

ネットワーク均衡分析を用いた過密地域の住民避難に関する考察*

A Study on Flood Evacuation in Congested Areas Using Network Equilibrium Model *

湯川誠太郎**・畑山満則***・多々納裕一****

By Seitaro YUKAWA**・Mitunori HATAYAMA***・Hirokazu TATANO****

1. はじめに

ハリケーン・カトリーナによる高潮災害をはじめとし、近年、世界的に大規模水害が多発していること、我が国でも、豪雨の発生頻度が近年増加傾向にあることを受け、中央防災会議に設置された「大規模水害対策に関する専門調査会」の報告（平成 22 年 4 月 2 日）ⁱによると、利根川、江戸川、荒川の堤防決壊に伴う浸水想定区域を検討した全てのパターンを重ね合わせた場合、浸水区域内人口は約 663 万人となる。また、仮に広域避難の対象とすべき条件を、「居住空間が水没」することと、「浸水継続時間 3 日以上」であることとした場合、要避難者数は約 421 万人と予測されている。このような想定の下で実施すべき対策として、膨大な避難者を対象とした広域避難の必要性が掲げられており、考慮すべき点として、「全ての避難対象者が同時に広域避難行動をとった場合、交通渋滞の発生により逃げ遅れが発生したり、広域避難先における避難所の収容力を上回る避難者が殺到するような事態」が示されている。本研究では、膨大な数の住民を対象とした避難行動に関してネットワーク均衡分析を用いた考察を行う事を目的とする。

2. 荒川下流域の浸水想定について

(1) 想定される被害

荒川が氾濫すると広大な地域が浸水し、5m を越えるような深い浸水深になる個所も多い。各地域の要避難者数の例として、江戸川区：44.6 万人、葛飾区：37.1 万人、足立区：49 万人と推定されている。そのため、避難所のキャパシティの問題や、避難において相当の混雑が予想される。

江戸川区の河川氾濫時のハザードマップⁱⁱを（図 1）に

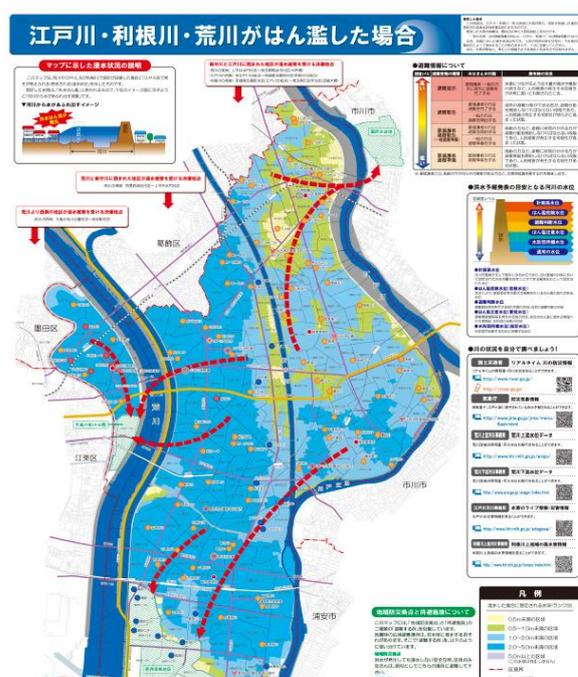


図 1 江戸川区ハザードマップ

示す。ここにはおおよそその地域の人々がどの避難所へ逃げるべきかを赤い矢印で示している。避難所には地域防災拠点の 3 か所が指定されており、各々のキャパシティを（表 1）に示す。

また、この地域は浸水継続時間が長い地域も多く、荒川低地氾濫では約 2 週間以上浸水が継続することが見込まれるため、避難できずに取り残された場合にも死者の発生率が極めて高いと考えられている。

避難先	大島小松川公園 (図中西側)	葛飾南部地区 (図中南側)	国府台台地 (図中北東川)
キャパシティ	19.7万人	155.2万人	27.1万人

表 1 避難所のキャパシティ

(2) 対象地域の選択

今回は、荒川の下流域にあたる東京都江戸川区を対象に分析を行った。東京都江戸川区は人口約 60 万人、近年人口の増加な盛んな地域である。荒川上流の破堤しやすいとされる個所が破堤した際には、江戸川区は河川の下流域であるため、避難時間を比較的長時間とる事が可能である。

*キーワード：広域避難、過密地域、巨大災害

**学生員、京都大学情報学研究科

〒611-0011 宇治市五ヶ庄, Tel 0774-38-4037

E-mail: yukawa@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp

***正員、工修、京都大学防災研究所 社会防災研究部門

〒611-0011 宇治市五ヶ庄, Tel 0774-38-4038

E-mail: hatayama@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp

****同ト

3. 避難のモデル化

(1) 分析に用いたモデルについて

今回荒川下流域の避難の分析を行うに当たり、交通工学の分野で一般的に用いられている、交通ネットワークの均衡分析の手法ⁱⁱⁱを用いた。今回はその中でも一般的な利用者均衡配分モデルを用いた。計算には分析ソフトである JICA Strada^{iv}を用いている。

(2) データ構成及び設定について

・ネットワークデータの設定

デジタル道路地図 (DRM) のデータを Strada の形式に変換して用いている。江戸川区およびその周辺にあたる 4 メッシュ (2 次メッシュコード 533936、533937、533946、533947) の全道路リンクデータ・全道路ノードデータを使用しネットワークを作成した。ネットワークデータは主に、リンク番号、ノード番号、ノード座標、最高速度 (Vmax)、交通容量 (Qmax) で構成されている。高速道路や河川敷の道など、水害時の歩行に適さない道路を除いた結果、リンク数は 80500、ノード数は 57365 となった (図 2)。

Vmax については、健常者の一般的な歩行速度である 3.6km/h(1m/1s)とした。歩行者密度と歩行者行動との関係については専攻研究^vが存在する。現実では最大交通量は歩行者密度が 1.0~2.0 (人/m²) の間に達成されるが、本研究では安全に歩行できる限界が 1 (人/m²) であると考え、この値を Qmax の算定に採用している。今回は避難に歩道のみを使用することとし、一般的な歩道幅を 3m として、1 時間交通容量を以下の様に算定した。

$$Q_{\max} = \frac{3 \times 60 \times 60}{10} = 1080(\text{台}/\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

・ゾーン区分の設定

Strada にはネットワークを視覚的に捕えるためのツール(network editor)が付属しており、それを用いてゾーン区分を手作業で設定した。江戸川区には 196 個の町丁目があり、他の町丁目との境界点 (3~6 個の点) を設定し、それぞれゾーンとした。また、3 つの避難所についてもゾーン化した。結果 422 ゾーンを設定した。

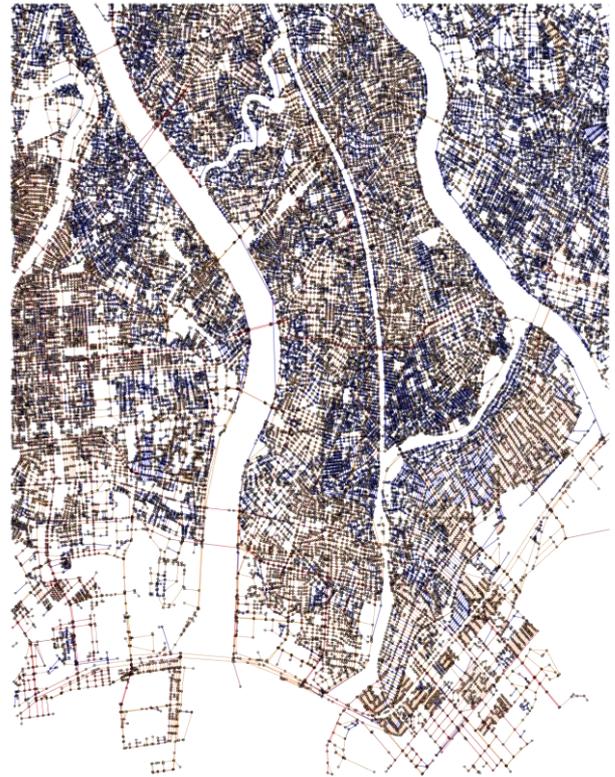


図 2 作成した江戸川区周辺のネットワーク

・リンクパフォーマンス関数 (QV 式) の設定

歩行速度 V と交通量 Q との関係および密度 K との関係については様々なモデル式^{vi}が存在する。

今回は Q と V の関係を表す際に最も一般的に用いられる、線形型(Greenshields 型)の QV 式(図)を利用した。なお Qmax を超える交通量が止むを得ず発生した場合には、V=Vmin=0.1Vmax となるように設定し、交通流の定常性を保持している。

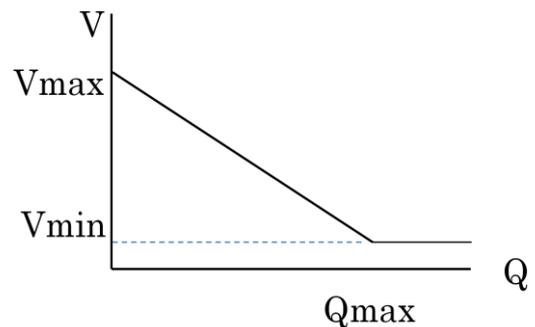


図 3 用いた QV 式の概形

・OD 交通量の設定

町丁目ごとの人口データ (平成 20 年) ^{vii}を用い、全避難者数とした。結果、全避難者数は 611,265 人となった。

196 の各町丁目からの発生交通量をその町丁目に存在する境界点（ゾーン）の数で割り、OD 交通量としている。避難先(Direction)の設定については、前述の地域防災拠点 3 ヶ所を避難先とした。また各町丁目の避難者がどこに逃げるかに関しては、ハザードマップの指定（矢印）に従い、それを参考に出来るだけ橋を渡る回数が少なくなるように決定した。

4. 計算結果と考察

避難の所要時間の人口分布は（表 2）となった。通常、避難計画の策定の際には 2 時間以内に避難できる事を想定するが、このケースでは江戸川区で 2 時間以内に避難できるのは人口のわずか 24.2%である。江戸川区全体の平均所要時間は、4.1 時間である。

次に、各ゾーンの所要時間をハザードマップ上にプロットしたものが（図 4）である。ここから、避難のために橋を使うと所要時間が大幅に増えることが分かる。特に、県外の国府台大地（東北部）へ逃げる地域の人々は、橋が一つしかないためにその橋が非常に混雑し、2 時間以内に避難できる人は存在しない。一方で葛飾南部地区に逃げる南部の地域の人々は、避難の際に大きな混雑は起きず、比較的余裕を持って避難することが可能である。これらから避難場所の指定に関しては再考の余地があり、地域ごとの目指すべき避難場所を変更することで、より効率のよい避難が可能になるとと思われる。

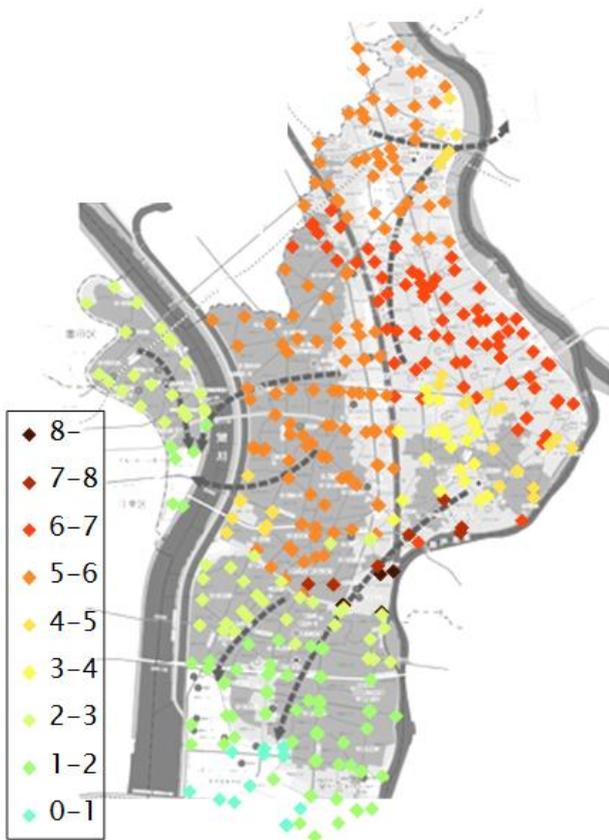


図 4 各ゾーンの所要時間

所要時間(h)	避難者数(人)	割合(%)
8-	5814	100.0
7-8	20476	99.0
6-7	81150	95.7
5-6	184547	82.4
4-5	41744	52.2
3-4	32695	45.4
2-3	97158	40.1
1-2	139261	24.2
0-1	8464	1.4

表 2 所要時間の分布

道路占有率	10以上	5~10	2~5	1~2
リンク数	6	18	63	209

表 3 Qmaxを越える交通量が見られるリンクの数



図 5 ボトルネックと思われる個所(赤・橙)の例

前述の通り、避難のために橋を使うと所要時間が大幅に増える。この様なリンクにおいては道路交通容量（ Q_{max} ）を遥かに越える交通量が見られ、その分布を表したものが（表 3）である。ここで道路占有率とはあるリンクにおける交通量を Q_{max} で割ったものである。今回は、 Q_{max} は密度が $1 \text{ 人/m}^2 \cdot \text{s}$ の際に成立しているため、道路占有率は密度にほぼ等しい。一般的に、密度が 1.5 人/m^2 以上になると、定常流とは違う動作が見られる事が知られている。この様な個所は前述のボトルネックとして働くと考えられる。ボトルネック区間とは、 Q_{max} を遥かに超える交通量が流れるリンクや、結節するリンク同士の交通容量の差が激しいノードの事を差し、交通流が静流にはならないほどの激しい渋滞が起きる区間の事である。

利用者均衡配分では、交通流が定常流となっており、ボトルネック区間が存在しないことを仮定して行う必要が

ある。しかし現実にはこの様な交通量が Q_{max} を遥かに超える区間では、混雑の影響が無視できないと考えるのが自然である。そのため、今回の分析では旅行時間が過小評価されていることが予想される。ここで道路占有率が 2 を超えるリンクに着色したネットワーク図の一部が(図5)である。この様に、橋や避難所の周辺でこの様なリンクが見られる。

このようなボトルネック区間となり得るリンクへの交通流を制限することで、避難の所要時間は大幅に改善されると考えられる。具体策としては、ボトルネック区間に交通規制を掛け、車道を片側でも避難に利用できるようにすること、2 時間で避難所に到達できない地域に住む住民については、電車などの他の交通機関へ向かって貰い、交通量を分散する等が挙げられる。

5.おわりに

交通工学の分野で一般的に用いられている、交通ネットワークの均衡分析の手法を用い、今回荒川下流域の避難の分析を行った。その結果、江戸川区の地域の避難の平均所要時間は約 4 時間であり、現状では地域内の全員が安全に避難できないことが分かった。また、交通容量 (Q_{max}) を遥かに超える交通量の流れるリンクを発見した。この様なボトルネックとなり得る区間に注目し、避難計画を練り直すことで、現状を改善することができると考えられ、分析を行うことが今後の課題である。

参考文献

- i 大規模水害対策に関する専門調査会：大規模水害対策に関する専門調査会報告「首都圏水没～被害軽減のために取るべき対策とは～，中央防災会議，2010.
- ii 江戸川区 HP 洪水ハザードマップ：
<http://www.city.edogawa.tokyo.jp/kurashi/moshimo/bo-sai/saigaishien/hazardmap/index.html>
- iii 土木学会：道路交通需要の理論と適用,2003
- iv JICA Strada HP：
<http://www.inteltech.co.jp/strada/products/strada/str35.html>
- v 毛利正光・塚口博司：歩行路における歩行者挙動に関する研究,土木学会論文報告集,第 268 号,pp99-108,1977
- vi ジョン・J・フルーイン：歩行者の空間,鹿島出版会,1974
- vii 江戸川区 HP 町丁目別世帯と人口・年齢別人口報告〈平成 19 年度〉：
<http://www.city.edogawa.tokyo.jp/gyosei/tokei/jinko/jinko19/index.html>