

ペトリネットによる相互干渉する隣接 2 信号交差点での 渋滞シミュレーション

A Simulation of Interference of Congestion of Traffic Flow in a Zone of Two Adjacent Signal Intersections by Petri-net Modeling

木俣 昇*, 鷺坂 崇 **, 千田 諭***

By Noboru KIMATA, Takashi SAGISAKA, Satoshi SENDA

1. はじめに

著者らは、都市内交通の渋滞シミュレーションの 1 つの方法として、ペトリネットによるシミュレーションシステムの開発を行ってきた^{1)~3)}。この方法論は、トランジションの発火とトークンのプレートタイマーの更新を基本ルールとするシミュレーション本体のプログラムには全く手をつけることなく、考察対象をネット表現するだけで、種々のシミュレーションが可能であるという点に大きな特徴がある。

本論文では、この主張をさらに補強するために、片側 2 車線道路で、右折レーンのない信号交差点が比較的近くに隣接するゾーンでの渋滞シミュレーションを試みる。

この対象系では、センターライン側の中央車線には直進車と右折車が混在走行する。右折レーンがないために、直進車は、場合によっては車線変更が必要となる。2. では、まず、この部分ネットの作成と、その効果評価について述べる。この系では、右折車処理は時差信号で行われる。この対象系での渋滞は、2 つの交差点の信号の運用タイミングによって大きく変化すると予想される。3. では、2 交差点を含むシステムネットを構築し、シミュレーションによる信号系の適切な運用形の抽出を試みる。

2. 車線変更のペトリネット・モデルの導入

1) 車線変更の部分ネット・モデル

ここでは新たに導入する車線変更の部分ペトリネ

ット・モデルの説明を行う。図一 1 に、車線変更のモデル化のための閉塞区間分割の概念図を示す。上側がセンターラインよりの中央車線、下側が路肩側の車線である。この図の点線で示した地点より先で車線変更がなされるとしてモデル化する。

図一 2 に閉塞区間 A2 の車両に着目した車線変更の部分ネットを示す。まず、車線変更ゾーンの手前の閉塞区間 A1 までに、直進車が右折車かが判別されている必要があるが、ここでは、T1 を生成トランジションとして、この T1 によって直進車が右折車を示すカラートークンを生成するとして説明する。T2 は選択トランジションで、P2 のトークンのカラーが直進車であれば P5 に、右折車であれば P3 にトークンがマーキングされるように設計する。

閉塞区間 A2 の直進車、換言すれば P5 にマーキングされたトークンには 3 通りの進行パターンが想定される。1 つは、前の閉塞区間 A3 が空いていて、そのまま直進できる場合、1 つは、前の閉塞区間 A3 が塞がっていて、かつ車線変更もできない場合、1 つは、前の閉塞区間 A3 が塞がっているが、車線変更ができる場合である。

第 1 のパターンは、図一 2 では P5、P7 にトークンがマーキングされている状態である。この場合には、P7 から T11 に抑止がかかっているため、T11 は発火せず、T4 の方が発火し、P5 のトークンは P8 にマーキングされることになる。即ち、閉塞区間 A2 にいた直進車は、そのまま閉塞区間 A3 に直進することになる。

第 2 のパターンは、図一 2 では P5、P6 および P11 あるいは P9 にトークンがマーキングされている場合に相当する。閉塞区間 A2 にいる直進車は車線変更を行いたい、路肩側の車線の閉塞区間 B2 あるいは B1 に車両が存在するために車線を変更することができないことを、このネットでは、P11、P9 か

キーワード：交通制御、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

**学正会員 金沢大学大学院 工学研究科 土木建設工学専攻

***学正会員 金沢大学 工学部 土木建設工学科

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

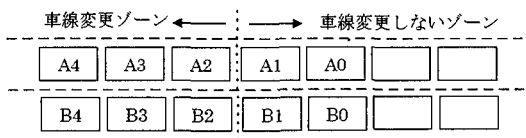


図-1 車線変更のモデル化のための概念図

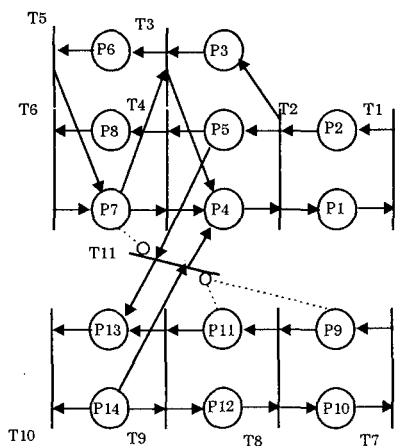


図-2 車線変更の部分ペトリネットモデル

ら T11 に抑止アークを伸ばすことで表現している。

第3のパターンは、P5, P6, P10, P12, P14 にトークンがマーキングされている場合で、この場合は車線変更を表わす T11 を抑止するトークンがないために、T11 が発火して、P5 のトークンは P13 にマーキングされる。即ち、車線変更がなされ、中央車線の閉塞区間 A2 (P5) の車は、路肩側の車線の閉塞区間 B3 (P13) に進むことになる。

2) 車線変更モデルの効果評価

ここでは例として図-3 に示す右折レーンのない片側2車線道路の交差点のシステムネットを上述の車線変更のネットを組み入れる形で作成し、図の①, ②, ③, ④のそれぞれの車線での渋滞長を求めるシミュレーションを行った。シミュレーション条件としては、車両到着率については、①, ②は、1車線あたり15台/分、③, ④は1車線あたり12台/分とし、①の右折率は75%、④は右折なしとしている。信号については、1サイクル140秒とし時差方式で、AからB方向は青85秒(黄は赤に含まれる)、BからA方向は青67秒と設定している。このシミュレーション結果の1例を図-4に示す。

この結果を見ると、まず、B方向からの交通の渋滞長(③で代表させている)は、15~20台程度

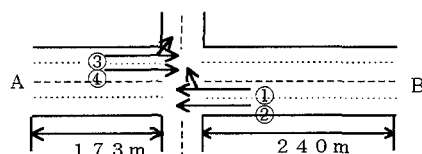


図-3 効果評価のための交差点例

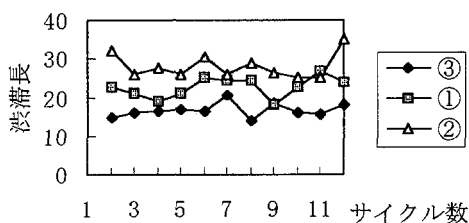


図-4 シミュレーション結果

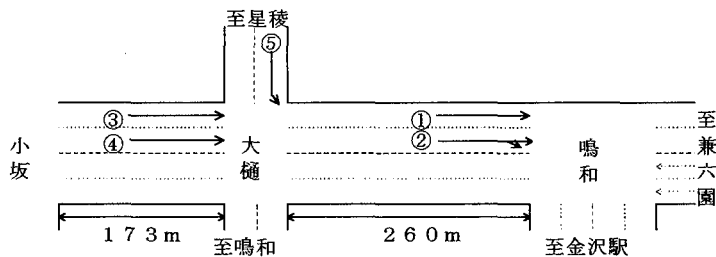
で、時差による悪影響は出ていないといえよう。この正常な状況の中で、中央車線の渋滞長①に比べて、路肩側の車線の渋滞長②はやや大きいという結果になっている。これは、中央車線を走行していた直進車が、待機している車両を避けて車線を変更したため、路肩側の車線に負担がかかり、渋滞長が増えることを示している。

今回導入した車線変更のペトリネット・モデルは、車線変更を抑止する閉塞区間が、中央車線の閉塞区間の隣とその後ろの2つだけの設定になっている。本方法論では、1. で述べたように、抑止閉塞区間を、もう少し多くとったり、交差点情報を持つドライバーが、中央車線を早い段階で避けるという行動の考慮等も比較的容易であり、よりミクロな考察への展開が期待できると考えている。

3. 隣接2信号交差点近辺での渋滞シミュレーション事例

1) システムネットの構築

金沢市都心部に北部方面から流入する路線の1つが、国道159号線である。この路線は、片側2車線道路で、右折レーンを持たない交差点をいくつか抱えている。図-5 に示す大樋、鳴和交差点は、その代表の一つである。この区間は、朝のラッシュ時交通では、小坂から鳴和に向かう交通量がその逆方向のものより1.4倍と多い。また星稜方面には住宅開発がなされていて、その方面からの流入交通量も



図一5 シミュレーションの交差点系の概念図

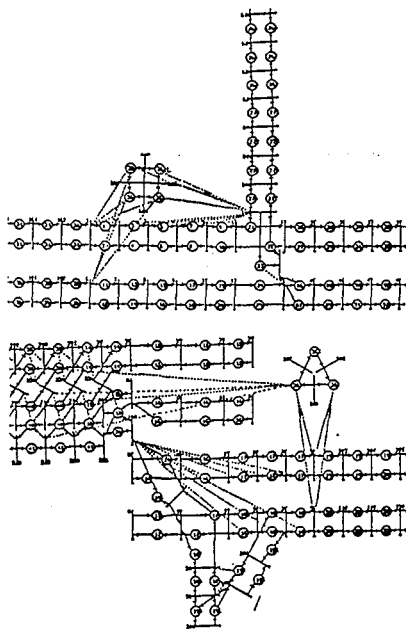
表一1 交通量の設定

車両到着率	小坂 → 大樋	1車線あたり 20 台/分
	星稜 → 大樋	1車線あたり 14 台/分
	鳴和 → 大樋	1車線あたり 10 台/分
	大樋 → 鳴和	80%

表一2 信号スクリプト

現状	鳴和	鳴和 → 大樋	59	86	
	大樋	大樋 → 鳴和	103		42
	大樋	小坂 → 鳴和	267	76	
	大樋	星稜 → 鳴和中	85	59	1
a 案	鳴和	鳴和 → 大樋	59	86	
	大樋	大樋 → 鳴和	103		42
	大樋	小坂 → 鳴和	62	67	16
	大樋	星稜 → 鳴和中	59	86	
b 案	鳴和	鳴和 → 大樋	59	86	
	大樋	大樋 → 鳴和	103		42
	大樋	小坂 → 鳴和	30	67	48
	大樋	星稜 → 鳴和中	27	86	32

青 ☐ 赤 (黄) ☐



図一6 システムネット図

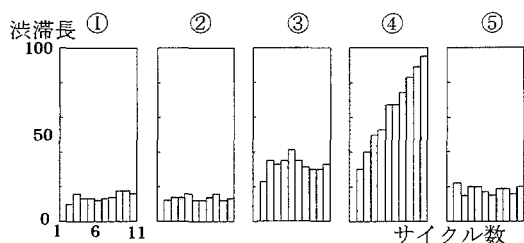
かなりある。これらの交差点特性を考慮して、図一5の①～⑤の渋滞と大樋・鳴和量交差点の信号の運用形との関係进行分析するために、図一6のようなシステムネットを作成した。モデル化対象の総延長距離は、約640mで、総閉塞区間の数は、201個である。図一6は、このシステムネットの交差点部分のみを示している。

2) シミュレーション事例と考察

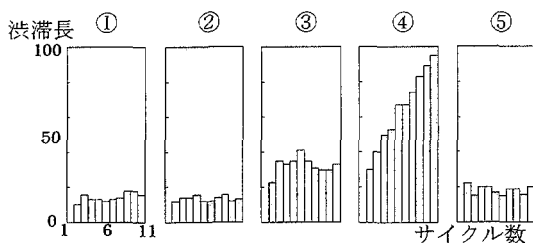
シミュレーション交通量は表一1のように設定する。各方面の交通流は、現状値よりも大き目の値を想定している。信号は、両交差点ともに時差式で1サイクルは、145秒である。現状の信号スクリプトと代替案を表一2の示す(黄は赤に含む)。シミュレーションでは、各スクリプト時間はそのままと

し、2つの交差点での青現示時のタイミングを変化させて、図一5の①～⑤の渋滞長を求めた。ここでは、表一2に示した3つの運用形(現状、a案、b案)の結果のみを報告する。なお上述したようにかなり大きなネットモデルであるが、シミュレーション時間は、実時間で30分のものが、約1分程度で実行できている。

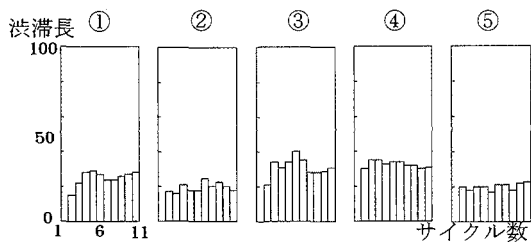
まず、現状の信号サイクルによる渋滞長のグラフを図一7に示す。ここでは、大樋交差点の中央車線④に大きな渋滞が発生している。一方、鳴和交差点では、①、②共に全く渋滞していない。これは、鳴和交差点での右折車によって中央車線が一時的に渋滞し、それが大樋交差点までオーバーフローし、④に影響が出るが、鳴和交差点の渋滞右折車は、この交差点の時差信号の間に流れ、一時的な渋滞は解消される。しかし、現状の信号タイミングでは、鳴和交差点のこの時差時間の間は、大樋交差点は赤となるために、大樋交差点より後ろの渋滞車は流れず大



図一7 現状の信号による渋滞長のグラフ



図一8 信号 (a) による渋滞長のグラフ



図一9 信号 (b) による渋滞長のグラフ

大きな渋滞が発生することを示している。

次に信号 a 案による渋滞長のグラフを図一8に示す。ここでは、③、④の渋滞は減るが、⑤に大きな渋滞が発生する。このケースでは、①、②の渋滞長は、約 $(40 \times 6.7 =) 268\text{m}$ となり、大樋交差点まで至っている。この状態で、大樋交差点の星稜・鳴和中方向が青となるために、星稜方面からは全く交差点に入れなくなってしまい、渋滞は伸びる一方になる。逆に③④は鳴和交差点の時差と重なり、星稜からの流入もなくなり、渋滞長は減ることになる。

最後に信号 b 案による渋滞長のグラフを図一9に示す。ここでは、①～⑤の全てで、大きな渋滞の発生が避けられている。このシミュレーションでは、鳴和交差点の時差が終わるより少し早く大樋交差点の信号が赤になり、交通量の多い小坂・大樋方向の交通量を流れやすくするとともに、星稜方面からの流入も可能となっているといえよう。

このような特殊な特性を持つ道路では、信号のタイミングによって大きな渋滞が発生する可能性がある。本シミュレーション実験では、b 案の信号運用形が全体の渋滞を最も小さくするものであった。

4. あとがき

本研究では、まず、2. では、車線変更のペトリネットモデルの導入を行った。そして、この導入もシステムもプログラムの変更なしでシミュレーションが可能であることを示すとともに、右折レーンのない片側2車線の道路の中央側車線と路肩側車線への影響の評価を行った。そして、中央車線からの車線変更によって路肩車線が渋滞することを示すとともに、この部分モデルの精緻化のアイデアを示した。

3. では、車線変更モデルを組み入れるとともに、隣接する2信号交差点を含む大きなネットモデルを作成し、信号のタイミングによっては、大きな渋滞が発生する可能性があること、逆に言えば渋滞を抑える信号の運用形が見つかる可能性があることを示した。

今後の課題としては、2. で示唆した、より精緻な車線変更モデルの作成や、3. の適用交差点における検証などが挙げられる。

参考文献

- 1) 木俣 昇, 高木 秀彰, 黒川 浩嗣: 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)
- 2) 木俣 昇, 高木 秀彰, 黒川 浩嗣: 交通流のペ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方, 土木計画学研究・講演集 No. 18 (2) pp. 193~196 (1995)
- 3) 木俣 昇, 鷲坂 崇: 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, 土木計画学研究・講演集 No.19 (2) pp. 225~228 (1996)