

# Support system development for evacuation plan decision in nuclear plant disaster

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00008367">https://doi.org/10.24517/00008367</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



# 原子力発電所災害における避難計画策定のための の支援システム開発

藤田 雅久<sup>1</sup>・高山 純一<sup>2</sup>・中山 晶一郎<sup>3</sup>・牛場 高志<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail: ms-06@stu.kanazawa-u.ac.jp

<sup>2</sup>フェロー会員 金沢大学 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail: takayama@t.kanazawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 金沢大学 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)  
E-mail: snakayama@t.kanazawa-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 (株)ニュージェック (〒531-0074 大阪府大阪市北区本庄東2-3-20)  
E-mail: ushibatk@newjec.co.jp

近年、わが国では原子力発電所事故に対する国民の関心が非常に高まってきており、各種市民活動も活発化してきている。そのため、原子力発電所事故に対する防災計画の整備を充実させることが求められている。そのような状況から、本研究では防災計画の検討を支援するためのシステムとして、マイクロ交通シミュレーションシステムを構築し、新潟県柏崎刈羽原発周辺を対象地域として車両での避難シミュレーションを行っている。加えて、本地域の風向きや人口などの観点から地域ごとに原子力発電所災害時の危険度を考え、それらについてそれぞれの避難シミュレーションの重要性について検討を行った。その結果、現状の避難計画における避難経路などについて問題があることが分かった。

**Key Words :** *evacuation plan, disaster prevention plan, traffic simulation*

## 1. はじめに

近年、わが国では原子力発電所（原発）に対する国民の安全意識が高まってきている。

これは、日本で初めての原子力発電所事故といわれている1973年の美浜原子力発電所事故から始まり、高速増殖炉もんじゅのナトリウム漏洩事故や東海村JCO臨界事故など、これまでの原子力発電所事故による不信感の積み重ねが背景にあると思われる。この安全意識の高まりは、2006年には金沢地方裁判所より石川県志賀原子力発電所が耐震強度不足を理由に運転停止判決や2007年には新潟県柏崎刈羽原子力発電所も耐震強度不足問題等に端を発して緊急使用停止命令などの原子力発電所の運転・運営問題にも影響されているともいわれている。

このような、国民の安全意識が向上する中、原子力発電所で万が一の事故が起こった際の防災計画の充実が周辺住民の安全・安心のためにも強く望まれる。原子力発電所事故による災害は、(1)「自然災害と比較して、五感に感じることなく被害を受ける点」、(2)「事前に発生する場所が分かっている点」の二つの特徴が挙げられ、

適切な対応を行うためには専門的な知見や特別な装備、適切な事前避難計画が求められる。

しかし、原子力発電所が立地している自治体及び周辺の自治体を対象に行った原子力発電所災害（原発災害）時の避難計画についてのアンケートを見ると、計画自体は曖昧に規定されている部分が多く、災害に対する備えとしては必ずしも十分ではないと考えられる。

このような状態から、原発災害に対する避難計画を運用する際には、避難訓練などによる計画の不断の見直しとその結果による修正が重要になると考える。しかし、原発災害を想定した避難訓練には多大の労力と費用が必要であり、頻繁に実施することは非常に困難である。しかも、有効な訓練を行うためには、事前の検討が不可欠であり、そのためには避難訓練の規模（対象エリアの大きさ）や実施体制の検討が必要である。そこで、本研究ではいくつかのパターンを想定して、避難計画を検討することが可能なシミュレーションモデルを開発する。これにより、実際に訓練を行う際に問題となる課題を事前に把握しておけば、避難訓練の失敗防止にも役立てることができると考えられる。

本研究では、マイクロ交通シミュレーションプログラムを用いて、地域ごとの避難場所や避難開始時刻を変化させてシミュレーションを行うことで、現状の避難計画での問題点、課題を明らかにし、避難訓練や計画策定への支援システムとして活用することを考える。

また、原発に対する住民の安全意識の高まりから周辺住民への説明も視野に入れて、視覚的に理解しやすいシミュレーションを行うことも目的の一つとする。

## 2. 既存研究の整理

### (1) 避難シミュレーションに関する研究

避難シミュレーションとしては、これまで数多くの研究が行われてきている。大別すると、たとえば(1)災害発生時（火災発生時）などの建物内の避難経路や公共空間（地下鉄の駅構内など）の計画策定支援や避難誘導をシミュレートしたシミュレーションモデル、(2)地震発生時（大規模同時多発火災）や津波対策のための避難シミュレーションモデル、(3)中山間過疎地など、徒歩による避難が困難な場合の自動車による避難を想定した避難シミュレーションモデルなどに分類できる。

前者(1)、(2)は主に徒歩による避難シミュレーションを想定したものであり、後者(3)は自動車によるマイクロ交通シミュレーションである。

二神・木俣<sup>1)</sup>は、山間部での避難について交通シミュレーションを行っている。対象としている中山間地域では人口が分散していること、道路形状に勾配の影響が大きいこと、自動車が進入できない細街路が多数存在することを特徴として挙げており、これに対して情報技術の活用や災害シナリオやペトリネットシミュレーターを援用することによって避難計画の支援情報システムを構築している。最終的には対象地域の背景の画像を用い、災害シナリオと避難のための要件を整理して、シミュレーションによる問題点を把握している。

また、松井らの研究<sup>3)</sup>では地震などの災害時を想定して、打撃を受けた交通網に対し、緊急車両の旅行時間を短く、そして安定させるための交通シミュレーションを行っている。その上でこれを利用した災害時の交通管理者の意志決定支援システムの構築事例を紹介し、システムの可能性と課題について考察を行っている。結論として、シミュレーションを行う事は「設定した状況に対して交通状況がどのように変化するか」という情報を得られることが出来ることから、災害時の救援や物資の調達、瓦礫の運搬と言った特有の行動等をあらかじめ予測することが有用であると指摘している。しかし、課題として、ネットワークデータである道路網や交通規制などが必要な点、ODデータについては災害時のODデータがどう

しても推測に頼ることになってしまうことを挙げている。

### (2) 避難における行動や道路環境に対する研究

本研究における交通シミュレーションでは避難行動を取り扱うため、これらの避難に関する研究についても整理を行っている。

青木・石田らによる研究<sup>4)</sup>では、災害における街路の閉塞状況について避難の代替経路を保証するネットワークとして街路網の安全性を検討しなければならないと指摘している。具体的には、街路網の安全性を検討するための調査を行い、調査結果から、道路幅員が4m未満ならば閉塞率が高く、10mを越えると歩行には支障がないこと、また14m以上であれば車両の通行に支障が無くなるとまとめている。

また、海外の原子力発電所災害における避難について取上げていた山本の研究<sup>5) 6)</sup>がある。これらの研究ではフランスやアメリカでの避難制度についてまとめ、考察を行っている。例としてフランスでは、コミューン単位で行われ、車両は県設備局が交通企業の車両と運転手の動員要請措置によって、企業から提供されるバスを用意し、各コミューンに派遣するとしている。これらのことから、日本の避難形態に近いと指摘している。アメリカでの避難形態では避難を住民が自ら自家用車を用いて避難することを基本としている。そのため、計画の有効性を検証するにはNUREG-0654という避難時間についての基準書が策定基準として用いられている。この避難時間表には交通シミュレーションが用いられている。

### (3) 国民保護法に関する取り組み調査

近年、国民保護法にもとづく「国民保護計画」の策定が全国の自治体に求められている。しかし、現状では各自治体（都道府県）によってその取り組み状況に違いが見られ、危機意識を持って作成している自治体から義務的（形式的）に作成している自治体まで、かなり温度差があるようである。特に、避難計画の策定や避難訓練の実施状況に大きな違いが見られる。

まず、都道府県間でどのような取り組みを行っているのか、取り組みの姿勢に差異が存在するのか確認を行う目的で、各都道府県で発行されている住民に対しての広報の調査を行った。その結果、都道府県ごとに国民保護訓練を毎年行っている自治体があったり、逆に取り組みを行っていない自治体も存在していた。そのため、各都道府県に国民保護法への取り組みに関するアンケート調査を行い、国民保護計画の策定に関する問題点について整理を行った。

回収したアンケート調査の回答から、国民保護計画の策定において、保護計画の修正回数や国民保護訓練の実施について比較すると、組織改編や条例の改正などによ

る時点修正がほとんどであり、国民保護訓練の結果から計画の修正を行ったケースは数件しか存在しなかった。また、これらの取り組みは、原発を所持している自治体に多い傾向があったため、計画支援システムの需要も大きいのではないかと考えられる。

以上、「避難」に関する既存研究の整理を行ったが、日本における原発災害を対象とした避難交通のシミュレーション研究は、整理した限り行われていない状況が確認できた。また、原発災害が発生した場合、現状策定されている避難計画では自治体が避難車両を用意して、それぞれの避難場所に向かうとなっているが、多数の避難用の車両を実際に準備できるのか。また、実際の交通状況を考えた避難計画となっているのかなど、ほとんど検討されていないのが実態であろうと思われる。

しかも、海外の事例では交通シミュレーションを用いた避難時間の策定基準が決められているが、日本との避難方法の違いから海外の基準をそのまま援用することにも課題が残る。そこで、本研究では実際の原発周辺地域を対象に、原発災害が発生した場合の避難計画のあり方を検討する。具体的には、原発災害特有の避難計画を明らかにするとともに、マイクロ交通シミュレーションによる避難シミュレーションモデルの開発とその適用可能性の検討を行う。

### 3. 対象地域における環境

今回の避難に関するシミュレーションについては新潟県柏崎刈羽原子力発電所を対象としている。これは、「原子力防災対策を重点的に充実すべき地域の範囲」であるEPZ(Emergency Planning Zone)範囲に存在する人口が比較的多く、単独の原子力発電所としては規模が最も大きいため、災害時の影響が大きくなることが予測出来たためである。このEPZとは原発災害を考える上での指標であり、「原子力施設からの放射性物質又は放射線の異常な放出を想定し、周辺環境への影響、周辺住民などの被ばくを低減するための防護措置を短期間に効率良く行うため、あらかじめ異常事態の発生を仮定し、施設の特徴などを踏まえて、その影響の及ぶ可能性のある範囲を技術的見地から十分な余裕を持たせて定めた範囲」<sup>7)</sup>である。この範囲は原子力施設の規模によって変化する。全国の原子力発電所の出力とEPZ範囲内の推定した人口数を示した表を表-1に示す。表内に挙げられている原子力発電所のEPZはいずれも発電所から半径10kmの範囲であった。この人口の推定にはそれぞれの範囲内に存在する自治体の人口数を用いて求めている。

この地域は人口が柏崎市と刈羽村を合わせて約8万人がおり、高齢化率は柏崎市が25%、刈羽村が27%となっ

表-1 全国の原発におけるEPZ内人口推定

原子力発電所名	原子炉数	合計出力(万kw)	EPZ内人口推定(人)
泊発電所	2	207.0	23083
東通原子力発電所	3	387.0	5849
女川原子力発電所	3	217.4	14754
福島第1原子力発電所	8	745.6	36863
福島第2原子力発電所	4	440.0	23896
柏崎刈羽原子力発電所	7	821.2	81865
東海第二発電所	1	110.0	221337
浜岡原子力発電所	5	499.7	55274
志賀原子力発電所	2	189.8	18318
敦賀発電所	4	459.3	10203
美浜発電所	3	166.6	12799
大飯発電所	4	471.0	20333
高浜発電所	4	339.2	23366
島根原子力発電所	3	265.3	83677
伊予発電所	3	202.2	19428
玄海原子力発電所	4	347.8	34266
川内原子力発電所	3	337.0	28287

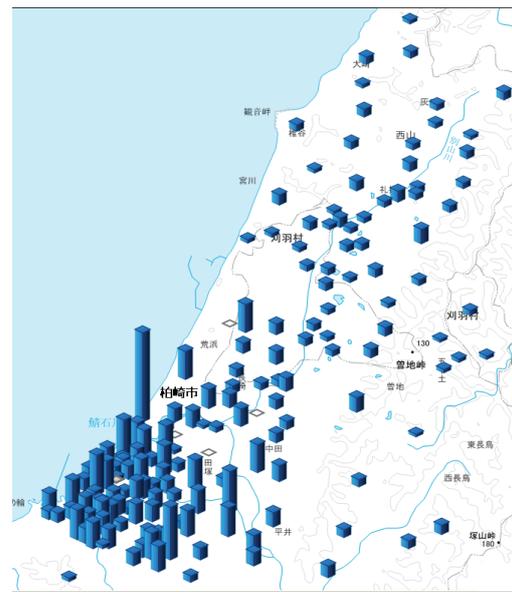


図-1 対象地域の人口分布

ている。また、人口については大半が柏崎市に存在しており、特に人口が集中している市街地周辺も EPZ 範囲内に存在している為、効率的な避難を実施するためには避難計画の充実が必要であると考えられる。対象地域における人口の分布を棒グラフで表したものを図-1 に示す。そして、避難計画では原発において災害が起こり、住民の域外への避難が必要だと判断された場合、地域内に120程度存在する避難所に住民は一時的に避難を行い、その後に自治体を用意する避難用の車両としてバスを用いて域外への避難を行うとしている<sup>8)</sup>。また、災害時には高齢者や身体障がい者など避難時の移動が困難な住民に対してはそれぞれの住宅まで迎えに行く、移動困難者用の車両を自治体を用意することとなっている。なお、原則的に自家用車での避難行動は認めていない。

### 4. 風向きによる対象地域のリスク分析

災害時の避難対象地域は基本的にその時々

どによって左右される。放射性物質が漏洩した災害の場合、微細な放射性物質は風によって運ばれるため、風下方向に放射性物質が移動してしまうためである。そのため、避難対象地域の決定には放射線の影響範囲が用いられているが、この放射性物質の移動によって影響地域は風下方向となる。これは「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム」によって計算を行い、風下が避難対象地域の中心として指定される。そこで、過去の当該地域における風向きのデータをまとめ、災害時に地域に対してどのくらいの影響が出る危険性が存在するのかについて確認を行った。

まず、柏崎刈羽原発を中心として地域を16方位に分けて、EPZ範囲である半径10km内の人口数をまとめ直したものを表-2に示す。表中で-で書かれた方位は影響範囲内に住民が存在していない方位となっている。そして気象庁の新潟県地方気象台データベースから柏崎の風向きのデータを参照し、1978年から2010年6月までの過去31年間のデータをまとめ、一日の最多風向を用いて季節ごとの風向の発生頻度を求めた。

そして、まとめた結果を図-2に示す。黄色い地域がそれぞれの季節での風向き発生頻度の上位3つで影響を受けやすい地域と考えた地域、それよりも頻度が小さい地域が赤、無色の地域は居住する人口が居ない方位であるため、風向きの頻度に関わらず、リスクが無いと判断した地域、それ以外の地域が灰色で表示してある。

この結果から居住地に対しては春季や夏季を中心として原発から南東、南南東の地域が比較的影響を受けやすいことが確認できた。また、一番人口が大きい南南西地域については風向きの頻度があまり多くなく、避難地域に指定される危険性は比較的低いと判断した。

## 5. シミュレーション概要

### (1) 使用するシミュレーションプログラム

本研究で取り扱うシミュレーションには「KUNJ-Sakura」というプログラムを使用する。このSakuraは

刻々と変化する交通状態を個々の車両がそれぞれ個別の意志を持って行動しているように算出することによって表す、ミクロ交通シミュレーションソフトである。また、Sakuraは道路の条件として車線や信号、規制速度、路上駐車などの障害物等多くの要素を設定することが可能であり、車両にも道路と同じように個別に車種や出発地、目的地などの属性を設定することができる。この車両属性と道路条件によって個々の車両で経路選択モデルが適用され、挙動が決定する。経路選択にはDial法を用いて経路選択確率を算出しており、車両の経路や右左折や車線の変更等といった行動を選択している。また、アウトプットの項目として結果の各道路における渋滞長や各車両の経路、避難時間等のデータ、視覚的な画像、動画が出力可能である。Sakuraで設定できる条件と出力項目をまとめたものを表-3に示す。また、出力項目の1つである視覚的アウトプットの例を図-3に示す。

### (2) 避難に関する車両の分類

本研究は、避難計画策定のためのシステムとしてミクロ交通シミュレーションを活用する方法について考察を行う。そのために、上に示したシミュレーションプログラム「Sakura」を用いて避難時の交通環境を推測し、現状の避難計画で問題が予想出来る箇所について考察を行う。

表-2 方位別避難人口

方位	避難人口	方位	避難人口	方位	避難人口	方位	避難人口
北	-	東	1610	南	16118	西	-
北北東	1269	東南東	1924	南南西	45367	西北西	-
北東	914	南東	2728	南西	1577	北西	-
東北東	4021	南南東	2713	西南西	-	北北西	-

表-3 Sakuraの設定できる主な条件と出力項目

主な車両属性	車種(大きさ, 性能), 出発地, 経由地, 目的地, 出発時刻, 運転個性
主な道路条件	ネットワーク, 車線, 分合流, 線形, 各種規制(規制速度, 一時停止, 優先レーン), バス停, 路上駐車, 信号(車線別・方向別表示, オフセット, 感知式信号)
出力項目	評価指標の集計(交通量, 渋滞長, 所要時間等), 視覚的アウトプット

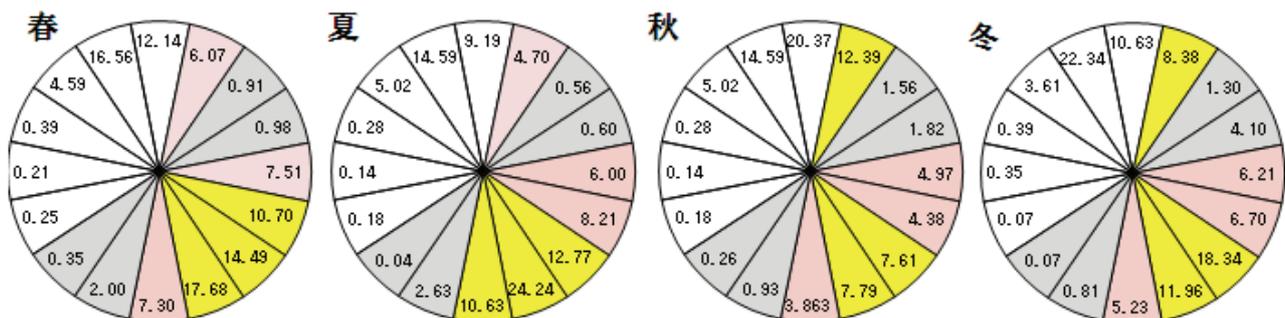


図-2 季節別の影響を受ける地域とその頻度(%)<sup>10)</sup>

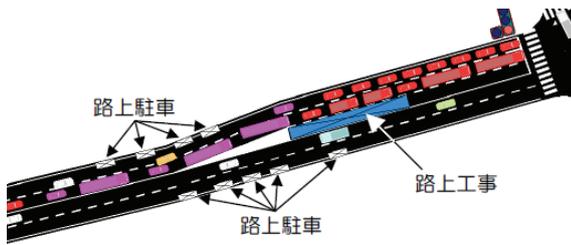


図-3 Sakura シミュレーション画面

まず、シミュレーションを行う際には4つの種類の車両を設定する。(1) 災害前の交通を再現した車両（通過車両）、(2) 自治体が用意する避難車両（避難バス）、(3) 移動困難者の為の避難車両（福祉車両）、(4) 避難計画では禁止している自家用車による避難車両（自家用車避難車両）の4つである。それぞれの車両の取り扱いや発生の順序について以下に示す。

### (3) 日常の交通流の再現

分類した避難時車両の内の1つである(1)については災害前の交通を再現することで災害時に存在している交通環境の再現を目的とする。また、防災計画に定められている避難人口が夜間人口をベースに作成されているため、災害発生時間帯を夜間として想定を行い、センサスの観測交通量からOD交通量を推計して発生数を求める。

### (4) 避難計画で定められる避難用車両

(2)の避難バス、(3)の福祉車両はどちらも自治体が用意する避難車両である。その中で、避難バスは出発地から地域内の避難所、そして避難ルートを通してEPZ範囲外まで移動するものとする。福祉車両は出発地から対象者の住宅まで移動し、移動困難者を乗せてからEPZ範囲外まで移動するという違いが存在するため分類を行った。また、避難バスと福祉車両の出発地については2009年に新潟県、柏崎市、刈羽村に行った避難計画についてのアンケート調査を行い、その回答や防災計画の資料<sup>9)</sup>から各避難所での対象避難住民よりそれぞれの避難所に向かう車両数を設定した。また、それぞれの避難車両の出発地は車両を提供する事業者の事業所としている。加えて今回のシミュレーションでは車両はそれぞれEPZ範囲外に到達した時点で避難が終了したと見なしている。

そのため、車両は一度事業所から各避難所に向けて出発し、避難所で住民を乗せるために待機を行う。この待機時間はアンケート調査によって自治体に質問を行った結果を用いており、柏崎市が5分、刈羽村が20分としている。そして、アンケートでの回答や避難計画資料によって把握した避難車両の避難所からEPZ範囲外までのルートを用いて避難所から目的地までを移動する。この避難ルートについては120の避難所でそれぞれ9つのルート



図-4 (2)、(3)車両の避難ルート

が存在しており、それらのルートを表したものを図-4に示す。それぞれの番号が避難ルートの番号を示す。

また、移動困難者については人数を高齢社会白書<sup>11)</sup>や障害者白書<sup>12)</sup>を用いて避難所毎に対象人数の推定を行い、車両の発生数を決定した。高齢者については高齢社会白書を用いて前期高齢者、後期高齢者の要介護認定された人を、障がい者については「身体障がい」の内、肢体不自由4級以上の人を移動困難者として、その比率それらの数の割合から推計を行った。

### (5) 避難計画外の避難車両

前項でも触れたとおり、現状の避難計画では災害時の自家用車による避難は認められていない。しかし、災害時に取り締まる予定もないことから、自家用車で避難を行おうとする住人は出てくると予想される。

そこで、自家用車で避難する世帯数（(4)の自家用車避難車両）を変化させてシミュレーションを行う事で、災害時に自家用車により生じる問題点についても考察を行う。世帯数についてはそれぞれの避難所がカバーする範囲の世帯数からどの程度の割合で世帯が自家用車で避難するか、想定して決定した。

また、これらの車両はそれぞれの避難所付近から発生され、原発災害からの影響から逃げるため、EPZ範囲外へ最短距離で移動を行うように行動するものとする。

### (6) 車両の発生順序

シミュレーションを行うに当たっては前提条件として、道路に破損は生じていない、「避難対象地域は北北東の風の時は南南西地域になる」といったように災害時の原発から風下にある地域とする、避難指示が出されることで住民は避難を開始し、同時に地域内への車両の流入が

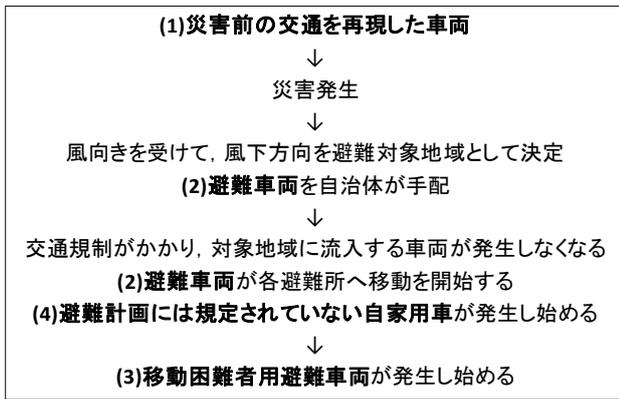


図-5 車両発生順序

表-4 車両発生時間

	発生開始時間	発生終了時間
(1)通過交通	0:00:00	0:30:00
(2)避難車両	0:40:00	1:00:00
(3)移動困難者	0:50:00	1:10:00
(4)自家用車	0:30:00	1:00:00

止まる、等の設定を行っている。

これらの設定の上、Sakura上に再現した対象地域の道路網に車両を発生させてシミュレーションを行う。そして、シミュレーションを開始してからの車両発生の流れ(手順)を図-5に示す。図中の太字の箇所が各種車両が発生を開始するタイミングである。車両の発生時間については表-4に示す発生開始時間から発生終了時間の間で示す。表中の時間はシミュレーションを始めてから経過した時間を示している。この指定された時間間隔の中でそれぞれ設定されたOD交通量データによる車両がランダムに発車することとなり、避難所に向けて移動を行う事となる。

#### (7) シミュレーションに用いる道路ネットワーク

シミュレーションプログラム中で使用する道路ネットワークのデータは図-6のような形に作成したものを用いる。この道路ネットワークの作成においては原発から半径10km圏内の高速道路や主要幹線道路、主要地方道を作成し、それに加えて域内に存在する避難所までの細街路の作成を行っている。また、この道路ネットワークを作成する際に道路形状の前提として以下の3つの仮定を用いて作成を行っている。

1. 車線幅員は3mで一定である
2. 路肩や高さは考慮しない
3. 信号現時は全ての地点で同一である

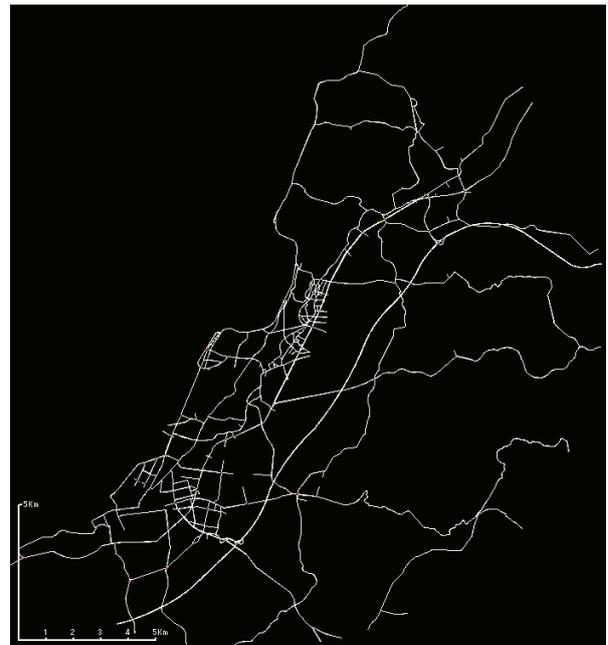


図-6 道路ネットワーク図

## 6. 避難シミュレーションによる避難計画の評価

### (1) シミュレーションの目的

ここまでの結果を受けて、原発での災害が起こった場合の避難についてのシミュレーションを行った。このシミュレーションでは現状の避難計画に基づき避難を行った場合、問題が出る地域、箇所について確認を行い、以降の避難計画の策定に有意な情報を収集することを目的とする。

4章にて風向きによる、避難地域に指定されるリスクを考えた際には南南西や南の地域での危険性は比較的低いと判断したが、対象地域の人口がほぼこの南南西の地域(南南西部)と南の地域(南部)に集中していることから、避難地域に指定されてしまった場合の避難行動にかかる問題、危険が非常に高いと思われる。そのため、風向きにおけるリスクは低い地域であるが、万が一、風向きがこの地域に向いた場合には、影響が大きくなるので、その影響を避難シミュレーションにより検討する。

シミュレーションでは、図-4で示した避難車両の避難ルート毎に各ルートを通る避難車両が避難所を出てから避難を完了するまでどの程度時間がかかるのかを算出する。その後、避難について問題が発生すると考えられた避難ルート、地域について、その原因を考察する。

シミュレーションは(4)の自家用車での避難を行っている車両の発生数を変化させて行い、結果を比較しようとしたが、実際に発生数を大きくすると人口が集中している地域では、一気に自家用車が発生してしまうことで道路が閉塞してしまう。そこで、今回は発生確率をそれ

それぞれの避難所からの避難範囲内の世帯の内、0%（違反車両なし）、5%、10%の世帯が自家用車で避難すると仮定してシミュレーションを行った。これ以上の自家用車を発生させると上でも触れたように人口の集中している地域で多量の車両が発生してしまい、シミュレーションプログラム内の道路が閉塞し、車両同士がぶつかってしまって動けなくなり、シミュレーションを続けられない状態に陥ってしまう避難ルートが存在したため本研究ではどのルートでも結果が導けた10%までの結果を示すこととする。

## (2) シミュレーションの結果

行ったシミュレーションの結果として、各避難ルートでの避難計画に則った避難車両である避難バス、福祉車両の避難時間の平均を図-7、最大値を図-8に示す。

この結果では「ルート1~6」では、自家用車での避難世帯を増やし、道路上に多くの車両を発生させても平均的な避難時間での違いはほとんど見られなかった。これはこの避難ルートでの対象地域が、人口の少ない地域（原発から見て北北東部から南南東部の地域）であったため、自家用避難車両の発生割合を多くしても、車両数の絶対数が大きくならなかったことが原因として挙げられる。そのため、避難バス、福祉車両とは別の自家用車が発生してしまっても、全く避難には影響が出ない結果となった。しかし、人口が集中している南部から南南西部

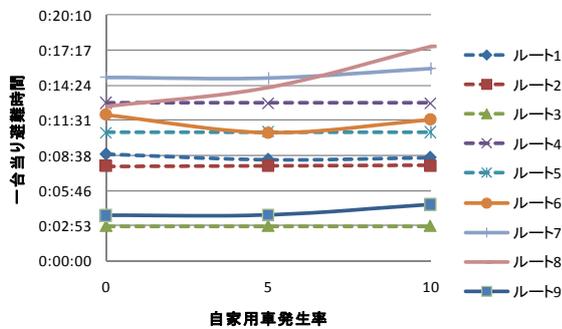


図-7 避難ルート毎の平均避難時間

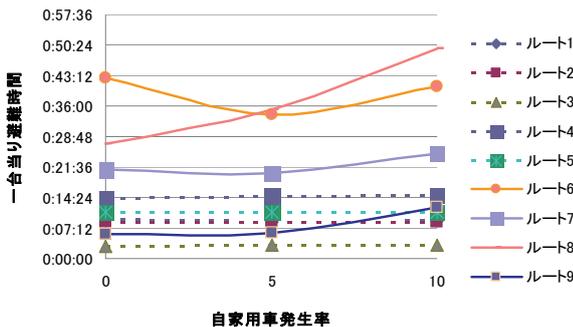


図-8 避難ルート毎の平均避難時間

の避難所を対象とする「避難ルート7~9」では、自家用避難車両が増加すると避難時間が増加することが明らかとなった。特に一番人口が多い南南西部を通る「ルート8」では避難時間が大幅に増加してしまう。最大値でもほぼ同様の傾向が見られ、「ルート1~5」では自家用車による避難人口が増大しても、避難時間はほぼ横ばい、若しくは減少しており、「ルート7~9」では避難時間の最大値も増加している。「ルート6」については自家用車の利用率が5%で避難時間が減少しており、最大値が平均値に比べて大きくなっている。その理由としては対象とされる範囲が山間部、幹線道路沿いと幅広いため、避難車両ごとに出発する地点の時点で避難経路に使用する道路や目的地が近い、遠いといった形で避難に対する難易度に差が生じていること、それに加えて避難経路が避難ルート7と重複したことなどから発生時間、場所によって避難時間に差が出やすい状態であったためであると思われる。

そのため、「ルート1~6」がカバーする地域では人口が少ない地域を通るため、避難における渋滞は起こりづらいと考えられ、逆に人口が多い市街地を通る「ルート7~9」を含む地域では、自家用避難車両による渋滞が起こりやすく、避難を行う際には何らかの対策が必要だと思われる。

そこで、次に自家用避難車両による渋滞の危険性が少なく、風向きによる災害時の危険性が高いと判断した南南東部と、逆に風向きによる災害への影響の危険が少ないが避難対象地域に指定された場合に、渋滞発生確率が高い南南西部を対象に、どの程度自家用避難車両によって避難時間に差が出るのかについて検討を行った。南南東部の住民は表-2にも示したとおり、2713人存在し、それらの避難者はルート4と6を用いて避難を行う。そして、南南西部の住民は全部で45367人存在し、避難ルートは6、8、9を用いるが、その60%程度はルート8の避難所に属する住民である。図-9に2つの地域の避難人口と避難経路を簡単に加えたものを示す。

この2つの地域に対して避難時間について、域内の車両数の推移と共にまとめ直したものを図-10、11に示す。図は住民が避難指示を受けて、避難を始めた時点からの対象地域内に存在する車両の数を時間の経過と共に示したものであり、自家用避難車両群が避難を開始する時間を基準としている。そのため、通過交通による車両群の条件は同じであるため、最初の車両数は全て同じになっている。この図から、南南東部の避難車両数が自家用避難車両の発生割合に関わらずスムーズに対象地域内の車両数が減少していることから避難車両(避難バスと福祉車両)に対する自家用避難車両の影響は大きくないと見られる。その点、南南西部のものを見ると、自家用避難



図-9 2つの地域の避難人口と経路

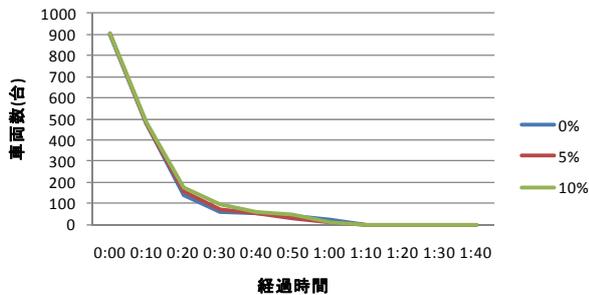


図-10 南南東部の避難車両数の推移

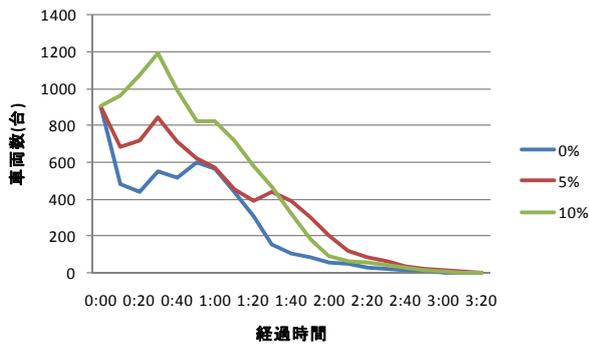


図-11 南南西部の避難車両数の推移

車両群を発生させない場合でも避難バスや福祉車両の避難車両の発生する数が多く、このような正規の避難車両によっても避難が滞ってしまう危険性があると考えられる。加えて、自家用避難車両群を発生させると車両数が増加してしまい、より避難に時間がかかってしまうと言える。また、南南西部での避難には南南東部と比べて避難時間も3倍近くとなっており、円滑な避難が行われていないと言える。これは、車両数だけでなく、大半の住

表-5 渋滞時間と箇所数

渋滞時間(分)	5~30	35~60	65分以上
渋滞箇所数	82	27	14



図-12 1時間以上の渋滞が見られた道路

民がルート8によって避難する避難所に属しているため、すべての避難車両がルート8に集中することも一因として考えられる。そのため、避難ルート8に関して、対象となる避難所、ならびに避難経路については再考を行う必要があると言える。

加えて、自家用避難車両の発生率が10%の時の南南西部における道路の渋滞・滞留状況を見る。道路の渋滞の状況としては道路網を構成する道路データ上毎に車両がいつぱいの状態になり、移動できなくなった場合とする。渋滞が発生した箇所は全部で123箇所存在し、それらを渋滞時間毎に分類したものを表-5に示す。特に1時間以上渋滞が続く道路は、バス営業所、市役所付近の道路や海沿いの国道352号線、特定の交差点であった。1時間以上の渋滞が見られた道路、交差点を示したものを図-12に示す。この図の黄色の部分で渋滞が発生している箇所である。

バス営業所や市役所周辺での道路、交差点の渋滞は、避難所へ向かう車両によるものであると考えられる。つまり、このルート8では正規の避難車両と自家用避難車両を合わせ、多数の車両が発生するために長時間の渋滞が発生している。そのため、人口の少ない他の地域ではバス営業所、市役所付近では渋滞が発生していない。

また、南南西部の避難における避難ルート8に集中していることが避難時間の増大の一因であると上述したが、国道352号線を初めとする避難ルート8上の道路、交差点には、この1時間以上続いている渋滞が発生している。他にもこの避難ルート8で渋滞している道路の一部を表-6に示す。この表の渋滞の開始時間を見ると国道352号線では渋滞が生じる時間がシミュレーション開始から35分

表-6 避難ルート8上の道路における渋滞状況

渋滞開始時間	渋滞終了時間	対象道路番号	渋滞長(道路長)	渋滞時間(分)
0:40:00	1:05:00	2655(国道352号)	401	25
0:35:00	1:10:00	2657(国道352号)	580	35
0:40:00	0:45:00	2669(国道352号)	610	5
1:30:00	1:40:00	2697(国道8号)	503	10
1:15:00	1:50:00	2705(国道8号)	1232	35
0:40:00	1:10:00	2775(国道8号)	1120	30

～40分の時点であるため、自家用避難車両が発生し、正規の避難車両が発生する直前や直後である。そのため、自家用避難車両が発生した時点で、これらの地点では渋滞が発生することが予想される。この国道352号線は避難ルート8での避難を行う避難所のほとんどがこの道路を用いる事となっている。そのため、国道352号での渋滞は自家用車だけでなく、避難車両全体の避難時間に密接に関係するため、避難時間が増大する原因と考えられる。

これらの国道352号における渋滞状況から、避難を行う時点で既に自家用避難車両によって渋滞してしまっている可能性が示唆された。そのため、避難を行う際には特にこの地域を避ける必要があると考える。

## 7. 本研究のまとめ

今回のシミュレーション結果から、現状の対象地域について避難シミュレーションを実施することで避難計画策定のための支援システムとして、避難計画策定上の問題点とその課題、また具体的な対策箇所等を推定することが可能であることが明らかとなった。

その結果、対象地域において、原発災害時の避難地域に指定される危険性が高い地域と、避難を行う際にこのままの計画で避難を行うと渋滞が発生する確率が高く、避難計画の修正や対策が必要となると思われる箇所の二点を指摘することが出来た。

風向き統計データ分析から避難対象地域として指定される危険性が高い地域であっても避難を行った際には、ほとんど渋滞が発生することはなく、現状の避難計画でも問題は無いということが明らかになった。しかし、人口が多い、南南西部では避難対象地域となる危険性は高くはないと評価できるが、実際に避難対象地域となった場合には避難車両による渋滞の発生によって避難に時間がかかってしまうこと、渋滞の状況から避難用バスの出発地、避難ルート8で使用する道路では渋滞が発生することが予測出来た。そのため、避難ルート8における避

難については、現状の計画では渋滞が発生する国道8号ならびに国道352号を避ける避難ルートを再考する必要があると考える。

また、実際に避難計画の支援システムとする場合には避難訓練の実施とその結果等によりフィードバックを行い、シミュレーション結果による問題点の確認と修正を行うことが求められる。原発災害における避難では被害を少しでも減らすため、想定される問題を軽減していく必要がある。そのためのツールとして今回の交通シミュレーションによる避難計画の策定支援システムを提案し、実際に現状の避難計画について検証を行った。

**謝辞：**今回の研究を行うに当たり、対象地域の自治体にアンケート調査を行った。資料提供やアンケート調査に協力していただいた刈羽村田中貴裕氏、柏崎市名塚仁氏、新潟県藤田信夫氏に対し、こころより感謝申し上げたい。

## 参考文献

- 1) 二神透, 木俣昇: ペトリネット・シミュレータを用いた中山間地域の災害孤立対策に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.30, pp.31-32 (186), 2005.
- 2) 二神透, 木俣昇: 中山間地域の救急・避難計画のためのシナリオシミュレーションの開発, 土木計画学研究・論文集, No.22 (1), pp.89-96, 2005.10.
- 3) 松井宏樹, 和泉潔, 野田五十樹: 交通シミュレーションを用いた災害時の交通管理システムの構築, 第20回人工知能学会全国大会予稿集, pp.1E2-3, 人工知能学会, 2006.
- 4) 青木英輔, 石田東生, 大野英治: 震災時の街路閉塞による避難迂回からみた街路網の安全性, 土木計画学研究・講演集, No.19 (2), pp.47-49, 1996.
- 5) 山本一也: 原子力緊急時の住民避難計画の策定に関する調査(II)ーフランスの即時対応と避難, 及び避難時間評価に関する各種モデルの実例調査ー, JSESの研究開発成果, 日本原子力研究開発機構, 2008.
- 6) 山本一也: 原子力緊急時の住民避難計画の策定に関する調査, JSESの研究開発成果, 日本原子力研究開発機構, 2007.
- 7) 原子力安全技術センター: 原子力防災基礎用語集, [http://www.bousai.ne.jp/vis/bousai\\_kensyu/glossary/index.html](http://www.bousai.ne.jp/vis/bousai_kensyu/glossary/index.html)
- 8) 新潟県地域防災計画(原子力災害対策編), 2009.9.
- 9) 新潟県地域防災計画(原子力災害対策編: 資料編), 2010.
- 10) 気象庁・新潟県地方気象台データベース
- 11) 高齢社会白書(平成22年度), 2010.
- 12) 障害者白書(平成22年度), 2010.

(2011.2.25 受付)

# SUPPORT SYSTEM DEVELOPMENT FOR EVACUATION PLAN DECISION IN NUCLEAR PLANT DISASTER

Masahiko FUJITA, Jun-ichi TAKAYAMA, Sho-ichiro NAKAYAMA  
and Takashi USIBA

These days, our interest in nuclear plant accidents has increased, and civic actions for them have also been activated. Therefore, improvement of the disaster prevention planning to nuclear plant accidents is requested. In this study, we developed a microscopic traffic simulation system for evacuation plan near the nuclear plant as a system which supports to examine the disaster prevention planning, and applied the system to Kashiwazaki-Kariha nuclear plant area. Furthermore, the risk of each region near the nuclear plant disaster from the viewpoint of wind direction and the population was considered, the importance of each evacuation simulation was examined. As a result, we found that the present plan Kashiwazaki-Kariha made has the problem on evacuation routes and others.