大地震時の道路閉塞による消防隊到着時間の遅延と地区特性との関係

村上敦彦*・大佛俊泰**・岸本まき**

Delays in Firefighters' Travel Time Caused by Road Blockages after Following a Large Earthquake and Their Relationship with Local Characteristics

Atsuhiko MURAKAMI*, Toshihiro OSARAGI**, Maki KISHIMOTO**

Abstract: In a large earthquake, urban fires occur simultaneously across multiple locations, and debris from collapsed buildings blocks roads, hindering firefighting operations and worsening fire damage. The complex interplay of local building and road network characteristics makes it difficult to quantitatively assess which factors affect delays in firefighting. In this study, we conducted simulations of firefighting activities at the level of each fire department jurisdiction, evaluating not only the probability of arrival but also the delay rate in travel time. Using a regression model, we analyzed the relationship between delay rates and local characteristics. The results show that variables explaining building collapse and road blockage rates are major factors increasing delay rates in the aftermath of a large earthquake. Furthermore, local characteristics such as road area ratios and the presence of wide roads are associated with reduced delays, highlighting their importance in enhancing firefighting resilience.

Keywords: 大地震（large earthquake），道路閉塞（road blockage），消防隊（fire fighter），到着遅延（delay in arrival），地区特性（local characteristics）

1. はじめに

大地震時には，各地で市街地火災が同時多発的に発生するとともに，倒壊建物の瓦礫が道路を閉塞させることで消防隊の到着が遅れ，焼失被害が拡大する危険性がある．消防隊の到着遅延は当該地区の建物構造や道路ネットワークなどの要因が複雑に影響している．それゆえ，どのような地区特性が災害時の消防活動遅延に影響を与えるかを定量的に把握することは容易ではない．

筆者らはこれまで，道路閉塞下における消防署所（以下，署所）から火災建物への消防活動を記述するシミュレーションモデルを構築し，署所単位で評価した管轄内のアクセシビリティと地区特性の関係を定量的に分析してきた（村上ほか, 2025）．しかし，建物倒壊の推計値が，東京都の地震被害想定（2022）よりも過大に評価されているという課題があった．

本稿では，建物倒壊モデルのパラメータを更新した上で，消防活動シミュレーションを東京消防庁の管内全域にわたって実行し，移動所要時間遅延の観点から大地震時の道路閉塞下における消防活動を評価する（図 1）．

2. 消防隊到着遅延の評価方法

防署所から管轄内の各建物への到達可能性（到達率：図 2(a)）が十分に確保されている場合，道路閉塞下での移動所要時間は，地震火災における消防活動の成否に決定的な影響を与える．同時多発出火が想定される大地震発生直後においては，各署所の管轄内のどの建物で出火したとしても，延焼拡大する前に到達できる体制を整えておくことが求められる．そのため，管轄内のすべての建物を対象とした移動所要時間評価は，震災時における

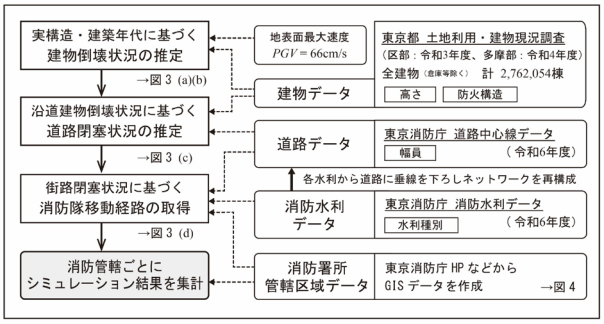


図 1　消防活動シミュレーションの構成



図 2　到達率・遅延率の定義

*　学生会員　東京科学大学環境・社会理工学院（Institute of Science Tokyo）
〒152-8550　東京都目黒区大岡山 2-12-1　E-mail：murakami.a.1be1@m.isct.ac.jp
**　正会員　東京科学大学環境・社会理工学院（Institute of Science Tokyo）

消防力の検証にとって重要である．

本研究では，消防管轄（以下，管轄）の広さや消防隊の移動速度の仮定などによる影響を抑えて分析するために，大地震時における消防隊の到着遅延を，閉塞箇所を迂回することで発生する移動所要時間の増加割合（遅延率：図 2(b)）を用いて評価する．

3. 消防活動シミュレーション

3.1 消防活動シミュレーションの概要

大地震時の消防活動を記述するシミュレーションモデルの概要を図 1 に示してある．まず，大地震時における建物倒壊および道路閉塞の発生状況を，既往モデルを用いて推定する．その上で，消防隊経路探索モデルにより各署所から管轄内のすべての建物までの消防隊の移動所要時間を算出し，これを平常時における移動所要時間と比較することで考察する．

3.2 物的被害モデル

建物倒壊の記述は，各建物の属性情報（実構造· 建築年代）に基づいて全壊確率を推定し，一様乱数と比較することで行う（図 3(a)）．本研究では，被害関数で用いるパラメータとして図 3(b)に示す値を採用した．これらは，過去の地震被害データに基づいて算出された値である（中央防災会議，2012・鳥澤ほか，2021）．

道路閉塞の記述は，各道路の幅員や沿道建物の倒壊状況に基づいて閉塞確率を推定し，一様乱数と比較することで行う（図 3(c)）．移動種別（車両・徒歩）に応じて確保すべき通行可能幅 W_e が異なるため，本稿では，移動種別ごとに道路の閉塞の有無を記述する．

3.3 消防隊行動モデル

消防隊の行動を図 3(d)のようにモデル化した．消防隊は，署所から消防水利までの車両移動時間と消防水利から各建物までの徒歩移動時間の合計が最小となる移動経路を探索する．消防水利から延長できるホースの最大長さは 400m とし（東京消防庁，2001），消防水利からの徒歩移動距離がこれを上回る場合は到達不能とする．また，大地震時には水道管が破損し，消火栓が使用できない可能性があるため，消火栓以外の消防水利（防火水槽など）のみを使用することとする．

車両の移動速度には，DRM データにおける道路幅員とのクロス集計データに基づいて推定した法定速度に従うものとする．また，徒歩の移動速度については，道路幅員によらず 10km/h とし（大佛ら，2015），閉塞道路については，5km/h で歩行すると仮定した．

3.4 シミュレーションの条件

本研究では，東京消防庁の管内全 295 管轄を分析対象地域とする（図 4）．物的被害パターンを 100 通り生成し，これに平常時（全道路が通行可能な状態）を加えた計 101 ケースについて消防活動シミュレーションを実行する．

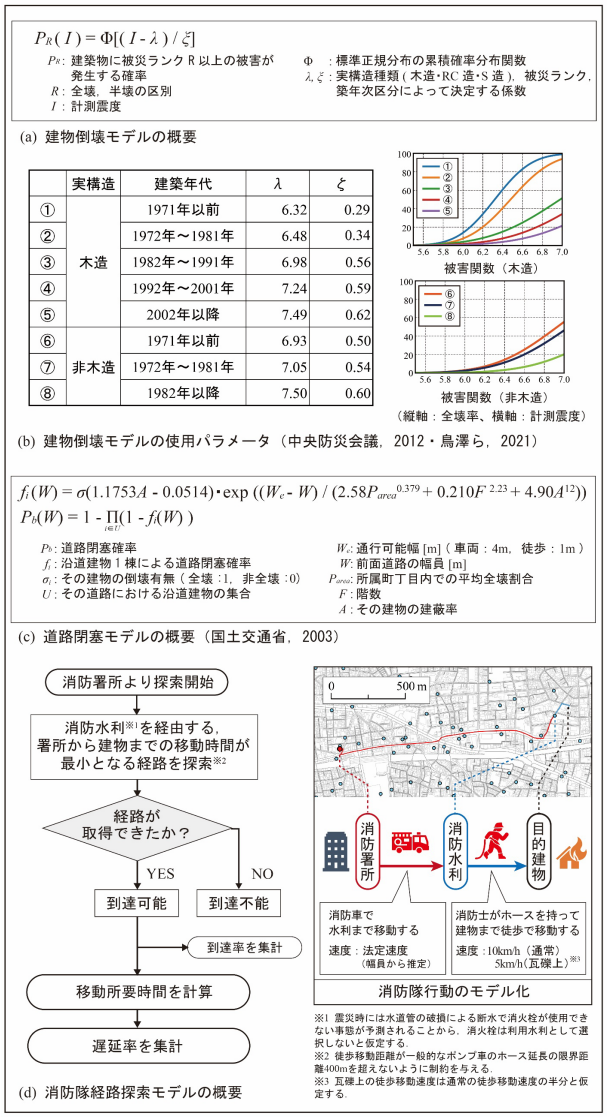


図3　使用モデルの概要

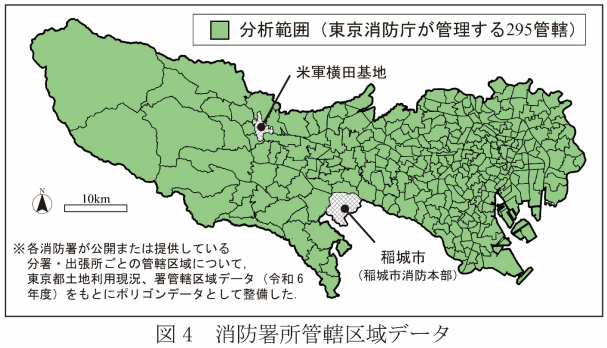


図 4　消防署所管轄区域データ

その上で，到着遅延評価指標（移動所要時間および遅延率）を算出し考察する．

なお，本研究では地区特性が到着遅延に及ぼす影響をわかりやすくするために，特定の震源の位置や深さ，地域の地盤特性によらず，すべての地点において計測震度 6.2（地表面最大速度（PGV）66cm/s）の揺れを想定しシミュレーションを実行する．

4. 消防活動シミュレーションの結果

4.1 物的被害の分布

建物全壊率および道路閉塞率の空間分布を図 5(a)(b)に示してある．いずれも都心部を囲む木造住宅密集地域において値が高く，指標間に正の相関関係がみられる．杉並区周辺等では狭隘道路が多いため，建物全壊率に比べ道路閉塞率が相対的に高いことがわかる．

4.2 到着遅延評価指標の分布

到達率の空間分布を図 5(c)に示してある．多くの管轄で 90%以上の値を示している．到達率が低いエリアでは，署所を取り囲むように脆弱な沿道建築物が分布しており，消防隊が署所付近に閉じ込められるような事態が散見された．消防力を有効に機能させるためには，署所付近における建物の耐震化および道路拡幅が求められる．

平常時の移動所要時間を確認すると，都心部で短く郊外で長い．管轄面積が広くなるほど増大することが確認できる（図 5(d)）．

遅延率の空間分布を図 5(e)に示してある．道路閉塞率の分布との間には相関がみられるが，両者は必ずしも対応していない．道路ネットワーク自体が建物倒壊に伴う閉塞に対し強靭な地区と脆弱な地区が存在することを示唆している．

5. 各指標と地区特性との関連分析

5.1 地区特性変数の設定

消防隊の到着遅延とどのような地区特性が関連しているかを分析するために，GIS データを用いて簡易な説明変数（表 1）を作成し，物的被害と到着遅延評価指標を説明する回帰式を構築する．

パラメータの推定結果および推定精度を図 6，図 7 に示してある．説明変数はステップワイズ法に基づき選定し，統計的優位性と論理的整合性を確認した上で採用した．説明変数と被説明変数の間に非線形な関係が確認された場合には，非線形回帰モデルを採用した．いずれのモデルも高い記述力を示すことを確認した．

5.2 物的被害の回帰分析

建物全壊率は木造建物率と旧耐震建物率から良好に記述できる（図 6(b)）．ただし，新興住宅地が区域の大半を占める管轄（みなみ野，多摩センター）では，旧耐震建物率が著しく低いため，建物全壊率が過大推定される傾向にある．

道路閉塞率は沿道建物数の平均などから良好に記述できる（図 6(c)(d)）．車両・徒歩共に沿道建物数の影響が強く，交差点間に何棟の建物が立地しているのかというミクロな空間性状に強く依存していることが分かる．

5.3 到着遅延評価指標の回帰分析

平常時の移動所要時間は，管轄面積に加え道路面積率から記述される（図 7(c)）．管轄面積が広くても道路密度

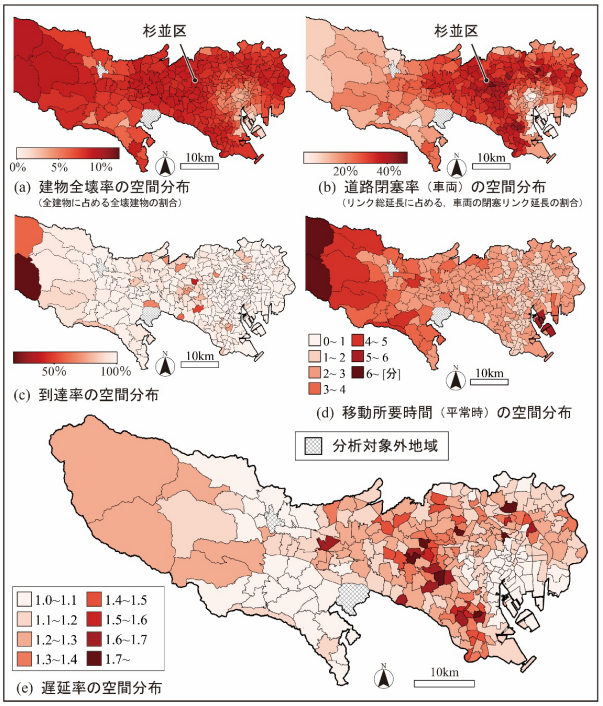
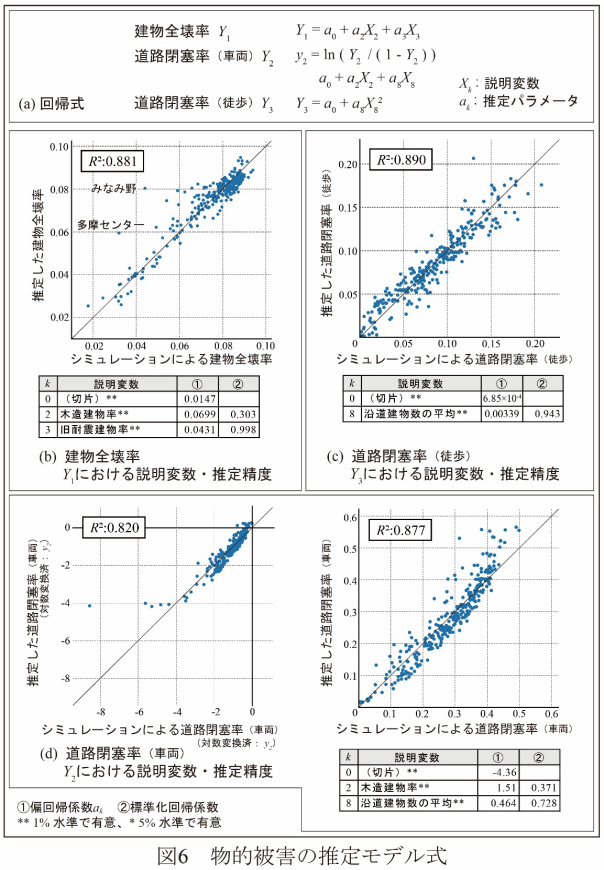


図5　物的被害・到着遅延評価指標の空間分布
（100回のシミュレーションの平均，管轄ごとの集計値）

表1　市街地特性変数の概要（管轄ごとの集計値）

k	名称	説明
1	管轄面積[m²]	消防署所の管轄区域面積
2	木造建物率	全建物に占める，木造建物の割合
3	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
4	建蔽率	管轄区域内について，建物総面積を街区総面積で割った値
5	道路面積率	管轄区域内の道路面積が管轄面積に占める割合
6	狭隘道路率	管轄区域内の道路総延長に占める，幅員4m以下の道路延長の割合
7	広幅員道路長さ[m]	管轄境界付近を除外した幅員15m以上（4車線以上相当）の道路延長
8	沿道建物数の平均［棟/本］	ある道路から4m以内にある建物数の平均



k	説明変数	①	②
0	（切片） **	0.0147	
2	木造建物率**	0.0699	0.303
3	旧耐震建物率**	0.0431	0.998

k	説明変数	①	②
0	（切片） **	6.85×10^{-4}	
8	沿道建物数の平均**	0.00339	0.943

k	説明変数	①	②
0	（切片） **	-4.36	
2	木造建物率**	1.51	0.371
8	沿道建物数の平均**	0.464	0.728

図6　物的被害の推定モデル式

が高い管轄では円滑な移動が可能であり，移動所要時間が増大しにくい傾向が現れている．

遅延率は，道路閉塞率（車両）を説明する地区特性変数（図 6(d)）から強い影響を受けている（図 7(b)）．また，管轄面積に対して広幅員道路長さの割合が大きい管轄で値が減少することから，広幅員道路を拡充することで大地震時でも到着遅延を効果的に抑制できることが分かる．

5.4 大地震時の移動所要時間の残差分析

大地震時の移動所要時間の残差分布を図 8(a)に示してある．臨海部や山間部など，一般市街地の道路ネットワークとは異なる特性を持つ管轄では推定精度が低い．それら以外の管轄では，遅延率が特に高いいくつかの管轄において，過小推定している様子が確認できる．

例として，ある物的被害パターンにおける台東区谷中地区の道路閉塞状況を図 8(b)に示してある．局所的に道路網が疎な部分があるために，道路閉塞により管轄内の道路網が分断されていることが確認できる．沿道建物数の平均値だけでなく，各地区に固有の道路網特性が遅延率を上昇させており，これらを考慮することで推定精度が向上する可能性がある．

6. おわりに

本稿では，大地震による道路閉塞下での消防活動を，到達可能性だけでなく到着遅延の視点からシミュレーションを用いて定量的に評価した．

また，建物全壊率や道路閉塞率を良好に説明できる木造建物率や沿道建物数の平均値などの変数が，到着遅延と強く関係していることを示した．さらに，道路面積率の向上や広幅員道路の整備などが，大地震時の移動所要時間の抑制に寄与することを明らかにした．

今後は，現在最短経路探索により実装している消防隊行動モデルについて市街地の多様な条件を考慮した精緻化を進めると共に，各地区固有の道路網性状を表す変数を組み込むことによって遅延率推定精度の向上を進めていく．

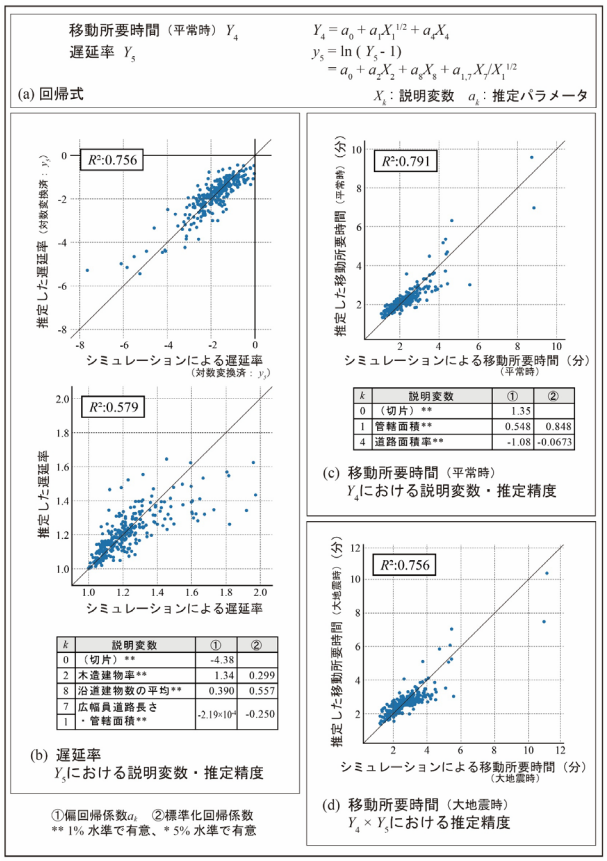


図7　到着遅延評価指標の推定モデル式

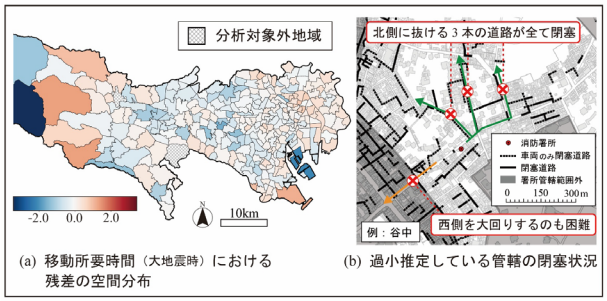


図8　移動所要時間（大地震時）の残差分析

謝辞

本稿で用いているデータの一部は，東京消防庁防災部震災対策課のご協力を得て借用させていただきました．また，消防署の出張所管轄区域データの一部については，関係者の方々よりご提供いただきました．ここに記して謝意を表します．

参考文献

大佛俊泰・廣川典昭・沖拓弥（2015）大地震時における消防隊の到着時間からみた道路閉塞情報収集の有効性．「日本建築学会計画系論文集」，**80**（709），465-473.

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.

中央防災会議（2012）南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要.

東京消防庁（2001）地震火災に関する地域の防災性能評価手法の開発と活用方策，「火災予防審議会答申」.

東京都防災会議（2022）首都直下地震等による東京の被害想定報告書.

鳥澤一晃・松岡昌志・堀江啓・井ノ口宗成・山崎文雄（2021）2016 年熊本地震における広範囲の地震動強さに対応した複数自治体の罹災証明データに基づく建物被害関数の構築.「日本地震工学会論文集」，**21**（5），5_98-5_118.

村上敦彦・大佛俊泰・岸本まき（2025）大地震時の道路閉塞による消防隊の到着遅延と市街地性状との関係.「日本建築学会学術講演梗概集(CD-ROM)」，7031.