

命を守る津波避難のシミュレーション

開催趣旨

津波から命を守るための有力な手段は地震直後の避難であるとされている。その一方で、地震発生から津波到達までの限られた時間で、どのような避難が本当に有効であるかを知ることは決して簡単ではない。地震の揺れによる被害の状況が不明であるし、津波の侵入の様子も詳細に想定されている訳ではないからである。そこで、有効な避難を知る方法の一つはコンピューターによる避難のシミュレーションである。

本セミナーは、スーパーコンピュータによる地震シミュレーションの最先端を紹介し、シミュレーション技術の災害と避難への適用を説明し、シミュレーションの活用事例を紹介する。同時に、津波避難シミュレーションの有効性と限界についても議論する。

日時： 2015年8月6日 14時15分～15時45分

場所： AERビル21F D会場

主催： 日本地震工学会

後援： 国土交通省東北地方整備局、東北地域づくり協会

プログラム

【基調講演】

スーパーコンピュータを使う地震シミュレーションの利用
東京大学地震研究所 堀 宗朗 氏

【講演1】

シミュレーションで考える、災害と避難の関係
(株)構造計画研究所 荒木 秀朗 氏

【講演2】

津波避難シミュレーションの活用事例
(株)ベクトル総研 末松 孝司 氏



公益社団法人 **日本地震工学会**
Japan Association for Earthquake Engineering

基調講演:スーパーコンピュータを使う地震シミュレーションの利用

速度・容量が加速的に増加する計算機のトップランナーがスーパーコンピュータである。我が国が開発したスーパーコンピュータ「京」を使うことで、従来にない精度と信頼度を確保した、都市全体の地震災害・被害を計算するという地震シミュレーションの研究が進められている。本講演では、このスーパーコンピュータを使う地震シミュレーションの利用の現状を紹介する。スーパーコンピュータを使うことで品質が保証された地震シミュレーションは社会実装も進められている。自治体との連携事例も紹介する。

講師 堀 宗朗（ほり むねお）

1984 年 東京大学工学部土木工学科 終了

1985 年 ノースウエスタン大学大学院修士課程 修了

1987 年 カリフォルニア大学サンディエゴ校博士課程 修了

2001 年 東京大学地震研究所 教授

2013 年 東京大学地震研究所巨大地震津波災害予測研究センター
センター長

2013 年 理化学研究所計算科学研究機構 ユニットリーダー

専門分野：計算地震工学、応用力学

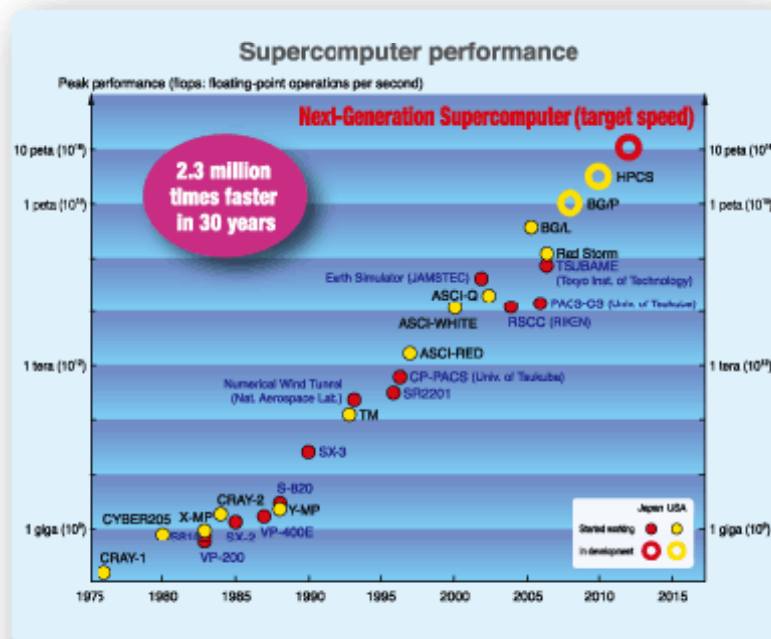
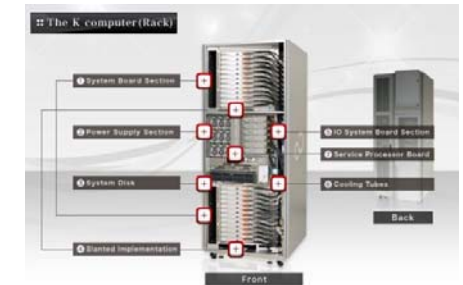
主な学会・社会活動：土木学会、日本地震工学会、
Managing Editor of Journal of Earthquake and Tsunami
内閣府・文部科学省・経済産業省各種委員会委員



スーパーコンピュータを使う 地震シミュレーションの利用

堀宗朗

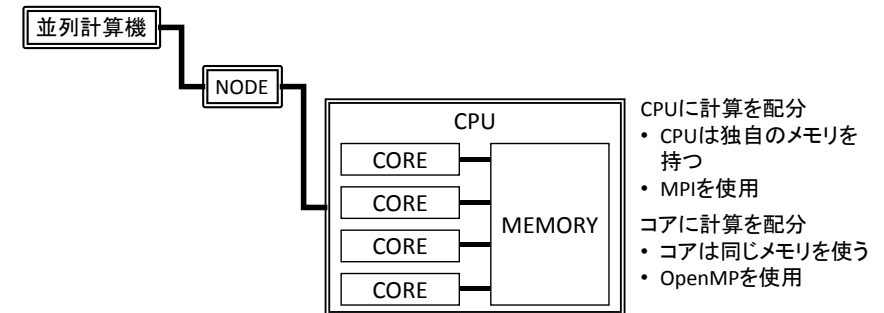
東京大学地震研究所
理化学研究所計算科学研究機構



HIGH PERFORMANCE COMPUTING

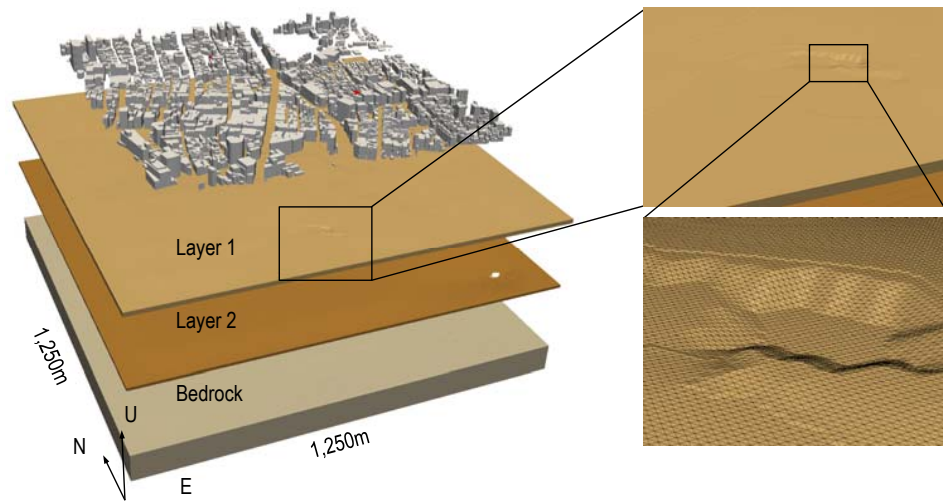
高性能計算(並列計算)

- 多数の計算ノードを使用することで、計算速度を向上
- 計算ユニット間のデータのやり取りの削減が重要

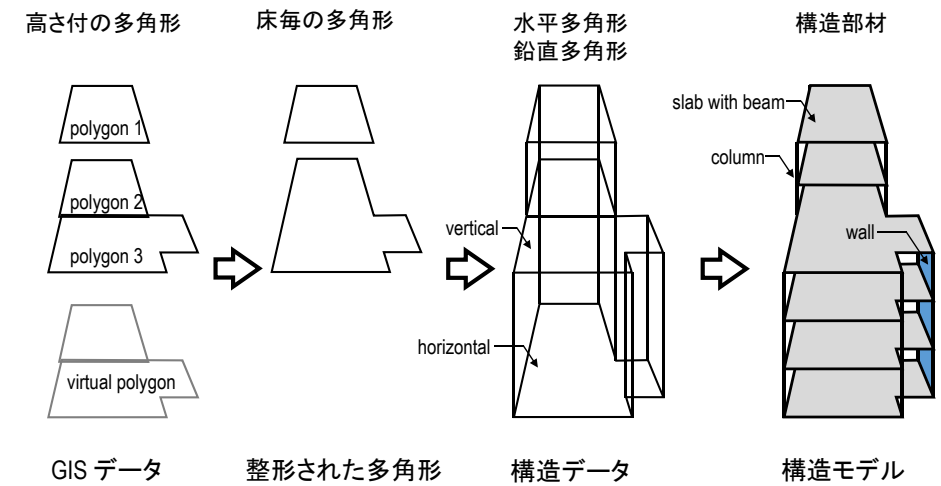


京計算機	ノード数	88,128	864ラック×102
	CPU数	88,128	88,128ノード×1
	コア数	705,024	88,128CPU×8

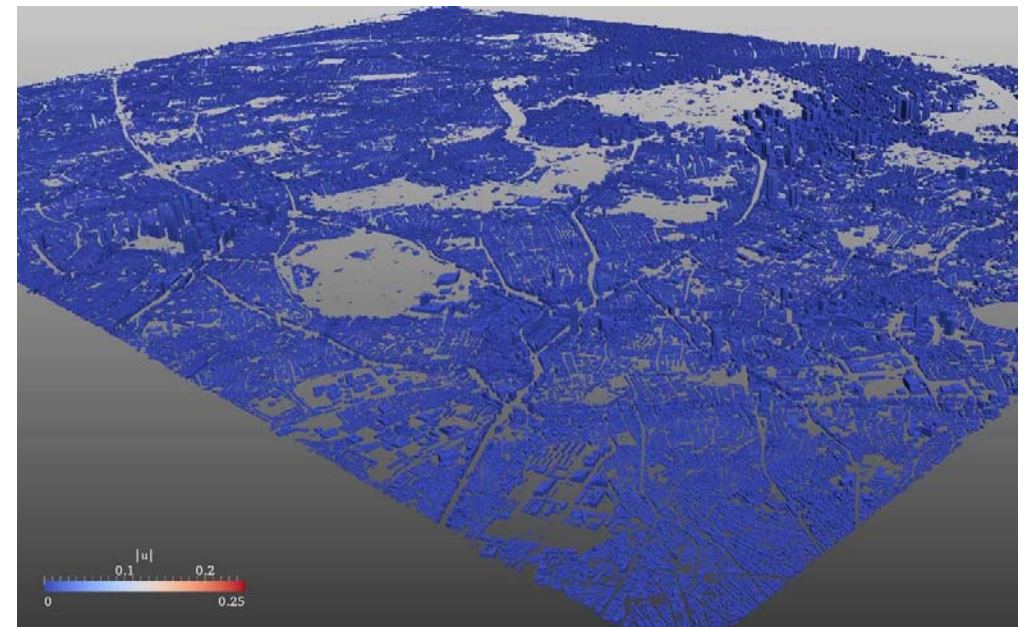
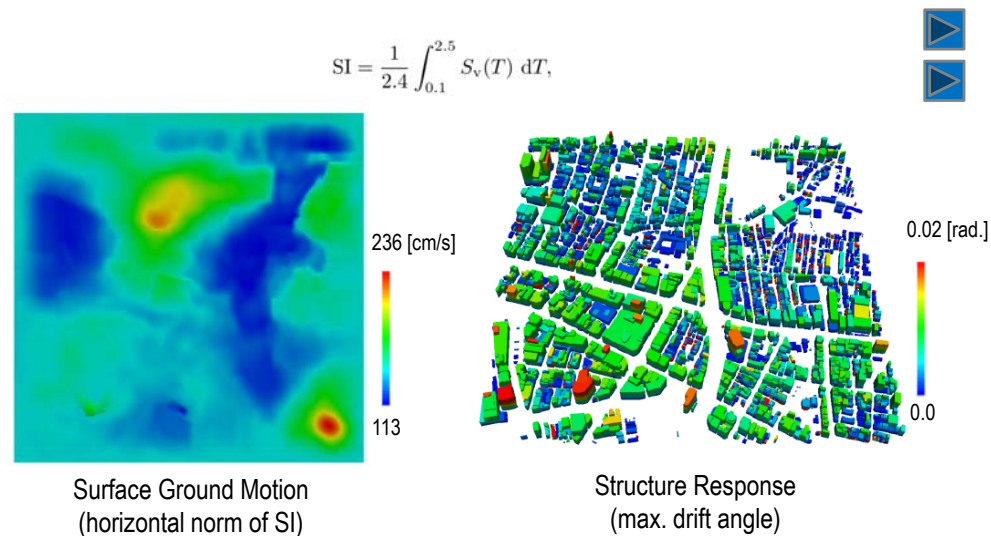
東京の地震シミュレーション



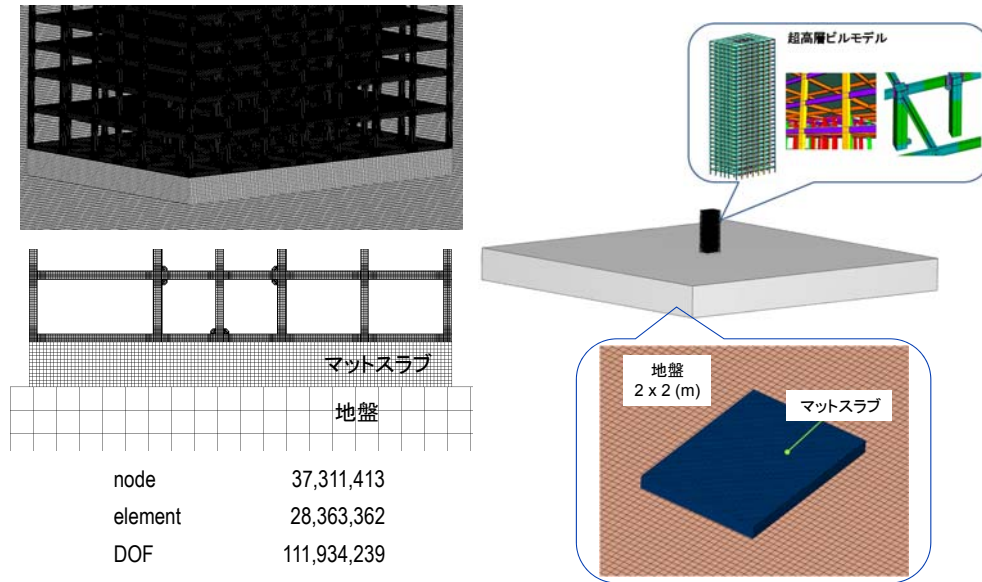
都市モデル



IES TOKYO: RESULTS



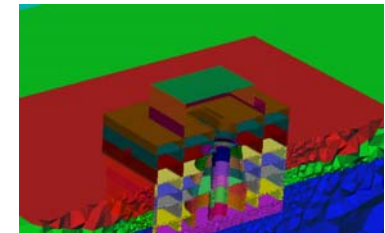
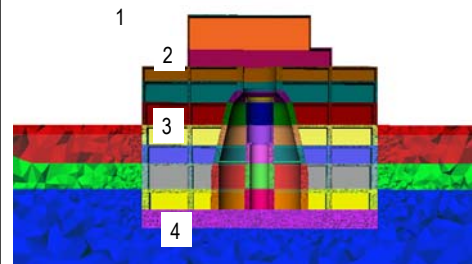
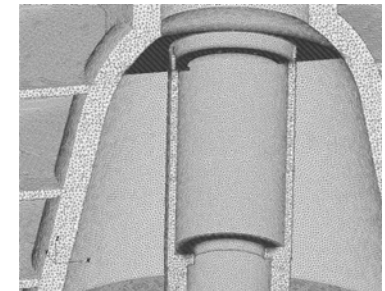
超高層ビル-地盤モデル



原子力発電所

domain dimension 540 x 540 x 250 m
number of nodes 33,613,809
number of elements 22,443,096

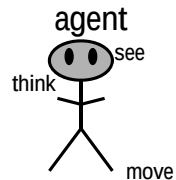
MatID	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ (kg/m ³)	h (%)
1	1529.7	300	1825	5
2	1529.7	300	2000	5
3	1580.7	310	1780	5
4	1625.1	490	1700	3
5	1710.8	560	1750	3



MAS(マルチエージェントシステム)

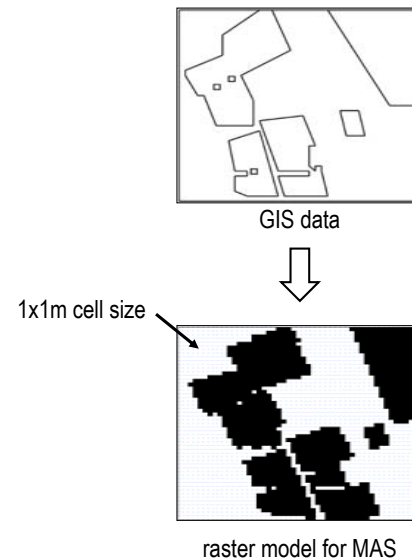
◆エージェント

- 見る, 考える, 動く, という機能
- 多様な能力レベルとデータ
住民・旅行者・警官等, 自動車



◆エンバイロメント

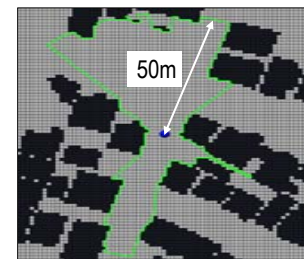
- 格子モデルとグラフモデル
- GISデータを使った自動構築



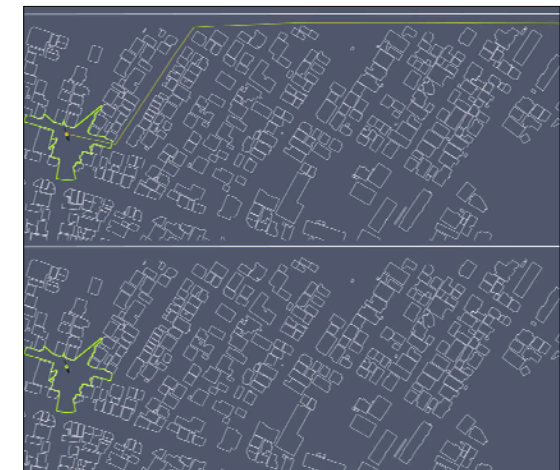
ナビゲーション

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, グループに追従

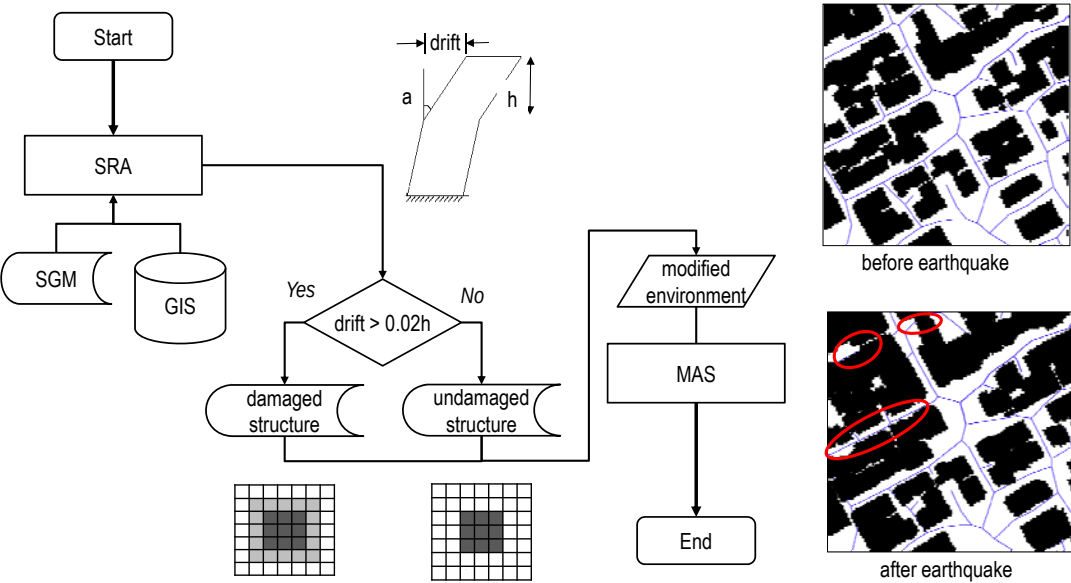


resident agent (pre-defined path)

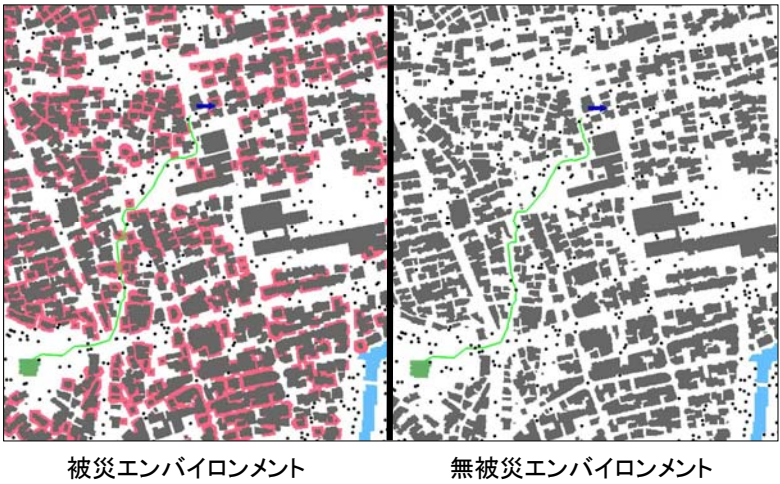


visitor agent (no pre-defined path)

地震応答と避難の連成



被災箇所でのナビゲーション



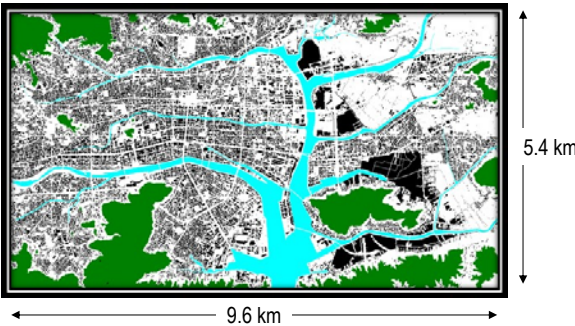
問題設定

エンバイロメント: 高知県高知市
(面積51.84 km²)

- 地震動
- 津波侵入

住民エージェント

- 55% - 50歳以下
- 45% - 50歳以上



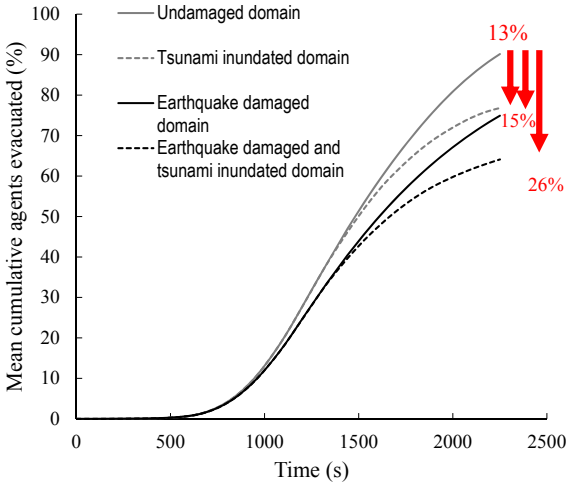
agent settings

age (years)	< 50	> 50
maximum velocity (m/s)	1.436 ± 0.11	1.394 ± 0.19
pre-evacuation time (s)	1000 ± 600s	

地震動と津波の連成



cyan: nominal water level
blue: inundation greater than 0.5m



道路の使用状況



道路使用度の平均



防災計画立案の際に、耐震補強等の優先づけに利用

- ・避難状況の概要
- ・道路の利用状況の概要
- ・重要道路の抽出 (使用度 > 500)

- ・1,000回のモンテカルロシミュレーション
- ・平均使用度が500を超えた道路が重要道路

イベント

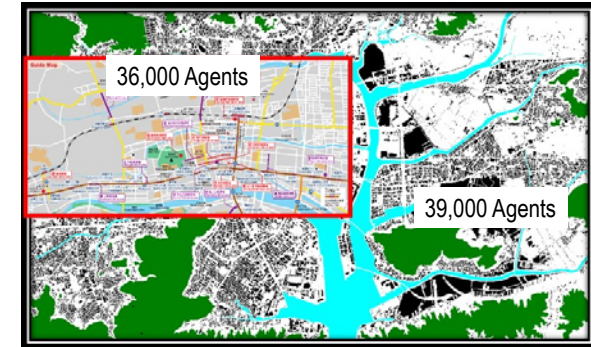
イベント: 住民の他、多数の旅行者の参加が見込まれる

密集領域

- ・市の中心部 (15 km²)
- ・四角形

課題

- ・道路照明の影響
- ・臨時避難場所の導入の効果
- ・道路被害の程度の影響



agent characteristic	number
visitor agent participating event	18,000
resident agent participating event	18,000
resident agent not participating event	43,000
total	75,000

道路照明の影響

災害シナリオのオプション

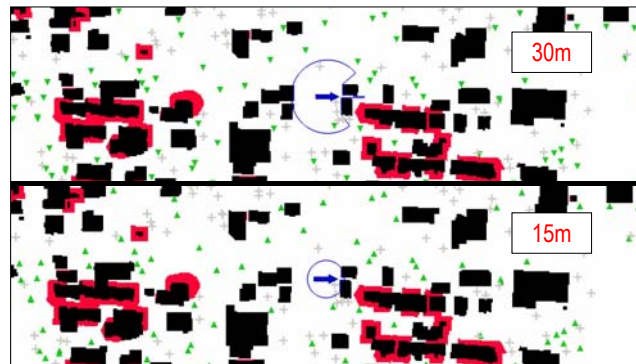
- ・揺れ
- ・満月時の停電
- ・津波の侵入

設定

- ・視野は15m (0.2 lux)
- ・旅行者エージェントは住民エージェントを追随
- ・遅延のない避難

比較

- ・緊急照明 (15 lux, 視野30 m) の導入

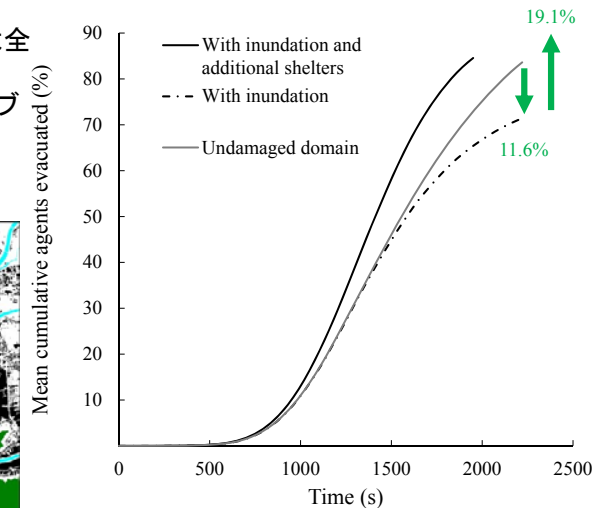
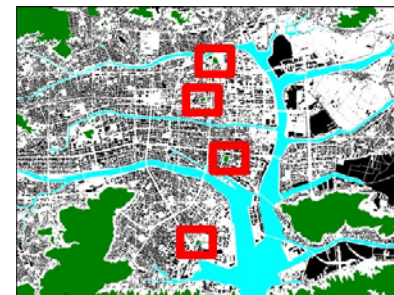


- +
- visitor agent
-
- target visitor agent
- ▲
- resident

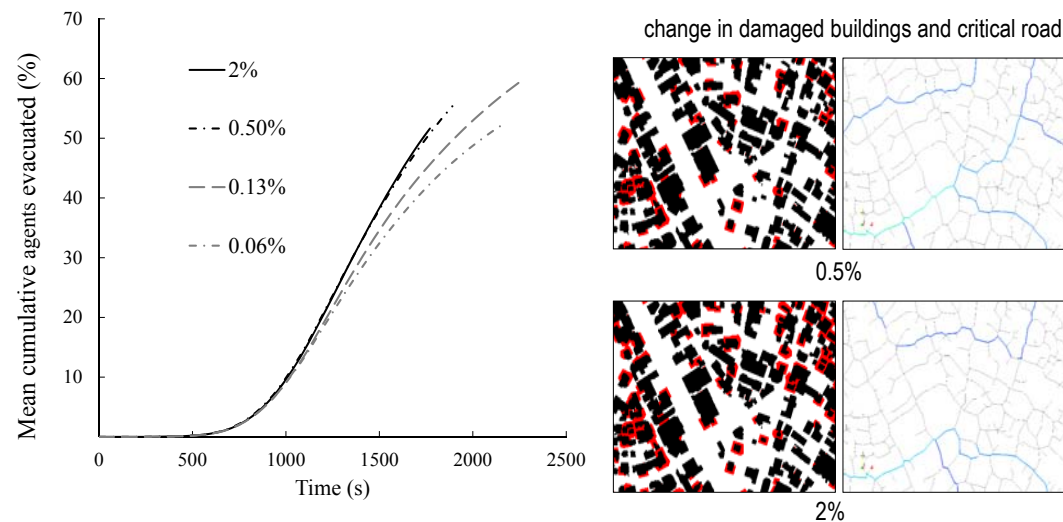
臨時津波シェルターの効果

状況

- ・市の東側と西側を結ぶ橋梁は全てブロック
- ・臨時津波シェルターを4か所、ブロックされた橋梁付近に設置



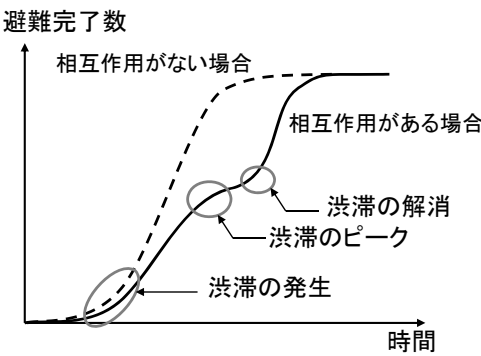
道路被害の程度の影響



円滑化のための利用

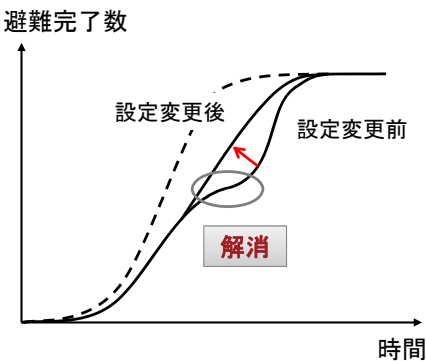
状況把握

- ① 特定のシナリオを設定
- ② 避難完了の時間推移
- ③ 遅延要因の推定



要因抽出

- ① 要因と推定される設定を変更
- ② 変更前後の比較
- ③ 要因の特定



問題設定

- 事例 2011年東日本大震災
- 場所 宮城県石巻市門脇町・南浜町
- 範囲 東西1.6 km×南北1.2 km
- 人数 4890人(徒歩2750人 車両2140台)
- 種類 徒歩避難, 集団徒歩避難, 車両避難, 一時帰宅車両, 通過車両

避難者の設定

属性	発生地点	人数	避難場所	移動速度
1 徒歩の住民	エリア1-5	1,450人	直近の高台	70% 1.3 m/s 30% 1.0 m/s
2 車両の住民	エリア1-5	1,230台	車終点2,3に50%の割合で避難	40 km/h
3 一時帰宅車両	エリア1-5	370台	車終点2,3に50%の割合で避難	40 km/h
4 通過車両	車起終点1 車起終点4 車起終点5	60台 240台 240台	車終点4 車終点1 車終点4	40 km/h
5 集団徒歩避難	大事業所避難開始点	1,300人	高台6	1.3 m/s



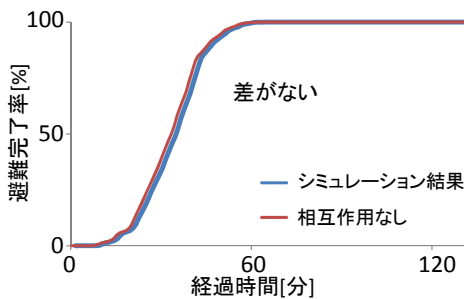
5種類の避難者が10か所の避難場所に避難する複雑なシナリオ

各属性の避難完了時間

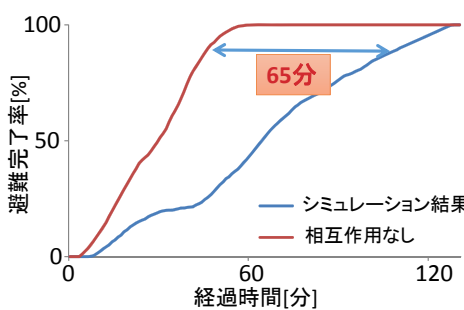
	属性	避難完了時間 [分]
1	徒歩の住民	63
2	車両の住民	127
3	一時帰宅車両	127
4	通過車両	103
5	大事業所からの集団徒歩避難	42

車両避難に創発を確認

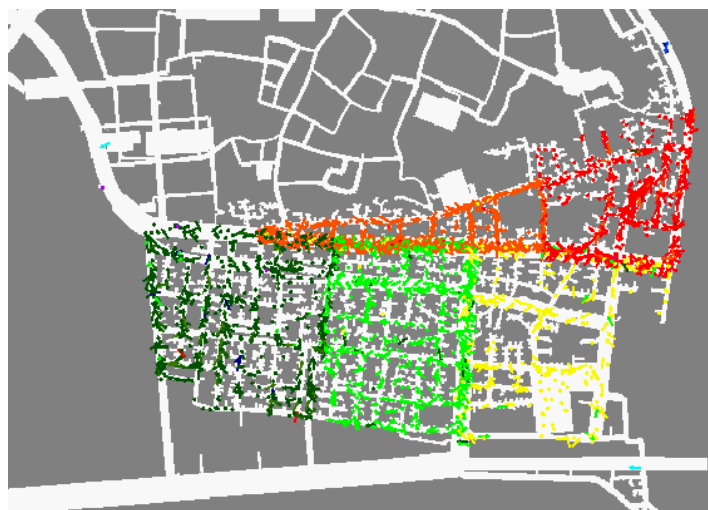
結果 徒歩避難者の避難完了の推移



車両避難者の避難完了の推移



避難状況



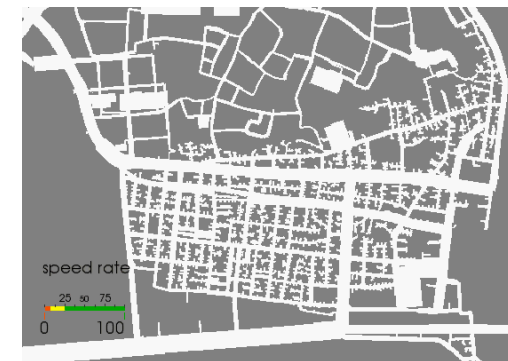
○ 人のエージェント
⇐ 車のエージェント
発生エリア別に色分け

車両避難に渋滞発生

避難状況



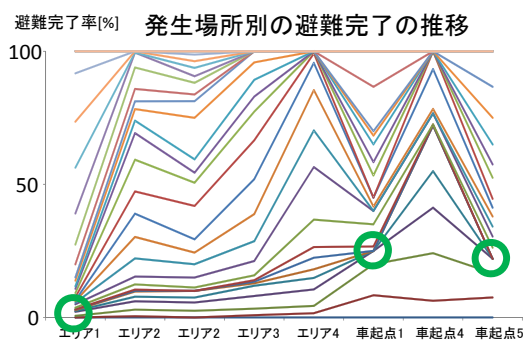
避難者の密度



避難者の移動速度

避難者の混雑量や移動速度により、定量的に渋滞を確認

状況把握①



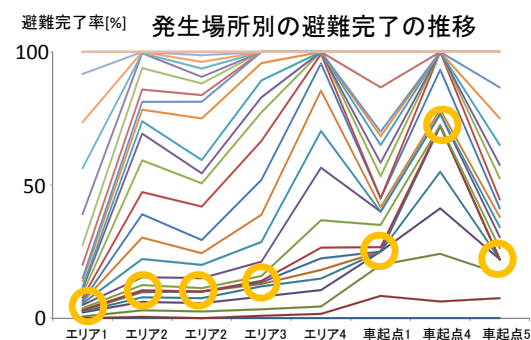
疎 スムーズな避難
密 遅延発生



● 地点A □ 住民発生エリア ○ 車起点

地震発生より20分後、地点Aで渋滞発生
推定される渋滞の要因 **地点A: 交差点に車の集中**

状況把握②



疎 スムーズな避難
密 遅延発生

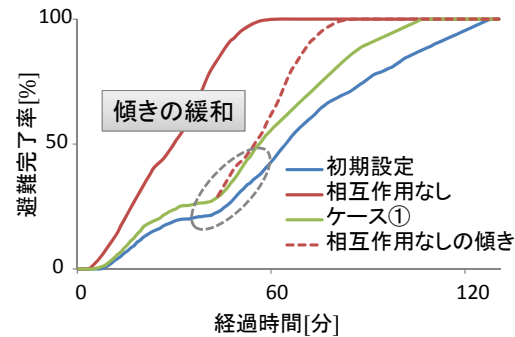
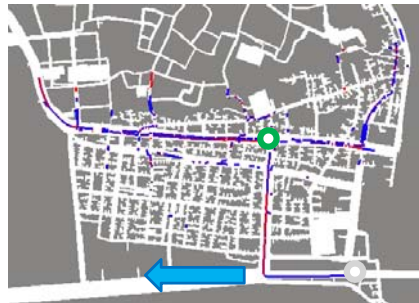


● 地点B ○ 大事業所避難開始点

地震発生より30分後、地点Bで渋滞発生
推定される渋滞の要因 **地点B: 集団徒歩避難の集中**

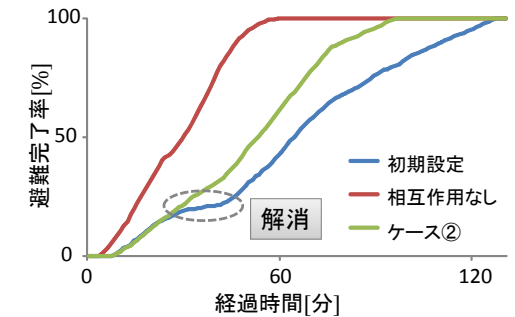
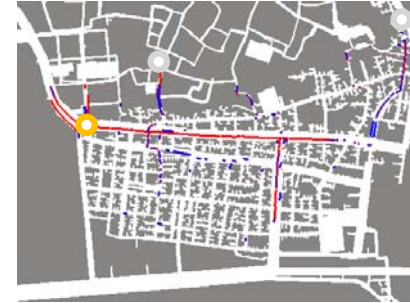
要因抽出(ケース①)

- 推定される渋滞の要因 地点A: 交差点に車の集中
- 設定変更 車の避難経路の変更
- 要因 交差点への車の集中

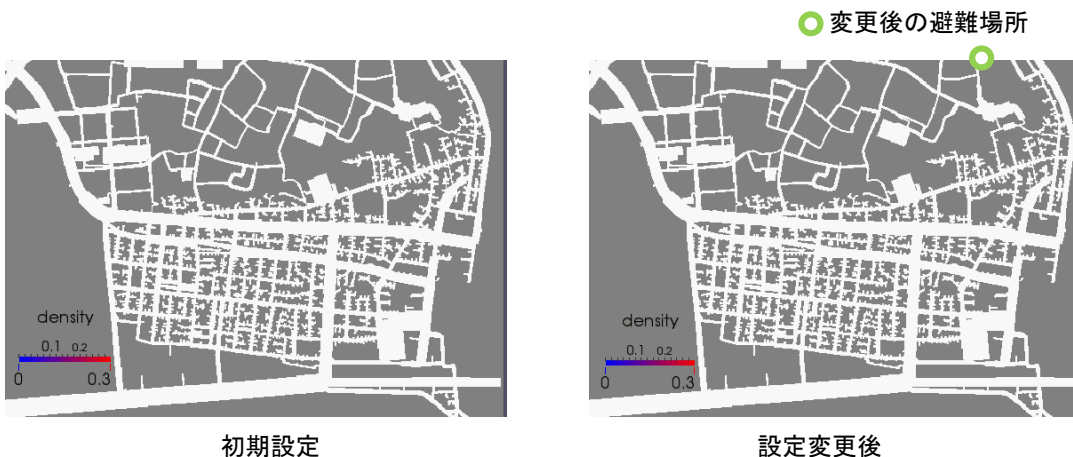


要因抽出(ケース②)

- 推定される渋滞の要因 地点B: 集団徒歩避難の集中
- 設定変更 車の避難場所変更
- 要因 集団徒歩避難者の集中



避難状況の比較(ケース②)



全体的に渋滞が短縮されたが、新たな渋滞発生

おわりに

◆スーパーコンピュータ

- 並列計算機と並列計算
多数の計算ユニットを有する並列計算機を、利用する先端プログラムを使った並列計算

◆都市と構造物の地震シミュレーション

- 都市モデル・構造モデルを使った並列計算

◆群集避難のシミュレーション

- 人や自動車のモデルを使った並列計算

講演1: シミュレーションで考える、災害と避難の関係

本講演は、自然災害と人々の避難を組み合わせた避難シミュレーションの事例を紹介する。避難計画の策定の際には、さまざまな災害想定の下で最も適切な避難方法や誘導方法を検討する必要がある。個々の災害によって規模や被災地域等が大きく異なるため、いろいろな災害シナリオに基づく被害状況を計算し避難者の行動を模擬する計算を組み合わせたシミュレーションが検討には適切である。津波や火災などいくつかの災害とマルチエージェントモデルを組合せて避難シミュレーションを行った事例と、火山噴火や土石流などの様々な自然災害への適用可能性について説明する。

講師 荒木 秀朗（あらき ひであき）

1987 年 熊本大学工学部資源開発工学科 卒業

1989 年 熊本大学大学院工学研究科資源開発工学専攻 修了

1989 年 株式会社構造計画研究所 入社

2003 年 株式会社構造計画研究所 耐震技術部長

2009 年 株式会社構造計画研究所 執行役員 経営企画部長

2013 年 株式会社構造計画研究所 常務執行役員 営業本部長

専門分野：地震工学

主な学会・社会活動：日本地震工学会



シミュレーションで考える 災害と避難の関係

2015/08/06
(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. 避難シミュレーションにおける論点
2. 当社が考える避難計画の重点
3. 会社紹介
4. 災害シミュレーション事例
5. 避難シミュレーション事例
6. まとめ

1.避難シミュレーションにおける論点

避難シミュレーション
＝防災計画における検討・検証ツールとして有効

利用する上での注意点：
避難時間は災害によって**影響する因子**が異なる

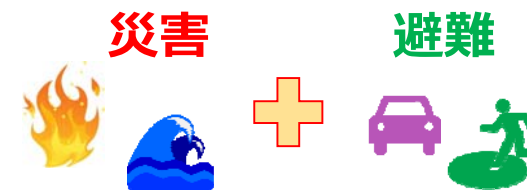
災害の種類	領域	時間	避難方法	影響因子
都市火災	区・市	短い	徒歩	発火点、延焼方向、逃げ惑い
津波	県・市	短い	徒歩、車	登坂緩急、避難所距離、渋滞
原子力災害	広域越県	長い	車	渋滞、影の避難(自主避難)
ビル火災	建物内	短い	徒歩	階段幅、誘導、煙

※台風(洪水)や大雪等は予見可能で避難時間は確保される
(避難指示のタイミング、避難所の容量や被災後の物資輸送計画が課題)

※いくつかのケースを検証 自然現象：発災位置、風向風速、天候、昼夜etc.
人間行動：パニック、一斉行動、ルール違反etc.

2.当社が考える避難計画の重点

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



例1：地震によって避難経路がふさがる（経路閉塞）

例2：浸水で避難速度が鈍る

例3：火災や煙の影響で逃げ惑う 等々

2.当社が考える避難計画の重点

＜本発表の主題＞

時系列に進行する
自然災害(=物理力学)モデル
+
避難行動(=人間行動学)モデルを
同時に再現するシミュレーション
の事例をご紹介します

3.会社紹介

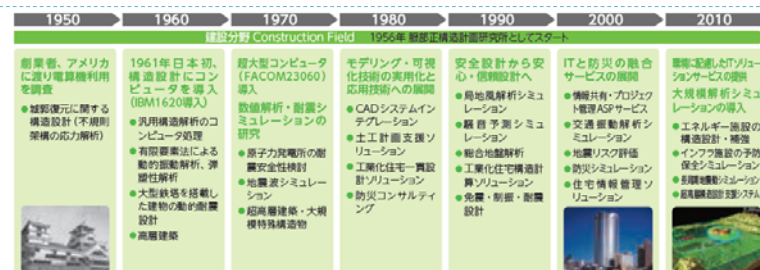
大学・研究機関と実業界をブリッジする デザイン&エンジニアリング企業

- 設立 1959年
- 資本金 10億1,020万円
- 社員 574名(2015年7月1日時点)
- 本社 東京都中野区
- 上場市場 JASDAQ
- 事業所
 - ▶ 本所・新館：東京都中野区
 - ▶ 中野イノベーションオフィス：東京都中野区
 - ▶ 熊本構造計画研究所：熊本県菊池郡
 - ▶ 大阪支社：大阪府大阪市中央区
 - ▶ 中部営業所：愛知県名古屋市中区
 - ▶ 上海駐在員事務所：中華人民共和国上海市
 - ▶ KKE SINGAPORE PTE.LTD.：シンガポール

1961年 日本で初めて構造設計に
コンピュータを導入



3.会社紹介

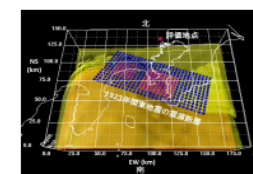


- ・建設分野
→物理・力学(自然災害、構造物)
- ・製造分野
- ・情報通信分野
- ・意思決定支援分野
→人間行動学(避難)

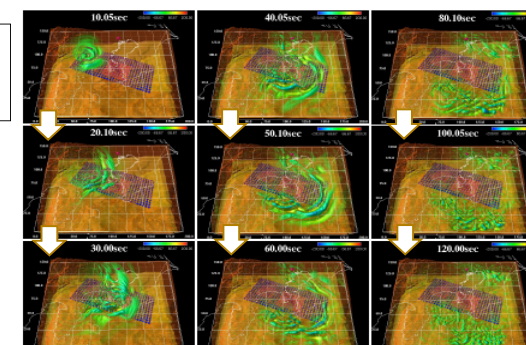


4.災害シミュレーション事例(地震動)

地震が発生した場合に長周期地震動の卓越が予測される関東平野を対象に1923年関東地震(関東大震災)の地震動シミュレーションを実施した事例



地下構造モデルと断層の位置

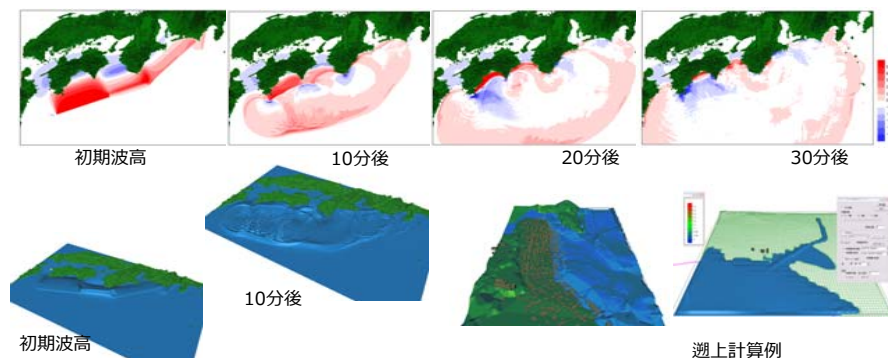


波動伝播の様子

- ・同じ震源の地震でも地盤構造の違いで地表の揺れ方が違う
- ・地表の揺れ方と建物構造特性で被害の大きさに差が出る

4.災害シミュレーション事例(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



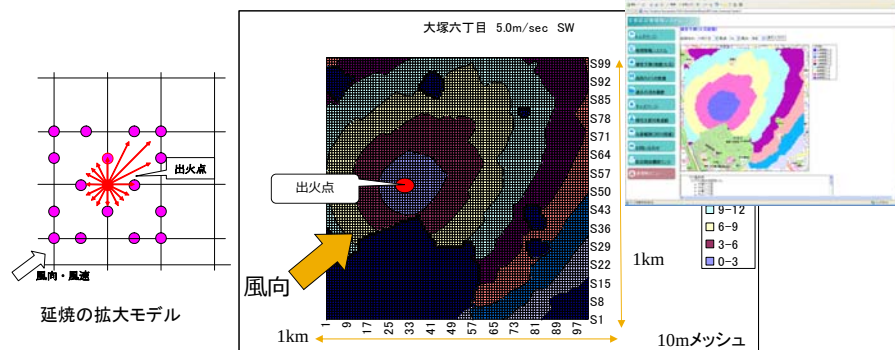
- ・津波の遡上(海岸から内陸にさかのぼる状態)を計算することで、どれくらい逼迫した状態(時間感覚)かが把握出来る

4.災害シミュレーション事例(津波)



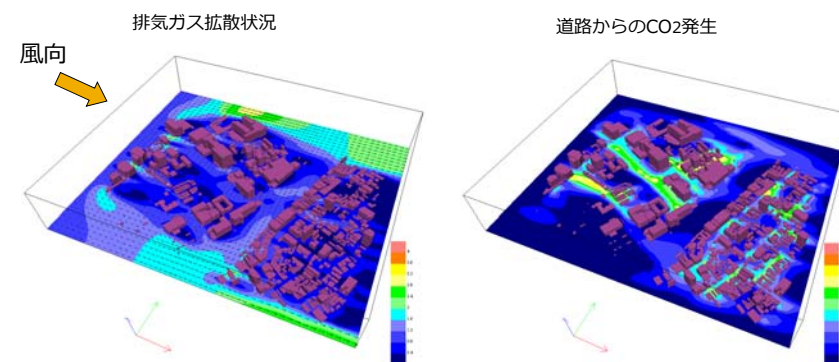
4.災害シミュレーション事例(火災延焼)

大塚六丁目 南西の風、風速5m/secと10m/sec、湿度35% 防災対策ホームページ(文京区)



- ・発火点の数、延焼方向、延焼速度が大きく影響

4.災害シミュレーション(大気拡散)

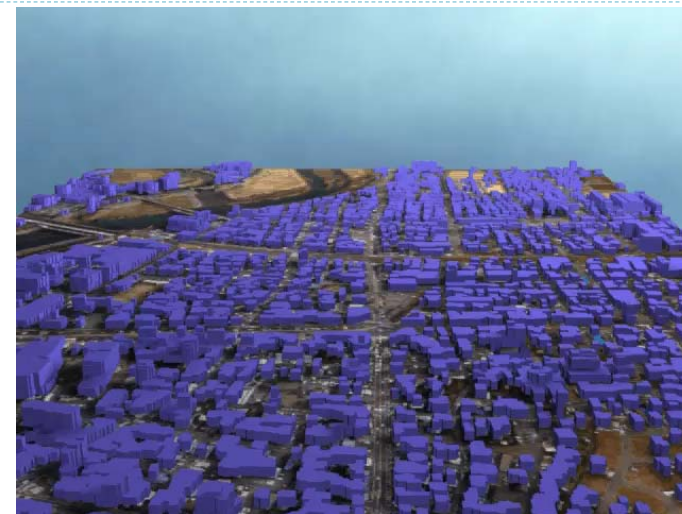


- ・大気拡散とは、・・・大気中に放出された汚染物質が正常な空気と混合、拡散し、希釈される現象
- ・風向・風速・気温・物質の比重等に影響

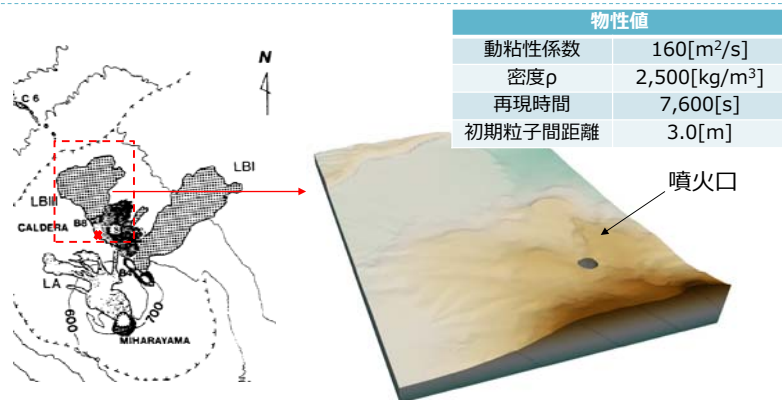
3. 災害シミュレーション事例(土石流)



4. 災害シミュレーション事例(河川氾濫)

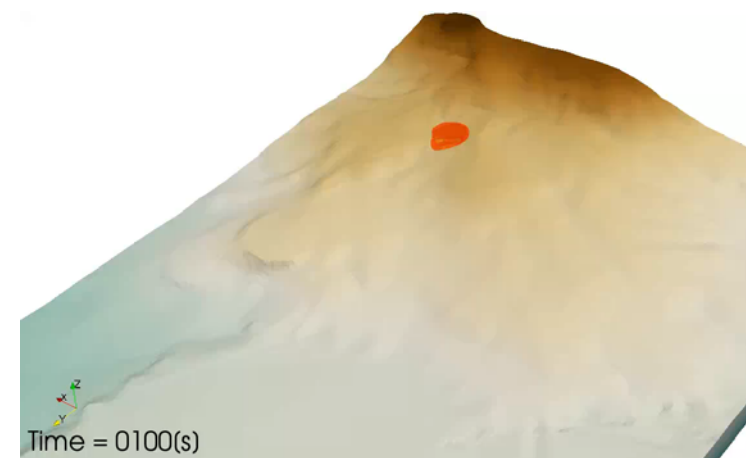


4. 災害シミュレーション事例(溶岩流)



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）

4. 災害シミュレーション(溶岩流)



5.避難シミュレーション事例(災害+避難)

自然災害と避難の組合せで実施した具体事例

1.鎌倉市防災計画策定

津波+避難シミュレーション

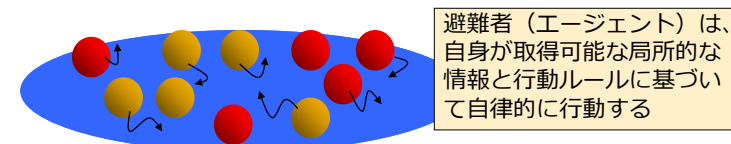
2.火災避難シミュレーション(内閣府)

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

5. 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

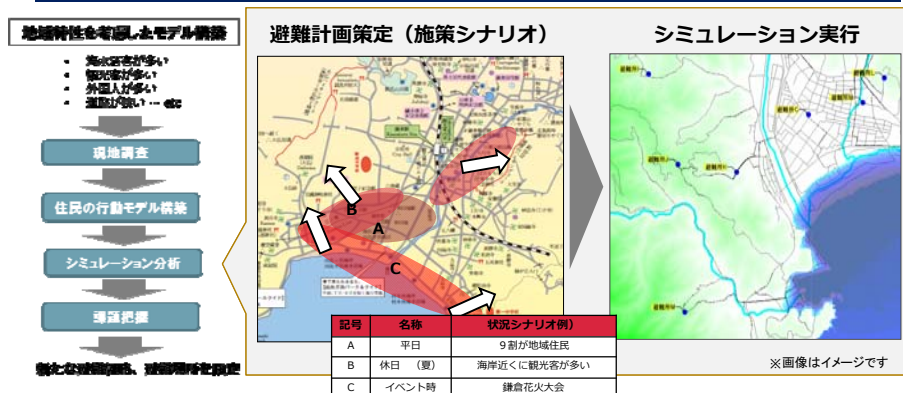


<採用した理由>

- | | |
|-----------|------------------|
| 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 |
- 上記特性がシミュレーションで考慮可能

5.事例紹介：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

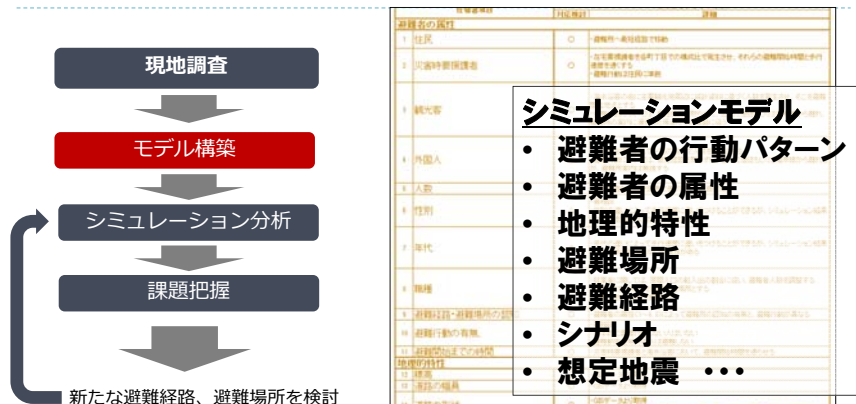


5.事例紹介：鎌倉市防災計画策定(2)



- 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

5.事例紹介：鎌倉市防災計画策定(3)



- 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

5.事例紹介：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

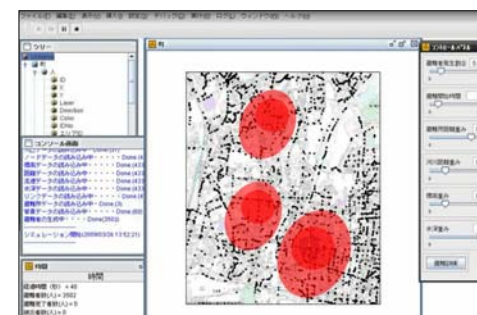
5.事例紹介：鎌倉市防災計画策定(5)



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

5.事例紹介：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
- ・ 避難場所までどの経路で行くか
- ・ 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

5.事例紹介：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、発生の可能性は少なくなった
しかし、その発生の可能性とメカニズムを明らかにすることは重要

5.事例紹介：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：

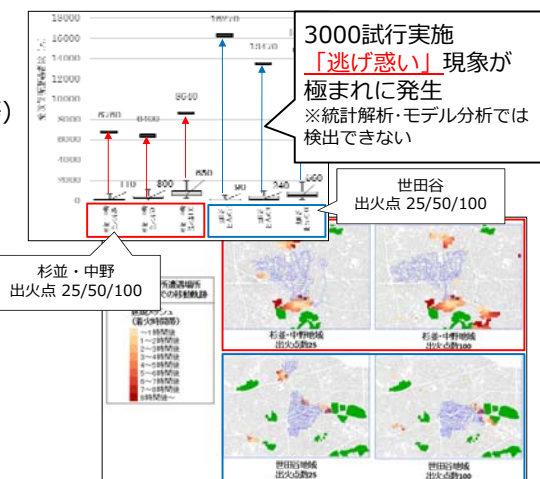
建物の密集度
構造別の延焼度

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

5.事例紹介：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)



6.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. 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
 2. 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

講演2:津波避難シミュレーションの活用事例

本講演は、建物内や比較的狭い地域を対象として、施設計画や周辺エリアの安全検証を目的としたミクロ群集避難シミュレーションの活用事例を紹介する。避難の様子を示すアニメーションを使った、直感的に分かり易い事例である。各事例に対して、シミュレーションが意図された背景、目的、ケース設定、評価基準等について説明を加え、避難シミュレーションの有効性と適用範囲を示す。同時に、入力されるデータの質によってシミュレーションの精度にばらつきが出る等の限界も示し、シミュレーションの限界の解決に向けた展望も説明する。

講師 末松 孝司（すえまつ たかし）

1984 年 広島大学工学部第四類土木工学科 卒業

1984 年 東急建設（株）入社

1988 年 ミズーリ州セントルイス大学経営大学院（MBA）派遣留学

1994 年 （株）東急総合研究所に出向・転籍

2005 年 九州大学工学府大学院 都市環境システム工学専攻（博士）

2005 年 ベクトル総研 取締役就任（2007 年より代表取締役）

2007 年 東京工業大学 非常勤講師（2011 年より連携教授）

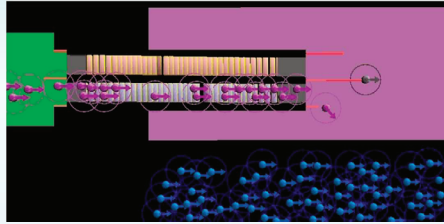
専門分野：群集流動・避難・道路交通シミュレーションシステム開発と防災教育

主な学会・社会活動：日本地震工学会



「震災対策技術展」宮城 併催セミナー 主催 日本地震工学会

避難シミュレーションの活用事例



2015年8月6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
・データ管理、精度、効果、普及
- 4 課題やニーズに対する取り組み
・モデルの精度
・継続性と協力の促進

2

業務実績

- ・ 避難シミュレーション
 - SIP(戦略的イノベーション創造プログラム レジリエントな防災・減災機能の強化) :内閣府
 - 駅構内避難誘導シミュレーション研究 :JR東日本
 - インドネシア津波避難シミュレーション :JICA、JST、東京大学地震研究所
 - 大都市大震災軽減化特別プロジェクト :文部科学省、防災科学技術研究所
 - 愛知万博会場避難シミュレーション解析 :三菱総合研究所
 - 木造密集地火災延焼からの避難シミュレーション :東京都都市整備局
 - 都市再生安全確保計画(横浜市、名古屋市) :日建設計
- ・ 群集流動解析(流動調査・シミュレーション)
 - 新千歳空港ターミナル旅客流動解析 :北海道空港
 - ターミナル駅の乗り換え旅客数推計 :東急電鉄、東急設計コンサルタント
 - 駅ホーム旅客流動シミュレーションシステム開発納品 :JR東日本
 - イベントホールにおけるトイレやエスカレータの適正規模検証 :日建設計
- ・ 交通シミュレーション
 - 大型商業施設駐車場シミュレーション評価 :主要政令市納品、鹿島建設、三菱地所設計
 - 東京ディズニーリゾート交通処理解析 :オリエンタルランド、東急総合研究所
 - FIFAワールドカップ会場輸送計画 :三菱総合研究所
 - 九州大学移転交通シミュレーション検討 :福山コンサルタント
- ・ 環境対策、その他
 - ビル人流特性を考慮した省エネ簡易システム :環境省 地球温暖化対策技術開発事業
 - 鉄道施設(トンネル、軌道)での各種計測・解析(ビデオ画像解析) :鉄道総合技術研究所

3

各種事業におけるシミュレーションの背景、位置づけ

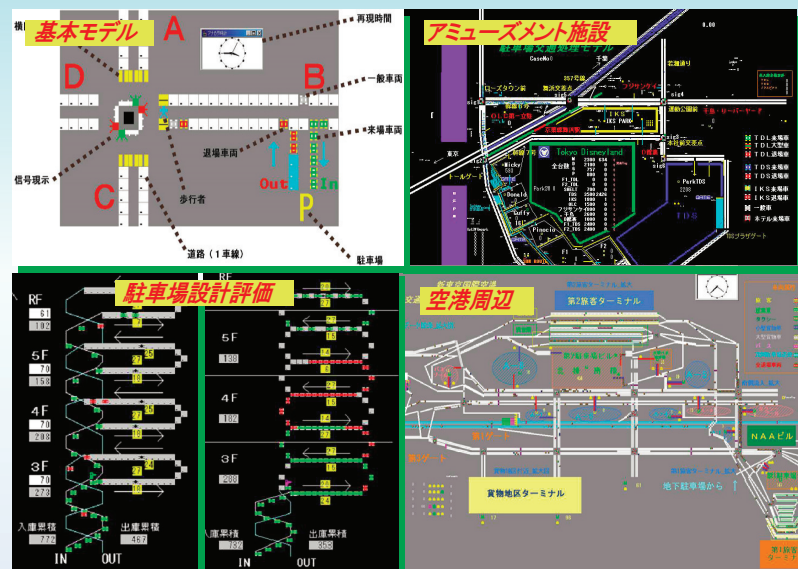
これまで地域や施設の整備は、一律的基準や経験・勘で計画、管理されてきた。しかし、対象の大規模化・複合化や管理効率化への移行に伴い、**利用特性に合致した安全確保と効率処理とコストダウンとの最適化ニーズ**が高まり、利用実態に則した科学的根拠のある設計・管理指標、手法が不可欠となっている。



- ★ **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)

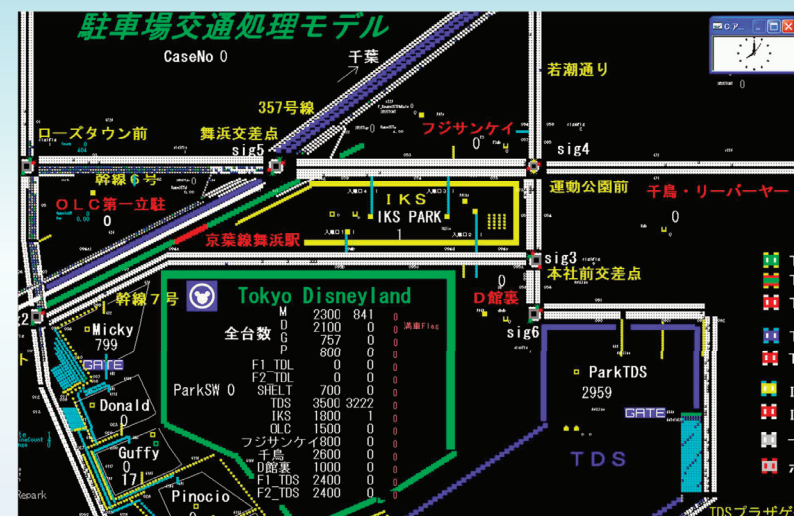
4

道路交通、駐車場シミュレーション



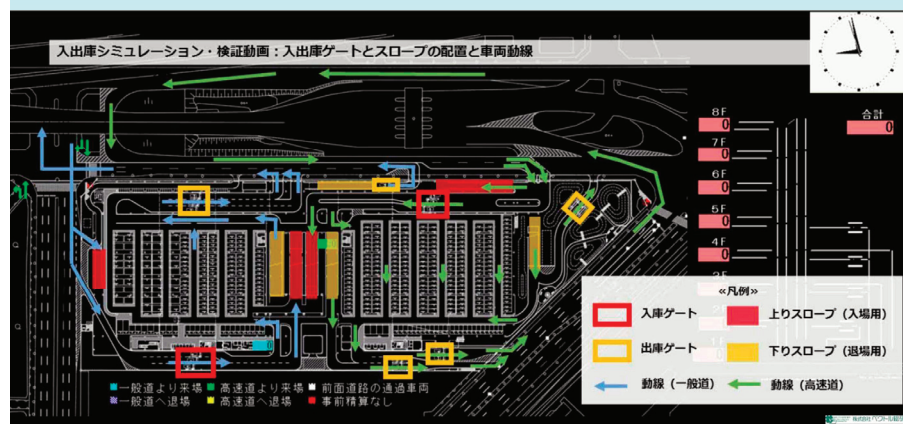
5

道路交通、駐車場シミュレーション (アミューズメント施設)



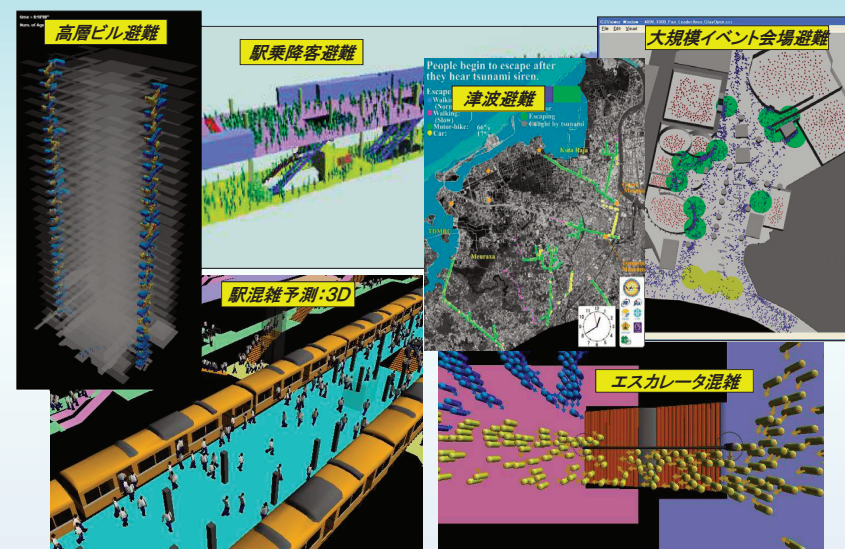
6

駐車場シミュレーション (商業施設)



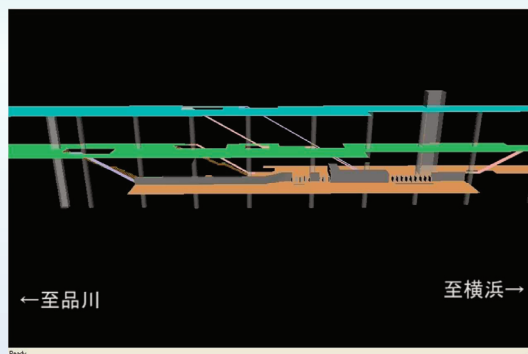
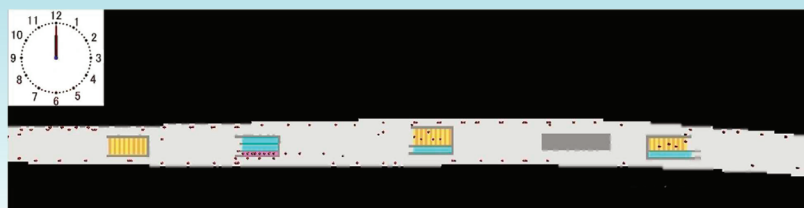
7

群集シミュレーション



8

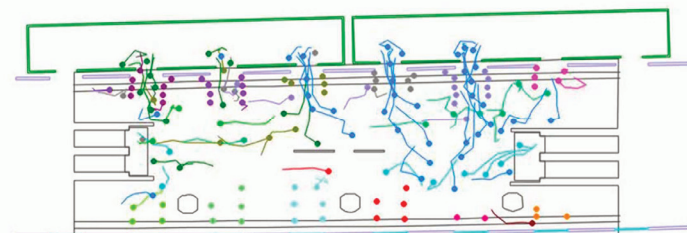
事例紹介（駅ホーム改良に伴う混雑度評価）



9

事例紹介（駅ホームドア設置に伴う流動処理評価）

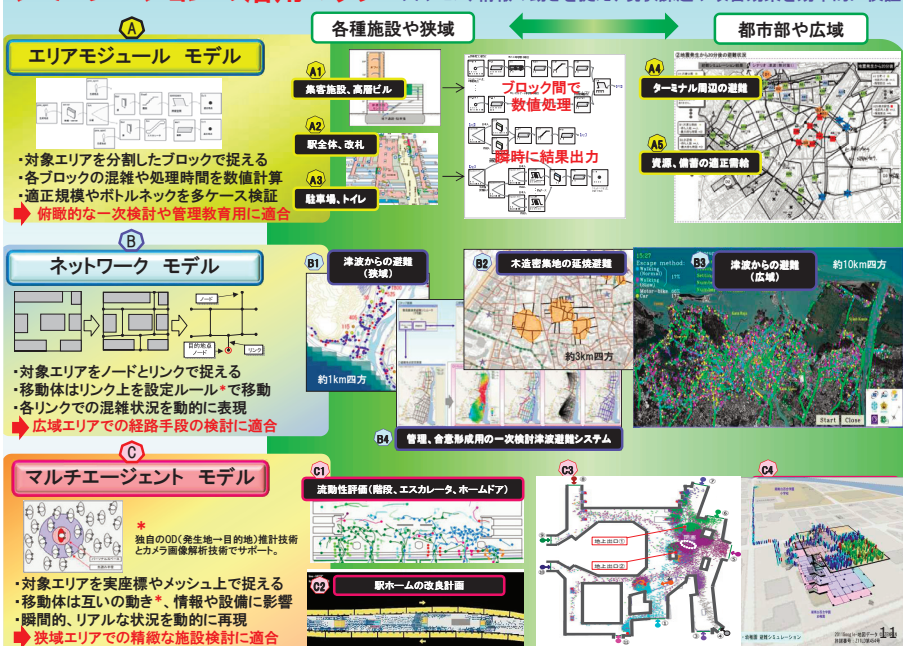
8:36:57.6 (Elapsed time after doors open 0:00:05.5)



- 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%）

10

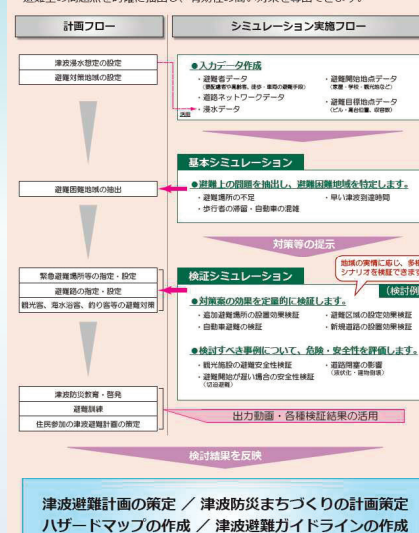
シミュレーションの活用マップ 人やモノ、情報の動きを捉え、現状課題や改善効果を効率的に検証



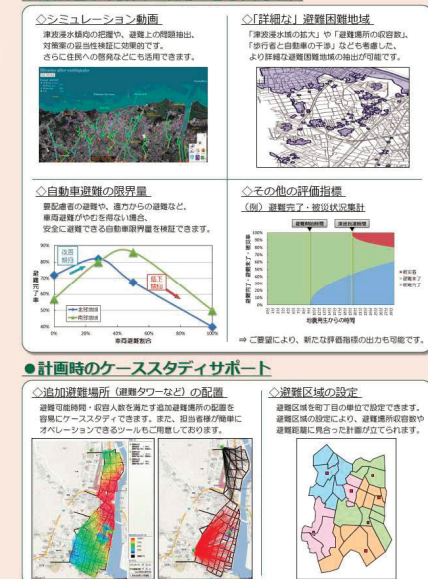
シミュレーションの位置づけ 地域防災計画の支援

津波防災の計画をサポート

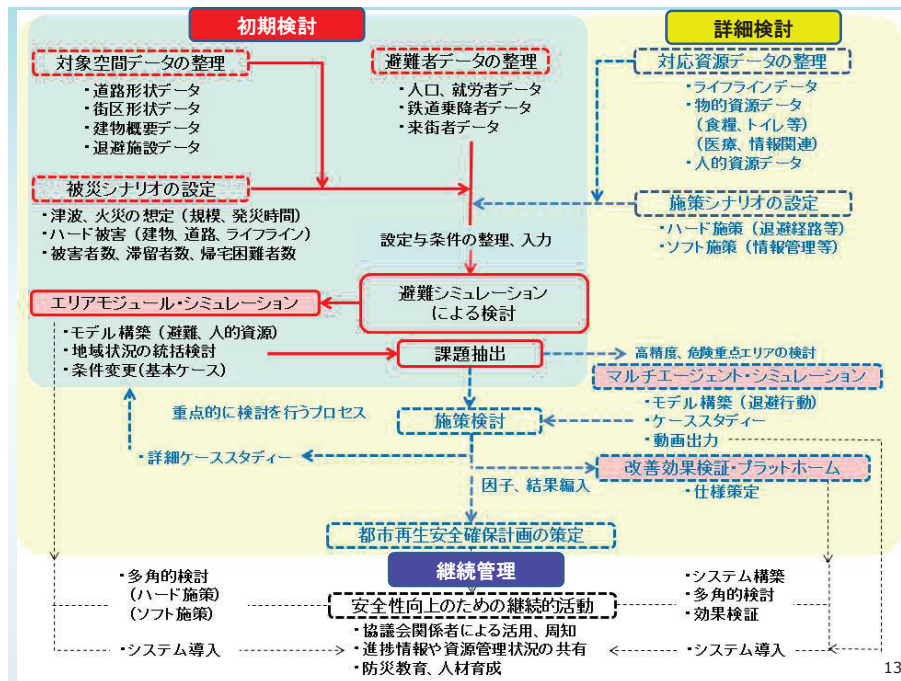
避難上の問題点を的確に抽出し、有効性の高い対策を導出できます。



津波避難の計画に活用できる出力項目



12

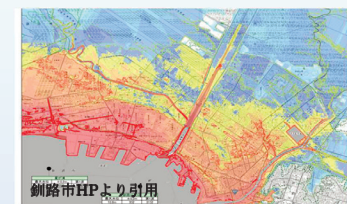


13

津波避難シミュレーションの機能

※インプット

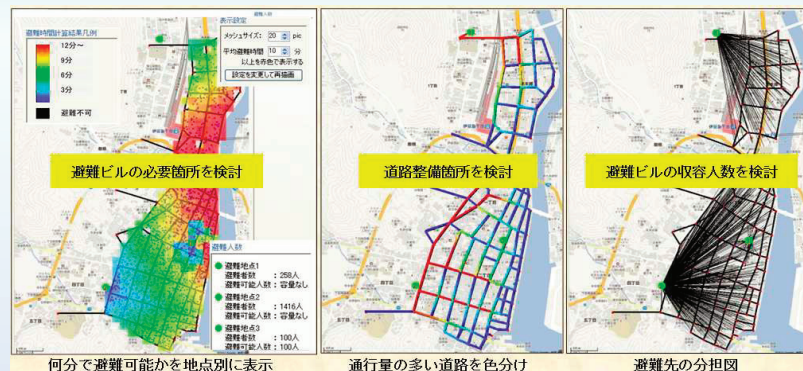
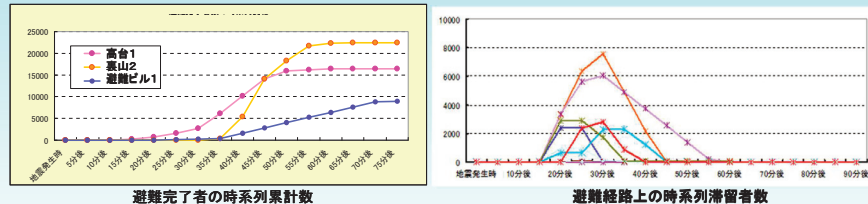
項目	必要データ	付随して必要な情報
(1) 昼間人口データ	① 住宅データ ② 学校データ ③ 観光地データ ④ 商工業施設データ	位置、世帯ごと人数、町丁目居住数 位置、児童、教職員数 位置、就業者、観光客数 位置、就業者数、客数
(2) 現行の避難計画データ	① 避難場所データ ② 避難経路データ ③ 津波データ	位置、収容人数 避難経路として想定される経路 津波浸水高、到達時間
(3) 背景地図データ	配布可能なJPGファイル	JPGファイルの四隅の平面直角座標
(4) 逃げにくい方向の設定	想定される避難方向を記載した 特になし 地図データ	



14

津波避難シミュレーションの機能

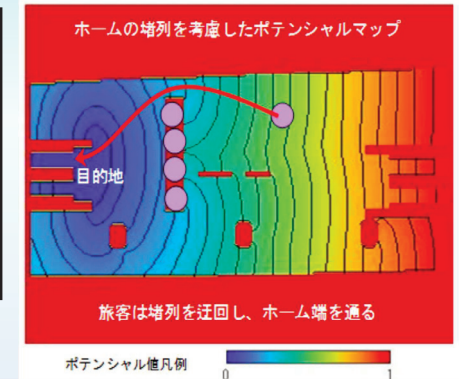
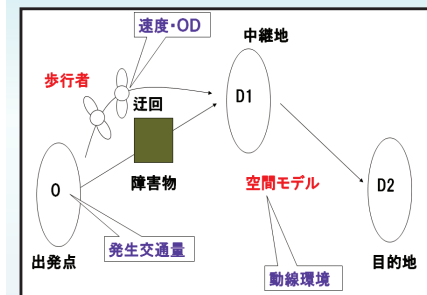
※アウトプット



15

マルチエージェントシミュレーションのロジック

- 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

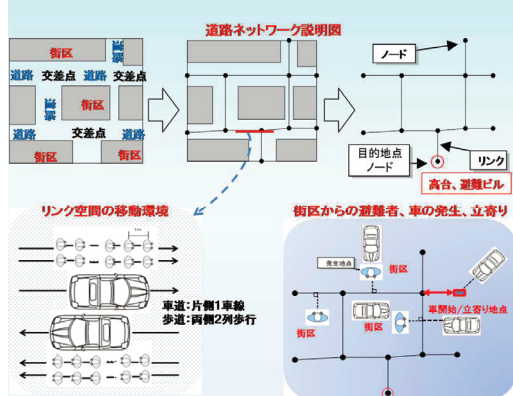


16

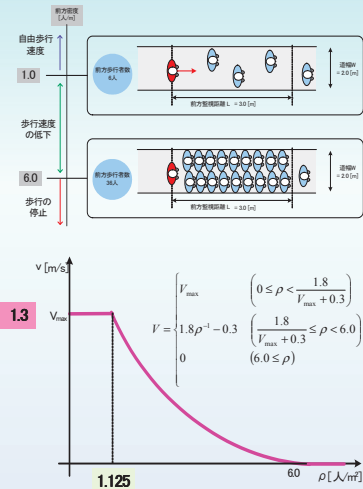
津波避難シミュレーションの機能

※制御ルール

モデル構造



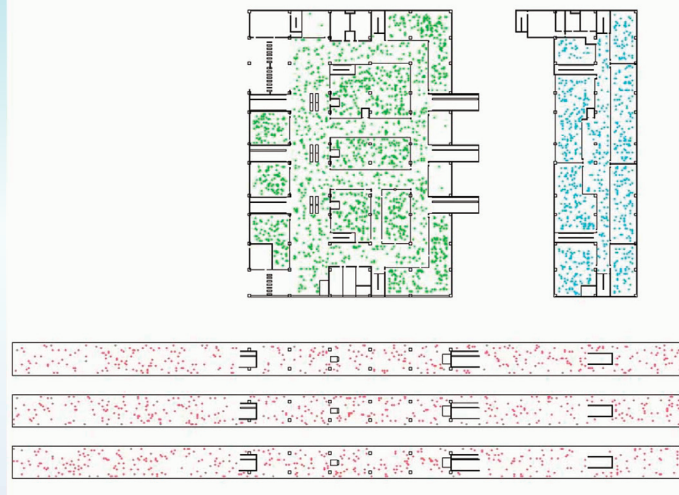
密度による速度低減則



17

駅ナカ施設避難検証 火災避難

0.1



18

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

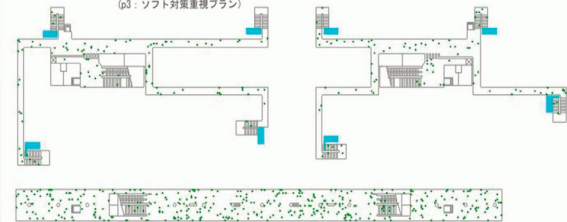
ケース名 d: 浸水ケース s1: 避難開始前の旅客数 s2: 避難中の旅客数 s3: 避難完了の旅客数 浸水開始からの経過時間
i: 間接避難ケース p: 制御実施プラン (p1: 対策なし)



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

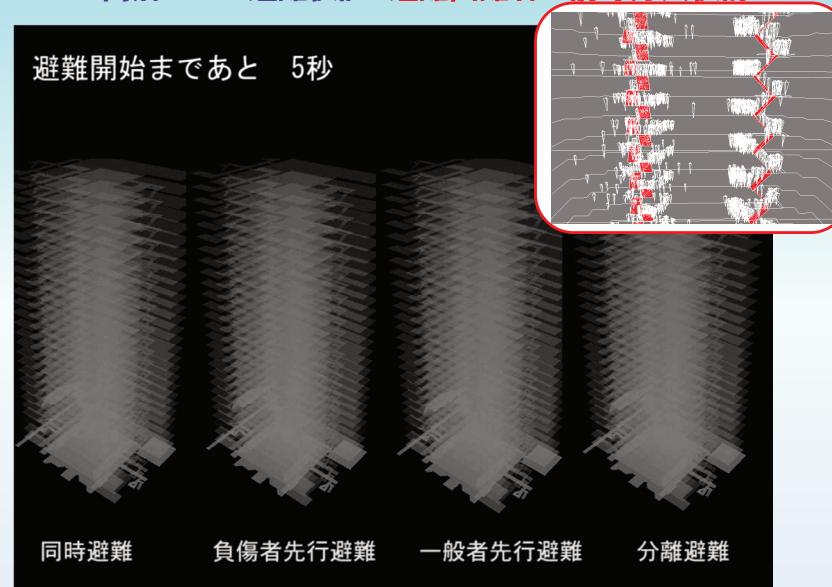
ケース名 d: 浸水ケース i: 間接避難ケース p: 制御実施プラン (p3: ソフト対策重視プラン)



19

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

20

学会等での避難シミュレーション検討

日本火災学会：火災時の避難行動専門委員会

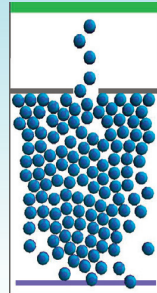
・避難シミュレータの妥当性検討

－ 方法

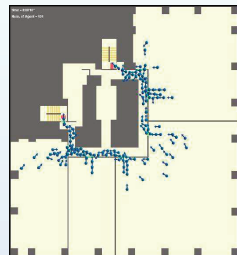
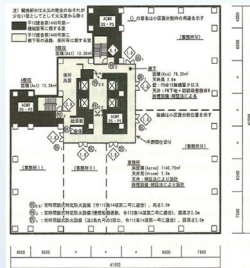
- ・避難安全検証法適用例を題材にしたシミュレーション比較
- ・単純空間での開口部流動係数比較(対流動実験結果)

－ 比較検討シミュレータ

- ・竹中工務店:SimTread
- ・清水建設:避難シミュレータ
- ・フォーラムエイト:Exodus
- ・ベクトル総研:D-MACS

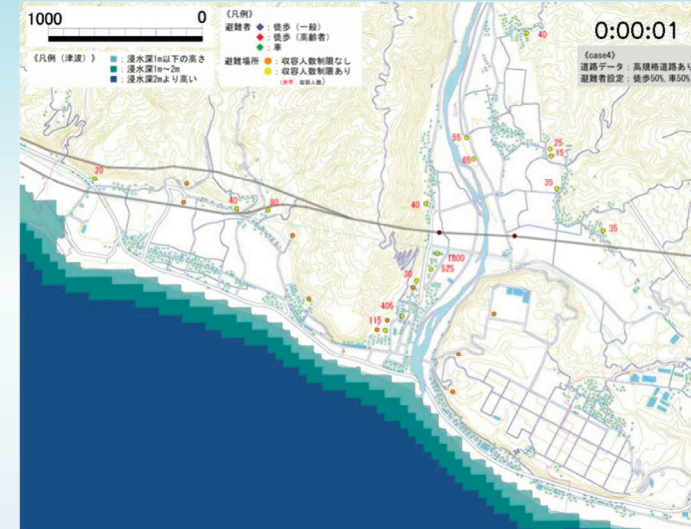


委員氏名	所属
萩原一郎(主査)	(独)建築研究所
佐野友紀(幹事)	早稲田大学
関沢愛	東京理科大学
	大成建設(株)
	鹿島建設(株)
	(株)日本設計
	(財)鉄道総合技術研究所
	(株)竹中工務店



21

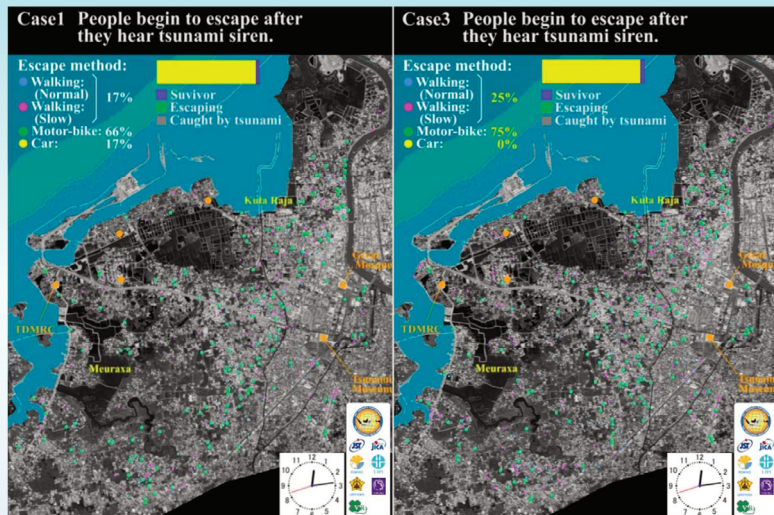
津波避難シミュレーション 地域防災計画、道路整備検討の支援



- ・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

22

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

23

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



24

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。

25

データと各種モデル検証の枠組み整備（課題①、②、③に対して）

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）

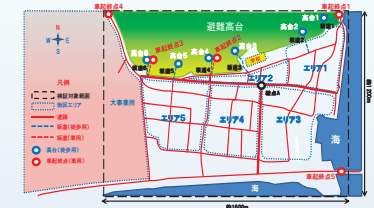
：解析対象となるモデルが実現象に即していること

- ① 混雑の発生
- ② 避難完了時間の確認
- ③ 3.11被災地避難実態調査の活用

日本地震工学会

「津波など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」

シミュレーション部会（部会長 堀宗朗 東京大学地震研究所教授）にて運用



26

継続性と協力の促進、評価基準の整備（④、⑤に対する展望）

- **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

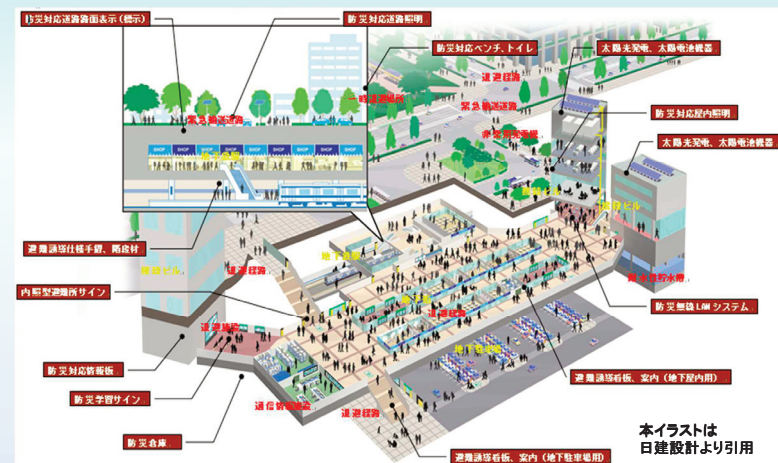


地域安全性能共有プラットフォーム（仮称）の検討

27

都市再生安全確保計画

- 全国の主要な都市再生緊急整備地域における防災力向上に寄与する地域選定（例：東京都新宿区、川崎市、横浜市、名古屋市、大阪市）
- 避難行動時に過度な混雑状況（混乱）が発生する可能性が高い場所やルート（駅、自由通路など）での避難シミュレーション実施



本イラストは
日建設計より引用

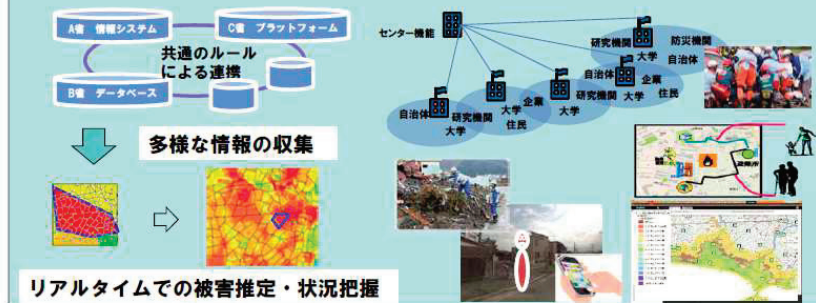
28

研究開発内容

SIP
(戦略的イノベーション創造プログラム)

災害関連情報の共有（レジリエンス情報ネットワーク）・関係機関の災害情報充実

多様なユーザーに対する災害情報の利活用技術・伝達技術の開発



総合科学技術会議
Council for Science and Technology Policy

10

29

継続性と協力を促進する仕組み（イメージ）

- ・協議会関係者による活用、周知
- ・進捗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（連携検討：役割分担、シナリオ設定、疑似防災訓練）

・地域の安全度向上、進捗結果の提示、更新

・独自活用（社外秘検討：設備計画、社内管理マニュアル）



30

「群集避難シミュレーションの数値解析手法の検証と妥当性確認」にご協力下さい

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」（後藤洋三委員長）では、「避難シミュレーション普及部会」（堀宗朗 部会長）を設けて群集避難シミュレーションの品質保証を検討してまいりました。多くの数値解析手法では、品質保証の具体的な方法として、検証と妥当性確認という二段階の手順がとられます。これを参考に、群集避難シミュレーションの数値解析手法の検証と妥当性の具体的な内容を考案し、これを「避難シミュレーションの検証と妥当性確認 Verification & Validation (V & V)」というマニュアルとして整理いたしました。

マニュアルの有効性・実用性を調べるため、群集避難シミュレーションの研究者・実務者の方々に、このマニュアルに則って、お使いの数値解析手の検証と妥当性確認をすることをお願いしたく考えております。本マニュアルの妥当性検証は、2011 年東日本大震災での津波避難に関する調査結果を基に作成された群集避難の状況のシミュレーションを対象にしております。貴重な調査結果を活用する一例となることも期待されております。

群集避難シミュレーションの数値解析手法の検証と妥当性確認は、以下の日程で進めます。群集避難シミュレーションの品質保証を進め、この分野の研究を進めるとともに、信頼に値するシミュレーションを広げることに、ご協力をお願いできれば深甚です。

日程にありますように、ご協力できる方は 8 月 31 日までにエントリーをお願いできれば幸いです。また、ご同意いただければ、検証と妥当性確認の結果は日本地震工学会のホームページに掲載する予定です。

数値解析手法の検証と妥当性確認の日程

2015 年

- 8 月 31 日 協力される方のエントリー
- 9 月 1 日 妥当性確認のための群集避難シミュレーションの設定情報の提供
- 11 月 31 日 検証と妥当性確認の結果の提供

2016 年

- 2 月 1 日 検証と妥当性確認の結果の公表（日本地震工学会のホームページ）

検証と妥当性確認のエントリー、及び、本件に関する問合せは下記です。

hori@eri.u-tokyo.ac.jp

「避難シミュレーションの検証と妥当性確認 Verification & Validation (V & V)」マニュアルは下記サイトをご覧ください。

<http://www.jaee.gr.jp/jp/research/research05/>

日本地震工学会とは

「日本地震工学会(JAEE)」は、地震工学および地震防災に関する学術・技術の進歩発展をはかり、もって地震災害の軽減に貢献することを目的として、2001 年 1 月 に設立されました。2010 年 2 月より一般社団法人となり、2013 年 4 月に公益社団法人に移行しています。現在の会員数は約 1、270 名、法人会員は 106 団体となっています。

日本地震工学会は、地震そのものや地震による災害に関わるあらゆる分野の人々にとって有益な交流の場であります。これまでに耐震工学に関わってきた地震学、土木工学、建築学、地盤工学、機械工学などの領域の人々は勿論のこと、行政や公益事業に関わる人々、地域計画や社会心理などの人文・社会科学分野の人々、さらには医療関係者など、地震災害の軽減に関わりのある人達が広く連携する組織となることを目指しています。

日本地震工学会は、会誌と論文集の発行、Web によるタイムリーな情報提供、年次学術講演会などの定期的な研究発表会の開催、地震工学・地震防災関連の講習会や研修会の開催、調査・研究プロジェクトの指導・推進、新技術の評価、耐震基準の開発・普及、技術者の生涯教育支援、地震防災施策の提言、地震工学・地震防災分野における国際交流ならびに国際貢献を担う活動、地震災害調査とその成果の公表、などを行っています。

所在地： 〒108-0014 東京都港区芝 5-26-20 建築会館 4F

Tel: 03-5730-2831

連絡先 e-mail: office@general.jaee.gr.jp

ホームページ: <http://www.jaee.gr.jp/jp/>