

Petri Net を用いた津波避難シミュレーション手法の開発と 地区避難安全性評価への適用

兵庫県 正会員 ○藤原 康寛 徳島大学大学院 正会員 成行 義文
徳島大学大学院 学生員 源 貴志 徳島大学大学院 正会員 三神 厚

1. はじめに 次の南海地震は今後 30 年以内に約 50～60% の確率で発生し¹⁾、徳島県における津波による死者は約 1700 人と予測されている²⁾。津波による犠牲者を出さないためには、津波ハザードの高い地域の住民全員を地震発生後速やかに避難させることが最善の策である。そのためには全住民参加の避難訓練を通して避難活動における問題点の事前抽出を行うとともに住民個々の避難意識向上を図っておくことが望ましい。しかしながら、全住民参加の避難訓練の実施は容易ではなく、この代替手段として近年避難シミュレーションが注目されている。著者らは Petri Net (ペトリネット) を用いた避難シミュレーションモデル³⁾を既に構築しているが、経路選択および情報伝達に不十分な点があった。このような観点より、本研究では既往の手法³⁾をより現実的な挙動を示すように改良した。そして、徳島県阿南市の津波ハザードの高い実在地区を対象として津波避難シミュレーションを行い、その結果に基づいて対象地区の避難安全性について検討した。

2. ペトリネット避難シミュレーションモデル 本研究での避難シミュレーションの流れを図-1 に示す。図-1⑥～⑧で用いたペトリネットは、プレース、アーク、トランジション、トークンから構成されるモデルである。これを用いて道路ネットワークを図-2 のようにモデル化した(図-1⑥)。ノード(家屋、交差点、避難場所等)はプレースで、リンク(道路)はトランジションとアークによりモデル化した。人はトークンとし、トランジションを順次動作させ、全トークンを目的地へと移動させることにより、動的な避難シミュレーションが可能である。

3. 経路選択方法および情報伝達 既往の手法³⁾からの改良点を中心に示す。各プレースには最短経路探索により予め「各一次避難場所まで最短経路を辿るためには、現在のプレースから次にどのトランジションを介して移動すべきか」の情報を与えておく。このとき、予め道路閉塞箇所を設定し、各閉塞箇所が通れる場合と通れない場合についての情報を与えている。また、各トークンは道路閉塞箇所に着くか、対向するトークンから閉塞箇所の情報を取得することにより新たに閉塞箇所を知ることができる。そして、各トークンは既知の閉塞箇所を通らない最短経路情報に基づいて移動する。さらに、一次避難場所の収容定員を超えてトークンが移動してきた場合には、最寄りの別の一次避難場所に目的地変更する。この定員超過の情報についても対向するトークンとの情報伝達が考慮できるようにした。

4. 歩行速度 通常は表-1 に示す基本歩行速度で移動する。坂道や階段、道路混雑時(表-2)には基本歩行速度を低下させる。また、プレースのトークン数が多くなった場合はその手前のトランジションを介して移動する全トークンの歩行速度を 0m/s とする。

5. シミュレーション条件 過去の南海地震による津波被災経験を有する徳島県阿南市津乃峰町内で比較的活発に自主防災会活動が行われている長浜西 3・4 組防災会、津乃峰団地自主防災会、四宮団地自主防災会が組織されている地区(以下、長浜西地区、津乃峰地区、四宮地区と

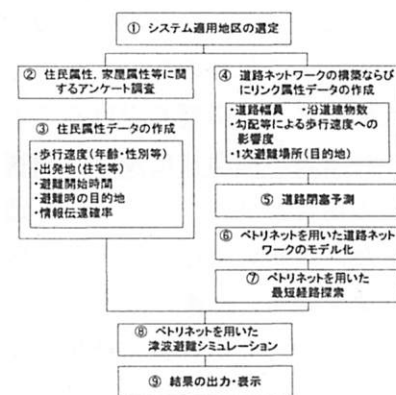


図-1 シミュレーションの流れ

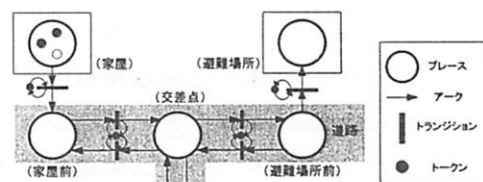


図-2 ペトリネットによる道路ネットワークのモデル化

表-1 基本歩行速度⁴⁾

年齢(歳)	男性(m/s)	女性(m/s)	年齢(歳)	男性(m/s)	女性(m/s)
0～4	親と同じ速度		45～54	1.30	1.17
5～9	1.00	1.00	55～64	1.20	1.08
10～14	1.20	1.20	65～74	1.00	0.90
15～34	1.50	1.30	75～84	0.90	0.81
35～44	1.40	1.26	85～	0.80	0.80

表-2 リンク密度と歩行速度の相関⁴⁾

リンク密度(人/m ²)	歩行速度
1.5以下	基本歩行速度
1.5超3.8以下	0.5m/s
3.8超6.5以下	0.2m/s

する)を対象とした(図-3)。一次避難場所は図-3に示したA～Cの3箇所である。対象住民数は長浜西地区が159人、津乃峰地区が148人、四宮地区が52人の計359人(住宅数計124戸)である。各住民は世帯毎に移動し、その基本歩行速度はその世帯の中で最も遅い住民の速度とする。また、地震発生7分後に全員一斉に自力で避難を開始するものとした。この地区の沿岸への津波到達時間は地震発生約26分後とされており、この時間までの避難が必要である。

6. 避難完了率曲線を用いた地区避難安全性評価指標 著者らは「その地区においてどの程度安全かつスムーズに津波避難が可能であるか(避難安全性)」を示す指標の検討を行っている⁵⁾。避難完了率曲線を用いて避難の進行状況を判断できるようにした地区避難安全性評価指標 I_{rs} を次式に示す。

$$I_{rs} = \frac{\int_0^{100} (t_a - t_r) dr}{\int_0^{100} t_a dr} = \frac{\int_0^{100} (t_a - t_r) dr}{100t_a} \tag{1}$$

ここで、 t_r ：避難完了率が $r(\%)$ となるときの地震発生からの経過時間、 t_a ：地震発生からの津波到達予想時間。

なお本指標は、標準化パラメータに場所依存性の高い t_a を用いているため、同地区の避難対策の違いが安全性指標値に及ぼす影響、あるいは近接した地区間の相対的な避難安全性等の評価に適している。

7. シミュレーション結果と避難安全性の検討 表-3は各パターンのシミュレーション結果を示したものである。道路閉塞設定箇所X～Zは図-3に示す。表-4はパターン1の各地区の避難完了時間と評価指標値を示したものである。道路閉塞がない場合は津波到達予想時間26分までに避難できており安全であるといえる。しかし、津乃峰地区では評価指標値は他の一地区より高いにも関わらず避難完了時間は最も遅く、一部住民の避難の遅れに注意が必要といえる。

次に、道路閉塞を考慮した場合では、地点X、Yが閉塞するパターン5、11で最も評価指標値が低くなるが、情報伝達の考慮の有無で比較した場合の差もこのパターン5、11で最も大きくなった。したがって、道路閉塞により長距離を引き返す必要がある場合には危険となるが情報伝達の効果は大きいことが確認できた。

また、表-5は「混雑による速度低下」ならびに「坂道・階段による速度低下」の考慮の有無の各組合せに対する結果である。現実的なパターンAとパターンC、Dとの差が大きいことより、対象地区では坂道・階段による速度低下が避難安全性に大きく影響しているのがわかる。したがって、この地区の避難安全性向上のための具体策として、手すりの設置や階段路面の整備等が有効といえる。

8. おわりに 本研究では、既往の避難シミュレーション手法を「道路閉塞時の迂回」、「定員超過による目的地変更」、「情報伝達」等を考慮し得るよう改良し、実在地区を対象として避難シミュレーションを行った。その結果、情報伝達の効果が確認できたとともに、評価指標値 I_{rs} を用いた検討により、対象地区では坂道・階段による歩行速度の低下が避難安全性に比較的大きな影響を及ぼすことが分かった。

9. 参考文献 1) 文部科学省研究開発局地震・防災研究課 地震調査研究推進本部ホームページ <http://www.jishin.go.jp/> 2) 徳島県：徳島県地震動被害想定調査,2005. 3) 藤原康寛,源貴志,成行義文,田中徳一：ベトリネットを用いた津波に対する住民避難シミュレーションに関する基礎的研究,土木学会四国支部第13回技術研究発表会,pp122-123,2007. 4) 日本建築学会：建築設計資料集成－人間,九善,2003. 5) 藤原康寛,成行義文,源貴志,佐藤弘美：津波避難シミュレーションに基づく地区避難安全性評価法に関する基礎的研究,21世紀の南海地震と防災,Vol.3,pp.157-166,2008.

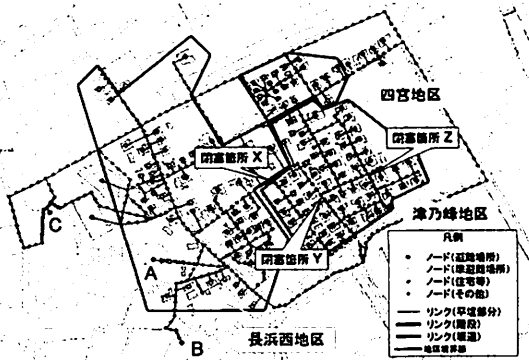


図-3 対象地区の道路ネットワーク

表-3 シミュレーション結果と評価指標値

シミュレーションパターン	前提条件		3地区全体の避難完了時間(地震発生から)	3地区全体の評価指標値 I_{rs}	閉塞なしとの差(%)
	道路閉塞設定箇所	閉塞箇所の情報伝達			
1	なし	—	21分45秒	0.527	—
2	X	無	21分45秒	0.508	3.9
3	Y	無	21分45秒	0.521	1.1
4	Z	無	21分45秒	0.526	0.2
5	X,Y	無	28分28秒	0.469	11.1
6	X,Z	無	21分45秒	0.505	4.1
7	Y,Z	無	21分45秒	0.518	1.7
8	X	有	21分45秒	0.511	3.1
9	Y	有	21分45秒	0.523	0.8
10	Z	有	21分45秒	0.526	0.2
11	X,Y	有	23分22秒	0.488	7.4
12	X,Z	有	21分45秒	0.510	3.3
13	Y,Z	有	21分45秒	0.520	1.4

表-4 地区別避難完了時間と評価指標値(パターン1)

地区名	避難完了時間	評価指標 I_{rs}
長浜西地区	13分40秒	0.600
津乃峰地区	21分45秒	0.488
四宮地区	21分15秒	0.414
全体	21分45秒	0.527

表-5 道路状況考慮の有無による影響

シミュレーションパターン	混雑による速度低下の考慮	坂道・階段による速度低下の考慮	3地区全体の避難完了時間(地震発生から)	避難安全性評価指標値 I_{rs}	パターンAの指標値との差(%)
A	有	有	14分45秒	0.5271	0.00
B	無	有	14分45秒	0.5272	0.02
C	有	無	13分54秒	0.5471	3.80
D	無	無	13分54秒	0.5480	3.97