

柏崎刈羽原子力発電所の事故発生時避難シミュレーションの開発

環境システム工学課程

4年 09105889

都市交通研究室 長井 大樹

指導教員 佐野 可寸志

1. 研究背景と目的

東日本大震災は 2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃に発生したマグニチュード 9.0、最大震度 7 の大地震で、それに伴い福島第一原発の 1、2、3 号機、福島第二原発の 1、2、3、4 号機が緊急停止した。しかし第一原発の 2 号機は冷却水循環系に異常が発生し、冷却水を注入するための予備電源も故障した。その結果電源が喪失したために炉心融解（メルトダウン）が発生し原子力緊急事態宣言が発令された。その後 12 日 15 時 36 分頃福島第一原発で爆発が起き国際原子力事象評価尺度レベル「7」の重大事故に発展した。その影響で最大半径 30km 以内の範囲に避難勧告が発令され住民は避難を余儀なくされた。この事故により原発の安全神話は崩壊し、今までの危機管理の甘さが露呈することとなった。よって改めてこのような重大事故が発生した際の対策案を検討することが重要視されている。原発災害の避難対策を検討するにあたって、最も被害の大きい原発事故となった福島原発の事故からこれまでの推定よりも避難範囲の拡大と避難対象者増加に伴う交通状況の変化を推定し、より広範囲で綿密な避難計画を立てなければならない。本研究では柏崎刈羽原発で福島原発と同程度の原子力事故が発生した場合の交通情報を Paramics を用いてシミュレーションし、災害時の避難状況を渋滞箇所や車両の移動傾向などから分析することによって、実際に災害が発生した場合の交通状況を推定する。そしてネットワーク内からボトルネックの抽出を行い、その緩和策を推定・実施するこ

とで交通渋滞の緩和効果を評価する。さらに柏崎市内にスマート IC を設置し、それによる交通状況の変化を分析する。

2. 研究の手順

研究手順は図の通りである

ネットワーク基盤の作成

- Paramics による長岡市ネットワークの作成
- 信号、速度制限、ゾーンのパラメータの設定



OD 表の作成

- 道路交通センサスと町丁目別世帯数データによる避難 OD 表と帰宅 OD 表の作成
- 小中学校の校区と児童数データによる送迎&帰宅 OD 表の作成



シミュレーションの実行・評価

- 作成した各 OD の時間帯配分
- 実行後のグリッドロックの改善
- ボトルネックの抽出と交通容量による評価



ボトルネックの改善

- ボトルネックの改善策の推定・検討
- スマート IC の追加による交通状況の変化

3. ネットワークの条件設定

シミュレーションを行うための条件をまとめると以下の通りである。

- ・図 3-1 のように柏崎原発から半径 30km の境界線をコードンラインとし、その内側の地域を避難範囲とする。
- ・センサスの B ゾーンを町丁目別に細分化した D ゾーン(仮称)を使用する
- ・交通手段は乗用車に限定して行う
- ・発生する避難車両は 1 世帯につき 1 台とする
- ・OD の発生時間は午前 10 時から 12 時間とする
- ・OD 発生から避難開始とし、最後の車両がコードンライン外のゾーンに集中した時間を避難完了時間とする。



図 3-1 ネットワークの作成範囲

4. OD 表の作成

今回作成する OD 表は目的別に以下の 3 種類に分類した。

- ・送迎&帰宅 OD：避難範囲の小中学校に迎えに行き、帰宅する OD
- ・帰宅 OD：避難する準備をするために職場などから帰宅するときの OD
- ・避難 OD：設定したコードンライン外に避難する OD

以上の 3 種類の OD 表をそれぞれ別の方法で作成する。

4-1 送迎&帰宅 OD の作成

送迎&避難 OD の作成には小中学校の児童数・校区のデータを使用する。まずコードンライン内の小中学校と校区を作成したネットワークとデータを用いて D ゾーンに対応させる。次に送迎は校区ゾーン→学校ゾーン、帰宅はその逆方向に向かうように OD 表を作成する。次に発生させる車両数を求める。まず平均出生子供数から一世帯あたりの子供数を求め、さらに送迎に来る家庭は全体の 2 割と仮定する。次に以下の式により発生させる交通量を求めた

$$\text{発生交通量} = \text{児童数} \times \text{平均出生子供数}(1.98) \times 0.2$$

4-2 帰宅 OD 表の作成

帰宅 OD 表の作成にはまず H22 道路交通センサスの個票データを用いる。個票データはコード化されているので付属しているコード表を用いて質問項目別に分類し、Excel のフィルタ機能などを用いてコードンラインを境界線とした内内帰宅 OD と外内帰宅 OD の 2 つに分けて抽出する

4-2-1 内内 OD 表の作成

内々 OD 表の作成には更に地区別世帯数データを使用する。センサスのデータは B ゾーンのデータなのでまず B ゾーンの OD 表を作成する。D ゾーンは B ゾーンを細部化したものなので図 4-1 のように B ゾーンの OD 表 1 マスの中に D ゾーンの OD 表が内包されている。よって B ゾーンデータをネットワークで使用するためには D ゾーンに対応させるため分配する必要がある。分配には D ゾーンの世帯数の比に基づき、VBA プログラムを使用して D ゾーンの OD 表では OD が同じゾーンに値が入らないようにならないように条件を設定したうえで作成する。

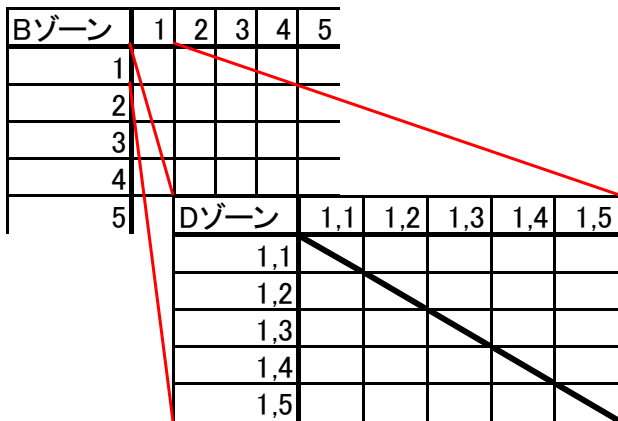


図 4-1 内々OD の作成モデル

4-2-2 外内 OD 表の作成

次に外内 OD 表の作成を行う。外内 OD の場合、センサスのデータでは OD の発生地点がネットワーク範囲外の B ゾーンなのでセンサスのコード表を用いて発生地点のエリアを特定し、そのゾーンの場所からネットワークの外側に設定した避難ゾーンの中で最も近いゾーンを発生ゾーンとして選択する。集中先は B ゾーン的数据を D ゾーンの世界帯数の比により分配し、OD 表を求める。まずセンサスのデータから抽出したデータのうち、出発地のゾーンを D ゾーンに置き換える。センサスの個票を質問項目別に整理した際に使用したコード表を用いて出発地の B ゾーンを所在地を割り出し、その箇所からネットワークで最も近い避難ゾーンを選択していく。次に集中ゾーンを D ゾーンに置き換える。まず集中ゾーンに対応した発生ゾーンを割り当てる。その後 B ゾーンに内包されている D ゾーンの世界帯数の比を用いて発生 OD ごとの収束先を決定していく。

以上の 2 つの方法で求めた内々 OD と外内 OD を足し合わせることで帰宅 OD 表を作成した。

4-2-3 避難 OD 表の作成

避難 OD は作成したネットワークと地区別世帯数データを用いて推定する。まずは避難範囲内の D ゾーンを避難先(集中ゾーン)を決定する。集中先は山岳部を避けた避難ゾーンの内、最短で避難範囲外に出ることができ、かつ市街地などの混雑を回避し郊外に向かう箇所を選択する。その今回のシミュレーションで使用する避難ゾーンは北・南東・南西に合計 6 箇所とする。東側と南側は山岳地帯になるので今回は避難先として指定しなかった。避難先の選択は B ゾーン単位でセンサスマップとネットワークを用いて設定し、その後 B ゾーンに対応した D ゾーンから集中ゾーンへ各 D ゾーンの世界帯数の数だけ車両を発生させるように OD 表を作成する。

5. シミュレーション実行とボトルネック抽出

シミュレーションを実行する。ネットワークに入力する OD 各 OD を表 5-1 のように種類別に配分し、12 時間の時間帯 OD として使用する。加えてシミュレーション時間前後にネットワーク内に存在する交通として warm up と cool down の OD を設定し、シミュレーションの開始直前と直後にそれぞれ配分した時間帯 OD の最初と最後の OD の 10% を warm up と cool down としてネットワークに入力しておく。

OD\時間(h)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	合計
送迎&帰宅OD(%)	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
帰宅OD(%)	30	30	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	100
避難OD(%)	0	5	7.5	7.5	12.5	10	10	10	10	10	10	7.5	100

表 5-1 各 OD の時間帯配分

シミュレーションを実行した結果から、避難時間を求める。発生ODは warm up と cool down も含めて14時間あるのでまず出発時間を求める。到着時間に所要時間を引くことでそのトリップの発生時刻を求めることができ、発生時刻が13:00:00未満のOD、つまり発生ODの12時間目までに発生したODを抽出する。そして抽出したトリップの到着時間が最大のものが発生ODで最後に避難したODとなる。その時間からシミュレーションの開始時間を引くことで、避難時間を求めることができる。このシミュレーションの避難時間を求めた結果13時間27分だった。

次にボトルネックの抽出を行う。抽出はシミュレーション結果から目視で抽出する。その結果以下の箇所をボトルネックとして抽出した。

表 5-2 抽出したボトルネックの名称

NO.	交差点名	進行方向	車線数
1	見附IC	入口	3
2	長岡IC	入口	3
3	小千谷IC	入口	2
4	柏崎IC	入口	2
5	浦	直進	1
6	米山IC入口	左折・直進	1

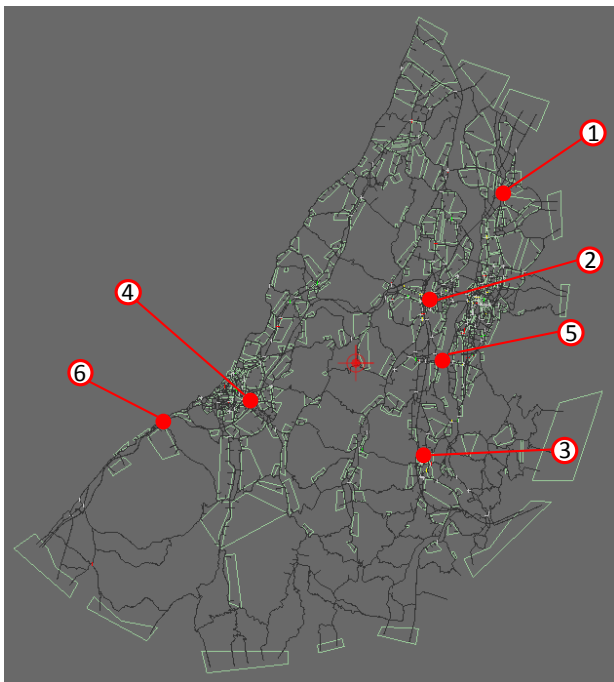


図 5-1 抽出したボトルネック NO. の位置

6. 信号制御改良とスマート IC 増設による効果

まず抽出したボトルネックの需要率を求める。需要率は交通量：Q と交通容量：C を用いて以下の式 4-1 を用いて求める。需要率は 0.8 以上で渋滞が発生、0.9 以上で信号が一巡しても車がさばききれなくなる。

$$\text{需要率} = \frac{Q}{C} \quad \begin{array}{l} Q: \text{時間帯あたりの交通量(台/時)} \\ C: \text{交通容量(台)} \end{array}$$

式 6-1 需要率の導出式

上式により各ボトルネックの需要率を計算した結果以下のようにになった

表 6-1 各ボトルネックの需要率

NO.	交差点名	需要率					
		1	2	3	4	5	6
1	見附IC	0.20	0.68	0.82	0.94	0.76	0.86
2	長岡IC	0.38	0.77	0.80	0.68	0.82	0.79
3	小千谷IC	0.26	0.69	0.86	0.97	0.91	0.72
4	柏崎IC	0.36	0.47	0.50	0.56	0.91	0.85
6	浦	0.48	0.86	0.88	0.89	0.85	0.65
7	米山IC入口	0.07	0.74	0.83	0.85	0.84	0.75

計算した結果、需要率は3時間以降から0.8を超える箇所ばかりで渋滞が発生したためこの混雑を緩和するためにボトルネック箇所の修正を行う。混雑を改善するためにボトルネックの交通容量を増加させるためにICではETCレーンの追加、信号交差点では表6-1で求めた需要率が0.8以下になるように信号青時間を増加させた。その結果、ボトルネックの交通量が以下のように変化した

表 6-2 ボトルネック改良前後の交通量変化

NO.	交差点名	開始6時間までの交通量		
		改良前(台)	改良後(台)	差(台)
1	見附IC	9383	9586	203
2	長岡IC	9320	9728	408
3	小千谷IC	6615	7366	751
4	柏崎IC	5472	4820	-652
5	浦	4865	5292	427
6	米山IC入口	4285	5281	996

ボトルネック改良により多くの車両を通すことに成功した。柏崎 IC の車両が減少し米山 IC 入口の車両が増加したのは信号交差点の改良により柏崎 IC を利用していた車両が沿岸道路を利用して米山 IC の方へ移動したためと思われる。この改良によって避難時間は 13 時間 9 分となり改良前と比べて 17 分短縮された。

次にネットワーク内にスマート IC を 1 箇所設置し、その影響を調べる。スマート IC は以下の図 6-1 の位置に設置し、名称を仮に柏崎スマート IC とする。



図 6-1 スマート IC の設置位置

スマート IC を追加した結果、交通量は以下のようになった。

表 6-3 スマート IC 追加後の交通量

ボトルネック			交通量(台)					
IC名	進行方向	車線数	1h	2h	3h	4h	5h	6h
柏崎IC	入口	3	520	756	749	778	1224	897
米山IC入口	左折・直進	1	74	745	1063	1061	1086	1087
柏崎スマートIC	新潟側入口	1	77	74	75	58	57	60
	上越側入口	1	65	99	128	167	181	100
	上越側出口	1	166	215	80	76	18	0

表 6-4 スマート IC 追加後の交通量の差

ボトルネック			交通量(台)					
IC名	進行方向	車線数	1h	2h	3h	4h	5h	6h
柏崎IC	入口	3	88	155	71	9	8	-227
米山IC入口	左折・直進	1	1	-48	-19	-66	-22	-11

スマート IC 追加後は帰宅車両が市街地から郊外へ向かう、またはその逆方向へ向かう場合に柏崎 IC およびスマート IC を利用するケースが増加し、柏崎 IC の利用率も増加した。避難する場合もスマート IC を利用する車両が見られ、米山 IC 入口の車両数が減少していることから、柏崎 IC を利用せずに沿岸道路の国道 352 号線や国道 8 号線を経由して米山 IC またはそのまま国道 8 号線で避難していた原発周辺の地域がスマート IC を利用して避難したと考えられる。よってスマート IC を設置することによって高速道路への交通の集中を拡散することができると考えられる。スマート IC を追加した場合の避難時間は 13 時間 18 分となり設置前と比べて 8 分の短縮となった。咲くほどのボトルネック交差点の改良と合わせた場合の避難時間は 13 時間 3 分となり 23 分の短縮効果が見られた。

表 6-5 各シミュレーションの避難時間

シミュレーション条件	改良前との差
ボトルネック改良後	0:17
スマートIC追加後	0:08
両施策導入後	0:23

6. まとめ・考察

今回のシミュレーションによってボトルネックの改善及びスマート IC の設置により最大 23 分の避難時間の短縮が見られた。しかし今回はネットワークの信号現示を長岡市以外で現状再現することができなかつたため、その範囲の信号データを改良し、オフセットを現状に合わせ、高速道路の設定の改良を行えばさらに避難時間を短縮することが可能である。さらにアンケートを実施し、住民思考に合わせたリアルティのある OD 表を作成することができると考える。