

1. まえがき

都市内渋滞対策の柱の一つとして、多くの自治体でバス優先策による需要転換が検討されている。この検討には、バス優先策そのもののシステムの具体的提示と、その効果と一般車への影響評価のためのバス交通のシミュレーションシステムが必須となる。この要請を受けていくつかの研究^{1)~3)}が報告されている。本研究も、著者らの交通流の汎用ペトリネットシミュレータ^{4,5)}を用いたそれらと同系統の試みである。その最大の特徴は、大型車であるバスの導入も、視覚的な記述ネットを工夫し、それに付随するデータ表を修飾するだけで、プログラムには全く手を加えることなく実現できる汎用性にある。当然、この汎用性には制約があるが、その妥当性も、視覚的なネットの即時ステップ実行で確認することができ、修正やアイデアの付加が直ちに可能となる点にも特徴がある。バス優先策には地域に応じた諸アイデアをシステムとして具体的提示することが重要となり、この面での寄与を考えて、本論文では、ペトリネットシミュレータのバス交通流への適用化に関する基礎的研究を行うものである。

2. ペトリネットによるバス交通の表現策

(1) 大型車の閉塞区間差ネットによる表現法

交通流のペトリネットシミュレータでは、車両の進行は、図-1 に示すように、道路を閉塞区間に分割し、その空間を2つの補完関係(complement)にあるプレース、即ち、“車両の存在: $p(-2)$ ”と空間の空き: $p(-1)$ ”で表現し、当該閉塞区間に車両が存在し、前方の閉塞区間が空きの時のみにトランジション t が発火するというネット構成によって記述する。従来のネットでは、一般車のみを想定し、閉塞区間長6.7mで道路を分割している。大型車であるバスについては、文献2)のアイデアと同様に、まず、その閉塞区間長を一般車の2倍としてネット化する。

具体的には、図-2 のようなネットによる記述を行う。即ち、道路空間を、“バスの存在: $p(-3)$ ”と“一般車

の存在: $p(-2)$ ”と“空間の空き: $p(-1)$ ”の3種類のプレースで表現し、閉塞区間長の違いから、1個の $p(-3)$ に対して、それぞれ2個の $p(-2)$ と $p(-1)$ からなる車両進行のネットモデルを使用する。この場合、混合流での追従走行の諸パターンは、トランジションの発火則により、バスに一般車の追従のときは単位閉塞区間長が、一般車にバスの追従のときと及びバスにバスの追従のときは2単位閉塞区間長が、それぞれ最小車両間隔として自動的に確保されるという形で実現されることになる。

(2) 大型車の走行特性の表現法

大型車の導入には、その加速性能と発進遅れ特性の組入れが必要となる。ペトリネットシミュレータでは、それらは、車両を表すトークン($p(-2)$ 上のもの)のタイマ更新を規定する V_{ptimer} 表で設定される。具体的には、表-1 に示すように、次の閉塞区間での走行速度(希望)を、当該閉塞区間での滞在時間(走行速度の逆数)を基に、加速か現状維持かに確率的に決している。発進遅れは、この表に設定される一定遅れ時間と、上述の車速更新とその確率とで実体化さ

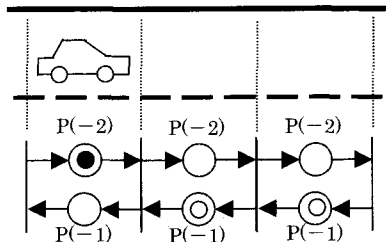


図-1 車両走行のペトリネット記述

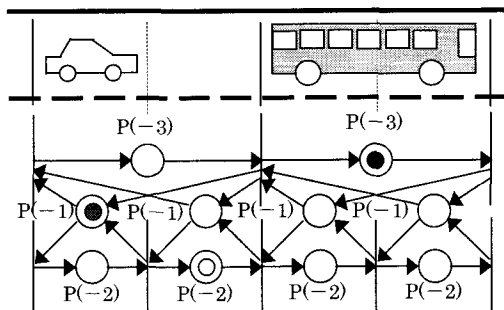


図-2 大型車導入ペトリネット

キーワード：発生交通、交通流、システム分析

*正員 工博 金沢大学教授 土木建設工学科

(〒920-0942 金沢市小立野 2-40-20 Tel. 076-234-4914)

** 学生員 金沢大学自然科学研究科環境基盤工学専攻

*** 正員 計画情報研究所

(〒920-0042 金沢市長田町 2-26-5 MTK ビル3F Tel 076-223-5445)

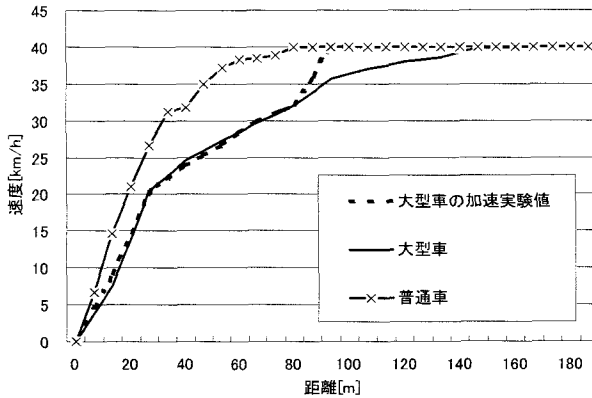


図-3 車両加速のシミュレーション結果

表-1 加速更新表

進行先	0.80	0.60	0.40	更新率
当該	1.20	0.90	0.60	(-2)の 設定
	2.40	1.20	0.80	
	else	2.40	1.00	
(-3) の設定				
	1.40	1.20	0.60	
	1.55	1.40	0.70	
	1.75	1.55	0.80	
	1.95	1.75	0.90	
	2.35	1.95	1.00	
	4.80	2.35	1.00	停車判定
	else	4.799	1.00	発進遅れ
	lastime	4.9	1.2	

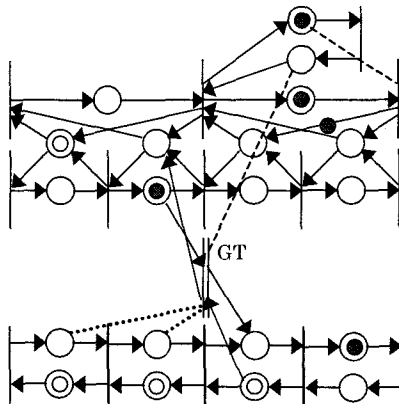


図-4(1) バス停での車線変更ネット

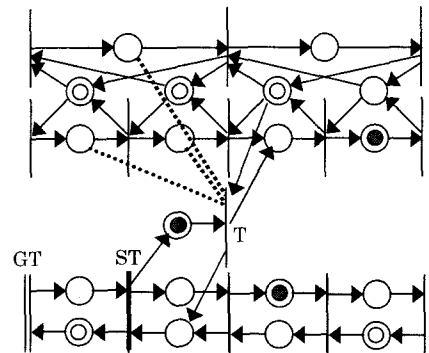


図-4(2) 左折車の折込みネット

れる。現ソフトウェアでは、この表を複数のブレース型に対して設定することが可能で、図-2 のネットに対しては、表-1 の下欄のように、ブレース p(-3)型用に大型車の走行特性を設定することになる。

図-3 は、表-1 の更新表を用い、図-2 の型のネットを駆動して、停車状態からの大型車と一般車の走行速度のシミュレーション結果を示したものである。両者の特性差が表現されているし、大型車も走行実験値をほぼ再現しているという結果が得られた。

3. バス交通流のシミュレーションネットの開発

バス交通のシミュレーションに関しては、さらに、バス停留所の形態やその近辺での一般車挙動、バス専用レーンの運用の有無や規制等を考慮する必要がある。これらの記述ネットは、既開発の手法で構築が可能で、2.の(2)のネットを拡張化した本体ネットに結合することで、組み入れることができる。

図-4 は、バス停留所での一般車のバス追い越しの記述ネット例である。図-4 の(1)は、上方に路肩側の混合流レーンネットが、下方に中央レーンネットが配置されており、停車中のバスの後に一般車がいる、

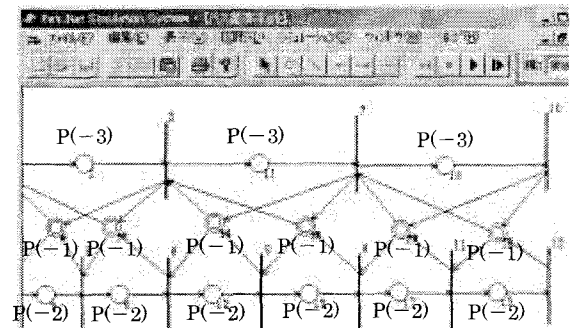


図-5 バス交通流ネットの実行画面例

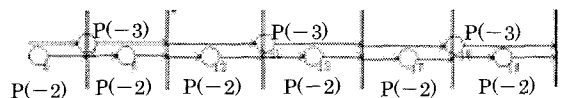


図-6 簡略ネット表示例

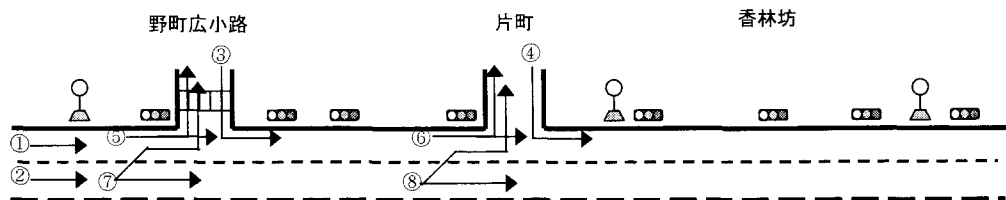


図-7 シミュレーション対象区間概念図

中央レーンに3台分のギャップがある交通状況中央レーンに3台分のギャップがある交通状況を示している。このとき、両者を繋ぐトランジションGTが発火可能となり、路肩側レーンの一般車の中央レーンへの車線変更が生起する。車線変更した車両はGTでトークンカラーを付与され、図-4の(2)で選択トランジションSTによって再び車線変更し、路肩側レーンに復帰するというネットになっている。

このネットでは、路肩側レーンの一般車の発生交通を零とし、中央レーン側のGTに一般車の左折比率を設定すれば、図-4の(2)は、バスレーン運用時に左折車が交差点手前でバスレーンに侵入するネットとなる。バス優先信号やバスペイについても同様の方式で組み込みが可能で、結合されたシステムネットはそのままで即実行可能となる。図-5は図-2をコンピュータ上に取り込んだ実行画面である。この駆動によってバスと一般車の挙動を視覚的に確認することで、記述ネットの修正や拡張化アイディアが得られる。ここにペトリネットシミュレータの特徴がある。

図-2や図-4や図-5のネットは、道路空間との視覚的な対応性にやや欠ける。本ソフトウェアには図形のドラッグや要素の表示・非表示機能があり、これらを活用すれば、図-5は図-6のように表現することも可能となっている。

4. バス交通のシミュレーションの実行と考察

(1) シミュレーション対象の概要

本研究では、図-7に示す金沢市都心軸の国道157号線の野町から香林坊に至る約1kmの区間のシミュレーションを試みる。この区間は、図に示すように、片側2車線で、広小路と片町のスクランブル交差点を抱え、歩行者信号を含めると8機の信号と、3箇所のバス停があり、7:30~9:00間は路側レーンがバス専用レーンとして運用される。ちなみに、この時間帯のバス交通量は77台/時、即ち1分当たり1.28台である。

ペトリネットシミュレータの特徴は、記述ネットの工夫のみによる適用化という汎用性にあるとした。ここでも、バス専用レーンが非運用時の混合流のシステムネットを構築し、それをベースにバス専用レーンの非運用時と運用時の両ケースのシミュレーション

表-2 流入交通量

バスレーン	非運用時	運用時
①	一般車	400
	バス	29
②	一般車	620
③	流入車	400
④	流入車	180

表-3 分岐交通量比率

バスレーン	非運用時	運用時
⑤	左折:直進	0.4:0.6
⑥	左折:直進	0.1:0.9
⑦	左折:直進	0.01:0.99
⑧	左折:直進	0.01:0.99

ョンの実行確認をまず行い、その上で、実交通の再現性の検証に向けた検討を試みる。

構築システムネットは、図-7に示す信号及びバス停留所の配置の下で、矢線の交通流パターンを記述するものである。即ち、広小路方面から香林坊に向かうバス・一般車の交通流を主流とし、広小路と片町交差点での左折一般車の流出入を考慮したネットを構築した。バス停留所の組み入れは、図-4(1)で停車時間を3点分布で生成し、バス進行を抑止する簡易ネットの結合化で行い、3つのバス停留所はそのパラメータ設定で表現している。

信号ネットはVRT調査によるものを使用し、広小路交差点では横断歩行者による左折抑止を考慮するが、片町ではスクランブル交差点とし考慮しないネットを構築している。総ブレース数は784個、総トランジション数は461個のネットで、車両発生ブレースは4個となっている。

(2) シミュレーション実行と考察

本研究では、バス専用レーンの非運用時シミュレーションをベースとして進める。従って、流入交通量も9:00~10:00の非運用時間帯の実測交通量(台/時間)を使用する。表-2と表-3に両シミュレーションケースで使用する主要なパラメータを示す。

まず、広小路方面からの交通量は2レーンで1020台/時間で、バス交通は約2分間隔となっている。バ

ス専用レーンの非運用時では、両交差点での左折車は路側レーンの走行車のみとし、中央レーンからはほとんどないとしている。また、停車中のバスの追い越しは、図-4(1)のネットを使用し、中央レーンに3台分のギャップがあるときに起きるとし、それらの車両はほぼ100%再び路側レーンに戻るとしている。その位置は、図-4(2)のネットをバス停近くに結合することで考慮することができる。

バス専用レーンの運用時では、表-2に示すように、まず、路側レーンの一般車の発生交通量は0台とし、一般車は全てが中央レーンで発生する状況を想定する。次に、バス専用レーンの運用時には当然一般車の路側レーンの走行は制限されるために、両交差点での左折車は中央レーンを走行し、交差点の手前40mの地点で路側レーンに進入し、左折することができるとし、図-4(2)のネットを、両交差点の手前40mの地点に結合したシステムネットを使用する。

この2ケースのシステムネットをペトリネットシミュレータを用いてコンピュータ上に構築し、それを視覚的な出力画面とするシミュレーション駆動を実行した。そして、いずれも問題無く実行できることを確認した。両シミュレーション結果を表-4と表-5に示す。

まず、表-4がバス専用レーンが非運用時の混合流での1時間のシミュレーション結果である。バスの平均旅行時間は546秒、時速では6.68km/hとなり、中央レーンの一般車は平均旅行時間は176秒、時速では20.73km/hとなり、一般車の方が優位という結果となった。また、停車中のバスの追い越しは、広小路バス停では21回、片町バス停では18回発生が計測されている。

このケースでの計測バス台数は5台であった。これは1時間当りの香林坊交差点でのバスの通過台数でもあり、発生が29(台/時間)であることを考えると極端に少なくなった。1回のシミュレーション結果ではあるが、広小路交差点での左折比率が、表-3に示すように40%と多く、かつ、この交差点では前述したように横断歩行者による左折抑止を組み入れていることによると考えられる。ちなみに発生を4人/分としたが、この見直しも必要だろう。

表-5はバス専用レーンの運用時の1時間のシミュレーション結果で、バスの平均旅行時間は370秒となり、時速にすると9.83km/hとなり、約25%改善されるという結果となった。また、この値は金沢市のP&Rでの計測値6分に近いものとなっている。このときの計測バス台数は23台であり、発生交通量の8割が通過できるという結果となった。一方、中央レーンの一般車の方は、平均旅行時間は805秒、時速にすると4.53km/hとなり、バスが優位という結果となった。

表-4 非運用時の結果

	バス	中央		追い越し台数
通過台数[台]	5	727		
旅行時間[s]	546.05	176	広小路バス停	21
旅行速度[km/h]	6.68	20.73	片町バス停	18

表-5 運用時の結果

	バス	中央
通過台数[台]	23	671
旅行時間[s]	370.91	805.8
旅行速度[km/h]	9.83	4.53

5. あとがき

本研究では、著者らの交通流ペトリネットシミュレータを、バス交通のシミュレーションに適用化するための基礎的研究と、若干の再現性検証の考察を試みた。既開発のシミュレーションでは、一般車の走行を中心としたものであったが、まず、大型車であるバスを取り扱うために、一つは一般車の2閉塞区間を占めるブレース、p(-3)を定義し、混合流の車両の進行ネットを考案し、いま一つは可変ブレースタイマの更新表にp(-3)用のものを追加することで、大型車のサイズと走行特性の両方を組み入れることに成功したと考えている。

次に、この基本ネットをベースに、実道路でのシミュレーションネットを構築した。そこでは既開発の技術を応用することで、さまざまな要素の組入れが可能となり、しかも、構築したネットは直ちに視覚的な出力系となり、プログラムの修正なしで実行に移せることも確認できた。シミュレーション結果については、実行回数、解析項目を含めて不十分であり、今後さらに詰めることになるが、バス専用レーンの非運用時と運用時での一般車とバスの優位関係について十分に実現化できる手応えは得られたと考えている。

6. 参考文献

- 1)小原, 坂本, 久保田, 他: tiss-NET によるバス優先方策の効果分析, 計画学研究・論文集, 16, 927-932, 1999.
- 2)鈴木, 坂本, 久保田: tiss-NET によるバス優先策総合評価システムの開発, 計画学研究・論文集, 17, 885-892, 2000.
- 3)佐野, 松本, 野沢, 他: 交通シミュレーションモデルを用いた優先施策の評価, 計画学研究・論文集, 17, 933-939, 2000.
- 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の開発, 計画学研究・論文集, 12, 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, 土木上方システム論文集, 19, 31~40, 2000.