

横断歩行者を考慮した交差点流のペトリネットシミュレーションシステムの開発

Development of Traffic Flow Simulation System of Intersection

Considering the Effect of Crosswalkers by Petri-net

木俣 昇*, 鷲坂 崇**

By Noboru KIMATA, Takashi SAGISAKA

1. はじめに

朝夕のピーク時や工事時の交通渋滞対策は非常に重要な課題で、マクロな視点と現場に応じたミクロな発想の両方を必要とする。著者らは、後者の方法としてペトリネットによる新シミュレーションシステムの開発を試みてきた。この方法は事象に着目し、視覚性、結合性に優れ、アルゴリズムが汎用的であるといった特徴を持つ。論文1)ではこの方法の基本アイデアを示した。論文2)では、交通流の5つの基本部分ネットとそれらから構成される交差点ネットを示し、渋滞要因の1つである右折車対策のシミュレーションを実行した。また論文3)では、大型車の取り扱い法についても検討している。

本論文では、もう1つの渋滞要因である歩行者による左折車抑止のペトリネットを作成すると共に、片側2車線の交差点のペトリネットシミュレーションを実施し、本シミュレーション方式の特長である拡張性とアルゴリズムの汎用性を確認すると共に、実調査による検証を行う。

2. 横断歩行者による左折車抑止現象のペトリネット・モデル

(1) 車両進行と抑止の基本ペトリネット・モデル

論文2)では交通流の基本部分ペトリネットとして、①車両進行、②信号制御、③車両分岐、④右折抑止、および⑤車両発生モデルを作成すると共に、右折レーン、右折信号を持つ交差点のシステムペトリネットを提示した。横断歩行者による左折車抑止も、そこで考えた対向車による右折車抑止と基本的には同じアイデアでモデル化できる。すなわち、図-1の(a)のネット図で、トランジションT2は、左の方向からP0、P2と進行して来た車が右折す

る事象を意味している。このトランジションに右の方向からの対向車の存在を表すプレースP4から抑止アークを伸ばす。その結果、P2にトークンが打たれて、P4にもトークンが打たれている場合には、T2の発火、即ちP2にいる車の右折は抑止される。これが、対向車による右折車抑止のペトリネットモデルであった。

この抑止を横断歩行者の存在に変換することで、左折車抑止のペトリネットも基本的に表現することができる。それを示したものが図-1の(b)である。ここでT2が左折を意味するトランジションで、P4が歩行者の存在を表すプレースである。従って、この点線で囲んだ部分を、横断歩行者の行動からより詳しく表現することが次のテーマとなる。

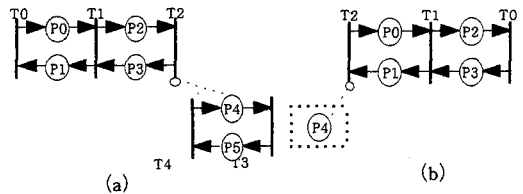


図-1 車両抑止のペトリネットモデル

(2) 歩行者の横断行動の部分ペトリネット・モデル

歩行者の横断行動を、まず(a)横断歩道入口における行動と、(b)歩行者の横断特性、という2つの視点から捉えてモデル化を行う。

(a) 横断歩道入口における行動

赤信号時に横断歩道入口に到着した歩行者は、入口で待ちながら集団化し、集団で横断歩道を渡る。青信号時に到着した歩行者は、そのまま単独で横断歩道を渡る。実際の現象をこのように捉えて、図-2のようなモデルを作成した。このモデルの特徴は、赤信号時にP0で発生した歩行者1人を表すトークンは、P10~P17の制御プレースを経て、集団化された歩行者を表すトークンに変換され、P1(歩行者が

キーワード：交通渋滞対策、システム分析、計画手法論、

*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

(〒920金沢市小立野2-40-20 ☎0762-34-4914 FAX0762-34-4915)

すぐに横断できる状態)に到達する。青信号時にP0で発生したトークンは、そのまま歩行者1人を表すトークンとしてP1に到達する。このようにして上記の現象を一つのネットで表した。また、赤信号時における歩行者の集団化は、P11に集団化させる人数と同じ数の初期トークンを打つことでモデル化している。この初期トークンの数を変えることで、集団化させる人数は自由に变化させることができる。

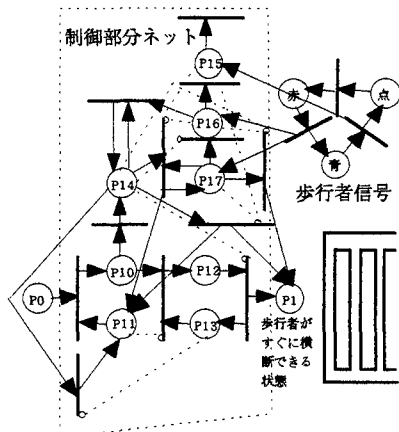


図-2 横断歩道入口における歩行者のモデル

(b) 歩行者の横断特性

歩行者は、青信号時には普通に横断歩道を渡り、信号が点滅になると急いで渡る。この現象を図-3のようなネットモデル化した。このモデルの特徴は、横断歩道内を表すプレースとして、プレースタイマを長く設定するP2、P3と、プレースタイマを短く設定するP5の2種類を設けている所にある。歩行者を表すトークンは、青信号時には、P2→P3を通りP4(横断歩道出口を表す)に到達し、点滅時には、P5を通りP4に到達するという工夫で、上記の現象をベトリネットとして表している。

図-2のネットと図-3のネットとを、プレースP1に着目して結合させることによって、横断歩行者の部分ネットが作成できることになる。

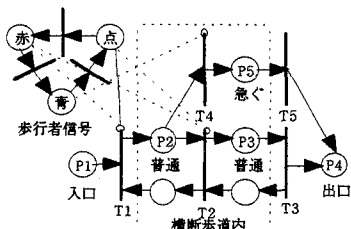


図-3 歩行者の横断のモデル

3. 歩行者交通対策のベトリネット・シミュレーション事例

(1) 交差点における左折車流の基本ベトリネット・モデルの構成

図-4のような閉塞区間を持つ左折車と直進車が同一のレーンを走行する交差点モデルを考える。この交差点のベトリネット図は、2.で示した横断歩行者による左折車の抑止ネットと、横断歩行者の部分ベトリネットを結合化する事によって、図-5のように作成できる。

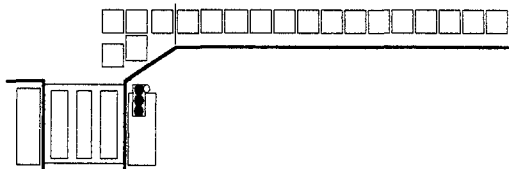


図-4 直進・左折車同一レーン交差点モデル

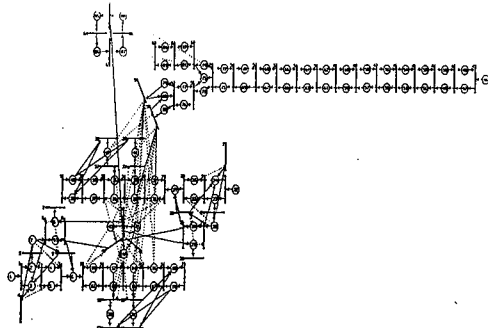


図-5 左折・直進同一レーン交差点モデル

(2) 横断歩行者対策の検討のシミュレーション事例

(a) 歩行者交通量の渋滞への影響分析

(1)で作成した左折車流の基本ベトリネットモデルのシミュレーションを行い、横断歩行者の影響による交差点の渋滞状況を調べる。図-6に示すように、横断歩行者の人数が増加するとともに渋滞長が長くなり、横断歩行者が左折車を抑止し、その発生率が7人/分以上になるとその影響が直進車にも及び、渋滞が発生することが分かる。

(b) 左折専用レーン・左折信号設置効果分析

この渋滞現象を解消するために5台の左折専用レーンと左折信号を設置したモデルを作成する。作成方法は、直進、左折同一交差点モデルに、左折レーン5台分のプレースや、左折信号を表すプレースを組み込むだけで、アルゴリズムの変更は必要な

い。図-7にそれらによるシミュレーション結果を示す。歩行者発生率が7人/分の場合には渋滞の解消が見られる。しかし歩行者発生率が10人/分の場合には、渋滞が残ることになる。

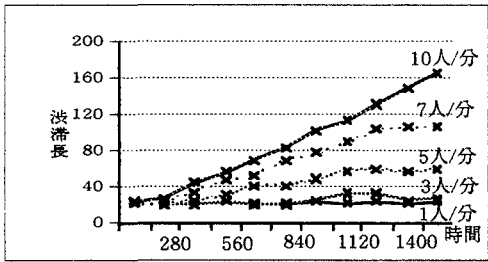


図-6 歩行者人数の変化に対する渋滞長

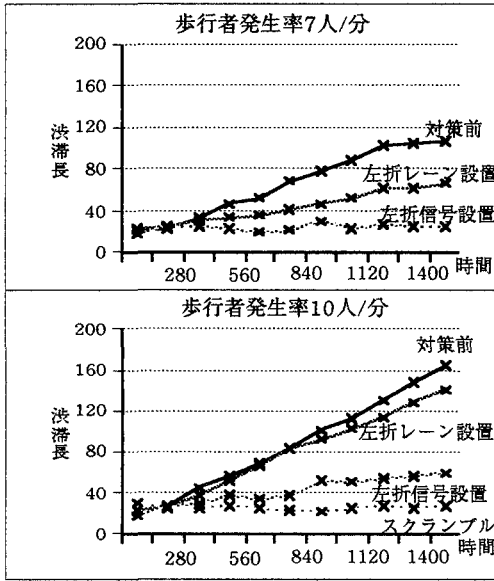


図-7 対策後の渋滞長

(c) スクラブル交差点への移行分析

その対策として、歩行者と車両の交錯をなくしたスクランブル交差点モデルを導入する。このネットは、歩行者部分を削除するだけでよい。図-7に示すように歩行者発生率が10人/分の場合でも大きな効果が見られる。

4. 片2車線交差点流のベトリネット・シミュレーションの構成と検証

(1) 対象交差点の概要とそのベトリネットモデルの構成

今までに開発してきた部分ネットモデルを結合した交差点ベトリネットシミュレーションシステムを作成し、その検証を行うために、図-8に示すような交差点を取り上げる。

まずこの交差点で渋滞が起こる午前7時40分から8時40分までの1時間当たりの交通量を調査した。具体的には、図-8の☆印の位置での車両通過台数や歩行者到着数の信号サイクル単位でのカウントを行った。

ベトリネットモデルは、図-8に示す閉塞区間分割をもとに、今までに作成してきた部分ネットを結合化することで求まる。図-9にベトリネットモデルを示す。右中の部分が主関心部で、左上の部分が対向車部分である。下方が左右からの横断部のネットである。

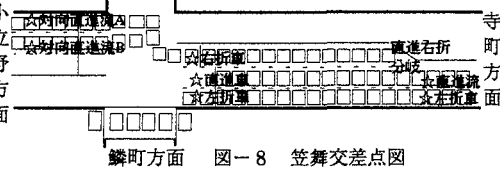


図-8 笠舞交差点図

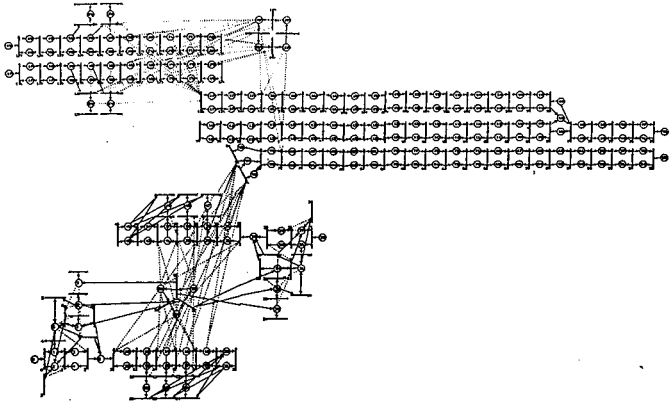


図-9 笠舞交差点のベトリネットモデル図

(2) シミュレーション結果の検証

シミュレーション結果の検証方法として、実測値と同量の車両、歩行者を与えて、寺町方面から小立野方面に向かう交通流の直・左・右折車の通過台数を比較する。シミュレーションの条件は、表-1のような信号サイクル、到着率、車速を考える。車速を表すブレースタイムは、閉塞区間長を6.7mとし、表-1のように算出している。

(a) 直進・左折台数の検証

直進、右折車については、信号が1サイクルする間に交差点を通過した台数の比較を行う。比較結果は表-2に示す。なお、直進車の実測値は、通過台数が変動しており、多い時のサイクルのものの平均である。調査時間全体での直進車の平均台数は、21.5台/サイクルであった。ちなみにシミュレーションにおいて直進車の平均車速は14.7km/hとなった。

(b) 左折車

左折車は横断歩行者の影響を受ける。よって、横断歩行者が多い場合と少ない場合の2種類の状況において、歩行者信号が青現示中に交差点を通過した左折車数の比較を行う。比較結果を表-3に示すが、比較的良好な再現性が得られた。

以上のように、直進・右折・左折ともにベトリネットシミュレーションモデルは一応の水準の再現性を持っていると言えよう。

表-1 シミュレーション条件

寺町⇄小立野			到着率	直進流	
車両信号	青	73秒		左折流	16台/分
	黄色	3秒		対向直進流A	5台/分
	右折	4秒		対向直進流B	5台/分
	赤	60秒		歩行者 多いとき	5人/分
				歩行者 少ないとき	0人/分
歩行者信号	青	17秒	車速	ブレースタイム	
	点滅	4秒		停車	2.4秒
	赤	119秒		10km/h	2.4秒
				20km/h	1.2秒
総サイクル				30km/h	0.8秒
				40km/h	0.6秒

表-2 直進・右折車通過台数

	実測値	シミュレーション
直進車通過台数	33.6台/サイクル	33.1台/サイクル
右折車通過台数	3.7台/サイクル	3.6台/サイクル

表-3 左折車平均通過台数

横断歩行者到着人数	実測値	シミュレーション
多い場合	2.7台/サイクル	2.1台/サイクル
少ない場合	10台/サイクル	12台/サイクル

5. おわりに

本研究では、まず、横断歩行者による左折車抑止のベトリネットモデルを新たに開発した。そしてこのシステムがアルゴリズムの変更無しでシミュレーション可能であることを示し、歩行者対策の評価に応用した。

次に、今までに開発してきた部分ネットモデルを結合した交差点ベトリネットシミュレーションシステムを作成し、そのモデルが実現象に対してどの程度再現性を持つかの検証を行った。調査では、直進車台数が変動しており、十分な検証とは言えないが、かなりの再現性があることを確認した。

今回の調査では、変動理由が十分には把握することができなかった。感應式の信号制御という可能性もあるが、交通管制センターの資料では否定的であった。今後の課題としては、調査の精微化と共に、到着率の変動化、信号制御の多様化等のシステム改良による再検証を行うことである。また、シミュレーションシステムを拡大化することによって、変動性を再現する研究も必要と考えている。

参考文献

- 1) 木俣 昇, 高木秀彰: 交通計画のためのベトリネット・シミュレーションシステムに関する研究, 土木計画学研究会. 講演集No. 16 (1) PP. 127~132 (1993)
- 2) 木俣 昇, 高木秀彰, 黒川浩嗣: ベ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, 土木計画学研究会. 論文集No. 12 PP. 691~699 (1995)
- 3) 木俣 昇, 高木秀彰, 黒川浩嗣: 交通流のベトリネットシミュレーションシステムにおける大型車の取り扱い法, 土木計画学研究会. 講演集No. 18 (2) PP. 193~196 (1995)