

2014 年度 卒業研究

題 名

大規模災害時における敦賀市周辺の広域避難に関する基礎的研究

指導教員 伊津野和行教授
川崎佑磨助教

立命館大学 理工学部

都市システム工学科 2160110089-1 番

氏 名 福田 健太

要旨

大規模地震の防災、減災において建物の強度についてはとても重要なことである。しかし、それだけではなく、地震時における的確な避難計画によって原子力発電所からの被害や、津波の被害などを防ぐことができる。こういった避難計画においてシミュレーションソフトによるシミュレーションは非常に重大な役割を果たしている。

本研究では、福井県敦賀市を中心とした地域を対象として原発事故が起きた際、周辺住民が速やかに避難できる術を、避難手段や避難方法を考慮してシミュレーションをおこなった。その結果、バスによる避難をおこなうことに加えて2段階避難を行うことで渋滞を抑え、避難に要する時間を最大で2時間27分短縮することが判明した。

目次

| | |
|--------------------------------|------|
| 第1章 序論 | |
| 1.1 概説 | P.1 |
| 1.2 背景 | P.1 |
| 1.3 既往の研究 | P.1 |
| 1.4 目的 | P.2 |
| 第1章の参考文献 | P.3 |
| 第2章 対象とする地域 | |
| 2.1 概説 | P.4 |
| 2.2 福井県と原子力発電所 | P.4 |
| 2.3 敦賀市の道路情報 | P.7 |
| 2.4 対象範囲 | P.10 |
| 第2章の参考文献 | P.12 |
| 第3章 避難シミュレーションモデル | |
| 3.1 概説 | P.13 |
| 3.2 マルチエージェントシステム「artisoc」について | P.13 |
| 3.3 モデルの基本的な動き | P.13 |
| 3.4 Evacueee エージェントの移動速度 | P.14 |
| 3.5 対象地域 | P.15 |
| 第3章の参考文献 | P.21 |
| 第4章 シミュレーションの結果と考察 | |
| 4.1 概説 | P.22 |
| 4.2 モデルの条件 | P.22 |
| 4.3 基本モデル | P.23 |
| 4.4 自家用車避難率を変更させたモデル | P.27 |
| 4.5 2段階避難モデル | P.28 |
| 4.6 自家用車避難率を80%とした2段階避難モデル | P.30 |
| 第4章の参考文献 | P.32 |
| 第5章 結論 | |
| 5.1 概説 | P.33 |
| 5.2 まとめ | P.33 |
| 5.3 結論 | P.33 |
| 5.4 課題 | P.34 |
| 第5章の参考文献 | P.34 |

第1章 序論

1.1 概説

本章では本研究に至った背景および目的について記述する。

1.2 背景

日本は非常に多くの地震が発生し、多大な被害を受けてきた。そういった歴史から日本の耐震技術は大きく発展し、地震の揺れによる倒壊は比較的減少した。しかし、警察庁¹⁾によると東日本大震災では死者が15889人であり、このうち津波による水死が全体の90.64%であり、地震後の避難の段階で多くの犠牲者が発生していることが分かった。また、絶対に安全と言われていた原子力発電所が炉心融解を起こして放射性物質を放出させ、周囲の人々を避難させることとなったが十分な避難計画が無かったために避難に多大な時間を要した。

これらの理由から実際に避難に関して研究を深めることで今後起こる地震に対して被害を小さくすることができると考えられる。しかし、実際に災害時を想定した避難実験を行うには多くの人を要する上に危険が伴う。こういった背景からシミュレーションモデルを用いてより良い避難のあり方を検討する必要がある。

1.3 既往の研究

東日本大震災の想定外の津波による被害から、東北地方を中心とした様々な地域を対象とした避難に関する研究が行われてきた。大塚久哲ら²⁾は東日本大震災による津波被害調査内容を示し、それぞれの地理特徴によって復興の在り方を示した。高台が近い小規模な集落については盛土による宅地情勢や高台への移転し、高台への避難が困難な地域では主要道路の高架化を行うなどの提案をした。

高田和幸ら³⁾は宮城県気仙沼市を対象として東日本大震災時の自動車による津波避難の状況再現手法に関する研究を行った。この研究から夜間人口を基にしたシミュレーションで渋滞状況を再現させたが、就業者人口の考慮不足や経路選択に所要時間のみを道路選択要因にしたことによる現実との差を問題点として示した。

柳原純夫ら⁴⁾は東日本大震災時における宮城県石巻市内の避難行動を移動パターン移動距離から分析を行った。この研究から移動手段は自動車が半数を占めること、徒歩による避難のうち90%が1000m以下であり、自動車に避難の40%が1000m以下であること、高齢者を含む家族による一体的避難が自動車を用いる要因になっていること等を示した。これらから徒歩避難を原則とすることで渋滞を抑えた避難をすることを課題として示した。

これらのように自動車を用いた避難や津波に対する避難については様々な地域を対象として研究されているが、原発事故からの広域避難に関する研究は多くなかった。

1.4 目的

東日本大震災の際、福島原発の炉心融解により福島第一原発より半径 20km 圏内の住民に避難指示が出された。この際、福島県内の主要道路で大規模な渋滞が発生したことで避難に多大な時間を要し、周辺住民の身体的、精神的負担ともに非常に大きくなる結果となった。敦賀原発の半径 20km 圏内にも 113112 人も住民がおり、これは福島第一原発の 20km 圏内の住民 78254 人よりも多く、敦賀原発での広域避難指示が出された際に福島よりも大きな渋滞が発生することが考えられる。住民が安全に避難できるように広域避難時における交通問題を把握するとともに、最適な避難計画を提案することを目的とする。



図 1.1 国道 349 号線の渋滞の様子 (3 月 13 日 12 時 31 分) ⁵⁾

第 1 章の参考文献

1) 警視庁 東日本大震災について 2014 年 11 月 23 日閲覧

<https://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/index.htm>

2) 大塚久哲・箆島隆司・梶田幸秀・山崎智彦

立地条件を考慮した東北地方太平洋沿岸部地域の津波避難支援

土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.4 (地震工学論文集代 31-b 巻), I_1081-I_1090, 2012.

3) 高田和幸・藤生慎・小野村広平

東北地方太平洋沖地震時の自動車による津波避難の状況再現手法に関する研究

—宮城県気仙沼市街地を対象として—

土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.69, No.4 (地震工学論文集代 32 巻), I_973-I_1_979, 2013.

4) 柳原純夫・村上ひとみ

東日本大震災における石巻市内での避難行動—移動パターン・移動距離からの分析—

土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.69, No.4 (地震工学論文集代 32 巻), I_1013-I_1020, 2013.

5) 日本経済新聞 web 刊 3 月 13 日 2014 年 11 月 23 日閲覧

<http://www.nikkei.com/article/DGXZZO34197160T20C11A8000000/>

第2章 対象とする地域

2.1 概説

本章では、対象とする地域の情報と対象となった経緯について述べる。

2.2 福井県と原子力発電所

福井県には図 2.1 に示すように全体で 15 基の原子力発電所が存在し、図 2.2 に示すように福井県の南西部（嶺南地方）に位置する敦賀市には日本原子力発電（株）の敦賀発電所 1 号機および 2 号機と日本原子力研究開発機構新型転換炉ふげんおよび高速増殖原型炉もんじゅの計 4 基が存在する。また敦賀市の西隣に位置する美浜町には関西電力美浜発電所に 1 号機から 3 号機までの 3 基が存在するなど、周囲に多くの原子力発電所が立地する。それに加え、表 2.1（全国の原子力発電所³⁾ および国土数値情報 ダウンロードサービス⁴⁾ より作成) に示すように多くの人々が敦賀発電所の近辺に定住している。これらの背景から、福井県の原発災害を考える中で敦賀市を中心に広域避難についての研究を進める。



図 2.1 福井県内に存在する原子力発電所の位置¹⁾

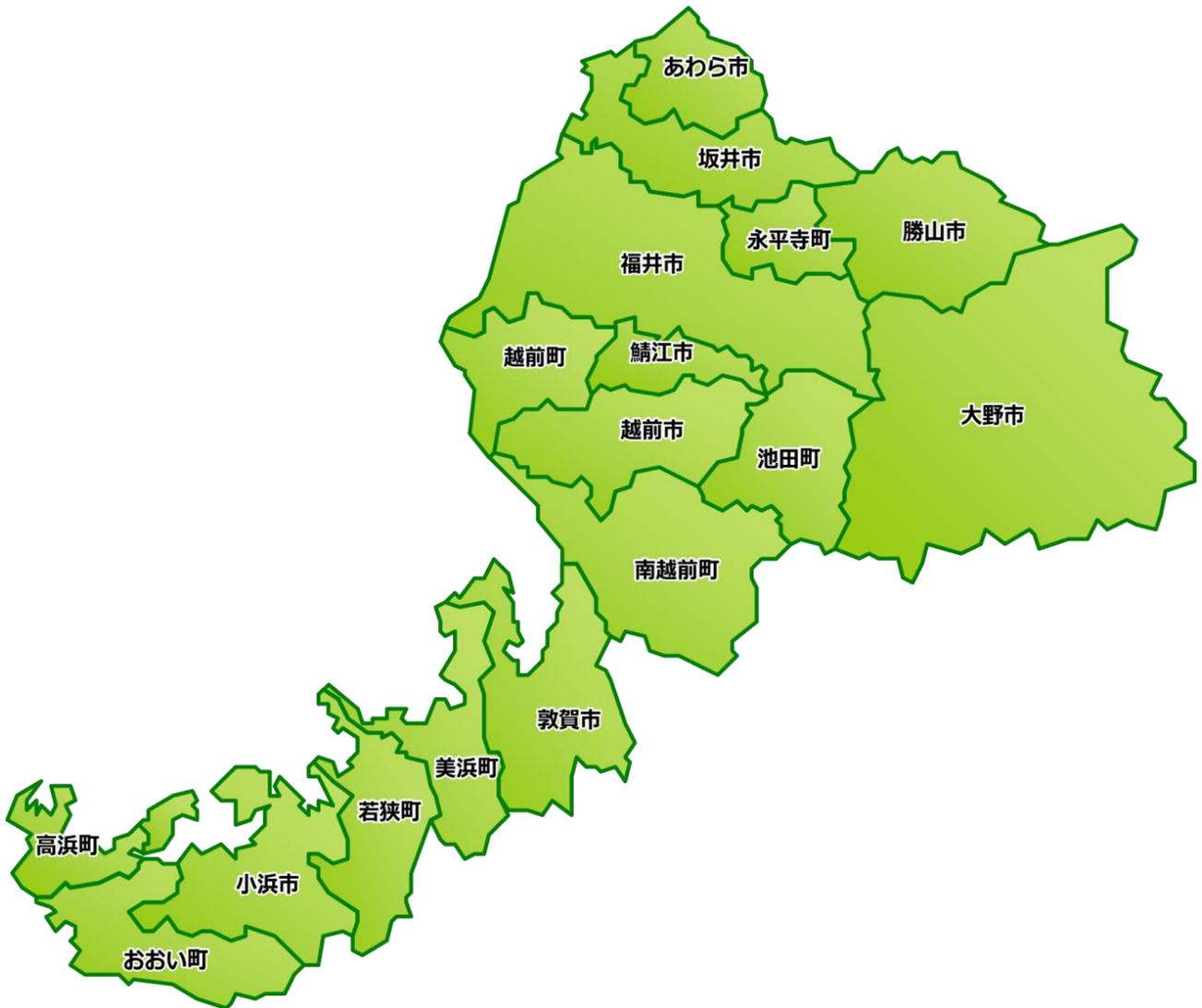


図 2.2 敦賀市の位置²⁾

表 2.1 敦賀原発からの距離帯別人口と距離帯別人口の累計

| 5km 圏 | 5～10km 圏 | 10～20km 圏 | 20～30km 圏 | 30～40km 圏 | 40～50km 圏 |
|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 373 人 | 3084 人 | 108656 人 | 164483 人 | 261615 人 | 331758 人 |
| ～5km 累計 | ～10km 累計 | ～20km 累計 | ～30km 累計 | ～40km 累計 | ～50km 累計 |
| 373 人 | 3457 人 | 112113 人 | 276596 人 | 538211 人 | 869969 人 |

2.3 敦賀市の道路情報

福井県敦賀市の面積⁵⁾は251.20km²、人口⁶⁾67845人であり、嶺南地方最大規模の市である。大阪、名古屋方面と北陸を結ぶ北陸自動車道と国道8号線が敦賀市を通っており、比較的交通量が多い。また2014年7月20日に舞鶴若狭自動車道の小浜敦賀間が開通され⁷⁾、日本海側からのアクセスも向上した。しかし、図2.3⁸⁾、図2.4⁸⁾に示すように、福井市などの嶺北地方へ続く道の国道305号線や、小浜市などの西方面に続く国道27号線、国道162号線は海沿いに続く道路であるため、地震による大規模災害の際、津波による被害が発生する恐れがあることから、避難の際にこれらの道路を用いる避難経路は実用的でないと考えられる。

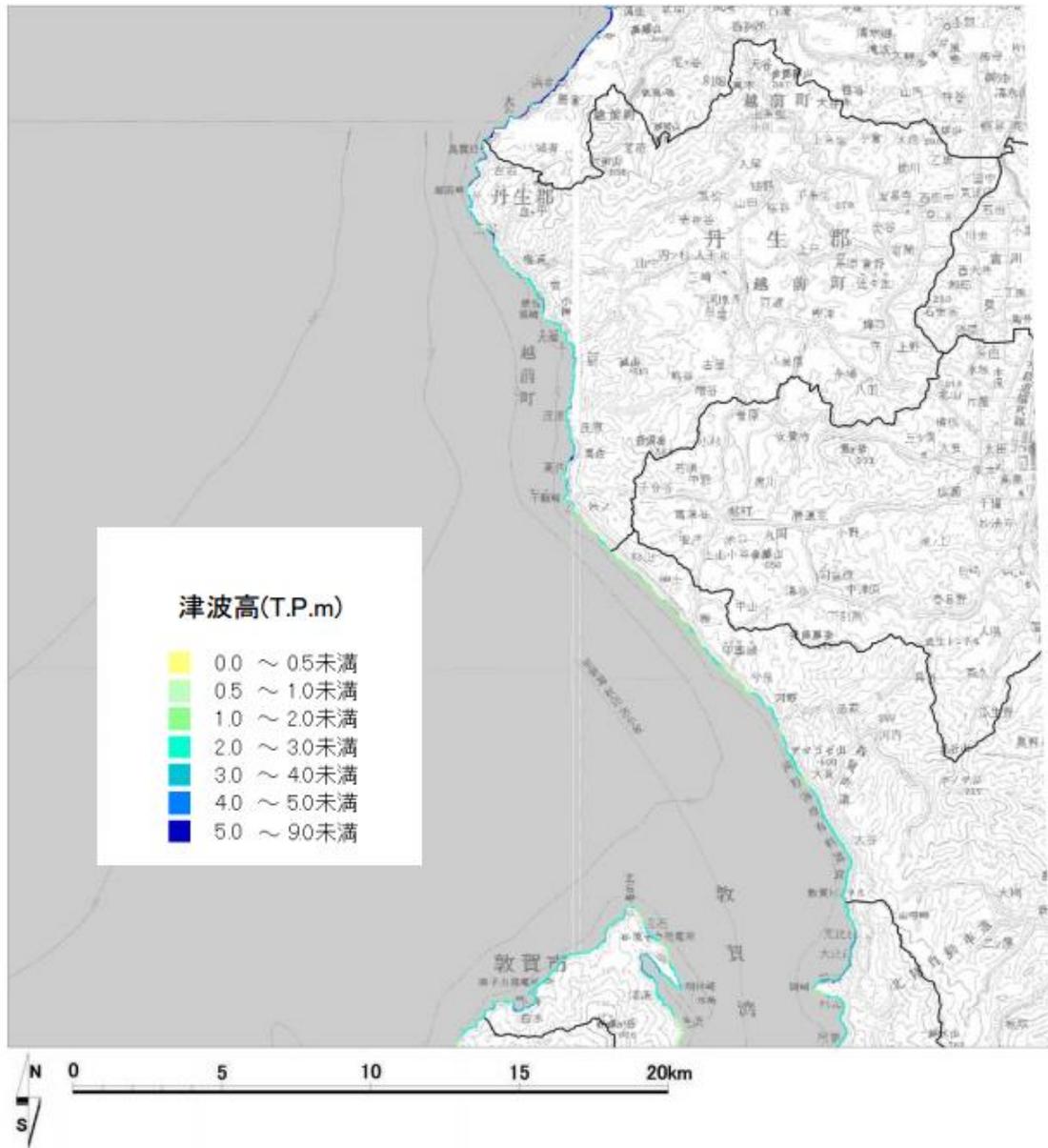


図 2.3 津波高想定図（嶺北南部）⁷⁾

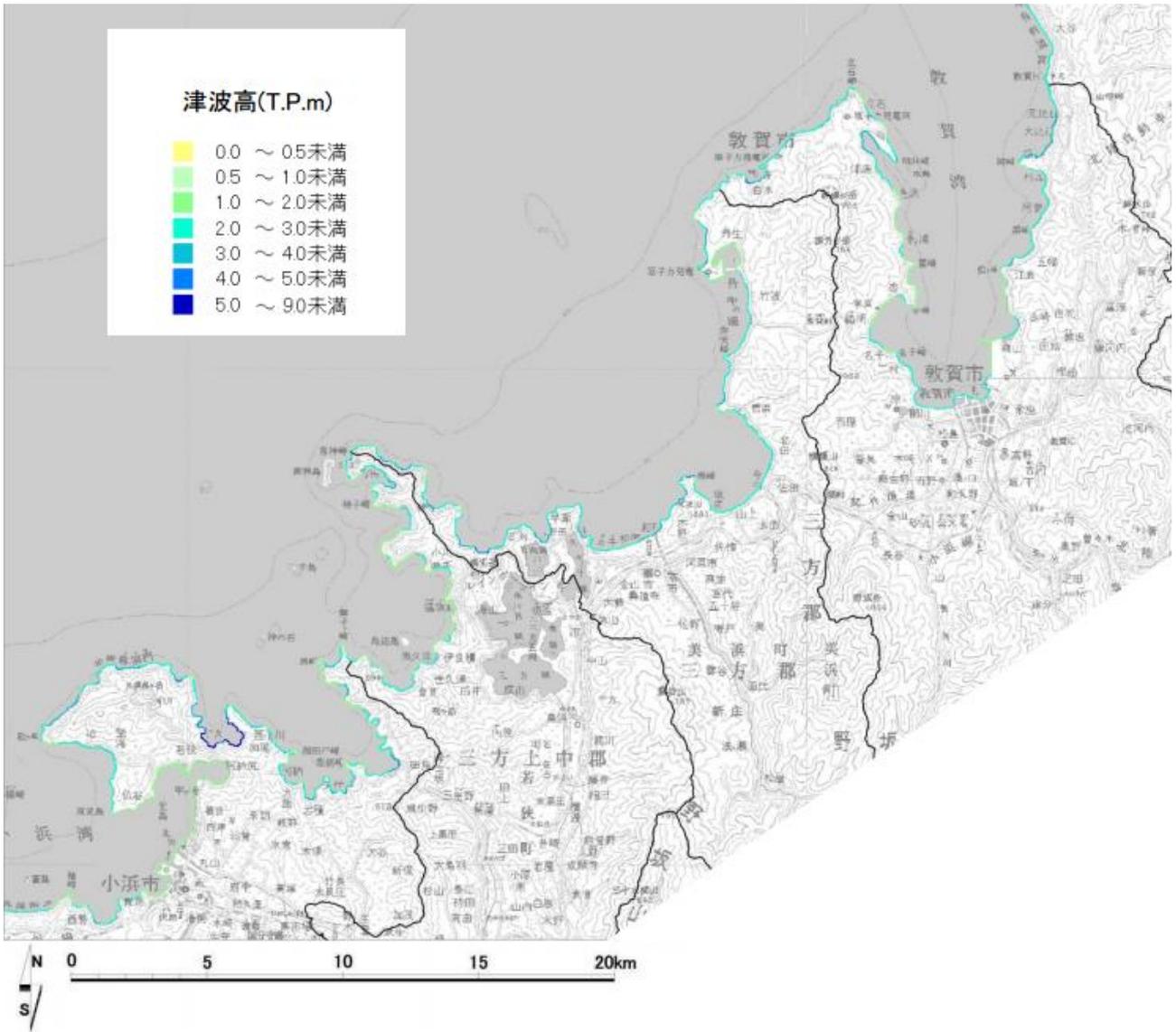


図 2.4 津波高想定図（嶺南東部）⁷⁾

2.4 対象範囲

IAEA（国際原子力機関）⁸⁾ は原子力発電所との距離に応じて表 2.2⁹⁾ に示すように予防的防護措置を準備する区域（PAZ）と緊急時防護措置を準備する区域（UPZ）を定めた。PAZ と UPZ の距離設定については、表 2.3⁹⁾、表 2.4⁹⁾ に示すように線量の影響、防護基準との関係、実用上の理由等により定められた。また、東日本大震災時の福島原発からの避難の際、福島原発から半径 20km 圏内の住民に避難指示が出された。これらから、敦賀原発から半径 20km 圏内の住民について半径 30km 圏外に避難するモデルを作成し、シミュレーションをおこなう。

表 2.2 IAEA の定める防護措置区域

| | | |
|---------------------|----------|--|
| PAZ（予防的防護措置を準備する区域） | 概ね半径5km | 即時避難を実施する等、放射性物質の環境への放出前の段階から予防的に防護措置を準備 |
| UPZ（緊急時防護措置を準備する区域） | 概ね半径30km | 緊急防護措置（避難等）を準備 |

表 2.3 IAEA における PAZ の距離設定の理由⁹⁾

| | PAZ |
|----------|---|
| 距離 | 3～5 (km) |
| 線量の影響 | <ul style="list-style-type: none"> 最も重大な緊急事態を除いて早期死亡が想定される距離の限界 放射線放出現場での線量に比べて1/10に低減する |
| 防護基準との関係 | <ul style="list-style-type: none"> 大多数の緊急事態に対して、放出前または放出直後の緊急防護措置により、緊急防護措置基準の超過を予防 |
| 実用上の理由 | <ul style="list-style-type: none"> 放出前または放出直後に屋内退避や避難が速やかに行える実用上限界の距離と考えられる これよりも大きな半径に設定すると放射線放出現場近傍の人々への緊急防護活動の有効性が減少すると考えられる |
| 事故事例 | <ul style="list-style-type: none"> チェルノブイリ事故において数時間以内に致死的な線量率が測定された距離 |

表 2.4 IAEA における UPZ の距離設定の理由⁹⁾

| | UPZ |
|----------|--|
| 距離 | 5～30 (km) |
| 線量の影響 | <ul style="list-style-type: none"> 最も重大な緊急事態の場合に早期死亡のリスクを大きく低減するため、数時間以内にホットスポットを特定し、避難するためにモニタリングを行う必要がある半径 放出による濃度はPAZ境界での濃度のおおよそ1/10に低減する |
| 防護基準との関係 | <ul style="list-style-type: none"> 平均的气象条件でこの半径を超える場所では、ほとんどの重大な緊急事態に対して、避難のための緊急防護措置基準を超えることはない |
| 実用上の理由 | <ul style="list-style-type: none"> 5～30kmの距離は、数時間以内にモニタリングを実施して適切な緊急防護活動を行う実用上の限界と考えられる |
| 事故事例 | |

第2章の参考文献

- 1) 原発事故対策の最新情報・原発再稼働の賛否を考える 2015年1月26日閲覧
<http://www.imart.co.jp/genpatu-jikogennin-bousisaku-p1-old25.6.18.html#turuga-genpatu-chousa>
- 2) Digipod 資料作成 2015年1月26日閲覧
- 3) 全国の原子力発電所の周辺人口 2015年1月26日閲覧
http://ktgis.net/tohoku_data/genpatsu/
- 4) 国土数値情報 ダウンロードサービス 2015年1月26日閲覧
http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/jpgis_datalist.html
- 5) 福井県敦賀市 2014年9月26日閲覧
<http://www.city.tsuruga.lg.jp/sypher/www/index.jsp>
- 6) NEXCO 中日本 2014年11月10日閲覧
http://www.c-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_release/3485.html
- 7) 福井県 福井県における津波シミュレーション結果の公表について 2015年1月20日閲覧
<http://www.pref.fukui.lg.jp/doc/kikitaisaku/kikitaisaku/tunami-soutei.html>
- 8) 国際原子力機関 (IAEA) 2015年1月26日閲覧
<https://www.iaea.org/front>
- 9) 独立行政法人日本原子力開発機構 第17回「緊急時区域について」2015年1月10日閲覧
<http://www.jaea.go.jp/04/shien/research/EP017.html>

第3章 避難シミュレーションモデル

3.1 概説

本章では、地震および地震による原発事故時の敦賀市および敦賀市周辺の避難に関するシミュレーションモデルについて述べる。

3.2 マルチエージェントシステム「artisoc」について

マルチエージェントシステム (MAS) とは、複数の自律的に行動するエージェントから構成されるシステムである。それぞれのエージェントが様々な判定アルゴリズムを有し、それらの属性と周囲のエージェントや環境から自律的に行動し、現実に近い環境をモデルで再現することができる。

本研究ではモデルの作成にあたり、株式会社構造計画研究所が開発したマルチエージェントシステムである **artisoc** (artificial societies) ¹⁾ を用いる。**artisoc** はこの世に存在する社会現象をリアルに近い形で分析できる MAS を誰もが簡単に構築できることをコンセプトに設計されたシミュレーションプラットフォームで、様々な研究分野において意思決定支援・分析ツールとして利用されている。

3.3 モデルの基本的な動き

図 3.1 に示すように交差点を表す **Point** エージェントから避難者を表す **Evacuee** エージェントが発生される。各 **Evacuee** エージェントは最短経路を選択し、**Point** エージェント同士を繋ぐ道となる **Link** をたどって目的地まで移動する。目的地に到着した **Evacuee** エージェントはその **Point** エージェントに収容される。最短経路の選択には、各 **Link** に定められている距離、車線数、法定速度の値から目的地 **Point** までの所要時間をコストとしてダイクストラ法によって計算し、最短コストとなる経路を導く。**Evacuee** エージェントは道路の交通密度によって速度が変化し、表 3.1 に示すように交通密度によってエージェントの示す色が変わることによって、一目で混雑状況を確認できるようになっている。また、処理速度の関係から、1つの **Evacuee** エージェントを車 10 台分としてモデルを作成する。

表 3.1 交通密度による **Evacuee** エージェントの色分け

| $k < 0.5k_j$ | $0.5k_j \leq k < k_j$ | $k = k_j$ |
|--------------|-----------------------|-----------|
| 緑 | 黄 | 赤 |

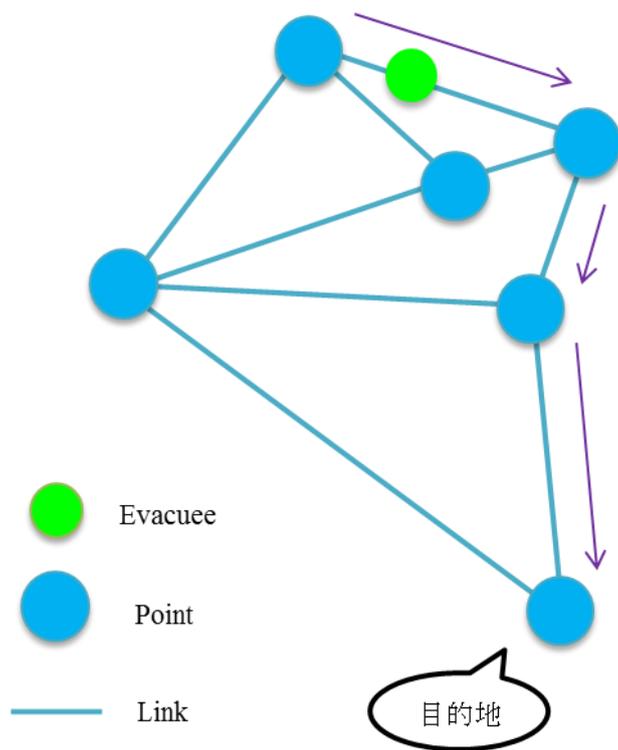


図 3.1 モデルの基本的な動き

3.4 Evacuee エージェントの移動速度

各 Evacuee エージェントの移動速度は各 Link の交通密度と法定速度から式(1)に示す Greensheelds の式²⁾より算出する。

$$v = v_f(1 - k/k_j) \quad (1)$$

v : 移動速度 (km/h)

v_f : 自由速度 (km/h) …今回は各 Link に与えられた法定速度を用いる

k : 交通密度 (台/km) …ある瞬間における単位区間上に存在する車の台数

k_j : 最大交通密度 (台/km)

3.5 対象地域

本研究における対象地域の地図を図 3.2、道路リンク図を図 3.3 に示す。また、Point データを表 3.2 から表 3.4 に、Link データを表 3.5 および 3.6 に示す。本研究で使用する道路は、国道 8 号線、国道 27 号線、国道 161 号線、国道 305 号線、国道 365 号線、国道 417 号線、国道 476 号線、県道 33 号線、県道 141 号線、および北陸自動車道とする。

本研究では原子力発電所である敦賀発電所 1 号機および 2 号機において事故が発生した場合の避難シミュレーションをおこない、20km 圏内の住民を避難対象とする。UPZ 圏外となる 30km 圏外の Point を目的地とし、主な避難方向は福井県広域避難計画要綱³⁾ に示されるように敦賀市は奈良県方向、美浜町と小浜市は京都府方向、越前市と鯖江市は石川県方向として避難シミュレーションを行う。ただし、海岸沿いの道路は津波の発生の可能性があるため、海岸沿いの Point に関しては目的地とせず、海岸から離れる方向へ避難させる。

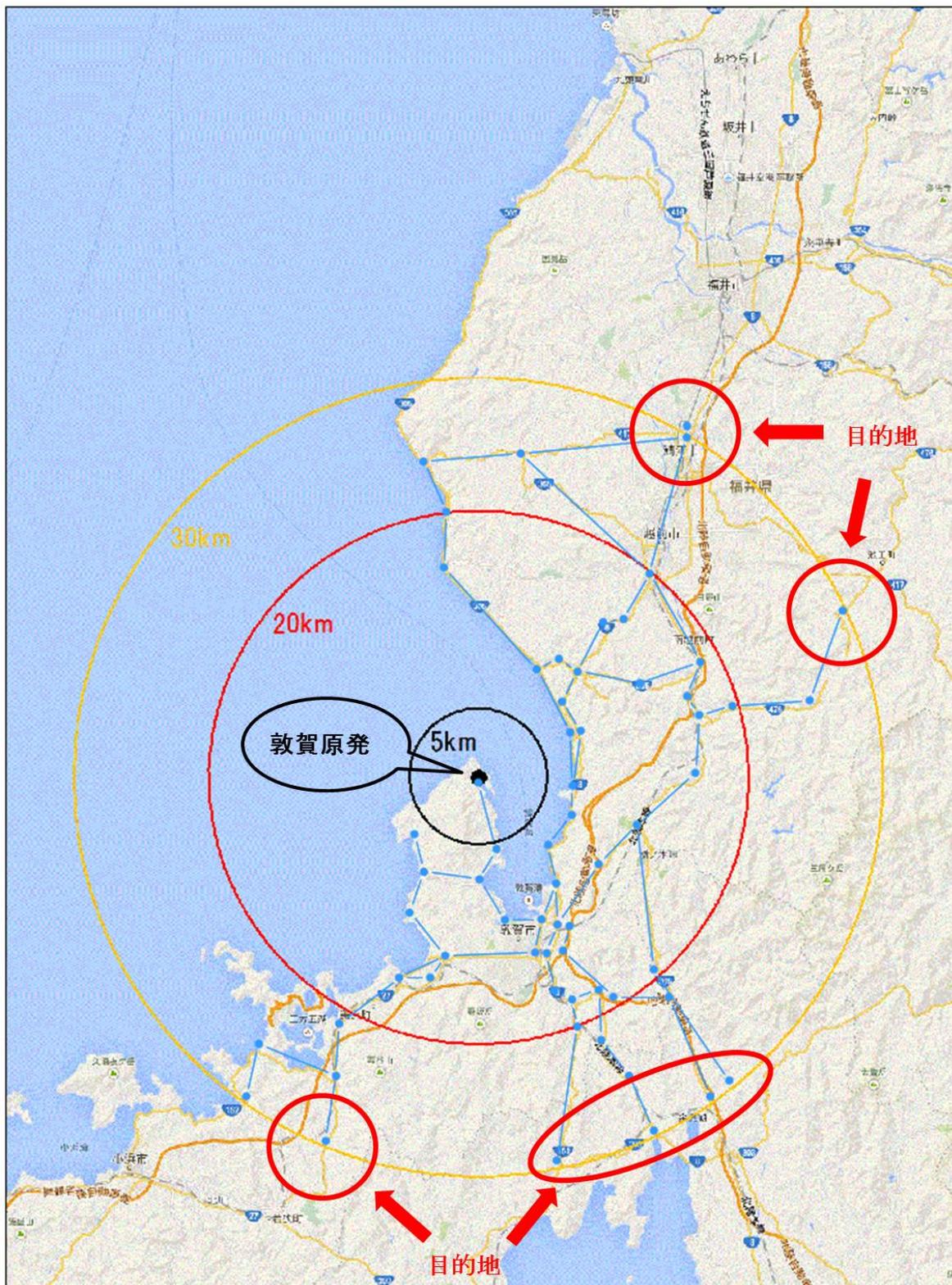


図 3.2 対象地域図 (google map に加筆)

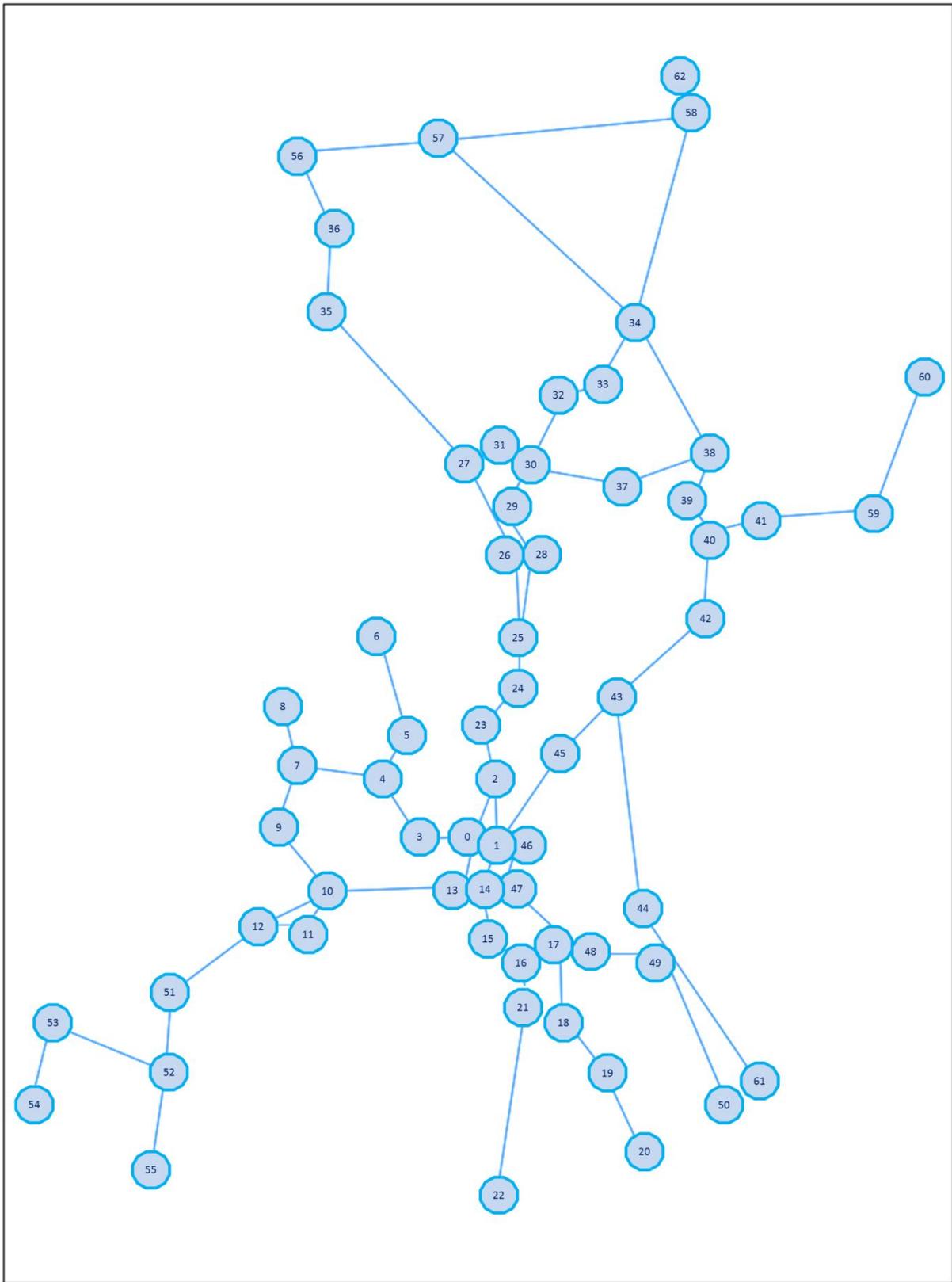


图 3.3 道路 Link 图

表 3.1 Link データ

| Point ID | Point ID | 車線数 | 法定速度 |
|----------|----------|-----|------|
| 0 | 1 | 1 | 50 |
| 1 | 2 | 1 | 50 |
| 2 | 0 | 1 | 50 |
| 0 | 3 | 1 | 50 |
| 3 | 4 | 1 | 50 |
| 4 | 5 | 1 | 40 |
| 5 | 6 | 1 | 40 |
| 4 | 7 | 1 | 40 |
| 7 | 8 | 1 | 40 |
| 9 | 7 | 1 | 40 |
| 9 | 10 | 1 | 40 |
| 10 | 11 | 1 | 50 |
| 12 | 10 | 1 | 50 |
| 11 | 12 | 1 | 50 |
| 10 | 13 | 2 | 50 |
| 13 | 0 | 1 | 50 |
| 1 | 14 | 2 | 50 |
| 14 | 13 | 2 | 50 |
| 14 | 15 | 1 | 50 |
| 15 | 16 | 2 | 50 |
| 16 | 17 | 1 | 50 |
| 17 | 18 | 1 | 50 |
| 18 | 19 | 1 | 50 |

表 3.2 Link データ 2

| Point ID | Point ID | 車線数 | 法定速度 |
|----------|----------|-----|------|
| 20 | 19 | 1 | 50 |
| 16 | 21 | 1 | 50 |
| 21 | 22 | 1 | 50 |
| 2 | 23 | 1 | 50 |
| 23 | 24 | 1 | 50 |
| 24 | 25 | 1 | 50 |
| 25 | 26 | 1 | 50 |
| 26 | 27 | 1 | 50 |
| 25 | 28 | 2 | 50 |
| 28 | 29 | 1 | 50 |
| 29 | 30 | 1 | 50 |
| 27 | 31 | 1 | 40 |
| 31 | 30 | 1 | 40 |
| 30 | 32 | 1 | 50 |
| 32 | 33 | 1 | 50 |
| 33 | 34 | 1 | 50 |
| 27 | 35 | 1 | 50 |
| 35 | 36 | 1 | 50 |
| 37 | 30 | 1 | 50 |
| 37 | 38 | 1 | 50 |
| 38 | 34 | 1 | 50 |
| 38 | 39 | 1 | 50 |
| 39 | 40 | 1 | 50 |
| 40 | 41 | 1 | 50 |

表 3.3 Link データ 3

| Point ID | Point ID | 車線数 | 法定速度 |
|----------|----------|-----|------|
| 40 | 42 | 1 | 50 |
| 42 | 43 | 1 | 50 |
| 43 | 44 | 1 | 50 |
| 43 | 45 | 1 | 50 |
| 45 | 1 | 1 | 50 |
| 1 | 46 | 2 | 80 |
| 46 | 47 | 2 | 80 |
| 47 | 48 | 2 | 80 |
| 48 | 49 | 2 | 80 |
| 49 | 50 | 2 | 80 |
| 12 | 51 | 1 | 50 |
| 51 | 52 | 1 | 50 |
| 52 | 53 | 1 | 50 |
| 53 | 54 | 1 | 50 |
| 52 | 55 | 1 | 50 |
| 36 | 56 | 1 | 50 |
| 56 | 57 | 1 | 50 |
| 57 | 34 | 1 | 50 |
| 57 | 58 | 1 | 50 |
| 34 | 58 | 2 | 50 |
| 41 | 59 | 1 | 50 |
| 59 | 60 | 1 | 50 |
| 44 | 61 | 1 | 50 |
| 58 | 62 | 1 | 50 |

第 3 章の参考文献

- 1) artisoc 構造計画研究所 2015 年 1 月 27 日閲覧
<http://mas.kke.co.jp/>
- 2) 河上省吾・松井寛：交通工学 森北出版株式会社 P.105 2004 年 11 月 9 日第 2 版
- 3) 福井県：福井県広域避難計画網 平成 26 年 3 月

第4章 シミュレーション結果と考察

4.1 概要

本章では基本モデルに加え、バスを利用した避難や2段階避難などの条件を変更したモデルを用いてシミュレーションを行い、それらの結果から最適な避難方法について検討する。

4.2 モデルの条件

避難時間を推計するモデルを作成するに当たり、避難時間推定ガイドライン¹⁾ および福井県広域避難計画要綱²⁾ に基づいて以下の条件を与える。

①住民の避難行動

一斉避難を行う場合と2段階避難を行う場合のモデルを作成する。2段階避難はPAZ圏内(5km圏内)の住民が20km圏外へ避難した後に20km圏内の住民が避難を開始するものとする。

②自主避難率

2段階避難においてUPZ圏の住民が避難指示を待たずに自主避難を開始する割合を40%に設定する。

③自家用車避難率

避難手段として、自家用車とバスの2種類を用いる。本研究では、自家用車で避難する割合を基準である95%に加え、90%、80%の場合においても検証する。福井県の1世帯当たりの人数が2.8人³⁾であることから車には1台に3人、バスには1台40人乗車すると仮定する。表4.1に自家用車避難率毎の避難車両台数を示す。また、表4.1における最大交通密度は、道路構造令³⁾において乗用車の長さ6m、バスの長さ12mと定められるため、自家用車避難率の割合から1台当たりの平均の長さを算出し、その値からそれぞれ最大交通密度を定めた。

④避難時間

避難指示が出されてから1時間以内に避難を開始すると仮定する。

表 4.1 自家用車避難率毎の避難車両台数

| | 自家用車台数 | バス台数 | 合計 | 最大交通密度 |
|-------------|---------|-------|---------|----------|
| 自家用車避難率 95% | 35502 台 | 140 台 | 35642 台 | 166 台/km |
| 自家用車避難率 90% | 33633 台 | 280 台 | 33913 台 | 165 台/km |
| 自家用車避難率 80% | 29896 台 | 560 台 | 30457 台 | 164 台/km |

4.3 基本モデル

一斉避難で自家用車避難率 95%の基本モデルを用いてシミュレーションを行う。シミュレーションの結果をすべての車両が避難するのに 7 時間 24 分かかった。図 4.2 に示すように 15 分経過した時点で第 3 章に示した図 3.3 における Point ID.1 の敦賀インターチェンジ付近の道路が最大交通容量に達し、大規模な渋滞が発生した。最終的に 2 時間 50 分を越えるあたりまで敦賀インターチェンジ付近の渋滞は続いた。敦賀インターチェンジを越えると 2 車線道路となり、交通容量も比較的大きくなることから、広域避難指示が発令された際に解放される別の入口を設置するなど、流入口を他にも設けることでインターチェンジ付近の渋滞は緩和できると考えられる。

上記の他に、15 分経過時に PointID.16 の国道 8 号線および国道 161 号線に渋滞が見られ、2 時間を経過したところに渋滞が無くなった。また、図 4.3 に示すように 2 時間経過時に渋滞が北陸自動車道上の PointID.44 まで続く最も長いものとなった。この渋滞は避難終了直前まで続き、避難時間に大きな影響を与えている。これらから、敦賀市の市街地の住民が 1 時間以内に避難を開始することから渋滞の発生自体は避けられないが、PointID.16 付近の渋滞は 2 時間経過後に収束することから、北陸自動車道を利用して避難しようとしている避難者に国道 8 号線および国道 161 号線の利用を促すことで避難時間の短縮につながると考えられる。

また、本モデルでは範囲外であるために表現されなかったが、PointID.58 の約 5km 北には比較的人口の多い福井市が存在し、避難指示地域外ではあるが自主避難をする住民による渋滞が考えられる。避難指示地域内の住民の避難を最優先し、避難時間短縮化を行うためにも避難指示圏外の住民に屋内退避指示を出すなど、避難自粛を呼びかけておく必要があると考えられる。

避難終了間際に避難者完了率が垂直に上がっているが、これは目的地に到着して Evacuee エージェントが収容されることで、急激に交通密度が小さくなることで最後の Evacuee エージェントの速度が急激に大きくなったためであり、実際はもう少し緩やかなグラフを描くと考えられる。

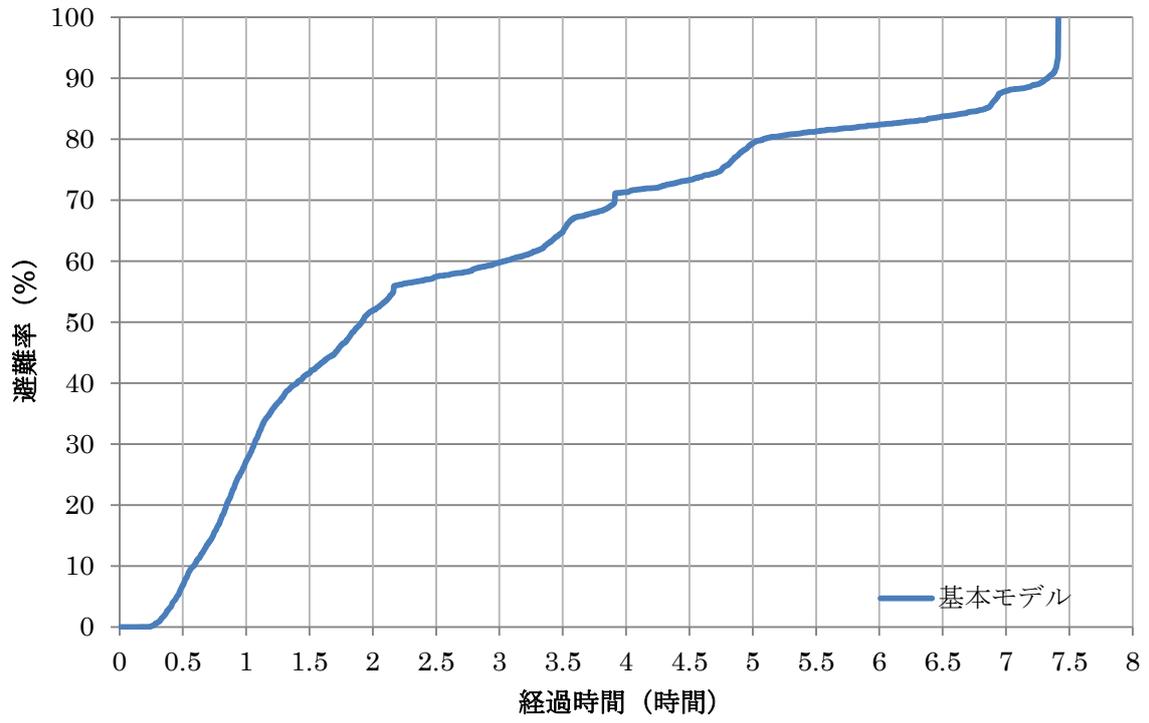


図 4.1 基本モデルの避難率の推移

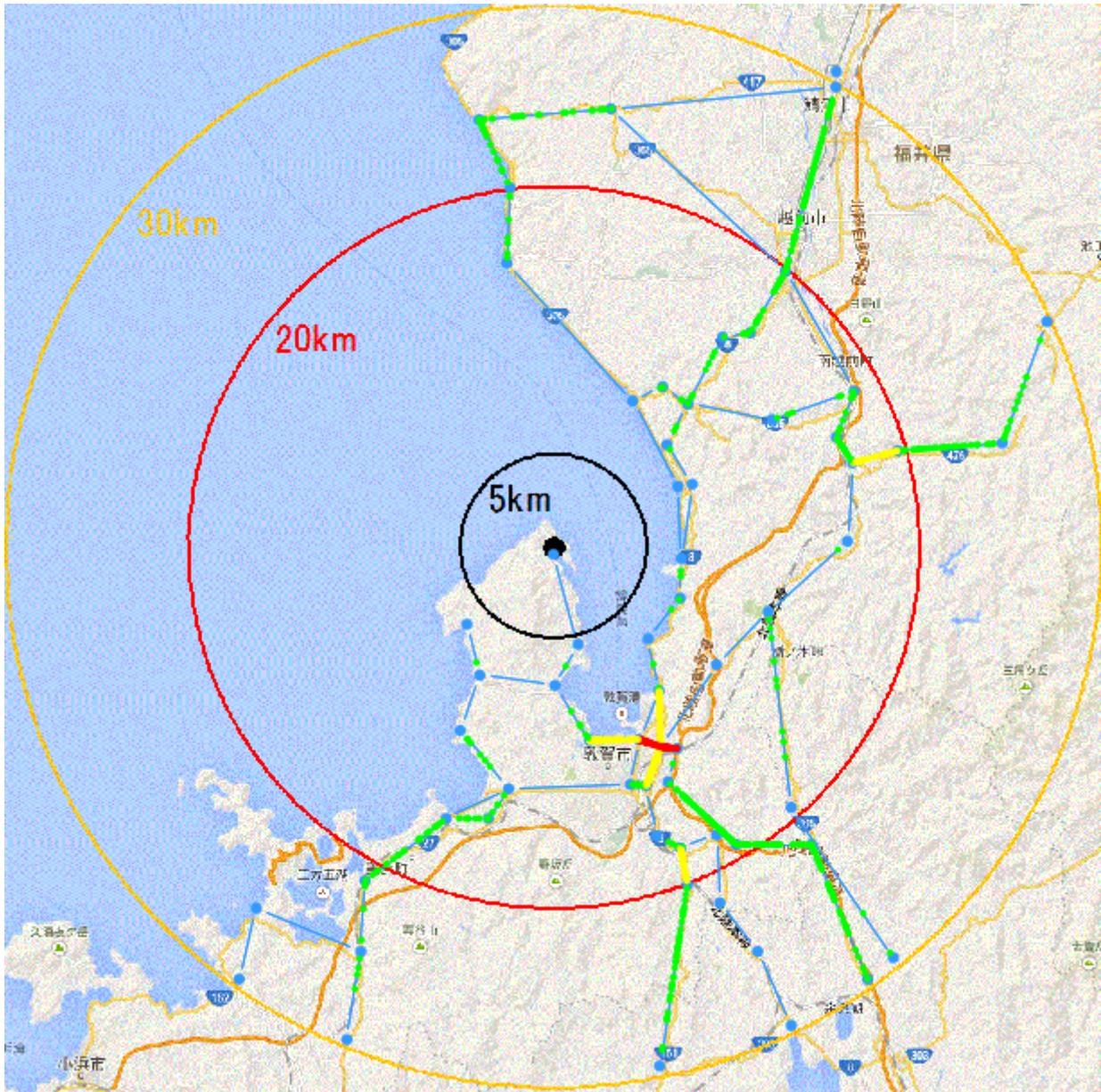


図 4.2 基本モデルの 15 分経過時の混雑状況

4.4 自家用車避難率を変更させたモデル

自家用車避難率を変更させたモデルについて考える。本研究では、自家用車を用いて避難する割合を基本モデルである95%に加え、90%、80%に設定したモデルを作成し、それぞれ避難に要した時間を求める。結果を図4.4に示す。基本モデルの避難に要した時間の7時間24分に比べ、自家用車避難率が90%の時に6時間5分となり、1時間19分の短縮となった。さらに自家用車避難率が80%の時、5時間21分と基本モデルに比べ、約2時間の短縮ができた。これは、バスを用いることで避難に必要な車両台数が少なくなり、渋滞の規模が小さく抑えられたためであると考えられる。このように自家用車による避難を行う割合が少ないほど避難時間が短くなり、バスによる車両数の削減は避難時間の短縮化に非常に有効であると言える。

しかし、今回のモデルではバスを配車するまでの時間が考慮されていない。そのため、実際は今回求めた時間にバスの配車にかかる時間を加える必要がある。現実には大規模災害が発生した際に速やかにバスを配車できるように各バス会社との協議を進め、前もってそれぞれのバスをどこに配車するかなどの計画を立てておくことが必要だと考えられる。

また、渋滞個所については基本モデルと大きな違いはなく、いかに北陸自動車道へ円滑に車両を流入させるかという点が避難時間を短縮することに大きな影響を及ぼすと考えられる。

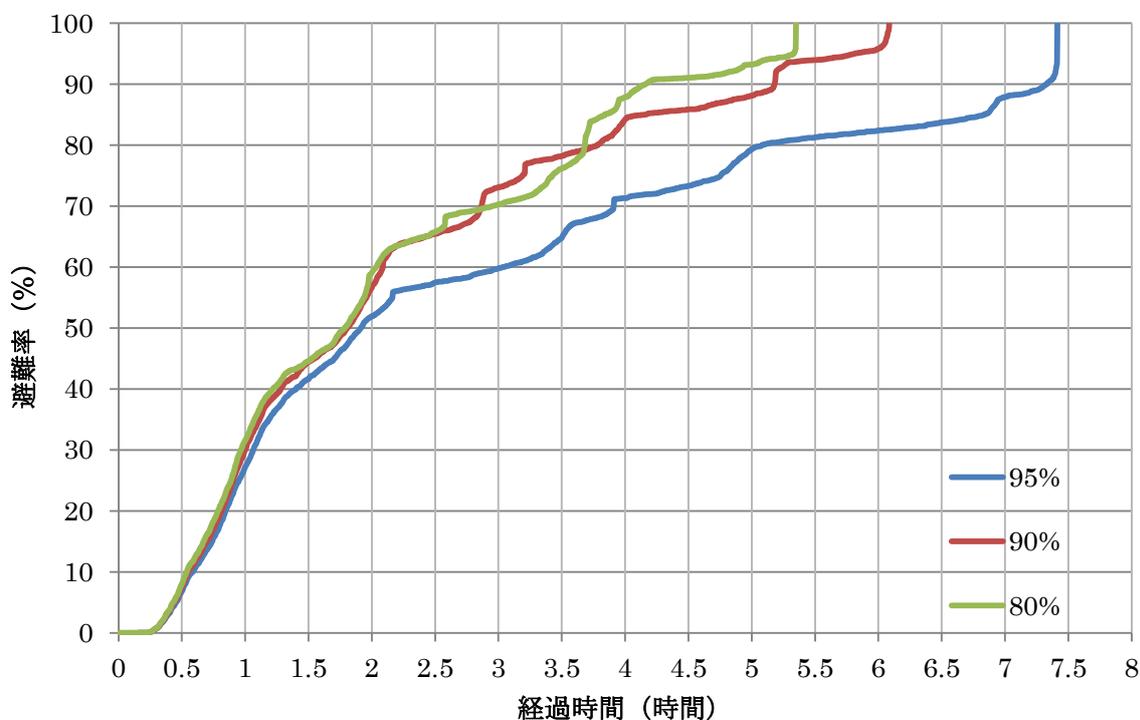


図 4.4 自家用車避難率を変更させたモデルの避難率の推移

4.5 2段階避難モデル

2段階避難を行うモデルについて考える。2段階避難はPAZ圏内（5km圏内）の住民を先に避難させることで原子力発電所周辺の住民の安全を確保することに加え、避難における渋滞の規模を縮小させる狙いがある。結果を図4.5に示す。2段階避難をおこなった場合の1段階目の避難であるPAZ圏内の避難時間は2時間33分であった。また、全体の避難時間は5時間49分となり、基本モデルに比べ1時間35分の時間短縮につながった。しかし、5km圏内の住民が避難するまで20km圏内の住民は避難ができないため、そのうちの40%は自主避難をしているにもかかわらず、図4.5の交点である3時間40分が経過するまでは基本モデルより効率の悪い結果となる。

また、図4.6に示すように2段階避難においても15分を経過したところに基本モデルほどではないが渋滞が発生した。これは避難指示が出されていないが自主避難をおこなうUPZ圏内の住民によるものである。日本原子力産業協会⁴⁾によると、自主避難をおこなう割合が増えるほど全体の避難時間が長くなってしまいう傾向がある。表4.2に示すように、先に避難を開始した住民は2時間33分で避難が完了する。UPZ圏の住民も原発による影響が不鮮明な中で、先に自主的に避難してしまうという心理が発生することが十分理解できる。しかし、そのために自分だけが先に避難を完了し、2段階避難を遵守した住民の避難時間が長くなってしまいう人々が存在してしまう。そのため、地域住民に2段階避難の有用性を十分に周知させるとともに、自主避難の抑制を図る必要がある。

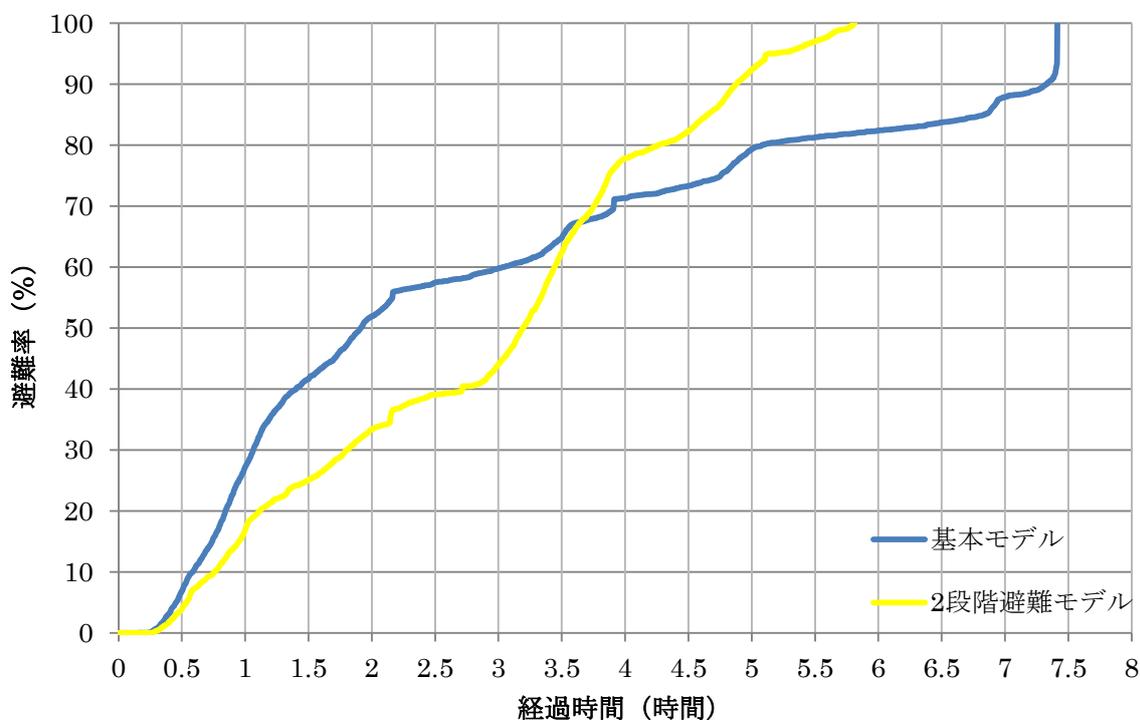


図 4.5 2段階避難モデルの避難率の推移

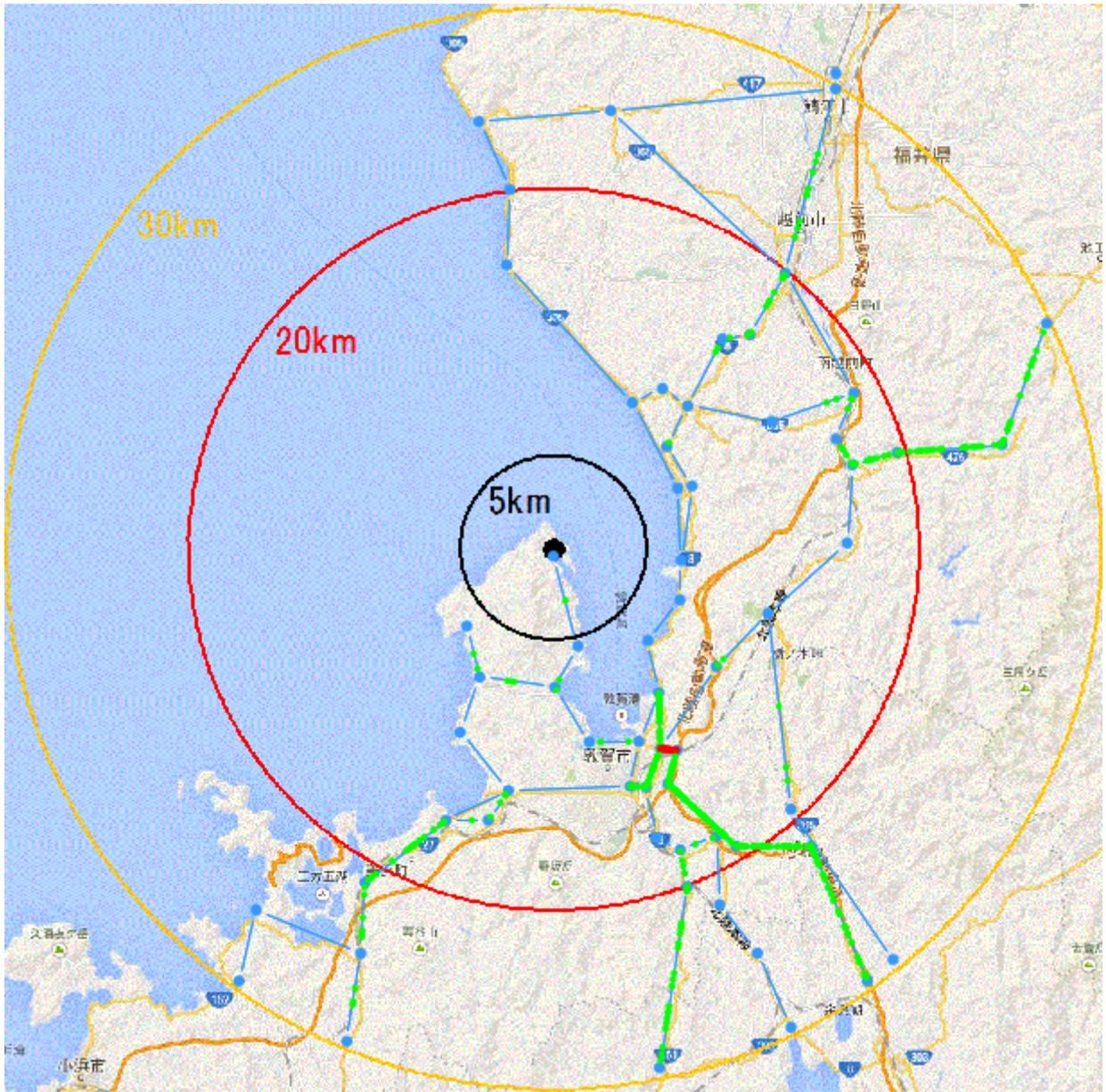


図 4.6 2段階避難モデルの15分経過時の混雑状況

4.6 自家用車避難率を 80%とした 2 段階避難モデル

自家用車での避難率を 80%とした上で 2 段階避難をおこなうモデルについて考える。このモデルではバスを準備、配車する間の時間に PAZ 圏内の住民を先に避難させることで時間を無駄なく使うことができ、最適な避難を行うことができると考えられる。結果を図 4.7 に、4.3 から 4.6 までの結果を表 4.2 に示す。本モデルでは避難時間 4 時間 57 分となり、今回比較したモデルの中で最も短い時間で避難が可能となった。

しかし、避難率が 90%を超える 4 時間 30 分経過時までは、ほぼ常に自家用車避難率 80%のモデルの避難率の方が高い値を示し、平均避難所要時間においては表 4.2 から分かるように自家用車避難率 80%モデルよりも 29 分遅い 2 時間 35 分となっている。これに関しては避難率 80%モデルのバスの準備・配車にかかる時間が 29 分以上かかると考えられるため、実際にバスを用いる場合は、バスの配車にかかる時間を PAZ 圏内の住民の避難時間とすることができる本モデルが最適な避難計画であると考えられる。

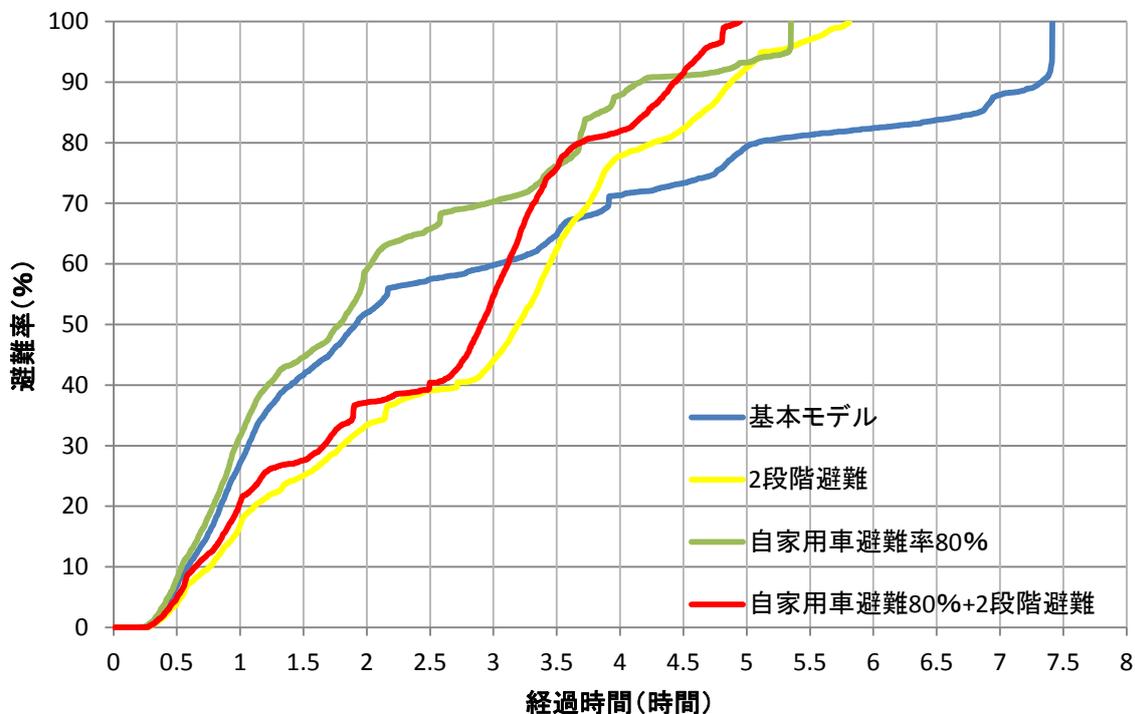


図 4.7 自家用車避難率を 80%とした 2 段階避難モデルの避難率の推移と他のモデルとの比較

表 4.2 モデル毎の避難所要時間まとめ

| | 避難所要時間 | 平均避難所要時間 | PAZ 圏内住民の 避難所要時間 |
|---------------------------|-----------|-----------|---------------------|
| 基本モデル | 7 時間 24 分 | 2 時間 56 分 | |
| 自家用車避難率 90%モデル | 6 時間 5 分 | 2 時間 18 分 | |
| 自家用車避難率 80%モデル | 5 時間 21 分 | 2 時間 6 分 | |
| 2 段階避難モデル | 5 時間 49 分 | 2 時間 53 分 | 2 時間 33 分 |
| 自家用車避難率 80% +2 段階避難モデル | 4 時間 57 分 | 2 時間 35 分 | 2 時間 20 分 |

第4章の参考文献

- 1) 独立行政法人原子力安全基盤機構 避難時間推計ガイドライン 平成24年12月
- 2) 福井県 福井県広域避難計画要綱 平成26年3月
- 3) 社団法人 日本道路協会 道路構造令の解説と運用 平成16年2月
- 4) 一般社団法人 日本原子力産業協会 二段階避難の有用性判明 2015年2月6日閲覧
<http://www.jaif.or.jp/p7382/>

第5章 結論

5.1 概説

本章では本研究のまとめ、今後の課題について述べる。

5.2 まとめ

第1章では本研究に至った背景および本研究の目的について東日本大震災について踏まえながら述べた。第2章では福井県と原子力発電所について述べ、対象の地域となる福井県敦賀市についての情報を示した。第3章では本研究で使用する **artisoc** について述べ、シミュレーションの基礎となるしくみについて解説した。第4章ではシミュレーションをおこなうにあたっての条件を提示し、バスを用いての避難、2段階に分けた避難のシミュレーション結果を示し、それぞれに考察を施した。

5.3 結論

本研究で得られた結果をもとに結論を以下にまとめる。

- ・敦賀インターチェンジ付近で大規模な渋滞が発生し、その影響によって避難に多大な時間を要する。このことから、大規模災害時の避難に備え、北陸自動車道への流入口を他にも設ける必要がある。また、随時道路情報を発信することで、北陸自動車道以外を用いた避難ルートを的確に案内することで避難時間を短縮できる。
- ・2段階避難は全体の避難時間は短縮できるが、20km 圏内の避難開始が遅れるため、1台当たりの平均避難時間に関して短縮はあまり望めない。その中でも迅速な避難を実現するために、5km 圏内の住民が避難している間は、20km 圏内の住民に自主避難しないことで避難効率が上がることを周知させ、自主避難を行わないよう呼びかける必要がある。
- ・バスを用いて自家用車での避難率を下げることに加え、2段階避難を実施することで避難時間を最大2時間27分短縮することができる。しかし、そのためには、各バス業者との協議し、避難指示が出された際に速やかに配車できる環境作りが必要である。

5.4 課題

本研究でおこなったシミュレーションでの課題を以下にまとめる。

- ・ 季節ごとの交通量の影響

夏期には海水浴客など約 18300 人¹⁾が 1 日に押し寄せる。また、冬季には積雪による交通麻痺の可能性も考えられるなど、季節ごとの条件を付加したシミュレーションをおこなう必要がある。

- ・ 大規模地震による交通システムの影響

原子力発電所からの避難が必要なときは、それと同時に、道路システムの機能が麻痺していることも考えられる。信号が止まっている場合や、主要道路の通行止めなどの可能性が高いところをあらかじめ調査し、いざという時に想定内である状態にしてある必要がある。

第 5 章の参考文献

- 1) 福井県観光営業部観光振興課 福井県観光客入込数（推計）平成 25 年

謝辞

本研究は、立命館大学工学部防災システム研究室の伊津野和行教授、川崎佑磨助教のご指導を賜り、福井県敦賀市を中心とした原子力発電所災害における避難シミュレーションの研究の成果をまとめたものです。お二方には、多忙な研究活動の中、懇切丁寧にご指導いただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

また、本大学工学部構造グループの野坂克義准教授および野村泰稔助教におきましても懇切丁寧なご指導をいただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

それに加え防災システム研究室避難グループの修士2回生石井健太郎氏には私の至らない点に対して常に親身にご指導、助言いただきました。それに加え、防災システム研究室大学院生の皆様にもご指導いただきました。厚く感謝申し上げます。

最後に、苦楽を共にした防災システム研究室の4回生の皆様に対して心からお礼申し上げます。