

首都直下地震時における避難所の混雑度に関する考察

荻野光司・大佛俊泰・沖拓弥

Congestion of Shelters After a Tokyo Metropolitan Earthquake

Koji OGINO, Toshihiro OSARAGI and Takuya OKI

Abstract: A large body of evacuees are presumed to accommodate at shelters after a large earthquake. However the congestion of shelters has not been discussed in detail. In this paper, we construct an evacuation behavior model to shelters, which considers building collapse, lifeline damage, fire-spread and mental factors caused by aftershocks. Using this model, we perform the evacuation simulation in case of North Tokyo Bay Earthquake and estimate the congestion of each shelter. Additionally, we discuss the methods to reduce the congestion based on the simulation results.

Keywords: 大地震 (large earthquake), 避難所 (shelter), 建物被害 (building damage), ライフライン被害 (lifeline damage), 避難行動 (evacuation behavior), 心理的要因 (mental factor)

1. はじめに

東京都(2012)は、首都直下地震発生時に、東京都全体で最大約339万人の避難者が発生し、そのうちの約220万人が避難所生活を送ることを想定している。この推計結果に基づき、一次避難所・二次避難所合わせて最大約328万人(東京都, 2013)が収容可能となるよう、避難所が指定されている。しかし、大地震時の物的被害や居住人口、避難所の空間分布に起因する、避難所の混雑度の時空間的偏りについては十分に検討されていない。また、平成28年(2016年)熊本地震で見られたような、建物への直接的な被害が無い場合で、断続的に発生する余震への恐怖心から避難する人々の影響は、被害想定(東京都, 2012)には含まれていない。

そこで本稿では、まず、大地震時の建物の倒壊やライフライン被害、市街地延焼、心理的要因を

考慮した、避難所への避難行動モデルを構築する。次に、東京都区部を対象に、東京湾北部地震(M7.3)を想定したシミュレーションを実行することで、各避難所の混雑度の時間推移を避難要因別に把握する。さらに、推定混雑度が高い避難所に着目し、混雑を生じさせる要因を分析することで、混雑度低減に必要な施策について検討する。

2. シミュレーションモデルの構築

2.1 物的被害モデル

図-1に、物的被害モデルの概要を示してある(Hirokawa and Osaragi, 2016)。村尾・山崎(2000)の全壊率・全半壊率曲線を用いて、建物単位で全壊・半壊・被害なしを判定した^{注1)}。出火建物は、東京消防庁(1997, 2005)によるモデルを用いて推定し^{注2)}、延焼限界距離(国土技術政策総合研究所, 2003)と延焼速度式(東京消防庁, 2001)に基づき構築した延焼シミュレーションモデルを用いて、発災からの市街地延焼を表現した。また、各建物のライフライン被害は、断水、停電、エレベータ停止の3種類を考慮し、東京都(2012)の手法を基に設定した(図-2)。

荻野光司 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

東京工業大学 環境・社会理工学院

建築学系 大佛研究室

E-mail: ogino.k.ac@m.titech.ac.jp

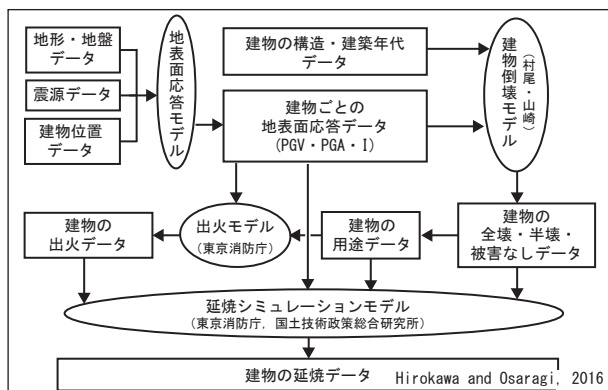


図-1 物的被害モデルの概要

2.2 避難所への避難行動モデル

各建物が全壊・半壊またはライフライン被害を受けた場合、図-3に示す割合に従い、乱数を用いて避難するか否かを判定するものとした。また、建物被害が原因では避難しないと判定した建物のうち、25.1%（東京都，2012）^{注3）}が、余震に対する恐怖心により避難するものと仮定した。

東京都（2012）に倣い、避難者のうち、避難所へ避難する人（避難所生活者）と避難所以外へ避難する人（疎開者）の比率を65：35とした。具体的には、①避難すると判定した戸建住宅の65%をランダムに抽出し、抽出した建物の居住者全員を、②集合住宅の場合は、建物全体の居住者の65%を、それぞれ避難所生活者と見なした。

避難所生活者が避難先として選択する避難所は、ハフモデルを用いて設定した（図-4）。ハフモデルの距離抵抗パラメータ β の値は、阪田（2000）に倣い4.15とし、建物から半径3km以内の避難所を選択肢集合と仮定した。また、建物 i と避難所 j 間の距離 d_{ij} には、重心間距離を1.2倍することで近似的にネットワーク距離を算出し、これを用いた。ここで、①戸建住宅の場合は、世帯単位で行動を共にすると考えられることから、同じ避難所に全員が避難するものとし、②集合住宅の場合は、世帯により選択する避難所が異なる可能性もあることから、避難所の選択確率に応じて、居住者を按分した。

避難開始のタイミングは、避難に対する切迫性を考慮して設定した曲線（図-5）に基づき、乱数を用いて設定する。余震に対する恐怖心による

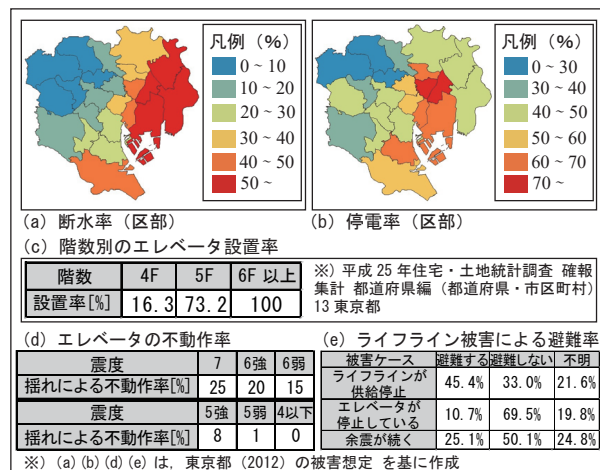


図-2 ライフライン被害の推定方法

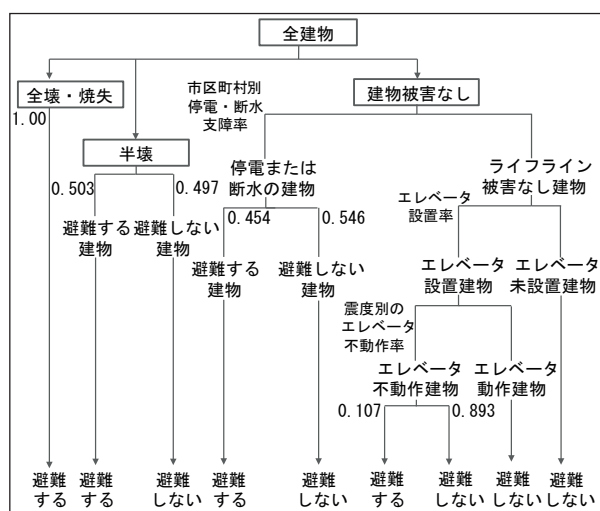


図-3 避難するか否かの判定フロー

$$T_{ij} = \frac{W_j d_{ij}^{-\beta}}{\sum_j W_j d_{ij}^{-\beta}} \frac{T_{ij}}{W_j}$$

T_{ij} : 建物 i から避難所 j を選択する確率
 W_j : 避難所 j の魅力度
 d_{ij} : 建物 i から避難所 j までの距離[m]
 β : 距離抵抗を表すパラメータ

図-4 ハフモデル

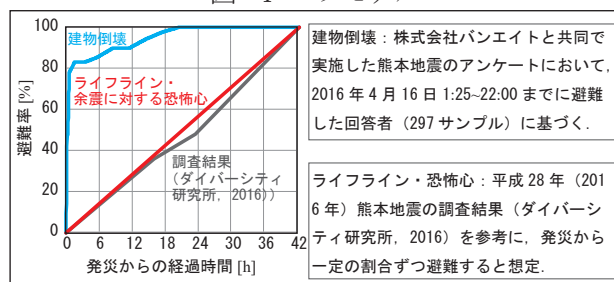


図-5 避難開始時刻の設定方法

避難は、ライフライン被害と同様に扱った。複数の要因により避難する場合は、要因ごとに算出される時刻のうち、最も早い時刻に避難すると考えた。また、市街地延焼により焼失する建物においては、延焼シミュレーションに基づく着火時刻の

方が早ければ、着火時点で避難すると考えた。

また、歩行速度は一律 4km/時 (66.7m/分) とし、避難開始時刻と避難所までの移動に要する時間から、避難完了時刻を算出した。

3. 避難所における混雑度の推計

3.1 シミュレーション条件

想定地震は東京湾北部地震とし、表 -1 に示す条件の下で、異なる物的被害を 100 ケース作成した。そして、東京都区部を対象に、発災から 2 日後までの避難シミュレーションを、各ケースに対してそれぞれ 1 回実行した (合計 100 回)。

3.2 避難所生活者数の推定結果

100 回のシミュレーション結果に基づく平均避難所生活者数と、避難理由別の内訳を図 -6 に、避難理由別の避難率 (各町丁目の居住人口に対する避難所生活者数の割合) の空間分布を図 -7 に示してある。断水・停電による避難所生活者は約 100 万人 (39.3%)、余震に対する恐怖心による避難所生活者は約 80 万人 (31.0%) と、それぞれ避難理由の約 3 分の 1 ずつを占めている (図 -6)。また、避難理由の構成比には地域差があり、例えば、23 区の北東部では倒壊、江東区・中央区・千代田区では断水・停電、23 区北西部では余震に対する恐怖心による避難率がそれぞれ高い (図 -7)。

3.3 避難所ごとの混雑度の推定結果

各避難所の収容人数^{注 5)} に対する、シミュレーション結果に基づく避難所生活者数の比を「混雑度」と定義する。各避難所における混雑度と避難所生活者数の時空間分布を図 -8 に、混雑度が 1 を超える避難所の割合と避難所生活者数の時間推移を図 -9 に示してある。23 区北東部においては、建物の倒壊による避難所生活者が発災直後に多数発生し、発災から 2 時間後には、多くの避難所で既に混雑度が 1 を超えている (図 -8(a))。その後、江東区、中央区、千代田区、大田区等において、ライフライン被害による避難所生活者が徐々に増加し始め、発災から約 4 時間を過ぎると、各避難所の収容能力が限界に

表 -1 シミュレーションの想定と使用データ

	想定	参考・出典
想定地震	東京湾北部地震 ・冬の夕刻に発生 ・北風 8m/sec	東京都 (2012) の被害想定
建物	1,748,615 棟	H23 東京都土地・建物現況調査データ
避難所	1,595 施設 ^{注 4)}	H24 国土数値情報避難施設データ
都市内滞留者	8,179,049 人	H20 東京都市圏パーソントリップ調査データ (午前 3 時における建物内滞留者)

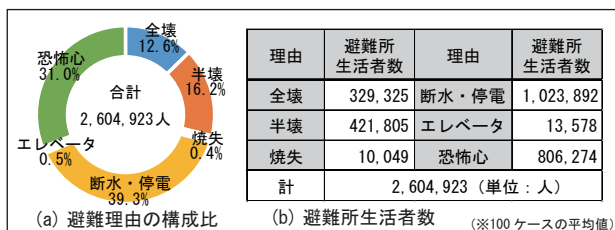


図 -6 避難所生活者数の内訳 (避難理由別)

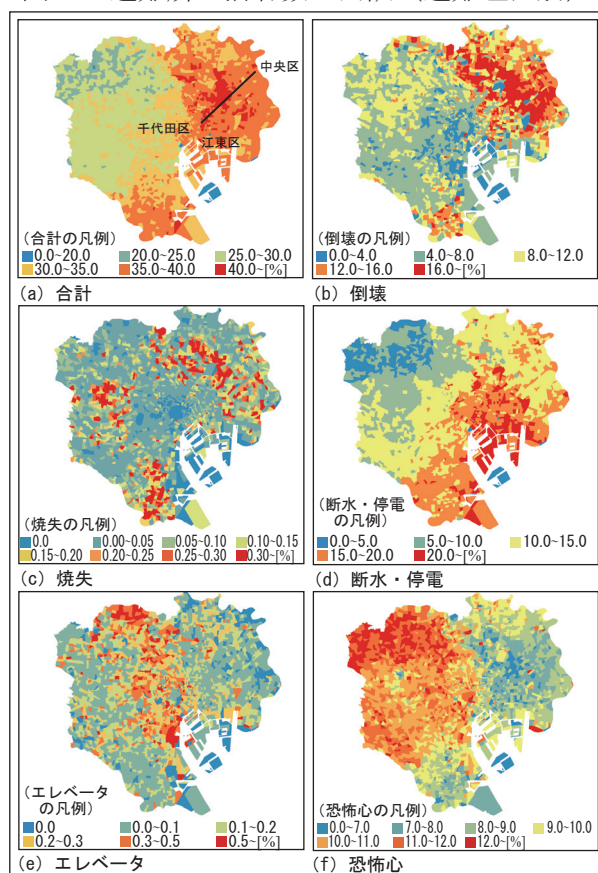


図 -7 居住町丁目単位の避難率 (避難理由別)

近づき、混雑度が 1 を超える避難所が急激に増加する (図 -8(b), (c), 図 -9)。発災から 48 時間後の時点では、23 区北西部でも混雑度の高い避難所が多くなり (図 -8(d))、全体の約 70% を超える避難所において、避難所生活者全員を収容することが困難となる可能性がある。

3.4 避難所の混雑度低減のための考察

各避難所における、避難元建物からの平均避難距離を図 -10 に示してある。避難距離の長い

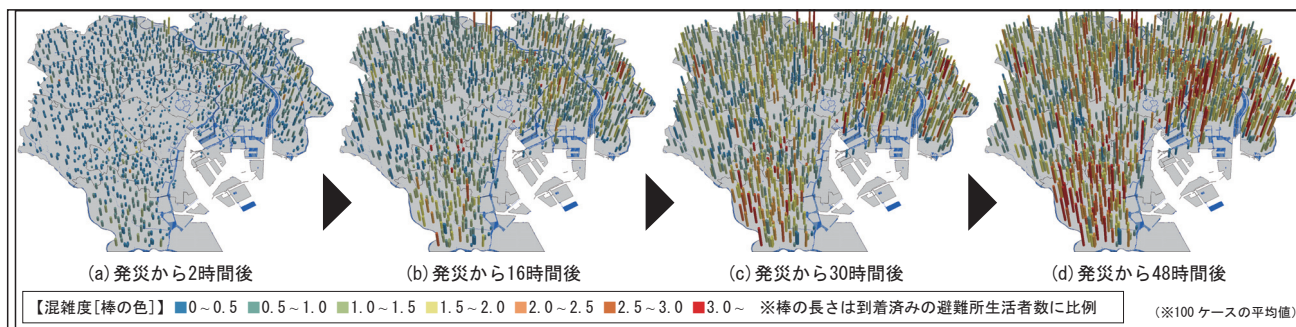


図-8 混雑率と避難所生活者数の時空間分布

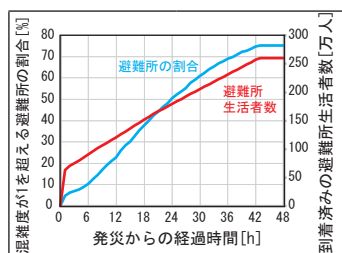


図-9 混雑状況と避難所生活者数の時間推移

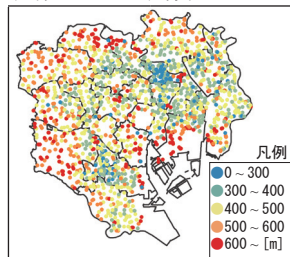


図-10 避難距離の空間分布（避難所別）

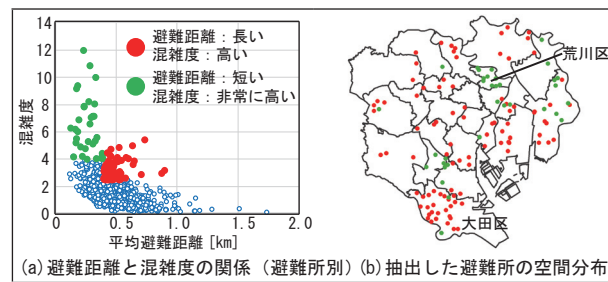


図-11 避難距離と混雑度の関係

謝辞

大佛研究室の廣川氏と青山氏には、論文執筆に際し、物的被害データの作成にご協力頂きました。ここに記して謝意を表します。

注

- 注1) 12階以上の超高層・高層集合住宅は、建築年次が比較的新しく、免震・制震等の対策が十分に講じられている可能性が高いため、一律、倒壊しないものとした。
- 注2) 本稿では発災直後に一斉に出火するものとしている。
- 注3) 「第3部 被害想定手法」3-72に掲載されている図表「自宅建物の被災度別避難率（平成18年度被害想定における都民アンケートの結果）」によれば、余震が続く場合、25.1%の回答者が「避難する」と回答している。ただし、この結果は、東京都（2012）の被害想定自体には使用されていない。
- 注4) 避難施設データに含まれる都内3,809施設のうち、広域避難場所（公園、グラウンド等）や福祉避難所（高齢者福祉施設、保育園、幼稚園等）を除外している。
- 注5) 収容人数が判明している避難施設が少なく、また、区ごとに収容人数の算定方法が異なっていると考えられたため、以下の手順で各施設の収容人数を推定した。まず、東京都のH23土地・建物利用現況調査データを用いて、H24国土数値情報の避難施設データに含まれる各避難所（都内3,809施設）が存在する用途ポリゴン（≒敷地）内の合計建築面積を算出した。次に、東京都（2013）が想定する避難所の合計収容可能人数である328万人を、「各施設で避難生活者の収容に供する部分の割合は、建築面積によらず一定である」という仮定の下、合計建築面積に基づき按分することで、各施設の収容人数を推定した。

参考文献

- 東京都（2012）：首都直下地震等による東京の被害想定。
 東京都総務局総合防災部（2013）：平成25年度区市町村防災事業の現況。
 Hirokawa, N. and Osaragi, T., 2016. Earthquake Disaster Simulation System: Integration of Models for Building Collapse, Road Blockage, and Fire Spread, *Journal of Disaster Research*, 11, 2, 175-187.
 村尾修・山崎文雄（2000）：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, 527, 189-196.
 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, 2005。
 国土技術政策総合研究所（2003）：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。
 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。
 阪田弘一（2000）：震災時における避難者数推移および避難所選択行動の特性—地域防災計画における避難所の計画に関する研究—, 日本建築学会計画系論文集, 537, 141-147。
 ダイバーシティ研究所（2016）：熊本地震における避難者数の推移と今後の予想について, http://diversityjapan.jp/wordpress/wp-content/uploads/2016/04/kumamoto_report_1-2.pdf, 2016年6月14日参照。

4. まとめ

避難所への避難行動モデルを構築し、東京湾北部地震を想定したシミュレーションを実行することで、各避難所の混雑度の時間推移を避難要因別に把握した。さらに、混雑度と避難距離の関係に着目し、混雑要因を明らかにすることで、地域特性に合った混雑度低減のための施策について検討した。