

柏崎刈羽原子力発電所災害時の避難交通に対応した信号現示の最適化とその効果

長岡技術科学大学 都市交通研究室 非会員 ○尾上由希乃
長岡技術科学大学 都市交通研究室 会員 佐野可寸志
長岡技術科学大学 都市交通研究室 会員 加藤哲平
長岡技術科学大学 都市交通研究室 非会員 中山佳子

1. はじめに

原子力災害発生時には、原子力発電所周辺の広い地域から住民が避難する必要があり、多数の避難車両が短時間に道路ネットワークへ集中することが想定される。特に、主要交差点や幹線道路に交通が集中した場合、交通渋滞が発生し、避難完了までに長時間を要する可能性がある。柏崎刈羽原子力発電所周辺においても、発電所から 30 km 圏内の UPZ を含む広域的な避難交通を考慮する必要がある¹⁾。

これまでに避難シミュレーションを用いた交通対策の検討が行われている²⁾が、すべてのボトルネック地点に大規模な道路改良を実施することは、費用や実施可能性の面から現実的ではない。また、ある地点のボトルネックを改善すると交通流が変化し、別の道路や交差点に新たな交通集中が生じる可能性がある。このため、個々のボトルネックを独立して扱うのではなく、対策後の交通流の変化を考慮しながら段階的に対策を検討する必要がある。

そこで本研究では、柏崎刈羽原子力発電所の原子力災害発生時を対象として避難交通シミュレーションを実施し、避難交通によって発生するボトルネックを把握する。さらに、信号現示の変更を中心とした交通対策を適用し、対策前後の避難完了時間および交通状況を比較する。最終的には、避難時間短縮に有効な対策とその実施順序を検討することを目的とする。

2. 避難交通需要の設定

2.1 対象地域および交通の分類

対象地域は柏崎刈羽原子力発電所から 30 km 圏内を中心とする。原子力災害時には、発電所に近い PAZ とその外側の UPZ で避難開始条件が異なるため、本研究では全避難車両を同時に発生させ

ず、避難区分および避難手段に応じて時間帯別に交通需要を与える。対象とする交通は、通常交通、発災直後の初動交通、PAZ の自家用車避難およびバス避難、UPZ の自主避難、自家用車避難およびバス避難とする。

表-1 シミュレーションで考慮する交通区分

区分	内容
通常・初動交通	平常時交通、発災直後の帰宅等の交通
PAZ 避難	自家用車避難、バス避難
UPZ 避難	自主避難、自家用車避難、バス避難

2.2 時間帯別 OD の設定

避難交通シミュレーションでは、避難車両の総発生量だけでなく、避難開始時刻の違いを表現することが重要である。そこで、既往研究で作成された OD²⁾を基本とし、避難行動に関するアンケート結果等を用いて、避難区分ごとの発生時間分布を設定する。各 D ゾーンから発生する交通量を時間帯別に配分し、発災後の交通需要の時間変化を表現する。

表-2 OD 区分別の時間帯発生割合

OD 区分	時間帯別発生割合
初動交通	0～1 h : 25%, 1～2 h : 25% 2～3 h : 20%, 3～4 h : 20%, 4～5 h : 10%
PAZ 自家用車	1～2 h : 90%, 2～3 h : 5%, 3～4 h : 5%
PAZ バス	1～2 h : 90%, 2～3 h : 5%, 3～4 h : 5%
UPZ 自主避難	1～2 h : 70%, 2～3 h : 20%, 3～4 h : 10%
UPZ 自家用車	4～5 h : 70%, 5～6 h : 20%, 6～7 h : 10%
UPZ バス	4～5 h : 60%, 5～6 h : 25% 6～7 h : 10%, 7～8 h : 5%

注) h は発災後経過時間を示し、各割合は各 OD 区分の総発生量に対する割合である。

2.3 時間設定の根拠

避難準備時間に関するアンケートでは、約 70% の世帯が 1 時間以内に避難準備を完了すると回答

している²⁾。この傾向を踏まえ、避難交通は発災後に一斉に発生するのではなく、避難区分ごとに時間帯を分けて発生させる。また、PAZとUPZでは避難開始の条件が異なるため、同一の時間分布は用いず、それぞれに発生開始時刻と発生割合を設定する。

初動交通は、発災直後の帰宅等による移動を表現するため、0～1時間25%、1～2時間25%、2～3時間20%、3～4時間20%、4～5時間10%とする。PAZの自家用車避難およびバス避難は早期に避難が開始されることを考慮し、1～2時間に90%、2～3時間に5%、3～4時間に5%を発生させる。

UPZ自主避難は、正式な避難開始より前に自主的に移動する交通として発災後1時間から発生させ、1～2時間70%、2～3時間20%、3～4時間10%とする。これは、避難準備が1時間以内に完了する世帯が約70%であるというアンケート結果を参考にした設定である。

UPZ自家用車避難は、PAZ避難等の先行交通との時間差を考慮し、4～5時間から開始する。発生割合は4～5時間70%、5～6時間20%、6～7時間10%とする。UPZバス避難も4～5時間から開始するが、集合場所への移動、配車、乗車等に時間を要することを考慮し、4～5時間60%、5～6時間25%、6～7時間10%、7～8時間5%とし、自家用車避難より分散させる。

2.4 ODデータの構成

本研究では、発災時刻を10時とし、発災前の9時から10時までを通常交通として設定する。発災後は、通常交通に加えて初動交通、PAZ避難、UPZ自主避難、UPZ避難を時間帯別に発生させる。ODのゾーン区分には既往研究²⁾で用いられたDゾーンを基本として用い、各ゾーン間の移動量を発生・集中交通量として設定する。

各OD区分について、総発生量に表-2の時間帯別発生割合を乗じることで、各時間帯の発生交通量を作成する。これにより、発災直後の帰宅等による移動、PAZの早期避難、UPZの自主避難およびその後の正式な避難が時間の経過とともに重なって発生する状況を表現する。また、自家用車避

難とバス避難を分けて設定することで、避難手段による発生時刻の違いを考慮する。

3. 避難交通シミュレーションの構築

3.1 道路ネットワーク

道路ネットワークはOpenStreetMap³⁾の道路データをGIS上で整理して構築し、避難交通に使用される主要道路を中心に抽出する。歩道や自動車交通に使用しない道路は除外し、交差点や道路端点の接続関係を確認する。また、道路種別、車線数、走行速度、一方通行等の属性を設定する。道路属性に欠損がある場合には、道路種別に応じた代表値を暫定的に設定し、主要避難経路やボトルネック候補周辺については実道路条件を個別に確認する。現在のGISデータには主要道路60,947線分、信号点1,227点が含まれており、これらをSOUNDのノード・リンク形式へ変換して解析用ネットワークを作成する。なお、SOUNDへの変換後はネットワーク構造が整理されるため、最終的なノード数およびリンク数は変換後のデータから集計する。

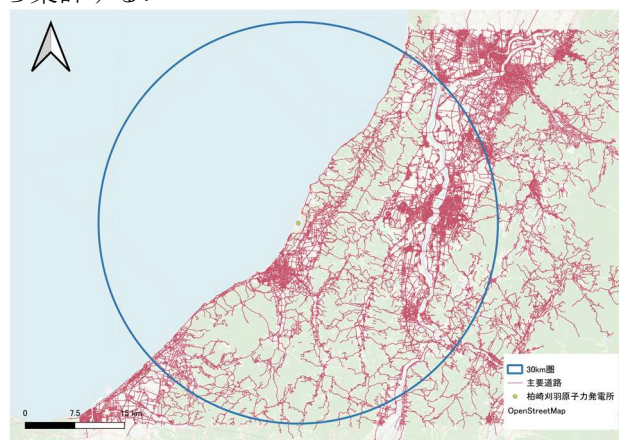


図-1 対象道路ネットワークおよび30 km圏

3.2 SOUND入力データの構成

SOUND⁴⁾で解析を行うためには、道路ネットワークを表すノード・リンクデータに加えて、発着ゾーン、ゾーンとノードの対応、ゾーンと道路の対応、OD交通量、計算時間、車種、経路選択、信号制御等の入力データを設定する必要がある。本研究では、これらの入力項目の関係を把握するため、提供されたTutorialのサンプルデータを用いてシミュレーションを実行し、計算が完了することを確認した。

実解析では Tutorial の入力形式を基礎とし、ノード・リンク、発着ゾーン、OD 交通量および信号データを本研究対象のデータへ順次置き換える。特に、本研究は 30 km 圏を含む広域ネットワークを対象とするため、D ゾーンとネットワーク上の発着位置との対応付けや、多数のリンクに対する属性設定を手作業のみで行うことは困難である。このため、ゾーンの位置情報や道路属性を用い、必要に応じて変換処理を自動化して入力データを作成する。

経路選択については、Tutorial で用いられている確率的に複数経路を選択する設定を基本とする。これにより、すべての車両が単一の最小コスト経路だけを選択するのではなく、複数の経路へ交通が分散する状況を表現する。避難交通では時間の経過に伴って混雑状況が変化するため、この経路選択設定を用いて広域ネットワーク内の交通流の変化を再現する。

3.3 SOUND による解析

本研究では、交通シミュレーションシステム SOUND を用いて避難交通を再現する。構築した道路ネットワークに通常交通および時間帯別の避難交通需要を入力し、避難開始後の交通状況を再現する。解析では、避難車両の走行ログにより避難完了時間を算出するとともに、リンクごとの旅行時間、走行速度等の出力値を用いて交通状況を把握する。また、これらのリンク出力を GIS 上で可視化し、交通量の集中、速度低下、滞留が継続する区間を確認することで、避難交通上のボトルネックとなる交差点・道路区間を抽出する。

3.4 信号データの設定

信号データは、対象交差点ごとにサイクル長、各現示の青時間等を設定する。現況に近い信号設定が得られる交差点についてはその値を基準ケースに用い、詳細な設定値が得られない交差点については、交差方向へ同程度の青時間を配分するなどの仮設定を与える。一方、主要な交差点や避難交通への影響が大きい地点については、個別に信号条件を確認し、通常時の条件と避難交通を考慮した条件の比較が可能なデータを作成する。

4. 信号現示変更の評価方法

本研究では、通常交通を想定した信号現示を基準ケースとし、その条件のまま避難交通を流した場合の交通状況を把握する。その後、柏崎刈羽原子力発電所から 30km 圏内の対象信号交差点について、避難交通需要を考慮した信号現示を設定し、同一の道路ネットワークおよび避難交通需要を用いて再度シミュレーションを行う。両ケースについて、避難完了時間、避難完了率、滞留状況および渋滞発生状況を比較し、信号現示変更による避難時間短縮効果を評価する。さらに、信号現示変更後にも残存するボトルネックを抽出し、信号制御以外の対策が必要な地点を把握する。

信号現示の検討では、30 km 圏内の対象信号交差点全体を対象とし、避難完了時間の短縮を評価の中心とする。避難方向への青時間配分等を変更し、通常時の信号条件に対して避難完了時間がどの程度短縮するかを比較する。信号現示を最適化として扱う場合には、避難完了時間を目的関数、青時間配分やサイクル長等を操作変数とし、最低青時間や黄・全赤時間等の安全上必要な条件を制約条件として設定する。

評価では、基準ケースの避難完了時間を T_0 、信号現示変更後を T_1 とし、 $T_0 - T_1$ を短縮時間として整理する。また、短縮率を $(T_0 - T_1) / T_0 \times 100$ として算出する。避難完了時間だけでなく、時間帯別のリンク速度や旅行時間の変化を比較し、信号制御によって改善した区間と、改善後にも低速状態や滞留が継続する区間を区別する。これにより、信号制御で対応できるボトルネックと、道路改良等の追加対策が必要なボトルネックを整理する。

5. シミュレーションモデルの構築状況

本稿提出時点では、柏崎刈羽原子力発電所周辺を対象とした広域道路ネットワークを SOUND へ入力し、ノード・道路リンク・シミュレーションリンクおよび発着ゾーンを読み込んだ状態で、シミュレーションを実行できる環境を構築した。また、既往研究で用いられた D ゾーンを基礎として発着ゾーンを設定し、PAZ・UPZ の避難先についても道路ネットワークとの対応付けを行った。

避難交通需要については、既往研究の OD を基礎とし、表-2 に示した時間帯別発生割合を反映した OD データを作成している。さらに、対象ネットワーク上の信号交差点について信号現示データを入力し、SOUND 上で信号設定を含む計算を実行できることを確認した。これにより、通常時の信号条件と避難交通を考慮した信号条件を同一ネットワーク上で比較するための解析環境を整備した。

一方、本稿提出時点では、避難交通を入力した各ケースの計算結果を用いた避難完了時間、リンク速度、滞留状況およびボトルネックの比較・整理には至っていない。このため、本稿では信号現示変更による避難時間短縮効果などの解析結果は示さず、モデル構築および解析条件の設定までを報告する。本稿提出後も解析を継続し、11 月の発表時には、基準ケースと信号現示変更ケースの比較結果、主要なボトルネックの発生状況および避難完了時間への影響を報告する予定である。

6. おわりに

本研究では、柏崎刈羽原子力発電所発災時の避難交通を対象として、時間帯別交通需要を考慮した避難交通シミュレーションの構築を進めた。本稿提出時点では、道路ネットワーク、発着ゾーン、OD 交通量および信号現示データを SOUND へ入力するためのデータ整備を行い、対象ネットワークを用いたシミュレーションを実行できる環境を構築した。今後は、通常時の信号現示を用いた基準ケースと、避難交通を考慮して信号現示を変更したケースを比較し、避難完了時間、滞留状況およびボトルネックの変化を評価する。さらに、信号制御のみでは解消できない箇所を整理し、避難交通対策の実施順序を検討する。

参考文献

- 1) 新潟県：新潟県原子力災害広域避難計画，2026.
- 2) 長井大樹，佐野可寸志，西内裕晶：柏崎刈羽原子力発電所の事故発生時避難行動分析とボトルネック対策による早期渋滞完了の可能性検討，修士論文，長岡技術科学大学大学院工学研究科環境システム工学専攻，2015.
- 3) OpenStreetMap contributors : OpenStreetMap, <https://www.openstreetmap.org/> (2026 年 10 月 14 日閲覧) .
- 4) 株式会社アイ・トランスポート・ラボ：SOUND (コンソール版) 使用マニュアル，2024 年 10 月.