

大地震時における道路閉塞情報の獲得が緊急車両到着時間短縮に及ぼす影響

廣川 典昭・大佛 俊泰・沖 拓弥

Role of Information about Road Blockage for Accessibility of Emergency Vehicles in the Aftermath of Major Earthquake

Noriaki HIROKAWA, Toshihiro OSARAGI, and Takuya OKI

Abstract : Access time of emergency vehicles has been estimated in normal road condition.

However, road blockages caused by major earthquake will obstruct the smooth accessibility of emergency vehicles. In this paper, we constructed models which describe the movement of emergency vehicles and occupants who will collect the information about road blockages of their neighborhoods. By using these models, we evaluated accessibility of emergency vehicles in the aftermath of a major earthquake, and demonstrated that the information about road blockages can reduce access time of emergency vehicles.

Keywords : 大地震 (major earthquake), 道路閉塞 (road blockage), 経路探索 (way finding), 緊急車両 (emergency vehicles), 到着時間 (access time)

1. はじめに

緊急車両の到着時間は平常時の道路状況をもとに見積もられており、大地震時の建物倒壊による道路閉塞の影響は考慮されていない。しかし、大地震時には多くの細街路が閉塞し、緊急車両の到着が大幅に遅れることが予想される。そこで、筆者らは、大地震時に深刻な道路閉塞が危惧される木造住宅密集地域を有する地域（世田谷区）を分析対象地域として取り上げ、消防車の移動と物的被害を記述するモデル（以下、消防車モデル、物的被害モデル）を用いて、道路閉塞が緊急車両の到着時間に及ぼす影響を定量的に評価し、道路閉塞に関する情報が緊急車両の到着時間短縮に有用であることを確認した（廣川ほか, 2013）。本稿では、世田谷区 GIS データを平成 23 年度版に更新するとともに、物的被害モデルを精緻化し、災害情報の有効な活用方法について検討する。

廣川典昭 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

東京工業大学大学院 情報理工学研究科

情報環境学専攻 大佛研究室

E-mail: hirokawa.n.aa@m.titech.ac.jp

2. シミュレーションモデルの構築

2.1 消防車モデル

消防車の移動を以下のようにモデル化した（図 1）。消防車は、火災建物までの到着時間が最短となる経路を選択するものと考えた。道路の閉塞状況に関する情報がない場合には、全道路が通行可能であることを想定して経路探索を行った上で、通過する交差点に接続している道路の閉塞状況を記憶しながら移動する。選択した経路が途中で閉塞していた場合には、それまでの移動過程で獲得した閉塞道路の情報を用いて、再度、その地点から最短経路を探索する。

2.2 建物倒壊モデル

倒壊建物の判定は、図 2(a) に示す全壊率テー

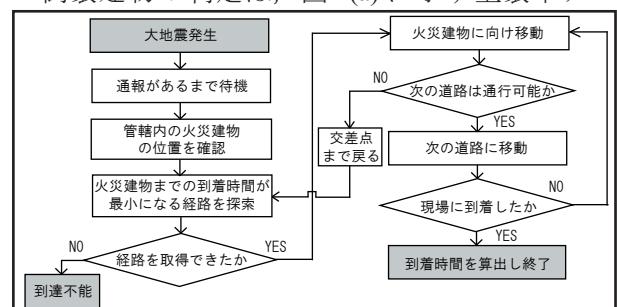


図 -1 消防車モデル

ブル（東京都, 2012）を用いて行う。しかし、このモデルをそのまま世田谷区に適用すると、東京都の被害想定（東京都, 2012）における値を大幅に超えてしまう。そこで、世田谷区の地盤が図2(a)の想定よりも強固であると考え、この曲線を右にずらし、東京都の被害想定と同程度の倒壊建物数となるように調整した。

2.3 道路閉塞モデル

道路閉塞の判定は、家田ほか（1998）による基準化ガレキ幅の分布関数（式1）をもとにモデル化した（以下、道路閉塞モデルと呼ぶ）。ただし、道路閉塞モデルをそのまま適用すると、図2(b)左のように倒壊建物と閉塞道路が対応しない場合や、式1のパラメータ α が負値となってしまい理論上も整合しない場合がある。そこで、道路閉塞モデルでは、まず、閉塞道路数を推定し、その後、倒壊建物の前面道路に閉塞道路を再配分する。

2.4 出火判定モデル

出火判定には、用途別出火率（東京消防庁, 1997; 東京消防庁, 2005）を用いている（図2(c)）。

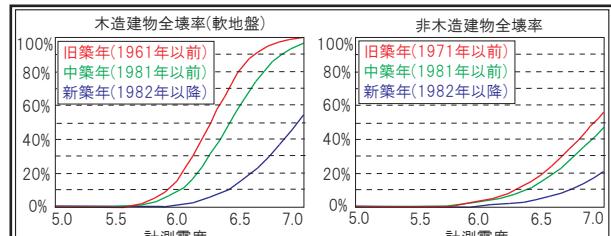
3. 道路閉塞が到着時間に及ぼす影響

3.1 シミュレーション方法

世田谷区における13の消防署管轄と消防署位置を図3(a)に示してある。図3(b)に示す3種の想定のもとでそれぞれ300回のシミュレーションを実行し、消防車が火災建物に到着するまでの時間を推定した。シミュレーション結果の比較を容易にするため、その他の条件（物的被害パターンや目的地となる火災建物等）は、3種の想定間で同一とした。ただし、道路閉塞により火災建物に到達不能だった場合は除外している。

3.2 閉塞道路による到着時間の遅延

図3(c)に道路閉塞率の空間分布の例を示してある。道路閉塞率の比較的高い道路が存在していることがわかる。こうした閉塞道路に関する情報のない「情報なし」の場合は、消防署から火災建物までの平均到着時間が「閉塞なし」に比べ、約2.5



(a) 建物倒壊モデル概要（東京都, 2012）

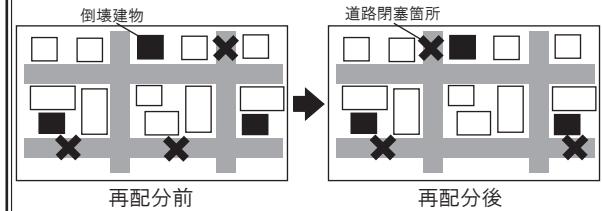
<基準化ガレキ幅の分布関数>

α は全壊率（棟数ベース）、平均階層（延べ床面積 / 建築面積）、建築密度（建築面積 / 宅地面積）で決まる係数、 b は木造率（棟数ベース）、昭和25年以前の建物比率（延べ床面積ベース）により決まる係数である。 y_0 はリンク長を考慮したガレキ幅である。

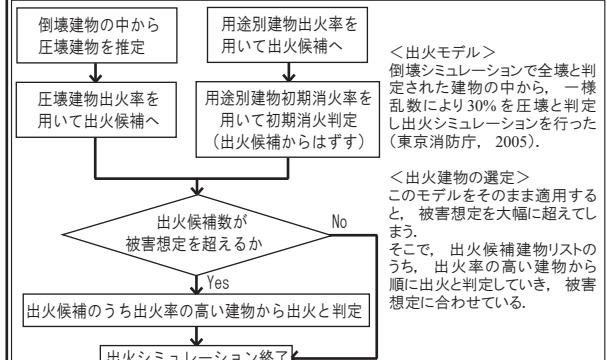
<閉塞道路の判定>

消防車の通行可能幅員を3mと考え、ガレキ幅が（道路幅員 - 3m）を超えた場合を閉塞と判定している。

$$\hat{F}(y_0) = 1 - b \exp\left(-\frac{1}{\alpha} y_0\right) \quad \cdots \text{(式1)}$$



(b) 道路閉塞モデル概要



(c) 出火判定モデル概要

図-2 物的被害モデル概要

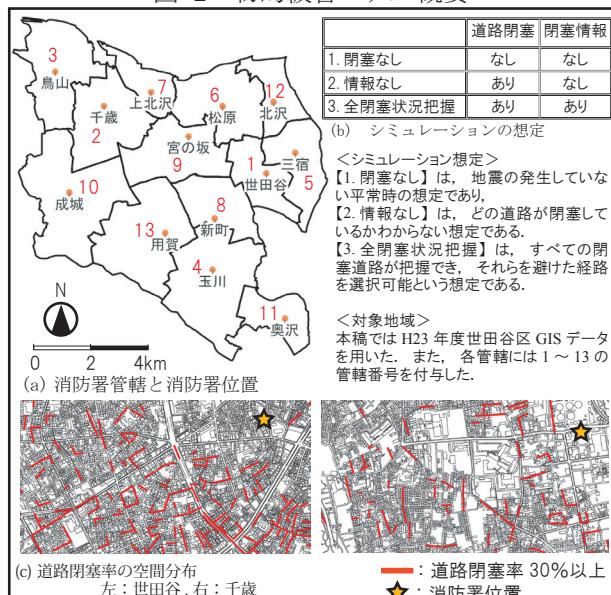


図-3 分析対象地域とシミュレーション想定

倍、最大到着時間は約 5.3 倍となっており、道路閉塞が到着時間に大きく影響することがわかる(図4).一方、道路閉塞状況を完全に把握できた「全閉塞状況把握」の場合には、消防車の到着時間はどの管轄でも「閉塞なし」の場合と大きく異ならない。このことは、閉塞情報を獲得することの重要性を示唆している。

4. 災害情報の収集と経路探索

4.1 シミュレーションの概要

第3章で得た知見をもとに、到着時間を短縮するための方法として、一定割合の地域内滞留者(以下、滞留者エージェント)が災害情報を収集し、消防車がその情報を用いて経路探索を行う方法について検討する(以下、「情報あり」と呼ぶ)。滞留者エージェントは、平日 18 時の歩行者数と施設内滞留者数をもとに推定している。ここでは、より詳細に議論するため、分析対象地域として世田谷(管轄 1), 千歳(管轄 2), 烏山(管轄 3)の3地域に着目する。また、参考のため世田谷区の全管轄で滞留者エージェントが 3 分間活動した際の結果も用いて検討する。

4.2 滞留者エージェントモデル

滞留者エージェントが、地震発生直後から消防車が出動するまでの数分間(1分, 3分, 5分)、閉塞道路の位置を探索することを想定した。その際、周辺をランダムウォークしながら探索するものと考えた(ただし、一度通過した道路は繰り返し通過しない)(図5(a))。

4.3 災害情報収集モデル

図5(b)に示すように、災害情報は滞留者エージェントが閉塞道路を発見する度に蓄積され、消防車はこの情報を出動前に活用できるものと考えた。

4.4 滞留者エージェント数と到着時間の関係

世田谷区における全地域内滞留者の約 0.25% の滞留者エージェントが地震発生直後の 5 分間、または、約 0.50% の滞留者エージェントが 3 分間、

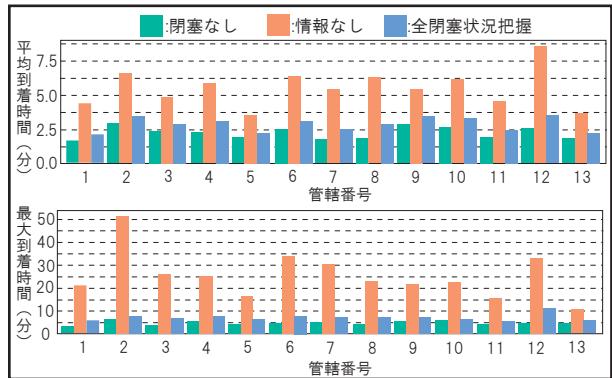


図-4 到着時間の推定値

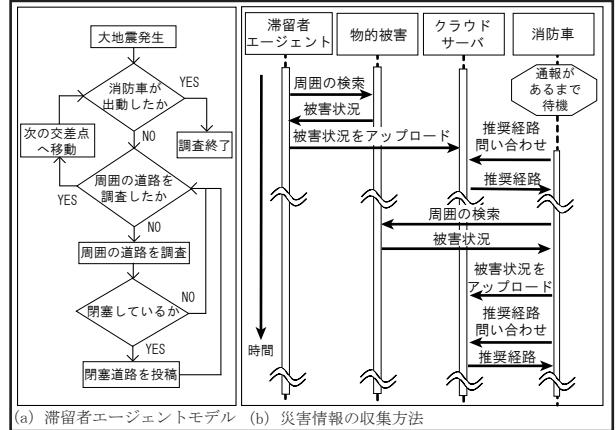


図-5 滞留者エージェントモデルと災害情報収集

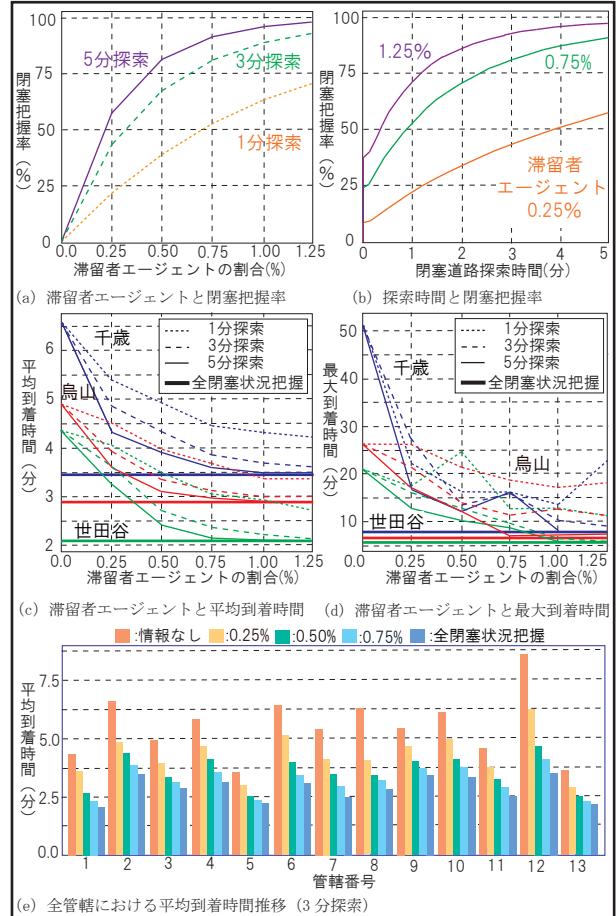


図-6 「情報あり」での推定値

周囲の被害状況を調査することで、閉塞道路全体の50%以上の情報が入手可能である(図6(a)).このとき、どの管轄においても、「全閉塞状況把握」からの遅延時間を半分近く短縮できることがわかる(図6(c), (e)).また、到着時間は指數関数的に減少していることから、たとえわずかな情報量であっても到着時間短縮の効果が期待できる。さらに、図6(b)によると、探索開始と同時に情報量が急速に増大し、その後、増加量は緩やかになる。このことから、目前の道路状況の調査だけであっても、その情報が正確であり、より多くの人々の協力が得られれば、緊急車両の到着時間を大きく短縮できる可能性がある。ただし、最大到着時間ではグラフが安定しておらず、一部の重要な道路が到着時間短縮に大きく影響していることを示している(図6(d))。

5. 道路閉塞率と到着時間の関係

5.1 物的被害想定のゆらぎについて

被害想定にはある程度のゆらぎがあると考えられる。そこで、被害想定と異なる規模の被害が発生した場合についても検討しておく必要がある。

5.2 地域内道路閉塞率と到着時間

図7に地域内道路閉塞率(全道路数に対する閉塞道路数の割合)と到着時間の関係を示している。「情報なし」における到着時間は、地域内道路閉塞率に対して指數関数的に増加しており、特に、東京都の被害想定に相当する地域内道路閉塞率(9.12%)の前後で到着時間が大幅に増大することがわかる。一方、「情報あり」の場合には、0.25%の滞留者エージェントであっても5分以上、または、0.75%以上であれば1分以上探索を行うことで、平均到着時間を大幅に短縮できており、被害が想定を上回る場合にも、到着時間短縮の効果が期待できる。

6. まとめと課題

大地震時に生じる道路閉塞が緊急車両の到着時

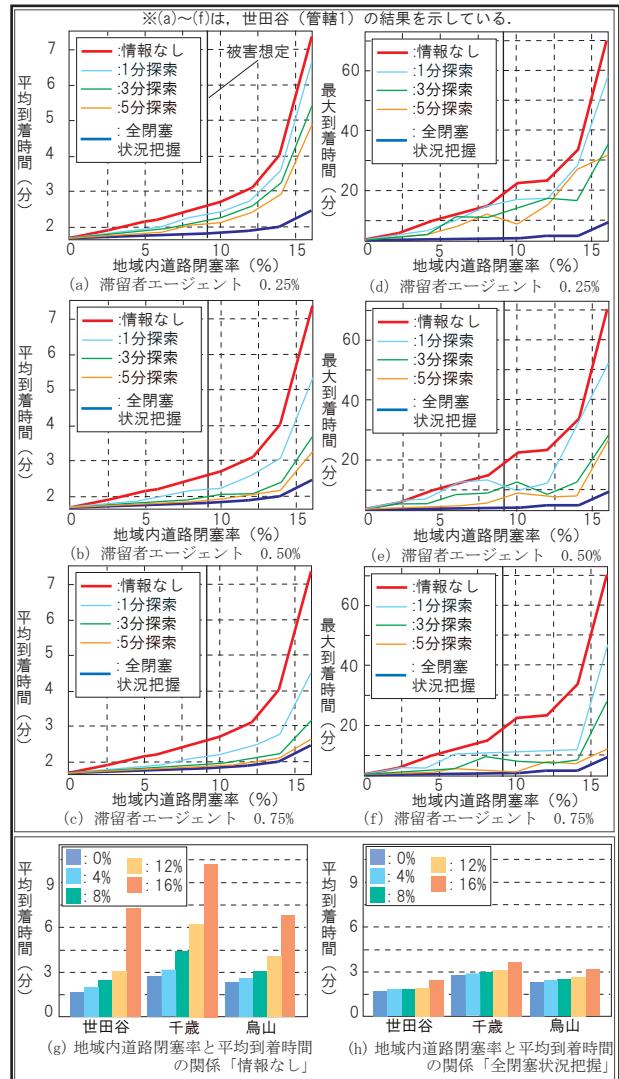


図-7 地域内道路閉塞率による推移間に及ぼす影響を、定量的に評価するシミュレーションモデルを構築した。また、地域内滞留者から提供される災害情報の有用性について検討し、その効果を検証した。自動車による道路混雑の影響の組み込み等、シミュレーションの精緻化が今後の課題である。

参考文献

- 廣川典昭・大佛俊泰・沖拓弥(2013)：大地震時の道路閉塞が緊急車両到着時間に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集(CD-ROM), 7061, 121-122
- 東京都(2012)：首都直下地震等による東京の被害想定、<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/assumption.html>
- 家田仁・望月拓郎・上西周子(1998)：地震時に建築物の倒壊等によって生じる街路閉塞の危険度評価法、国際交通安全学会誌, 23, 3, 138-145
- 東京消防庁(1997)：直下の地震を踏まえた新たな出火要因及び延焼性状の解明と対策、火災予防審議会答申
- 東京消防庁(2005)：地震時における人口密集地域の災害危険要因の解明と消防対策について、火災予防審議会答申