

大地震時における避難・帰宅行動シミュレーションモデル

守澤 貴幸・大佛 俊泰

A Simulation Model of Returning Home and Evacuation Behavior in A Devastating Earthquake

Takayuki MORISAWA, Toshihiro OSARAGI

Abstract : The previously proposed models for evacuation behavior and returning home behavior in a devastating earthquake were independently developed considering particular situations. In order to simulate people's behavior more precisely, this paper attempts to develop a behavior-transition model that describes the transition of behavior such as waiting in a building, returning home and evacuating to an evacuation area. Since the transition behavior deeply depends on the degree of seismic damage, we attempt to combine a collapse house model, a road blockade model and an urban spreading-fire model with the behavior-transition model.

Keywords : マルチエージェント (multi agent), 群集密度 (crowd density), 道路閉塞 (road blockade)
パーソントリップ調査 (person trip survey), 市街地延焼 (urban spreading-fire)

1. はじめに

近年, 避難シミュレーションの分野においては, MAS(マルチエージェントシミュレーション)の応用が試みられているが, 地域防災計画は市区町村などの比較的広い領域について議論されることが多く, 特に, 大地震時を想定した地域防災計画を立案する際には, 広域的な考察が不可欠である. さらに, 避難行動を扱う際には, 対象地域の滞留者を考慮するだけでなく, 帰宅者の空間的な移動についても考慮する必要があると考えられる. そこで本研究では, 避難行動を扱うための対象地域に加えて帰宅行動を扱うのに十分な外部領域を考慮し, また, 帰宅者の行動遷移を細分化するこ

とにより, 広域避難場所(以下, 避難場所)への避難行動について分析を行う.

2. 各種データとシミュレーションモデルの構築

2.1. 滞留者の行動遷移の定義

図1に対象地域内, 及び, 対象地域外の滞留者の取る行動遷移を示した. 本研究では行動遷移のパターンから, 滞留者を「自宅内滞留者」「帰宅困難者」「帰宅行動者(内内)」「帰宅行動者(内外)」「帰宅行動者(外内)」「帰宅行動者(外外)」の6つに分類した. 対象地域内の滞留者は, 火災が周囲300m以内に迫った時に避難行動を開始するものとした. 避難を行っていない者の内, 自宅までの距離が20km以内の滞留者は帰宅が可能であるものとして, 発災後から1時間後に帰宅行動を開始する. 避難者は最寄の避難場所(図2)に接続する交差点, 帰宅者は自宅から最寄の交差点を目的地とする. また, 避難者・帰宅者は共に滞

名称	状態遷移	説明
自宅内滞留者	・A ・A⇒①⇒I	・A⇒①⇒II 火災が周囲300m以内に迫った時避難行動へと移る
帰宅困難者	・B ・B⇒①⇒I	・B⇒①⇒II 自宅が遠いため帰宅が不可能行動遷移は自宅内滞留者と同じ
帰宅行動者(内内)	・C⇒①⇒I ・C⇒①⇒II ・C⇒②⇒①⇒I	・C⇒②⇒①⇒II ・C⇒②⇒A⇒... 対象地域内から対象地域内へ向けて帰宅行動を行う
帰宅行動者(内外)	・C⇒①⇒I ・C⇒①⇒II ・C⇒②⇒①⇒I	・C⇒②⇒①⇒II ・C⇒②⇒③⇒III 対象地域内から対象地域外へ向けて帰宅行動を行う
帰宅行動者(外内)	・D ・D⇒③⇒②⇒①⇒I ・D⇒③⇒②⇒①⇒II	・D⇒③⇒②⇒A⇒... 対象地域外から対象地域外へ向けて帰宅行動を行う
帰宅行動者(外外)	・D ・D⇒③⇒②⇒③⇒III	対象地域を通過しながら帰宅行動を行う

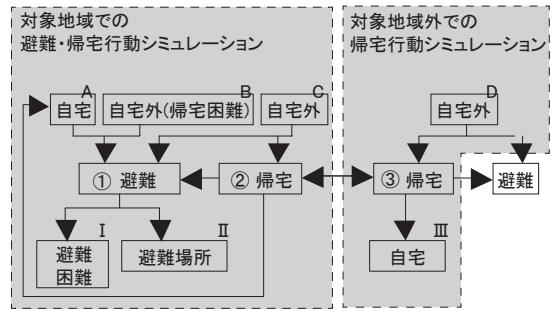


図1 滞留者の状態遷移

留地から最寄の交差点まで直線的に移動して、その後目的とする交差点まで道路上の最短経路を辿るものと考えた。なお、対象地域の境界をまたぐ帰宅者に関しては優先的に主要道路を通るものとした。経路が火災や建物倒壊によつ通行不可となつた場合、帰宅者は避難者へと遷移し、再度避難場所までの最短経路を取得し避難行動をとる。避難場所までの経路を取得できない避難者は安全な経路の選択が不可能な「避難困難者」と考えた。

2.2. 対象地域の設定

市街地延焼の危険性が高く、就業者の帰宅行動も多く観察されることから、東京都世田谷区を分析対象地域に設定した。世田谷区内の空間移動については区内の全道路を、また、世田谷区外のエリアについては主要道路のみを用いて避難者・帰宅者の空間移動を再現した。なお、避難者・帰宅者は歩道上を移動するものと考え、歩道の有効幅員から歩行者密度を算出し、これに基づき歩行速度を決定した。図3は、主要道路を用いて「帰宅行動者(内内)」「帰宅行動者(外外)」の発災時の滞留地点の範囲を求めたものである。滞留地点から自宅までのネットワーク距離が20km以内であれば帰宅行動をとると考え、一部であつても帰宅経路が対象領域と交わるような滞留地点がこの範囲を形成する。

2.3. 滞留者データの作成

施設内滞留者の詳細な空間分布を得るために、本研究では平成10年東京都市圏パーソントリップ調査によるデータ(以下、PTデータ)を使用した。PTデータを利用することにより、時刻別・属性別・滞留ゾーン別の詳細な情報を得ることができ

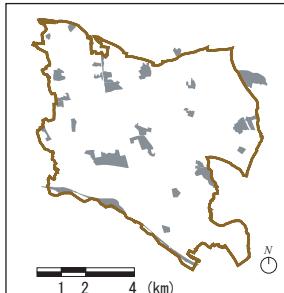


図2 広域避難場所の空間分布

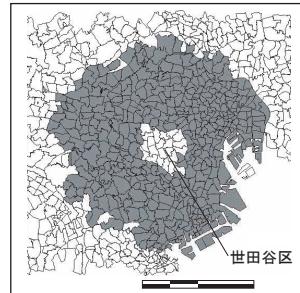


図3 帰宅行動者を扱う範囲

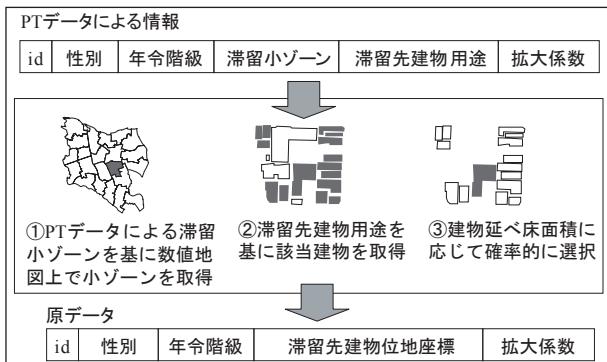


図4 滞留者の配分

る。しかし、PTデータの位置情報は小ゾーンと呼ばれる集計単位で得られており、本研究で避難者の行動を記述する空間単位としては十分ではない。そこで、数値地図から求めた建物用途別延べ床面積に応じてPTデータの建物用途別滞留者数を各建物に確率的に按分し、これを原データとした(図4)。ただし、分析結果を解釈する際には、対象地域内については街区単位で集計し、対象地域外については小ゾーン単位で集計した結果を用いる。図5は滞留者種類別の滞留者数の時刻変化を示したものである。また、図6は世田谷区内における帰宅行動者数の帰宅開始時からの変動を示したものである。帰宅開始から約2~3時間後に世田谷区外のオフィス街から多数の帰宅者が自宅へ向かって歩行していることが分かる。図7に

は、滞留者数の帰宅開始時間からの変動を示してある。ここでは、帰宅行動を終えた帰宅者の数もあわせて示してある。(図6, 図7では建物倒壊や火災の影響は考慮していない)

2.4. 既往の災害モデルの統合

本研究では既往の建物倒壊モデル(村田・山崎, 2006), 出火モデル(東京消防庁, 1997), 及び, 延焼モデル(東京消防庁, 2001)を用いている。また、隣合う建物の最短距離を結んだネットワークデータを独自に作成し、これを延焼モデル、及び、道路閉塞の判定に適用した(図8)。市街地延焼の一例を図9に示す。分析では建物倒壊を1パターン想定し、その結果を所与として、10パターンの市街地延焼を想定した。本研究では、上記のモデルを統合して避難・帰宅行動シミュレーションを行う(図10)。

3. 避難・帰宅行動シミュレーション

3.1. 対象地域外からの帰宅者の扱い

帰宅者についても避難者と同様に常に危険にさらされており、避難行動へ遷移する可能性がある。まず、対象地域内の帰宅行動者(内内)の避難・帰宅行動について予備分析を行い、どの程度帰宅が可能であるかを確認した。図11をみると、帰宅開始時刻が遅くなると、それまでに避難行動に遷移してしまう人が多数存在するために、帰宅を開始する時刻が遅くなると帰宅が可能となる割合は減少する傾向にある。対象地域外においてこの種の行動遷移を考えるとモデルが複雑になってしまうため、以下では、対象地域外においては60%の確率で帰宅が可能になるものと仮定することとした。

3.2. シミュレーションの実行時間の設定

以上の条件で避難・帰宅シミュレーションを行い、避難者数、及び、避難困難者数の発災時からの時間変化を24時間後まで求めた(図12)。グラフをみると、避難者数に関しては延焼の拡大と共に増加し続けるが、避難困難者数に関しては12時間後にはほぼ収束していることがわかる。以後、12時間を限度にシミュレーションを行い、

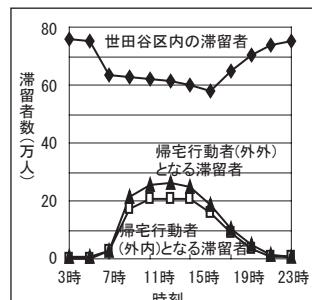


図5 滞留者数の時刻変化

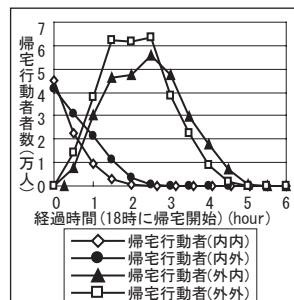


図6 帰宅行動者数の時間変化

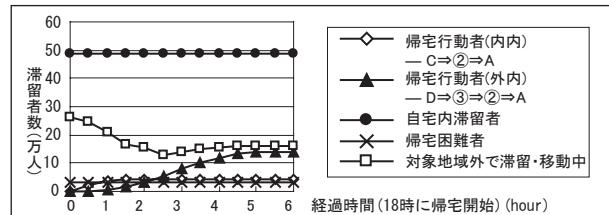


図7 滞留者数の帰宅開始からの時間変化

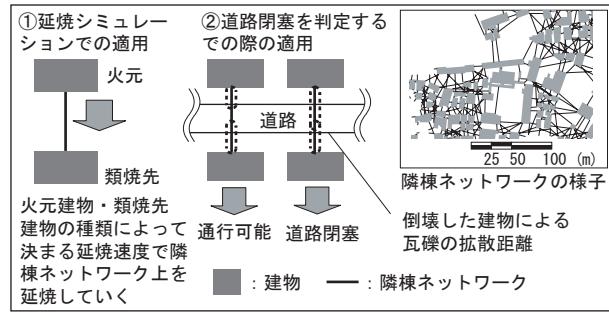


図8 隣接ネットワークの利用法

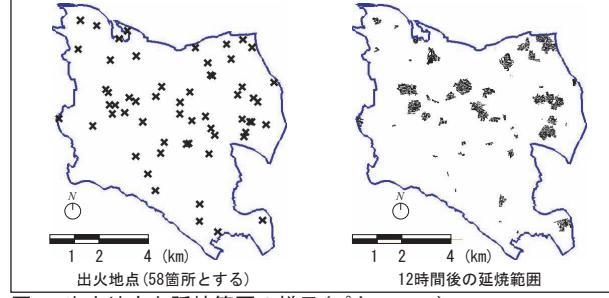


図9 出火地点と延焼範囲の様子(パターン1)

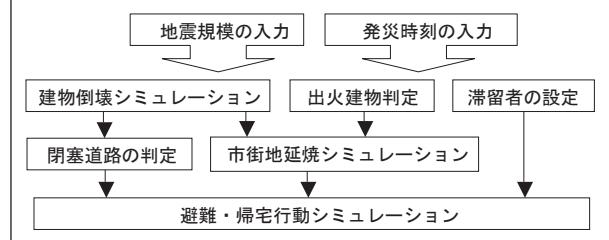
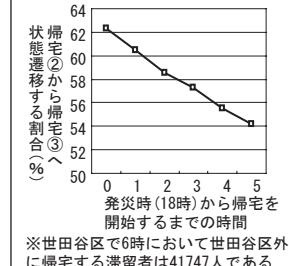


図10 避難シミュレーションの流れ



※世田谷区で6時において世田谷区外に帰宅する滞留者は4174人である

図11 地域外帰宅率の変化

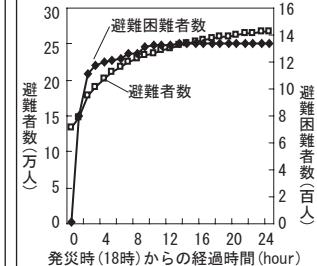


図12 分析時間の設定

考察していくこととする。

3.3. 帰宅行動を考慮することの意義

対象地域外からの帰宅行動を考慮する場合と考慮しない場合の2つの場合についてシミュレーションを行った。図13は建物内に滞留している状態から避難行動へ遷移する人について、避難場所までの平均到達時間を示したものである。グラフをみると、帰宅行動を考慮した場合の方が平均到達時間が短い。これは帰宅行動により滞留者の空間分布が拡散されることで、結果的に避難経路への集中が緩和されるためと考えられる。図14をみると避難者は避難場所周辺に、帰宅者は帰宅経路となる主要道路にそれぞれ多く分布しており相互の強い干渉は観察されなかった。

3.4. 帰宅行動者から遷移する避難者数の変動

図15に帰宅行動中、及び、帰宅後の状態から避難行動へと遷移した避難者数の発災時からの時間変化を示した。帰宅行動者(内内・内外)から遷移した避難者は、発災直後に急激に増加する。一方、帰宅行動者(外内)は対象地域までの空間移動に時間を要するため、避難者へ遷移する量は緩やかに増加している。

3.5. 帰宅開始時間による違い

帰宅開始時間を変化させてシミュレーションを行い、その結果を図16に示した。帰宅開始時間が遅くなるにつれ、帰宅行動中に避難者へ遷移する割合は増加し、また、帰宅後の状態から避難者に遷移する割合は減少することが分かる。前者は、火災の拡大によって滞留場所から直接避難者へ遷移する数が多くなることを示している。また後者は、帰宅開始時間が早い場合には自宅を経由して避難者に転じ、遅い場合には自宅を経由することなく帰宅途中に避難者へ遷移する数が多いことを示している。

4. まとめ

避難行動と帰宅行動を一体化させたシミュレーションモデルを構築し、帰宅行動を考慮することの効果や帰宅開始時間が避難行動に及ぼす影響などについて検証した。

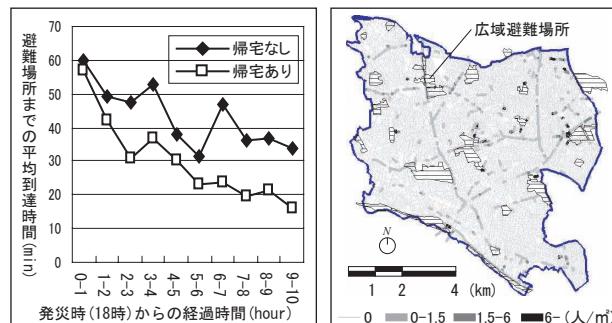


図13 帰宅行動者を考慮する事による違い

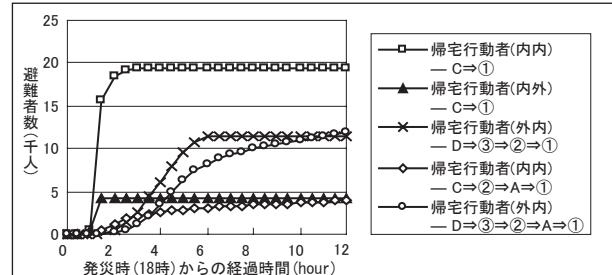


図14 道路混雜度の時空間分布

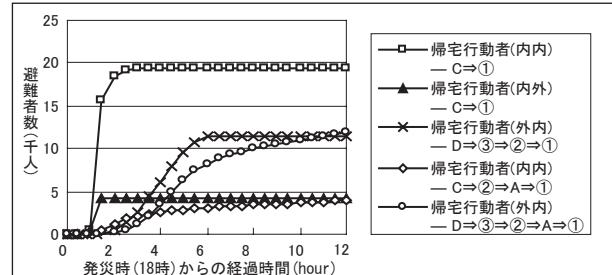


図15 避難者数の時間変化

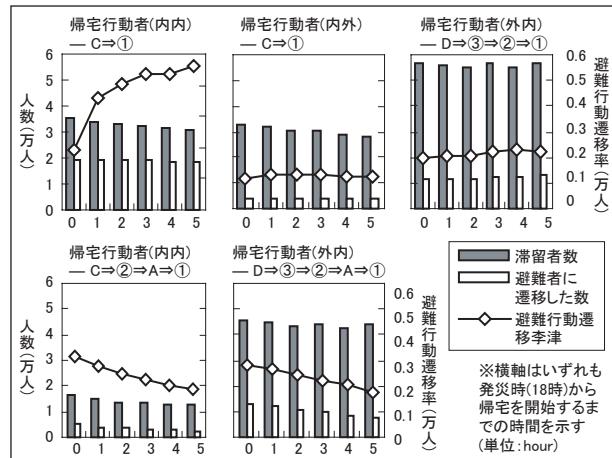


図16 帰宅行動者種類別の考察

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金・基礎研究(B)(課題番号 17310093)の助成を受けて行った研究の一部である。

参考文献

- 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書』
- 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書』
- 村田修・山崎文雄 (2006) 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閾数. 「日本建築学会構造系論文集」 1605, 189-196.
- 守澤貴幸・大佛俊泰 (2008) 市街地延焼を考慮した避難シミュレーションによる広域避難場所の評価, 「日本建築学会大会学術講演梗概集 (F-1)」, 383-384.