

# 東京都における大地震時の避難危険度と市街地性状との関連分析

## 岸本まき・大佛俊泰・沖拓弥・廣川典昭

### Relationships between Local Environment and Evacuation Risk in Tokyo Metropolitan Area Immediately after a Large Earthquake

Maki KISHIMOTO, Toshihiro OSARAGI, Takuya OKI and Noriaki HIROKAWA

**Abstract:** It has been difficult to evaluate the local evacuation risk after a large earthquake occurs. In this paper, using the simulation model previously proposed, we estimate the risk in wide-area evacuation under the condition of property damage in the aftermath of a large earthquake. Moreover, we analyze the relationships between local environment and evacuation risk with multiple regression analysis. Finally we discuss how to improve local environment for reducing the risk effectively.

**Keywords:** 大地震 (large earthquake), 避難危険度 (evacuation risk), 物的被害 (property damage), 避難シミュレーション (evacuation simulation), 市街地性状 (local environment), 重回帰分析 (multiple regression analysis)

#### 1. はじめに

大地震時に発生する物的被害が避難行動に与える影響を把握することは重要である。近年のコンピュータ技術の進展を背景に、複雑な避難行動を精緻にモデル化した上で、広域で避難シミュレーションを実行し、ミクロな空間単位で広域避難時の危険度（避難危険度）を評価することが可能になりつつある。

本稿では、建物・道路単位の物的被害と各建物からの避難行動を記述可能なシミュレーション技術（岸本ら，2016）を用いて、分析対象地域を東京都全域に拡大した上で、避難危険度に関わる指標を推定する。さらに、重回帰分析を用いて、避難危険度と市街地性状との関連を明らかにするとともに、避難危険度を効果的に低減するための手法について、定量的に検討する。

#### 2. シミュレーションモデルの構築

##### 2.1 物的被害モデル

物的被害モデルの概要を図-1に示してある。実績のある既往モデル（村尾・山崎，2000；国土交通省，2003）を統合し、建物・道路単位で物的被害を推定する。

##### 2.2 避難行動モデル

避難行動モデルの概要を図-2(a)に示してある。東京都内の全建物から、幅員が8m以上の道路に到達するまでの避難行動をモデル化している。避難者は、閉塞箇所を記憶しながら、目標とする幅員8m以上の道路までの最短経路を移動するものとする。ただし、経路上で道路閉塞に遭遇した場合は、記憶している閉塞箇所を考慮して避難経路を再探索し、避難を再開するものとした。

##### 2.3 シミュレーションの条件

東京都全域を分析対象地域として、計100通りの異なる物的被害ケースを想定した。市街地性状の影響を明確にするため、特定の震源ではなく、地表面最大速度（PGV）が一律66cm/

$P_R(PGV) = \Phi[(\ln(PGV) - \lambda) / \xi]$ $P_R$ : 建築物に被災ランク R 以上の被害が発生する確率 $R$ : 全壊・半壊の区別 $PGV$ : 地表面最大速度 [cm/s]		$\Phi$ : 標準正規分布の累積確率分布関数 $\lambda, \xi$ : 実構造種類 (木造・RC 造・S 造), 被災ランク, 築年次区分によって決定する係数
(a) 実構造・建築年次に基づく全壊確率モデル (村尾・山崎, 2000)		
$f_i(W) = \sigma(1.1753A - 0.0514) \cdot \exp(-W / (2.58P_{area}^{0.379} + 0.210F^{2.23} + 4.90A^{12}))$ $P_b(W) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - f_i(W))$ $P_b$ : 道路閉塞確率 $f_i$ : 沿道建物 i 棟による道路閉塞確率 $\sigma$ : その建物の倒壊有無 (全壊:1, 非全壊:0) $U$ : その道路における沿道建物の集合 $A$ : その建物の建蔽率 $W$ : 前面道路の幅員 [m] $P_{area}$ : 所属町丁目内の平均全壊割合 $F$ : 階数		
(b) 道路閉塞確率推定式 (国土交通省, 2003)		

図-1 物的被害モデル

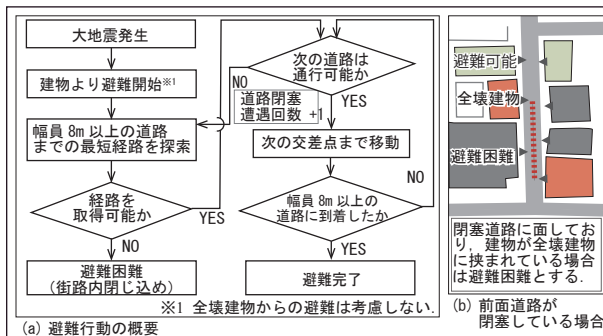


図-2 避難行動モデル

s の地震が到来すると想定した、物的被害 100 ケースについて、避難シミュレーションをそれぞれ 1 回実行し、避難危険度に関する指標（表-1）を町丁目単位で推定する。

### 3. 物的被害と避難危険度の空間分布

#### 3.1 物的被害の空間分布

建物全壊率と道路閉塞率の空間分布を図-3に示してある。いずれも区部において値が高く、特に、墨田区・荒川区・台東区・品川区西部などの木造住宅密集地域で深刻である。一方、市部では、建物全壊率の高い町丁目が一部見受けられるものの、道路閉塞率は全体的に低い。

#### 3.2 避難危険度の空間分布

避難危険度に関する各指標の空間分布を図-4(a)～(c)に示してある。避難困難率は、約 6 割の町丁目で 1% 未満の値を示すが、墨田区北部・荒川区などには、5% を超える値を示す町丁目が多く分布している（図-4(a)）。道路閉塞遭遇回数についても、避難困難率の空間分布と同様の傾向が見られる（図-4(b)）。また、増加移動距離は、7 割を超える町丁目において平均 10m 以

表-1 避難危険度に関する指標

名称	説明
1 避難困難率 [%] ※1	各町丁目の全建物数に占める、街路内閉じ込めになった建物数の割合
2 道路閉塞遭遇回数 [回/100m] ※2	100m 避難する間に道路閉塞に遭遇した回数
3 増加移動距離 [m] ※2	避難完了するまでの移動の中で、物的被害の影響によって増加した距離

※1 本研究は、避難活動時の危険度の評価を目的とするため、全壊建物内からの避難困難は、避難困難率には含めていない。  
 ※2 避難完了者の避難行動のみを対象とする。

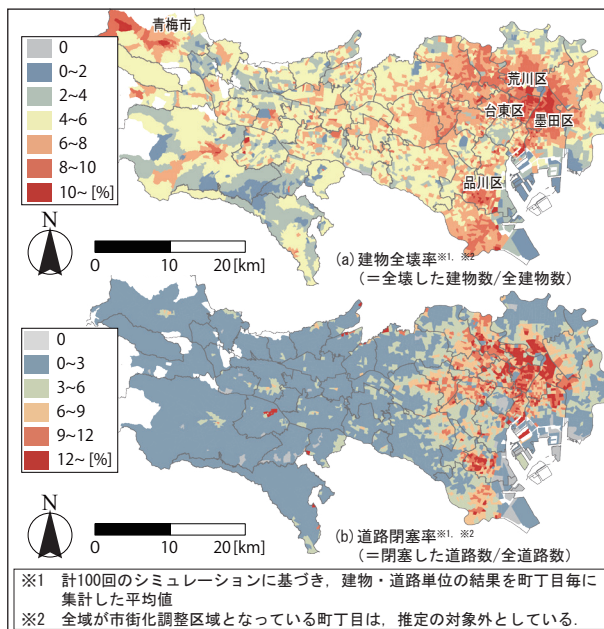


図-3 物的被害の空間分布

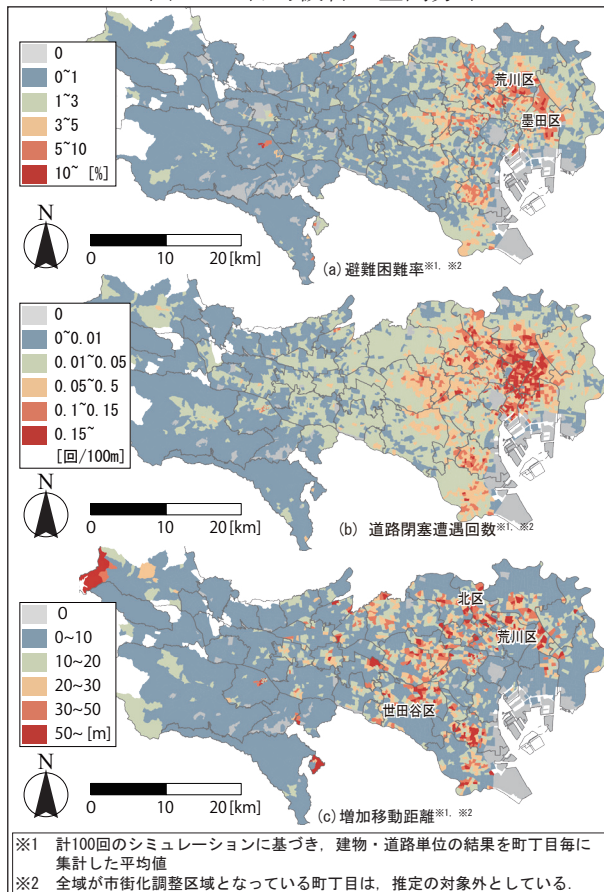


図-4 避難危険度の空間分布

下であり、多くの地域では道路閉塞による移動距離の増加は大きくない。一方、世田谷区北部・荒川区・北区などの町丁目においては、50mを超える避難距離の増加が見られる（図-4(c)）。

#### 4. 避難危険度と市街地性状との関連分析

##### 4.1 市街地特性変数を用いた重回帰分析

どのような要因（市街地性状）が避難危険度に影響を及ぼすのかを同定するため、表-2に示した説明変数（市街地特性変数）を用いて、町丁目単位の物的被害率（建物全壊率・道路閉塞率）と避難危険度（避難困難率・道路閉塞遭遇回数・増加移動距離）を記述する重回帰モデルを構築する。ステップワイズ法を用いて説明変数を選択し、推定したパラメータと推定精度を図-5、図-6に示してある。

##### 4.2 物的被害モデルの推定結果

建物全壊率と道路閉塞率のモデルは、いずれも記述力が高い（図-5(c), (d)）。建物全壊率は、旧耐震建物率と旧耐震木造建物率によって良好に記述できる（図-5(a)）。また、道路閉塞率は、建物全壊率と関係が強い旧耐震建物率だけでなく、グロス建蔽率や幅員4m以下の道路率などからも影響を受けることがわかる（図-5(b)）。

##### 4.3 避難危険度モデルの推定結果

各避難危険度は、いずれも道路閉塞率との関係が強い市街地性状から大きな影響を受けており（図-6(a)～(c)），高い記述力を持つ（図-6(d)～(f)）。パラメータの推定結果に基づけば、避難困難率や道路閉塞遭遇回数を低減させるためには、建物の耐震化や、狭隘道路に緊急避難路を設け、道路1本あたりの沿道建物数を低減させることが有効であると考えられる（図-6(a), (b)）。一方、増加移動距離は、幅員8m以下の道路率が高い地域で増加する（図-6(c)）。すなわち、広幅員道路が少ない地域において、災害時の主要な移動経路となりうる幅員8m以上の道路を整備することの重要性を示唆してい

表-2 モデル式に用いる市街地特性変数

(a) 建物に関する市街地特性変数（町丁目単位で集計した値）		
k	名称	説明
1	旧耐震建物率	全建物に占める、旧耐震基準に基づき建てられた建物の割合
2	旧耐震木造建物率	全建物に占める、旧耐震基準に基づき建てられた木造建物の割合
3	木造建物率	全建物に占める、木造建物の割合
4	グロス建蔽率	各街区内に存在する建物総面積の、街区面積に対する割合の平均値

(b) 道路に関する市街地特性変数（町丁目単位で集計した値）		
k	名称	説明
5	沿道建物数 [棟 / 本]	沿道建物の中で、道路境界線からの距離が4m以内の建物数の平均値
6	幅員4m以下の道路率	全道路に占める、道路幅員4m以下の道路の割合
7	幅員8m以下の道路率	全道路に占める、道路幅員8m以下の道路の割合
8	平均道路長 [m]	道路長（交差点間距離）の平均値
9	ノードリンク比 (NLR)	各交差点に接続する道路数の平均値

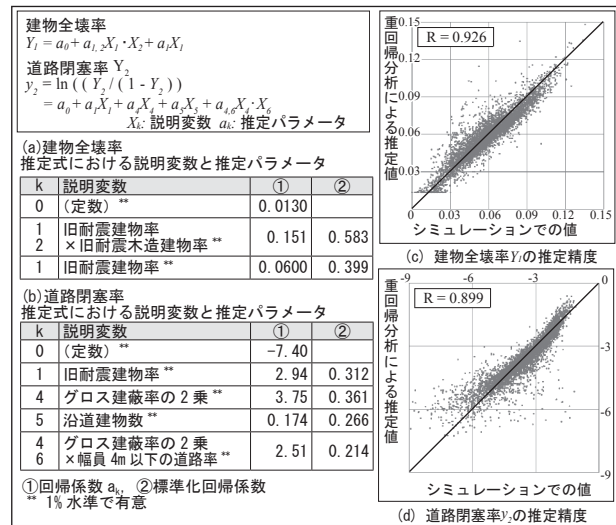


図-5 物的被害モデルの推定結果

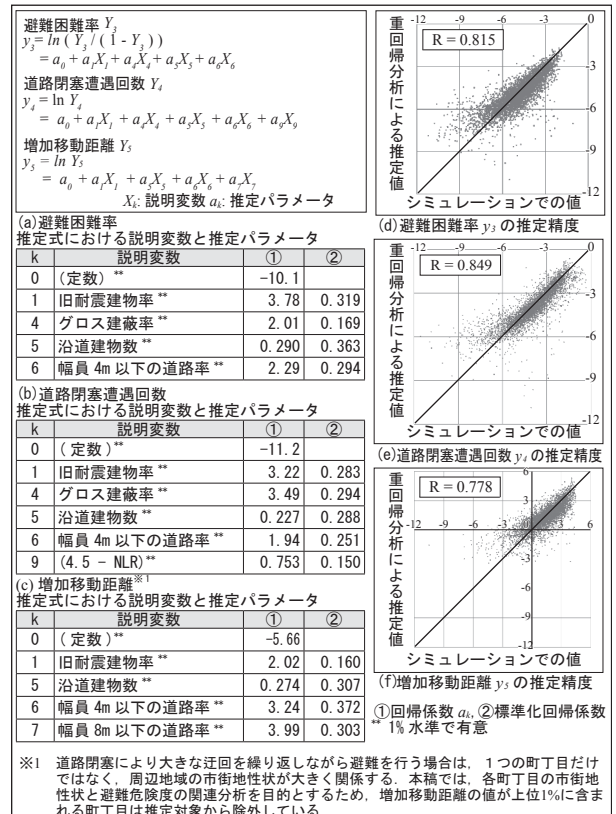


図-6 避難危険度モデルの推定結果



る。

#### 4.4 避難困難率と市街地性状の関連分析

図-7に示す市街地性状と避難危険度の関係に基づき、どの市街地性状を改善すると、避難困難率を効果的に低減することが出来るかを検討する。まず、避難困難率に影響を与える市街地特性変数の値が高い町丁目をタイプ別に分類した(図-8(a))。次に、選定した3つの分析対象地域(図-8(b))において、各市街地特性変数の値を低減させ、その際の避難困難率を、図-6(a)の推定式を用いて推定した(図-8(c))。

グロス建蔽率の改善による避難困難率の低減効果は非常に小さい(図-8(e))。また、道路が十分に整備されている地域2においては、旧耐震建物の耐震化を促進することによる避難困難率の低減効果は小さい(図-8(d))。

一方、狭隘道路が多い地域1, 3において、幅員4m以下の道路率を改善することは、避難困難率の効果的な低減に有効であることが分かる(図-8(g))。しかし、道路を拡幅する為には、全ての沿道建物のセットバックが必要になるなど、整備が必要となる建物数が多くなる。そこで、沿道建物数の低減に着目すると、たとえば地域1において沿道建物数を3棟低減させることは、幅員4m以下の道路率を40%低減させることと同等の避難困難率低減効果があることが分かる(図-8(f), (g))。すなわち、緊急避難路を設け、道路1本あたりの沿道建物数を低減すれば、整備が必要となる建物数が少なく、効率的に避難困難率を低減出来る可能性がある。

## 5. まとめ

東京都全域を対象に、大地震時の物的被害と避難行動について精緻なシミュレーションを実行し、町丁目単位の避難危険度を推定した。さらに、重回帰分析を用いて市街地性状と物的被害・避難危険度の関連を明らかにした上で、避難危険度を効果的に低減する手法について検討

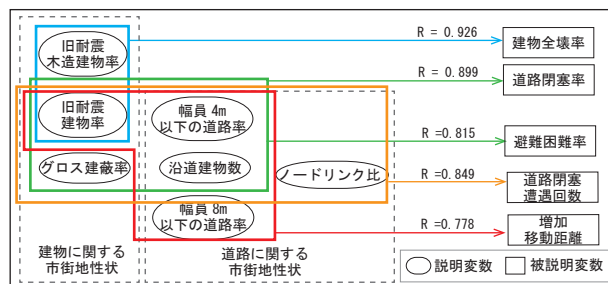


図-7 市街地性状と避難危険度の関連

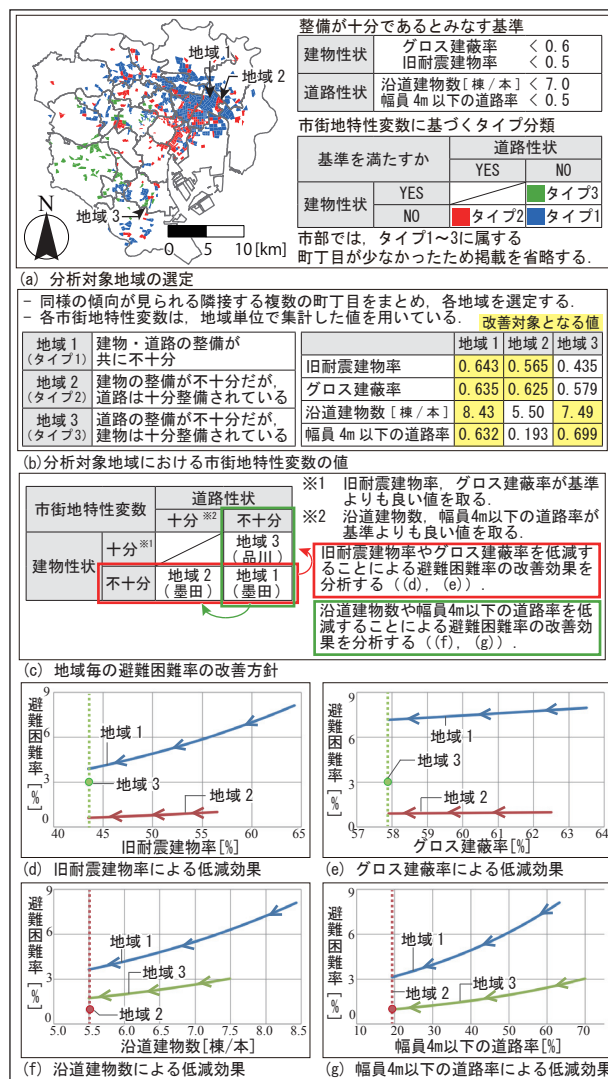


図-8 避難困難率推定モデルを用いた応用分析

注) 市街地を構成する建物等のデータには、東京都都市計画地理情報システムデータの一部である平成23・24年度建物現況データを使用している。

#### 参考文献

- 村尾修・山崎文雄(2000):自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数,日本建築学会構造系論文集,527,189-196
- 国土交通省(2003):まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発
- 岸本まき・大佛俊泰・沖拓弥・廣川典昭(2016):大地震時における避難危険度と市街地性状との関連分析,日本建築学会大会学術講演梗概集(CD-ROM),3124,261-262