

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*

Development of Traffic Simulation System by Petri-net Model

木保 昇**, 高木秀彰***, 黒川浩嗣****

By Noboru KIMATA, Hideaki TAKAKI, Hiroshi KUROKAWA

1. はじめに

従来から交通問題を扱う様々なシミュレーションの研究がなされてきたが、本論文では、主に離散事象システムのモデル化に用いられるペトリネットという概念を、連続系の交通流のシミュレーションに適用することを試みる。ペトリネットによるシステム構築の特徴は、部分モデルの結合性、ネットとは独立なシミュレーションの駆動系、およびネットの持つ視覚性にある。これらの特徴は、渋滞対策のような拡張的、発想的なアプローチを必要とする問題に有効に機能すると考えられる。本論文の目的は、このような特徴を持ち、本来は離散系の手法であるペトリネットを、その特徴を活かした形で連続系の交通流のシミュレーションに用いるための基礎的研究を試みることにある。

そのために、2章ではまず、基本的な交通現象のペトリネットによるモデル化について、3章では、それらの複雑化と結合性を用いたシミュレーションシステムの構築と、構築のためのデータの構造化、およびアルゴリズムについて述べる。そして、4章では、開発した交差点システムのシミュレーション結果について述べ、5章でまとめとこれからの課題について述べる。

2. ペトリネットによる基本的な交通現象のモデル化

本章では、まず交差点での交通現象に着目し、その基本的な5つの部分モデルのペトリネット図を作成する。

* キーワード：交通流、交通制御、交通計画評価、計画情報

** 正会員 工博 金沢大学教授 工学部基礎工学教室

(〒920 金沢市小立野2-40-20 ☎0762-34-4914 FAX0762-34-4555)

*** 学生会員 金沢大学大学院 工学研究科専攻 (同上)

**** 同上 (同上)

(a) 車両進行

部分モデルの作成は、現象を“事象”の生起とそれに伴う“状態”の推移として捉えることから始まる。車両進行は図-1のように道路を閉塞区間に分割して考えると、事象は“車両が地点1を通過する”となる。この事象が生起するための状態は、“Aに車両が存在し、Bが空きである”ことである。また、この事象が生起したためにできる状態は、“Aが空きで、Bに車両が存在する”ことである。これをペトリネットでモデル化すると、図-2のようになる。状態はプレースと呼ばれる“○”で表し、事象はトランジションと呼ばれる“|”で表す。これらの関係は、アークと呼ばれる“→”で表す。また“●”はトークンと呼ばれ、トークンが打たれているプレースは、その状態が成立していることを表す。図-2(a)では、p0とp3にトークンが打たれているので、“Aに車両が存在し、Bが空きである”こと表す。この図のt0に着目すると、t0のすべての入力プレースにトークンが打たれている。このような時にトランジションは発火し、事象が生起したことになる。この発火に伴って、入力プレースからトークンが取り去られ、出力プレースにはトークンが打たれ、状態推移が表現される。発火は、ペトリネットの重要な規則である。

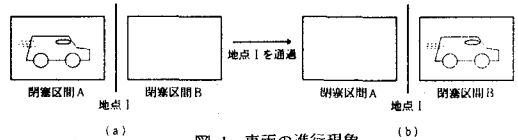


図-1 車両の進行現象

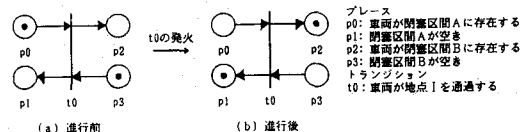


図-2 車両進行のペトリネット図

また、車速はプレースタイマを用いて表す。これは、トークンにプレースでの滞在時間となるタイマを与え、その時間分だけそのプレースを発火条件にしないものである。本研究では車速は、車両が1つ手前の閉塞区間に滞在した時間から決定する。

(b) 信号

ここでは、単純な3色現示の信号をモデル化する。信号は、各現示状態が“信号切り換え”という事象を生起させ、現示状態が推移する。図-3は、そのようにしてモデル化されたペトリネット図である。ここでは、プレースタイマは各信号現示時間である。右折信号の導入も、新たにプレースとトランジションを加えることで容易にモデル化できる。

(c) 分岐

車両によって進路先が異なる分岐のモデル化は、カラートークンを用いる。カラートークンとは、トークンに色の属性を与え、発火するとその属性により複数の出力先のプレースから出力先を選択するものである。これを用いて、図-4のような右折レーンと本線の分岐をモデル化したものが図-5である。

(d) 対向車による右折抑止

ここでは、右折車が交差点で右折するかどうかは、対向車との距離だけに影響されるものと仮定して、モデル化を行う。そのために、抑止アークを用いる。

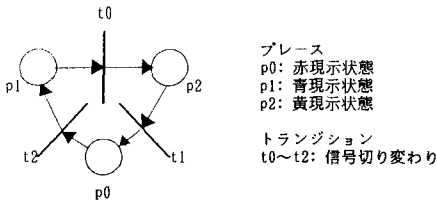


図-3 信号のペトリネット図

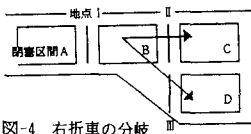


図-4 右折車の分岐

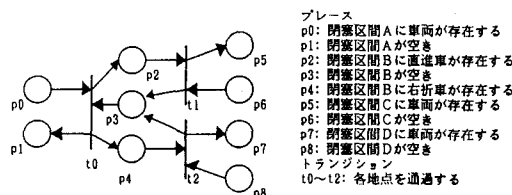


図-5 右折車分岐のペトリネット図

抑止アークとは、ある状態が事象生起を抑止する時に、その状態を示すプレースと、生起が抑止される事象を示すトランジションとを連結するものであり、一〇で表示され、そのプレースにトークンが打たれると、そのトランジションの発火が抑止されるというものである。(a) で作成した車両進行モデルに、対向車が存在する状態を示すプレースを設け、それらを抑止アークで連結すると図-6になる。図-6は、対向車が存在する状態を示すp4にトークンが打たれると、対向車が存在するため車両の進行が抑止されるモデルとなる。

(e) 車両到着

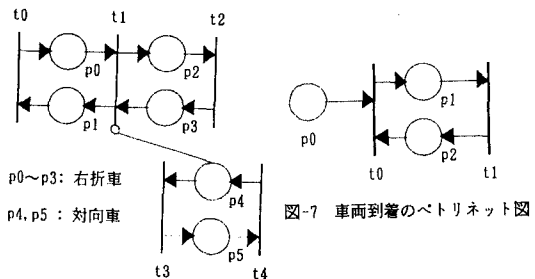
車両到着のモデル化は、特定のプレースに到着率をパラメータとしてトークンを発生させることでモデル化する。図-7のp0がトークン発生プレースであり、発生後は車両進行モデルと同様になる。

3. 交差点シミュレーションシステムの構築

(1) 交差点のモデル化

本節では、片側1車線で右折レーン、右折信号が設置されている図-8のような交差点をモデル化する。モデル化するには、まえがきで述べたように2. で作成したモデルを結合すれば基本的にはできる。また、それらをより複雑化したものに置き換えることもできる。ここでは、右折信号モデルと右折抑止モデルを複雑化し使用する。対向車に右折が抑止されるモデルは、2. (d) のモデルを利用すればよいが、このモデルだけでは交差点内部を示す閉塞区間V, W (図-8) からしか抑止できない。そこで、右折を制御するプレースを設け、交差点の手前の閉塞区間T, U から抑止できるようにする (図-9)。

これらの部分モデルを結合させて図-8の交差点を



モデル化すると、図-10になる。図-8のAの部分に車両到着モデル、Cに右折車と直進・左折車の分岐モデル、Iに直進車と左折車の分岐モデル、V,WからOに対向車が直接に右折を抑止するモデル、T,UからOに制御プレースを用いた右折抑止モデルを使い、それらを車両進行モデルと組み合わせる。そして、右折信号がある信号モデルを加え、その赤現示状態のプレースからは、交差点進入を表すトランジションへ、右折信号現示状態からは、右折車以外の交差点進入を表すトランジションへ、また右折を制御するプレースからは、右折車進行のトランジションへ抑止アークを伸ばすことで、図-10のような交差点モデルが構築できる。

(2) ペトリネットのデータ表現とアルゴリズム

このように作成されたペトリネットは、それを構成するプレース、トランジション、トークンの各々について、表-1に示すデータ項目を持つ構造体を用意することによって、一般化することができる。

ペトリネットシミュレーションは、トランジションの発火規則に基づく。この処理のアルゴリズム化は、上述の一般化されたデータ表現上で可能であり、従って、このアルゴリズムはネット図がより複雑になった場合でも、発火するトランジションが増える

だけで、それ自体の変更は不要となる。なお、本システムでの時間進行は、ネット上のトークンの最も早くプレースタイマが切れる時刻か、トークンの発生時刻のうち現時刻に最も近い方の時刻への更新となる。

ペトリネットシミュレーションでは、作成されたペトリネット図がそのままシミュレーションの出力画面として利用できるので、シミュレーションの視覚化が容易である。本研究では、各トランジション、プレースの位置と識別番号をCRT上で指示すると、それらの入出力関係がデータから判断され、自動的にアークが生成され、ネット図が完成するシステムを開発した。これによって、出力画面が用意できる

表1 データの組織化

プレース	トランジション	トークン
用 意 さ れ る	出力トランジション プレースタイマ情報 カラー情報 所有トークン 抑止トランジション	入力プレース 出力プレース カラー情報 トランジション種類 発火可能情報
		存在プレース プレースタイマ カラー 生成時間

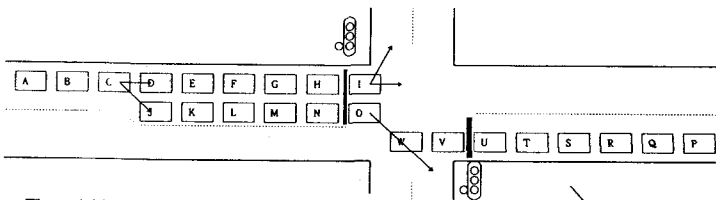
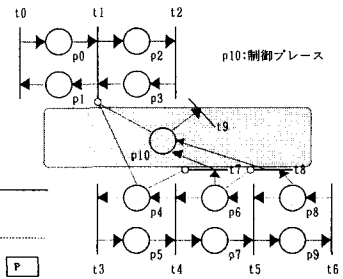


図-8 右折レーンの容量が5台の交差点の閉塞区間



と同時に、データの不備のチェックも、視覚的にできるようにした。

4. シミュレーション結果

本研究では、短区間の単路部と、右折信号が設置された右折レーン無しの交差点、右折レーンの容量が5台の交差点（図-10）、および右折2レーンの交差点をモデル化し、それらのシミュレーションを行った。ペトリネットシミュレーションでは、注目するトランジションの発火回数やブレースにあるトークンの個数を調べることで、システムに関する情報が得られる。シミュレーション結果の一例を図-11、12に示す。

これらは、図-8の片側一車線の道路について、右折率をパラメータとして、渋滞対策の効果を検討したものである。図-11、12より、現状（右折容量無し）では右折率20%でもかなりの渋滞となり、右折率が50%だと大渋滞となることが判る。それに対して、右折レーンを5台分設置できれば、かなりの改善効

果があることが示唆されている。右折率50%の場合には、さらに右折信号の時間を延長することが効果的であることも示されている。また、右折2レーンの交差点のシミュレーションでは、右折台数についての観測データによる検証を行い、良好な再現性を確認している。

5. あとがき

本研究では、離散系の現象のモデル化に用いられているペトリネットを連続系の交通流に適用し、システムの開発を行った。まず、ペトリネットの特徴である部分モデルの複雑化、それらの結合化による交通流のシステム構築の方法を示した。次に、ペトリネットをデータ構造化することによって、ネットとは切り離れた形で、発火規則に従うシミュレーションのアルゴリズムを開発した。そして、開発したシステムを用いて、単路部と交差点のペトリネットシミュレーションシステムを実際に構築し、それらが十分に機能することを確認した。

しかし、開発したシステムは基本的な部分しか考慮しておらず、改良を要する点がある。1つは、車速の精密化、抑止区間の設定、歩行者の存在などを考える必要がある。次に、対象区間の拡大化である。交通流を1つの交差点だけではなく、数個の交差点を含めたネットワークへの発展が必要である。さらに、ペトリネットの特徴を活かして、路上駐車、バス運行などを考慮した新しい交通流のシミュレーションシステムの開発も今後のテーマと考えている。

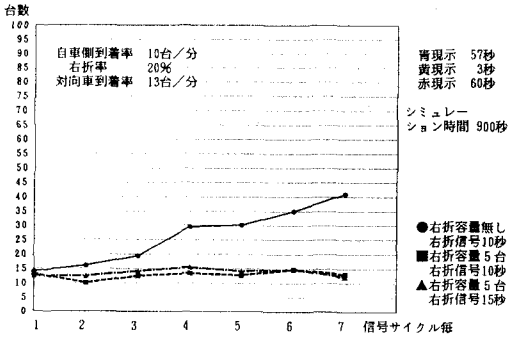


図-11 右折率20%の渋滞長

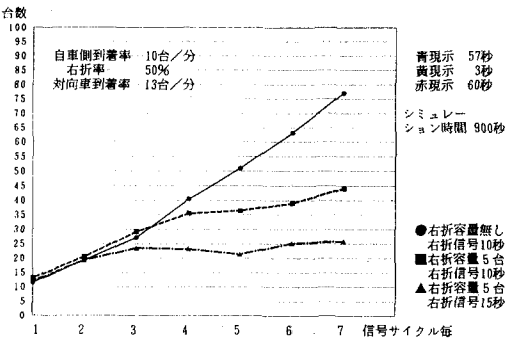


図-12 右折率50%の渋滞長

参考文献

- 1) J.L. ピーターソン著、市川淳信、小林信訳、ペトリネット入門、共立出版社、1984
- 2) 村田忠夫：ペトリネットの解析と応用、近代科学社、1992
- 3) 椎塚久雄：実例ペトリネット、コロナ社、1992
- 4) 尾崎晴男：街路網信号制御の評価シミュレーションモデル、交通工学, Vol. 24, No. 6, pp. 31-37, 1989
- 5) 高木秀彰、木俣昇：交通計画のためのペトリネット・シミュレーションシステムに関する研究、土木計画学研究・講演集, No. 16(1), pp. 127-132, 1993