

ペトリネットによる渋滞時の緊急車両走行シミュレーションモデルの開発

Development of Simulation System for Emergency Cars Running in a Congested Road by Petori-net Modeling

木俣 昇*, 鷺見 育男**, 社浦 宗兵***

By Noboru KIMATA, Ikuro SUMI, Souhei SHAURA

1. はじめに

著者らは、阪神淡路大震災での地震火災の発生を受けて、計画阻害要因の発生を想定した消防防災システムの見直しのためのペトリネットシミュレーションの開発を試みた^{1), 2)}。そのサブシステムとして、緊急車両の一般車交通による走行阻害のシミュレーションシステムを提案し、交通量が10台/分レーン程度になると計画走行速度が40km/hであるのに対して、25km/hにまで低下する可能性があることを示した。

このことは、消防防災システムにとって、一般車による阻害は、重要な考慮要因であると示唆している。しかし、このシミュレーションには、

- i) 緊急車両と一般車両の閉塞区間を同一の大きさとしている。
 - ii) サイレン音は50m先まで届き、その範囲にある一般車の運転者は、全てが等しく整然と路肩移動するとしている。
 - iii) 67mという短い区間のシミュレーション結果を基に走行阻害を推定している。
- といった問題点がある。

本研究では、まず、上述のi)とii)の課題については、大型車の閉塞区間と運転者特性を考慮することとし、前年度のシミュレーションネットに、これらの修正を加えた改良ネットを提示する。iii)については、この改良ネットを300mの区間に適用したシミュレーションネットを構成し、運転者特性や信号による渋滞等をも考慮した形で緊急車両の走行阻害の再評価を試みる。

キーワード：防災計画、計画手法論、システム分析

*正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科

**学生会員 金沢大学大学院 工学研究科 土木建設工学専攻

***金沢大学 工学部 土木建設工学専攻

(〒920 金沢市小立野 2-40-20 Tel. 076-234-4914 Fax 074-234-4915)

2. 緊急車両走行の基本ペトリネットモデルの概要

(1) 片側1車線道路でのモデル化イメージ図

図-1に片側1車線の直進道路に緊急車両が走行してきた時の交通イメージ図を示す。図-1の(1)は、道路の閉塞区間分割と一般車両の走行状況を示している。同(2)は、この状態で緊急車両がサイレンを鳴らしながら接近してきた状態で、前方50mまでの車にサイレンが届き、この間の一般車両は路肩移動を開始することを示している。同(3)では、緊急車両は、一般車の路肩移動の完了後にセンターライン側を走行することを示している。論文1), 2)では、このイメージ図に基づく緊急車両走行の基本ペトリネットモデルを提案している。次項では、このネットモデルの概を述べる。

(2) 緊急車両走行の基本ペトリネットモデル

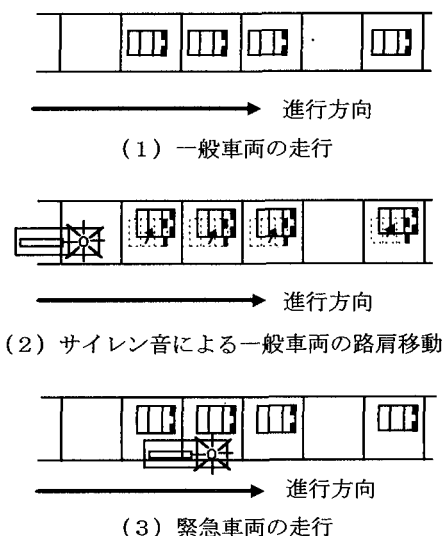
図-2は、図-1の交通イメージに対応するペトリネットモデルである。図の上方に一般車の走行ネット、下方に緊急車両の走行ネット、その間に一般車の路肩移動の部分ネットが配置されている。これらの各部分ネットについて簡単に述べておく。

(a) 一般車両の走行部分ネット³⁾

図-2の上部の左方のP4を発生ブレースとし、その右方に車両走行の基本部分ネットを結合し、左方からの一般車両の走行を表現したネットとなっている。このネットでは、P9, P10, P11, …が、車両の存在を表わすブレースで、P5, P6, P7, …が、その逆の空間が空を示すブレースである。

(b) 一般車の両路肩移動の部分ネット

最上段のP0, P1, P2, …は、緊急車両のサイレン音が一般車両に聞こえた状態を表わすブレースである。T5は、P9の車両がサイレン音を聞き制動を開始する



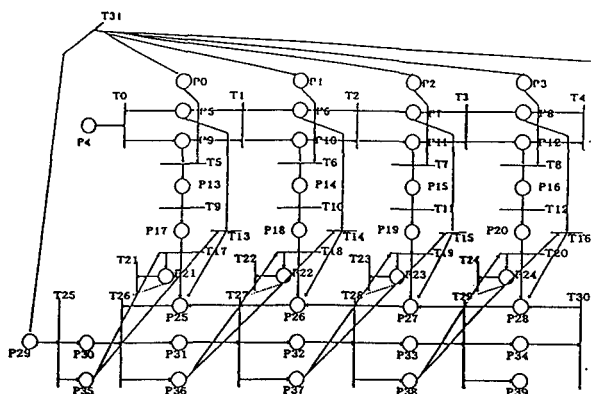
図一 1 緊急車両走行のイメージ図

という事象を表わし、このトランジションの発火によって、P9 のトークンが P13, P17, P21 と移動することで、一般車両が路肩へ移動し、停車状態に達することをモデル化している。P10, P11, …の車両についても同様の部分ネットが結合されている。

(c) 緊急車両の走行部分ネット

下部の左方の P29 が緊急車両の発生ブレースで、その発生と同時に上述のサイレン部にもトークンがマーキングされる。緊急車両の走行も基本的には一般車の走行と同じで、前方空間が空きのときトランジションを発火させ、進行するモデルとなる³⁾。即ち、P31, P32, …が緊急車両の存在を表わすブレースで、P25, P26, …が空間の空きを表わすブレースである。

この緊急車両の前方の空きを示す P25 にトークンがマーキングされるのは、P5 にトークンがマーキングされている（一般車が前方にいない）ときか、T17 が発火した（前方の一般車が路肩移動を完了した）ときである。このモデルネットでは、緊急車両の走行を意味する T26 は、P30 と P25 にトークンがマーキングされていても、P21 のトークンのタイマが切れるまでは、抑止アークのために発火できないとしている。即ち、緊急車両の走行はこのタイマ分遅らされることになる。このモデル化では、このタイマを道路幅員と緊急車両の幅から決まる走行抵抗を表現するものとして利用することを提案している。



図一 2 従来のペトリネットモデル

論文 1), 2) では、これらの部分ネットモデルを結合させて、一般車両の閉塞区間数で 10 区間分、約 67 m の道路の走行ネットモデルを作成し、シミュレーションを行っている。

3. 緊急車両の走行ネットモデルの改良

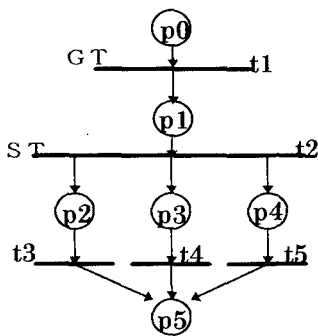
2. で概説した緊急車両の走行ネットモデルには幾つかの問題点がある。本章では、まず、1. で指摘した i) と ii) の問題点について、ネットモデルの改良で対処することを考える。

(1) 一般車両の路肩移動の個人特性の考慮

2. のモデルでは、サイレン音に反応して路肩移動する際に、全てが整然と行動するとしている。しかし、地震時などには当然混乱が予想されるし、通常時でも多量の一般車の走行を考えれば、比率は小さくとも緊急車両の走行に大きな影響を与える運転者の存在も十分に考えられる。そこで、本研究では、運転者特性を認知・意思決定・実行動に分けてモデル化することを試みる。

ここでは、サイレン音の認知と、路肩移動の行動時間は一応同じとし、意志決定時間に差があるとし、早い、普通、遅いの 3 種類の特性を組み入れる。図一 3 がその部分ペトリネットモデルである。

まず、図一 3 で p0 をサイレン音の認知状態とし、t1 をカラー生成トランジション (GT) として、これで、早い、普通、遅いの 3 つのカラートークン（運転者特性）を生成させる。そして、t2 の選択トランジ



図一三 運転者特性のモデルネット

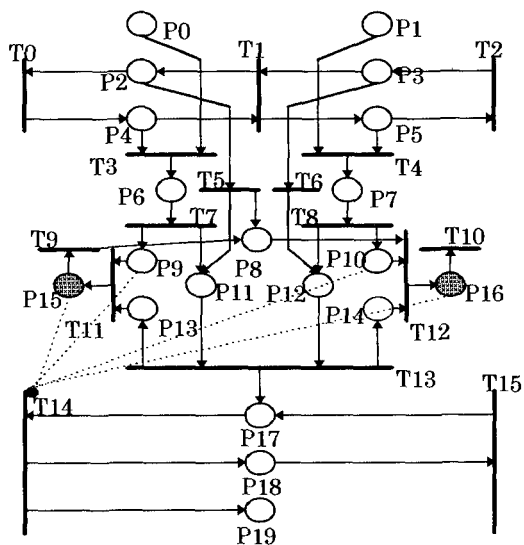
ション (ST) で、早い (p 2) , 普通 (p 3) , 遅い (p 4) の3パターンに分類, 出力させる. これらのプレースにマーキングされるトークンに, それぞれの特性に応じたプレースタイマを与えることになる. このネットを, 図一2のサイレン部 (P0) と移動開始部 (T5) の間に結合化させることになる.

(2) 緊急車両の閉塞区間の拡大化

論文1), 2) のモデルでは, 緊急車両の閉塞区間も一般車両の閉塞区間と同じ6. 7mとなっていた. しかし現実には緊急車両は, 多くが大型車両に属する. そこで本研究では, 緊急車両を大型車両とし, その閉塞区間を一般車両の閉塞区間の2つ分とすることを試みる. 図一4にこの変更に伴うネットモデルを示す.

この図の上部が一般車両走行の部分ネットで, 下部が緊急車両の走行部分ネットである. このネットでは, 緊急車両の閉塞区間 (P17) は, 一般車両の閉塞区間の2つ分, 具体的にこのネットでは, 上部の2つのプレース P2 と P3 に対応する形式となっている.

この閉塞区間の拡大化に伴って, 緊急車両の閉塞区間の空き, 即ち P17 へのマーキング条件は, 前方に一般車両2台分の空間が空いている (P2 と P4 にマーキング) か, 前方に2台の一般車がいれば (P4 と P5 にマーキング) , それらが共に路肩移動を完了しているに変更する必要がある. 図一4の中段のネットにはそのような変更が加えてある. 即ち, P11 と P12 に共にトークンがマーキングされたときに T13 が発火し, P17 にトークンがマーキングされるようにしてある. また, T14 には P15 のみならず, P16 から抑止アークを伸ばし, 2台分の幅員制約を考慮するネットとなっている.



図一四 緊急車両走の閉塞区間の拡大化ネットモデル

4. 改良ネットによる緊急車両の走行シミュレーション

(1) 緊急車両の改良基本ネットの動作確認

3. の (1) と (2) で提案した改良部分ネットを用いて, 図一2の基本ネットを修正し, その基本動作の確認のためのシミュレーションを実施する. 図一5は, 著者らが開発したペトリネット型シミュレーションシステムのサブシステムであるネット図作画支援システムを用いて, 動作確認用に作成したネット図画面である. 図一5の最上段の部分が, 3. の (1) で説明した運転者特性モデルで, 中段部に, 一般車両の走行部分と路肩移動部分, 最下段の部分に緊急車両の走行部分を表わすネットが配置されている. このネットは, プログラム本体には全く手を加えることなく, 上述の支援システムで作画, 登録するだけでシミュレーション実行が可能であること, 一般車の種々の分布状況において, 緊急車両が想定通りに走行することを確認している. ちなみに図一5は, 一般車が左から2つ目の閉塞区間で路肩移動しており, 緊急車両は, それを追い越し, 2つめの閉塞区間に進行した状況を示している.

(2) シミュレーション事例

1. で述べたように, 先のシミュレーション事例では, 約6.7mという短い道路区間のものであった. 本

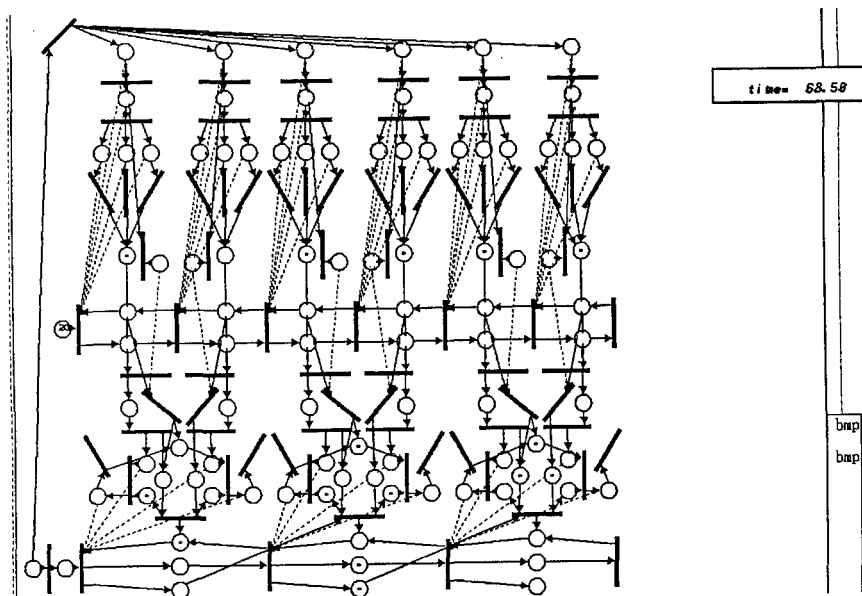


図-5 改良ネットの動作確認画面

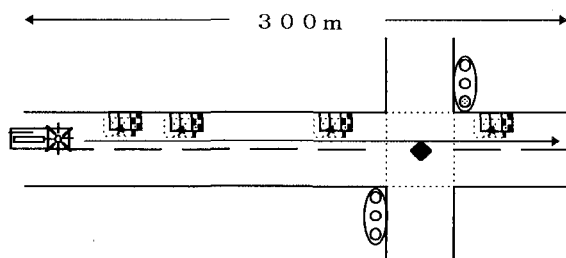


図-6 シミュレーションのイメージ図

研究では、図-6に示すようにな、約300mという比較的長い道路区間のシミュレーションを試みる。長区間かとともに、図-6に示すように、信号交差点を想定する。このような道路区間に、図-5の基本ネットを適用し、システムネットを構築し、一般車の交通量、運転者特性の分布、信号交差点における一般車の渋滞度などの関連で、緊急車両のこの区間の走行に要する時間ないしは走行時速の推定を行い、先の結果との比較を行うとともに、今後の課題について検討する。それらについては、学会発表時に報告する。

5. あとがき

本研究では、一般車で混雑している道路を緊急車両が走行する場合の走行阻害のペトリネット型シミュレ

ーションシステムの改良について検討した。この論文では、一般車の路肩移動に運転者特性の違いを考慮するとともに、緊急車両を大型車であるとし、一般車の閉塞区間2つ分を専有するとしたネットモデルを提案した。そして、基本動作の確認と、300mの道路区間のシミュレーションを試み、緊急車両の走行阻害の可能性を検討する論理的なシステムとしての有用性を示した。次の課題としては、この延長線で、さらに、緊急時の一般車の衝突事故を考慮することを考えている。また、本システムの再現性に関する検証も重要な課題であり、関係者の協力の下で、検討を進めたいと考えている。

参考文献

- 1) 木俣昇, 鷺見育男: 防災システムの阻害要因のペトリネットシミュレーションに関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集 No. 19, pp.43~46, (1996).
- 2) 木俣昇, 鷺見育男: ペトリネットによる防災活動阻害要因のシステム化と消防システムの見直し, 第1回都市直下地震災害総合シンポジウム, pp.257~260, (1996).
- 3) 木俣昇, 高木秀彰, 黒川浩嗣: ペトリネットによる交通シミュレーションシステムの開発, 土木計画学研究・講演集 No.17, pp.177~180, (1995).