

ペ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

徳島大学大学院 学生員 ○藤原 康寛 徳島大学大学院 学生員 源 貴志
徳島大学大学院 正会員 成行 義文 ニタコンサルタント 正会員 田中 徳一

1. はじめに 今後、50年以内に約80%の確率で南海地震が発生すると予測されている¹⁾。南海地震のような巨大海溝型地震に伴う津波被害が想定されている地域においては、地震発生後、速やかに安全な場所に避難することが重要であり、住民全員の避難を可能にするための対策を効果的に進めていかなければならない。そのためには、全住民参加の避難訓練を実施し、意識向上を図るとともに、避難活動における問題点を抽出しておく必要がある。しかしながら、現実的には、想定される様々な条件下での避難訓練を実施することは容易ではない。この代替手段として、より現実に近い避難シミュレーションモデルの開発とその利用が考えられる。このような観点より、本研究ではペトリネット²⁾を用いて、避難時における住民個々の基本歩行速度や混雑度等に応じた減速ならびに経路変更等を考慮可能な避難シミュレーションモデルを作成し、それを用いて歩行速度、混雑時の減速、ならびに迂回の有無等が避難完了率に及ぼす影響について比較検討し、若干の考察を加えた。

2. ペトリネットによる道路網ネットワークのモデル化 ペトリネットは図-1に示すように、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。入力プレースにトークンが存在するとトランジションが働き（このことを「発火する」という）、トークンが入力プレースから消去され出力プレースに追加される。ペトリネットでは、このようにトークンがペトリネット内を動くことにより動的な解析ができる。今回、ペトリネットを用いて図-2のように道路網ネットワークをモデル化した。住宅・目的地・交差点等をプレースで、人をトークンでモデル化し、各住宅プレースにトークンを住民数分配置した。また、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。トランジションを順次発火させ、全トークンを目的地へと移動させていくことにより、動的な避難シミュレーションが可能となる。

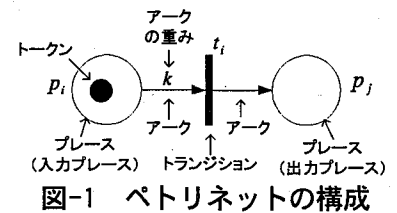


図-1 ペトリネットの構成

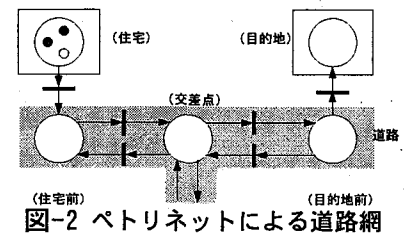


図-2 ペトリネットによる道路網ネットワークのモデル化

3. 人の移動および経路選択の方法 各プレースには予め目的地への最短距離経路の情報を与えており、トークン（人）はその情報に基づいて最短経路を選択しながら移動するが、予め設定した道路閉塞箇所に着いた場合は、閉塞していないリンクをランダムに選択して迂回する。人は、通常は与えられた基本歩行速度で移動するが、リンクごとに、通過する人の歩行速度の増減が設定でき、上り坂や階段などでの歩行速度の低下が考慮可能である。また、道路が混雑したときには歩行速度を低下させ、過剰な混雑のときはその区間への進入を中止する。さらに、他に通行可能なリンクがない場合を除いて、直前に通過したリンクに引返さないものとした。これらは、トランジションが働きトークンが動くための条件（トランジションの発火条件という）として、各トランジションに設定する。

4. シミュレーション条件 構築したアルゴリズムが現実的な道路網ネットワークに対して適用できることを確認するため、図-3に示す徳島県南部の一地区（約0.3km×0.3km）の実際の道路網を使用して、避難シミュレーションを行った。目的地は図-3に示した1箇所のみとする。また、坂道や階段がある区間では、歩行速度が50%低下するものとした。なお、全住宅数は134戸であり、ここでは1戸当たりの住民は4人と仮定して、計536人の解析対象者が全員一斉に避難を開始するものとした。また、幅広い年齢層が同時に避難することを想定し、

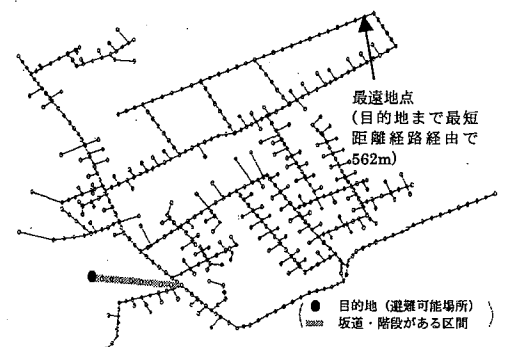


図-3 対象地区の道路網ネットワーク

解析対象者の歩行速度は0.8~1.5m/secの範囲からそれぞれランダムに選定した³⁾。また、道路混雑の影響を考慮する場合は、リンクの密度が1.5~3.8人/m²のとき歩行速度は0.5m/secに低下し、3.8~6.5人/m²のときは歩行速度を0.2m/secとし、密度6.5人/m²以上にならないものとした³⁾。

5. シミュレーション結果の比較と考察

5.1. 道路混雑の影響 津波に対する避難時には、地域住民が一斉に同じ避難可能場所に向けて避難を開始するため、道路が混雑することが考えられる。図-4は混雑による歩行速度低下が避難完了率に及ぼす影響を示したものである。横軸は避難開始からの経過時間、縦軸はその時間までに避難完了した人数の全解析対象者数に対する割合（避難完了率）である。ここでは、迂回は考慮していない。図-4より、混雑による影響を無視した場合は、考慮した場合に比べて、同一避難完了率に対する避難所要時間はいずれも短く、危険側の評価となっている。これは、坂道や階段のある区間で歩行速度が落ちるため後からこの区間を通過する人が追いつき渋滞が発生するが、これを無視したためと考えられる。

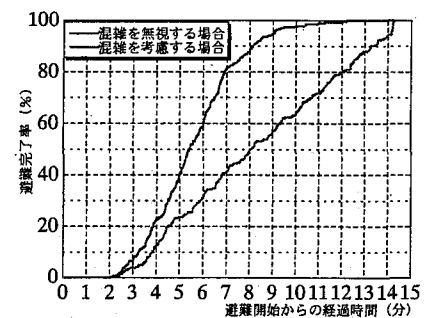


図-4 道路混雑の影響

5.2. 歩行速度の影響 図-5は解析対象者全員の歩行速度を1.5m/secあるいは0.8m/secとそれぞれ固定した場合と、解析対象者の歩行速度を0.8~1.5m/secの範囲でランダムに選定した場合の、避難完了率の経時変化をそれぞれ示したものである。ここでは、道路混雑の影響を考慮し、迂回なしとした。図-5より、歩行速度が速いほど避難が早く完了することが明らかである。また、歩行速度に0.8~1.5m/secの幅をもたせた場合では、最初の避難完了者が出現する時間は、全員の歩行速度が1.5m/secの場合とほぼ同一であるが、全員の避難完了に要する時間は全員の歩行速度が0.8m/secの場合とほぼ同じとなった。これは、歩行速度に幅をもたせた場合も、近接地点に歩行速度が1.5m/secの住民が、また、遠隔地点に歩行速度が0.8m/secの住民がそれぞれ存在したためである。

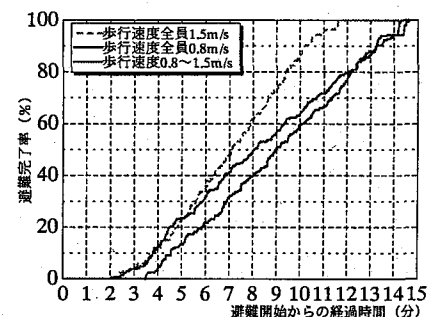


図-5 歩行速度の影響

5.3. 迂回の影響 避難時には道路閉塞や過剰な混雑により、平常時の最短経路を通らず迂回して目的地を目指す場合もある。図-6はリンクの密度が6.5人/m²となった場合には迂回または待機をランダムに選択しながら進む場合（3回の試行）と迂回しない場合の、避難完了率の経時変化をそれぞれ示したものである。ここでは、道路混雑の影響を考慮している。混雑時に迂回した場合は、迂回しない場合に比べて、全体的に避難完了が遅くなる傾向となったが、図-6より、避難開始後7~14分においては迂回が避難完了を促進する現象も見られた。これは迂回によって避難者の集中が緩和されたためと考えられる。しかし、13分以降で残り約10人の避難完了のペースが落ちた理由として、「直前に通ったリンクに引き返さない」、「迂回経路が必ずしも最短経路ではない」、あるいは、「目的地がネットワーク内に1つしかない」等が考えられる。実際、各住民（トークン）の動きを細かく観察すると、一旦目的地から遠ざかる方向へ進んでから再び目的地に向かって進むという状況が見られた。迂回時の経路選択の方法についてはさらに検討が必要であると考えられる。

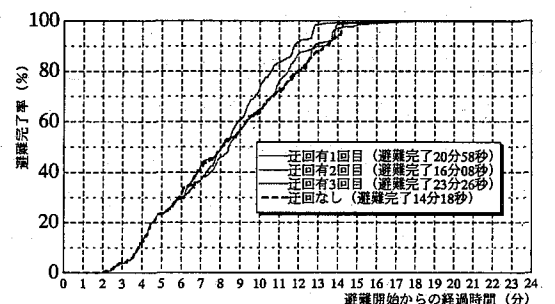


図-6 過剰な混雑時における迂回の影響

したが、図-6より、避難開始後7~14分においては迂回が避難完了を促進する現象も見られた。これは迂回によって避難者の集中が緩和されたためと考えられる。しかし、13分以降で残り約10人の避難完了のペースが落ちた理由として、「直前に通ったリンクに引き返さない」、「迂回経路が必ずしも最短経路ではない」、あるいは、「目的地がネットワーク内に1つしかない」等が考えられる。実際、各住民（トークン）の動きを細かく観察すると、一旦目的地から遠ざかる方向へ進んでから再び目的地に向かって進むという状況が見られた。迂回時の経路選択の方法についてはさらに検討が必要であると考えられる。

6. おわりに 本研究では、ペトリネットを用いて、住民の個別属性や避難時の道路状況を考慮可能な動的シミュレーションプログラムを作成し、実際の道路網ネットワークを用いてその妥当性の検討を行った。その結果、本手法はより現実的な避難シミュレーションを行うために有用であることが分かった。

- 7. 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) 椎塚久雄：実例ペトリネット その基礎からコンピュータツールまで、コロナ社,1992
3) 日本火災学会：火災便覧 第3版,共立出版,1997