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 INFORMATION COLLECTION OF STREET BLOCKAGE AFTER A LARGE EARTHQUAKE FOR REDUCING ACCESS TIME OF FIRE FIGHTERS

大佛 俊泰^{*1}, 廣川 典昭^{*2}, 沖 拓弥^{*3}
Toshihiro OSARAGI, Noriaki HIROKAWA and Takuya OKI

The previous studies presume that the use of emergency vehicles will be obstructed by collapsed buildings after a large earthquake. In this paper, we investigate a method for assisting fire fighters for their effective and efficient access to the locations of fires. More specifically, first, we construct a simulation model that describes the movement of fire engines under the condition of street-blockages caused by collapsed buildings. Next, using the proposed model, we attempt to evaluate the effects of street-blockage information collected by residents on improving the accessibility of fire engines. Finally, based on the simulation result, we demonstrate that the access time to the locations of fires can be effectively reduced by using the street-blockage information.

Keywords : large earthquake, fire fighter, accessibility, street-blockage, information collection, multi-agent simulation

大地震, 消防隊員, 到着時間, 道路閉塞, 情報収集, マルチエージェント・シミュレーション

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

平成24年4月に公表された東京都の被害想定¹⁾によれば, 東京湾北部地震(M7.3)発生時には, 800棟以上の建物から出火して20万棟以上の建物が焼失し, 火災による死傷者は2万人以上にのぼるとされている。被害を最小限にとどめるには, 地域住民による初期消火と, 公設消防による迅速な消火活動が鍵となる。しかし, 木造住宅密集地域においては倒壊した建物の瓦礫により細街路が閉塞し, 消防活動に支障をきたす可能性が高い。首都直下地震発生の切迫性を考えれば, 耐震化や不燃化の推進と平行して, 道路閉塞の発生を前提とした消防活動戦略について検討しておくことの必要性は高い。

大地震時の同時多発火災を対象とした消防活動に関しては, 多くの優れた研究蓄積がある。例えば, 久貝・加藤の一連の研究^{2)~7)}では, 消防車両の活動可能区域の大きさ等から, 市街地全体の道路網の防災性能を評価する手法をパーコレーション理論に基づき提案している。ただし, この手法は市街地整備の際の基準を得るものであり, 発災直後の消防活動支援を対象とした研究ではない。

また, 田口ら⁸⁾は, 119番通報や駆けつけ通報を考慮した精緻なモデルを構築し, 管轄を超えた広域的な消防力の運用を視野に, その切替え時期について出火件数をもとに検討している。中野・熊谷⁹⁾は, 発災初動時の火災を対象とした消火シミュレーションシステム(FIMaS)を用いて, 水量の充足率(既存水量/必要水量)の視点から, 震災時に利用可能な水利の配備と水量について検討している。さらに, 関澤ら^{10)~14)}は, 延焼予測と消防力運用のシミュレーションシステムを構築し, 焼失低減率等の指標を用いて, 神奈川県や埼玉県等で多数のケーススタディを行っている。これらの研究は, 計算過程で250mメッシュを用いているため, 様々な地域に適用できるほか, 計算時間も比較的短く, 都道府県や関東全域等の広域なシミュレーションにも適用できる点で優れている。しかし, 道路閉塞による消防隊の到着遅延や建物の耐震化, 建物の道路からのセットバックによる影響などを考慮したミクロな分析を行うことは困難である。

一方, 災害情報に関する研究として, 近藤・目黒¹⁵⁾は災害情報を蓄積・共有するだけでなく, 時間的・空間的な災害状況理解を支援することで, すべての人々に災害イメージを想起させ, 実

本稿は文献32), 33)をもとに新たに分析を加え加筆・修正したものである。

^{*1} 東京工業大学大学院情報理工学研究科 教授・博士(工学)

独立行政法人科学技術振興機構 CREST

^{*2} 東京工業大学大学院情報理工学研究科 修士課程

独立行政法人科学技術振興機構 CREST

^{*3} 東京工業大学大学院理工学研究科 助教・修士(工学)

独立行政法人科学技術振興機構 CREST

Prof., Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

CREST, Japan Science and Technology Agency

Graduate Student, Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

CREST, Japan Science and Technology Agency

Assistant Prof., Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, M. Eng.

CREST, Japan Science and Technology Agency

効性の高い防災対策の実現に貢献することを試みている。しかし、震災前と復興期を主な対象としており、震災直後の行動支援のための災害情報の活用は対象としていない。また、杉井ら¹⁶⁾は、震災直後の情報収集方法について、過去の調査結果をもとに分析し、119番通報や高所カメラ等の様々な情報収集方法の問題点を指摘した上で、高所見張りを中心とした情報収集が最も有効であると述べている。しかし、議論は定性的な範囲に留まっており、災害情報収集の定量的な評価は行っていない。

以上の既往研究を踏まえ、本稿では、道路閉塞が消防隊の到着遅延に及ぼす影響や道路閉塞情報を収集・活用することの効果について、現実の市街地を対象としたミクロな定量的分析を試みる。具体的には、震災直後の道路閉塞が消防活動（特に出火建物までの消防隊の移動）に及ぼす影響を分析し、消防活動の支援策について検討する。まず、建物倒壊や道路閉塞などの物的被害を記述するモデル（物的被害モデル）を構築し、次に、消防水利の空間的配置等を考慮した消防車両・消防隊の移動を記述するモデル（消防隊モデル）を構築する。また、これらを統合して消防隊移動シミュレーションを実行し、消防署から出火建物までの到着時間を評価指標として、閉塞のない場合（平常時）と大地震発生時との比較分析を行う。さらに、地域住民による道路閉塞情報の収集行動（情報収集モデル）をシミュレーションに組み込み、収集された閉塞情報が消防隊の到着時間短縮に及ぼす効果について分析する。最後に、大地震発生時に消防活動を円滑に行うための初動行動支援策について考察する。

(2) 本稿の構成

第2章では、地表面応答に基づく建物の倒壊や火災の発生、および、道路閉塞といった物的被害のモデル化について述べる。次に、消防隊が出火建物まで消防車両によって移動する行動のモデル化について述べる。第3章では、本稿でのシミュレーション条件を整理し、分析対象地域（東京都世田谷区）の現状について分析する。さらに、緊急輸送道路沿道建築物の耐震化^{注1)}と消防隊の到着時間との関係について考察を行うと同時に、道路閉塞情報が消防隊の到着時間の短縮に及ぼす有効性についてシミュレーション分析をもとに考察する。第4章では、道路閉塞情報を収集する地域住民の数と把握できる閉塞箇所割合（閉塞把握率）について考察する。最後に、閉塞把握率と消防隊の到着時間との関係について分析し、地域住民が震災直後に道路閉塞情報の収集を行う効果について考察する。

2. シミュレーションモデルの概要

(1) 物的被害モデルの概要

大地震がもたらす物的被害に関する研究は、建造物の物性に關する研究成果の蓄積や過去に発生した震災の被害調査等に支えられ、ますます精緻化されている。近年では、GIS技術の進展に伴い、建物1棟、道路1本単位で被害推定が行えるミクロな物的被害モデルも提案されている。本稿では、利用可能なデータの制約やモデルの簡便性、適合性などを勘案し、以下に示すモデルを援用した。

①地表面応答モデル^{17)~22)}：司・翠川によるモデル式（表1）

②建物倒壊モデル^{23), 24)}：村尾・山崎によるモデル式^{注2)}

③道路閉塞モデル^{25)~27)}：国土交通省によるモデル式^{注3)}

④出火判定モデル^{28), 29)}：東京消防庁による用途別出火率^{注4)}

図1(a)に物的被害の推定手順を示してある。ここでは、地形・地盤分類の250mメッシュデータ（図1(b)）や、平成23年土地利用現況調査に基づく建物や道路に関する詳細なデータ（GISデータ）（図1(c)）を用いた。

なお、本稿においては、消防隊の出火建物までの到着時間に注目することから、モデルの簡略化に努め、火災の延焼については考慮しないこととする。また、消防隊の到着時間を遅らせる要因として、一般車両による渋滞なども考えられるが、現時点で震災直後の渋滞予測を精緻に行うことは困難であるため、今後の課題とした。

(2) 建物倒壊モデル

既存の建物被害関数^{23), 24)}を用いれば、実構造別・建築年代別・地表面最大速度別に倒壊確率を算出することができる。しかし、利用可能なGISデータには、近年実施された耐震工事に関する情報が含まれておらず、倒壊建物数が過大に推計される傾向にある。そこで、平成20年住宅・土地統計調査のデータから算出される建築時期・構造・建て方別の耐震工事率（図1(d)）を利用して、耐震工事を行った建物を推定しGISデータを更新した。ここでは耐震工事済みと推定された建物は、新耐震基準（建築時期が1981年以降）と同等の耐震性能を有していると仮定した。

(3) 消防隊モデル

消防隊は火災発生の通報を受けた後、消火活動に最も有利と考えられる消防水利まで消防車両で向かい、消防水利からは消防隊員がホースを持って出火建物へ向かうという一連の行動をモデル化した（図2）。ただし、震災時には、水道管の破損等により消火栓が利用できない可能性があることから、消防隊は消火栓以外の消防水利（防火水槽）のみを用いるものとした。また、消火活動に最も有利な消防水利を、本稿では、「現在位置から消防水利までの直線距離と、消防水利から火災建物までの直線距離の和が最小となる消防水利」とした。通行可能道路や通行速度は、消防車両と消防隊員に分けて想定した（表2）。

ここで、閉塞道路に関する情報を有していないケース（閉塞情報なし）については、まず、すべての道路が通行可能な状況であると想定して経路探索を行う。しかし、目的地へ向かう途中で閉塞道路に遭遇した場合には、その位置から再度経路探索を行う（このとき、遭遇した閉塞道路はすべて記憶する）。ただし、設定した消防水利に向かう際、計3回閉塞道路に遭遇した場合には、その消防水利への到着は困難と判断し^{注5)}、その位置から出火建物の消火に最も有利な別の消防水利へ目的地を変更すると考えモデル化した。一方、出動前に道路閉塞情報を入手できるケースについては、最初から閉塞箇所を避けた経路探索を行う。

3. シミュレーションの実行と分析結果の考察

表1 震源パラメーター一覧

名称	値	名称	値
断層帯	東京湾北部	モーメント マグニチュード	7.3
震源位置	35.3200°, 140.1400°		
上端深さ	フィリピン海プレートの 1km上方	走向・傾斜	296°, 23°
長さ・幅	63.64km, 31.82km	地震タイプ	プレート間

図1 使用データと物的被害モデルの推定手順

図2 消防隊モデル

図3 地域内建物倒壊率・地域内道路閉塞率

表2 通行可能道路と通行速度

エージェントタイプ	通行可能道路	通行速度 (m/分)
消防車両	道路幅員 (m) 一ガレキ幅が3m以上の道路	規制速度 (細街路は規制速度の半分)
消防隊員	道路幅員 (m) 一ガレキ幅が0m以上の道路	166.67 m/分 (10km/h)
地域住民	道路幅員 (m) 一ガレキ幅が0m以上の道路	100.00 m/分 (6km/h)

(1) シミュレーションの設定条件

典型的な木造住宅密集地域を有する東京都世田谷区を分析対象地域とした。東京都による被害想定¹⁾に基づき、被害が最も大きくなるとされている東京湾北部地震 (M7.3, 冬季18時) の発生を想定し、消防隊移動シミュレーションを300回実行した。各試行では、異なる物的被害パターンを作成し、その各々について、(a) 道路閉塞のまったくないケース (閉塞なし)、(b) 出動前に道路閉塞情報を一切有していないケース (閉塞情報なし)、(c) 緊急輸送道路沿道建築物^{注1)}の耐震化が達成され、緊急輸送道路は一切閉塞しないケース (緊急輸送道路閉塞なし)、(d) 道路閉塞は存在するが、すべての道路閉塞情報を把握しており、閉塞道路を避けた経路探索が可能であるケース (全閉塞把握) の4つのケースを想定し(表3)、消防隊が出火建物に到着するまでの所要時間の平均値や最大値を求めた。比較分析を容易にするため、物的被害のパターンは各ケース(a)～(d)で統一した。なお、300回の試行のうち、出火建物周辺の道路が激しく閉塞し、出火建物に到着できないケースが全範囲平均で約6.5回(約2.2%)存在する。これらのケースは、情報収集の有無や方法の違いにかかわらず到着不能であり、出火建物への到着時間が算出できないことから、本稿の分析からは除外した。

(2) 建物倒壊率・道路閉塞率

第2章の物的被害モデルを世田谷区に適用した結果を図3に示してある。ここでは、空間分布の様子を把握しやすくするため、建物・道路単位の分析結果を250mメッシュ内で集計した値で示してある。地域内建物倒壊率はそれほど高くない地域であっても、地域内道路閉塞率は高いことがわかる。これは、ひとつの道路に複数の建物に関与しているためである。

(3) 道路閉塞が消防隊到着時間に及ぼす影響

表3 シミュレーションの設定条件

条件	道路閉塞による通行不能道路	緊急輸送道路沿道建築物耐震化	道路閉塞情報の入手
(a)閉塞なし	なし	なし	なし
(b)閉塞情報なし	あり	なし	なし
(c)緊急輸送道路閉塞なし	あり	あり	なし
(d)全閉塞把握	あり	なし	あり

図4には各ケース(a)～(d)における、消防車両の移動経路の例を示してある。「閉塞情報なし」の場合(図4(b))、消防署周辺の閉塞道路の影響で、消防車両は数回閉塞箇所遭遇し、到着時間に大幅な遅延が発生している。世田谷区全体での分析結果をみると(図5)、「閉塞なし」と比較して、「閉塞情報なし」の平均到着時間は1.80倍、最大到着時間は3.18倍であり、道路閉塞が到着時間に及ぼす影響は無視できない。また、本稿では一般車両による渋滞の影響を考慮していないことから、実際には、到着時間の遅延はより大きくなると考えられる。

(4) 緊急輸送道路沿道建築物の耐震化効果

緊急輸送道路^{注1)}を閉塞させないことの到着時間短縮に及ぼす効果を図5に示してある。効果の大きい担当範囲では平均値で約30%の短縮効果があることがわかる。しかし、短縮効果には、大きな地域差が存在する。これは、緊急輸送道路を利用して移動できる距離が地域によって大きく異なるためである。

(5) 道路閉塞情報による消防隊到着時間の短縮効果

前節までのシミュレーションは、消防隊の出動時に、どの道路が閉塞しているか全くわからない状況を想定していた。しかし、どこが閉塞しているかの情報が事前に入手できれば、閉塞箇所を避けた経路探索が可能となり、効率的に出火建物へ到着することができると考えられる。そこで、まずは極端なケースとして、出動前に閉塞箇所がすべて把握できる場合(全閉塞把握)について検討した。すなわち、消防車両は通行可能幅員が3m以上の経路のみを用いて経路探索を行い、到着時間が最短となる経路で移動することを仮定した(図4(d))。

全範囲での集計値をみると(図5)、「閉塞情報なし」と比較して、平均到着時間は約3分の2に、最大到着時間は約3分の1に短縮

図4 シミュレーションの実行例

図5 消防隊の最大到着時間と平均到着時間

されており、どちらも「閉塞なし」と同水準の到着時間であることがわかる。担当範囲別の分析結果を比較しても、地域に大きく依存しないことがわかる。すなわち、道路閉塞に関する情報を活用すれば、どのような地域においても、消防隊到着時間の効果的な短縮が期待される。

4. 道路閉塞情報の収集が消防隊の到着時間短縮に及ぼす効果

(1) 道路閉塞情報収集の概要

災害情報を収集する方法には、地域住民の巡回による情報収集の他にも、高所カメラや高所見張、ヘリコプターによる上空からの情報収集等が考えられる。しかし、高所カメラには災害情報同定の問題、ヘリコプターを用いた方法には出動に要する時間の問題など、精度、緊急性、網羅性等の点で課題が残されている。一

方、兵庫県南部地震時に行われた消防隊員・消防団員の巡回による情報収集では、特殊なハードウェアを必要とせず、情報の精度や信頼性が高いという利点が認められた。しかし、人員数の制約や巡回時に閉じ込め者の救助を優先したことで、情報収集に遅延や偏りが生じる等、情報収集活動が十分に機能しなかったことも報告されている¹⁶⁾。

そこで、本稿では、発災直後から消防車両が出動するまでの短い時間を積極的に活用して、地域住民（防災ボランティア等）が災害情報の収集を行うことで、消防隊の到着時間の短縮に及ぼす効果について考察する。具体的には、地域住民の数や情報収集時間と閉塞把握率の関係、さらに、閉塞把握率と消防隊の到着時間との関係について検討する。このとき、大地震発生時には、①火災は地震発生直後に発生するとは限らないこと、②火災の覚

図6 参集型閉塞情報収集行動

図7 無作為型閉塞情報収集行動

図8 情報収集時間と閉塞把握率の関係

図9 型別の情報収集行動の例 (10分後)

図10 消防隊到着時間短縮率

図11 情報収集人員割合と閉塞把握率

図12 情報収集人員割合と消防隊到着時間

知にはある程度の時間を要すること、③限られた消防資源の配分の観点から、延焼危険度の高い地区（震災時出場区の上位地区）以外の消火活動においては、一定時間（15分間）待機する方針がとられていること³⁰⁾などを勘案し、本稿では、消防隊は発災10分後に出動すると仮定し、この10分間の災害情報収集の効果について検討することとした。

(2) 参集型収集と無作為型収集

地域住民の情報収集行動について2種類のモデルを想定した（図6、図7）。それぞれ参集型収集、無作為型収集と呼び、詳細については後述する。収集した閉塞情報は、携帯端末等を用いて、災害情報収集・管理システムへ投稿され、全範囲の消防署で共有されるものと想定した。また、地域住民が通行可能な道路は、消防隊

員が消防水利から出火建物へ徒歩で向かう場合と同様としたが、歩行速度は消防隊員よりも幾分遅めに設定した（表2）。

情報収集にあたる地域住民の数は、過去に事例がないため、まずは世田谷区における消防団員と同数（1056名：世田谷区の人口^{注6)}の約0.12%）を仮定した³¹⁾。地域住民の発災時の居場所は、世田谷区内の交差点上に一様乱数を用いてランダムに割り振った。参集型収集は、最も近い消防署へ移動しながら閉塞情報を収集・投稿することを想定した。ただし、消防署に到着した後は、消防署内で待機し、再度、消防署を出て情報収集は行わないこととした。無作為型収集は、一定時間（10分間）発災時の居場所周辺を無作為に探索し（ランダムウォーク）、閉塞情報を収集・投稿する。ただし、一度通行した道路は、他の選択肢（道路）が

ある限り通らないものとした。また、どの道路も通過したことがある場合には、そのときの居場所（交差点）に接続する道路の中から無作為に1つを選択して移動することとした。

(3) 情報収集方法（参集型収集・無作為型収集）の差異

消防署へ向かいながら情報収集を行う参集型収集は、消防署付近での情報が重複することや、消防署に到着した後は情報収集を行わないため、閉塞把握率は30%程度に収斂する（図8）。一方、無作為に移動しながら情報収集を行う無作為型収集は、発災後10分間で50%以上の閉塞把握率を示しており、参集型収集よりも情報収集能力は高い。これは、地域内で一様に情報収集を行うためである。しかし、消防隊員の到着時間に及ぼす短縮効果をみると（図10）、参集型収集の方が優れていることがわかる。すなわち、同じ時間（10分間）、同じ人数で閉塞情報の収集を行う場合、参集型収集の方が、より効率的に消防隊到着時間の短縮を図ることができることを示している。無作為型収集で得られる通行可能経路は不連続になる傾向にあるのに対し、参集型収集で得られる通行可能経路は、消防署から放射状に連続しているため、効率的な移動が可能になるものと推察される（図9）。また、消防署付近の閉塞状況がきめ細かく入手できることも影響している可能性がある。

次に、参集型収集と無作為型収集を半分ずつ混合して行う場合（混合型収集）について検討する。混合型収集によれば、10分間の情報収集で45%以上の閉塞把握率を達成することができる（図8）。また、消防隊の到着時間を非常に効率的に短縮することができる（図10）。混合型収集は、参集型収集と無作為型収集の欠点を補いながら利点を生かし、一層、時間短縮効率を高められる可能性を示唆しており興味深い。

(4) 情報収集者の数と閉塞把握率・到着時間の関係（混合型収集）

以上の分析では、情報収集を行う地域住民の数を固定して検討したが、以下では、地域住民の数を連続的に変化させ、閉塞把握率と消防隊の到着時間との関係について検討する。シミュレーションの結果を図11、図12に示してある。閉塞把握率・到着時間ともに、少人数による情報収集の際の変化量が非常に大きいことがわかる。地域住民の数がわずかな場合には、参集型収集の効率が高く、消防隊の平均到着時間は急激に減少していることがわかる。一方、地域住民の数がある程度多くなると、無作為型収集の方が効率が良くなることがわかる。両者の特徴を兼ね備えた混合型収集によれば、地域人口の約0.5%の地域住民が情報収集すれば、閉塞把握率は約85%となり、到着時間は約4.5分から約3.0分（約67%）に短縮することができる。地域住民の数が増すにつれて、閉塞把握率は理論上の上限値（100%）へ、また、到着時間は下限値（全閉塞把握時の到着時間）へ向けて指数関数的に漸近することがわかる。すなわち、たとえ少人数であっても、発災直後に閉塞情報の収集にあたれば大幅な到着時間の短縮を図ることが可能であることを示している。

5. まとめ

本稿では、大地震時の物的被害（道路閉塞）の下での消防隊の行動を記述する「消防隊移動シミュレーションモデル」を構築し、道路閉塞が消防隊の到着時間に及ぼす影響について定量的に分析した。また、地域住民による道路閉塞情報の収集が消防隊の到着時

間の短縮に及ぼす効果を検証した。具体的には、大地震時の物的被害状況を建物・道路単位で精緻に記述し、これに消防隊の行動モデルを組み込むことで、消防隊の到着時間を定量的に評価することのできるシミュレーションモデルを開発した。次に、このシミュレーションモデルを用いて、冬季18時に東京湾北部地震（M7.3）が発生した場合を想定したシミュレーションを実行し、到着時間は平常時の約2倍近くになることを示した。また、緊急輸送道路沿道建築物の耐震化が、消防隊の到着時間短縮に貢献する程度を定量的に評価した。さらに、情報収集を行う地域住民の数と到着時間との関係について分析し、地域人口の約0.5%の人が10分間情報収集を行えば、約85%の道路閉塞情報が収集でき、理論上の下限値付近まで到着時間を短縮できる可能性を示した。

ただし、本稿ではモデルの簡略化のため、一般車両による道路渋滞や電柱やブロック塀等による道路閉塞の可能性については考慮していない。これらの要因をモデルに組み込むことは、今後の課題である。また、火災延焼についても考慮していない。実際には、延焼方向や速度を考慮して消火活動に適した消防水利を選定し、消防隊は移動することになる。さらに、消火栓は機能しないことを想定して、防火水槽等の利用を前提としたが、断水の程度によっては、消火栓を利用した方が効率的な消火活動が行える可能性がある。今後は、消防水利の位置や利用可能性、さらに、火災の延焼過程や消防団の初期消火などをモデルに組み込み、より精緻なシミュレーション分析を実施する予定である。

建築物の不燃化や耐震化は、災害に強い街づくりの根幹をなすものであり、今後も引き続き推進することが必要である。しかし、大地震発生 of 切迫性を考えれば、時間を要するハード面での整備のみならず、比較的短時間で実現可能なソフト面での減災手法についても同時に検討しておくことの必要性は高い。本稿では、発災直後における消防隊の初動対応を効率的・効果的に支援する視点から、道路閉塞情報を迅速に収集し、それを活用することの効果について分析した。この他にも、発災直後の災害情報を減災に活用する応用事例は多数考えられる。筆者らは、本稿で想定した発災直後の災害情報収集・投稿システムの構築に着手しており、その実証性については稿を改め報告したい。

謝辞

本研究を行うにあたり、東京消防庁の関係者各位より消防水利のデータ提供と貴重なコメントを頂戴した。ここに記して謝意を表します。

注

注1) 東京都は、警察機関や消防機関を連絡する重要道路等の被害を軽減することを目的として、平成23年3月に「東京における緊急輸送道路沿道建築物の耐震化を推進する条例」²⁾を公布し、平成24年4月からは耐震診断の実施を義務化している。緊急輸送道路とは、地震発生直後からの緊急輸送を円滑に行うために東京都が指定した重要道路である。例えば、応急対策の中枢を担う都本庁舎や空港等を連絡する路線、警察、消防等の初動対応機関を連絡する路線等が含まれ、世田谷区では、環状7・8号線や、甲州街道等が指定されている。

注2) 兵庫県南部地震時の被害データをもとに構築されたモデルであり、建築年代、実構造種（木造・RC造・S造・軽量S造）、PGV（地表面最大速度）に基づき、建物の全壊確率等を算出できる。本稿では、これに耐震工事の効果を組み込み、更なる精緻化を行った。

- 注3) 家田ら^{26), 27)}は兵庫県南部地震時の被害データに基づき、町丁目ごとに集計されたパラメータ（木造率、全壊率、平均階層等）を用いて、道路1本単位での閉塞確率を推定するモデルを構築した。国土交通省によるリンク閉塞モデルは、この家田らによるモデルを、町丁目ごとではなく、道路1本の沿道建築物群に適用したモデルである。家田らが推定したものは、「道路線からのガレキ幅」であり、国土交通省の推定するのは、「建物前面からのガレキ幅＝道路線からのガレキ幅＋セットバック距離」である。この差を考慮し、地域内の平均セットバック距離(1.26m)を足しあわせている。
- 注4) 東京消防庁による建物用途別の出火率、及び、初期消火率を用いた。このモデルは、出火機構の分析、振動実験、兵庫県南部地震の精査に基づき構築されている。入力パラメータは、建物用途、時間帯（季節・昼夜）、計測震度である。
- 注5) 火災建物の周辺（3口放水可能なエリア内）には、複数の消防水利が存在する。道路閉塞のある震災時にひとつの消防水利への到着に固執し過ぎると、到着時間が余計にかかってしまうことを予備実験で確認した。平均再探索回数が3回を超えると到着時間の増大が認められたことを踏まえ、3回閉塞道路に遭遇し、再探索を余儀なくされた時点で、その消防水利への到着は困難と判断することとした。
- 注6) 世田谷区の人口は、平成22年国勢調査のデータに基づき、87万7138名とした。

参考文献

- 1) 東京都：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>，2012.4（2014.3.23 参照）
- 2) 東京都：東京における緊急輸送道路沿道建築物の耐震化を推進する条例，<http://www.taishin.metro.tokyo.jp/tokyo/ordinance.html>（2014.6.1 参照）
- 3) 久貝壽之・加藤孝明：道路閉塞からみた道路網防災性能の構造の解明，パーコレーション理論に基づいた地区レベル道路網の防災性能評価に関する基礎研究 その4，日本建築学会計画系論文集，No.615，pp.113-120，2007.5
- 4) 久貝壽之・加藤孝明：地域レベルの領域から道路網防災性能上脆弱な地区を抽出する評価手法の確立，パーコレーション理論に基づいた地区レベル道路網の防災性能評価に関する基礎研究 その3，日本建築学会計画系論文集，No.600，pp.105-112，2006.2
- 5) 久貝壽之・加藤孝明：通行可能確率分布を考慮した道路網の防災性能評価手法の構築，パーコレーション理論に基づいた地区レベル道路網の防災性能評価に関する基礎研究 その2，日本建築学会計画系論文集，No.593，pp.139-144，2005.7
- 6) 久貝壽之・加藤孝明・小出治：パーコレーション理論に基づいた地区レベル道路網の防災性能評価に関する基礎研究，日本建築学会計画系論文集，No.549，pp.231-237，2001.11
- 7) 久貝壽之・加藤孝明・ヤルコン・ユスフ・小出治：道路閉塞からみた地区レベル街路網の防災性能評価手法の提案，地域安全学会論文集，No.1，pp.25-34，1999.11
- 8) 田口元寿・糸井川栄一・熊谷良雄：主と直下地震時における火災被害リスク低減のための戦略的な消防力運用に関する研究一消防力運用方法の切替え時期と被害軽減効果の分析一，地域安全学会論文集，No.10，pp.113-123，2008.11
- 9) 中野孝雄・熊谷良雄：消防活動情報管理システムを活用した震災時利用可能水利の評価，日本火災学会論文集，Vol.51，No.1，pp.45-53，2001.7
- 10) 関澤愛・佐々木克憲・杉井完治・山瀬敏郎・座間信作・遠藤真：震災時における消防部隊の初期出場方式の違いによる延焼抑制効果の比較分析，地域安全学会梗概集，No.25，pp.5-6，2009.11
- 11) 関澤愛・佐々木克憲・山瀬敏郎・座間信作・遠藤真・岡部弘志：消防力最適運用支援システムを用いた市街地の地震火災リスク評価，地域安全学会梗概集，No.23，pp.1-4，2008.11
- 12) 関澤愛・遠藤真・座間信作・山瀬敏郎・篠原秀明・佐々木克憲・川村聡：同時多発火災に対する初動時の最適消防力運用効果の評価：最適消防力運用支援情報システムを用いたケーススタディ，地域安全学会梗概集，No.13，pp.3-6，2003.11
- 13) 関澤愛・遠藤真・座間信作・山瀬敏郎・篠原秀明・佐々木克憲：最適消防力運用に資する消防活動支援情報の出力について，地域安全学会梗概集，No.12，pp.71-74，2002.11
- 14) 関澤愛・高梨健一・遠藤真・座間信作・山瀬敏郎・篠原秀明・佐々木克憲：リアルタイム延焼予測に基づく消防活動支援情報の出力システム，地域安全学会梗概集，No.11，pp.117-120，2001.11
- 15) 近藤伸也・目黒公郎：実効性の高い防災対策を実現できる災害情報データベースの構築，地域安全学会論文集，No.4，p.p.261-266，2002.11
- 16) 杉井完治・関澤愛・岡部弘志・遠藤真・座間信作・新井場公德：震災直後期における消防機関による実効性のある災害情報収集体制構築の必要性，地域安全学会論文集，No.10，pp.89-96，2008.11
- 17) 若松加寿江・松岡昌志：地形・地盤分類250mメッシュマップ全国版の構築，日本地震工学会大会－2008梗概集，pp.222-223，2008.11
- 18) 藤本一雄・翠川三郎：日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均S波速度分布の推定，日本地震工学会論文集，Vol.3，No.3，pp.13-27，2003.7
- 19) 松岡昌志・若松加寿江：地形・地盤分類250mメッシュマップ全国版に基づく地盤のゆれやすさデータ，産業技術総合研究所，知的財産管理番号H20PRO-936，2008
- 20) 松岡昌志・翠川三郎：国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング，No.22回地盤震動シンポジウム資料集，日本建築学会，pp.23-24，1994
- 21) 藤本一雄・翠川三郎：近接観測点ペアの強震観測記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度の関係，日本地震工学会論文集，Vol.6，No.1，pp.11-12，2006
- 22) 司宏俊，翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，No.523，pp.63-70，1999.9
- 23) 村尾修・山崎文雄：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，No.527，pp.189-196，2000.1
- 24) 村尾修・山崎文雄：兵庫県南部地震における建物被害の自治体による調査法の比較検討，日本建築学会計画系論文集報告集，No.515，pp.187-194，1999.1
- 25) 国土交通省：まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発，国土交通省総合技術開発プロジェクト，2003.3.
- 26) 家田仁・望月拓郎・上西周子：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，Vol.23，No.3，pp.138-145，1998.2
- 27) 家田仁・望月拓郎・上西周子：街路閉塞現象による機能的障害と地区の危険度評価法，土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集，pp.433-440，1997.9
- 28) 東京消防庁：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，1997.3
- 29) 東京消防庁：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，2005.3
- 30) 東京消防庁：地震火災による人的被害の軽減方策，火災予防審議会答申，2014.3
- 31) 総務省：あなたの街の消防団，<http://www.fdma.go.jp/syobodan/search/13.html>（2014.6.1 参照）
- 32) 廣川典昭・大佛俊泰・沖拓弥：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，E-1，pp.121-122，2013
- 33) 廣川典昭・大佛俊泰・沖拓弥：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，地理情報システム学会講演論文集，Vol.22，CD-ROM，2013.10

INFORMATION COLLECTION OF STREET BLOCKAGE AFTER A LARGE EARTHQUAKE FOR REDUCING ACCESS TIME OF FIRE FIGHTERS

Toshihiro OSARAGI^{*1}, *Noriaki HIROKAWA*^{*2} and *Takuya OKI*^{*3}

^{*1} Prof., Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
CREST, Japan Science and Technology Agency

^{*2} Graduate Student, Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology
CREST, Japan Science and Technology Agency

^{*3} Assistant Prof., Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, M. Eng.
CREST, Japan Science and Technology Agency

The damage estimation, which was conducted by Tokyo Metropolitan Government in 2012, reports that 200 thousand or more buildings will be burned down and 20 thousand or more people will be killed or injured by fires in the Tokyo-epicenter major earthquake. In order to decrease the damage of fire-spreading, it is highly important that fire fighting activities are performed immediately after outbreaks of fires. Although buildings along main streets have been gradually converted into quake-resistant and fireproofing, many narrow streets still remain in high-density wooden residential areas. Therefore, the previous studies presume that the use of emergency vehicles will be obstructed by collapsed buildings after a devastating earthquake. We need not only to promote improvement of buildings toward quake-resistant and fireproofing, but also to consider other methods for disaster mitigation because we are facing emergent high risk of a major earthquake.

In this paper, we investigate a method for assisting fire fighters for their effective and efficient access to the locations of fires. More specifically, first, we construct a simulation model that describes the movement of fire fighters under the condition of street-blockages caused by collapsed buildings. Next, using the proposed model, we estimate the access time of fire fighters moving from fire stations to the locations of fires, for the following conditions; (1) no streets are blocked, (2) streets are blocked according to the property damage simulation results, (3) all the Urgent Transportation Roads are not blocked while other streets are blocked according to the property damage simulation results, (4) streets are blocked, but the locations of street-blockage are known. The simulation result shows that the average access time to the locations of fires will increase to twice time in the condition of street-blockages, with comparing to the no street-blockages. Also, it shows that the mean access time to the location of fires can be reduced to the same level as no street-blockages, when we know the locations of street-blockages. Namely, collecting information about street-blockage in advance may work as an effective strategy to improve the accessibility of fire fighters.

Next, we attempt to evaluate the effects of street-blockage the information collected by residents for improving the accessibility of fire fighters. We construct a model which describes information collection behavior of residents, and evaluate the means for collecting the street-blockage information, assuming the following strategies; (1) residents collect information by moving randomly, (2) residents collect the information by moving toward fire stations. Based on the result of the simulation, we demonstrate that the access time to the locations of fires can be effectively reduced by using the street-blockage information collected by residents. Although residents moving to the fire stations collect less information comparing to the random walking residents, their information have higher effects on shortening the access time of fire fighters. Also, the simulation result shows that it is possible to reduce access time to the same level as no street blockages in case that around 0.5 percentages of residents participate in collecting information of street-blockages.

(2014年8月8日原稿受理, 2014年11月19日採用決定)