

ペトリネットシミュレータの避難シミュレーションへの適用化研究*

Application Study of Petri Net Simulator for Human Evacuation Behavior Simulation*

二神 透**・木俣 昇***

By Tohru FUTAGAMI**・Noboru KIMATA***

1. はじめに

大震時の避難計画を考える上で、人間の空間利用の現況下における避難行動を把握することは、人的被害を軽減するための空間設計のみならず避難計画を立案する上で重要となる。例えば、1995年の阪神淡路大震災は、人が活動を始める前の早朝に発生したため、犠牲者の多くは倒壊した住居建物による圧死であった。そのため、現在、密集市街地の解消や、住宅の耐震化などの対策が考えられている。しかし、先般の地震が多くの市民の都市空間活動時間帯に発生したとすれば、当然、被害の大きさも様相も大きく異なっていたであろう。仮にそのような時間帯に地震が発生していたならば、犠牲者の多くは集客の多い大規模施設や、地下街・ビル等の閉空間に発生し、構造物の耐震性・避難計画がクローズアップされたであろう。上述したように、大震時の避難計画を考えるうえで、人の集まる空間の耐震性・避難安全性・避難誘導を事前に検討しておくことは、複雑多様化する都市施設空間の安全性を確保するために必須の事項と言えよう。

本稿では、まず、従来の避難行動に関する研究を整理し、空間における避難行動モデルの考え方・手法を整理する。つぎに、ペトリネットの特徴である空間表現の明示性と状態の付加的操作性を活かした避難行動モデルの基本ネットを提案し、それらの結合化による避難シミュレーションの可能性と特徴

*キーワード：計画情報，防災計画，シミュレーション

**正員，学博，愛媛大学工学部環境建設工学科

(松山市文京町3，

TEL089-927-9837, FAX089-927-9837)

***正員，工博，金沢大学工学部土木建設工学科

(金沢市小立野2-40-20，

TEL0762-34-4914, FAX0762-34-4915)

について検討する。

2. 避難行動モデル

従来より、様々なアプローチによる避難行動モデルに関する研究が行われている。例えば、社会心理学の分野では災害時のパニック発生のメカニズムや情報処理過程のモデル化を試みた研究や、迷路実験のように、煙の中の行動特性、歩行速度などを実験的に解析した研究などが行われている。

一方、コンピュータ・シミュレーションを用いて、群集・個人の行動モデルを記述し、デパートや地下街などの閉空間からの避難行動を予測する研究も種々行われている。これらの研究は、群集を単位としたモデル化手法と、個人を単位としたモデル化手法に区分できる。前者については、群集の流動速度に着目し、障害物・通路・出口・群集密度との関係を観測しモデル化を試みている。後者については、個々の避難者に着目し、個人特性の影響を考慮した大規模空間の避難行動シミュレーション手法を開発している。その特徴は、人の進行方向選択を8方向とし、避難を規定する要因

- 1) 外的要因 (対象空間の平面構成、避難者の分布) のポテンシャル分布
- 2) 内的要因 (避難者の知識、判断特性の違い) のポテンシャル分布
- 3) 時系列的な要因 (地震・火災・煙) などのポテンシャル分布

を総合的に重ね合わせ、避難者の移動方向を決定している。モデルの検証は、通路モデルを用いて、群集密度と流動係数の関係の妥当性から検討している。

セル・オートマトンを用いた歩行シミュレーションモデル研究では、1つのセルに1人の人間が存在

する空間モデルを想定し、8方向の移動可能セルを考えている。すなわち、基本セルは基本空間であり、歩行者、障害物、歩行可能空間のいずれかの状態をとるとしている。このモデルでは、歩行者の個人的特徴の差異・心理的要因の違いは考慮しておらず、歩行者は全て同じルールで動くという規則を適用している。そして、迷路を用いた緊急時の避難行動に関する実験と比較し、良好な再現性を得たとし、簡単なセル間の局所的相互作用から複雑な現象を再現できること、障害物等により、避難に多大な時間を要する個人のトレースをもビジュアルに再現可能な点を強調している。

以上、避難行動モデルに関する研究について簡単に述べた。本稿では、避難主体は、群集でなく個人として取り扱い、避難対象空間を、建物フロアや通路に沿って一人が占有する基本空間に分割する。そして、進行方向は隣接する空間の一つとし、火災・煙の発生を環境要因としたシミュレーションを開発する。

3. 避難流のペトリネット・モデルの構築

ペトリネットの特徴は、空間領域の明示性と、そこでの操作性にある。また、ネットが構築されれば、即視覚的シミュレーションが実行できる即実行性にある。換言すれば、従来の研究では空間モデル・避難行動モデル・対象領域を変更するたびに多大なプログラム等の変更を余儀なくされるが、ペトリネットシミュレータを用いると、シミュレーション結果を受け、条件を追加したり、避難計画を変更したシミュレーションが容易に実行できるようになる。以下に、ペトリネットを用いた避難行動モデルのフレームと基本構築について述べる。

(1) 空間移動の基本ネット

ペトリネットとは、基本的に、プレース、トランジション、アーク、トークンと呼ばれる4つの要素のみで構成されている離散型のモデル開発理論である。この理論の特徴は、トランジションの発火規則を設定することにより、トークンと呼ばれるシンボルが、構成したネット上をダイナミックに動くことにより同時・並列的な状態推移が表現可能な点にある。避難行動は、空間的特長に大きく制約される

と考えられるため、ペトリネットを用いたシミュレータの開発は、プレースによる空間表現設定の操作性、抑止アークを用いたトークン制御の容易性等、避難行動を考える上で、空間と阻害要因を視覚的に観察しながら代替案を発想し、その評価を行える点に大きなメリットがある。

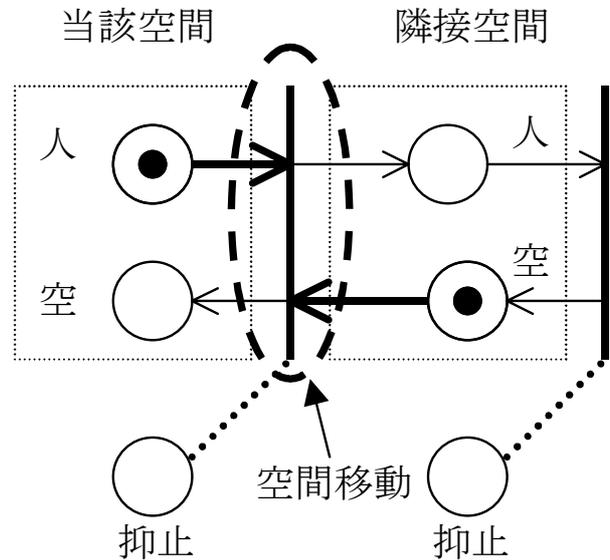


図1 ペトリネットによる空間移動の基本表現

図1は、当該空間から隣接空間への移動を事象として、その条件を当該空間に人がいて、行き先空間が空いて、かつ抑止が作用していないとして、空間移動の基本ペトリネットモデル化を行ったものである。この事例では、一人の人間が存在して、隣接する空間が空きで、抑止がかかっていないので、トランジションが発火し、人の移動が実行される。

(2) 主体の意思決定の基本ネットモデル

前述したように、プレースを1人の人間の空間と定義すると、隣接するプレースは、当該避難主体の移動可能空間となる。個々の空間は、現在位置によって、選択可能方向が限定される。例えば、二次元四角閉空間の隅では、進行方向が3方向に限定される。以降、現在位置を角に設定したモデルの記述を行うことにする。

主体の意志決定は、

- ①現在位置による選択可能方向の制限
- ②意思決定の迷い
- ③情報による指示性

という、単純な基本行動の記述化を行い、シミュレータとしての基本ネットを構成する。

図2に上記の意思決定の基本モデルのペトリネット構造の基本モデルを表わす。①については、現在位置に対してカラー生成トランジション (GT) を用いて4つのカラーを生成する (3つの方向カラーと、迷い)。図3は、抑止を用いた方向指示法による3つの方向へ移動を表わしている。この事例では、第2,3方向にトークンの打たれた抑止がかかっているため、第1方向への移動のみ行われることとなる。避難行動で言えば、隣接する空間が、柱・壁・落下物当の物理的阻害要因であったり、既に人が存在している、火災・煙など環境要因により近づけない状況を意味する。

図4は、抑止を解除するための手段を表わしている。この図では、上の避難空間に対して、点線の抑止がかかっているが、2つの条件により抑止トークンが発火し、抑止が解除されている。避難行動と対応付けると、落下物の除去、人の移動による開空間の発生、火災・煙の鎮圧などを意味する。

(3) 災害発生の基本ネットモデル

図5は、原因の強度による阻害の程度を表わす基本ネットを示す。図中、①は直ちに抑止する、②は少し時間が経過して抑止する。③は、抑止には至らない事象を意味する。実際の避難行動と対応付けると、火災・煙の発生状況の変化、障害物の程度により阻害の程度が異なるため抑止の程度も対応するように考慮した。さらに、災害の状況が時系列的に変化し、さらに、救出・復旧により障害物が除去される状態も考慮し、図4の抑止解除のルールを適用すれば、段階的な障害の強度をモデルに反映させることができる。

以上、空間移動の基本ペトリネットモデルを、避難主体の基本行動モデル、主体の意思決定基本モデル、障害発生基本モデルの3つの側面から、基本部分ネットの構築法を示した。対象空間におけるシミュレーションネットは、これらの基本部分ネットを場所に応じた形とし、それらを結合することにより作成できる。

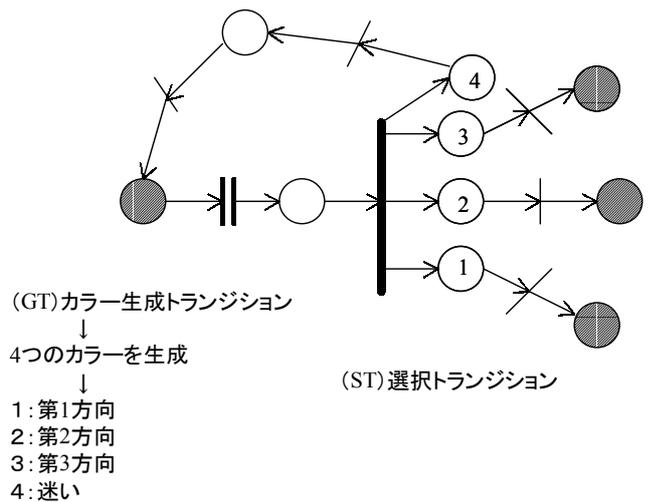


図2 意思決定の基本モデル

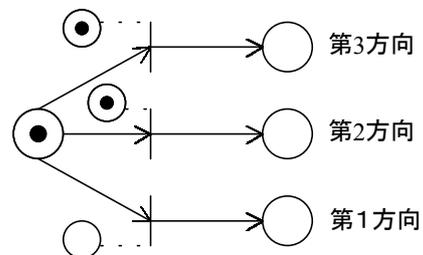
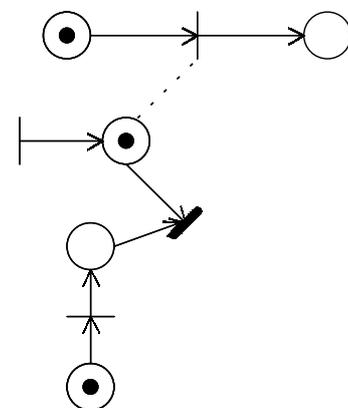


図3 抑止による方向指示法



解除手段の発令

図4 抑止解除のためのルール適用

4. シミュレータによる空間表現法

図1では、プレースは全て円で表示している。図6は、本ソフトウェアの特徴を活かして実空間に対応するプレースを□で表示できることを示している。さらに、本ソフトウェアの表示・表示機能と、要素の配置位置のマウスによる移動機能を使用すれ

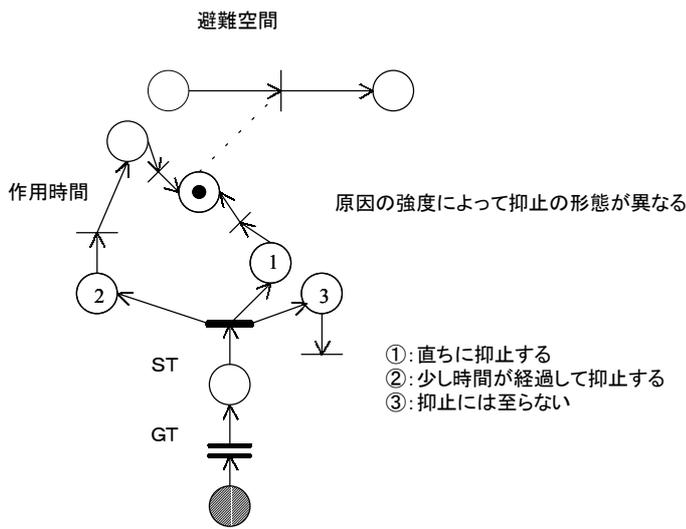


図5 原因の強度による抑止形態

ば、図6の右側の隣接空間と対応させることができる。図7は、図2の意志決定の現在地、進行方向の空間を□で表示したものである。図6の右側の単純なネットは、実はその内部に図7のようなネットを内包していることになる。

以上のように、容易に空間直結型表現と、その内部展開型表現との使い分けができる。視覚的シミュレーション結果の観察により、阻害要因の追加や、その解除のための対策の発見と評価支援が可能となるだろう。

5. おわりに

本稿では、既存文献を整理し、災害時の避難を考える上で、空間の設定、避難主体の行動、阻害要因を抽出した。つぎに、ペトリネットの持つ空間表示の操作性に着目し、空間移動の基本ネットを提案し、避難主体の基本行動ネットモデルを作成した。さらに、災害発生の基本ネットモデルを構築し、原因の強度による抑止形態と作用時間の設定を可能とした。以上のように、ペトリネットシミュレータを避難行動に適用するための、論理的整合性については確認することが出来た。

最後に、本稿で構築したシミュレータを用いて、実際の避難空間を対象としたシミュレーションを実施し、基本モデルの操作性を検証するとともに、

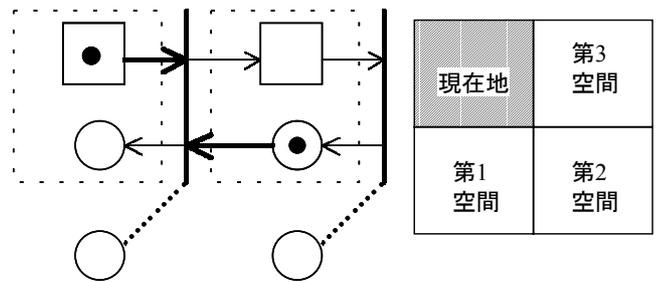


図6 プレースによる空間表示と視覚表示

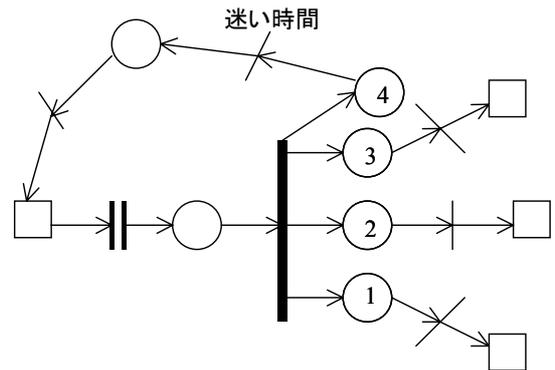


図7 基本行動モデルとの結合

モデルの操作性・妥当性の検証を行いたいと考えている。また、大規模な地下街を対象とした場合、複数の避難主体をプレースに配置した空間表現によるシミュレーションモデルを構築したいと考えている。

<参考文献>

- 1)横山, 目黒, 片山: 避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用, 土木学会論文集, No.513/I-31,p.225-232,1995
- 2)近田, 廣瀬, 城戸: CAを用いた歩行シミュレーションモデルの構築, 土木情報システム論文集, Vol.9, pp.19-30, 2000.
- 3)日本建築学会編: 建築・都市計画のためのモデル分析の手法, 井上書院, 1992.
- 4)木俣, 高木, 黒川: ペトリネットによる交通流シミュレーションシステムの開発, 土木計画学研究・論文集, No.12,pp.691-699,1995.
- 5)木俣, 岸野, 白水: 交通流ペトリネットシミュレータの実用化システムの開発, 土木情報システム論文集, 19, pp.31-40,2000.