

避難シミュレーションによる岐阜市街地防災計画の検討

岐阜大学 正会員 加藤 晃
 岐阜大学 正会員 大野 榮治
 岐阜大学 学生会員 ○ 浅井 誠治
 岐阜大学 学生会員 上野 宜志

1. はじめに

本研究では、都市における避難路および避難地配置計画の有効性を検討するためのシミュレーションモデルの開発を行なう。これに対するアプローチは、従来より各方面でなされてきたが、その多くは住区ごとに避難路および避難地が指定されているという仮定のもとで構築されたものである。本研究で提案するモデルは、ネットワーク状に形成された避難路上での個人の避難行動に着目し、吸収マルコフ連鎖により構築されている。そして、構築したモデルにより、岐阜市街地における防災緑地網計画の有効性を検討する。

2. 避難シミュレーションモデル

避難者の交差点間の遷移確率をロジット公式で与え、吸収マルコフ連鎖によりモデルを構築する。それゆえ、住区ごとに避難路および避難地を指定する必要がなく、延焼などにより避難路が不通になった場合に他の避難路に流れる可能性をもっている。その結果、災害の発生場所によって異なった避難パターンが再現できることは、本モデルの特徴である。

さて、モデルの構築に際し、次のような仮定を置く。

①交差点間の移動に要する時間は、距離と混雑を考慮して計算するが、シミュレーションの単位時間の整数倍とする。②住区から出た者、また避難地に入った者は、それぞれ再び住区に入ったり、また避難地から出たりすることができない。③ある交差点において避難路を選択する場合、「引き返す」という行動を再現するために、いま来た経路も代替案とする。④避難路を選択して交差点を出発したら、必ず次の交差点まで行く。そして、本モデルの構造は、以下のようにになっている。

【避難開始】 石川県の防災意識調査¹⁾において、地震発生後にとる行動として、多数の住民が「発生直後から15分までは近くの安全な場所で待避する」と答えている。そこで、避難開始後10分には全住民が避難開始を完了するものと仮定する。また、住区からの避難者の流出について、次のような仮定を置く。

まず、避難路ネットワークにおいて、住区ノードと交差点ノードを幅員15mの直線道路(仮想リンク)で結び、避難者は住区の中心から接する交差点に向かって移動するものと仮定する(図-1)。ここで、接する交差点がいくつかある場合は、次に述べる交差点上での経路選択と同様にして選択する。住区内に避難地がある場合は、そ

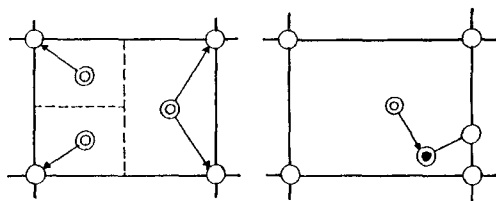


図-1

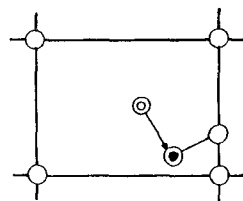


図-2

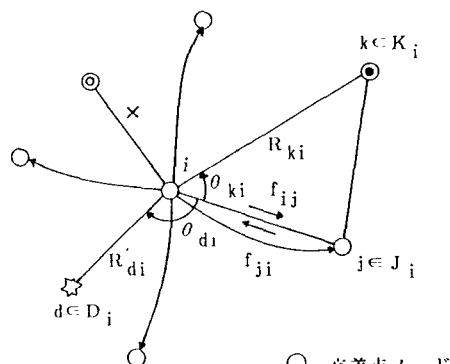


図-3

の両ノードを仮想リンクで直接結び、その住民の避難を優先させる(図-2)。

また、住民の単位時間の流出分布は、簡単化のため等分布とする。

【避難路選択】 ある交差点に移動してきた避難者に対し次の時点でどの避難路を選択して移動するかを考える場合、その行動をその交差点から避難路で接続されている交差点の選択行動として捉える(図-3)。

まず、交差点*i*から避難路で接続される交差点の集合を J_i とし、そこにおける交差点*j*の選択確率 P_{ij} を(1)式のようなロジット公式で与える。

$$P_{ij} = \frac{\exp S_{ij}}{\sum_{j \in J_i} \exp S_{ij}} \quad (1)$$

このとき、住区からのアクセスリンクは代替案として選択できない。ここで、 S_{ij} は安全度を表し、(2)式のように、交差点の位置による安全度 L_{ij} と避難者の流れによる安全度 F_{ij} によって定義する。

$$S_{ij} = L_{ij} + P_{ij} \quad (2)$$

位置による安全度 L_{ij} は、避難地 k との方向角の余弦 $\cos \theta$ 、その収容可能人数 Q に比例し、そこまでの距離 R の 2 乗に反比例するものと仮定する。また、災害地 d との方向角の余弦、その規模 X に反比例し、そこまでの距離の 2 乗に比例するものと仮定し、安全度を (3) 式のように定義する。

$$L_{ij} = \alpha \sum_{k \in K_i} \frac{Q_k \cos \theta_{ki}}{R_{ki}^2} - \beta \sum_{d \in D_i} \frac{X_d \cos \theta_{di}}{R_{di}^2} \quad (3)$$

α, β : パラメーター ($\alpha, \beta > 0$)

ここで、 K_i および D_i は、交差点 i から半径 2 km 以内にある避難地および災害地の集合であり、この距離は前出の意識調査に基づいている。

流れによる安全度 P_{ij} は、避難路 ij における $i \rightarrow j$ の流量を f_{ij} 、 $j \rightarrow i$ の流量を f_{ji} とした場合に、合計流量に対する流出量 f_{ij} の割合に比例し、避難路 ij における合計流量の混雑度に反比例するものと仮定し、(4) 式のように定義する。

$$P_{ij} = \gamma \frac{f_{ij} - f_{ji}}{f_{ij} + f_{ji}} - \delta \frac{f_{ij} + f_{ji}}{C_{ij} W_{ij}} \quad (4)$$

γ, δ : パラメーター ($\gamma, \delta > 0$)

ここで、 C_{ij} および W_{ij} は、避難路 ij の容量および幅員である。

【避難完了】前出の意識調査において、 $i \rightarrow j$ 避難地に到着しても家族の安否を確認するため家族との連絡場所へ向かう」と答えた住民もいたが、ここでは、避難地に到着した避難者は安全が確保されて避難を完了したものと判断する。そして、避難地への避難者の流入について次のような仮定を置く。まず、避難路ネットワークにおいて避難地ノードと交差点ノードを幅員 15m の直線道路(住区と同様な仮想リンク)で結び、そのリンクは前記の理由で避難地への流入のみを許す(図-4)。ここで、避難地の入口が避難路に面している場合、前記の仮定より、避難地が満員で収容できなくなっても通過させることができないので、距離がゼロの仮想リンクで接続する(図

-5)。

また、避難地が大きくて入口がいくつかある場合、避難地の機能を等分割させて対処する(図-6)。

3. 岐阜市街地への適用

東海大地震が警戒されている現在、防災緑地網整備計画の重要性が益々強調されるべきであるが、ほとんどの都市において未整備であるというのが現状であり、岐阜市もその中の一都市である。そこで、本モデルの適用に際し、以下の方法で避難路および避難地を配置した。まず、防災施設の整備基準より、幅員 15m 以上の道路を避難路として設定した。その際、現在供用されている道路だけではネットワークを形成しないため、都市計画決定された道路も含めた。一方、トンネルなどのような避難路として不適確な道路は除いた。また、対象とする地域は岐阜市環状線内の住宅密集度が高い地域である。しかし、現在指定されている避難地だけでは対象地域の全住民を収容しきれないため、今後の防災計画を策定する上で有用と思われる場所も仮想避難地として設定した。なお、設定した避難地は、100,000m²以上の広域避難地が1箇所、10,000m²以上の避難地が15箇所、1,000m²以上の一時避難地が35箇所、10,000m²以上の仮想避難地が15箇所である。

岐阜市街地における避難シミュレーションの結果は、当日発表ということで省略するが、その出力内容は、①時間の経過に伴う各ノード(住区・交差点・避難地)上の住区別避難者数の変化、②時間の経過に伴う各住区の避難完了者数の変化、③避難完了時の各避難地における住区別避難者数、④避難完了時の各避難路における累積通過人数である。

4. まとめ

本モデルの特徴は前述のとおりであるが、さらに、避難路選択に対して制御可能なモデルであるため、選択確率式のパラメーター $\alpha \beta \gamma \delta$ の値を大きくすることにより、非常時の人々の集団心理に基づく行動に近い状況を再現することもできる。しかし、全く誤った情報下での集団行動は再現できない。

避難シミュレーションの目的は、地域の避難路および避難地配置計画の有効性を検討することである。本モデルによるシミュレーションより、その結果として出力される各避難路上の累積通過人数および各避難地の到着人数に基づいて、パニックを避けるための適切な避難路および避難地配置計画、また適切な避難誘導の方法などを検討することができるであろう。

【参考資料】

- 1) 北陸経済調査会 (1985) 『石川県における災害と防災システム—都市地盤と地震に関する報告書』

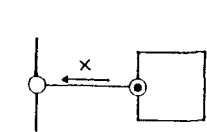


図-4

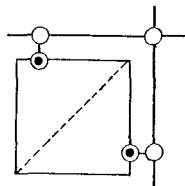
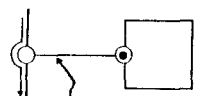


図-6



図-5



距離ゼロの仮想リンク