

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：12608

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25889023

研究課題名(和文)大地震時における広域避難の困難さからみた木造住宅密集地域整備事業の検討

研究課題名(英文) Study on Improvement Projects in Densely Built-up Wooden Residential Area from the Viewpoint of Difficulty in Wide-area Evacuation at a Large Earthquake

研究代表者

沖 拓弥 (Oki, Takuya)

東京工業大学・理工学研究科・助教

研究者番号：40712766

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,000,000円

研究成果の概要(和文)：大地震時の広域避難シミュレーションモデルを用いて、木造住宅密集地域整備事業の評価に関わる各種分析を試みた。まず、過去2時点の「避難困難率」の値を指標として、過去に実施された事業を評価した。次に、具体的な整備手法検討の一例として、狭隘かつ交差点間距離の長い道路沿いに緊急避難経路を設けた場合の効果を検証した。また、徒歩帰宅者の存在を考慮して、人々の火災曝露リスクや道路・避難場所の混雑度を推定したほか、「建物内閉じ込めモデル」と「地域住民による救助活動モデル」を組み込み、地域住民による救助活動の効果と救助活動者自身のリスクを評価した。さらに、自動車利用者の存在を考慮するための基礎的な分析を行った。

研究成果の概要(英文)：The various analyses related to the evaluation of improvement projects in densely built-up wooden residential area were performed using the simulation model, which describes wide-area evacuation at a large earthquake. Firstly, the past improvement projects were evaluated with the difficulty in wide-area evacuation between two time points (1991 and 2006) as an index. Secondly, as an example of the application of the simulation model to considering the specific methods to improve cities, the effects of adding new evacuation routes connecting between two narrow and long streets were verified. Thirdly, the exposure risk with fire-spreading for people and the congestion of streets and evacuation areas were estimated considering people who return home on foot after an earthquake occurs. Fourthly, the effects and risk of rescue activities by local residents were quantified. Lastly, the basic analyses were performed in order to take automobile users at a large earthquake into account.

研究分野：地域防災・減災計画，都市解析

キーワード：大地震 木造住宅密集地域整備事業 広域避難シミュレーション 避難困難率 建物内閉じ込め 救助活動 徒歩帰宅者 自動車利用者

1. 研究開始当初の背景

(1)木造住宅密集地域では、大地震発生時に建造物が倒壊して生じる瓦礫によって避難場所への円滑な避難が困難となる可能性が高く、早急な改善が必要とされている。整備目標として従来用いられてきた不燃領域率や延焼抵抗率は、火災に対する市街地全体の平均的な安全性を示すものであり、人々が避難場所まで安全に避難できるか否かという観点から個々の街区や建物の安全性を保証するものではない。

(2)これまでに構築した広域避難シミュレーションモデルでは、大地震発生後の建物倒壊によって生じる瓦礫や火災延焼時の火災・熱による道路閉塞や、広域避難者の集中による道路混雑を考慮している。一方で、大地震時に深刻化することが予想される自動車による渋滞や路上放置車両の存在が、広域避難者に及ぼす影響は考慮されておらず、より精緻なシミュレーションを実行するために、モデルへの組み込みを検討する必要がある。

2. 研究の目的

(1)大地震発生時に大きな物的・人的被害が発生することが予想される木造住宅密集地域の危険性を低減させる上では、地域住民や事業者の合意形成を得ながら、場所に応じた適切な整備を進めていくことが重要である。そこで、具体的な街区や避難経路の安全性を、人々が避難場所まで円滑に避難できるかどうかという観点から定量化し、従来よりもミクロな空間単位で具体的・効果的・効率的な整備方法を提示するための手法を構築することを目的とした。

(2)大地震時において人々が一時集合場所や広域避難場所に向かう場合、建物倒壊・火災延焼・道路閉塞等の物的被害以外にも、様々な要因の影響を受ける可能性が高い。安全かつ円滑な避難を行う上で、事前に出来るだけ多くの要因を想定し、議論しておくことは重要である。そこで、大地震発生後に徒歩で自宅に向かう人々(徒歩帰宅者)と一時集合場所・広域避難場所に向かって避難する人々(広域避難者)が混在することの影響、倒壊した建物内に閉じ込められている人々を地域住民自らが救助することの効果とリスク、火災延焼が接近した場合の避難開始のタイミングと逃げ遅れの関係を定量的に分析することを目的とした。

(3)大地震発生後に自動車による渋滞や路上放置車両の存在が徒歩帰宅者・広域避難者に及ぼす影響を、広域避難シミュレーションにおいて考慮するための第一歩として、大地震発生直後の主要幹線道路の混雑状況や、自動車利用者が車両を路上に放置して徒歩帰宅者に転じることで、道路や徒歩帰宅者支援施設の混雑や、路上での徒歩帰宅断念者数

が従来の想定以上に深刻化する可能性について、基礎的な分析・考察を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

(1)平成3年と平成18年の東京都世田谷区土地利用現況調査に基づく市街地GISデータと、平成10年東京都市圏パーソントリップ調査に基づく都市内滞留者の時空間分布データを、これまでに構築してきた物的被害モデルと避難行動モデルから構成される大地震発生時の広域避難シミュレーションモデルに入力した。そして、大地震発生時に人々が避難場所まで徒歩で到達可能であるか否かを表す指標である「避難困難率」を2時点(平成3年・平成18年)について算出し比較することで、過去に実施された木造住宅密集地域整備事業の評価を行った。

(2)平成18年においても依然として避難困難率が高いことが明らかとなった道路の沿道建物間に、大地震発生時等の緊急時にのみ利用可能な通り抜け避難経路を新たに設けることを想定し、具体的な整備箇所を示すGISデータを作成した。そして、(1)と同様に広域避難シミュレーションを実行することで、どのような箇所でもどのように避難経路を設けることが効果的・効率的であるかを検証した。

(3)東京都足立区土地利用現況調査データ(平成23年)、東京都市圏パーソントリップ調査データ(平成20年)、関東全域のデジタル道路地図データ(平成25年)、および、これまでに構築した徒歩帰宅シミュレーションモデルを用いて、大地震発生後の首都圏における徒歩帰宅者の時空間分布を道路単位で推定した。そして、得られた時空間分布を広域避難シミュレーションの入力データとして追加することで、徒歩帰宅者・広域避難者それぞれの火災曝露リスクや、徒歩帰宅者の流入により道路・一時集合場所・広域避難場所の混雑がどの程度悪化する可能性があるかを検証した。

(4)(1)~(3)で使用した広域避難シミュレーションモデルに、新たに「建物内閉じ込めモデル」と「地域住民による救助活動モデル」を組み込んだ。そして、「避難困難者」を「建物内閉じ込め者」、「街路上閉じ込め者」、「死亡者」の3種類に細分化してシミュレーションを実行することで、地域住民による救助活動の効果と救助活動者自身のリスクを、全体の死亡者数を低減する観点から評価した。

(5)(4)で改良した広域避難シミュレーションモデルを用いて、高齢者の割合が大きく異なる複数の発災時刻において、延焼火災接近時の避難開始のタイミングを複数設定してシミュレーションを実行した。そして、瓦礫

の乗り越えや救助活動への参加が困難な高齢者が多い時間帯の人的被害の様相や、避難開始のタイミングが遅れることにより人的被害がどの程度拡大する可能性があるかを、定量的に分析・考察した。

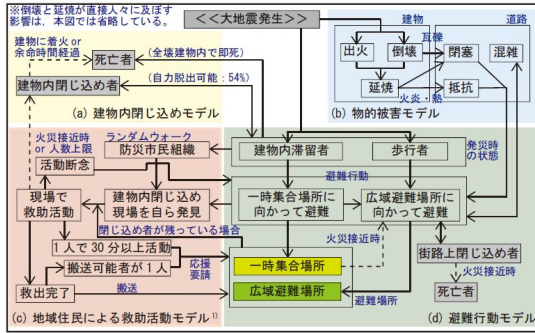


図1 大地震発生時の広域避難シミュレーションモデルの概要(「建物内閉じ込めモデル」と「地域住民による救助活動モデル」の組み込み後)

(6)東京都市圏パーソントリップ調査(平成10年)と道路交通センサス(平成22年)のデータを用いて自動車利用者の時空間分布を首都圏全体で推定した。そして、大地震発生直後に想定される道路の混雑状況を主要幹線道路別に推定した。さらに、帰宅困難となる可能性の高い自動車利用者(ドライバー・同乗者)の人数を、地域別・距離帯別・移動目的別・性別・年齢階層別に推計した。

4. 研究成果

(1)平成3年と平成18年の2時点について、それぞれ広域避難シミュレーションを実行した結果、木密事業が市街地の不燃化・耐震化に一定の効果を上げ、全体的に見れば避難困難率も低減していることを定量的に確認した(図2)。一方、整備箇所への偏りによって局所的に避難困難率の高い箇所が残存しており、地域全体の避難困難率や避難時間・避難距離の改善を妨げていることが判明した。避難困難率の高い建物は、特に、道路幅員が狭く交差点間距離が長い道路沿いに多い。

本手法によれば、不燃領域率や延焼抵抗率等、市街地全体の耐火性能を数値化するだけでは把握できない広域避難の困難性を、建物・道路単位で把握し、その後の整備計画に反映させることが可能である。

(2)幅員が狭く交差点間距離が長い道路沿いの建物の避難困難率を効果的かつ効率的に低減させるための手法として、大地震発生時等の緊急時にのみ利用可能な通り抜け避難経路を整備する手法に着目し、その有効性を避難困難率等の指標を用いて定量的に評価した。通り抜け可能な避難経路を新たに設けることで、交差点間の距離が短くなることから、発災時の居場所周辺の道路閉塞によって閉じ込めに遭う避難困難者の数を大きく減らすことができると考えられる。

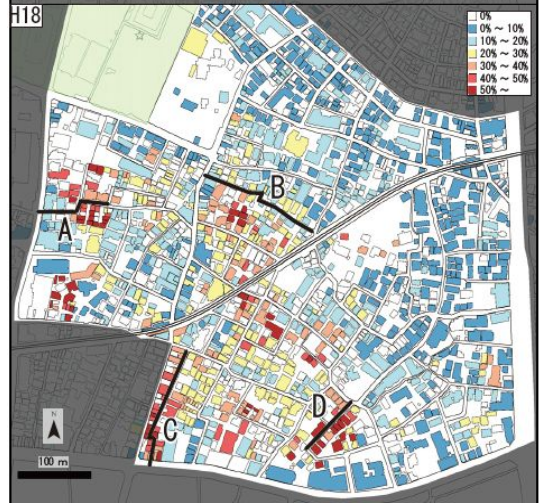
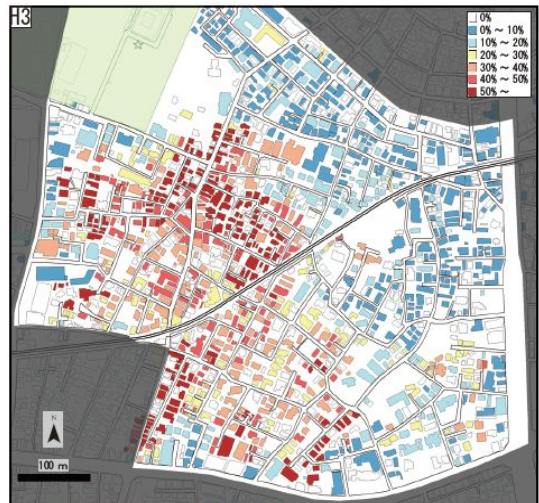


図2 建物ごとの避難困難率の経年変化
避難困難率は、シミュレーション回数に占める避難困難者が発生した回数と定義。

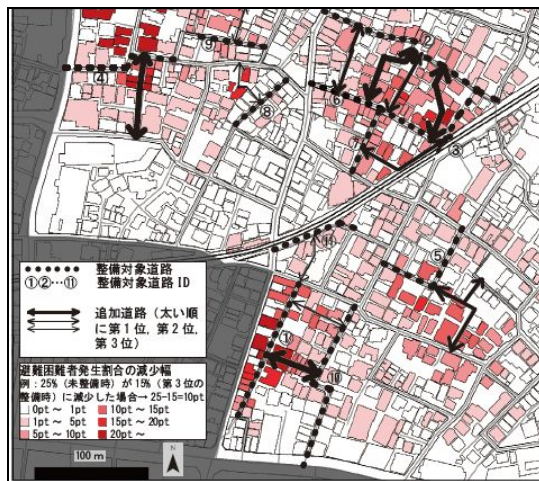


図3 整備箇所と各建物の避難困難率減少効果の空間分布(第1位、第2位、第3位は整備の順番を表す)

シミュレーションの結果、もともと広域避難の困難性が深刻である道路ほど整備効果が大きくなる傾向が見られた(図3)。また、建物の不燃化・耐震化や道路幅員の拡幅と比較して、効果的かつ効率的に避難困難率を低減させることが可能であることを示した。

本手法によれば、これまで事業計画者の直感に頼ることの多かった整備箇所・整備方法に関する検討を、具体的かつ定量的に行うことが可能である。

(3)東京都足立区北千住地域を例にシミュレーションを実行した結果に基づけば、地域内を通る主要幹線道路の徒歩帰宅者による混雑度は、最も値の高い道路でも、ピーク時に100mあたり160人程度の値にとどまることが判明した。また、対象地域の中心部に位置する狭小な一時集合場所を除けば、一時集合場所と広域避難場所の占有可能面積には余裕が見られた。一方、シミュレーションを実行した200通りの物的被害パターンのうち半数以上について、対象地域外部から流入・通過する徒歩帰宅者の50%以上の人々が、火災まで50m以内に接近してしまう可能性を示した。

これらの人々は、迂回によって火災への接近を避けられたとしても、地理的に不慣れな土地においては、道に迷っている間に建物の倒壊や別の延焼火災に巻き込まれる可能性がある。すなわち、「大地震発生後にむやみに帰宅しない」ことは、道路や避難場所の混雑を抑制する効果があるだけでなく、むしろ、自身が徒歩帰宅中に延焼火災に巻き込まれないために重要であるといえる。また、今後、徒歩帰宅者が多く通過する可能性があり、かつ、大地震発生時の倒壊・火災危険度が高いエリアを中心に、様々な地域でシミュレーションを実行する予定である。

(4)倒壊建物の瓦礫乗り越えや避難者属性の違いを考慮したシミュレーションモデルを用いて、東京都足立区北千住地域を例に、大地震発生時における地域住民による救助活動の効果と広域避難時の逃げ遅れの影響を評価した。平均値で見ると、街路上に閉じ込められた状態で火災に巻き込まれて死亡するケースが最も多く、次いで、建物内に閉じ込められた状態で救助が間に合わず、負傷が原因で死亡するケースが多い。一方、一時集合場所周辺に延焼が拡大した場合に逃げ遅れると、甚大な被害となる場合があり、一時集合場所に一度到達した避難者が最大1千人以上死亡するケースも見られた(図4)。また、救助活動後に死亡する人数は、平均値で見れば救出される人数の2分の1以下であり、地域住民による救助活動によって全体の人的被害を低減できる可能性を示した。

本シミュレーションモデルを用いれば、全体の人的被害を低減するために有効な避難・救助行動のあり方を、発災時刻や地域の特性に応じて具体的に検討可能である。特に、今回の実行結果においては、最大で200人前後の救助活動者が死亡するケースが存在していることから、今後は、どのような物的被害の場合に一時集合場所からの逃げ遅れが発生し、また、救助活動者に死亡者が発生するのかについて検討する予定である。

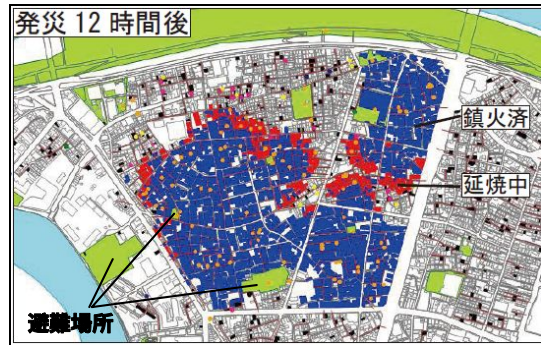


図4 一時集合場所到達後の死亡者数が最多となるケースの火災延焼の様子

(5)通勤・通学の時間帯(8時, 18時)において、都心部と郊外部を結ぶ放射線状の道路と環状道路の交点付近が渋滞しやすく、大地震時の広域輸送における障害となる可能性が高いことが明らかになった。また、渋滞が特に深刻な道路(自動車利用者の密度と、道路上で車両が占める面積の割合がともに高い道路)は、大地震発生時の総合危険度(建物倒壊や火災延焼の危険性)が高い地域に多く(図5)、早急な対策が必要であると考えられる。また、大地震発生後に発生する道路閉塞や交通渋滞の影響により、自宅から20km以上離れた地点にいる自動車利用者は帰宅困難と仮定すると、移動目的別では、私用や業務等、通勤・通学以外の目的で遠出をしている人の割合が比較的高く、性別や年齢階層別で見ると、女性は最大で約2万7千人、18歳未満の児童・生徒や65歳以上の高齢者は最大で合計約1万2千人存在することが判明した。さらに、自宅から20km以上離れた建物内に滞在しているドライバーが都心部に非常に多く存在する(図6)ことを示した。こうした人々が大地震発生後に一斉に自動車を利用し渋滞を悪化させないための対策を検討する必要がある。

今後は、細街路上の車両の時空間分布推定に着手し、市街地における緊急車両の走行や一時集合場所・広域避難場所への避難に及ぼす影響について検証する予定である。

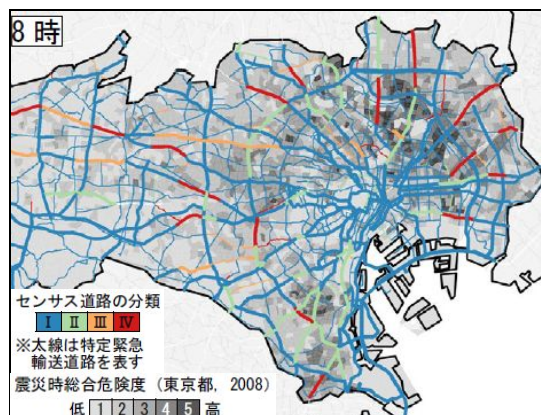


図5 渋滞の深刻度に基づく主要幹線道路の分類と震災時総合危険度の空間分布

図5においては、道路上の自動車利用者の密度 D [人/100m] と道路上で車両が占める面積の割合 R [%] の値に基づき、各道路を次のように分類している。

- : $D \leq 30$ and $R \leq 15$
- : $D > 30$ and $R \leq 15$
- : $D \leq 30$ and $R > 15$
- : $D > 30$ and $R > 15$

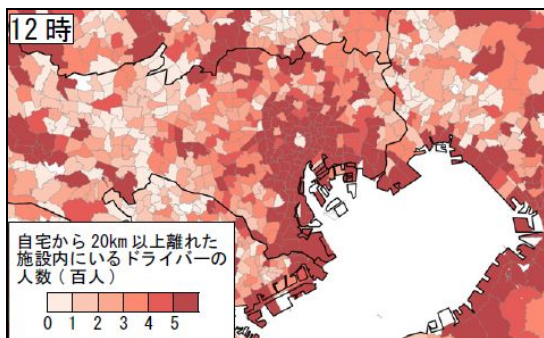


図6 自宅から20km以上離れた建物内にいるドライバーの空間分布

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

1. 大佛俊泰・沖拓弥, 広域避難の困難性からみた木造住宅密集地域整備事業の評価, 日本建築学会計画系論文集, 査読有, 2014, 79(696), 437-444, DOI 10.3130/aija.79.437

〔学会発表〕(計8件)

1. 沖拓弥・大佛俊泰, 大地震時の地域住民による救助活動と逃げ遅れについて, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2015, 425-428, 2015年3月3日, 日本大学(東京都千代田区)
2. 沖拓弥・大佛俊泰, 東京都足立区北千住における大地震時の徒歩帰宅・広域避難リスク評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2014, 1055-1056, CD-ROM, 2014年9月12日, 神戸大学(兵庫県神戸市)
3. 大佛俊泰・沖拓弥, 首都直下地震時における徒歩帰宅者と広域避難, 足立区防災講演会(招待講演), 2014, 300名, 2014年9月9日, 足立区役所(東京都足立区)
4. Takuya Oki and Toshihiro Osaragi, A Method for Evaluation of Wide-area Evacuation Difficulty in Case of Major Earthquake, 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON DESIGN AND DECISION SUPPORT SYSTEMS IN ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING (DDSS 2014), Procedia Environmental Sciences, 2014, 387-396, USB, 2014年8月27日, アイントホーフェン(オランダ)
5. 沖拓弥・大佛俊泰, 首都直下地震時における徒歩帰宅と広域避難, 第6回マイク

ロジオデータ研究会「震災ビッグデータとこれからの震災対応」(招待講演), 2014, 200名, 2014年3月19日, 東京大学(東京都目黒区)

6. 沖拓弥・大佛俊泰, 自動車利用者の時空間分布からみた大地震時の様相に関する考察, 地理情報システム学会講演論文集, 2013, 22, CD-ROM, 2013年10月27日, 慶應義塾大学(東京都港区)
7. 大佛俊泰・沖拓弥, 避難困難性からみた木造住宅密集地域整備事業の評価: 大地震時の避難困難率低減に向けた広域避難シミュレーションの応用 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2013, 147-148, CD-ROM, 2013年9月1日, 北海道大学(北海道札幌市)
8. 沖拓弥・大佛俊泰, 避難困難性からみた木造住宅密集地域における交差点間距離の短縮効果: 大地震時の避難困難率低減に向けた広域避難シミュレーションの応用 その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2013, 149-150, CD-ROM, 2013年9月1日, 北海道大学(北海道札幌市)

〔その他〕

T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ, http://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100518739

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沖 拓弥 (OKI TAKUYA)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 40712766

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし