

新宿駅周辺地域の滞在者属性と 地震時を想定した群衆移動のイメージ -シミュレーションによる新宿ルールの適用効果の検証-

国立特定研究開発法人 産業技術総合研究所
情報・人間工学領域研究戦略部 研究企画室 企画主幹
人工知能研究センター 主任研究員
山下 倫央

新宿駅周辺防災対策協議会 新宿駅周辺地域都市再生緊急整備協議会 共催
2016年度第3回セミナー
2016年10月12日(木)
工学院大学 新宿キャンパス 高層棟28階 第1第2会議室

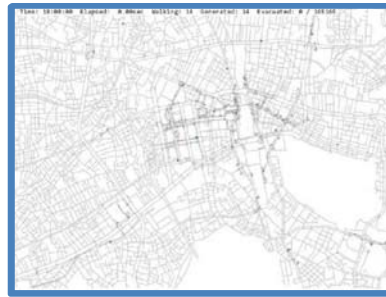
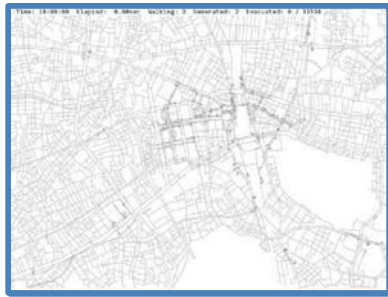
1

発表内容

- 発表概要
- 研究紹介
- シミュレーション環境の構築
 - 歩行者シミュレータ CrowdWalk の開発
- シミュレーションの適用
 - 新宿エリアの地震時を想定した群衆移動
- まとめ

発表概要

- 新宿駅周辺地域の滞在者属性と
地震時を想定した群衆移動のイメージ
 - 前半：現状の把握
「どのような人が、いつ、どこから来て、どこに滞在しているのか」
 - 各種データから現在の新宿エリアの人々の状況を分析
 - 後半：状況の予測
「どのくらいの人、どう動くと、どうなるのか」
 - 分析結果を用いて新宿エリアにおける混雑状況を算出



新宿駅周辺の混雑が避難者数や
避難行動によって大きく変化

- 自由流速度で移動する歩行者
- 停止している歩行者

3

群集流動の制御に向けたサービス設計支援技術の適用

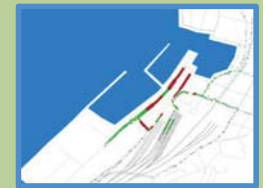
- 目的 平常時および非常時の群集流動における
安全性・快適性・効率性の向上
- 対象
 - 警備関係者, 自治体(消防・警察)
 - 施設管理者, イベント運営者
- 研究事例
 - **歩行者シミュレータ CrowdWalk** の開発
 - 数十万人の群衆流動の高速計算技術
 - 既存の誘導計画の分析
 - 新たな対策の試行錯誤的な立案
 - 人流計測技術の開発
 - **ステレオカメラ**による歩行者の自動追尾
 - 歩行者の数、速度、密度、属性の把握
 - **RFID** や **GPS** による経路計測
 - 出発地→目的地への経路把握
 - **交通シミュレータ**の応用
 - 遅延のない交通計画の検証・立案

適用
事例1

北千住エリアを対象とした複合災害における
避難シミュレーション

適用
事例2

関門海峡花火大会における
人流計測とシミュレーション

適用
事例3

わかやま国体開会式の出席者が乗る
バス運行計画の検証

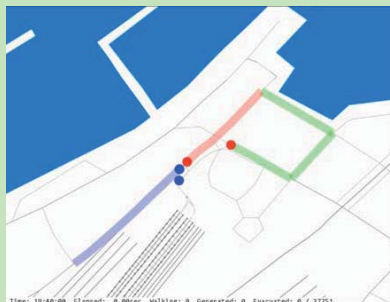


これまでの研究

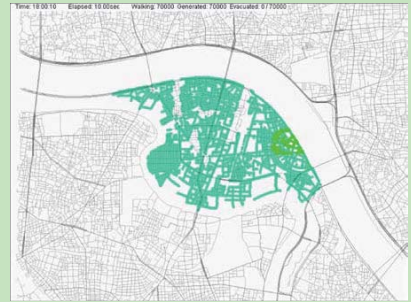
- 歩行者シミュレータCrowdWalkの開発と応用
 - 一次元空間モデルを実装(従来モデルに比べて最大100倍の計算速度)



避難訓練におけるステレオカメラを用いた人流の計測(北九州)



関門海峡花火大会における人流計測とシミュレーション



浸水データを重畳した北千住エリアの避難シミュレーション

- 2009-2011年度 NEDO産業技術研究助成事業
「ステレオビジョンとシミュレーション技術の統合による大型複合施設での人流解析と新しいサービスモデルの創出」
- 2011-2014年度 JST さきがけ「情報環境と人」
「複合階層モデルを用いた都市エリアシミュレーションの開発と利用方法の確立」
- 2014-2018年度 内閣府 SIP:レジリエントな防災・減災機能の強化
「巨大都市・大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援アプリケーションの開発」

5

SIP課題:レジリエントな防災・減災機能の強化

「巨大都市・大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援アプリケーションの開発」

- 工学院大学、東京電機大学、土木研究所、産業技術総合研究所
- 代表：久田 嘉章 教授（工学院大学 建築学部）

- 対象地域：巨大都市の大規模ターミナル駅（新宿駅、北千住駅）周辺エリア
- 開発項目：災害関連情報に対する適切な「対応」行動の実現を支援するアプリケーション
「予測」・「予防」のためのシステムとアプリケーション

産総研担当：
群集シミュレーションによる
ハザード・リスク評価

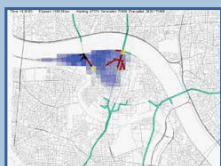


図1 浸水データを重畳した北千住エリアの避難シミュレーション(7万人)



図2 東京都の進める二段階避難を北千住エリアのシミュレーション(7万人)で検証

産総研の開発する歩行者
シミュレータ CrowdWalk で
広域避難の高速な検証を実現

震災・水害・複合災害の想定と被災レベルに対応した事前行動計画の策定
災害対応支援アプリケーションへの実装

エリア特性に応じた複合災害の
予測技術の開発



震災・水害・複合災害の想定

適用

エリア災害予防のための
アプリケーションの開発



被災レベルに対応した
事前行動計画の策定

【対象エリア：新宿駅周辺地域、北千住駅周辺地域】

災害関連情報(SIP①～⑥)

配信

エリア災害対応支援アプリケーション開発

工学院大

東京電大



対応支援サーバーの開発

受信アプリの開発

配信

受信



来街者・従業員・市民
(サイネージ、スマホ等)



災害対応従事者
(タブレットPC、PC等)

新宿エリア(震災)：工学院大、北千住エリア(水害)：東京電大

千住エリアにおける二段階避難の評価

- 千住エリアにおける災害状況に応じた避難者数の推計
 - 一時集合場所が避難先として選ばれていない
 - 道路混雑により自宅滞在者数が増加
- 群集流動シミュレーションによる二段階避難の評価
 - 全体としての時間的・空間的な分散が重要
 - 一時集合場所を利用した二段階避難は有効な避難方法

避難方法1：全員が広域避難場所に直接移動

経路分散1：全員が同じ経路で移動



避難方法3：全員が二段階避難

経路分散3：3分割して異なる広域避難場所に移動

再移動開始分散1：発災後30分後or50分後or70分後に再移動開始



7

平常時への適用

- 来場者へのアプローチを含めた総合的な支援
 - 情報配信・計測・シミュレーション技術を運営サイドに提供

どうやって変えるか？

- 混雑情報配信ウェブサイトの実施
- ガイドプロジェクトの実施

何が起きるか？

- 歩行者シミュレーションによる一斉帰宅防止策の検証

関門海峡花火大会の歩行者シミュレーション



人の流れのデザイン

人の流れの誘導

人の流れの計測



混雑情報配信サイト

「J-モノの花火混雑マップ」



ガイドプロジェクトの実施例



何が起きているか？

- ステレオカメラ、ビデオカメラによる帰宅状況の計測

ステレオカメラによる人流計測の例

平常時への適用

来場者へのアプローチを含めた総合的な支援

－ 情報配信・計測・シミュレーション

どうやって変えるか？

- ・混雑情報配信ウェブサイトの実施
- ・ガイドプロジェクションの実施



混雑情報配信
サイト

「じーもの花火混雑マップ」



ガイドプロジェクションの
実施例

人の流れの
誘導

人の流れ



ステレオカメラによる
人流計測の例

流動制御支援サービスの適用

来場者へのアプローチを含めた総合的な支援

－ 情報配信・計測・シミュレーション技術を運営サイドに提供

どうやって変えるか？

- ・混雑情報配信ウェブサイトの実施
- ・ガイドプロジェクションの実施



混雑情報配信
サイト

「じーもの花火混雑マップ」



ガイドプロジェクションの
実施例

人の流れの
誘導

人の流れの

人の流れ
予測

何が起きるか？

- ・歩行者シミュレーションによる、帰還防止策の検証

関門海峡花火大会の
歩行者シミュレーション



流動制御支援サービスの適用

- 来場者へのアプローチを含めた総合的な支援
 - 情報配信・計測・シミュレーション技術を運営サイドに提供

どうやって変えるか？

- 混雑情報配信ウェブサイト
- ガイドプロジェクト



混雑情報配信
サイト

「じーもの花火混雑マップ」



ガイドプロジェクトの
実施例



ステレオカメラによる
人流計測の例

関門海峡花火大会の
歩行者シミュレーション



何が起きるか？

・ビデオ

カメラによる帰宅状況の計測

流動制御支援サービスの適用

- 来場者へのアプローチを含めた総合的な支援
 - シミュレーション技術を運営サイドに提供

どうやって変えるか？

- 混雑情報配信ウェブサイト
- ガイドプロジェクト



混雑情報配信
サイト

「じーもの花火混雑マップ」

ガイドプロジェクトの
実施例

何が起きるか？

- 歩行者シミュレーションによる一斉帰宅防止策の検証

人の流れの
予測

人の流れの
デザイン

人の流れの
計測

関門海峡花火大会の
歩行者シミュレーション



何が起きているか？

- ステレオカメラ、ビデオカメラによる帰宅状況の計測

ステレオカメラによる
人流計測の例

発表内容

- 発表概要
- 研究紹介
- シミュレーション環境の構築
 - 大規模群集流動の制御に向けた歩行者シミュレータ CrowdWalk の開発
- シミュレーションの適用
 - 新宿エリアの地震時を想定した群衆移動
- まとめ

13

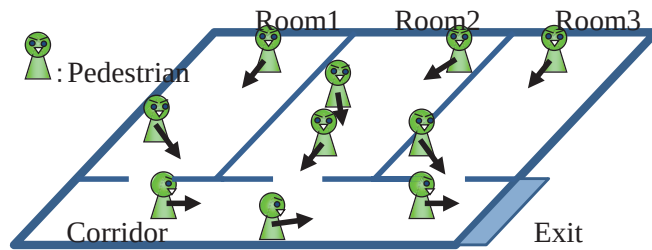
歩行者シミュレーションの課題

- 技術的な課題
 - 大規模な群集流動を扱えない
 - 多数の試行を容易に実行できない
- シミュレーション環境の構築
 - 基本方針：「モデルは軽く、試行は多く」
 - 1 試行分は分散処理せずに市販PCレベルで稼働
 - 多数の試行を行うことで系の振舞を把握
 - 歩行者シミュレータ CrowdWalk の開発
 - 一次元空間モデルの実装

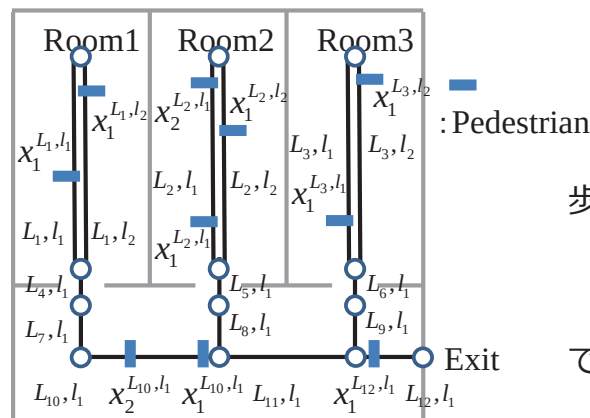
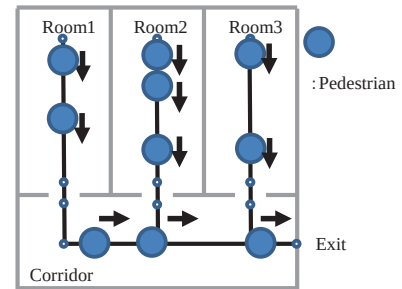
14

一次元空間モデル

実際の歩行者の移動状況



歩行可能領域をリンクで表現

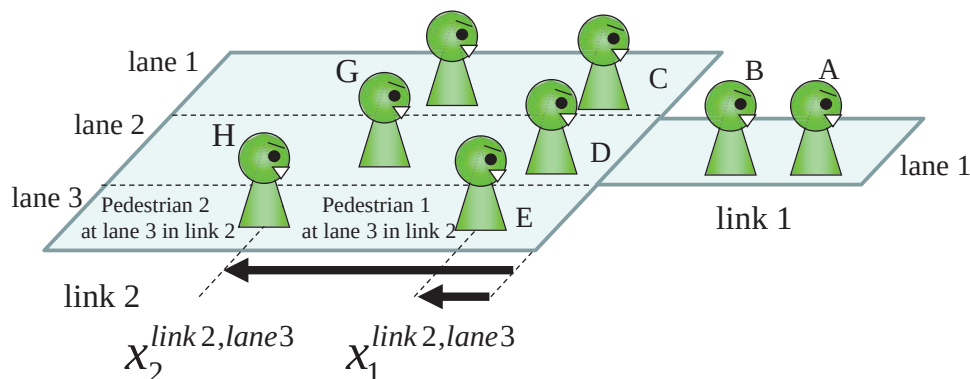


歩行者の位置は、
・リンク、
・レーン、
・リンクの端からの距離
で表される

15

追従モデル

- 近傍の歩行者との相互作用を直前の歩行者1名に限定
 - 直前の歩行者との距離から加速度を決定



歩行者の速度関数
(Helbing1995の応用)

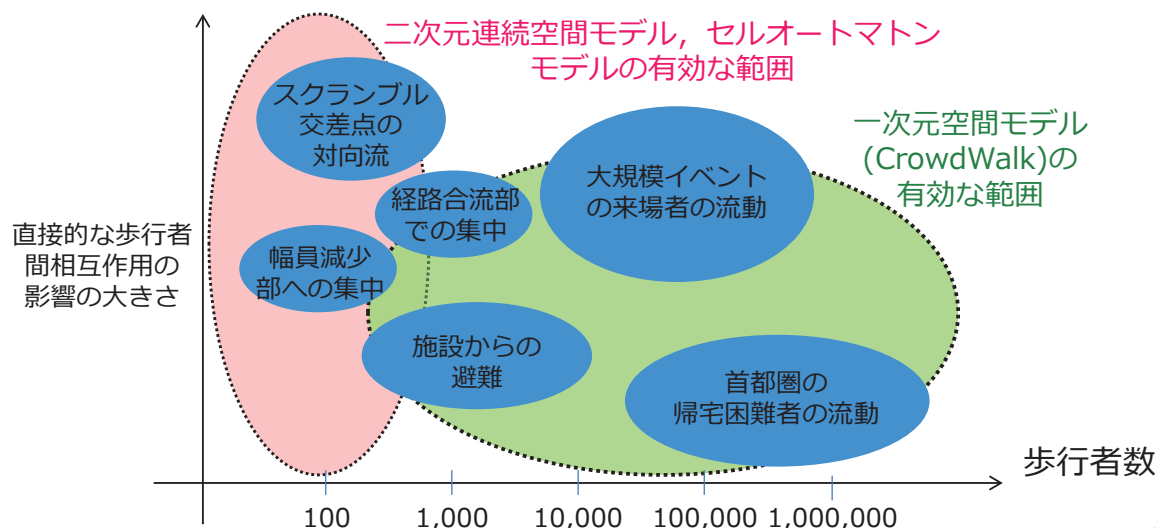
$$m\dot{x}_i(t + \Delta t) = m\dot{x}_i(t) + \frac{v^0 - \dot{x}_i(t)}{a_0} - a_1 \exp \frac{r - (x_i(t) - x_{i-w}(t))}{a_2}$$

Driving Force(加速項) Social Force(減速項)

$x_i(t)$: 歩行者 i の位置 m : 歩行者の質量 r : 歩行者の半径
 a_0, a_1, a_2 : 正の実数 v^0 : 自由流速度 w : 仮想レーン数

16

各空間モデルの有効な対象



17

歩行者シミュレータ CrowdWalk 1

特徴

- 計算速度：実時間の50倍(1,000人規模)
- 津波浸水や気体拡散との連成

1. シミュレーションエンジン

- 歩行者数：最大100万人
- 一次元空間モデル上に3つの移動モデルを実装
 - 移動モデル
 - 初期設定を変えずに移動モデルの切り替え可能
 - 1. 追従モデル
 - 2. 密度モデル
 - 3. 期待密度モデル
 - 経路探索モデル
 - 指定経由地を最短経路を選択

18

歩行者シミュレータ CrowdWalk 2

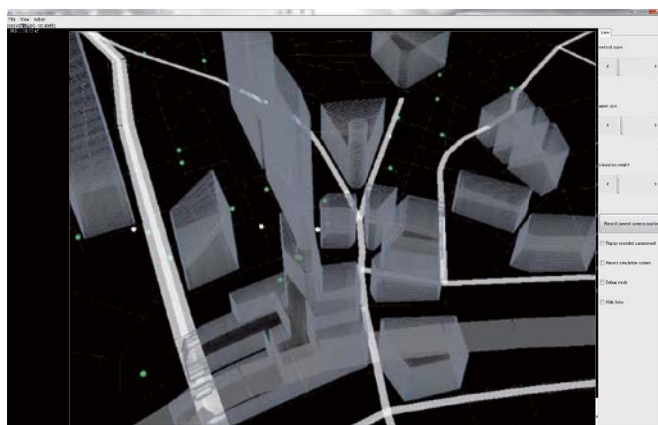
2. ネットワークマップエディタ

- 空間規模：最大10km四方
 - 歩行可能領域のインポート
 - 市販のナビゲーション道路地図
 - 歩行者ネットワークデータ

3. 3Dビューア



ネットワークマップエディタ

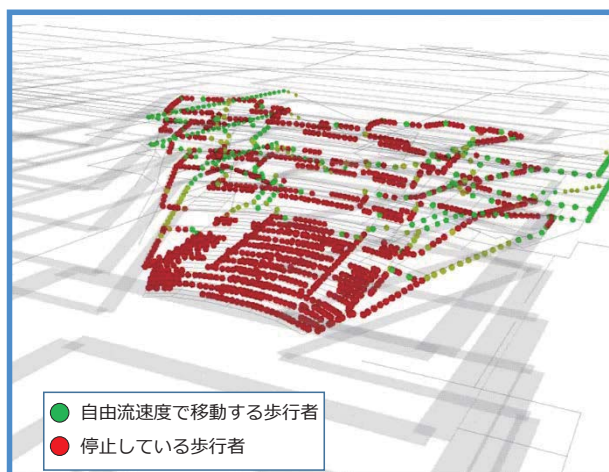


3Dビューア

19

CrowdWalk の適用事例

CrowdWalk の適用事例1 新国立劇場の避難シミュレーション



CrowdWalk の適用事例2 和歌山県太地町を対象とした 津波避難シミュレーション



発表内容

- 発表概要
- 研究紹介
- シミュレーション環境の構築
 - 大規模群集流動の制御に向けた
歩行者シミュレータ CrowdWalk の開発
- シミュレーションの適用
 - 新宿エリアの地震時を想定した群衆移動
- まとめ

21

目的

- 新宿エリアにおける混雑状況を把握
 - 新宿ルール実践のための行動指針を検証
 - 1 むやみに移動しない
 - むやみに移動せず、職場や外出先に待機する
 - 待機することが危険な場合には、地域の避難場所
(東口地域:新宿御苑、西口地域:新宿中央公園) 等に避難し、そこで待機する
- 「新宿ルール実践のための行動指針」より
– <https://www.city.shinjuku.lg.jp/content/000201845.pdf>
- 行動指針が守られなかったら、どうなるか

22

シミュレーションのワークフロー

1. シミュレーションシナリオの決定
– シナリオ
 - 初期配置、行動方針、評価値
 - 連成データ(津波)
2. シミュレーションの実装
– 新機能の追加実装
3. シミュレーションの実行
4. シミュレーション結果の分析

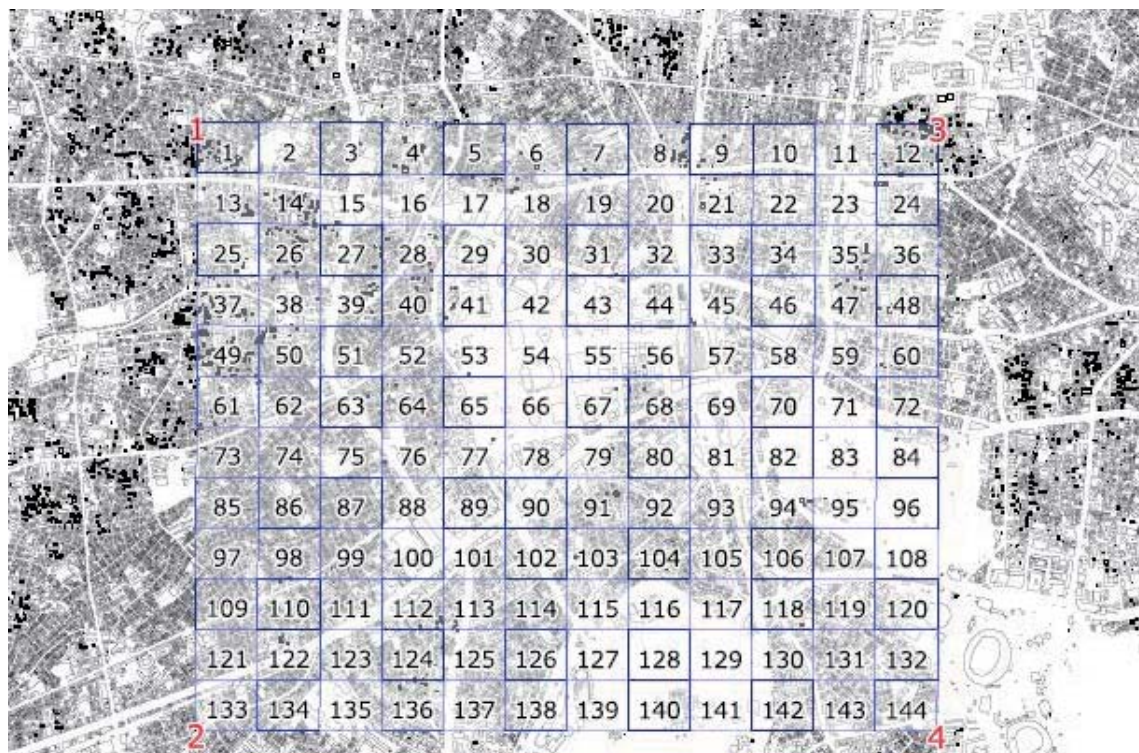
23

シミュレーションの対象範囲



24

シミュレーションの対象範囲



対象範囲を144のメッシュに分割 → メッシュごとの発生人数を設定

避難者データの作成

各メッシュの滞在者数の算出

1. メッシュごとに、建物の使用用途別に、延べ床面積を算出
 - 官公庁施設、教育文化施設、etc.
2. 各施設に定められた人口係数・時間係数を面積にかけて、メッシュごとの屋内人口を算出
3. 屋内人口から路上滞留者の人口を算出して、屋内と屋外の人口比を決定
4. 3.で決めた人口比でモバイル空間統計の人口を屋内と屋外に割り振って各メッシュの屋内外の人口とする
 - モバイル空間統計の利用
 - 2015年4月・平日平均・15時を利用

屋内避難者数	450,887
屋外避難者数	15,158
地下街避難者数	9,459
計	475,504

避難者数の決定

- 各メッシュの滞在者の中で、指定した割合が新宿ルールに従わない避難行動を取る
 - 新宿御苑、新宿中央公園の近い方に移動
- シミュレーションに登場する避難者となる

避難行動とシナリオの設定

- シナリオ1
 - 避難者が新宿御苑または新宿中央公園の近い方に移動
- シナリオ2
 - 避難者の50%が新宿御苑または新宿中央公園の近い方に移動
 - 残り50%は新宿駅周辺まで行ってから、新宿御苑または新宿中央公園の近い方に移動

赤い点が
新宿駅周辺を示す



- シナリオ1、2の共通設定
 - 避難者発生期間は2時間で一様発生
 - 経路地点、目的地に対して距離最短経路で移動

27

シミュレーション設定

- シナリオ1における避難者数の設定

シナリオ1	屋内からの避難者数(人)	屋外からの避難者数(人)	地下街からの避難者数(人)	計
屋内人口の避難場所への移動率(%)	直接移動			
5	22,544	15,158	9,459	47,161
10	45,089	15,158	9,459	69,706
15	67,633	15,158	9,459	92,250
20	90,177	15,158	9,459	114,794
25	112,722	15,158	9,459	137,339
30	135,266	15,158	9,459	159,883
35	157,810	15,158	9,459	182,427
40	180,355	15,158	9,459	204,972

28

シミュレーション設定

・シナリオ2における避難者数の設定

シナリオ2	屋内からの避難者数(人)		屋外からの避難者数(人)	地下街からの避難者数(人)	計
屋内人口の避難場所への移動率(%)	直接移動	駅周辺経由			
5	11,272	11,272	15,158	9,459	47,161
10	22,544	22,544	15,158	9,459	69,706
15	33,817	33,817	15,158	9,459	92,250
20	45,089	45,089	15,158	9,459	114,794
25	56,361	56,361	15,158	9,459	137,339
30	67,633	67,633	15,158	9,459	159,883
35	78,905	78,905	15,158	9,459	182,427
40	90,177	90,177	15,158	9,459	204,972

29

シミュレーション結果1

シナリオ1	屋内からの避難者数(人)	屋外からの避難者数(人)	地下街からの避難者数(人)	計
屋内人口の避難場所への移動率(%)	直接移動			
5	22,544	15,158	9,459	47,161



30

シミュレーション結果2

シナリオ2	屋内からの避難者数(人)		屋外からの避難者数(人)	地下街からの避難者数(人)	計
屋内人口の避難場所への移動率(%)	直接移動	駅周辺経由			
5	11,272	11,272	15,158	9,459	47,161



31

シミュレーション結果3

シナリオ1	屋内からの避難者数(人)	屋外からの避難者数(人)	地下街からの避難者数(人)	計
屋内人口の避難場所への移動率(%)	直接移動			
30	135,266	15,158	9,459	159,883



32

シミュレーション結果4

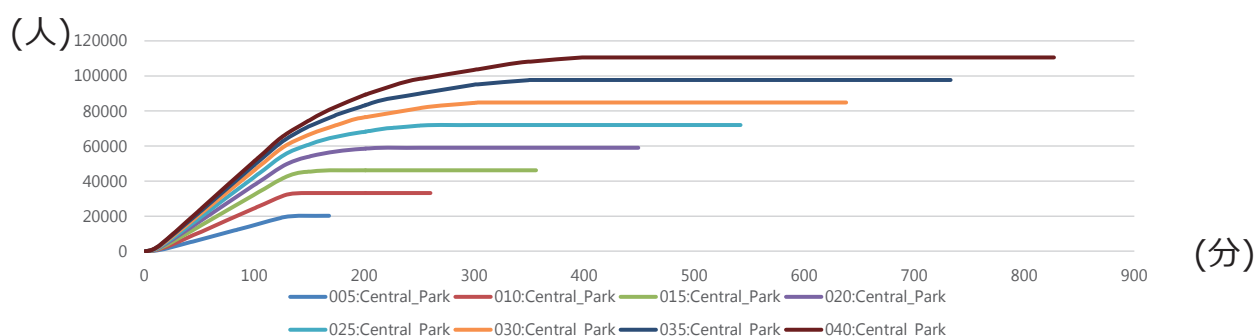
シナリオ2	屋内からの避難者数(人)		屋外からの避難者数(人)	地下街からの避難者数(人)	計
屋内人口の避難場所への移動率(%)	直接移動	駅周辺経由			
30	67,633	67,633	15,158	9,459	159,883



33

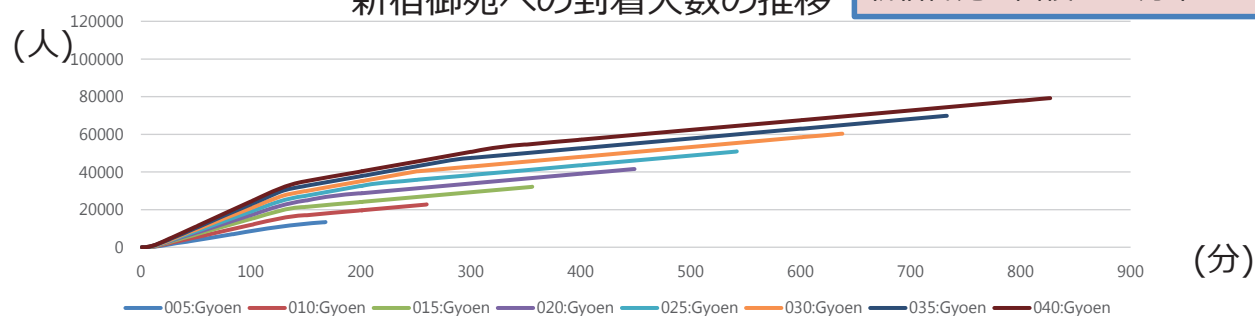
避難先への到着人数(シナリオ1)

新宿中央公園への到着人数の推移



新宿御苑への到着人数の推移

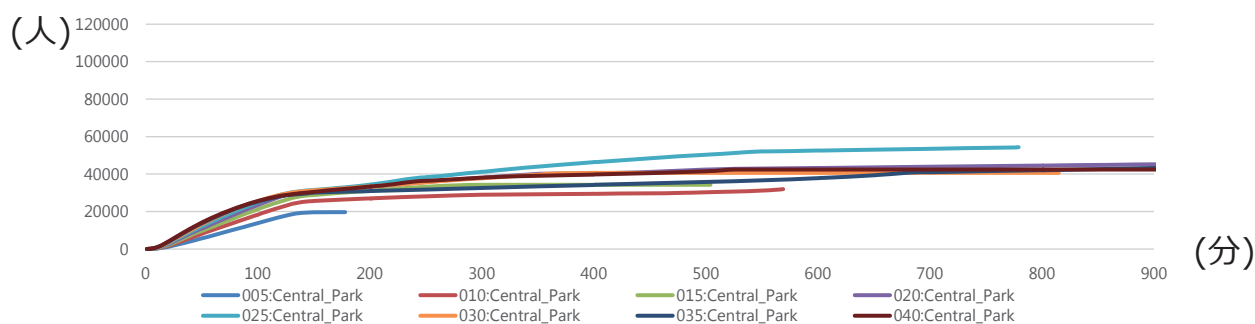
新宿中央公園の面積：8.8万㎡
新宿御苑の面積：58万平方㎡



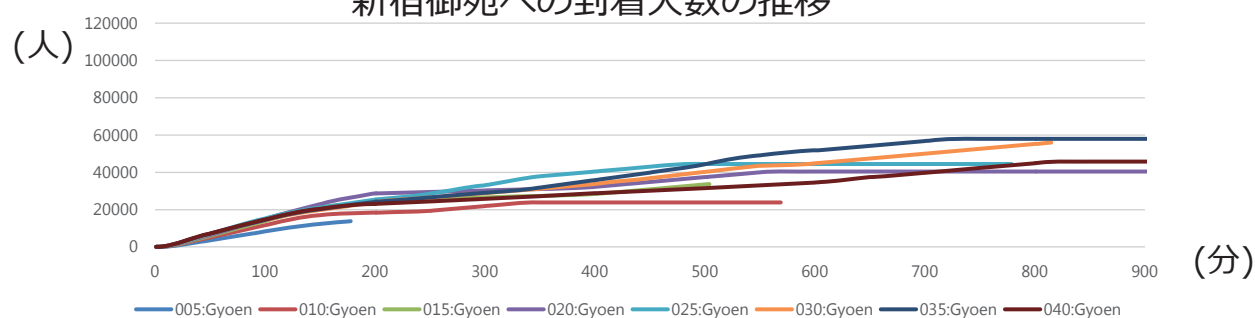
34

避難先への到着人数(シナリオ2)

新宿中央公園への到着人数の推移



新宿御苑への到着人数の推移



35

考察

- 避難者の増加は混雑の悪化につながる
 - 新宿ルール of 行動方針「むやみに移動しない」の徹底
 - グリッドロックが発生する場合もある
- 避難場所に関する注意
 - 新宿御苑はスペースはあるが入口が少ない
 - 周辺で混雑発生 → 混んでいる入口を避けて分散する誘導
 - 新宿中央公園は入口が多いがスペースが少ない
 - 公園が満杯になった場合の対策が必要
- 新宿駅に立ち寄る人が増えると駅前の混雑が悪化
 - 立ち寄る前：駅周辺から移動する避難者が分散させる誘導
 - 立ち寄られた後：対向流を防ぐ誘導

新宿御苑の面積：58万 m^2
新宿中央公園の面積：8.8万 m^2

まとめ

- 新宿エリアの地震時を想定した群衆移動に関して、前半の現状の把握に引き続いて、状況の可視化・予測を行う
 - 新宿エリアにおける混雑状況を算出
- シミュレーションによる検証
 - 新宿ルール「むやみに移動せず、職場や外出先に待機する」が守られない場合には、混雑が悪化
 - 新宿駅に立ち寄ることも混雑が悪化
 - 新宿ルールの順守の重要性