

# NIED-NU会

## 廣井話題提供 「大都市複合災害避難シミュレーション (622万人シミュレーション)の構築」

東京大学大学院 工学系研究科 都市工学専攻  
都市情報・安全システム研究室  
准教授 廣井 悠

2017年2月11日(土)

# 研究のポイント

## □世の中に避難シミュレーション研究は数多いが... 複合災害&大都市域を対象としたものは皆無

例えば仙台行動枠組などでは...

- IV. 優先行動 出展: 国連防災会議(2015)
- 優先事項 1: 災害リスクの理解
  - ☆ 関連データの収集・分析・管理・活用
  - ☆ **災害が複合的に発生する可能性を含めた災害リスク評価**
  - ☆ 地理空間情報の活用, 防災教育, 普及啓発, サプライチェーン

複合災害リスクに対応する必要性が近年、示唆され始めている



複合災害を考える場合、一番重要な問題のひとつが**避難行動**

なぜなら、避難は災害ごとに大きく異なる

(ので、ハザード別に避難計画を作ることが多いが、

複合災害からの避難は想定外となっていることが多い)

そして、大都市は複合災害リスクがとてつもない

# 大都市複合災害避難シミュレーション(廣井2015)

つまり普通の避難シミュレーションは狭い領域で単一の災害から  
徒歩で逃げる避難を想定しますが、ここですすめようとしている研究は

**大都市複合災害避難シミュレーション(大領域/複合災害/車と人両方)の開発**

「帰宅困難者が一斉に全員帰った場合」などの広域的な移動と  
地域単位の複合災害からの避難を同時に考えた避難シミュレーション  
(前例がないだけに試行錯誤中)

### 昨年度の作業内容

まずは「広域」に注目し、帰宅困難者が一斉に  
全員帰るとどうなるかシミュレーション(600万人シミュレ  
ーション)をつかったのちに、市街地火災の避難と重ね合わせた

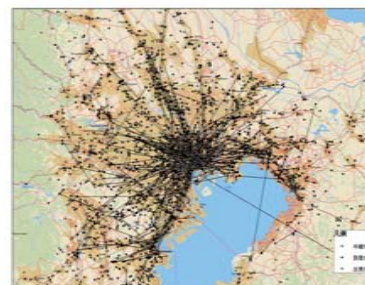
### 具体手順

1. 東日本大震災の帰宅実績データから帰宅意志モデルを構築
2. これに基づき、PT調査の小ゾーンごとに徒歩帰宅・滞留・車帰宅などを計算
3. マルチエージェント型のシミュレーションを構築(交差点毎に最短時間で経路探索)
4. 様々なケースをもとに混雑度を比較
5. 市街地火災避難との重ね合わせ

# 大都市複合災害避難シミュレーション(廣井2015)

### 具体手順

1. 東日本大震災の帰宅実績データから帰宅意志モデルを構築
2. これに基づき、PT調査の小ゾーンごとに徒歩帰宅・滞留・車帰宅などを計算
3. マルチエージェント型のシミュレーションを構築(交差点毎に最短時間で経路探索)
4. 様々なケースをもとに混雑度を比較
5. 市街地火災避難との重ね合わせ

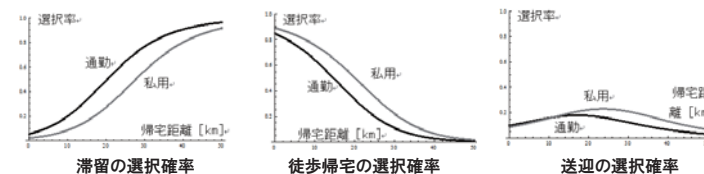


$$L^* = \prod_{k \in K} \prod_{j \in J} p_{jk}^{\delta_{jk}} \quad \text{非集計Logitモデルを構築し、Newton-Raphson methodでパラメータ推定}$$

$$L = \ln L^* = \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \delta_{jk} \cdot \ln p_{jk}$$

	その場に滞留	徒歩帰宅
帰宅距離	0.0797 **	-0.0761 **
安否確認できず 困ったかどうか	0.3030	0.3617
勤務中かどうか	0.8238 **	-0.1762 **
高齢者かどうか	0.0178	0.3208
定数項	-1.3960 **	2.3340 **
自由度調整尤度比	0.362	

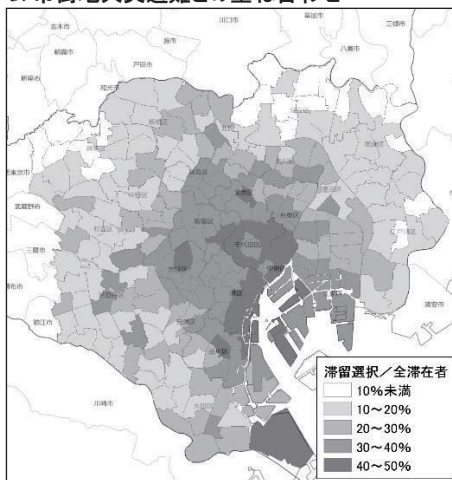
2011年3月11日の  
徒歩帰宅者の移動データ



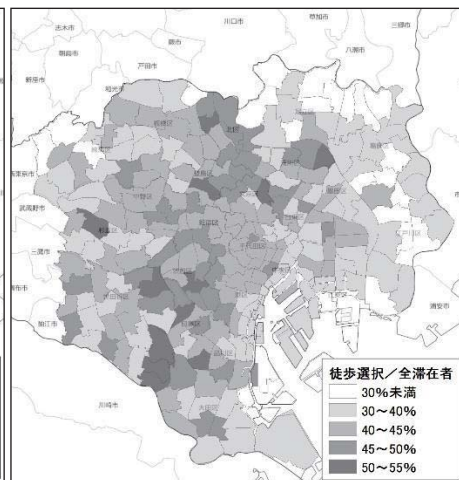
# 大都市複合災害避難シミュレーション(廣井2015)

## 具体手順

1. 東日本大震災の帰宅実績データから帰宅意志モデルを構築
2. これに基づき、PT調査の小ゾーンごとに徒歩帰宅・滞留・車帰宅などを計算
3. マルチエージェント型のシミュレーションを構築(交差点毎に最短時間で経路探索)
4. 様々なケースをもとに混雑度を比較
5. 市街地火災避難との重ね合わせ



滞留する割合

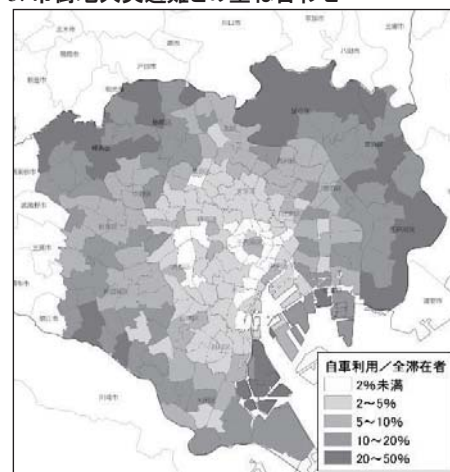


徒歩帰宅を行う割合

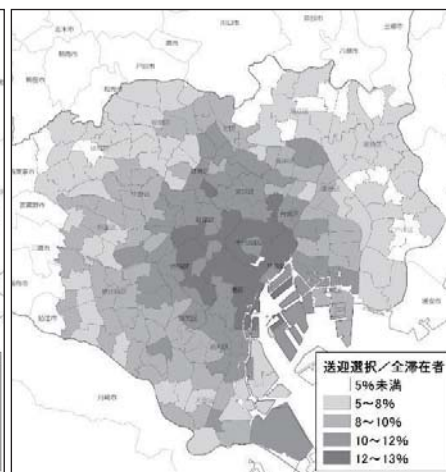
# 大都市複合災害避難シミュレーション(廣井2015)

## 具体手順

1. 東日本大震災の帰宅実績データから帰宅意志モデルを構築
2. これに基づき、PT調査の小ゾーンごとに徒歩帰宅・滞留・車帰宅などを計算
3. マルチエージェント型のシミュレーションを構築(交差点毎に最短時間で経路探索)
4. 様々なケースをもとに混雑度を比較
5. 市街地火災避難との重ね合わせ



自分の自動車帰宅する割合



送迎を選択する割合

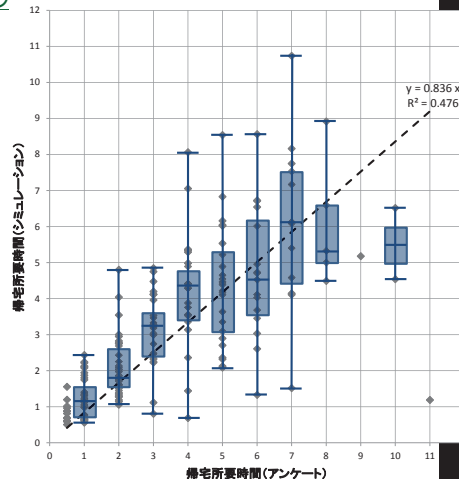
# 大都市複合災害避難シミュレーション(廣井2015)

## 具体手順

1. 東日本大震災の帰宅実績データから帰宅意志モデルを構築
2. これに基づき、PT調査の小ゾーンごとに徒歩帰宅・滞留・車帰宅などを計算
3. マルチエージェント型のシミュレーションを構築(交差点毎に最短時間で経路探索)
4. 様々なケースをもとに混雑度を比較
5. 市街地火災避難との重ね合わせ

$$R^2 = 0.48$$

アンケート結果の帰宅所要時間とシミュレーションの帰宅所要時間の関係を箱ひげ図で示したものを→それなりのあてはまり数字と合うようキャリブレーション



- 徒歩の移動速度は4km/hとする。
- 1.5人/m<sup>2</sup>から速度が低減、6人/m<sup>2</sup>で動けない(この設定は中央防災会議より引用)。
- 歩く道路はDRMデータ(平成26年)の一般都道府県道以上及び道路交通センサス(平成22年)対象道路
- 歩道幅は道路交通センサスの歩道幅データを使用、道路交通センサス対象外の歩道幅については片側1m×両側

### 車両移動の条件

- 車両密度の最大値は150台/km。
- 100台/km以上では下式が成り立つよう設定  

$$\rho_{car} = 1000V_{car}^{-1.0}$$
- ただし歩道の混雑度が0.5人/m<sup>2</sup>以上は下式になるよう(自動車は歩行者の影響を受ける)  

$$\rho'_{car} = 750V_{car}^{-1.3}$$
- 使う道路は徒歩移動と同じ

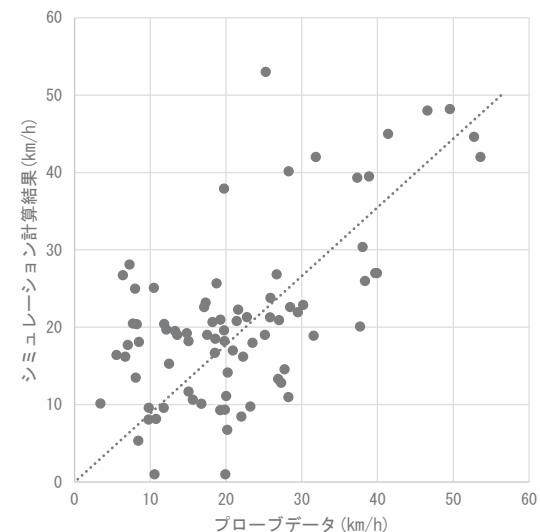
# 大都市複合災害避難シミュレーション(廣井2015)

## 具体手順

1. 東日本大震災の帰宅実績データから帰宅意志モデルを構築
2. これに基づき、PT調査の小ゾーンごとに徒歩帰宅・滞留・車帰宅などを計算
3. マルチエージェント型のシミュレーションを構築(交差点毎に最短時間で経路探索)
4. 様々なケースをもとに混雑度を比較
5. 市街地火災避難との重ね合わせ

**車道の検証は  
ビックデータを利用**  
ただしお金がかかるため、  
とりえずサンプル数をN=81  
(これで50万)  
**相関係数0.52**  
(まだまだ改善の余地あり...)

車道については、東日本大震災発生時の携帯端末による経路探索サイト(株式会社ナビタイムジャパン)利用者のプローブデータ(東京23区内、トリップ移動距離1km以上、震災直後から6時間後までの移動)で抽出: サンプル数81区間)をもとに、シミュレーションケース1の区間別移動速度を比較して検証



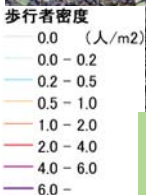
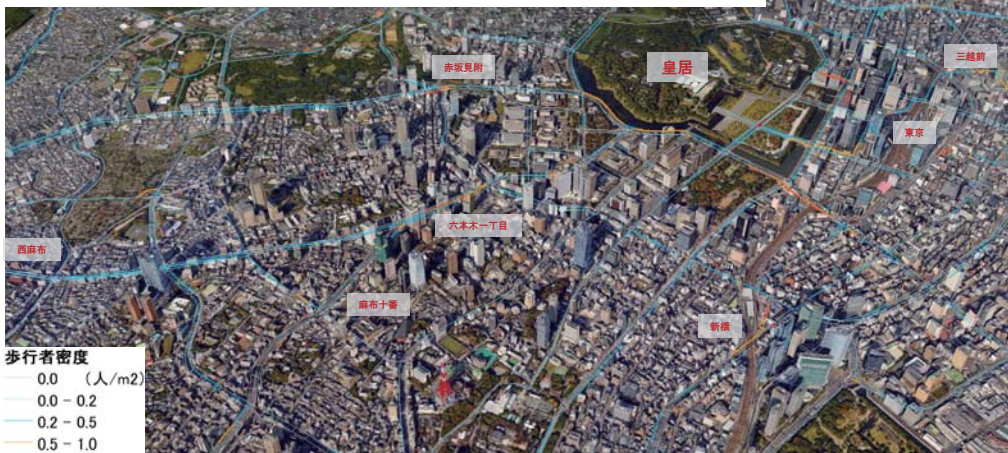
廣井(2015)の600万人シミュレーションで巨大災害後の交通渋滞を予測



具体手順

1. 東日本大震災の帰宅実績データから帰宅意志モデルを構築
2. これに基づき、PT調査の小ゾーンごとに徒歩帰宅・滞留・車帰宅などを計算
3. マルチエージェント型のシミュレーションを構築(交差点毎に最短時間で経路探索)
4. 様々なケースをもとに混雑度を比較
5. 市街地火災避難との重ね合わせ

東京中心部



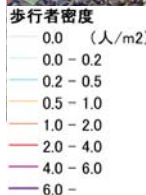
多く人が多いとはいえ、  
群集なだれに繋がるような歩道  
の密集渋滞は起きていない

東日本大震災時を再現(歩道+発災1時間後)

廣井(2015)の600万人シミュレーションで巨大災害後の交通渋滞を予測



東京中心部



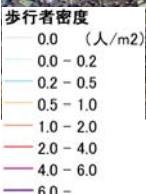
1m<sup>2</sup>前後の密集状態が  
あちこちで発生(人的被害のリスク大)

一斉帰宅すると(歩道+発災1時間後)

廣井(2015)の600万人シミュレーションで巨大災害後の交通渋滞を予測



東京中心部



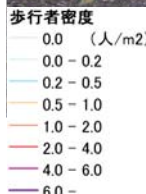
5時間立てば都心部の過密状態  
の場所は非常に少なくなる

一斉帰宅から5時間後(歩道+発災5時間後)

廣井(2015)の600万人シミュレーションで巨大災害後の交通渋滞を予測



東京西部



歩道の密集渋滞は  
ほとんど起きていない

東日本大震災時を再現(歩道+発災1時間後)

廣井(2015)の600万人シミュレーションで巨大災害後の交通渋滞を予測

東京西部



13

廣井(2015)の600万人シミュレーションで巨大災害後の交通渋滞を予測

東京西部



14

廣井(2015)の600万人シミュレーションで巨大災害後の交通渋滞を予測

東京都港区



15

廣井(2015)の600万人シミュレーションで巨大災害後の交通渋滞を予測

東京都港区



16

廣井(2015)の600万人シミュレーションで巨大災害後の交通渋滞を予測

東京都港区



廣井(2015)の600万人シミュレーションで巨大災害後の交通渋滞を予測

東京中心部



廣井(2015)の600万人シミュレーションで巨大災害後の交通渋滞を予測

東京中心部



廣井(2015)の600万人シミュレーションで巨大災害後の交通渋滞を予測

東京中心部



# 廣井(2015)の600万人シミュレーションで巨大災害後の交通渋滞を予測



# 大都市複合災害避難シミュレーション(廣井2015)

## 具体手順

1. 東日本大震災の帰宅実績データから帰宅意志モデルを構築
2. これに基づき、PT調査の小ゾーンごとに徒歩帰宅・滞留・車帰宅などを計算
3. マルチエージェント型のシミュレーションを構築(交差点毎に最短時間で経路探索)
4. 様々なケースをもとに混雑度を比較
5. 市街地火災避難との重ね合わせ

## シミュレーションケースの特徴と結果

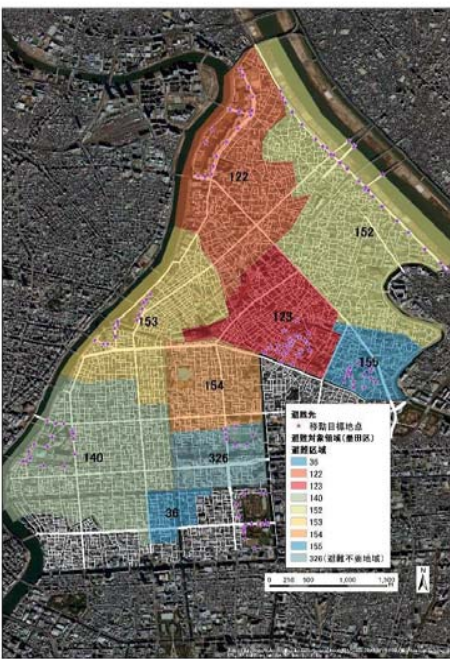
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
帰宅開始時間	東日本大震災時と同様	一斉	一斉	一斉	一斉
従業員の帰宅・滞留	東日本大震災時と同様	全員帰宅	半分が滞留	全員帰宅	全員帰宅
私用外出者の帰宅・滞留	東日本大震災時と同様	全員帰宅	全員帰宅	半分が滞留	全員帰宅
車両による帰宅	PT調査の主要交通手段が自動車	PT調査の主要交通手段が自動車	PT調査の主要交通手段が自動車	PT調査の主要交通手段が自動車	PT調査の主要交通手段が自動車
車両による送迎	東日本大震災時と同様	東日本大震災時と同様	東日本大震災時と同様	東日本大震災時と同様	無し
1㎡6人以上の平均道路延長(歩道, km)	0.04	5.10	1.43	4.24	5.10
3km/h未満となる道路延長(車道, km)	1307	1529	1527	1537	576

車道は速度で評価  
歩道は混雑度で評価

# 市街地火災からの避難も考慮した622万人シミュレーション

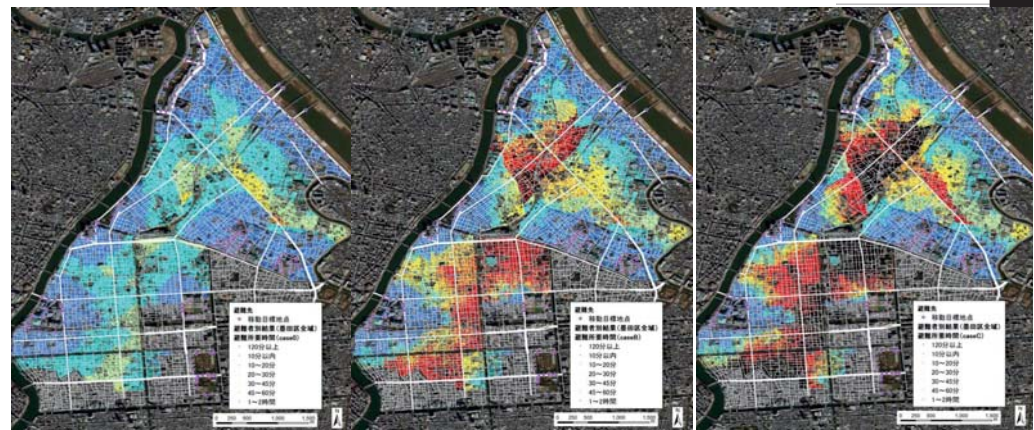
## 具体手順

1. 東日本大震災の帰宅実績データから帰宅意志モデルを構築
2. これに基づき、PT調査の小ゾーンごとに徒歩帰宅・滞留・車帰宅などを計算
3. マルチエージェント型のシミュレーションを構築(交差点毎に最短時間で経路探索)
4. 様々なケースをもとに混雑度を比較
5. 市街地火災避難との重ね合わせ



- 延焼危険性の高い墨田区を対象に、対象地域内の平日昼間での滞在者(PT調査により算出し、総計22万人)が各建物から指定広域避難場所へ移動するようシミュレーションを設定し、広域シミュレーションで対象とした幹線道路のみならず、細街路も避難行動に用いることとした。
- このもとで、広域シミュレーションケース(2)に従って帰宅困難者が一斉帰宅するものとし、道路閉塞する場合は閉塞確率を細街路1リンクあたり5%と設定し、様々なケースの下で避難完了時間分布を計算

# 墨田区の一例(地震火災避難との関係)



ケース0  
道路閉塞も混雑も帰宅者もいない場合の避難時間分布

ケースB  
混雑・道路閉塞を考慮し地震発生直後の避難時間分布

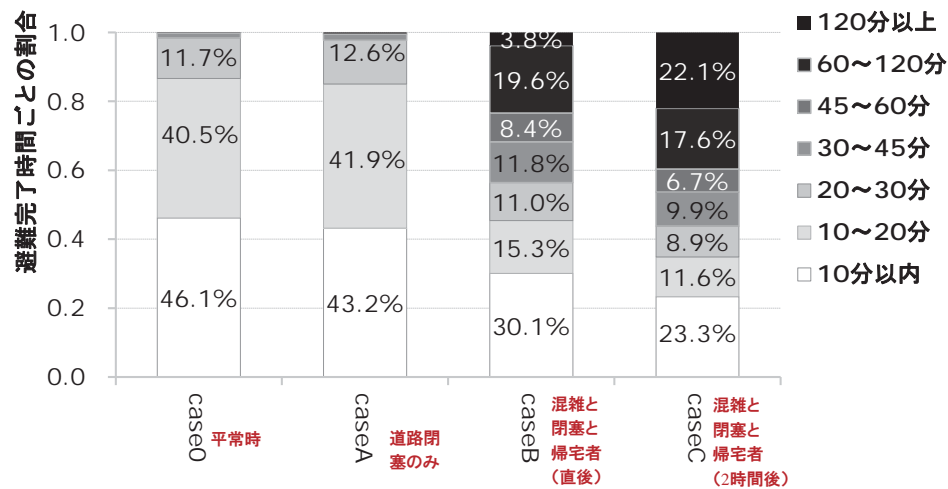
ケースC  
混雑・道路閉塞を考慮し地震発生2時間後の避難時間分布

つまり平常時に一人で公園に行く場合

地震発生直後(道路通過者少数)

地震発生2時間後(道路通過者多数)

## 墨田区の一例(地震火災避難との関係)



マップだと分かりづらいが、帰宅者による影響を考えると容易に避難場所までたどり着けないケースが急増!

普段なら99%の人が30分以内に自宅から広域避難場所まで行くことができるが、  
**混雑と道路閉塞と帰宅困難者の渋滞を考えるとその割合は半減!!**  
**約20%(48,471人)が近くの広域避難場所まで2時間以上もかかってしまう**

## 成果と今後の展開と課題

- **都市圏レベルの大規模シミュレーション(歩道・車道)**  
 帰宅困難者対策を評価できるようになった  
 (帰宅抑制/交通規制/消防活動の評価を今後行う)
- **複合災害シミュレーションへの展開**  
 昨年度は火災避難と(細街路の)道路閉塞を内生化  
 来年度以降は精緻化と津波、液状化を検討

### 課題はたくさん

- **精度を高める**  
 よりよい基礎データの取得とパラメータの設定  
 複合災害避難行動モデルの定式化(+社会調査)
- **様々な被災パターンを考える**  
 複合災害(津波や液状化)だけではなく、シナリオつまり、  
 広幅員道路の道路閉塞、出火点密度の多様性など