

首都直下地震発生時における徒歩および鉄道利用による 帰宅困難者の分散帰宅方策に関する検討

草野峻一*・大佛俊泰**・岸本まき**

Phased Returning Home Strategies of Obstructed Homeward Commuters on Foot or by Train after a Large Earthquake in Tokyo Metropolitan Area

Shunichi KUSANO, Toshihiro OSARAGI and Maki KISHIMOTO

Abstract: It is expected that a large number of people would have difficulty in returning home after a large earthquake in Tokyo metropolitan area. In order to reduce confusion caused by people returning home, the Tokyo Metropolitan Government enacted an ordinance to regulate people from returning home during the first three days after a disaster. However, the effects of the ordinance has not been sufficiently discussed. In this paper, we construct a simulation model which describes the people's returning home behavior on foot or by train after a disaster. Using the model, we analyze appropriate phased returning home strategies for obstructed homeward commuters who have difficulty in returning home.

Keywords: 首都直下地震 (a large earthquake in Tokyo metropolitan area), 帰宅困難者 (people who have difficulty returning home), 分散帰宅 (phased returning home), 路上混雑度 (road congestion), 一時滞在施設 (temporary shelter)

1. はじめに

首都圏では、東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日）による物的被害は軽微であったものの、公共交通機関が麻痺し、多数の帰宅困難者が発生した。また、帰宅困難者が復旧した一部の鉄道駅に殺到したため、復旧路線の輸送力を活かすことができなかった。筆者らはこれまで、首都直下地震発生時の徒歩帰宅行動についてシミュレーションを実行し、帰宅時における混乱抑制という視点から、有効な分散帰宅方策を検討してきた（草野ら，2022）。しかし、鉄道復旧時の鉄道利用者に対する検討は行っていない。本稿では、新たに鉄道を利用した帰宅行動を考慮したシミュレーション・モデルを構築し、鉄道路線が復旧した場合の有効な帰宅方策について検討する。

2. 帰宅行動シミュレーションの構築

2.1. 帰宅行動シミュレーションの概要

大地震発生時の帰宅行動シミュレーションの概要

* 学生会員 東京工業大学環境・社会理工学院 (Tokyo Institute of Technology)

〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 E-mail:kusano.s.aa@m.titech.ac.jp

** 正会員 東京工業大学環境・社会理工学院 (Tokyo Institute of Technology)

を図1に示してある。まず、帰宅困難者ごとに目的地、体力限界距離、および行動開始時刻を設定する（図2(b),(c)）。次に、帰宅困難者は、移動手段ごとの帰宅所要時間や駅における入場規制の有無を考慮した上で、目的地までの移動手段を決定し、徒歩移動モデル（図3(a)）、もしくは、鉄道移動モデル

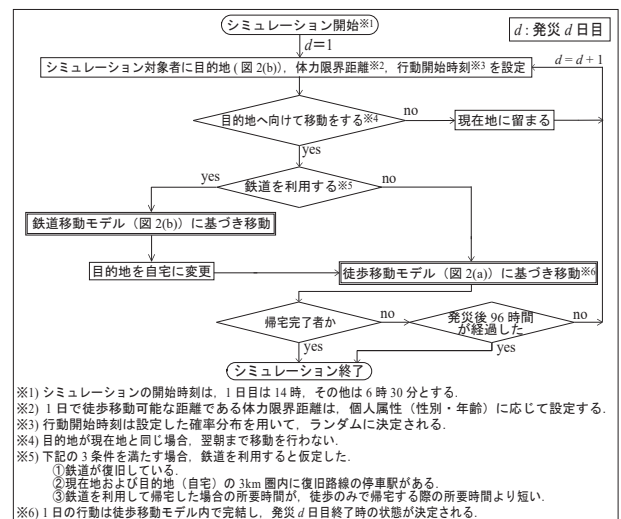


図1 帰宅行動シミュレーションの概要

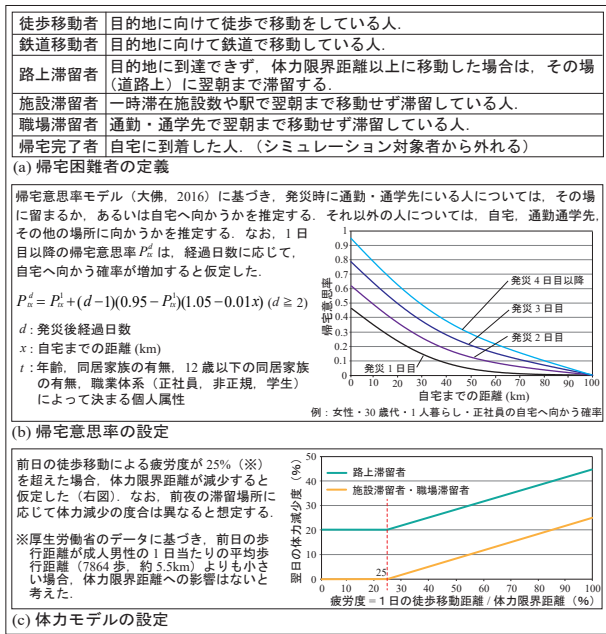


図2 帰宅困難者の定義とシミュレーション・モデルの設定

(図3(b))に基づいて移動を行う。また、目的地に到着する前に徒歩移動において体力限界距離を迎えた場合、翌朝まで路上に滞留する(路上滞留者: 図2(a))。なお、帰宅困難者の帰宅意思率は、発災後日数が経過するほど上昇し、体力限界距離は前日の移動距離に応じて減少すると仮定する(図2(b),(c))。

2.2. シミュレーションの実行条件

シミュレーションの実行条件ならびに使用データを図4に示してある。本稿では、東京都帰宅困難者対策条例(都条例)に従い、職場滞留者の一斉帰宅行動の規制を想定し、発災後4日間(96時間)の帰宅行動をシミュレートする。3章では、鉄道が復旧せず、徒歩移動のみ可能である場合を、4章では、発災2日目の朝以降、一部の鉄道が復旧し、鉄道利用が可能となった場合を想定する。このとき、大地震発生直後における、鉄道被害の程度、および、復旧時期を予測することは困難であることから、東日本大震災時の鉄道の復旧状況を参考に復旧路線を指定する(図4(c))。

3. 徒歩帰宅のみ可能な状況での分散帰宅方策の検討

3.1. 発災1日目における帰宅制限の効果

都条例に従い、発災当日の職場滞留者の一斉帰宅行動を規制することを想定し、シミュレーションを実行した。行動規制を行わず、各自の帰宅意思率に基づき徒歩移動する場合と比較すると、ピーク時(15時30

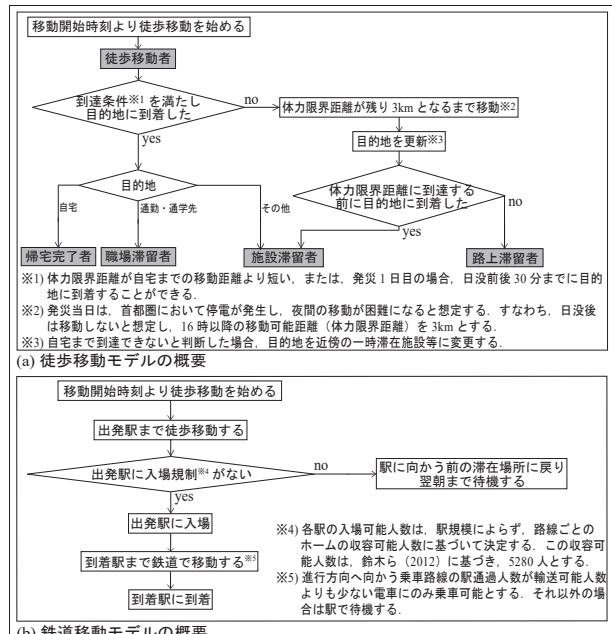


図3 徒歩移動モデルおよび鉄道移動モデルの概要

道路ネットワーク	全国デジタル道路地図データベース標準第3.15版から対象地域内の道路を抽出。高速道路・自動車専用道路以外を対象とする。
鉄道ネットワーク	国土数値情報の鉄道データ(平成30年度)から、選択した復旧路線(図3)を対象とする。
シミュレーション対象者	平成30年東京都市圏バーソントリップ調査データ(PTデータ)から各人の発災時の滞留地点と自宅の位置を推定。これら2地点間の最短経路が、東京都23区内を通過する人を対象とする。
(a) シミュレーションにおける使用データ	
シミュレーション対象地域	東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、茨城県南部(PTデータの対象地域)
発災時の状況	冬の平日14時に大地震が発生する。日の出は6時30分、日の入は16時30分とする。発災当日は停電が起こると想定して、17時から翌朝6時30分までは徒歩移動を行わず、公共交通機関も完全に麻痺する。
(b) シミュレーション条件	
復旧鉄道一覧※	移動速度 時速20km
京王本線、埼玉高速鉄道線、西武新宿線、相模本線、都営大江戸線、東急田園都市線、半蔵門線、横浜市営地下鉄ブルーライン、横浜高速鉄道みなとみらい線、流鉄流山線	車両数 8両 1両の定員 150人(乗車率200%まで可能) 運行本数 4本/時 輸送可能人数 160人/分
(c) 復旧鉄道の概要	※発災2日目の午前中までに復旧した路線のある鉄道会社から総延長が最も長い路線を選択した。

図4 シミュレーションにおける設定条件

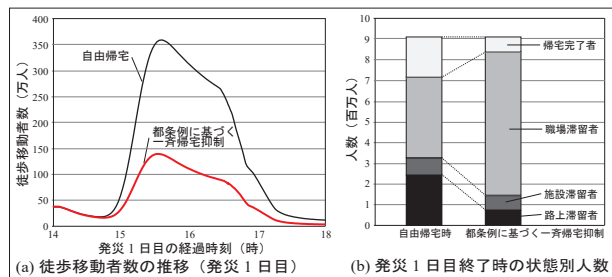


図5 発災1日目のシミュレーション結果

分頃)の徒歩移動者数は245.4万人(図5(a))、1日目深夜における路上滞留者数は173.7万人(図5(b))、それぞれ減少した。すなわち、発災当日、職場滞留者の一斉帰宅行動を規制すれば道路混雑は緩和され、路上滞留者数も大幅に減少することが確認できる。

3.2 発災2日目以降の分散帰宅の検討

ここでは、発災2日目以降も鉄道が復旧せず、徒歩帰宅のみ可能な場合を想定する。また、職場滞留

者の徒歩帰宅行動について、自宅までの距離帯別(表1)に規制を設けたシナリオ①~③(表2)を作成し、シミュレーションを実行する。

シナリオ①では、徒歩帰宅を開始する職場滞留者が発災4日目に集中し、ピーク時(11時頃)における路上混雑度が4人/m²以上である道路(以下、混雑道路:日本火災学会,1997)の総延長が4,377mに達する(図6(a))。これは、発災から3日間帰宅行動を制限された職場滞留者は、自宅までの距離が遠い場合でも徒歩帰宅を開始することに起因する(図2(b))。すなわち、経過日数に伴う帰宅意思率の上昇により、発災4日目に帰宅を開始する遠距離帰宅者が増加し、混雑が広範囲において発生していると言える。混乱の発生を抑制するためにも、帰宅開始のタイミングを分散させることの必要性を示している。

そこで、シナリオ②では、発災2日目以降、自宅までの距離に応じて分散帰宅を可能とすることを想定した。この際、移動距離と帰宅意思率の関係を考慮し(図2(b))、自宅までの距離が短い職場滞留者から帰宅させたところ、広範囲に渡る道路混雑が解消された(図6(a))。しかし、依然として発災4日目の路上滞留者数は多く、特に皇居から10kmから20km離れたエリアにおける路上滞留者は45.1万人にも上る(図6(b))。これは、発災3日目以降、1日で帰宅を完了できない徒歩帰宅者(中・遠距離帰宅者)が増加するためである(図6(c))。具体的には、一時滞在施設の多く(83.3%)は、皇居から10km以内に立地している一方で、需要が高まる皇居から10km以遠における一時滞在施設の収容可能人数が不足していることに起因する(図6(b))。遠距離帰宅者が帰宅困難となる空間範囲を考慮しながら一時滞在施設を整備することは、喫緊の課題であると言える。

そのため、シナリオ③では、遠距離帰宅者は発災後4日間通勤・通学先へ留め置いた上で、短・中距離帰宅者を発災2日目から3日間にわけて分散帰宅させるケースについて分析した。帰宅完了者はシナリオ②に比べて11.7%(92.3万人)減るものの、中距離帰宅者の帰宅完了者数はほぼ変化せず(図6(d))、路上混雑度や路上滞留者数は低減している。短・中距離帰宅者を優先的に分散帰宅させることで、徒歩帰宅に伴う混

表1 自宅までの距離別帰宅困難者の定義

短距離帰宅者	自宅まで10km未満の帰宅困難者
中距離帰宅者	自宅まで10km以上20km未満の帰宅困難者
遠距離帰宅者	自宅まで20km以上の帰宅困難者

表2 徒歩帰宅のみ可能な場合のシナリオ案

移動手段	シナリオ①	シナリオ②	シナリオ③
	徒歩移動のみ可能		
1日目	職場滞留者は帰宅しない		
2日目		職場滞留者かつ、短距離帰宅者は帰宅開始	職場滞留者かつ、短距離帰宅者の7割が帰宅開始
3日目		職場滞留者かつ、短・中距離帰宅者は帰宅開始	職場滞留者かつ、短・中距離帰宅者の半分の人が帰宅開始
4日目			職場滞留者かつ、短・中距離帰宅者が帰宅開始
5日目	規制なく自由帰宅		

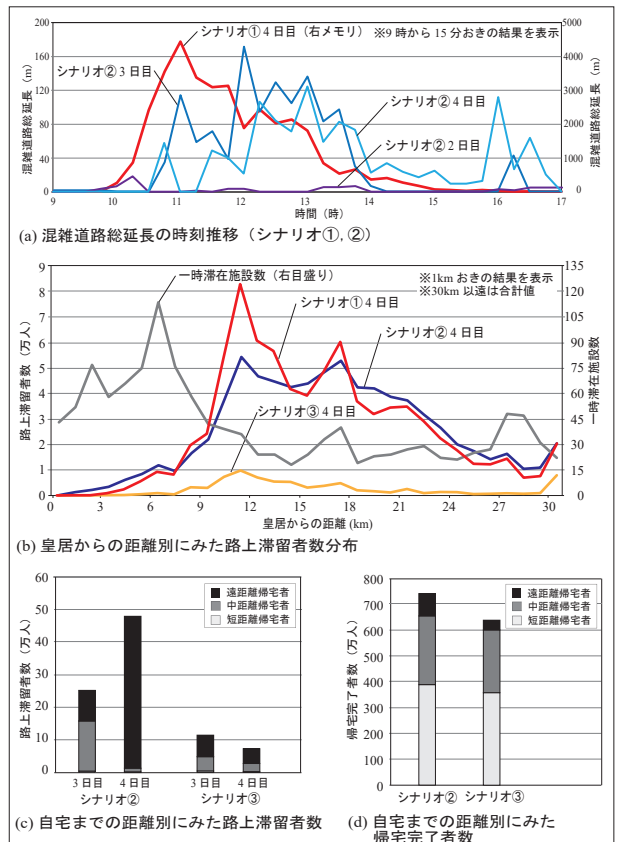


図6 シナリオ①~③のシミュレーション結果の比較

表3 鉄道が復旧する場合のシナリオ案

移動手段	シナリオ④	シナリオ⑤	シナリオ⑥
	発災1日目は徒歩のみ、発災2日目以降は徒歩および鉄道移動が可能		
1日目	通勤・通学先にいる人は帰宅しない		
2日目		職場滞留者かつ、遠距離帰宅者の徒歩帰宅を規制；乗換を伴う鉄道利用を規制	職場滞留者かつ、遠距離帰宅者の徒歩帰宅を規制；乗換を伴う鉄道利用を規制
3日目			職場滞留者の半分は鉄道利用を規制
4日目	規制なく自由帰宅		
5日目			

乱が抑制されることがわかる(図6(b),(c))。

4. 鉄道帰宅も可能な状況での分散帰宅の検討

4.1. 鉄道が復旧した場合の都市内混雑状況

発災2日目以降、一部の鉄道が復旧した場合を想定し、シミュレーションを実行する。自由帰宅できる場合(シナリオ④:表3)では、発災後4日間の帰宅完了者は計827.3万人となり、シナリオ③から175.1

万人増加する（図 6(d), 図 7(a)）。帰宅完了者の内訳をみると、特に遠距離帰宅者の割合が高まっていることが分かる。しかし、発災 2 日目に鉄道利用者が集中したことで（図 7(c)）複数の復旧路線が乗り入れ路線間の乗換が可能な駅（以下、乗換可能駅）では、駅構内の滞在者数とその駅の収容人数を大幅に上回ってしまうことが確認できる（図 7(d)）。これらの駅では、他路線への乗換を試みた鉄道利用者が輸送可能人数を超過することで、目的路線への乗車ができず（図 3(b)）、乗換駅に滞留してしまう様子が確認された。すなわち、駅構内における混乱を避けるためには、駅ごとの入場規制だけでなく、乗換行動を考慮した、対策が不可欠である。また、鉄道利用が可能な場合でも、発災 2 日目に路上滞留者が 29.1 万人発生した（図 7(b)）。これは、2 日目に帰宅を開始する職場滞留者のうち、18.5%（73 万人）は徒歩のみで移動する遠距離帰宅者であることに起因する。つまり、一部鉄道が復旧した場合においても、徒歩帰宅者に対する規制が必要であることを示唆している。そこで、以降のシナリオでは、徒歩帰宅者に対する帰宅制限も加える。

4.2. 鉄道復旧を考慮した分散帰宅の検討

シナリオ⑤では、発災 2 日目に鉄道乗換を規制することを想定する（表 3）。これにより、乗換が必要な帰宅困難者（全体の 64.3%）は、徒歩による帰宅のみ可能となる。発災 2 日目の鉄道駅における混雑は抑えられるものの、乗換規制が解除される発災 3 日目の混雑は避けられない（図 7(d)）。そこでシナリオ⑥では、乗換を伴う鉄道帰宅が必要な職場滞留者を発災 3 日目と 4 日目に分散帰宅させることを想定した（表 3）。帰宅完了者は鉄道利用を制限しない場合（シナリオ④）とほぼ変わらず、鉄道駅における入場規制も発生しなかった（図 7(a),(d)）。また、鉄道の一部復旧により、発災 2 日目以降の路上滞留者や施設滞留者が減少するため、遠距離帰宅者が徒歩帰宅することで発生する問題（一時滞在施設の不足）にも対応できる可能性がある（図 7(c),(d)）。

5. まとめ

本稿では、鉄道移動を考慮した帰宅行動シミュレーション・モデルを構築し、これを用いて、鉄道

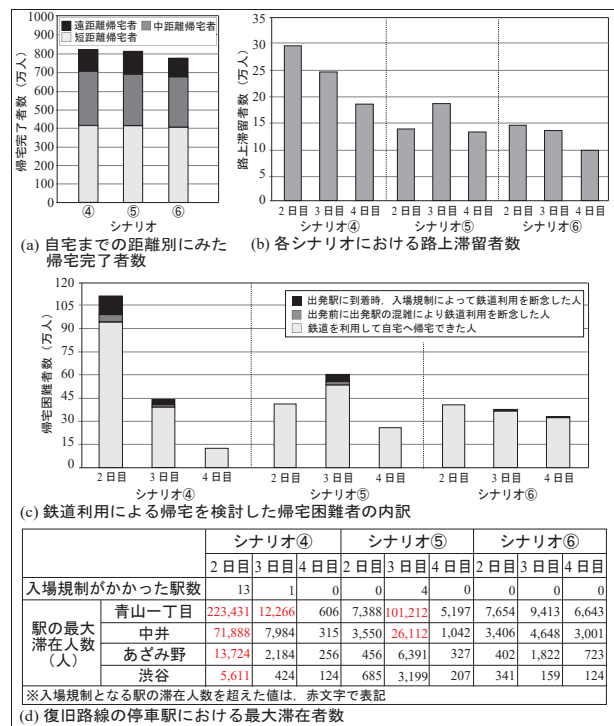


図 7 シナリオ④～⑥のシミュレーション結果の比較

の復旧状況に応じた有効な分散帰宅方策について検討した。鉄道が復旧せず、徒歩による移動のみが可能な場合、発災 2 日目以降に、自宅までの距離が比較的短い職場滞留者を優先的に分散帰宅させることで、徒歩帰宅者による混乱を抑制可能であることを示した。一方、発災 2 日目の朝に鉄道が復旧した場合、乗換規制を設けたうえで鉄道利用者を分散帰宅させることで、帰宅行動に伴う路上や鉄道駅の混乱を抑制でき、徒歩帰宅だけの場合に比べ、帰宅完了者が 147 万人も増加することを示した。

参考文献

- 草野峻一・大佛俊泰・岸本まき（2022）首都直下地震発生時における帰宅困難者の分散帰宅方策に関する検討。「日本建築学会学術公園梗概集（CD-ROM）」、7291.
- 大佛俊泰（2016）東京都帰宅困難者対策条例を考慮した徒歩帰宅者数の推定。「日本建築学会計画系論文集」、81（721）、705-711.
- 鈴木章悦・日比野直彦・森地茂（2012）都市開発による鉄道駅の混雑と施設要領に関する研究。「運輸政策研究」15（3）、002-009.
- 日本火災学会（1997）火災便覧第3版。「共立出版」