

国民保護法に基づく大規模避難計画策定のための計画支援システムの開発

A development of support system for large-scale refuge plan
on the basis of law for protection of the nation

高山純一^{**}・中山晶一郎^{***}・黒瀬康夫^{****}

By Jun-ichi TAKAYAMA^{**}・Shoichiro NAKAYAMA^{***}・Yasuo KUROSE^{****}

1. はじめに

近年、わが国では安心・安全に関する意識が高まっており、2004年成立の国民保護法にみられるように、災害発生を想定した避難計画の重要性が指摘されている。

原発災害に関する安心・安全意識の高まりは、チェルノブイリ原発事故から20年目を迎え、原発の安全性について考える機会となっていることや国内においても美浜原発事故、もんじゅナトリウム漏えい事故、東海村JCO臨界事故（国内初の被爆死者）などの発生により、原発事故の危険性や危機管理の重要性が注目されたことに起因している。また、2006年3月に石川県の志賀原発2号機の耐震強度不足による運転停止判決が出されたことや全国各地の原発において臨界事故隠しの問題が発生し、原発の安全性に対する国民の信頼が低下してきていることにも起因している。

ところで、原子力災害は自然災害と比較すると五感に感じることなく被害を受ける可能性があり、適切な対応を行うためには専門的な知見や特別な装備、また適切な避難計画が求められるという特殊性がある。一方、自然災害は災害発生場所の予測が困難であり、道路網が機能しなくなる可能性もあるため、自然災害発生時の避難や復旧対策を事前に検討することはかなり困難な点がある。しかし、原子力災害は災害発生場所が明らかであり、道路網が機能しなくなる可能性も低いいため、適切な避難計画を立てて事前に避難訓練を実施しておけば、いざという時の被害を軽減することができるといえる。

*キーワード：防災計画、ネットワーク交通流、
地区交通計画、交通制御

**正員、工博、金沢大学自然科学研究科

(〒920-1192 金沢市角間町

TEL 076-234-4613 FAX 076-234-4644)

***正員、博(工)、金沢大学自然科学研究科

(〒920-1192 金沢市角間町

TEL 076-234-4614 FAX 076-234-4644)

**** 国土交通省

そこで、本研究では新潟県柏崎原発を対象に、大規模避難計画を策定する場合に必要な課題を整理するとともに、効率的な避難計画を作成するための計画支援システムの開発を目的とする¹⁾。

まず、2.において既存研究の整理を行うとともに、本研究の位置づけを明らかにする。3.ではミクロ交通シミュレーションモデル SAKURA の概要を示し、4.ではシミュレーションデータの作成方法を示す。そして、5.において柏崎原発を対象とした大規模避難計画の検討を行う。具体的には、自動車での避難を想定した避難シミュレーション（ミクロ交通シミュレーションモデル SAKURA）を行い、地域ごとに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、より渋滞が起きにくく、効率的な避難計画を立てるための方策を検討する。

なお、近年の国民の安全・安心に関する意識の高まりから原発周辺住民への説明が重要であるため、視覚的に理解しやすいシミュレーションを行うことも本研究の目的の一つである。

2. 既存研究の整理と本研究の位置づけ

避難シミュレーションに関するこれまでの研究には、水害（津波・洪水などの浸水災害）を対象とした研究^{2) 4)}や大地震時の火災延焼を対象とした研究^{5) 7)}、また建物内や地下街での避難を対象とした研究^{2) 8)}、⁹⁾、避難行動についても徒歩によるもの^{5) 6) 9) 10)}、¹¹⁾や自動車によるもの¹²⁾など、様々なものがあるが、ここでは本研究と関連性が深い以下の2つの研究を取り上げて検討する。

堀口、小阪ら¹⁰⁾は大地震発生時の行動をメッシュ分割手法を用いてシミュレーションを行うことで、非難にかかる時間や合流点等で渋滞、通行不能がどの程度発生するかを調べた。

これは、避難を開始する住民の時間分布を住民の被災経験の有無、防災意識の程度、火災の接近等によって変化させ、避難する方向は身近な指定避難路へ最も早く到達する経路を選択するものとし、道路幅員も考慮して

いる。また避難路上の制約として、群集移動速度で表現し、老人・子供の歩行速度を限界速度としてシミュレーションを行っている。

青木、石田、大野ら¹¹⁾は、対象地域の震災時の避難をシミュレーションし、街路網の安全性の検討や街路拡幅による安全性の感度分析を行った。また、シミュレーションを行う際には、次の2点を仮定(街路網上の移動主体は歩行者とする。避難は街路網上の各ノードから通行可能な最短経路を通して地区の外周道路へと行われるものとする。)して行っている。

このように、従来の研究では原発災害を想定したものは少なく、大地震・大洪水・津波などの災害を想定したシミュレーションが中心となっている。しかし本研究では近年危険性が大きく取り上げられている原子力発電所による災害を想定する。また、原発災害は地震によっても引き起こされる可能性があるため、本研究を進展させ、道路リンクが寸断されることも考慮すれば、地震災害時の避難計画の検討にも利用できる。

従来は、コンピュータの制約からメッシュ分割法のようなマクロなシミュレーションが主体であったが、コンピュータの性能が飛躍的に発達し、マイクロシミュレーションを行うことが可能となってきた。最近ではCA(セルラー・オートマトン)⁹⁾やMA(マルチエージェント)を用いたマイクロシミュレーションを利用した研究も増えてきている。本研究でもマイクロ交通シミュレーションソフト SAKURA¹⁾を用いてシミュレーションを行う。

現在、交通マイクロシミュレーションを用いた研究のほとんどが合流部の車両の行動解析や小規模ネットワークでの工事実施に伴う車線規制の影響評価等であるが、本研究では、ある程度大規模な道路ネットワークを用いてマイクロシミュレーションを行う。

3. ミクロ交通シミュレーションソフト SAKURA の概要

正式名称 KUNJ-SAKURA は 2003 年に京都大学と(株)ニュージェックのシミュレーション共同研究チームが開発したシミュレーションソフトで「Kyoto University & New Jec Simulation Assistant of Traffic Kinetics for Urban Road Network Assistant」の頭文字をとったものである。なお、このシミュレーションモデルの特徴は、次の3点である。

必要に応じて様々なモデルを組みこむことができる

交通行動について詳細な設定が可能である

集計値および個人行動の結果が必要に応じて出力可能である

道路データは「断面」「区画」「パネル」「バンド

ル」という4つのデータで作成される。ひとつでもデータがそろわない、データとしてエラーが存在すると道路データは作成されない。すべてのデータはテキストファイル(Windows INI ファイル)で構成される。

なお、道路データはテキストファイルで直接変更することも可能であるが、道路データエディタを利用することも可能である。

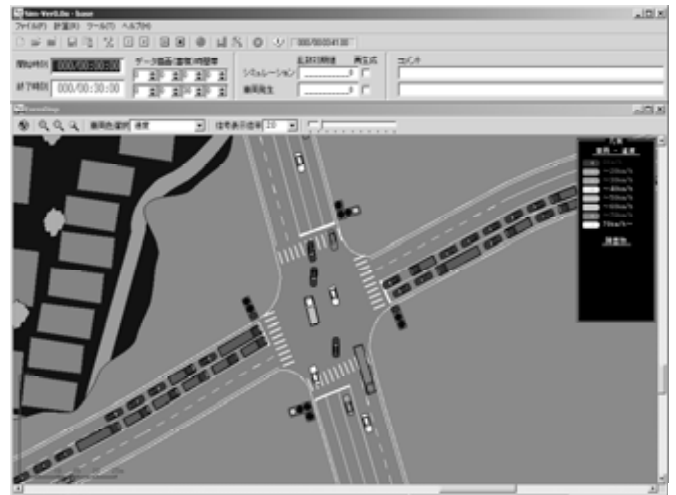


図 - 1 SAKURA のシミュレーション例

4. シミュレーションデータの作成方法

本研究では、新潟県柏崎原発周辺の道路網を対象としてシミュレーションを行う。そこで、新潟県地域防災計画に記載されている主要道路地図と Google Earth 及び ZENRIN 電子地図を参考にして道路網を作成した。

新潟県地域防災計画では柏崎原発周辺半径 5 km を避難対象地域としている。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(EPZ)内である。なお、EPZ とは防災指針において提案されている「防災対策を重点的に充実すべき範囲」を基準として、発電所を中心に概ね半径 10 km 以内の地域のことである。

SAKURA で地図データを作成するには「断面」「区画・バンドル」「パネル」の順で作成していかなければならない。ここでは道路データ作成エディタを利用するとともに直接書き換えを行うことで作成した。特に、原発周辺のおよそ半径 2 ~ 3 km 以内の国道 116 号、刈羽停車場線、荒浜中田線、国道 352 号で囲まれる範囲については、より詳細な避難の様子をシミュレーションできるように主要道路だけではなく、Google Earth 及び ZENRIN 電子地図で道路として記載されているもの全てを作成した。

作成した道路網は交差点数 135 箇所(うち主要道路どうしの交差点数 20)、断面数 1429、区画数 1975、パネル数 2199、バンドル数 1565 である。

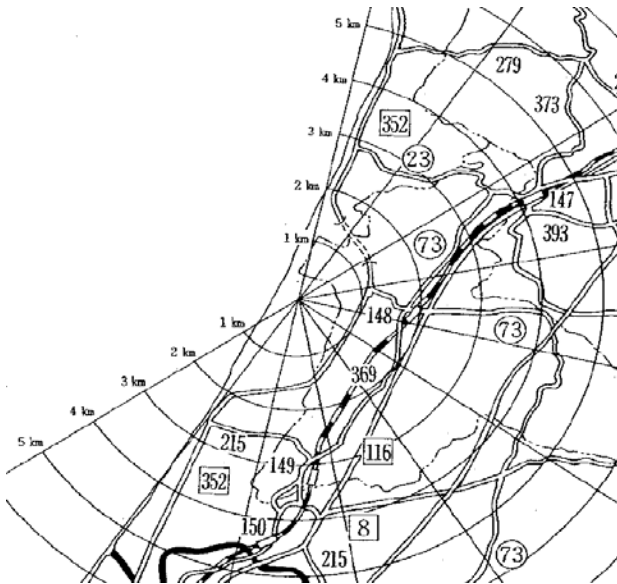


図 - 2 本研究の対象地域



図 - 3 作成した道路網全体図

5. 新潟県柏崎原発周辺道路網を対象とした大規模避難シミュレーション

本研究では次のような条件でシミュレーションを行う。

- 半径5 km以内の住民が5 km圏外へ避難する
- 発生交通量は集落ごとの世帯数に新潟県の「世帯当たり自動車保有台数」を乗じた値とする

半径5 km以内の集落は55集落あり、世帯数は5097世帯である。これに新潟県の世帯当たり自動車保有台数である2.17台（新潟県の運輸概況平成17年度版より）を乗じて、シミュレーションでの発生台数（11,060台）を設定した。ただし、半径5 km近辺の集落では主要道路に出るまでもなく避難が可能であると考えられるため、そのような集落（稚谷、後谷、北野、曾地、大字橋場、松浪2丁目、橋場町、原町：2,640台）は除外してシミュレーションを行った。

(1) シミュレーションによる大規模避難計画の検討
原発災害の種類や規模（内容）によって、避難誘導の内容（避難指示、避難勧告、避難準備情報）が異なるが、どのような状況で避難誘導が行われるかによっても、その影響は大きく異なると考えられる。たとえば、平日と休日（土日祭日）では住民の生活行動が異なるし、また昼間（日中）と夜間ではやはり活動の場所が異なっている。もちろん、立地場所（原発からの距離）によっても利用する交通手段が異なってくると考えられる。原発から少し離れた半径5 km近辺なら、徒歩や自転車等を利用した避難も可能であるが、原発の近辺ではやはり自動車等の交通手段を利用せざるを得ないといえる。

したがって、最悪の状況下でいっせいに避難指示が出された場合、自動車が主要道路に集中し、大渋滞が発生することが予想される。そのようなことがないように、ここでは地区ごとに避難する方向（方面）と避難開始の時刻を決めておき、スムーズな避難ができるように最適な避難計画の策定を事前に検討しておくことが重要と考える。そこで、シミュレーションの条件（避難方向と避難開始時刻）をいろいろ変化させて、最適な避難計画を作成する。

今回は9パターンのシミュレーションを行った。それぞれのシミュレーションの違いを簡単に表すと次のようになる。

「シミュレーション」荒浜・松浪地区のOD変更なし。0~30分の間に避難開始、「シミュレーション」荒浜・松浪地区のOD変更あり。0~30分の間に避難開始、「シミュレーション」荒浜・松浪地区のOD変更あり。0~60分の間に避難開始、「シミュレーション」荒浜・松浪地区のOD変更あり。0~90分の間に避難開始、「シミュレーション」2 kmで分割。0~15分&15~60分避難（内側を先に避難）、「シミュレーション」2 kmで分割。45~60分&0~45分避難（外側を先に避難）、「シミュレーション」3 kmで分割。0~30分&30~60分避難（内側を先に避難）、「シミュレーション」3 kmで分割。0~45分&45~90分避難（内側を先に避難）、「シミュレーション」3 kmで分割。30~60分&0~30分避難（外側を先に避難）

(2) シミュレーション結果の考察

シミュレーションのアウトプットとして各車両の発生、到着、通過したバンドル番号とその時刻が出力される。また、バンドルごとに、5分間で最も渋滞が発生しているときの渋滞長が出力される。

ここでは、各シミュレーションパターンの平均避難開始時刻と平均避難終了時刻、避難にかかった時間の平均を比較する。まず、シミュレーションでは「避難開始時刻は0~30分の間でランダム」であるにもかかわらず

ず、全体の避難開始時刻の平均がシミュレーション開始から 43 分 57 秒となっており 30 分を超えている。これは荒浜・松浪地区の影響（荒浜・松浪地区は住宅が密集しており、この地区から発生する車両が「最も 5 km 圏外に近い方向を選択」するという条件）により、全て南南西に向かうため道路が占領され、新たに車両が発生しにくくなっているためである。

そこで、「シミュレーション」からは、避難方向について『荒浜・松浪地区から発生する車両のうち 50% は全ての方向（12 方向）に均等に避難し、残りの 50% は 5 km 圏外へ最も近い主要道へ避難する』という条件を加えてシミュレーションを行うこととした。

避難開始時刻（平均）が早いのは、シミュレーションであり、避難に必要な時間の短いのはシミュレーションである。

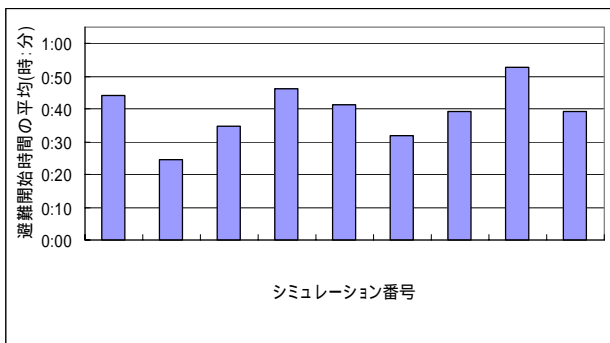


図 4 避難開始時刻の平均

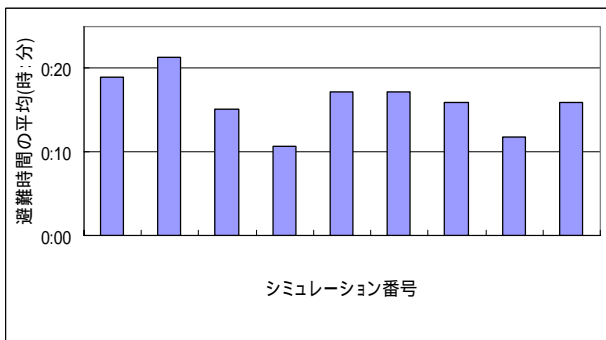


図 5 避難時間の平均

また、内側と外側のどちらを咲きに避難させたほうが効率的か検討するために、シミュレーション と の比較、 と の比較を行ったところ、避難に必要な時間ではどちらもほとんど差がないことがわかった。

6. 研究の成果と今後の課題

本研究では、ミクロ交通シミュレーションソフト SAKURA を活用することにより、新潟県柏崎原発における大規模避難計画の検討を行った。今回のシミュレーション結果から単純に避難指示を出しただけでは、各地で

大渋滞が発生することが明らかとなった。また、避難計画を検討する際には集落ごとの避難方向が重要であり、避難開始時刻を変化させる要因としては原発からの距離ではなく、集落ごとの世帯数を考慮して避難開始時刻を調整すべきではないかということも明らかとなった。

ただし、今回の検討はまだ初歩的な段階であるため、シミュレーションの実行条件も大雑把であり、実際の状況から外れたところも多いといえる。

今後、具体的な避難計画を策定するためには、(1)地域住民の生活行動パターンならびに利用可能な交通手段を調査する必要があること、(2)対象地域を通過する交通などの関連交通量の調査を行うこと、(3)地域住民への情報伝達の方法などを調査することが必要である。また、子供、高齢者、要介護者など自分では自動車を運転できない交通弱者に対する対策や対象地域外からの通過交通排除のための交通規制、さらには自動車による避難をスムーズに行うための非常時最適信号制御の開発など、今後検討すべきことが多いといえる。

なお、本研究では京都大学と(株)ニュージェックの共同開発したシミュレーションソフト SAKURA を活用させていただいた。ここに記して感謝したい。

参考文献

- 1) 黒瀬, 高山, 中山, 牛場: 「ミクロ交通シミュレーションモデルを用いた新潟県柏崎原発における避難計画の検討」, 平成 18 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, CD-ROM(pp.369-370), 2007 年
- 2) 後藤, 原田, 久保, 酒井: 「DEM 型群衆行動モデルによる浸水地下街からの避難シミュレーション」, 水工学論文集, Vol.49(A), pp.607-612, 2005 年
- 3) 三坂, 堀, 椎葉: 「デジタル街路情報を用いた水害避難シミュレーション手法に関する研究」, 土木学会年次学術講演会講演概要集第 2 部, Vol.59, CD-ROM (pp.059-060), 2004 年
- 4) 田村, 西畑, 森屋, 瀧本, 三浦: 「街路閉塞を考慮した津波浸水時の避難シミュレーション手法の適用」, 海岸工学論文集, Vol.52, pp.1286-1290, 2005 年
- 5) 小阪, 堀口: 「広域避難シミュレーション手法による大震災時の群衆行動解析」, 土木学会論文集, No.365/ -4, pp.51-59, 1986 年
- 6) 木俣 昇: 「大震災避難計画のための火災延焼シミュレーション・システムに関する研究」, 土木計画学研究・論文集, Vol.2, pp.125-132, 1985 年
- 7) 出火確率を考慮した地震時の火災・広域避難シミュレーション手法による人的被害予測」, 日本地震工学シンポジウム論文集, Vol.9(2), pp.2347-2352, 1994 年
- 8) 清野, 土岐, 犬飼, 竹内: 「避難行動シミュレーションに基づく地下街の安全性評価」, 土木学会論文集, Vol.689/No.57, pp.31-43, 2001 年
- 9) 近田, 浅地, 城戸: 「CA を用いた避難シミュレーションに関する一考察」, 構造工学論文集, Vol.49(A), pp.217-224, 2003 年
- 10) 堀口, 小阪: 「広域避難モデルとその適応について」, 第 35 回土木学会年次学術講演会講演概要集第 4 部, pp.386-387, 1980 年
- 11) 青木, 石田, 大野: 「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 19(2), pp.47-50, 1996 年
- 12) 小泉, カリヤン, 石井: 「災害時の避難所と避難経路の評価手法に関する研究(3) 短い区間の自動車走行における走行時間推定に関する基礎的研究」, 土木学会年次学術講演会講演概要集第 4 部, Vol.51, pp.56-57, 1996 年