

ペトリネットを用いた交通流シミュレータの検証

Verification of Traffic Flow Simulation System by Petri-Net Model

木俣 昇* 千田 諭** 白水靖郎*** 北原 淳一**** 佐藤 寛恵****

by Noboru KIMATA, Satoshi SENDA, Yasuo SHIROMIZU, Junichi KITAHARA and Hiroyoshi SATO

1. はじめに

21世紀を迎えるにあたり、わが国では、女性や高齢者を中心に自動車利用が進み、本格的な車社会へ移行しつつある。これに対し、道路交通の円滑化は、道路混雑の解消だけでなく地球環境問題に対する取り組みとしても非常に重要な課題である。例えば、東京都の地球温暖化防止対策推進計画によると、2000年における二酸化炭素削減量のうち、約2割は交通の円滑化による平均速度の向上効果によるものと試算されている¹⁾。一方、新たな道路整備五箇年計画では、道路交通の円滑化等を目的とした道路政策を進めるにあたり、政策に対する客観的な評価を行うとともに、国民の理解の得られる形で政策を実施することが重要と述べられている²⁾。

これらを背景に、筆者らは、交通流の円滑化策の評価および社会的合意形成の支援ツールとして、ペトリネット理論に基づく交通流シミュレータの開発を進めてきた。ペトリネット型の交通流シミュレータは、ペトリネット理論の単純なルールに基づきモデル化しているため、車両の挙動ルールがブラックボックス化したシミュレータに比べて、真の意味での合意形成が得やすいことが特長である。また、個々の車両単位でモデル化しているため、車両の動き等を視覚的に確認することも容易である。

筆者らは、これまで、本シミュレータの基本的な考え方やモデルの組み方による表現の工夫（例えば違法駐車や踏切遮断の表現）等について検討してきた（例えば³⁾⁴⁾）。したがって、今後は、実業務に適用し、

その有用性を示していくことが重要と考えるが、その際課題となるが、シミュレーションの現況再現性である。これまでの検証結果によると、本シミュレータを用いた現況再現交通は、実交通よりも速く・多く流れることが確認されている。

そこで、本稿では、本シミュレータにおける現況再現性に係る課題を、ペトリネットのモデリングに起因するものと、外生的に与えるパラメータ値の設定に起因するものに分けて整理する。また、外生的に与えるパラメータ値を、車両挙動に関する実態調査に基づき検討するとともに、検討の結果得られたパラメータを用いて現況再現性の検証を行う。

2. 現況再現性に係る課題の整理

(1) 車両挙動の基本的なルール³⁾⁴⁾

ペトリネットを用いたシミュレータの現況再現性に係る課題を整理するため、本シミュレータにおける車両挙動の基本的なルールを整理する。

本シミュレータは、道路空間を一定の区間（以下、閉塞区間と呼ぶ）に分割し、閉塞区間単位で車両の挙動を離散的に表現するモデルである。ここで、基本的な車両の挙動は、①車両の到着、②車両の進行、③車両の分岐、④信号による車両進行の制御、⑤対向車や歩行者等による右左折の制御で表現される。

① 車両の到着

シミュレーション区間への車両の到着は、シミュレーション区間における最初の閉塞区間に適当な間隔で、車両を発生させることで表現する。本システムでは、車両の到着台数はポアソン分布に従うと考え、交通量調査で観測された車両到着台数に基づき、乱数を用いて発生させている。

② 車両の進行

車両の進行は、一つ先の閉塞区間に車両が存在しない場合行われる。

ここで、進行の「加減速」は、閉塞区間における車両の滞在時間を一つ手前の閉塞区間での滞在時間

キーワード：計画手法論、システム分析

*正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科
(〒920-0942 金沢市小立野 2-40-20 TEL 076-234-4914
FAX 076-234-4915)

**学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境基盤工学専攻 (同上)

***正会員 中央復建コンサルタンツ(株)東京支社
(〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町 2-11 イワサキ第2ビル TEL03-3669-1618 FAX 03-3662-3653)

****正会員 工修 中央復建コンサルタンツ(株)東京支社
(同上)

との関係づけることによって表現している。具体的には、表 2.1 のパラメータを基本としている。

また、停止状態から発進する際には、ドライバーの反応時間を考慮して、「発進遅れ」を見込んでいる。具体的には、一つ手前の閉塞区間での滞在時間が 4.8 秒以上 (5km/h 以下) の場合、車両は停止していると考え、「発進遅れ」を一律 0.3 秒見込んでいる。

また、減速については、必ず減速することがわかっている特定の区間 (例えば踏み切り手前) に対しては表 2.1 の加減速パラメータの応用で対応できるが、その他については、前方車両の存在や信号等による制御 (後述) によって、急激な減速を強いられることになっている。

表 2.1 加減速のパラメータ (基本ケース)

一つ手前の閉塞区間		当該閉塞区間	
滞在時間(秒)	対応速度(km/h)	滞在時間(秒)	対応速度(km/h)
$t \leq 0.80$	$30 \leq v$	0.60	40
$0.80 < t \leq 1.20$	$20 \leq v < 30$	0.80	30
$1.20 < t \leq 2.40$	$10 \leq v < 20$	1.20	20
$2.40 < t$	$v < 10$	2.40	10

③ 車両の分岐

車線の変更や車両の右左折といった車両の分岐は、交通量調査で観測された分岐比率に基づき、ポアソン分布に従うよう乱数を用いて分岐させる。

④ 信号による車両進行の制御

進行方向の信号が赤信号の場合、車両の進行は制御される。信号現示は、交通量調査で観測された値を用いる。

⑤ 対向車や歩行者等による右左折の制御

右折車両に対して、対向車や歩行者等がある場合、右折車両の進行は制御される。右折車両の進行を制御する対向車両や歩行者の位置は任意に設定できる。

(2) 現況再現性に係る課題と検討の視点

(1)に基づき、本シミュレータにおける車両挙動の要因を、以下の3点から整理した。

① 交通量等の外生データ

分析区間への自動車到着台数 (対向車線を含む) や、車両分岐点における分岐比率、信号現示などの指標であり、基本的には、検討ケース毎に収集するデータである。従って、現況再現性の向上に対する

技術的改善は特にないと考えられる。

② 外生的に与えるパラメータ

加減速パラメータや発進遅れがこれに相当する。これらについては、経験的に用いているところがあり、現況再現性向上に向けて、検討の余地がある。

③ ペトリネットのモデリングによる車両制御

信号や対向車、歩行者等による車両進行の制御がこれに相当する。これに対する問題は、前述した急激な減速であり、それに対して以下の2通りの対応が考えられる。

一つ目の対応は、モデリングの工夫による段階的な減速であり、筆者らはそれらの開発も行っている。しかし、単純なペトリネットのルールのみで減速を表すと、非常に複雑なネットワークになり、わかりやすさという点で問題が残る。もう一つの対応は、ペトリネットのルールに「減速」を加え、プログラムに組み入れる方法である。しかし、このような対応は、シミュレーションのブラックボックス度を高め、本システムの特長を損なうものとなる。

このように、減速の問題は、本シミュレータにおいて大きな課題の一つであるが、我々が本シミュレータを用いて検討する交通問題は、市街地の渋滞道路におけるものが大半であり、減速があまり問題とならない「渋滞速度」で走行しているケースが多い。

以上のことから、本稿においては、「外生的に与えるパラメータ」に的を絞って検討する。

3. 外生パラメータ値の検討

本システムにおいて外生的に与えるパラメータは、「発進遅れ」と「加(減)速」である。これらに対して、市街地における車両の走行状況をビデオカメラを用いて観測し、望ましいパラメータ値について検討した。

(1) 発進遅れ

発進遅れの時間を把握するため、交差点において青信号に変わってから先頭車両が動き出すまでの時間を計測した。交差道路の混雑状況が異なる2地点で計測したところ、交差道路の交通量が少なく青信号時の発進に影響がない地点で平均約 1.1~1.2 秒、交差道路の混雑の影響で発進が遅れがちな地点で約 2.4 秒であった。

これらのことから、発進遅れについては、交差道

路の状況等に応じてバラツキがあるものの、これまで使用してきた0.3秒という値は、かなり過小であることが判明した。

表 3.1 青信号に変わってから動き出すまでの時間

計測回数	道路A		道路B (先頭車両)
	先頭車両	先頭から5台平均	
1	1.59	1.26	2.28
2	0.91	1.23	2.33
3	1.67	1.02	2.27
4	1.03	1.08	1.67
5	0.63	1.37	2.32
6	1.09	1.30	1.99
7	0.69	1.30	4.29
8	1.64	1.23	2.24
9	0.89	1.04	2.10
10	0.97	1.07	2.43
平均	1.11	1.19	2.39
標準偏差	0.37	0.12	0.67

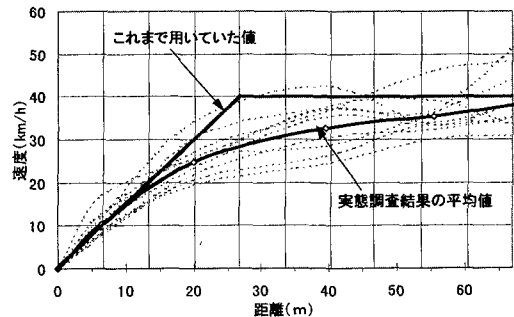
道路A：交差道路の交通量が少なく、青信号に変わった際の発進に障害がない道路

道路B：交差道路の交通量が多く、青信号に変わってもすぐには発進できない場合がある道路

(2) 加減速

これまで用いてきた加減速のパラメータは、表 2.1 に示したとおりである。このパラメータは、「前方に車両がない状態で、閉塞区間を一つ移動する毎に、停止→10km/h→20km/h→30km/h→40km/h と加速する」と言い換えることができる。

これに対して、市街地における車両の加速状況をビデオ撮影によって確認したところ、図 3.1 のようになった。この結果によると、停止状態から閉塞区間を2つ移動するまでは、我々の設定とほぼ同じ加速度となっているが、それ以降は、実際の車両挙動では徐々に加速度が低下していくことがわかる。



注1) 細点線は個々の計測サンプル。
注2) 距離軸の縦線は、閉塞区間(6.7m)間隔で表示。

図 3.1 停止状態からの速度の変化

これらを踏まえ、車両の実挙動に合わせて、加減速のパラメータを設定すると、表 3.2 に示すようになる。

表 3.2 加減速のパラメータ案(実態調査に基づく)

一つ手前の閉塞区間		当該閉塞区間	
滞在時間(秒)	対応速度(km/h)	滞在時間(秒)	対応速度(km/h)
$t \leq 0.75$	$32 \leq v$	0.70	34
$0.75 < t \leq 0.80$	$30 \leq v < 32$	0.75	32
$0.80 < t \leq 0.85$	$28 \leq v < 30$	0.80	30
$0.85 < t \leq 0.95$	$25 \leq v < 28$	0.85	28
$0.95 < t \leq 1.20$	$20 \leq v < 25$	0.95	25
$1.20 < t \leq 2.40$	$10 \leq v < 20$	1.20	20
$2.40 < t$	$v < 10$	2.40	10

4. 現況再現性の検証

(1) 検証ケースの概要

東京都江戸川区における幹線道路上の交差点における、東京都心から千葉方面への夕方の流出交通を分析対象とした。図 4.1 にその交差点形状を、表 4.1 に交通量調査結果の概要を示す。

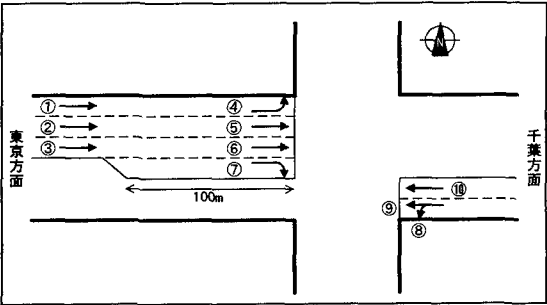


図 4.1 検証交差点の道路形状

表 4.1 交通量調査結果(信号10サイクルの平均)

A. 到着交通量(東京→千葉)

	①直進	②直進	③直進
平均値(台/サイクル)	4.80	17.90	29.20
平均値(台/分)	2.40	8.95	14.60
標準偏差(台/分)	0.70	1.89	1.39

B. 交差点交通量(東京→千葉)

	④左折	⑤直進	⑥直進	⑦右折
平均値(台/サイクル)	4.60	16.60	19.60	10.90
標準偏差(台/サイクル)	1.36	3.67	2.80	1.64

C. 交差点交通量(千葉→東京)

	直進左折		⑩直進
	⑧(左折)	⑨(直進)	
平均値(台/サイクル)	3.50	10.40	16.50
標準偏差(台/サイクル)	2.38	2.42	2.11

D. 信号現示（東西方向の自動車のみ表示）

1 φ	2 φ	3 φ	4 φ	5 φ
44 秒	3 秒	25 秒	3 秒	45 秒
120 秒				

(2) 現況再現性の検証結果

表 4.1 の実態調査結果に基づき、2 種類の加速パラメータ（表 2.1、表 3.2）及び 3 種類の発進遅れ（0.3 秒、1.2 秒、2.4 秒）を用いてシミュレーションを行った。

① 交差点通過交通量

交差点通過交通量を見ると、各ケースに大きな差はないが、新しい加速度パラメータでかつ発進遅れを 2.4 秒とするケースが最も実測値に近い。

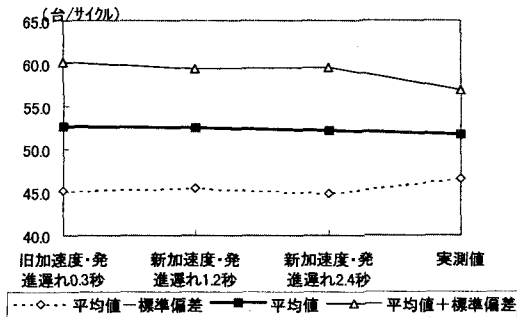


図 4.1 交差点通過交通量の比較

② 滞留台数

1 回の信号では捌ききれない右折滞留台数をみると、加速度のパラメータ等を見直したことにより、現況再現性が大幅に向上している。

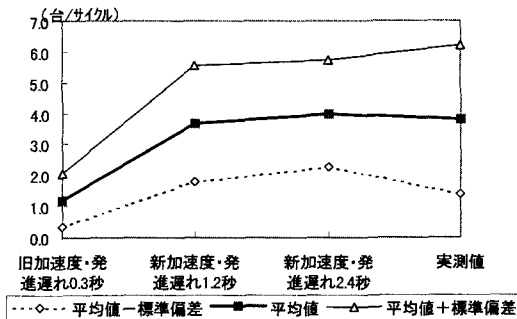


図 4.2 右折滞留台数（赤信号に変わる時）

また、これらの見直しにより、交通現象のパラツキ度合いが実測値に近づいた。筆者らが行った他の

検証結果では、実測値のパラツキはもっと大きいケースもある⁴⁾。これは、本シミュレーションにおける変動要因が、到着率及び分岐率にしかないためである。現実の交通変動を表現していくためには、加速度の更新を確率的に行う、いわゆる車速の確率化についても検討する必要がある。

5. 結論および今後の課題

本稿で得られた知見は以下のとおりである。

- ① ペトリネットを用いた交通流シミュレータの現況再現性を高めるため、外生パラメータとなる加速度及び発進遅れのパラメータの値を、車両挙動調査に基づき検証した。その結果、加速度は現在の設定よりもやや低め、発進遅れは現在の設定よりもかなり大きい 1.2~2.4 秒程度であることを確認した。
- ② 上記のパラメータを用いて、本シミュレータの現況再現性の事例検討を行った結果、従来よりも実測値に近づくことを確認した。しかし、まだシミュレーション結果の方が現実の交通流よりも、速く・多く流れるケースもあるため、車速の確率化等に取り組む必要がある。

その他、現況再現性を向上させるための課題としては、シミュレーション範囲の拡大がある。すなわち、対象交差点の前後の交差点までシミュレーション範囲を広げ、到着交通のパラツキや渋滞の先詰まりに対応することも重要と考えられる。

<参考文献>

- 1) 東京都：東京都地球温暖化防止対策地域推進計画，1995.5.
- 2) 建設省：新たな道路整備五箇年計画，1998.
- 3) 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.12，1995.8.
- 4) 木俣昇，千田諭，横山誠：「ペトリネットによる違法駐車に伴う迷惑渋滞のシミュレーション実験」，土木計画学研究・論文集，No.16（投稿中）