

# ペトリネットシミュレータによるバス交通流シミュレーションの再現性検証\*

## Study on Validation of Bus Traffic Simulation by Petri Net Simulator

木俣 昇\*\* 西村 武敏\*\*\*

by Noboru KIMATA and Taketoshi NISHIMURA

### 1. まえがき

都市交通における渋滞改善の方法として、国内外でバス交通優先策による走行性の向上化と、それによるバス交通への需要移行が検討されている。この議論には、バス優先策の諸アイデアを発想、具体化し、効果評価シミュレーションの実行までが容易に行える交通シミュレータが望ましく、現在までにいくつかの研究が報告されている。

著者らは、ペトリネットを用いた交通流シミュレータを開発し、一般車を主とする交通流について検証し、バス・一般車の混合交通流のシミュレーションへの適用化を試みた。ペトリネットシミュレーターの特徴は、対象交通流を記述するネットが構築されれば、プログラムの変更無しに直ちに視覚的なシミュレーションが可能となる即時実行性にある。また、道路の時空間占有化を、視覚的に記述する点にも特徴があり、制限された道路の時空間をいかに安全にかつ効率的に何に占有化させるかというバス優先策の諸アイデアの発想とその具体化にも優れている。本研究では、道路時空間の占有性に着目したバス・一般車の混合交通流のペトリネット記述方式を概説し、朝・夕の時間帯にバス専用レーンが運用される金沢市都心部の国道 157 号線での実交通流調査と、バス専用レーン運用時と非運用時の再現性シミュレーションの結果を報告する。

---

\*キーワード：交通計画評価,交通容量,計画手法論

\*\*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, Fax. 076-234-4915

E-mail kimata@t.kanazawa-u.ac.jp)

\*\*\* 学生員 同自然科学研究科環境基盤工学専攻

### 2. バス交通流のペトリネット記述の概要

#### (1) バスの道路空間占有のペトリネット表現法

交通流のペトリネット記述の基本形は、図-1 に示すように、まず、道路を閉塞区間に分割して、1 つの閉塞区間を、“車両の存在”を示す P(-2)型のプレースと、“空間の空き”を示す P(-1)型のプレースの 2 個のプレースで記述する。そして、車両進行を当該閉塞区間から前方閉塞区間への移動という事象(トランジション)とし、その生起条件を当該閉塞区間に車両が存在し、かつ前方閉塞区間が空きのときとすることで、一般車の道路時空間の安全な占有化として記述するものである。

バスは大型車であり、一般車の 2 倍の空間を占有するとすれば、一般車との混在交通は、図-2 に示すように、3 種類のプレースによる道路時空間の安全な占有化記述となる。まず、“バスの存在”を表す P(-3)型プレースを新たに導入する。これには上の“空間の空き”を表す P(-1) 型プレースが 2 個対応することになる。そして、P(-2) 型プレースは“一般車の存在”を表すプレースで、バスは 2 つの空間が共に空きのときに、一般車は 1 つの空間が空きのときに、道路時空間の安全占有を継続するというネット記述が得られる。

図-2 のネットでのトークン(●は車両で○は空間の空き)のマーキング状態は、バスが前方にいて、1 空間空けて一般車が走行している状態を示している。バス専用レーンの時間帯運用とは、当該レーンの占有権を特定の時間帯はバスに制限するというものである。図-2 のネットでいえば、P(-2) 型プレースへのトークンのマーキングに制約を設けることで表現できる。

交差点近辺における空間を利用した部分的なバス専用レーン化による信号待ち時にバスを先頭に出すという優先策等も、ペトリネットによる

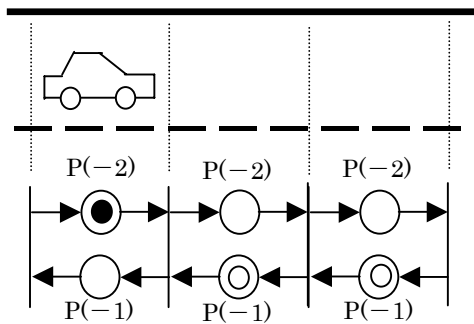


図-1 車両走行のペトリネット記述

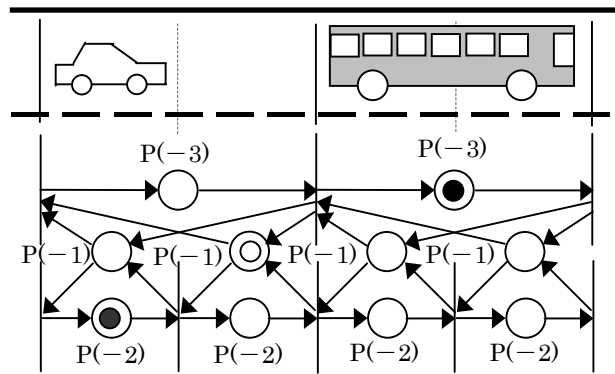


図-2 混在流ネット構成

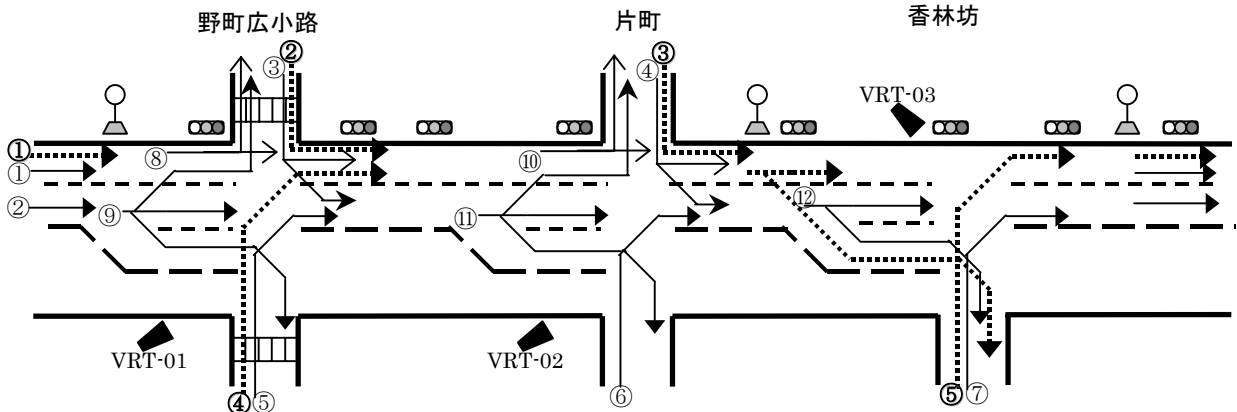


図-3 シミュレーション対象区間概念図

空間占有化の記述方式によってシミュレーションが可能となるだろう。

## (2) バス交通流シミュレーションネットの構成

本方式の検証のために、バス交通流シミュレーションネットを構成する。対象交通は、図-3 に示す金沢市都心部に向かう国道157号線の2車線区間の交通流である。ここでは、朝・夕にバス専用レーンが運用されており、表-1 は、図-3 における運用・非運用時の表記記号の凡例である。

バスは基本的には路側レーンを走行する。このレーンの記述ネットは、図-2 を基本とする。中央レーンは基本的には一般車が走行し、図-1 を基本として作成する。これら基本ネットの他に、バス停近辺の部分ネット、歩行者による左折車抑止部ネット、右折青の現示有と無の2タイプの信号部分ネット、右折レーンへの分岐・流出部ネット、3交差点での右折/左折流入部ネット、およびバス専用レーン運用時の中央レーンからの左折一般車のバス専用レーンへの進入部ネットを、図-3 の空間位置に結合化させて構成することになる。

発生交通は、バスについては、図-3 の破線矢線に対応する①～⑤の5箇所からで、一般車は実線矢線

表-1 運用時、非運用時での表記凡例

	運用時	非運用時
バス	.....→	.....→
一般車	直	→
	左	→
	右	→

に対応する①～⑦の7箇所からである。但し、バス専用レーンの運用時には①からの一般車の発生交通は零となる。

シミュレーションネットの構成は、基本的には前論文と同じである。バス停は2バースとし、これらのバス停では、シミュレーション対象時間帯では降車客サービスがほぼ70%で、停車時間は3点分布で確率的に設定するネットを使用している。また、バス専用レーン運用時に左折一般車がバス専用レーンに進入する地点も交差点手前40mとしている。変更点は、図-3 の左端での交通発生部と第一バス停部分までの距離を約70m延長し、前論文で発生した異常な渋滞の解消を図っている。いま一つは、発生交通と流出交通の追加である。具体的には、一般車については図-3 の流入ポイントの⑥と⑦、バスについては流入ポイントの⑤を追加し、流出については3交

表-2 3交差点での断面交通量実地調査データ

バスレーン		広小路				片町				香林坊			
		一般車			バス	一般車			バス	一般車		バス	
		左折	直進	右折	直進	左折	直進	右折	直進	直進	右折	直進	右折
運用時 (8:00~ 9:00)	合計[台]	126	627	70	66	184	698	176	98	560	471	91	38
	平均[台/10min]	21	105	11.7	11	30.7	116	29.3	16.3	93.3	78.5	15.2	6.33
	標準偏差	7.1	2.17	2.34	3.22	5.09	14.6	2.88	4.41	6.56	5.82	4.62	1.51
非運用時 (9:00~ 10:00)	合計[台]	187	730	126	35	199	797	225	70	713	450	58	28
	平均[台/10min]	31.2	122	21	5.83	33.2	133	37.5	11.7	119	75	9.67	4.67
	標準偏差	6.85	8.91	3.29	0.98	3.97	13.7	6.92	1.37	12.7	14	1.97	2.42

差点での右折流出部ネットを追加した。これも前論文で観測とシミュレーションネット構成の食い違いによる検証誤差が明白となった点である。

以上のように、本研究では、前論文で行った簡単な再現性検証で明らかになった主な課題を考慮してシステムネットを構成した。そして、実交通流についても、このシステムネットによるシミュレーション結果を検証するに必要となる最低限の調査を行うこととした。

### 3. バス交通流の再現性シミュレーション

#### (1) バス交通流調査の概要

交通流の実測調査は、図-3 に示した位置に VTR カメラを設置し、平成 14 年 5 月 28 日（火）の AM8:00~10:00 の間の交通流を撮影し、図-3 に示した各対象交通の通過台数を 10 分単位で計測した。また、同時間帯の 8 箇所の信号現示も撮影し、信号現示時間を計測した。表-2 に調査データの一部を示す。バス台数については、標準偏差が小さく、安定している。

バスの停車時間に関しては、同年 6 月 7 日（金）の同時間帯に、バス停で VRT 撮影を行い、乗降客の比率およびバスの停車時間を 1 台ごとに計測した。また、バス停での乗降客の比率は、降客が 75~85% となっていることも判明した。

#### (2) シミュレーションパラメータ

検証シミュレーションの諸パラメータは、(1) の実測調査を基に設定した。まず、図-3 の各番号に対応した各方面からの発生交通量(台/時)は、一般車に関しては本実測調査から計測する断面交通量よりも多いとし、ここでは実測値の 1.2 倍(台/時)を、バスは実測値(台/時)を使用するとし、表-3 のように設定した。各交差点での車両の流出比率は、実測値から

表-3 発生交通量パラメータ

バスレーン	一般車							バス				
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	①	②	③	④	⑤
運用	—	988	311	286	124	74	454	66	10	8	27	22
非運用	500	751	408	278	160	56	338	35	13	4	14	19

表-4 流出比率パラメータ

交差点	バスレーン	運用			非運用		
広小路	⑧ 左折:直進:右折	—	—	—	45	55	—
	⑨ 左折:直進:右折	15	76	9	—	80	20
片町	⑩ 左折:直進:右折	—	—	—	35	65	—
	⑪ 左折:直進:右折	19	63	18	—	65	35
香林坊	⑫ 左折:直進:右折	—	49	51	—	47	53

表-5 信号サイクル時間パラメータ

	非運用時					運用時				
	青	黄	右青	黄	赤	青	黄	右青	黄	赤
野町広小路	71	2	16	2	75	73	2	12	2	77
犀川大橋南詰	128	2	—	—	36	132	2	—	—	32
犀川大橋北詰	130	2	—	—	34	131	2	—	—	33
片町	66	2	20	2	76	72	2	17	2	73
片町丁目	125	2	—	—	39	125	2	—	—	39
香林坊	81	2	40	2	41	64	2	37	2	61
109前	126	2	—	—	38	125	2	—	—	39
香林坊丁目	130	2	—	—	34	131	2	—	—	33

表-6 バス停サービス時間パラメータ

バス停		広小路			片町			香林坊		
		短	中	長	短	中	長	短	中	長
非運用	時間[秒]	9	15	24	12	25	34	12	21	30
	確率[%]	45	42	13	27	46	27	25	57	18
運用	時間[秒]	7	13	26	16	20	37	12	23	37
	確率[%]	19	53	28	22	62	16	39	45	16

路肩および中央レーンに対して表-4 のように、また、信号サイクル時間も実測値として表-5 のように設定した。バス停での停車時間も実測値とし、前述したように短・中・長の 3 時間とその確率を表-6 に示す数値で設定した。

#### (3) シミュレーション結果と考察

表-3~表-6 のパラメータを 2.(2) で構成したバス交通シミュレーションネットに設定し、(1) の実測交

表-7 バスレーン運用時におけるシミュレーションでの計測値

	広小路				片町				香林坊			
	一般車		バス		一般車		バス		一般車		バス	
	左折	直進	右折	直進	左折	直進	右折	直進	直進	右折	直進	右折
0~10	21	93	12	12	25	82	18	8	69	63	3	9
10~20	12	75	14	13	33	92	37	20	73	62	15	6
20~30	9	73	10	16	17	89	27	24	57	51	6	2
30~40	11	75	9	11	22	70	19	12	66	61	6	11
40~50	8	59	8	12	26	102	31	23	56	44	16	7
50~60	13	89	14	12	22	83	24	13	60	53	6	6
合計[台]	74	464	67	76	145	518	156	100	381	334	52	41
平均[台/10分]	12.3	77.3	11.2	12.7	24.2	86.3	26	16.7	63.5	55.7	8.67	6.83
標準偏差	4.63	12.2	2.56	1.75	5.34	10.8	7.27	6.56	6.89	7.58	5.43	3.06

表-8 調査計測値とシミュレーション出力との誤差

	広小路				片町				香林坊			
	一般車		バス		一般車		バス		一般車		バス	
	左折	直進	右折	直進	左折	直進	右折	直進	直進	右折	直進	右折
誤差(通過台数)	-0.4	-0.3	-0	0.15	-0.2	-0.3	-0.1	0.02	-0.3	-0.3	-0.4	0.08
誤差(標準偏差)	-0.3	13.7	1.21	0.69	1.21	1.56	3.47	1.04	3.02	2.99	0.35	1.56

通流の再現性シミュレーションを実施した。パラメータの設定は、シミュレーションネットの構成をデータ化した Sdata ファイルの当該部分に記載することでなされる。車両の加速・減速特性は、可変ブレースタイマの更新則を定める Vptimer テキストファイルで設定されるが、ここでは前論文で検証した値を使用する。

シミュレーションの実行は、乱数初期値とシミュレーション時間を設定して行う。ここではシミュレーション時間を 4000 秒とし、最初の 400 秒を切り捨てた 1 時間のシミュレーション結果を用いて検証する。

表-7 にバス専用レーンの運用時のシミュレーション結果を示す。図-3 に示した各交通流に関する 10 分毎の計測結果である。表-8 は、表-2 に示した実測値を基準に、本シミュレーションによる再現度を誤差表示したものである。バスに関しては、香林坊直進で 40% と大きく、他は 2~15% と小さく、一応満足できる結果がえられた。

一般車については、広小路の直進・左折車と、香林坊の直進・右折車に大きな誤差が出ている。前者は、本研究でのネットの拡張化でもまだ不十分なことを示唆している。後者は、バスを含めてこの交差点の特殊性が未だ十分にネット記述されていない可能性があることを示唆している。

#### 4. あとがき

本研究では、ペトリネットという手法によるバス交通流のシミュレーションの検証を試みた。本方式は、道路空間の安全な占有性を視覚的に記述するところに特徴があり、限られた道路の時空間の安全で効率的な占有化が課題となる交通計画、特に公共交通の優先策の検討支援に寄与するものと考えている。ここではバスの実交通がある程度再現できることを示し、課題も見つかった。非運用時の結果を含め、発表時にさらに検討したいと考えている

#### 参考文献

- 1) 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,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,土木情報システム論文集, 19, pp.31-40, 2000.
- 3) 木俣,西村,四藤: バス交通流シミュレーションへのペトリネットシミュレータの適用化研究,土木計画学研究講演集, Vol.24, No.81, 2001.
- 4) 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, 土木計画学研究・論文集, 17, 885-892, 2000.