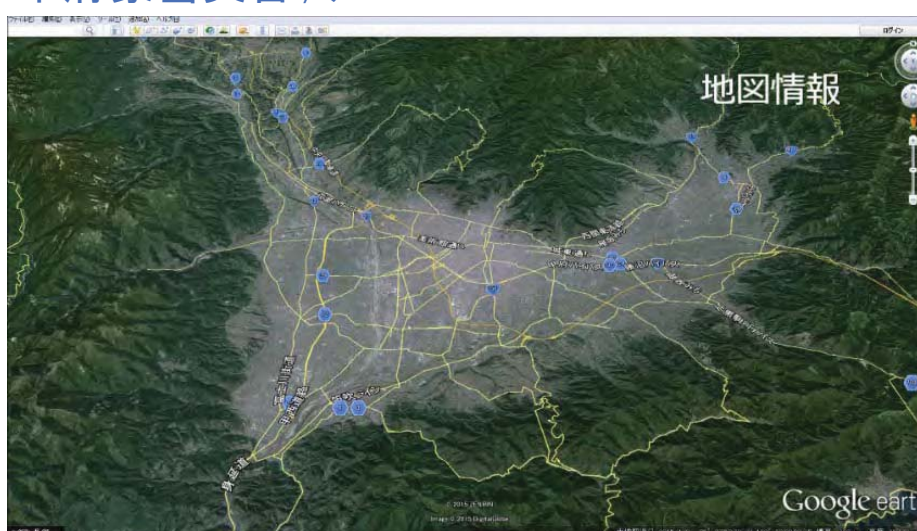


収集データの解析技術

- 目的: 大規模災害を対象にモビリティの視点から防災・減災に資するシステム開発
- 内容: 災害時の被災状況や交通状況のリアルタイム把握のため、従来型の固定センサや気象情報に加え、フローブデータ、カメラ画像、SNSなどの速報性の高い多様なデータを融合し、被災・交通状況のモニタリング手法を構築

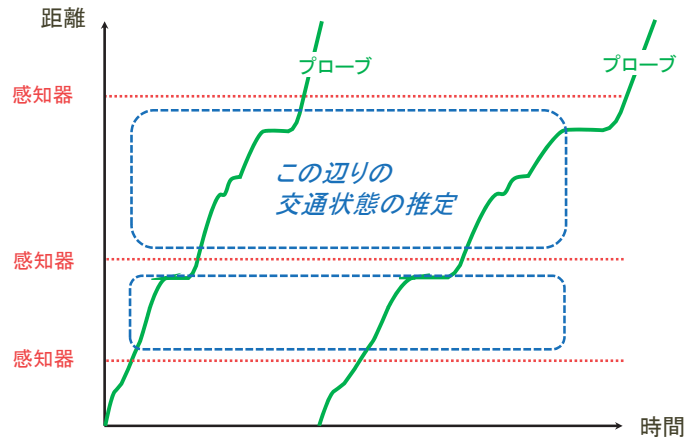


甲府豪雪災害; デモ

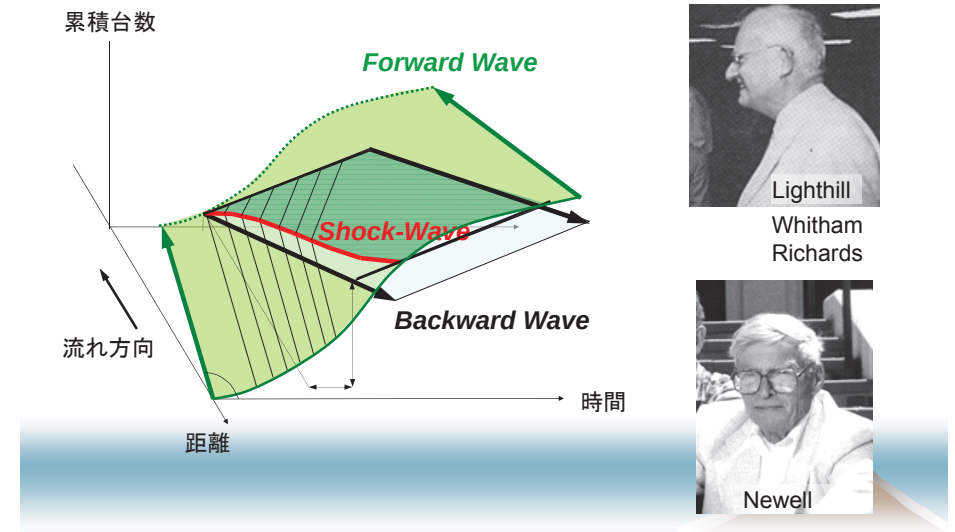


本研究の対象			融合データ				
災害	事例		気象	フローブ	ツイッター	画像	地形
豪雪	2014年2月; 山梨	広域	○	○			
		中域		○	○		
		詳細			○	○	
地震	2011年3月; 首都圏			○			
豪雨	2014年8月; 広島	土砂災害	○				○

車両感知器とプローブデータ



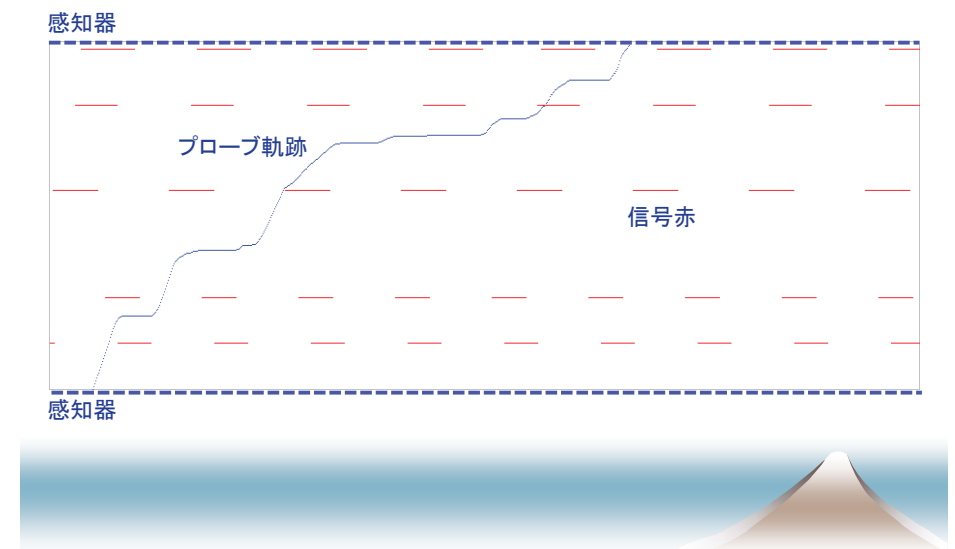
Kinematic Wave Theory と 累積図の関係



融合解析例 (都内の信号交差点を含む一般街路)

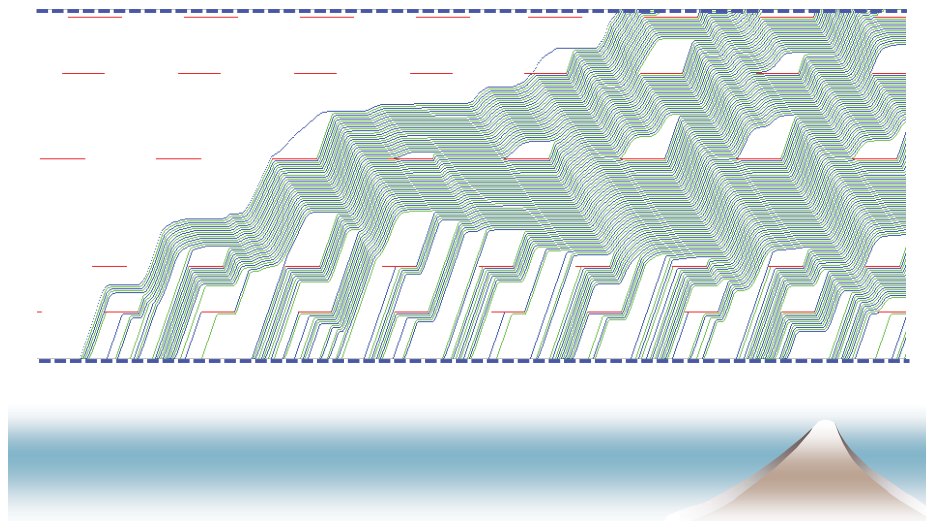


Probe + 感知器 + 信号データの融合解析



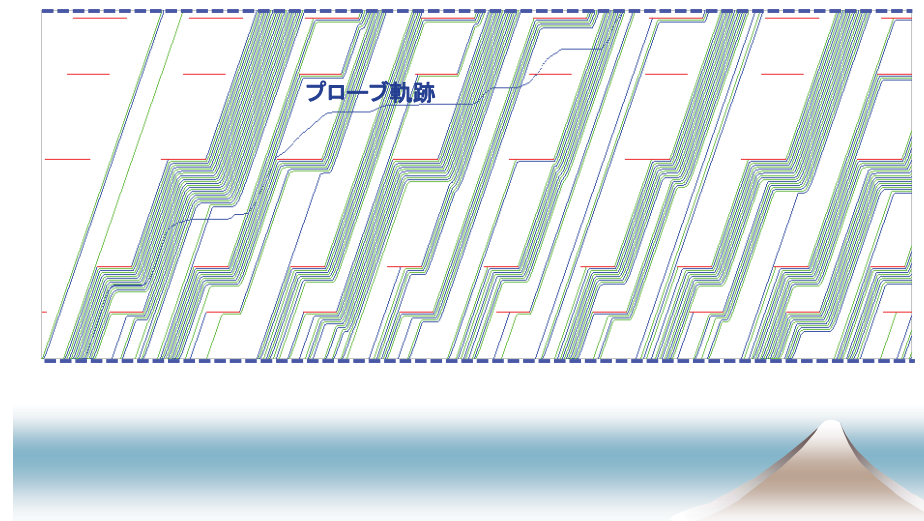
Probe + 感知器 + 信号データの融合解析

感知器データ, プローブデータ利用



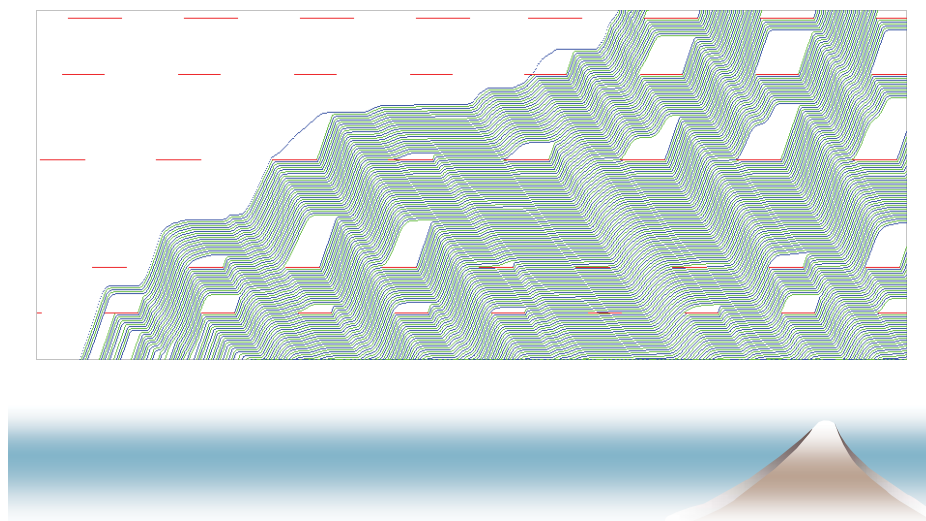
Probe + 感知器 + 信号データの融合解析

感知器データのみ利用



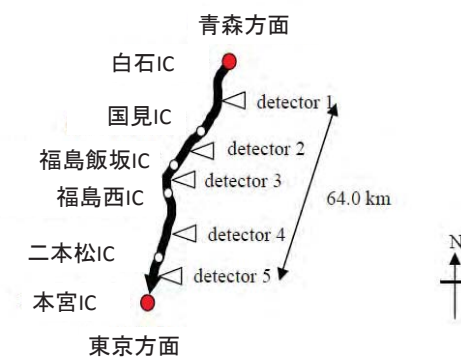
Probe + 感知器 + 信号データの融合解析

プローブデータのみ利用



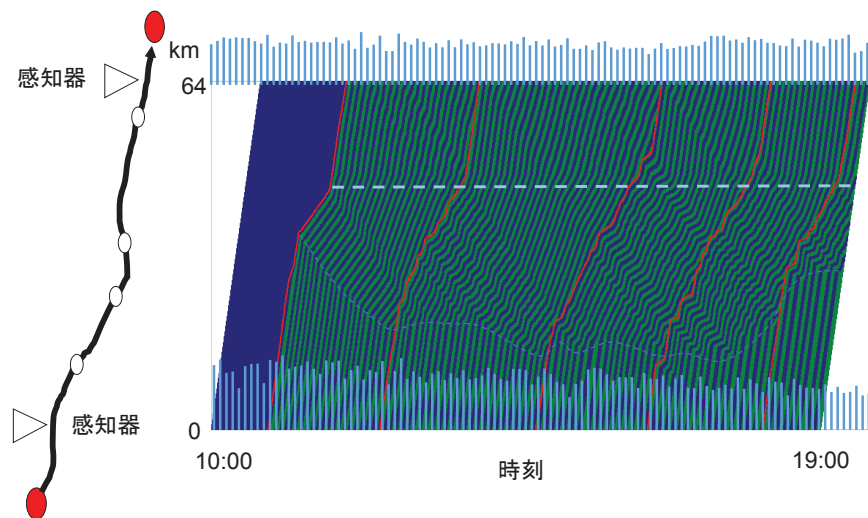
都市間高速道路への適用

東北自動車道 上り：白石IC → 本宮IC
2012年8月14日



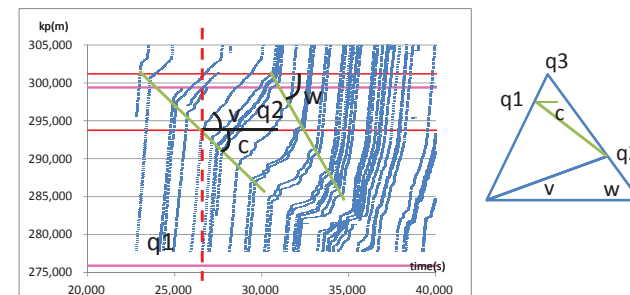
全車両の走行軌跡の推定

始端・終端の車両感知器データ+5台のプロブ車両データ



異常事象時の旅行時間予測

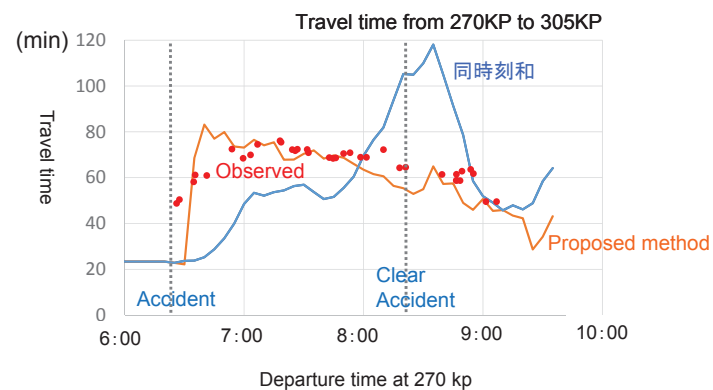
Probe and Detector data



26

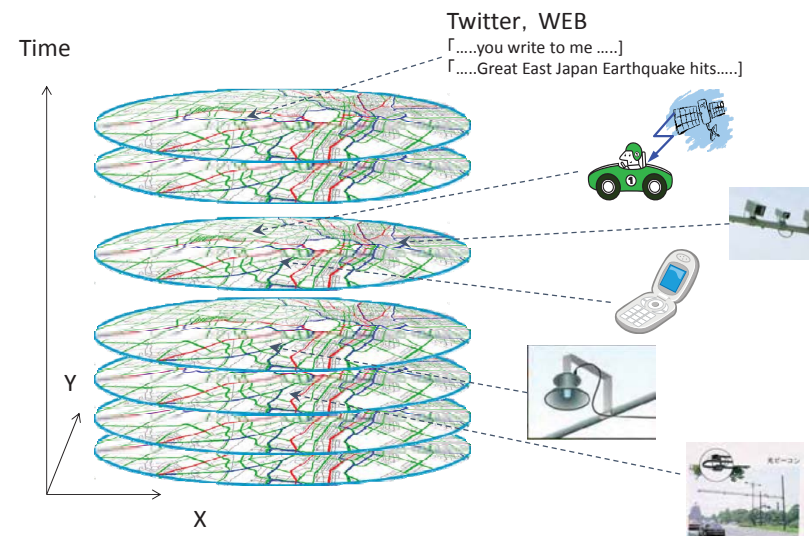
異常事象時の旅行時間予測

東北自動車道におけるケーススタディ

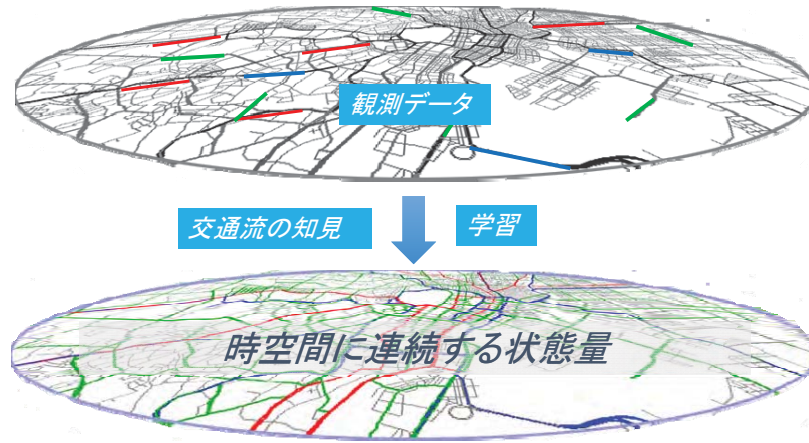


27

(1) 多様なセンシングデータの時空間マッピング技術



(2) 交通状態の内挿・外挿
(時空間に連続的なナウキャストとフォアキャスト)



- 要件1:リアルタイム性(データ収集+編集+提供)
要件2:信頼性(十分な検証, 信頼性指標の算定)
要件3:柔軟性(その時利用できる観測データを活用)

DIGITAL から INFORMATION へ

DIGITAL

車両感知器
AVI
ETC
VICS
プローブ
GPS携帯
画像データ
ツイッター
-
-
-

解析技術



INFORMATION

交通状態
渋滞状況
異常事象検出
事故
故障車
環境
CO2排出量
NOx 濃度
災害
浸水
崩壊
倒壊
-
-

命を守る避難の課題
事例報告2 津波避難シミュレーションの活用事例



2016年2月5日
末松孝司
(株)ベクトル総研 代表取締役
東京工業大学大学院 総合理工学研究科 連携教授

「本日の内容」

- 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
・データ管理、精度、効果、普及
・モデルの精度
・継続性と協力の促進

各種事業におけるシミュレーションの背景、位置づけ

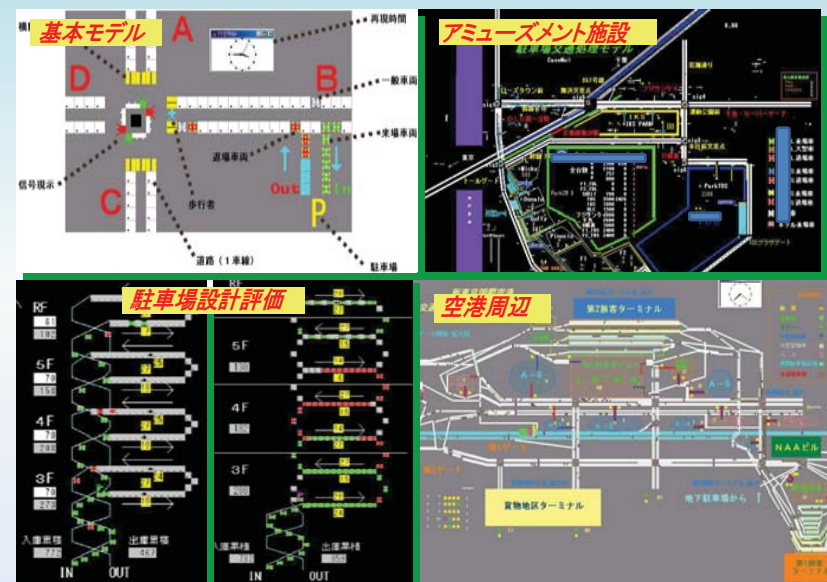
これまで地域や施設管理は、一律的基準や経験・勘で計画、管理されてきた。

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。

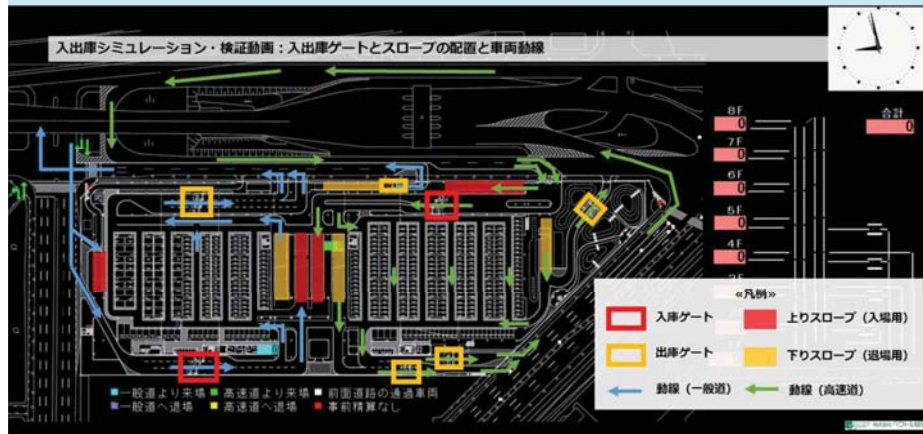


- ✳ **いくつもの想定ケースを評価する必要性**
(需要予測値、処理効率精度のばらつき)
- ✳ **多角的、相関的視点からの判断の必要性**
(部分的、断面的、平均的な検証の限界)
- ✳ **計画／管理権者の状況(動的)認識共有化**
(計画策定業務の効率化、コスト削減)
(リアルタイム管理、教育への応用)

道路交通、駐車場シミュレーション

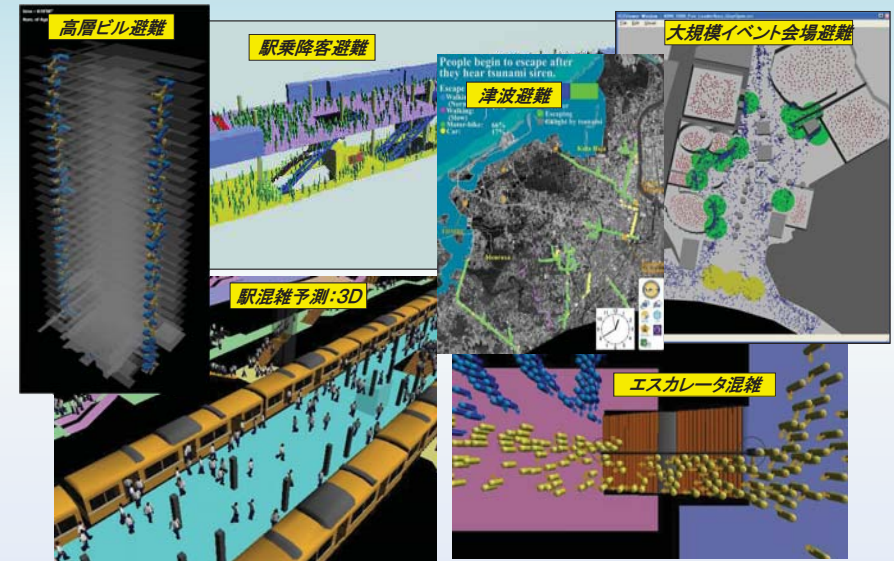


駐車場シミュレーション（商業施設）



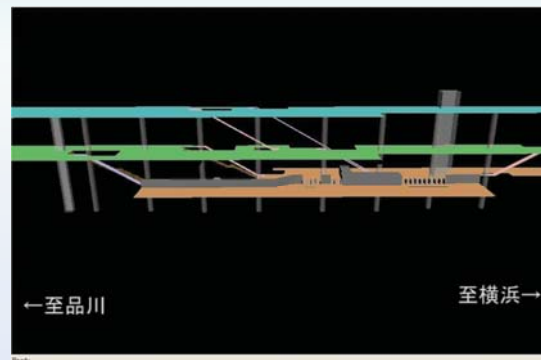
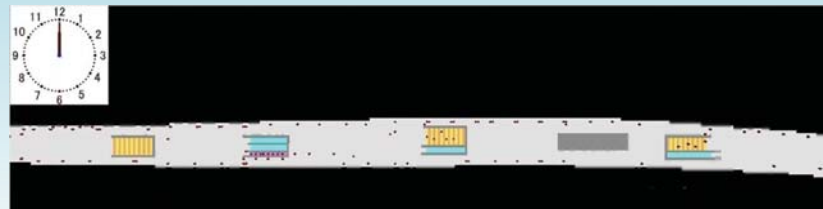
5

群集シミュレーション



6

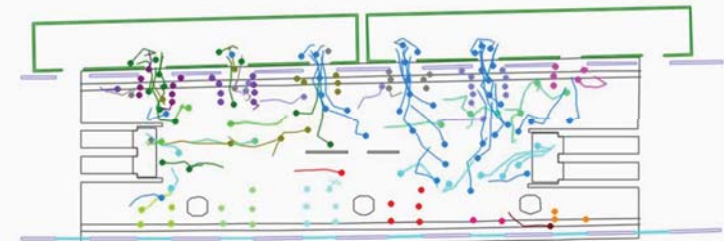
事例紹介（駅ホーム改良に伴う混雑度評価）



7

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
- 列車待ち行列方法
- 再現精度確認済み（95%）

8

A エリアモジュール モデル

各種施設や狭域

←

→

都市部や広域

B ネットワーク モデル

C マルチエージェント モデル

←

→

D マルチエージェント モデル

E マルチエージェント モデル

←

→

F マルチエージェント モデル

津波防災の計画をサポート

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。

計画フロー

津波浸水範囲の設定
避難開始時刻の設定

↓

避難困難地域の抽出

↓

避難避難場所の指定・設定
避難経路の指定・設定
経路別、地区別、町の区分の避難可能数

↓

津波防災対策・整備
避難訓練
住民参加の津波避難計画の策定

シミュレーション実施フロー

入力データ作成

- 避難データ
(避難開始時刻、津波、津波到達時刻)
- 避難ネットワークデータ
(道路、河川、鉄道)
- 浸水データ
(津波)

- 避難開始時刻データ
(津波、津波到達時刻)
- 避難経路指定データ
(道路、河川、鉄道)

↓

基本シミュレーション

避難上の問題点を抽出し、避難困難地域を特定します。

- 避難場所の不足
- 歩行者の滞留、自動車の滞留

↓

対策等の提示

地域の実態に即し、多様なシナリオを検討できます。

↓

検証シミュレーション (検討中)

対策の効果を実証的に検証します。

- 避難避難場所の指定と避難経路
- 避難開始時刻の設定と避難経路
- 避難経路の検証
- 避難区域の指定と避難経路

↓

検証すべき事例について、危険・安全性を評価します。

- 観光地等の避難安全性検証
- 避難開始時刻の検証
(10分単位)
- 避難経路の検証
(道路、河川、鉄道)

↓

出力動画・各種検証結果の活用

津波避難計画の計画に活用できる出力項目

①シミュレーション動画

津波浸水範囲の広がり、避難上の問題抽出、避難場所の不足抽出等に活用できます。さらに住民への啓発にも活用できます。



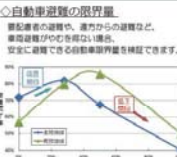
②「詳細な」避難困難地域

「津波浸水範囲の拡大」や「避難場所の不足抽出」、「歩行者と自動車の滞留」なども発生した。より詳細な避難困難地域の抽出が可能です。



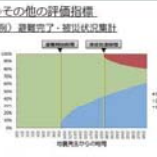
③自動車の避難の限界量

避難者の避難や、道路からの避難など、安全に避難できる自動車避難量を検証できます。



④その他の評価指標

(例) 避難完了・被災状況の統計



⇒ 避難により、新たな避難場所の出力も可能です。

計画時のケーススタディサポート

①泊加避難場所（避難タワー等）の配置

避難可能時間・収容人数を踏まえ泊加避難場所の配置を容易にワークスティブできます。また、泊加倉庫が簡単にオペレーションできるツールにも活用しております。



②避難区域の設定

避難区域を市町村の単位で設定できます。避難区域の指定により、避難場所の収容数や避難経路に合わせた計画が立てられます。



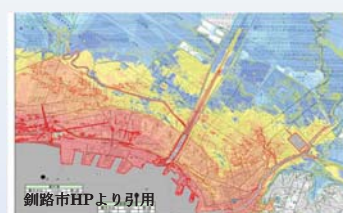
検討結果を反映

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

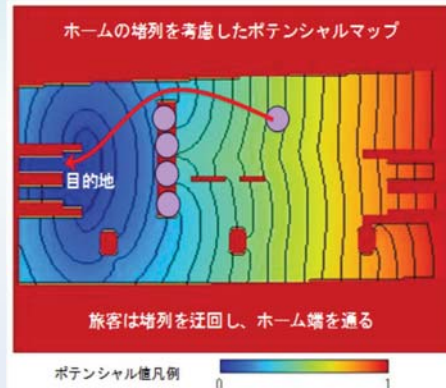
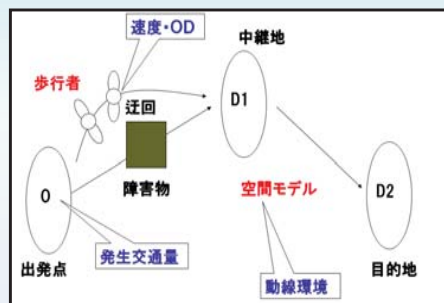
津波避難計画の計画に活用できる出力項目

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	



エージェントシミュレーションの制御ルール

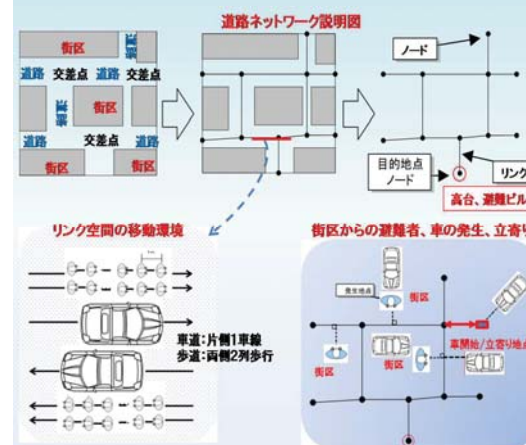
- 歩行者別の属性値設定(目的地、歩行速度など)
- 行動の状態遷移
- 目的地までの経路選択
- 他者や障害物との衝突回避



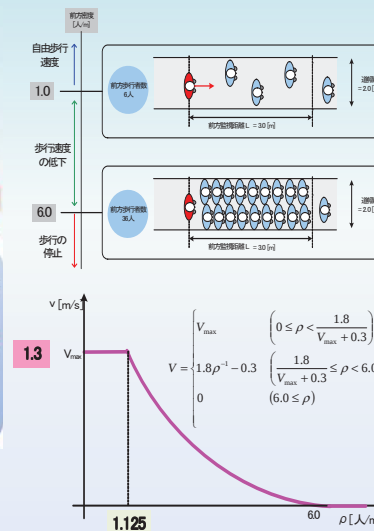
13

避難シミュレーションの制御ルール

モデル構造

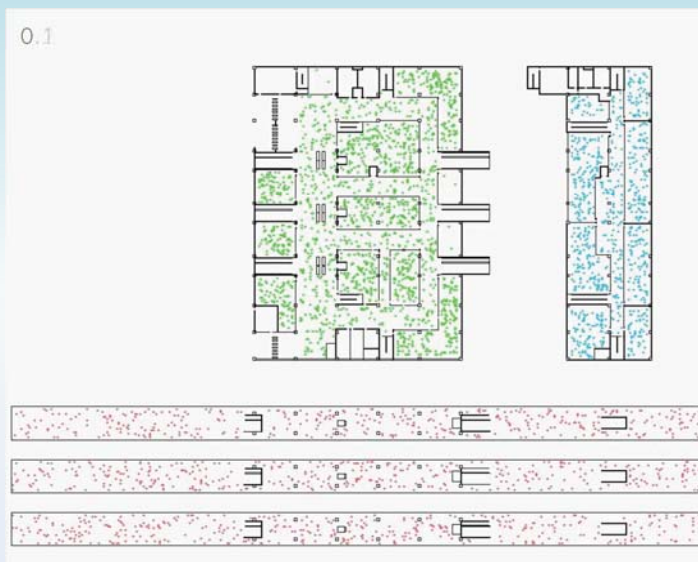


密度による速度低減則



14

駅ナカ施設避難検証 火災避難



15

事例紹介 (地下施設での浸水避難検証)

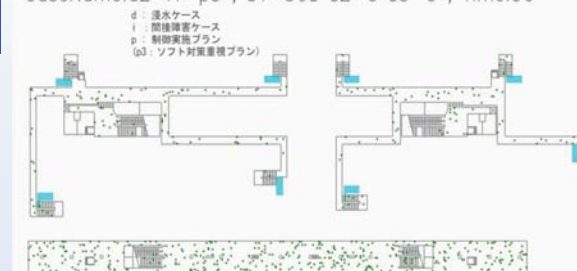
対策なし

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



ソフト対策あり (非常放送ほか)

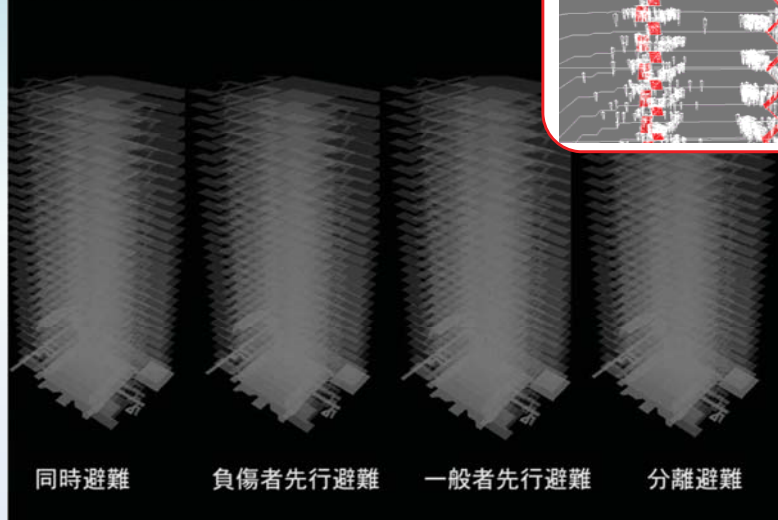
CaseName:d2-i1-p3 ; s1=568 s2=0 s3=0 ; Time:90



16

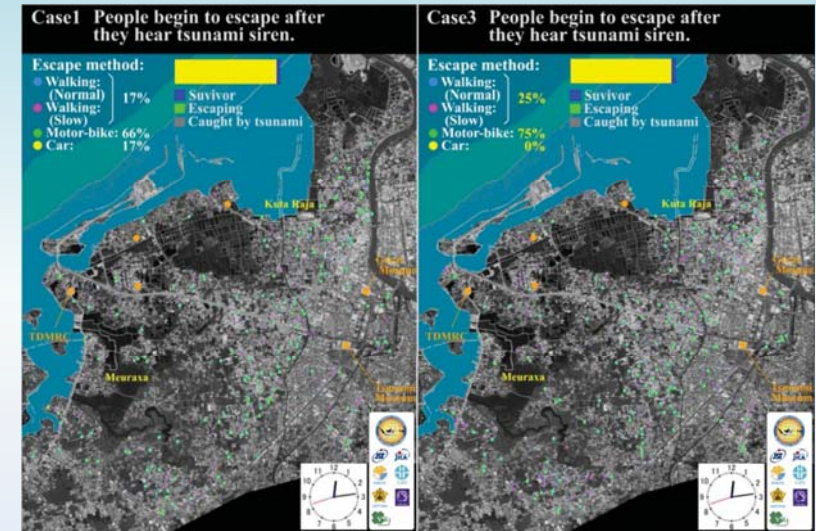
高層ビルの避難検証 避難困難者の誘導方法検討

避難開始まであと 5秒



17

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

18

広域火災避難シミュレーション 木造密集地での同時多発火災



19

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。

20

シミュレーションで考える 災害と避難の関係

2016/02/05
(株)構造計画研究所 営業本部
常務執行役員 荒木 秀朗

＜お願い＞
・この資料およびその内容を、弊社に無断で使用、複写、破壊、改竄すること、
ならびに第三者へ開示すること、漏洩すること、あるいは使用させることは、固くお断り申し上げます。

本日の内容

1. 避難におけるシミュレーションの効用
2. 災害シミュレーションの事例
3. 活用事例
4. まとめ

1. 避難におけるシミュレーションの効用

避難におけるシミュレーションの効用

1. 住民への教育・啓蒙
 - 災害の進行と避難の流れを視覚的に確認でき、防災意識の向上・合意形成が図れる
 - 前提となるパラメータを変更することで、関係性の仕組みを理解できる
2. 防災計画の検討・検証
 - 訓練では分からない状況から問題を把握
 - 防災、減災対策への投資効果を検証

当社が考える避難計画の重点

避難シミュレーションだけの検討：
→ 災害の進行と避難行動の相互作用が分からない



自然災害(=物理力学) + 避難行動(=人間行動学) を
同時に再現するシミュレーション で初めて、
本当の課題が見えてくる。

具体的な効用例

例 1. 5.5m の防波堤を12mにする計画は無駄か？

13mの津波が来ると浸水域は同じ。ただ開始まで15分の
避難時間を稼ぐことができた。15分の避難で何人の人命を
救うことができたのか。防災→減災への議論の転換

例 2. ビル火災時のエレベータ利用は是か非か？

超高層ビルでの火災避難は、非常階段避難が従来の消防法。
この混雑による避難リスクをシミュレーションすることで
政策提言。(現在は、要支援者の避難に限り利用可となる)

2. 災害シミュレーションの事例

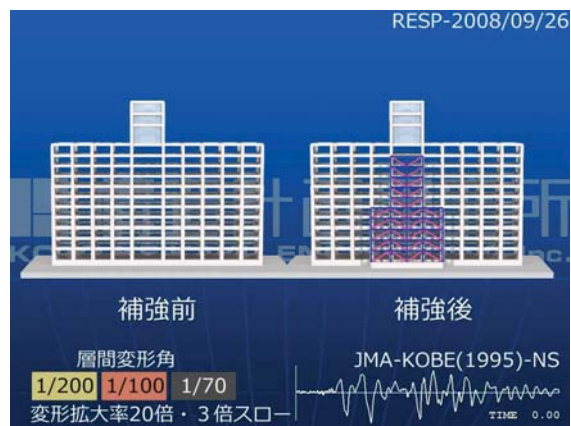
避難計画の立案における災害想定的重要性

避難計画の立案

自然災害がどのように振舞うのかを把握することが重要
自然災害のシミュレーションにより、人の社会、生活へ
の影響度を把握する

- ・ 津波や洪水の進行と速度
- ・ 地震の揺れの大きさと建物構造物の被害
- ・ 有害物質等の大気拡散範囲と速度
- ・ 土石流の衝撃
- ・ 火災延焼速度、etc...

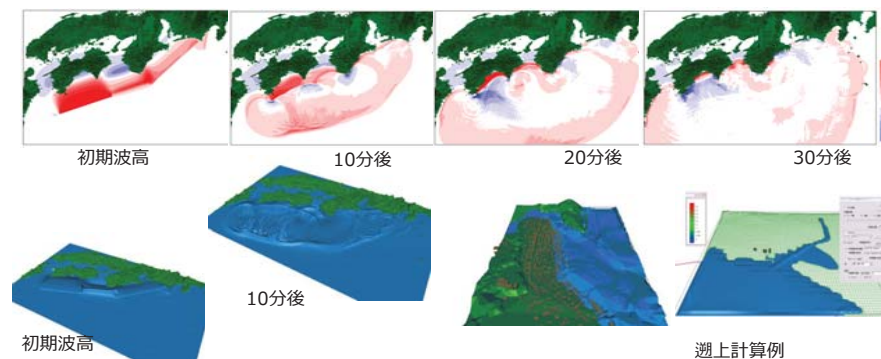
災害シミュレーション (地震動)



- ・地震の特性(揺れ方)と建物の構造特性から被害をシミュレーション
- ・耐震診断では分からない共振現象や破壊箇所を推定。

災害シミュレーション(津波)

東海・東南海・南海地震 3 連動を想定した津波解析評価事例



- ・津波の遡上(海岸から内陸にさかのぼる状態)を計算することで、どれくらい逼迫した状態(時間感覚)かが把握出来る

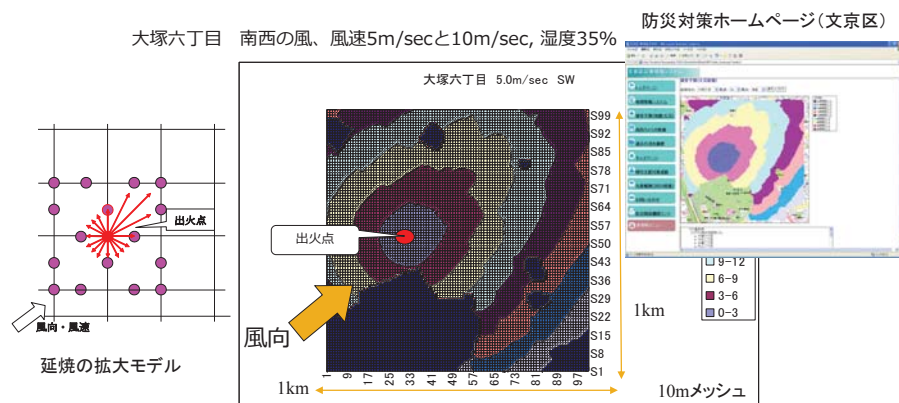
災害シミュレーション (津波)



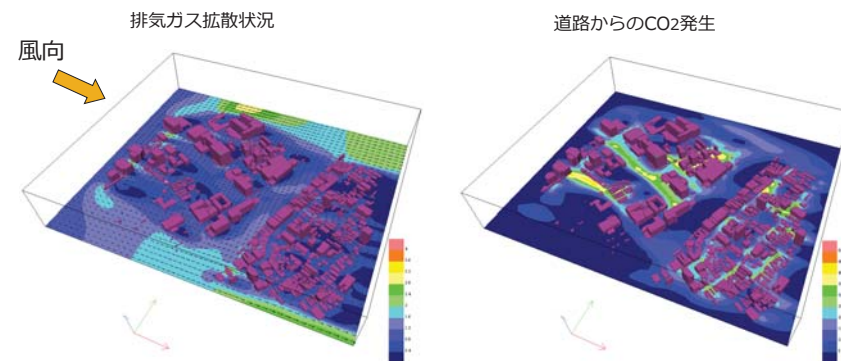
災害シミュレーション (土石流)



災害シミュレーション (火災延焼)



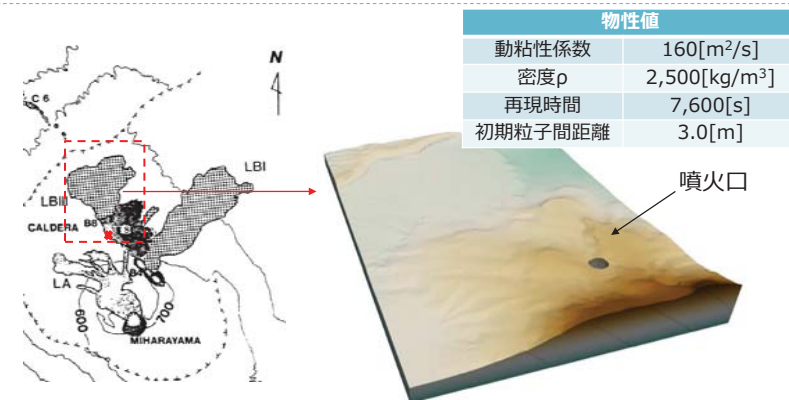
災害シミュレーション(大気拡散)



災害シミュレーション(河川氾濫)

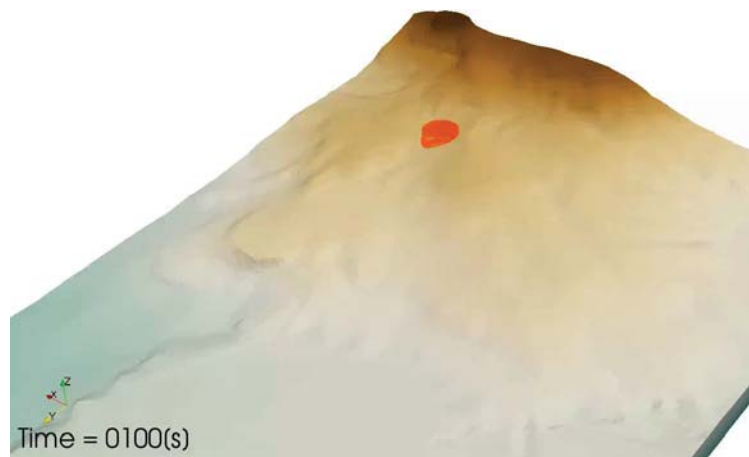


災害シミュレーション(溶岩流)



1986年伊豆大島三原山溶岩流の再現解析 (地形は噴火後の地形)

災害シミュレーション(溶岩流)



3. 活用事例

活用事例の紹介

自然災害と避難の組合せで実施した具体事例を2つ

1. 鎌倉市防災計画策定

津波+避難シミュレーション

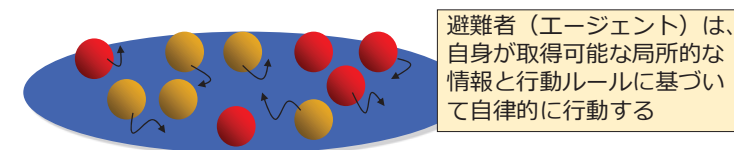
2. 火災避難シミュレーション (内閣府)

火災+避難シミュレーション

※エージェントベースのアプローチを採用

補足：エージェントベースシミュレーション (ABS)

エージェントベースモデル

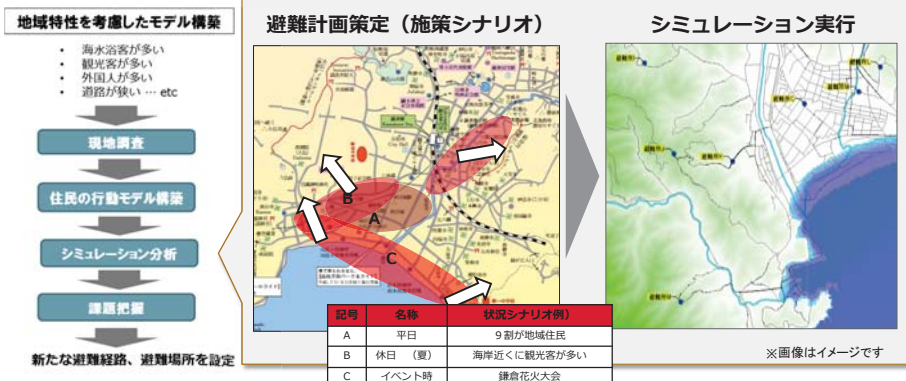


<考慮可能な特性>

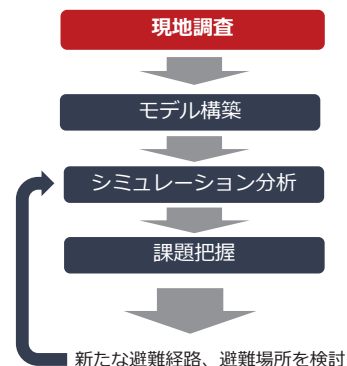
- | | |
|-----------|------------------|
| 1. 多様性 | … 年齢／観光客などの特性 |
| 2. 情報の局在性 | … 限られた情報のみを参照する |
| 3. 限定合理性 | … 全体最適ではない行動をする |
| 4. 相互作用 | … 周囲の行動や災害の進行に影響 |

事例紹介 1：鎌倉市防災計画策定(1)

- 鎌倉市の津波の被害状況および地域特性や避難者行動を考慮しシミュレーション
- この結果は、鎌倉市沿岸地域における津波避難の課題点の抽出や、それに対応した新たな避難経路や避難場所などの施策検討に活用するとともに、ウェブで公開し、住民の津波被害や避難に関する関心と理解度の向上に役立てている

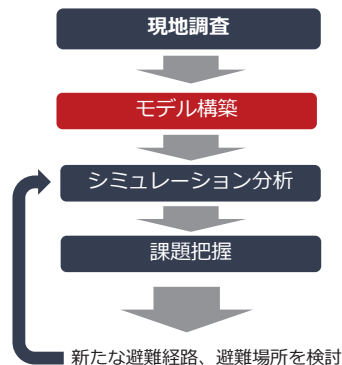


事例紹介 1：鎌倉市防災計画策定(2)



- 避難者視点で避難時に考慮されるポイントの把握
- 避難路として利用できる道路、利用できない道路の抽出
- 津波計算のための地形的特徴の把握

事例紹介 1：鎌倉市防災計画策定(3)



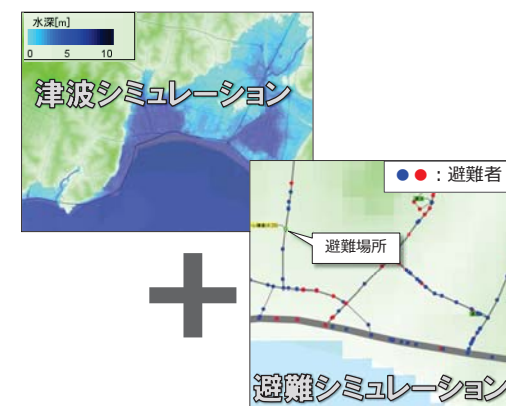
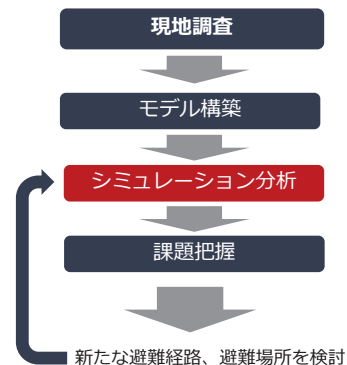
シミュレーションモデル

- 避難者の行動パターン
- 避難者の属性
- 地理的特性
- 避難場所
- 避難経路
- シナリオ
- 想定地震 ...

避難者の属性	シナリオ
1 住民	避難所・避難経路で移動
2 観光客・海水浴客	海水浴場・海岸沿いの施設で発生し、それらの避難経路は避難所まで移動する
3 外国人	避難所・避難経路で移動
4 外国人	避難所・避難経路で移動
5 外国人	避難所・避難経路で移動
6 外国人	避難所・避難経路で移動
7 外国人	避難所・避難経路で移動
8 外国人	避難所・避難経路で移動
9 外国人	避難所・避難経路で移動
10 外国人	避難所・避難経路で移動
11 外国人	避難所・避難経路で移動
12 外国人	避難所・避難経路で移動
13 外国人	避難所・避難経路で移動
14 外国人	避難所・避難経路で移動
15 外国人	避難所・避難経路で移動
16 外国人	避難所・避難経路で移動
17 外国人	避難所・避難経路で移動
18 外国人	避難所・避難経路で移動
19 外国人	避難所・避難経路で移動
20 外国人	避難所・避難経路で移動

- 災害時の仮想的な環境をコンピュータ上に構築
- 現地調査の結果を反映
- 鎌倉市の地域特性（避難者行動、地理的要因、イベント等）を考慮

事例紹介 1：鎌倉市防災計画策定(4)



- 津波の浸水状況を時系列に計算
- 各避難者の出発点から避難場所までの避難行動を模擬
- 津波の到達状況と避難状況を同時に表現

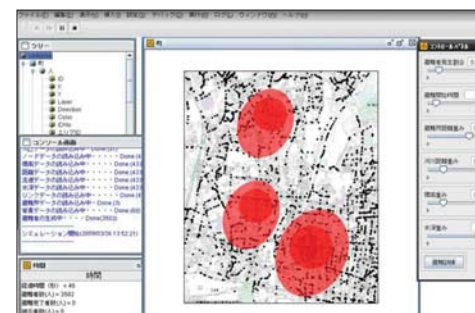
事例紹介 1 : 鎌倉市防災計画策定(5)



神奈川県 鎌倉市 防災HP →
https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/sougoubousai/tsunami_simulation/index.html

事例紹介 2 : 火災避難シミュレーション(1)

- ・首都直下地震時に、同時多発的に発生する火災によって発生する人的被害の検証
- ・火災発生パターンや発生時刻、気象条件の違いによって、避難者の行動にどのような変化が現れるのか、様々な条件の組み合わせで検証し、被害発生程度のバラツキ、被害を最大化する要因の抽出などの検討を行った。



- ・何処に避難するか
(避難すべき場所を知っているか?)
- ・いつ避難するか
- ・避難場所までの経路で行くか
- ・どの程度の距離まで
火に近づいたら引き返すか
- ・混雑に遭遇したらどうするか
- ・災害情報端末の可能性はどこまで?

経験のない現象に遭遇した場合、
人はどのような行動をとるのか?

- ・内閣府 火災延焼による地震危険度の適確な把握、情報提供等に関する検討業務
- ・東京大学生産技術研究所 加藤孝明准教授との共同研究

事例紹介 2 : 火災避難シミュレーション(2)

大火による被害:

- ▶ 関東大震災(1923年) ... 212,353棟消失、焼死者91,781人
- ▶ 阪神・淡路大震災(1995年) ... 7,036棟全焼、焼死者 403人
- ▶ 函館大火(1934年) ... 11,105棟焼損、焼死者 2,166人

首都直下地震時に予想される人的被害予想(内閣府): 2万3千人
 → 2004年想定の2倍。火災による逃げ惑いが考慮された。

「逃げ惑い」

- ・避難経路が、地震や火災(熱・煙)で封鎖された結果、逃げ遅れる人が大量に発生する現象。
- ・大火災で大量死を発生させる原因と言われている。

近年では市街地の不燃化対策が進み、火災事態の発生確率は小さくなったと言われる。しかし被害拡大の可能性とメカニズムを明らかにすることで、耐震ブレーカ(通電火災の予防)の有効性を理解してもらう。

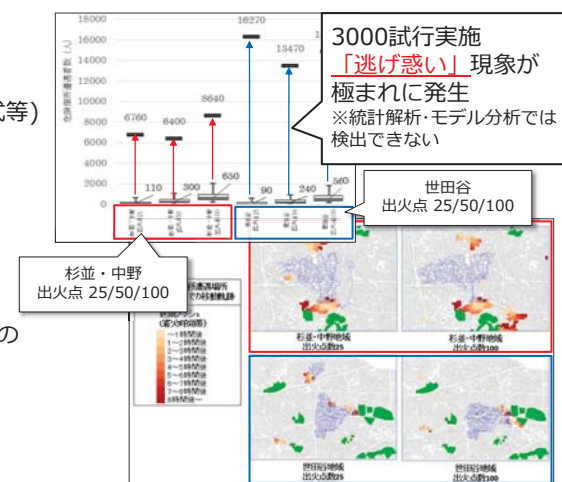
事例紹介 3 : 火災避難シミュレーション(2)

<火災延焼モデル>
 建物種別により選択
 (浜田式、堀内式、室崎式等)

地形:
 建物の密集度
 構造別の延焼度

出火点:
 住宅、飲食店など用途の違いにより乱数で出火

条件:
 冬の18時、風速8m/s
 風向は北北西



各条件における危険箇所遭遇者箇所の様子

事例紹介 2 : 火災避難シミュレーション(3)

火災 + 避難シミュレーション (危険ケース)



事例紹介 2 : 火災避難シミュレーション(4)

＜本研究の関連ニュース情報＞

NHK総合1：NHKスペシャル

「震度7 何が生死を分けたのか〜埋もれたデータ 21年目の真実」

<http://www6.nhk.or.jp/special/>

阪神・淡路大震災での火災「通電火災」の可能性も NHKニュース

<https://www.youtube.com/watch?v=JskPLvan8HI>

山梨大学 秦先生によるNHK報道に関する補足

<http://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~yhada/electricfires160118.html>

4. まとめ

まとめ

- ▶ シミュレーション上の災害と避難の検討
 - 1. 時間考慮：災害進行と避難行動の時間比較
 - 2. 空間考慮：発災地点、進行方向と避難者位置
 - 3. 組み合わせ：災害パターンと人の行動特性の組み合わせ
- ▶ 活用目的
 - 1. 住民への教育・啓蒙
 - ▶ 被害状況と避難状況を具体的に見せることによる防災意識の向上と合意形成
 - 2. 防災計画の検討・検証
 - ▶ 訓練では分からない想定外の状況から問題を把握
 - ▶ 防災、減災対策への投資効果を検証