

広域避難における交通手段別避難人口とその予想避難時間の推定 Evacuation Population by Means of Transportation and Estimated Evacuation Time in Wide Area

19N3100040K 柳 熙明 (河川・水文研究室)
Huimyong YOO / River Engineering and Hydrology Lab.

Key Words : Evacuation, typhoon Hagibis, Koto5-ku, Wide area disaster

1. はじめに

東京・大阪・福岡をはじめとする日本の大都市の多くは低平地に位置している。これらの大都市には、地盤高が海水面以下となる地域、いわゆる海拔ゼロメートル地帯と呼ばれる地域が多く含まれている。また、今後の気候変動に伴い、洪水災害はさらに激甚化することが想定されており、これらのゼロメートル地帯では大規模な洪水災害が発生する可能性がある。東京都の東部低平地に位置する江東5区（墨田区・江東区・足立区・葛飾区・江戸川区）はゼロメートル地帯であり、当該地帯に流れる荒川と江戸川の堤防が決壊した場合、或いは高潮が発生した場合などを想定した大規模水害時には、江東5区の合計人口約262万人のうち約249万人が浸水被害を受けるとされている¹⁾。これは合計人口の9割を超える人口である。このように、大規模・広域避難は一般の水害と比較し、避難対象が多く、避難行動も複雑となることから、広域避難計画を策定するにあたっては、域外避難者数に一定の増減を見込んだ幅のある計画や、気象状況により、想定した避難手段が確保できなくなる場合にも柔軟な対応によって被害を最小化することが求められる。さらに、一般的な避難とは異なり、広域避難においては、全避難者が短時間で域外避難を完了することが難しく、避難に長い時間が必要である。避難に要する時間については、交通手段・経路別の避難人口の配分によって変化することから、域外避難者が自らの意思で交通手段を選択し、浸水区域外を目指して最短距離で避難した場合の避難時間とその最短化した場合を算出することが考えられる。そこで、江東5区では平成27年に大規模水害広域避難計画を策定し、区外への避難を誘導する広域避難を推進している。住民は大規模水害の発生前に自ら情報を収集、判断し、自主的広域避難情報が発令された時点で、広域避難行動をとることとされている。しかし、この運用についてはまだ実績が少なく、その効果は不透明である。また、国土交通省の対象地域における住民対象アンケート調査によると区から具体的な広域避難先を指定して欲しいことから対象地域住民の区域外の適切な避難施設を設ける必要があることを示している²⁾。

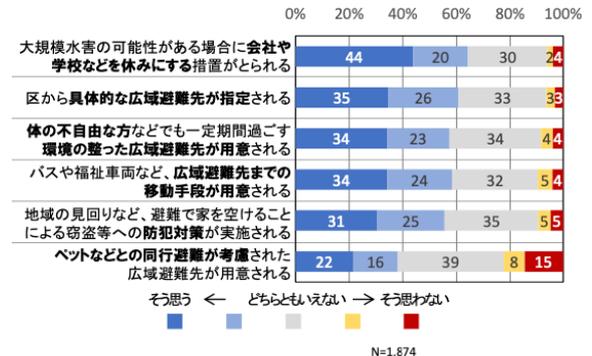


図-1対象地域における広域避難に有効な対策

そこで本研究では、令和元年度台風第19号時（以下、台風19号と表記する）における江東4区（墨田区・足立区・葛飾区・江戸川区）を対象として、令和元年台風第19号時の各地区から区外に避難する際、モバイル空間統計データを用いて予想人口の推定を行い、交通手段として電車・自動車・歩道で避難する人口を分析するとともに、交通手段による各区域の避難開始から域外まで避難に要する時間の計算を行った。計算にあたっては、電車・自動車・歩道に着目し、その手段と経路における交通容量によるボトルネックを想定し、避難に要する時間の最短化の行い、適切な避難施設場所の検討を行なった。

2. モバイル空間統計データの概要及び避難時間に要する分析方法

(1) モバイル空間統計データの概要

モバイル空間統計は、NTTドコモの携帯ネットワークにより、各基地局のエリアごとに周期的に把握されている携帯電話の台数を計測し、携帯電話の普及状況や基地局エリアの地理的な分布を考慮した上で携帯電話台数を人口に拡大した人口統計である。このデータは人口、性別人口、年齢階層別人口、居住地情報から構成されている。本研究に用いたデータの空間分解能は250m×250m、時間分解能は1時間のものを使用し、滞留人口を推定した。

(2) 対象とした降雨イベント及び対象地域

本研究では、江東5区の中で、墨田区・足立区・葛飾区・江戸川区を対象に、避難情報が発令された台風19号を対象とした。この台風は2019/10/12(土)に対象地域に上

陸したことから、江東4区に台風が上陸する前日の2019/10/11(金)午前3時を対象地域の滞留人口として分析対象とした。

(3) 予想避難人口推計と交通手段による予想避難時間

モバイル空間統計データの一つの格子から図-2のように、対象地域外に避難できる橋梁をプロットし、各格子から橋梁までの直線距離を計算し、国土交通省のアンケート調査を基づいて避難時に用いる交通手段割合(電車・自動車・歩道)で、避難した場合の避難時間を計算した。また、本研究では、それぞれのボトルネックへの区外避難者数を算出した上で、各ボトルネックにおける時間交通量や時間輸送力や歩行者密度、鉄道運行率、携行荷物量等を設定した。

3. 避難人口配分モデルとその避難人口推計

広域避難のため、避難経路として利用できる橋梁までの距離に応じて確率的に配分する「ハフモデル」²⁾を用いて、各地区における避難経路と国土交通省のアンケート調査から得られた交通手段の割合を用いて広域避難した場合の避難時間を分析した。

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

ここで、 P_{ij} =出発地*i*から避難場所*j*へ避難する確率、 W_j =避難場所*j*面積、 i =出発地、 j =避難場所、 d_{ij} = i から*j*までの距離、 β =距離抵抗パラメータである。

「ハフモデル」は、坂田(2000)³⁾より、距離抵抗を表すパラメータ β は4.15と大きな値として推定されているが、守澤(2007)によってパラメータを2,3,4で比較した結果としてパラメータ β には大きな違いは見られなかった。そこで本研究では、パラメータ β は2を採用した。また、本研究では、避難施設に避難することはないため、 W_j の値は1とし、 d_{ij} の値は、格子の中心点*i*から各橋梁の地点番号*j*までの直線距離で計算を行なった。面積各区における格子から避難に有効である駅と橋梁を利用する人口を推計した。

(1) 橋梁を通じて避難する確率

その結果を図-3に示す。この図により、墨田区では、35番と36番の橋梁を通じて避難する確率が15%(約9万3千人)で最も高く、葛飾区では、7番橋梁を利用して避難する確率が22%(約8万人)である。また、江戸川区では、3番橋で19%(約12万人)、4番、2番橋で18%(約11万人)の人口が避難する。足立区では、約30個以上の橋梁が足立区を連結されているため、最大でも6%(約3万5千人)の人口が推計1つの橋に避難人口が集中されることなく、多様なルートで避難できると考えられる。

(2) 鉄道を利用した避難率

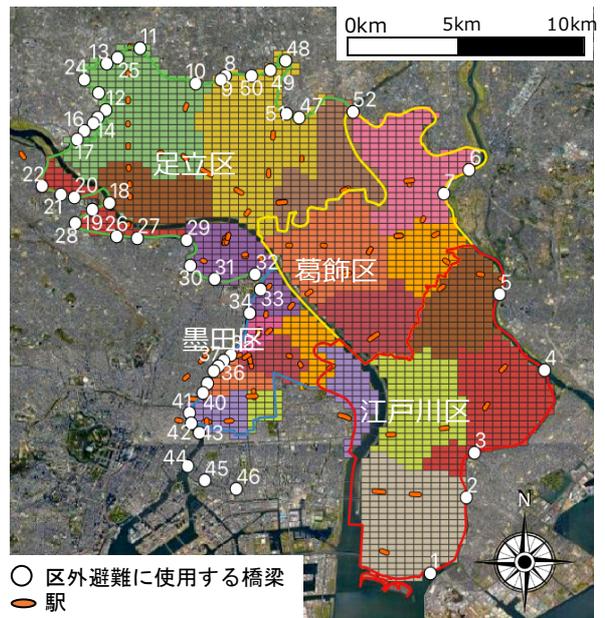


図-2対象地域における区外避難に用いる橋梁と駅

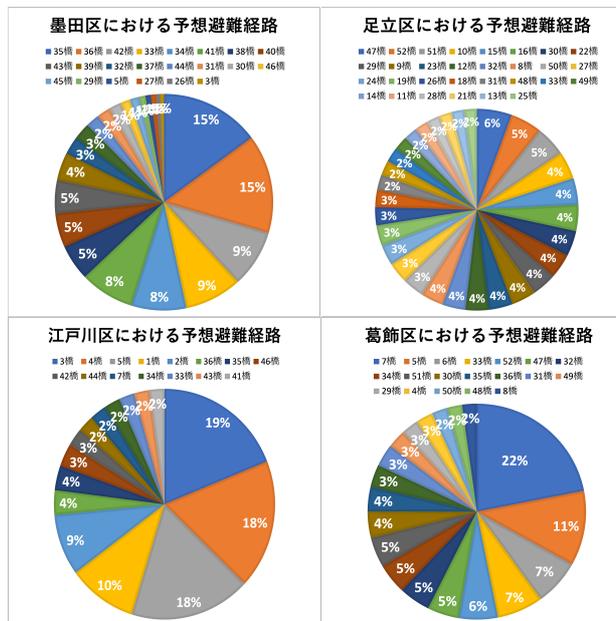


図-3対象地域における予想避難経路

対象地域における格子から最寄駅を利用し、鉄道で避難する確率を表-1に示す。対象地域で最も避難に利用する路線は、墨田区と足立区を通る伊勢崎線で35.3%を占めている。その次に足立区を通る日暮里・舎人線が23.2%を占めている。

4. 交通手段による予想避難時間の算出

対象地域の浸水想定人口が約200万人以上であり、避難人口が多いことから避難に用いる交通手段は重要である。国土交通省は、令和元年台風19号時の対象地域住民を対象にアンケート調査を行い、域外避難を想定し、域外避難者の意志で交通手段を選択し、浸水区域外を目指して用いる交通手段の結果をまとめている。その

結果を図-4に示す。徒歩と自転車を徒歩とみなし、バイク、自動車、他家の車に同乗を自動車で移動するとし、鉄道やバス、タクシーを鉄道で避難すると設定した。その結果、徒歩で避難すると回答した人は32%、自動車
で避難すると応えた人は28%、鉄道で避難すると応えた割合40%を占めている。

本研究では、対象地域の住民アンケート調査の交通手段の割合に基づいて最短距離で避難する場合、各橋梁と対象地域の路線におけるハフモデルから算出した人口と時間交通容量の比を算出し、各交通手段による予想避難時間を求めた。

(1)自動車による予想避難時間算出²⁾

自動車による予想避難時間は、避難車両が橋梁箇所を通過する時間であり、想定できる橋梁別の自動車数を橋梁別の時間交通容量で除算した。避難時における自動車の速度などのデータが乏しいため、自動車一台あたりに3人が乗ることと設定し、各区の自動車数を設定した。時間交通容量を求める際に使用した式を示す。

$$Q_1 = v \times i \div c$$

ここで、 Q_1 = 時間交通容量、 v = 速度[km/h]、 i = 橋梁の車線数、 c = 空走距離であり、車長と車間距離の総距離である。

広域避難であった東日本大震災時の自動車避難における速度であった3km/hと設定した。また、車両の車長を小型自動車に相当する4.7mと設定し、車間距離は、国土交通省が発表した道路構造令³⁾の解説と運用を参考に2.1mと設定した。

(2)徒歩による予想避難時間算出

徒歩による予想避難時間は、避難者が橋梁箇所を通過する時間である。歩行速度と密度の関係式はいくつか提案されているが、本研究では、密度増加による歩行速度低下を表現できる線形モデルとして全員が同じ目的で行動する避難時の状況に近いと考えられる「通勤者」を対象としたフルーイン式を採用した。

$$V = (1.356 - 0.341) \times \rho \times 3600 \times 0.95$$

$$Q_2 = V \times \rho \times B$$

ここで、 V = 速度[km/h]、 ρ = 密度[m²]、0.95 = 荷物による速度低下、 Q = 時間交通容量[人/h]、 B = 歩道の幅である。

歩道の幅は、平均値である1.5mとし、橋梁の両端に歩道があるため、3mと設定した。しかし、車線が往復6車線以上の橋梁の歩道は、両端で6mとする法律で定められている、6車線以上の橋梁は6mと設定した。歩行者の安全確保のため、人口の密度をできるだけ低く抑える必要があり、3.5m²とした。そして避難シミュレーション

表-1路線別利用確率

路線	人口(人)	確率(%)	路線	人口(人)	確率(%)
本線	58,025	17.4	押上線	49,532	14.9
北総線	17,297	5.2	伊勢崎線	123,613	37.1
日暮里・舎人線	81,165	24.4	9号線千代田線	25,304	7.6
大師線	16,037	4.8	7号線南北線	11,552	3.5
総武線	38,847	11.7	5号線東西線	15,978	4.8
成田空港線	15,682	4.7	3号線銀座線	5,706	1.7
常磐線	43,152	12.9	2号線日比谷線	7,298	2.2
常磐新線	25,864	7.8	1号線浅草線	28,298	8.5
金町線	25,098	7.5	12号線大江戸線	11,733	3.5
京葉線	5,649	1.7	11号線半蔵門線	9,577	2.9
亀戸線	23,068	6.9	10号線新宿線	67,016	20.1

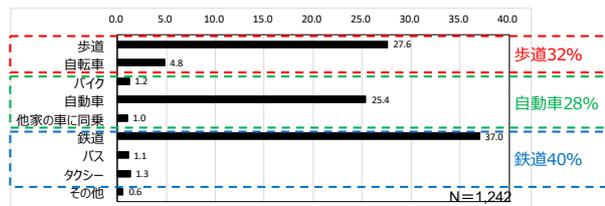


図-4住民調査による避難時の交通手段
で用いられる歩く速度として3km/hと設定した。

(3)鉄道による予想避難時間算出

鉄道は駅に避難者数が増加しても鉄道の待ち時間や車両が限られているため、鉄道の郵送力が重要となり、その算出式を示す。

$$P = T \times a \div t$$

ここで、 P = 時間運送力、 T = 路線別1日あたり乗車人口[人/h]、 a = 乗車率、 t = 1日あたり運行時間である。

対象地域を通る駅・路線別1日あたり乗車人口と避難時に遅延が発生しないと、運行率(100%)と設定し、車両内の人口は、輸送定員である153人に対して出勤時に207人になることを考慮し、避難時の1つの車両に対して最大に乗車できる人口である乗車率(135%)とし、1日あたり運行時間を午前6時から夜12時までの18時間と設定して輸送力を求め、路線別の時間輸送力と避難推計人口から予想避難時間を算出した。

5. 予想避難時間結果

交通手段による予想避難時間を図-4示す。徒歩による避難時間最も長い橋梁は江戸川区に位置されている5番橋梁であり、5番橋梁を渡るだけで約2時間30分かかることがわかった。しかし、徒歩で他の橋梁を渡ろうとしても他の橋梁までは少なくとも約5kmが離れ、台風時の風速が人が歩けない風速まで達すると危険であるため、徒歩での避難は安全上、困難であると言える。また、避難時間を最短化するための問題として、対象地域の東方面への避難ルートが少ないことが挙げられる。

自動車による予想避難時間では、徒歩と同じく、江戸川区東方面にある5番橋での予想避難時間が最も長い。しかし、5番の橋梁を利用して避難することではなく、

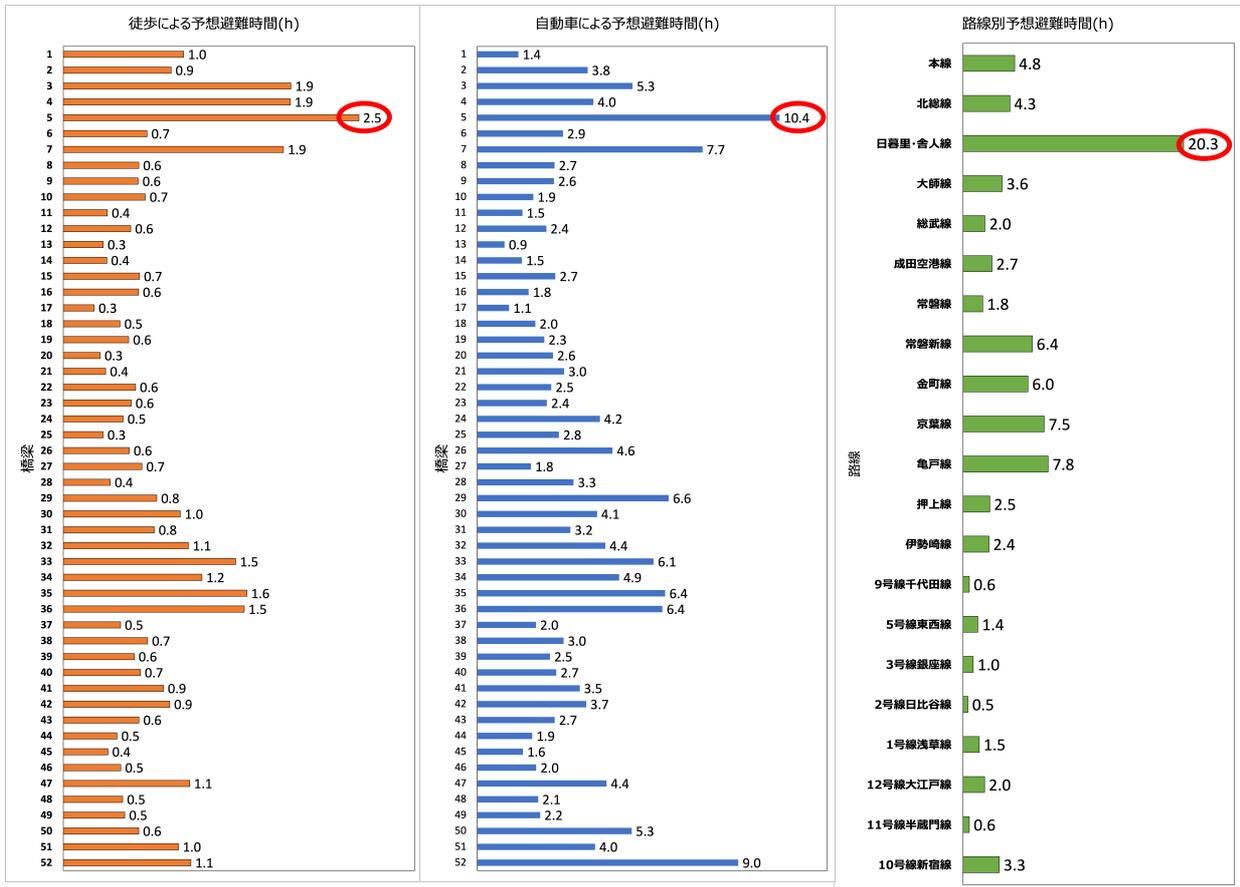


図-4交通手段による予想避難時間

その地域に近い, 3, 4番橋梁への避難誘導によって, 避難時間の短縮が期待できると思う. また, 足立区と葛飾区の境界線にある52番橋梁を利用した避難時間を減らすため, 6番橋梁でいける広域避難施設を設け, 避難誘導することで避難時間の短縮に繋がれると考えられる.

橋梁を利用した避難では, 千葉方面である東への避難に利用できる橋梁の数が少ないことから東への避難誘導できる避難施設や橋梁を設けることで避難時間を短縮できると考える.

鉄道を利用した予想避難時間については, 路線利用人口が最も多い約8万人である日暮里・舎人線を利用する場合, 全ての交通手段で最も避難時間が長いことがわかった. これは, 日暮里・舎人線がモノレールであるため, 線路を共有することから輸送力が低いと考えられる. これにより, 足立区では, 通る日暮里・舎人線を利用するより, 自動車や早い段階での徒歩で域外に避難の方が安全であると考えられる.

6. まとめ

本研究では, モバイル空間統計データの格子内の人口とその中心点から橋梁及び駅までの直線距離と各地区における避難経路と国土交通省のアンケート調査に基づいて交通手段の割合を用いて各区からの域外に避難

に使用する橋梁と鉄道の確率を設定した. また, 徒歩・自動車・鉄道で域外に広域避難する場合の避難時間を分析を行い, 各交通手段の予想避難時間を算出することができた. しかし, 本研究では, 対象地域の人口から算出した結果であるため, 対象地域を通過する人口や自動車を考慮してないため, 精度はまだ改良の余地があり, 向上するためには, 各地点からの避難に至るまでの目的地へのナビゲーションシステムからの道路距離を用いる必要がある, 避難時に行われる1次避難, 2次避難を考え検証が必要である. また, 台風時には, 風速や降雨強度などの気象条件によって鉄道の運休や徒歩での移動が混乱になり, 避難できない場合があるため, 台風前日に避難のため, 対象地域における鉄道の運行延長や気象条件による早い時間での的確な避難が求められる.

参考文献

- 1) 江東5区広域避難推進協議会, 江東5区大規模水害広域避難計画, 2018.
- 2) 内閣府: 洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難検討WG, 2019.
- 3) 守澤貴幸, 大佛俊泰: 避難人口とその空間分布からみた広域避難場所の評価, 2007.
- 4) 国土交通省: 道路構造令の解説と運用.