

災害時避難経路への混雑度計算の適用と検討

伊藤 大貴(19X4006) 井上 航(19X4008) 岡村 大棋(19X4013) 指導教員 五島 洋行

1. はじめに

日本では近年、西日本豪雨や大型の台風による被害から河川の氾濫や水害への備えが見直されつつある。また、人流による群衆事故への注目も高まっており、2022年に韓国で起きた「梨泰院群衆事故」は大きな衝撃を与えた。群衆事故は災害時の避難経路上でも起きるリスクがあるが、それを防ぐため道路混雑度などを予測し表示するハザードマップは無い。そこで本研究では河川氾濫時の避難経路において、人流における事故や避難の遅れを防ぐために避難経路について混雑度計算を適用し考察する。

2. 基礎理論

2.1 ハザードマップ

自然災害時の被害が想定される領域や危険箇所、避難施設、防災関係機関などを表示している地図で、市区町村ごとに作成されている。なお、本研究で使用する浸水想定図とハザードマップは別物であり、浸水想定図とは河川が氾濫した際の水の広がりや深さのみを表した図である。

2.2 混雑度計算

ダイクストラ法を用いた最短経路問題として、一対一最短経路問題と一対全最短経路問題がある。一対一最短経路問題は始点と終点を一つずつ設定し、始点から終点までの最短経路と最短距離を求める問題である。また、一対全最短経路問題は始点を一つ設定し、始点から始点以外の各点までの最短経路と最短距離を求める問題である。混雑度は始点を変えながら一対全最短経路問題を解き、最短経路として登場したエッジをカウントしていくことで求まる[1]。

3. 実験概要

3.1 前提条件

本研究では、対象地域を足立区とし、氾濫する河川は南部を横断する荒川とする。洪水浸水想定図の作成手順は、「数値標高モデルによる簡易な洪水氾濫予測域法」[2]に従うとする。

3.2 使用データ

浸水想定図作成の際に用いる標高データは

国土地理院の基盤地図情報より入手した5mメッシュのDEMデータを使用する。

混雑度計算の際に使用する道路データは、コンサベーション GIS コンソーシアム事務局の「「地理院地図 Vector(仮称)提供実験」のデータをもとに、コンサベーション GIS コンソーシアムが編集・調整したデータ」とし、計算量の都合上道路数を減らしている。

4. 実行結果

4.1 洪水浸水想定図

浸水想定図作成にあたり、荒川堤防の決壊地点を八か所選び、その地点での浸水深を $H = 2, 4, 6$ [m] としてシミュレーションを行う。浸水深 H は、堤防を越水する高さではなく、その地点で最終的にどの程度の深さまで浸水するかを表している。つまり、浸水想定図は決壊地点が H [m] 浸水する頃に、どれだけ地域がどの程度の深さまで浸水するかを示す。

$H = 4$ の浸水想定図の結果を以下の図1に示す。ほとんど全ての地域が浸水してしまうが、堤防より続く道や、鉄道軌道の集まる南西部では標高が周囲より高いため浸水しにくくなっている。

4.2 混雑度計算

洪水浸水想定図と道路データを重ね合わせ、使用不可能な道路を削除し、混雑度計算を行う。ただし、削除する道路の基準について、自動車の最低地上高などを考慮し、15cm以上冠水する道路を使用不可とする。 $H = 2, 4, 6$ の混雑度計算の結果を以下の図2-4に示す。混雑度の



図1；浸水深 $H = 4$

高い道ほど図中では太くなり、点線は混雑度が0の道を表す。

5. 考察

$H = 2, 4, 6$ のいずれの場合においても、北西部のような避難経路が限られていない地域では全体的に混雑度が高いことが分かる。対照的に、東部に隣接する区との境界付近のような避難経路が限られた地域では混雑度の差が顕著に現れ、混雑度が0の道が比較的多くあることが分かる。これは荒川に近い地域にも見られ、荒川より南の地域でよく見られる。

また、混雑度が高い道は大通りとは限らない。

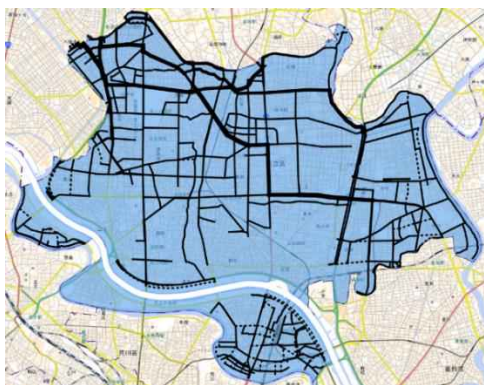


図2；浸水深 $H = 2$ の混雑度計算の結果

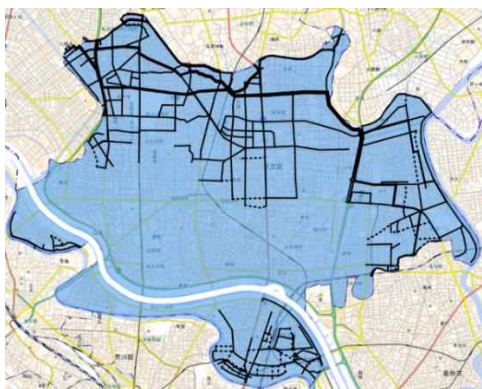


図3；浸水深 $H = 4$ の混雑度計算の結果

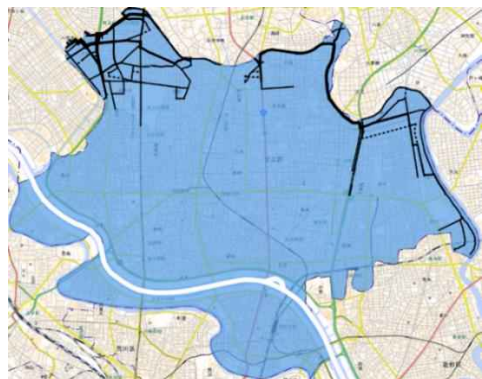


図4；浸水深 $H = 6$ の混雑度計算の結果

大通りはその多くが直線的に引かれているため、必ずしも目的の避難地域への最短経路とはならない。そのため、例えば路地裏のような狭い道でも最短経路として選択され、結果的にそのような道の方が混雑度の高い場合が多くなっている。

6. おわりに

本研究では、洪水浸水想定図において、人流における事故や避難の遅れを防ぐ事を目的とした混雑度計算を適用し、新たなハザードマップの要素として付け加えて検討を試みた。

混雑度計算の適用結果から、大通りが混雑するのではなく、最短経路が混雑するため、狭い道でも混雑度計算の結果として多く反映されている。地元住民のような自分の住む地域周辺の道路を知っている者は、焦って人流事故の発生確率の高い、狭い近道を使って避難するかもしれない。それよりも大通りを使って避難する方が人流事故を防げると考えられる。

本研究で得られた結果を実際にハザードマップとして利用する場合は、混雑予測の結果のみを公開する方が良い。避難する人が各々の判断で線が太くなっている経路を避けながら避難先である目的地へ移動することによって人流の分散に繋がると考えられる。また、本研究から得られた浸水想定図の他、自治体が公開している既存のハザードマップ等も各個人が把握しておく必要である。浸水していない道が明確になっていることで浸水箇所と鉢合わせて無駄に折り返すことが無くなり、余計な人流も増えずに効率よく避難することに役立つと考えられる。

今後の課題として、人口分布や道幅、車線数などのデータを考慮に入れる他、より現実に近い道路数での実験を行うことで、より詳細な実験結果が得られると考えられる。

参考文献

- [1] Hiroyuki Goto, Yohei Kakimoto, Yoshi Shimakawa : “Lightweight Computation of Overlaid Traffic Flows by Shortest Origin-Destination Trips”, Vol.E102-A, No.1, pp.320–323, 2019.
- [2] 舛谷敬一, 馬籠純 : ” 数値標高モデルのみによる簡易な洪水氾濫域予測法”, Vol.22, No.1, pp.17–18, 2014.

2022 年度

卒業論文

災害時避難経路への混雑度計算の適用と検討

指導教員

五島洋行 教授

法政大学

理工学部経営システム工学科

19X4006 伊藤大貴

19X4008 井上 航

19X4013 岡村大棋

| | | | |
|-------|---------------------|------|-------------------------------|
| 学科名 | 経営システム工 | 学籍番号 | 19X4006 19X4008 19X4013 |
| 申請者氏名 | 伊藤大貴 井上航 岡村大棋 | | |
| 指導教員名 | 五島洋行 | | |

論文要旨

| | |
|------|--------------------------|
| 論文題目 | 災害時避難経路への 混雑度計算の適用と検討 |
|------|--------------------------|

日本では近年、豪雨や台風といった自然災害の被害から河川の氾濫や水害への備えが見直されつつある。また、人流による群衆事故への注目も高まっており、2022年に韓国で起きた「梨泰院群衆事故」は大きな衝撃を与えた。群衆事故は避難時にも、パニックに陥った人々が我先に避難しようとして狭い通路や道に集中することでも起きる可能性が考えられる。さらに、群衆事故の他にも避難経路で渋滞が起きることによって交通事故を含む二次被害が生まれることも考えられる。

ハザードマップは、各自治体によって公開されており、各種災害時におけるおおよその被害予測と避難施設、避難方向等が示されている。現状東京都足立区で公開されている河川氾濫時のハザードマップでは、どの経路で避難することが安全かつ迅速に避難できるかが分かりにくいものとなっている。上記のような事故を防ぐためにも、どの避難経路が安全なのか、人流が集中しないのかを確認できることが望ましい。

そこで本研究では河川氾濫の対象地域を足立区、氾濫河川を荒川として、洪水時の浸水シミュレーションを行った後、使用可能な道路について混雑度計算を行い可視化していく。

浸水シミュレーション、混雑度計算の結果、どの地域で浸水が広がっているのか、どのような避難経路で混雑度が高くなっているのかが分かった。

目次

| | | |
|----------|------------------|-----------|
| 1 | はじめに | 3 |
| 1.1 | 本研究の意義 | 3 |
| 1.2 | 本研究の目的 | 5 |
| 1.3 | 論文構成 | 5 |
| 2 | 基礎理論 | 6 |
| 2.1 | GISとは | 6 |
| 2.2 | ハザードマップ | 6 |
| 2.3 | メッシュ | 6 |
| 2.4 | DEM | 7 |
| 2.5 | 標高行列 | 8 |
| 2.6 | ベクタデータ | 8 |
| 2.7 | ラスタデータ | 8 |
| 2.8 | グラフ理論 | 9 |
| 2.9 | 最短経路問題 | 9 |
| 2.10 | ダイクストラ法 | 9 |
| 2.11 | 隣接行列 | 11 |
| 2.12 | 最低地上高 | 11 |
| 3 | 先行研究 | 13 |
| 3.1 | 氾濫推定域図の作成手順 | 13 |
| 4 | 実験概要 | 15 |
| 4.1 | 洪水使用データ | 15 |
| 4.2 | 混雑度計算使用データ | 15 |
| 4.3 | 足立区地域のおおまかな名称 | 15 |
| 5 | 洪水浸水想定図作成 | 17 |
| 5.1 | 標高行列作成 | 17 |
| 5.2 | シミュレーション | 17 |
| 5.3 | シミュレーション結果 | 18 |
| 6 | 混雑度計算 | 22 |
| 6.1 | 前提条件 | 22 |
| 6.2 | 制約条件1 | 22 |
| 6.3 | 制約条件2 | 23 |
| 6.4 | 制約条件3 | 23 |

| | | |
|----------|-------------------------------|-----------|
| 6.5 | 浸水深 $H = 2$ の場合の混雑度 | 24 |
| 6.6 | 浸水深 $H = 4$ の場合の混雑度 | 26 |
| 6.7 | 浸水深 $H = 6$ の場合の混雑度 | 28 |
| 7 | 考察 | 31 |
| 7.1 | 千住地域 | 31 |
| 7.2 | 豊島地域 | 31 |
| 7.3 | 荒川以北の地域 | 31 |
| 8 | おわりに | 33 |
| 8.1 | まとめ | 33 |
| 8.2 | 今後の課題 | 33 |

1 はじめに

本章では、本研究の意義や目的、論文構成について述べる。

1.1 本研究の意義

日本は災害大国として知られており、地震・火山、台風・豪雨、水害・土砂災害などの多くの天災に見舞われる。首都圏直下型地震や南海トラフ沖地震などの数十年以内に起きるであろう大地震も想定されており、地震やその後の二次災害である、水害・土砂災害などが見込まれる。また地球温暖化に伴い日本では約80年後の2100年には気温が約2.1~4.0℃までの上昇が予測がされており、それに伴い海面温度が上昇し、大気における水蒸気量が増え、1日に降る雨の量が100mm以上や200mm以上になる日数が、長期的に増えると予測されている。更に近年では、台風や線状降水帯等の発生に伴う集中豪雨が活発化しており、河川の氾濫や水害への備えが注目されつつある。

また、人流による群衆事故への注目も高まっている。2022年10月29日、韓国の梨泰院では群衆雪崩により150人以上が亡くなる「梨泰院群衆事故」が起きている。このような群衆事故は数百年前から度々発生しており、花火見物のために川に架かる橋に人が集まり橋の崩落による事故や劇場で発生した火災による避難での圧死者が数多く出た事故、駅に人が集中し圧死者が出た事故、甲子園会場での観客が将棋倒しにのようになり死者や負傷者が出た事故などがある。近年では、群衆事故自体は起きていないように思われるが、実は数年おきに発生している。2021年には、アメリカでの音楽会場で将棋倒しが発生し死者が出た事故や、2010年に東京都渋谷区の竹下通りで人々が殺到し将棋倒しになる事故などが発生した。数百年前に起きた群衆事故は、クーデターなどによる民衆が集まるような政治的な事態を除いては、避難経路の不備や技術的に建造物の耐荷力が不足して起きる事故、パニックによる事故が目立つ。近年での事例では、音楽フェスやサッカースタジアムでの将棋倒しによる死者や負傷者が出てしまう事故、機動隊とデモ隊の衝突による事故などが多い。

そこで本研究では河川氾濫時における避難経路において、人流における事故や避難の遅れを防ぐために避難経路について混雑度計算を適用し考察する。本研究の対象地域は東京都足立区とし、氾濫する河川は荒川とする。

足立区は東京都北東部に位置し、人口が約69万人、その内の約1/4に当たる、約17万人の高齢者が暮らしている区である。地理的な特徴として四方を川に囲まれた区で、東京都の低地帯の中でも海拔0m地帯が続き、高台までも一定の距離があるため多くの水害リスクを抱えている。特に、荒川は古くから氾濫を繰り返しており、記録に残る古いものと言えば、「日本三大実録」によると天安2年(858年)秋に武蔵国水滸と記されている。以降も数多の洪水氾濫を繰り返した。明治43年

(1910年)に発生した洪水では荒川上流部の三峰で675.8mm、東京で310.5mmを記録した。当時の荒川(現在の隅田川や新河岸川など)や綾瀬川の堤防が各地で決壊、あるいは越水して東京府(当時)南足立郡の半分、北豊島郡の北半分、南葛飾郡の7割で浸水被害にあった。これを機に翌年の明治44年(1911年)に荒川放水路事業が始動し、風水被害や関東大震災等による工事の遅れは発生したが、昭和5年(1930年)に完成した。以降は放水路区間での荒川による洪水被害は起きていない。しかし、洪水は続き、昭和22年(1947年)に発生し、房総半島南部を通過した戦後最大の台風、カスリン台風(カスリーン台風)による被害で雨量が1年間の1/3の量をわずか30数時間で降り注ぐ台風であった。荒川の上流域では、想定していた洪水の水位を1.12mも上回り堤防を越えての氾濫や堤防決壊が起きた。被害も大きく、足立区の東半分、葛飾区の全域、江戸川区の船堀以北江戸川堤防よりの一部を除いた全域、78.65平方キロメートルが浸水し、最高深度は約3mで、足立区の被災世帯数は18,397世帯、被災人員は74,051名、床上浸水家屋は7,059戸、床下浸水家屋は11,338戸に及んだ。更に台風による被害は起こり、昭和33年(1958年)狩野川台風による被害で足立区には農業用水が網の目のようにあり、この用水の流末が細く浅いため、梅田・本木の低地帯は用水の氾濫で水浸しとなった。そこへ荒川支流の芝川が氾濫し、川口市全域が浸水、足立区側の堤も越えて荒川北側の堤防に沿って流れ込んだために、本木・梅田・沼田地区は膝を没する洪水が続いた。63か所の避難所が設置され、のべ146,000人が避難した。床上浸水は24,940戸、床下浸水は35,748戸に及んだ[1][2]。

表 1: 荒川氾濫の歴史

| 和暦 | 西暦 | 出来事 |
|-------|------|--------------------|
| 天安2年 | 858 | 荒川洪水の最古の記録「日本三大実録」 |
| 寛保2年 | 1742 | 荒川と利根川の氾濫 |
| 安政6年 | 1859 | 荒川筋各所の堤が切れ浸水被害 |
| 明治43年 | 1910 | 2週間に及ぶ前線と台風による大洪水 |
| 明治44年 | 1911 | 荒川放水路事業スタート |
| 昭和5年 | 1930 | 荒川放水路が完成 |
| 昭和22年 | 1947 | カスリーン台風 |
| 昭和33年 | 1958 | 狩野川台風 |

平成以降にも増水による荒川の氾濫は続く。平成11年には熱帯低気圧による豪雨から、荒川上流域である治水橋で3日間の平均雨量399mmを記録、平成19年には、大型台風19号により関東・東北地方を中心に140か所で堤防が決壊し、荒川水系でも3か所で堤防が決壊した。令和元年の台風19号は記憶に新しく、当時の気象庁の発表では荒川流域の3日間総雨量が500mmを超える可能性ありとされ、

荒川の東側に位置する江戸川区では都内最多の 35,000 人が避難した。

荒川が氾濫して都内広域で洪水が起きることは、決してあり得ない話ではなく、令和元年の台風 19 号の際は偶然引き潮のタイミングが良かったため河道の水が引き、洪水が起きずに済んだという意見もある。台風 19 号や西日本豪雨などの出来事から、近年では水害に対する意識は高まり、足立区を含む江東 5 区でも水害への備えの見直しや対策強化が進んでいる。

1.2 本研究の目的

災害発生時に避難経路を決める指標として、ハザードマップが挙げられる。足立区が公開しているハザードマップでは、おおよその浸水予測と水害時避難施設、避難するおおよその方向が示されている。しかし、どの経路で避難する事が安全かつ迅速に避難できるかが分かりにくいものとなっている。また、避難時における一時的な人流の増加により起きる群衆事故や交通渋滞による被害を防ぐために、災害時にどの道路が混雑するかをある程度予測した上で認識しておく必要がある。

そこで本研究では、洪水浸水想定図に混雑度計算を適応し可視化することを目的とする。

1.3 論文構成

本論文は、全 8 章で構成している。

第 2 章では、本研究の基礎知識、理論について述べる。

第 3 章では、浸水想定図作成に当たり用いた先行研究「数値標高モデルのみによる簡易的な洪水氾濫域予測法」について述べる。

第 4 章では、本研究の実験概要について述べる。

第 5 章では、洪水浸水想定図作成について述べる。

第 6 章では、混雑度計算について述べる。

第 7 章では、第 6 章での実験から得られた結果より考察し述べる。

第 8 章では、本研究の結論を述べる。

2 基礎理論

本章では、本研究に用いる用語や理論、関連知識について述べる。

2.1 GISとは

GIS¹とは、地理空間情報活用基本法（平成19年法律第63号）第2条において、「地理空間情報の地理的な把握又は分析を可能とするため、電磁的方式により記録された地理空間情報を電子計算機を使用して電子地図上で一体的に処理する情報システム」と定義されている。GISは、位置・空間データを総合的に管理・加工・表示し、高度な分析をする事が可能である。様々なデータを電子地図の上にレイヤごとに分けて載せ、視覚的に分かりやすく表示する事が可能である。

また、GISは幅広い用途で用いられ、道路、水道、電気、ガスなどの社会インフラ系や不動産の不動産情報や施工管理、販売促進のエリアマーケティング、災害時を想定した防災においても用いられている。近年では、GISはインターネット上における地図情報表示や、GPS²を利用した各種ナビゲーションに役立っていて、生活において欠かせない存在となっている。

2.2 ハザードマップ

自然災害時の被害が想定されている領域や危険箇所、避難施設、防災関係機関などを表示している地図の事で、防災マップと呼ばれることもあり、市区町村ごとに作成されている。ハザードマップと防災マップの違いとして、ハザードマップは災害ごとの被害予測図の事であるが、一方の防災マップは避難所や公共施設などを示した地図で災害ごとに別れているものではない。ハザードマップの種類として、洪水ハザードマップ、土砂災害ハザードマップ、地震ハザードマップ、火山噴火ハザードマップがある。いずれの災害ハザードマップも、法令により市区町村が作成しハザードマップの配布やその必要な措置を講じて、住民や登山者等に周知させるように努めることとされている。

なお、本研究で使用する浸水想定図とハザードマップは別物であり、浸水想定図とは河川が氾濫した際の水の広がりや深さのみを表した図である。

2.3 メッシュ

メッシュとは一般的に網の目という意味であるが、GISにおけるメッシュはその意味が少し異なる。GISにおけるメッシュとは、国が一定のルールに沿って地表

¹Geographic Information System 地理情報システム

²Global Positioning System 全地球測位システム

面を正方形に分割したものを指し、一般的に標準地域メッシュや標準メッシュと呼ばれる。代表的な標準地域メッシュとして、第一次メッシュ、第二次メッシュ、第三次メッシュが挙げられる。第一次メッシュは1度ごとの経線と40分ごとの緯線によって分割され、その一辺の距離は約80kmとされる。第二次メッシュは、第一次メッシュを緯度経度方向に8等分して作られたものであり、経度間隔は7分30秒、緯度間隔は5分で一辺は約10kmである。第三次メッシュは、第二次メッシュを緯度経度方向に10等分して作られ、経度間隔は45秒、緯度間隔は30秒で一辺は約1kmである。上記のような表現以外にも、「100mメッシュ」のように一辺の距離を用いてメッシュのサイズを表現する場合もあり、100mメッシュのサイズは第三次メッシュの1/10サイズである。

メッシュのサイズには様々なものがあるが、地球は回転楕円体であるため、地表面を正方形で区切ったとき、メッシュ一つ一つは完全な正方形ではない。このため、一辺の長さが50mと言ってもその緯度経度方向の実際の距離は50mとはならず、メッシュ一つの面積を求めることは容易ではない。メッシュの緯度経度方向の距離の求め方については割愛する。

メッシュを用いることのメリットとして、地表面を方眼のように格子状に分割することで地図に座標を持たせることが可能となり、特定の地域を示すことが容易になる。また、各メッシュに統計データを持たせることで単純な数値情報の羅列も地図上に視覚化することが可能になり、さらに、ほぼ同一の大きさの区画で周囲とデータを計量的に比較することができるため、分野を問わず様々な研究や分析に役立てられている。

2.4 DEM

GISで利用される標高データにはDEM³、DTM⁴、DSM⁵といったものが挙げられ、中でも最も代表的なものがDEMである。DEMとは、ある地域における樹木や建物を取り除いた地表面の標高をデジタルデータで表したものであり、日本では国土地理院が提供している基盤地図情報というDEMデータが広く利用されている。DEMは、航空レーザー測量や写真測量によって得られた標高データを用いて作成しており、地形の表現方法は複数のものである。代表的な表現方法として、メッシュの中心点の標高値を抽出するものやTIN⁶を構成し、その頂点の標高値から地形を表現するものがあるが、基盤地図情報によるDEMデータは前者の表現方法ととり、メッシュの中心点の緯度経度の座標と標高値のXYZ形式で表される。

DEMを利用することで、地表面の高低や起伏を表現できるようになるため、色の濃淡で地形表現をした高度段彩図や陰影起伏図、等高線などの作製に役立てら

³Digital Elevation Model：数値標高モデル

⁴Digital Terrain Model：数値地形モデル

⁵Digital Surface Model：数値表層モデル

⁶Triangulated Irregular Network：不規則三角形網

れている。また、メッシュの中心点の座標、標高値から 3D 表示も可能となるため、地図の立体化や触地図作製にも役立っている。

2.5 標高行列

DEM データの中身は、XYZ 情報の羅列であり、そのままでは周囲のメッシュの標高も分からないため、直接計算に用いることはできない。そのため、座標情報をもとにモデル化をする必要がある。

DEM のモデル化の手法はいくつかあるが、最も一般的な手法として標高行列があげられる。標高行列は格子 DEM とも呼ばれ、行列の行番号と列番号を地理座標と重ねることで表される。ここで、標高行列の各成分は DEM におけるメッシュであり、そのメッシュの標高値が与えられる。標高行列は成分が格子状に規則正しく並んでいるため、行列の大きさ、メッシュサイズ、左上などの角の成分に対応する座標から各メッシュの座標を取得することも可能である。

DEM を標高行列に変換することで、周囲の地形のつながりが分かりやすくなるだけでなく、地理的な座標情報が不必要になるため、3D 化やシミュレーションの際に計算が簡略化されるといったメリットもある。

2.6 ベクタデータ

ベクタデータは、ポイント、ライン、ポリゴンの三つ要素で表現されたもので、それぞれが座標と属性情報を持っており、地図上で表現できる。ポイントは、長さや幅などはなく、ある一点だけを指すものである。ポイントの地図表示例として、施設や山頂点、気象観測点などが挙げられる。ラインは、ポイントとポイントを結び線分として扱う。ラインの地図表示例として、道路や河川、配水管が挙げられる。ポリゴンは、境界線の始点と終点を一致させた閉領域の線分として扱う。ポリゴンの地図表示例として、建物や運動場などが挙げられる。

2.7 ラスタデータ

ラスタデータとは、合同な図形で平面を格子状で完全に被覆し、各図形に属性情報などを保持したデータ形式の事で、広域的な分析に用いられることが多い。ラスタデータの利用例として、航空写真や衛星画像、DEM、地域メッシュ統計などが挙げられる。

2.8 グラフ理論

グラフは、いくつかの点とそれらを結ぶ辺で構成されている。点は、頂点や節点、ノードとも呼ばれ、辺は、枝や弧、リンク、エッジとも呼ばれる。辺に向きの区別があるグラフを有向グラフと呼び、区別がないグラフを無向グラフと呼ぶ。グラフの各辺に対して、ある実数値を割り当てる事も多く、割り当てられた実数値をその辺の重みと呼び、各辺に重みが与えられたグラフを重み付きグラフという。重み付きのグラフは、ネットワークとも呼ばれ、ネットワークを扱う問題をネットワーク計画と呼ばれ、グラフ上の最適化を行う。ネットワーク計画は、流れを扱い、水道やガス、電気の流れや人や車の移動の流れ、物流、ソーシャルネットワークなどの現実世界における多種多様なネットワークで用いられる。

2.9 最短経路問題

最短経路問題とはグラフ理論において重み付きグラフの与えられた二つのノード間を結ぶ経路の中で、重みが最小の経路を求める最適化問題である。最短経路問題は主に単一始点最短経路問題と全点对間最短経路問題の2種類がある。単一始点最短経路問題の代表的なアルゴリズムとしてダイクストラ法とベルマン・フォード法がある。

2.10 ダイクストラ法

ダイクストラ法はグラフ理論におけるエッジの重みが非負数の場合の単一始点最短経路問題を解く最良のアルゴリズムとして知られている。ダイクストラ法の計算量は頂点の数を V 、辺の数を E とすると、 $O((E + V)\log V)$ である。ベルマン・フォード法はエッジの重みが負の場合も考慮できるアルゴリズムであるが、 $O(V^2 + E)$ と計算量が多いため今回は採用しない。

アルゴリズムの手順を記述する。各ノード v_0, v_1, v_2, v_3, v_4 の横に記載してある括弧内の値は暫定的な最短距離を表している。また、赤矢印のポイントは暫定または確定した最短経路である。

[STEP1]

最短距離が確定したノードの集合を L 、任意のノードを v 、始点を v_0 、 $\delta(v)$ は L に入っている頂点だけを使って v に至る最短距離を表す。図1を参照。

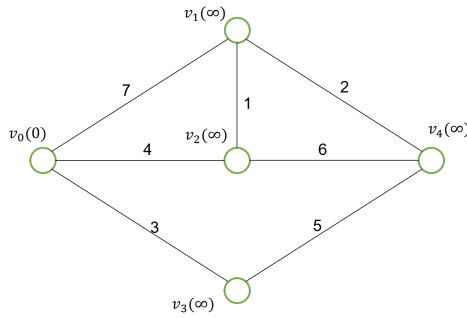


図 1: STEP1

[STEP2]

頂点 v_0 を L に入れる. 次に v_0 に隣接している各頂点 v について, 以下の二つを行う. 図 2 を参照.

(2-1) $\delta(v) = w(v_0, v)$ とする. $w(v_0, v)$ は v_0v 間のエッジの重みを表す.

(2-2) v はポインタで v_0 を指す.

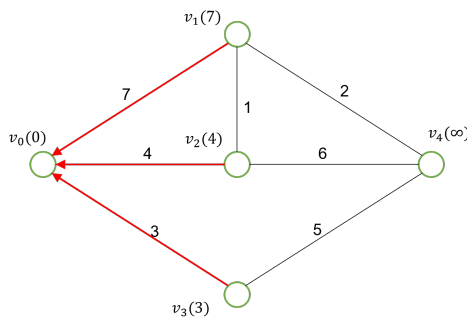


図 2: STEP2

[STEP3]

まだ L に入っていない頂点の中で δ の値が最小のものを v とし, v を L に入れる. v の候補が複数ある場合は任意の一つ選ぶ. 次に v に隣接している頂点のうち, まだ L に入っていない頂点 u に対して, 以下の二つを行う. 図 3 を参照. 図 1-3 に描かれた点 v_4 が L に入るまで STEP3 を繰り返す.

(3-1) $\delta(v)$ の新しい値を $\delta(v) = \min[\delta(u), \delta(u) + w(v, u)]$ とする. $\min[a, b]$ は a, b のうち小さい方の値を意味する.

(3-2) $\delta(u) > \delta(u) + w(v, u)$ の場合, u のポインタを v に向ける. [3]

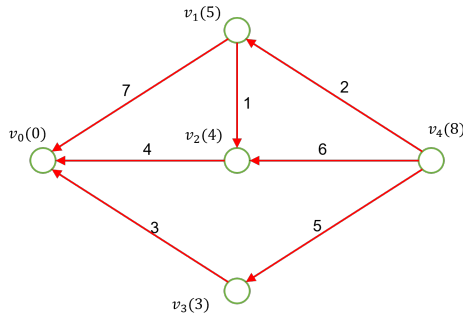


図 3: STEP3

2.11 隣接行列

隣接行列とはグラフ G の頂点が n 個あるとき、頂点 v_i, v_j を結ぶ辺の本数を i, j 要素に持つ n 次正方行列のことである。

頂点の集合を $V(G)$ 、辺の集合を $E(G)$ 、接続関数を I_G とする。

$$V(G) = v_1, v_2, v_3, v_4$$

$$E(G) = e_1, e_2, e_3$$

$$I_G(e_1) = v_1, v_2, I_G(e_2) = v_1, v_3, I_G(e_3) = v_1, v_4$$

上記のような場合の隣接行列 A は以下のようなになる。

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

2.12 最低地上高

車高は車両によって異なり、道路冠水時にも車高の差から同じ道路でも通行の可否に違いが生じる。本研究では、車高の最低値から冠水時その道路が使用可能かを判別するため、最低地上高と呼ばれるものを指標の一つとして用いる。

最低地上高とは車両の最も低い箇所と地面との距離を指す。最低地上高は車検の検査項目に含まれており、その理由は、起伏や傾斜のある道路や段差などを通過する際に車体や底面にある部品等を傷付けないため、また、凹凸のある道路面でも車両が安全に走行するためである。最低地上高は、道路運送車両の保安基準によりその基準が定められており、第3条の細目を定める告示第163条によれば、自動車の地上高は小数点以下切り捨てで9cm以上としている。しかし、レーシングカーなどはあらかじめ用意されたコースのような凹凸の少ない道を走行するた

め、また、空気抵抗を小さくするために地上高は一般の車両よりかなり低い場合がある。公道を走行するためには保安基準に適合している必要があるため、市街地を走る車両の多くの地上高は最低でも 9cm はあるといえる。以上から、本研究で用いる最低地上高は 9cm とする [4].

3 先行研究

本研究第5章で作成する洪水浸水想定図で最もよく参考にした「数値標高モデルのみによる簡易な洪水氾濫域予測法 [5]」を先行研究として紹介し、ここでは特に重要な「氾濫推定域図」の作成手順を以下にまとめる。

3.1 氾濫推定域図の作成手順

洪水氾濫域を DEM を用いて簡易的に氾濫推定域図を作成する方法で、具体的な手順は以下に示す手順の通りである。

1. 破堤位置を決め、そこでの浸水深 H を与える。さらに、徐々に水深を深くするための刻み幅 $\Delta h = H/N$ を決める。ただし、 N は自然数とし、破堤位置は洪水の開始地点であり、初めに浸水が始まる地点であるとする。

2. 洪水発生地点の標高値を h_0 としてだけ Δh 上げる。 $h_0 + \Delta h$ を新たな標高値として更新し、これを水面標高として扱う。

3. 新たに浸水した地点 i の近傍の8地点において、既に浸水しているかどうかをすべて調べる。まだ浸水していない地点 j で、かつ $h_j \leq h_i$ であれば、 h_j を $\min[\Delta h : h_i - h_j]$ だけ上げ、これを浸水地点とする。なお、地点 j の周囲に浸水場所が多数ある場合は、標高値の増加量はそれらの地点での標高値との差分の平均値を使う事とする。また、既に浸水している場所の標高が更に変化することは、計算量を減らすため考慮していない。

図4に具体例 ($\Delta h = 2m$) を示す。左下の2地点 (標高110mと109m) が浸水地点のとき、太線で囲んだ3地点 (標高108mと105m, 104m) が新たな浸水地点となり、標高105m地点と104m地点は標高109m地点と隣接しているので、それぞれ $2m$ ($\Delta h = 2m < 109 - 105 = 4m$), $2m$ ($\Delta h < 109 - 104$) だけ標高値は変化し、標高108m地点では標高110m及び109m地点と隣接しているため、平均値である $1.5m$ ($(110 - 108 + 109 - 108)/2 = 1.5$) だけ変化する。浸水地点である標高109m地点は、隣の浸水地点である標高110m地点より標高が低いに変化させない。

| | | | |
|-----|-------|-----|-----|
| 120 | 100 | 104 | 110 |
| 115 | 108 | 105 | 106 |
| 110 | 109 | 104 | 108 |
| ↓ | | | |
| 120 | 100 | 104 | 110 |
| 115 | 109.5 | 107 | 106 |
| 110 | 109 | 106 | 108 |

図 4: 洪水の計算例

4. 手順 3 において新たに浸水地点が追加されれば、その浸水地点を使って手順 3 を繰り返す。もし、追加された浸水地点がなければその時点で浸水域を記録し、現在の浸水域での水面標高を地面標高と仮定して、手順 2 に戻る。ただし、洪水開始地点での標高値の増加量が既に設置値 H に達していれば手順 5 に進む。

5. 手順 4 で作成された N 枚の浸水域を図に重ね合わせ、手順 1 で定めた破堤位置での氾濫域推定域図を作成する。

6. 河道沿いの数地点から M 個の地点を破堤位置に選び、手順 1-5 で作成した M 枚の氾濫推定域図を重ね合わせ、河川流域全体の最終的な氾濫推定域図を完成させる。

4 実験概要

本章では、第5章及び第6章での洪水浸水想定図作成、混雑度計算の際に使用するデータについて述べる。また、便宜上足立区の地域名称についても示す。

4.1 洪水使用データ

災害時避難経路を導出するのに欠かせないものが、洪水浸水想定図やハザードマップと呼ばれるものである。国土数値情報ダウンロードサービスでは洪水浸水想定区域というデータをダウンロードでき、各都道府県の河川が氾濫した際の浸水想定図が確認できる。しかし、メッシュサイズが大きいデータのため、河川氾濫のおよその規模を見ることはできるものの市区町村単位に拡大して見るとかなり粗いデータである。本研究では足立区に地域を限定して混雑度計算等を行うためこのデータをそのまま用いることは不適切である。そこで、本研究ではメッシュサイズが5mの標高データを用いて洪水浸水想定図を作ることが望ましい。標高データは国土地理院の基盤地図情報より入手した5mメッシュのDEMデータから、足立区の範囲を切り出したものを使用する。入手したDEMデータの表現方法は、メッシュの中心点の座標と標高を示すものであり、単純なデータの羅列である。このため、座標データをもとに標高行列に変換し、シミュレーションを行う。

4.2 混雑度計算使用データ

道路ネットワークは、コンサベーション GIS コンソーシアム事務局の「「地理院地図 Vector (仮称) 提供実験」のデータをもとに、コンサベーション GIS コンソーシアムが編集・調整したデータ」を使用する。そのデータから足立区領域内だけの道路データを抽出する。また、細かい道路も全て含まれており、本研究でノードとなる交差点が約10万個存在したため計算量を考慮した結果ノード数が約600個になるように主要道路のみ選定する。オレンジ色の線を選定した主要道路、紫色の点を交差点ノードとして図5に示す。

4.3 足立区地域のおおまかな名称

本研究では足立区の地域を以下の図6のような地域としておおまかに分類する。ただし、これらの地域名称は実際の地図上のものとは異なる場合がある。

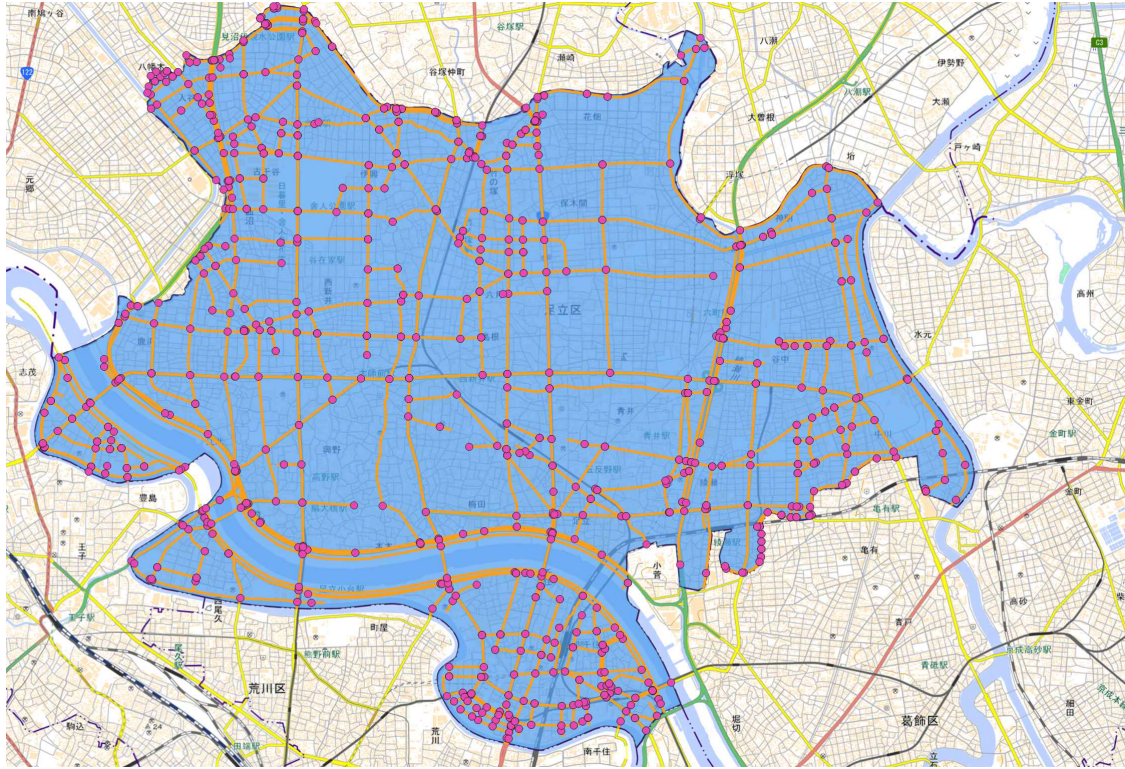


图 5: 足立区道路



图 6: 地域名称付け

5 洪水浸水想定図作成

本章では、第6章の混雑度計算で用いるための洪水浸水想定図の作成について述べる。

5.1 標高行列作成

前述の通り、足立区におけるメッシュサイズが小さい浸水想定図やハザードマップのDEMデータなどは現状公開されていない。そこで、地表面の起伏を表すDEMデータのみを用いてシミュレーションを行い、洪水浸水想定図を作成する。シミュレーションの準備として、まずは基盤地図情報より得たDEMデータを標高行列に変換することから始める。

基盤地図情報より得た座標データは、XYZ形式のデータで、地図上の北西の頂点から南東の頂点へ西から東、北から南へ一行ずつ向かっていく。足立区の四方の頂点はそれぞれ、

北西頂点=(最西端座標, 最北端座標), 北東頂点=(最東端座標, 最北端座標)

南西頂点=(最西端座標, 最南端座標), 南東頂点=(最東端座標, 最南端座標)

である。標高行列は行列であり、メッシュサイズや頂点座標をもとに各行、列の番号から座標を導き出せることを利用すると、座標情報から行列形式に変換することも可能である。本研究では5mメッシュの縦横のメッシュサイズ、頂点座標から2059×1621の標高行列を作成し、各成分に標高値を格納する。

ここで、足立区の形状は長方形ではないため、四方の頂点は足立区ではない点であり、頂点周辺の地域も足立区を含んでいない。元のDEMデータでは足立区以外のエリアも網羅しているため座標と標高も足立区同様にXYZに格納されており、シミュレーションのアルゴリズムも水の広がりを地形から算出していくものであるため、足立区以外の地域をシミュレーション内で判別することは不可能である。そこで、足立区以外のエリアの標高を足立区全域のものよりはるかに高く設定することでシミュレーション範囲を足立区内に限定させる。

以上の過程より得られた標高行列を用いて浸水想定図作成のシミュレーションを行う。

5.2 シミュレーション

基本的な考え方や手順は「数値標高モデルのみによる簡易な洪水氾濫予測域法」[5]と同様であり、使用する文字も同じものを使用し、以下のように数値を設定する。

手順1では、氾濫が起きる河川の堤防の決壊地点を設定し、その地点での浸水深を与える。決壊地点とその地点の浸水深 H について、 H は堤防を越水する高さではなく破堤位置から流れ出す水の量がその地点で最終的にどの程度の深さまで

達するかを指し示す。今回破堤位置は任意で選んだ八か所とし、そこでの浸水深を $H = 2, 4, 6[m]$ としてそれぞれシミュレーションを行う。選んだ八か所の破堤位置について、流れる水の働きの侵食作用により、河川の流れが変化する箇所であるカーブの外側は一般的に破堤のリスクが高いとされている。このため、足立区内における荒川のカーブの外側を破堤位置として、川の北側に五か所、南側に三か所と設定する。ただし、現実にはそれら河川のカーブの外側は決壊のリスクが高いことを見越して他の地点よりも強度を上げて施工されている場合もあるため、破堤がどの地点で起きていても不思議ではない。また、設定上の破堤位置から離れた位置では浸水の到達が遅れるといった計算結果が出るが、現実でどの地点で決壊するか不明なためそうした地域での浸水の到達も計算結果とは大きく異なることも考えられる。そうした理由からより精密な氾濫シミュレーションを行う場合は決壊場所の数をもっと大きくするのが妥当だが、計算時間の問題から本研究では八か所のみ絞っている。

また、 $\Delta h = 0.10[m]$ として、 H の値によって刻み幅を変化させることはせず固定する。足立区は、その全域が低地帯であり地表面の起伏の変化が乏しい地域であり、今回使用するデータのメッシュサイズは $5m$ であることから、隣り合うメッシュ間で標高が大きく変わることはない。また、 Δh の値を小さくすることで一度のシミュレーション内で変化する標高値は小さくなるため、低地帯が広がる足立区でも計算が可能となる。 Δh の値は H のどの場合にもよらず $0.10 [m]$ とする。

手順 2,3 では上記の八か所の決壊地点で刻み幅 Δh ずつ標高を上げてシミュレーションを行う。なお、決壊地点および各地点の変化後の標高値は水面標高としている。

手順 4 では、各地点で N 回シミュレーションを行い、それぞれの結果を保持し、決壊地点での浸水深が H に達するまで繰り返す。

手順 5 では、手順 4 より作成した N 枚の結果を平均化することで各地点の浸水想定図が作成される。

最後に、各地点での結果を重ね合わせることで足立区における荒川の浸水想定図が完成する。

5.3 シミュレーション結果

$H = 2, 4, 6$ における結果をそれぞれ以下の図 7-9 に示す。

図中の色について以下の表 2 に示す。

表 2: 浸水深カラーランプ

| 色 | 浸水深 |
|---|---------|
| 白 | 0m |
| 青 | 0.5m 未満 |
| 緑 | 1.0m 未満 |
| 黄 | 1.5m 未満 |
| 橙 | 2.0m 未満 |
| 赤 | 2.0m 以上 |

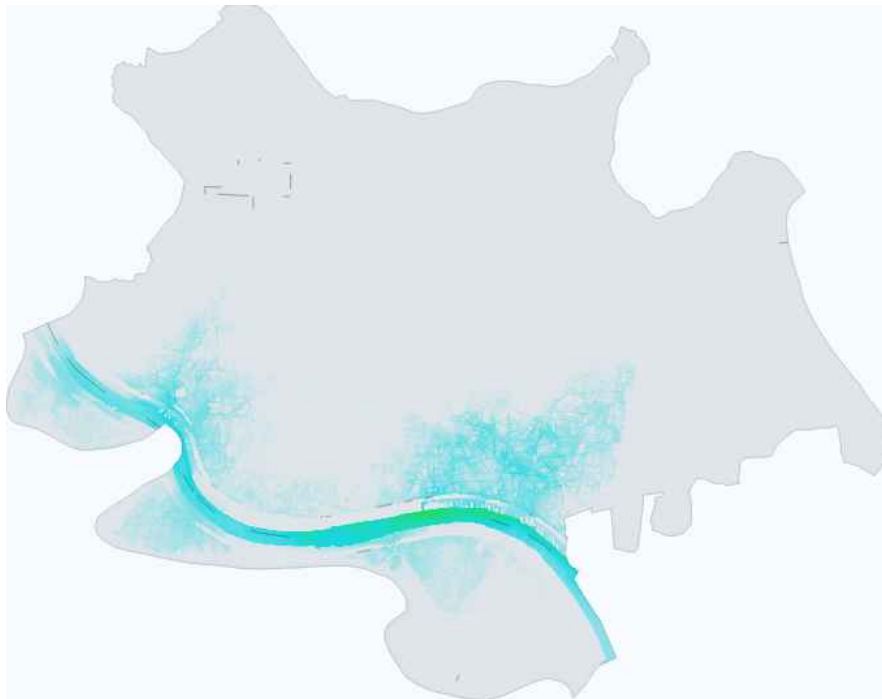


図 7: 浸水深 $H = 2$ における氾濫シミュレーション

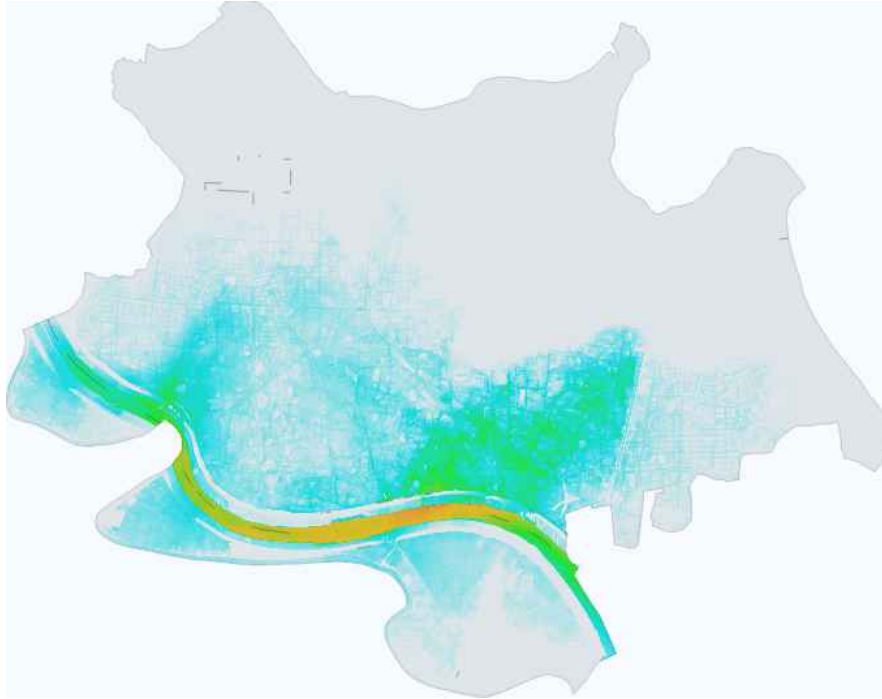


図 8: 浸水深 $H = 4$ における氾濫シミュレーション

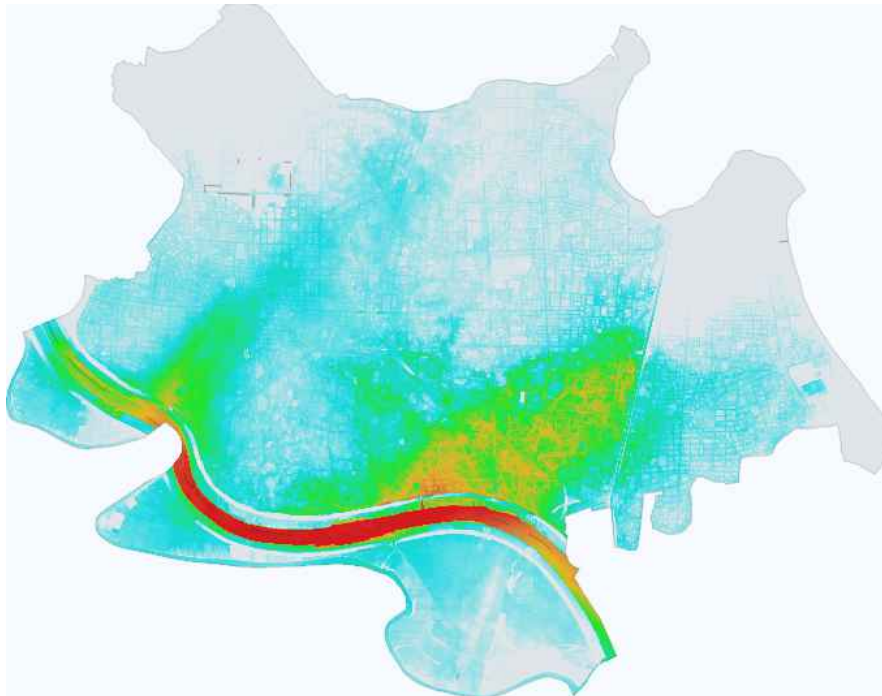


図 9: 浸水深 $H = 6$ における氾濫シミュレーション

荒川の北側に注目すると， H のいずれの値の場合も低地帯を中心に広がってお

り、顕著に広がっているのは足立区西部と中央部よりやや東の地域であり、一帯が低地帯であることが分かる。今回のシミュレーションでは荒川の北側には決壊地点を五つ設定しているが、上記のような水の広がり方を見ると、決壊地点を変えたり、増やしたりしても広がり方はほとんど変わらないものだと考えられる。

また、川の北側で東の地域ではあるラインを境として水の広がりが弱くなっており、浸水の被害がある程度抑えられている。このラインは、足立区を縦断する綾瀬川であり、 $H = 6$ のときではこの綾瀬川のおかげで足立区北東部の地域は浸水が一部遅れていると分かる。

川の南側に注目すると、大部分が標高 1m 以下の低地帯であるため $H = 4, 6$ のときにはほとんどすべての地域が浸水してしまうが、堤防より続く道や、鉄道軌道の集まる南西部では標高が周囲より高いため浸水しにくくなっている。

6 混雑度計算

本章では、前章で作成した洪水浸水想定図と道路データを用いた混雑度計算について述べる。

ダイクストラ法を用いた単一始点最短経路問題として、一対一最短経路問題と一対全最短経路問題がある。一対一最短経路問題は始点と終点を一つずつ設定し、始点から終点までの最短経路と最短距離を求める問題である。また、一対全最短経路問題は始点を一つ設定し、始点から始点以外の各点までの最短経路と最短距離を求める問題である。

混雑度は始点を変えながら一対全最短経路問題を解き、最短経路として登場したエッジをカウントしていくことで求まる [6]。

本研究では洪水浸水想定図と重ね合わせをして災害時の避難経路を求めるが、災害時は平常時と異なり人流は河川から離れるように移動すると想定されるため、災害時の混雑度計算は全対全ではなく足立区の境界付近のノードを目的地とする。

災害時は浸水によって使用できない道路が発生するため洪水浸水想定図のエリアとの被覆道路は通過出来ない制約を設けることで災害時の最短経路である避難経路を求める。

6.1 前提条件

足立区的全道路を元に交差点ノードを作成するとノード数が約10万個存在したため、主要道路・幹線道路のみを対象とし細かい住宅地の道路は省く。また、使用データだけでは一方通行かどうかの判断が出来ないため本研究での道路ネットワークは無向グラフとなっている。

立体交差や高速道路沿いの道では交差点というものが存在しない場所があるが、使用データは2次元データであるためこれらの場所も交差点扱いとなっている。

6.2 制約条件1

荒川が氾濫した際、足立区内の人は荒川から離れ区外へと避難していく。ここで、荒川より南側の豊島、小台、千住地区にいる人は北区、荒川区方面へ避難し、荒川の北側地域の人は埼玉県、千葉県方面へと避難する。ただし、千住の南東方向や葛飾区西部、北区北部のように荒川流が存在する地域は避難方向の地域として不適切なので除外する。

河川が氾濫した際、その水の広がりや他の河川や水路である程度止まるとされている。足立区は四方を川に囲まれているため、区外へと避難することでおよその避難は完了する。

以上のような理由から、足立区の北部、東部、豊島南西部、千住南部地域の県境、区境に目的地を設定する。

6.3 制約条件 2

JAF の道路冠水時の走行実験 [7] によると一般的なセダン車は浸水深 30cm で走行可能という結果が出ているが、自動車は排気口であるマフラーという部分から水がエンジン内部に侵入してしまうと故障することが多い。そのため、マフラーに届かない程度の 15cm を本研究では走行可能かどうかの浸水判定基準とする。なお、この 15cm は自動車の最低地上高から考えたマフラーの穴に水が侵入しないと考えられる高さである。

6.4 制約条件 3

洪水浸水想定図との重ね合わせの結果、目的地となる終点ノードにたどり着くことの出来ないノード集合が発生する。図 10 のように周囲を冠水路に囲まれていて目的地への避難は不可能なため本研究では「孤立グラフ」と呼ぶ。孤立グラフとなった地域はグラフ理論において同一のグラフにはならないため混雑度計算を行わない。

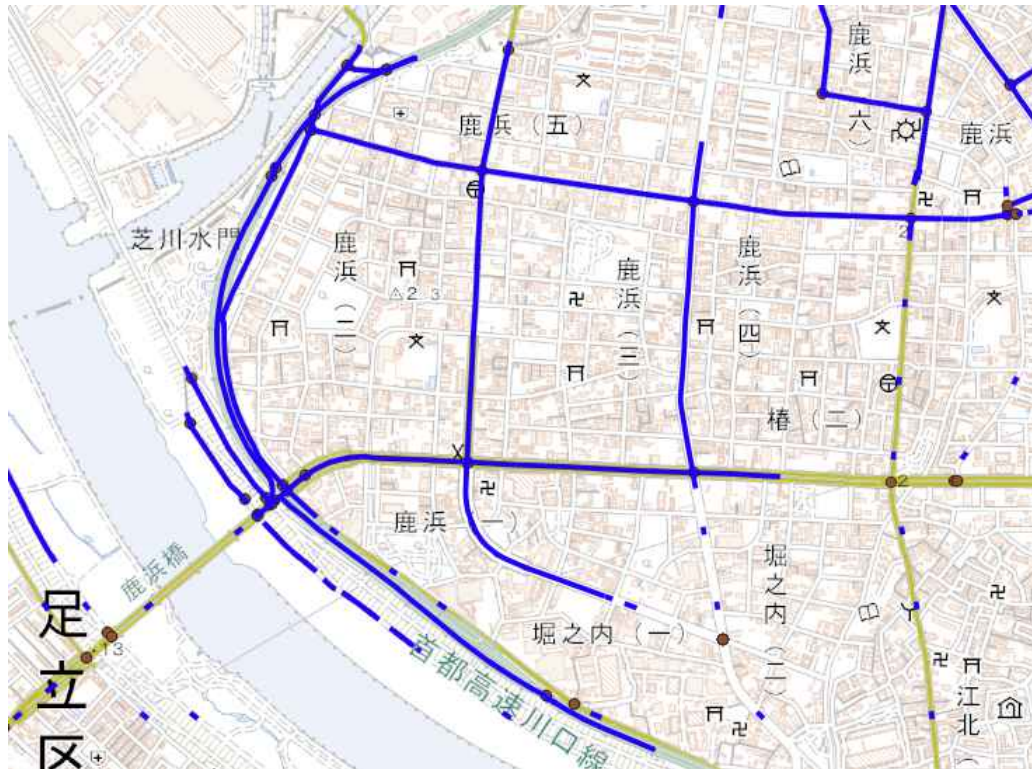


図 10: 孤立グラフ

足立区南部の千住地区は荒川区方面、足立区西部の豊島地区は北区方面に避難先となる目的地が存在する。これらのような目的地と繋がっているノード集合は孤立グラフではないためそれぞれ混雑度計算を行い結果を算出している。

6.5 浸水深 $H = 2$ の場合の混雑度

道路ネットワークと作成した $H = 2$ の場合の浸水想定図を重ね合わせて、浸水しているエリアの道路を使用不可とし混雑度計算を行う。 $H = 2$ の場合は荒川の南北で分断されるためグラフ集合は足立区北部、豊島地区、千住地区の三つとなりそれぞれで混雑度計算を行う。

[STEP1] $H = 2$ の場合の浸水想定図を道路ネットワークに重ね合わせる。その結果は、図 11 に示す。

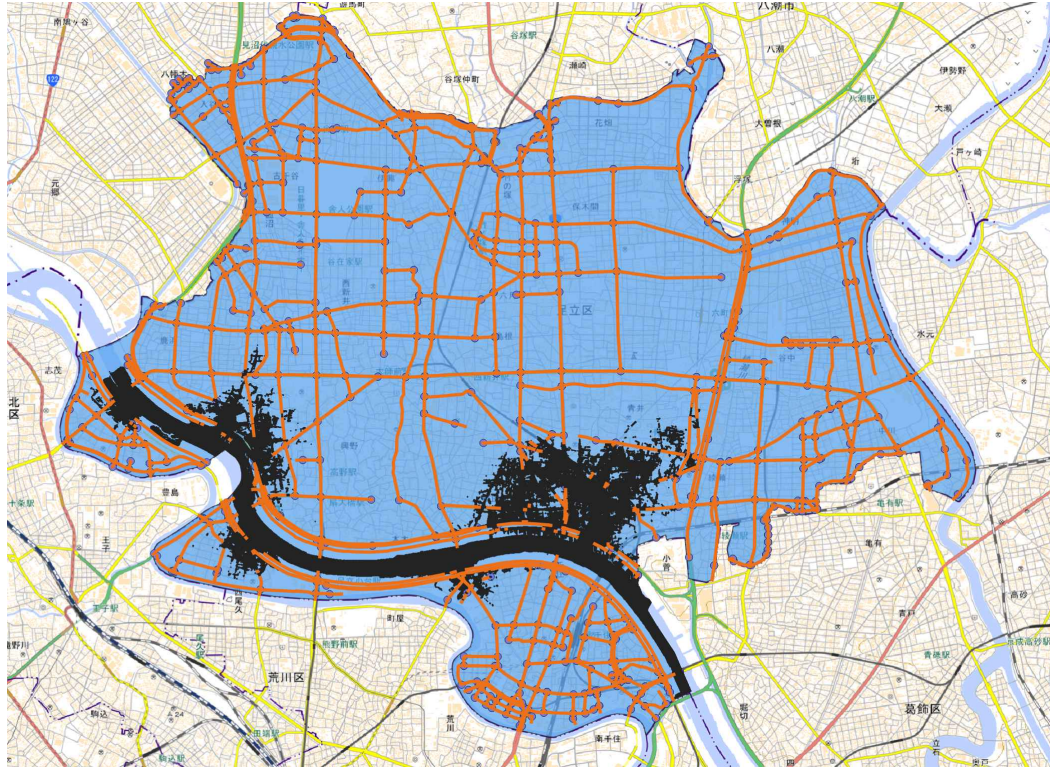


図 11: 浸水深 $H = 2$ の場合の重ね合わせ

[STEP2] 差集合により $H = 2$ の場合の使用可能な道路ネットワークを作成。

[STEP3] 全対一最短経路をダイクストラ法を用いて各目的地ごとに求め、登場回数をカウントする。その図は、図 12 に示す。オレンジ色の線が交通量の多い道路であり線の太さで大小をカウント数 500 刻みに表現している。最大値は 2943 である。また、紫色の線は交通量が 0 であった道である。

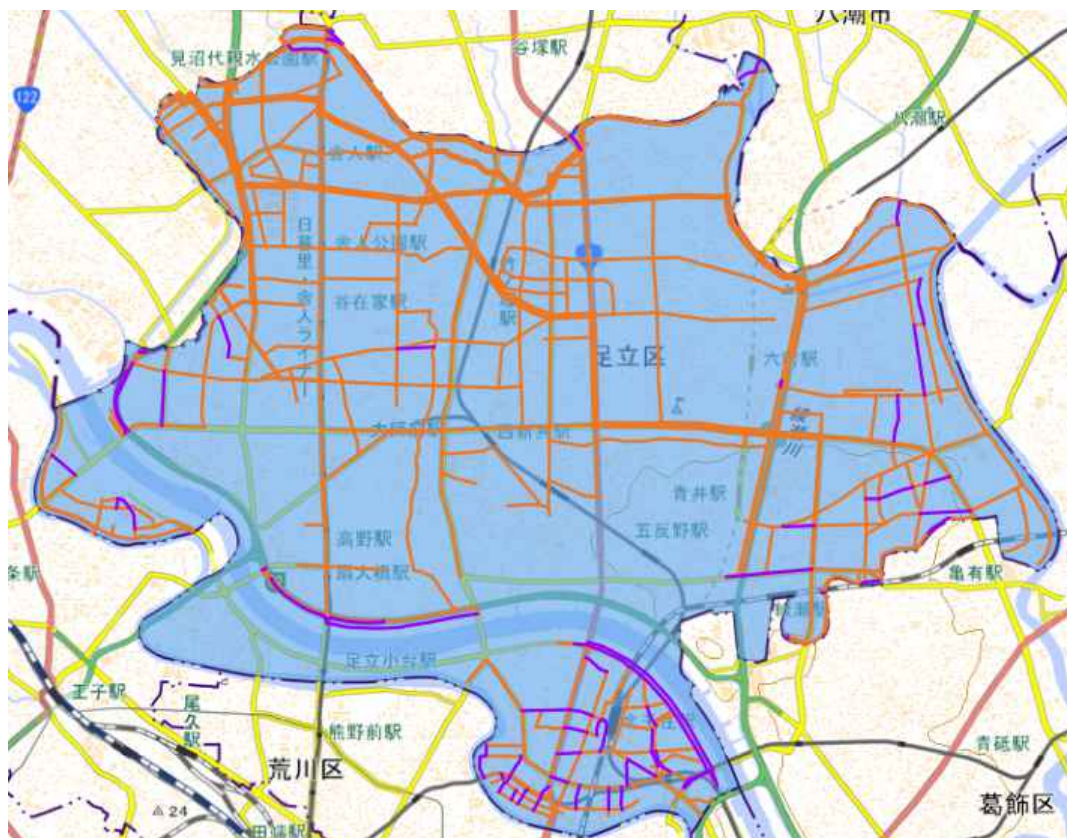


図 12: 浸水深 $H = 2$ の場合の混雑度可視化

6.6 浸水深 $H = 4$ の場合の混雑度

道路ネットワークと作成した $H = 4$ の場合の浸水想定図を重ね合わせて、浸水しているエリアの道路を使用不可とし混雑度計算を行う。 $H = 4$ の場合は荒川の南北で分断されるためグラフ集合は足立区北部、豊島地区、千住地区の三つとなりそれぞれで混雑度計算を行う。

[STEP1] $H = 4$ の場合の浸水想定図を道路ネットワークに重ね合わせる。その結果は、図 13 に示す。

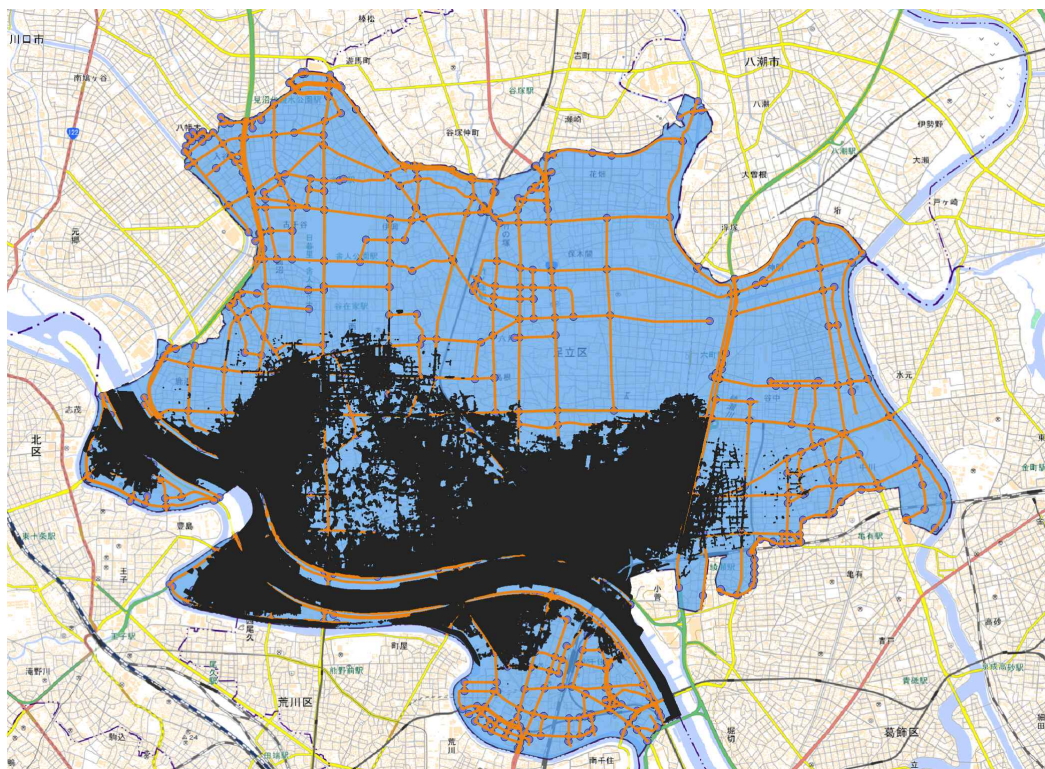


図 13: 浸水深 $H = 4$ の場合の重ね合わせ

[STEP2] 差集合により $H = 4$ の場合の使用可能な道路ネットワークを作成。

[STEP3] 全対一最短経路をダイクストラ法を用いて各目的地ごとに求め、登場回数をカウントする。その図は、図 14 に示す。オレンジ色の線が交通量の多い道路であり線の太さで大小をカウント数 500 刻みに表現している。最大値は 4162 である。また、紫色の線は交通量が 0 であった道である。

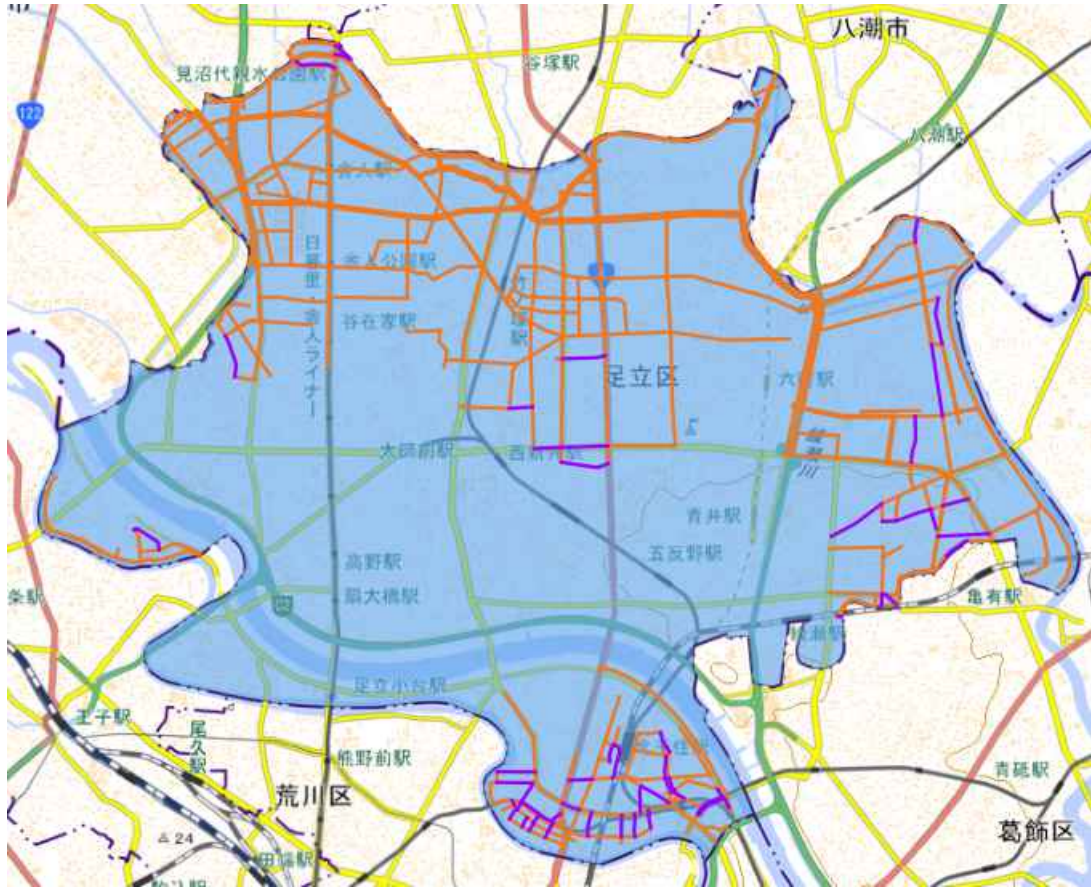


図 14: 浸水深 $H = 4$ の場合の混雑度可視化

6.7 浸水深 $H = 6$ の場合の混雑度

道路ネットワークと作成した $H = 6$ の場合の浸水想定図を重ね合わせて、浸水しているエリアの道路を使用不可とし混雑度計算を行う。 $H = 6$ の場合は足立区の大部分が冠水するためグラフ集合は足立区北西部、千住地区の三つとなりそれぞれで混雑度計算を行う。

[STEP1] $H = 6$ の場合の浸水想定図を道路ネットワークに重ね合わせる。その結果は、図 15 に示す。

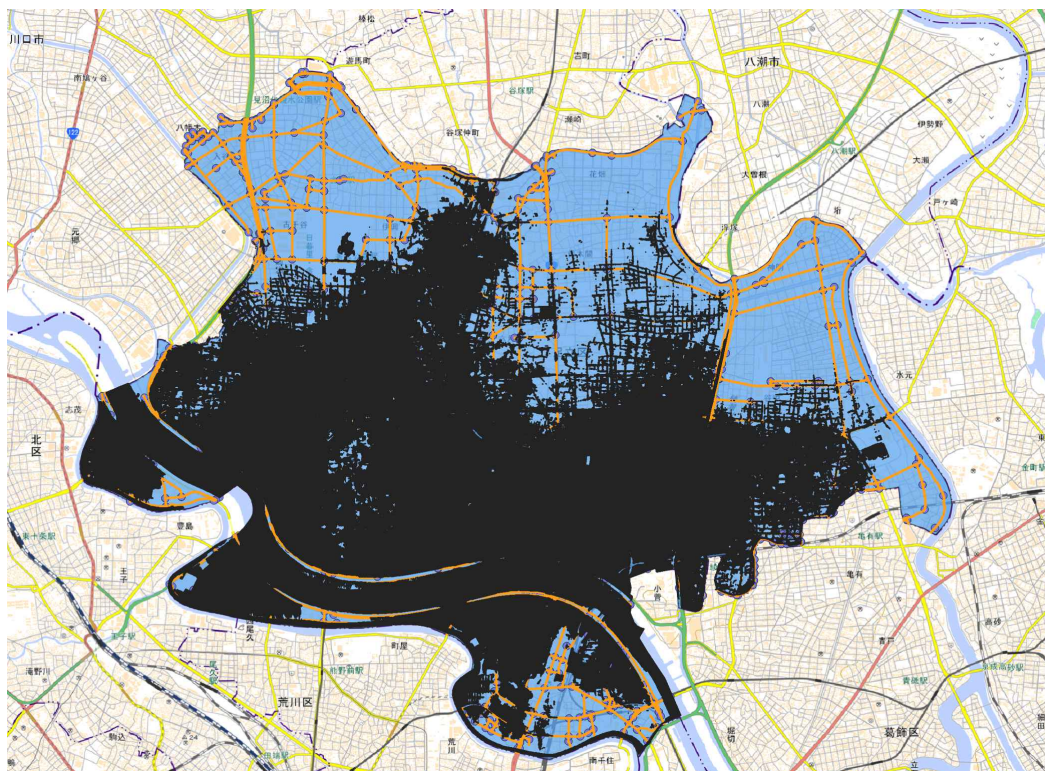


図 15: 浸水深 $H = 6$ の場合の重ね合わせ

[STEP2] 差集合により $H = 6$ の場合の使用可能な道路ネットワークを作成。

[STEP3] 全対一最短経路をダイクストラ法を用いて各目的地ごとに求め、登場回数をカウントする。その図は、図 16 に示す。オレンジ色の線が交通量の多い道路であり線の太さで大小をカウント数 100 刻みに表現している。最大値は 870 である。また、紫色の線は交通量が 0 であった道である。

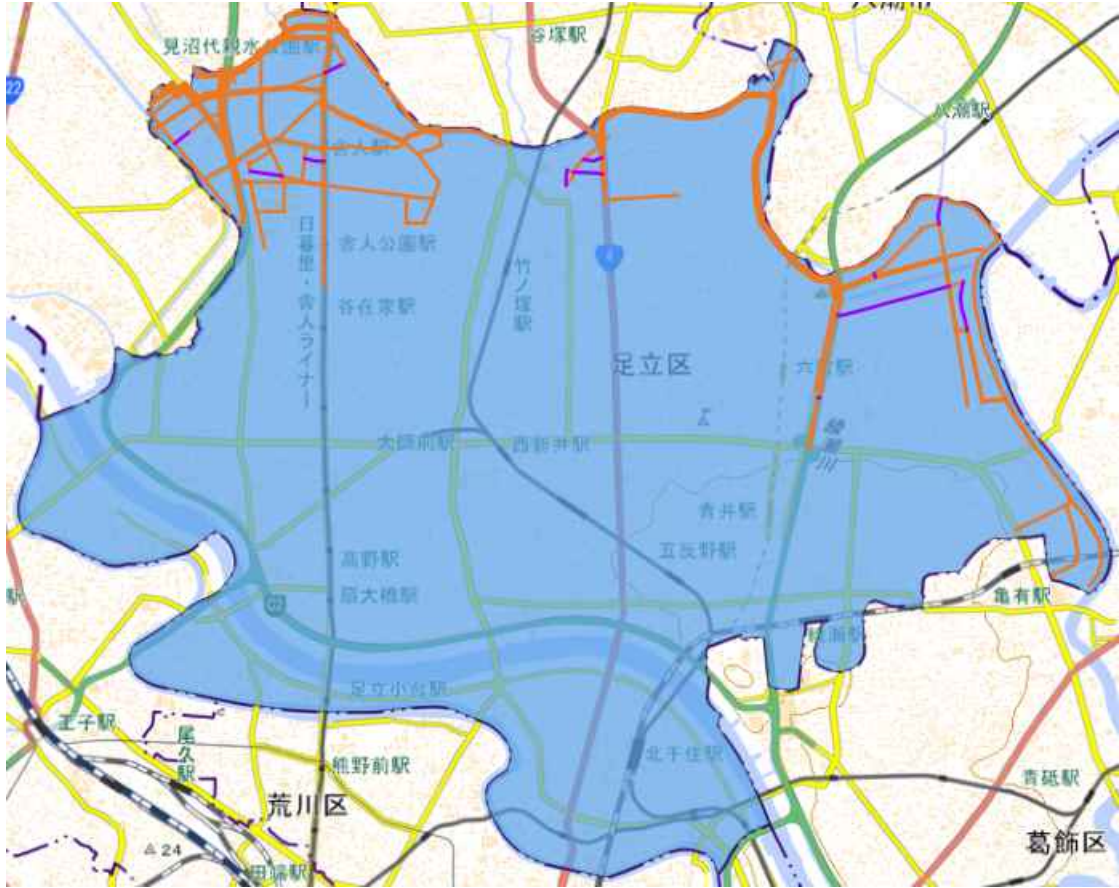


図 16: 浸水深 $H = 6$ の場合の混雑度可視化

7 考察

本章では、第6章で行った混雑度計算の結果について分析し、考察をする。

7.1 千住地域

ここでは足立区南側の千住地域について考察を進める。千住地域と荒川以北を結ぶ橋は洪水浸水により通行不可となっているため、千住地域だけで分断されている集合となっている。但し、 $H = 6$ のとき、実験内で使用されるすべての道路が冠水または孤立グラフ化しているため、 $H = 6$ の場合については除く。千住地域は、 $H = 2$ の図12と $H = 4$ の図14より、混雑度0の道路が多い事が分かる。千住地域は昔から宿場町として栄えた町であり主要な道路も多いため、距離の短い道路が大通りと大通りを結ぶような道路網になっている。そして、それらの細かい道は最短経路に使用されていない道路が多い。千住地域の南東部には荒川流が続くため目的地が存在しない。更に、南側の荒川区との境には隅田川があり荒川区に続く道路は千住の西側には少ないため、千住地域の目的地は南側に2か所のみである。以上より目的地の数が少ないため人流が距離の短い道路に一点集中し、その結果混雑度0の道とそうでない道の差が顕著に現れたと考える。

7.2 豊島地域

豊島地域について考察する。 $H = 6$ の場合は千住地域と同様に混雑度計算に使用する道路が冠水または孤立グラフ化しており存在しないとして、考慮しない。豊島地域は北区と隣接する地域であり、その境は隅田川および荒川である。荒川と隅田川に囲まれたこのエリアには、北東から南西に向かって中央に環状七号線が通っており、周辺のほぼ全ての道は環状七号線に接続される形になっている。しかし、 $H = 2, 4$ のいずれも豊島地域を通る環状七号線の半分ほどが浸水するため、接続される道も限られてしまう。さらに、環状七号線に接続する道路はほとんど直角に接続しているため、環状七号線を経由して目的地に向かう経路と、目的地方向に向かって直線的に伸びる経路と比べると最短経路は自ずと後者の道が選ばれる。そのため、大通りである環状七号線よりも隅田川沿いの道路などの方が混雑度は高い傾向となっている。

7.3 荒川以北の地域

荒川以北の地域について考察する。北部の南北方向には西から順に舎人西部や鹿浜を通る足立川口線、舎人や江北を通る尾久橋通り、竹ノ塚西部から千住地域に続く尾竹橋通り、竹ノ塚東部から千住地域に続く日光街道、綾瀬川沿いの綾瀬

川通り、の5本が、東西方向には中央を環状七号線が大通りとして通っている。この地域の避難方向は、北へは埼玉県の川口市や草加市および八潮市、東へは葛飾区北部や千葉県方面である。ここで、西部および南東方向は荒川流が続くため避難方向から除外している。

まず、 $H = 2$ の時には他の地域と比べて舎人地域周辺の混雑度が高いことが分かる。これは、舎人地域とその北西方向の埼玉県川口市との境が地続きであり、避難方向に続く道が他の川を渡っていくような経路と異なり制限が少ないことが理由として挙げられる。また、混雑度が高い道は足立川口線や、舎人地域から竹ノ塚を通り日光街道へと繋がる道であり、他の道路よりも直線的ではないことが分かる。これは豊島地域での最短経路の選ばれ方と同様に、直角に接続する道路を進んでいくよりも任意の地点からより直線的に目的地に近づく経路の方が最短経路として選択されるからである。混雑度が0の道について注目すると、綾瀬や大谷田といった地域に比較的多く存在している。この地域は、足立区東の葛飾区や千葉県方面に向かって避難していくが、その境には中川があり、中川を渡る道はただ一本のみ(飯塚橋)である。このため、避難経路は一定のものとなり、舎人地域とは対照的に混雑度も全体的に低くなっている。

$H = 2$ の場合も同様に、舎人地域で比較的混雑度が高く、大谷田地域は混雑度が0の道が多いほか、足立川口線や、竹ノ塚を通る経路は混雑度が高くなっている。混雑度が高い理由は $H = 2$ の時と同様だが、江北や西新井の地域で環状七号線を含む浸水する道路が増えたため、その経路の分布が $H = 2$ の時より北上している。また、綾瀬川通り北部の混雑度がやや高くなっているがこれは西新井地域の東側で冠水路が増えたことにより、西新井地域より東側の地域とそれ以外の地域を繋ぐ道が綾瀬川通りのみになったためである。

$H = 6$ の場合だが、使用できる道路がかなり少ないため、道路グラフは東西に分断されている。混雑度のばらつきも $H = 2, 4$ の場合と比べると小さいものの、目的地ノードの多い舎人地域は依然として混雑度が高くなっている。東部の道路網は区の境沿いの道を中心に浸水を免れているため、それら境沿いの道で混雑度がやや高いことが分かる。

8 おわりに

本章では、本研究のまとめ及び実験結果から得られた今後の課題について述べる。

8.1 まとめ

本研究では、洪水浸水想定図において、人流における事故や避難の遅れを防ぐことを目的とした混雑度計算を適用、新たなハザードマップの要素として付け加えて検討を試みた。

洪水浸水想定図の結果として、豊島地域と千住地域は直ぐに浸水してしまうため、早めの避難が必要と言える。また、荒川以北は環状七号線が早い段階で浸水してしまうため、足立区内の東西移動が行いづらくなる。更に浸水が進行すると荒川以北が東西に分断され、増々足立区内の東西移動が行いづらくなる。よって避難時には、まずは北上することを薦める。

混雑度計算の適用結果から、大通りが混雑するのではなく、最短経路が混雑するため、狭い道でも混雑度計算の結果として多く反映されている。地元住民のような自分の住む地域周辺の道路を知っている者は、焦って人流事故の発生確率の高い、狭い近道を使って避難するかもしれない。それよりも大通りを使って避難する方が人流事故を防げると考えられる。

そのため、本研究で得られた結果を実際にハザードマップとして利用する場合は、この道を通るべきと指定したルートを公開するのではなく、この結果による混雑予測のみを公開をする方が良い。避難する人が各々の判断で線が太くなっていく経路を避けながら避難先である目的地へ移動することによって人流の分散に繋がると考えられる。また、本研究から得られた浸水想定図の他、自治体が公開している浸水深の分布や既存のハザードマップ等も各個人が把握しておく必要もある。浸水していない道が明確になっていることで浸水箇所を鉢合わせて無駄に折り返すことが無くなり、余計な人流も増えず、効率よく避難することに役立つと考えられる。

8.2 今後の課題

本研究の今後の課題として、実際の交通量との差が考えられる。

本研究では人口データを考慮していない。そのため地域ごとの人口密度の差がなく全ての地点が等しいものとしているため現実問題ではこのシミュレーションの結果と同じになるとは限らない。例えば、一軒家の住宅地と団地群の地域とでは1ノードあたりの人口としての重みは異なると思われ、この点に対応することが必要である。

さらに、本研究では道幅や信号の数による流量の違いを考慮していない。これらのデータに関しては入手が出来なかったため今回は扱わなかったが、本研究での最短経路問題を解くダイクストラ法において重みとなっている距離データを所要時間データにしたうえで様々な流量に関する条件を含めた関数にすることで実現できるのではないかと考え、この点に対応することが必要である。

また、本研究では計算量の都合により、ノードを主要道路の約600個に絞り実験を行ったが、本来の約10万個で実験を行えるとより詳細な実験結果を得て可視化できると考えられ、この点に対応することが必要である。

参考文献

- [1] ”荒川水系荒川 洪水浸水想定区域図”，国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所，https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000647152.pdf，(参照 2022-12-14).
- [2] ”荒川放水路変遷誌 もっと知っておきたい荒川放水路の歴史と効果”，国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務局調査課，https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000704042.pdf，(参照 2022-12-20).
- [3] 宮崎修一：“グラフ理論入門”，pp.34-38，2015.
- [4] ”道路運送車両の保安基準”，国土交通省，https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr7_000007.html，(参照 2022-12-23).
- [5] 舛谷敬一，馬籠純：“数値標高モデルのみによる簡易な洪水氾濫域予測法”，Vol.22, No.1, pp.17-18，2014.
- [6] Hiroyuki Goto, Yohei Kakimoto, Yoshi Shimakawa：“Lightweight Computation of Overlaid Traffic Flows by Shortest Origin-Destination Trips”，Vol.E102-A, No.1, pp.320-323，2019.
- [7] ”冠水路走行テスト”，JAF，<https://jaf.or.jp/common/safety-drive/car-learning/user-test/submerge/waterway-driving>，(参照 2022-12-23).