

ペトリネットシミュレータによる道路改良計画の支援システム整備に関する研究*

Study on Petri-nets Simulator as Supporting System for Road Improvement Planning *

安次富裕亮**・木俣昇***・向田満****・中田光****・四藤一成*****

By yuusuke ASHITOMI **・noboru KIMATA***・mituru MUKAIDA****・hikaru NAKATA****・issei YOTUFUJI*****

1. はじめに

人口予測の見直しや環境重視へのシフトなどを背景に、道路整備計画においても、既存道路の改良による地域課題の解消スキームが求められてきている。道路整備の中期ビジョンでは、このことを主要目標の一つとして明確化している。そこでは、その検討対象は2千2百箇所にも及ぶとされている。即ち、それらについて、それぞれの個別状況を考慮し、改良代替案を提示し、効果評価の上での意思決定が求められていることになる。本研究では、その支援ためのシステム整備について論じる。

具体的には、著者らは、実道路空間との記述対応性を持ち、結合化による拡張性にも優れたペトリネットによる交通流シミュレーションの開発研究^{1)~3)}を行ってきた。本研究では、まず、道路改良計画の支援システム要件を示し、それら要件に向けて、この交通流ペトリネットシミュレーションの整備法を示すとともに、実道路改良計画への適用を試み、課題の考察を行う。

2. ペトリネットシミュレータによる道路改良計画の支援システム整備

(1) 道路改良計画の支援システム要件

既存道路の改良計画の基本スキームを、まず、図-1に示す。地域の道路網については、種々の交通調査がなされており、それらを基に、周辺動向も踏まえて対象候補地点と課題が定められる。本研究での支援システムは、これを受けて、現状道路でのソフト対策案での課題解決の検討を経て、拡幅等の道路改良を伴うハード対策案の検討に移る。これらの遂行には、交通流のシミュレーションシステムが使用される。

*キーワード：計画手法論，システム分析，地区交通計画

**学生員、金沢大学大学院自然科学研究科

***正員、工博 金沢大学大学院自然科学研究科

(金沢市角間町、TEL076-234-4914、FAX076-234-4915)

****正員 国土交通省金沢河川国道事務所

(金沢市西念4-23-5、TEL076-264-8800、FAX076-233-9631)

*****正員 計画情報研究所

(金沢市駅西本町2-10-6、TEL076-223-5445、FAX 223-4144)

このシミュレーションシステムには、従って、現状道路での交通流の表現力と、信号制御策やレーン規制策の提示と評価力が、まず求められる。交通流のシミュレーションシステムは、どれも、この要件を満たしている。

次に、道路改良の代替案の提示と評価力が求められる。これには、実道路空間との対応性を備えた記述・表現力が重要となる。さらに、現状道路のシミュレーションシステムからの展開力が望まれる。これらの要件は、特にPI型の道路整備計画で望まれるものである。

最後は、道路改良工事に伴う対応案のシミュレーション力である。既存道路の改良計画では、既存道路を供用状態に保ったままでの工事が必須となる。また、沿道への交通にも大きな影響がでる。そのために、工事時間帯と工事法を想定したシミュレーション力が求められるが、ここでも、実道路空間との対応性や、改良計画のシミュレーションからの展開性が望まれることとなる。

(2) 交通流ペトリネットシミュレータのシステム整備

a) 交通流のペトリネット表現法

図-2に、最も基本的な1車線の一般車交通流のペトリネット表現例を示す。即ち、ブレース(○)、トランジション(|)、アーク(→)を要素とするグラフ形式の表現法で、交通流の状態は、トランジションの発火則によるトークン(●)の配置更新によって表示・シミュレーションされる¹⁾。このネット例は、p0が一般車の発生ブレースで、t1~t10が道路走行の記述部で、上段のブレース群が“車両の存在”を、下段のブレース群が“空間の空き”を意味しており、トランジションには、前方空間が空きのときのみに発火するように、入出アーク群が設けられている。

即ち、ペトリネットによる交通流のシミュレーションでは、道路空間の安全な占有化の記述ネットを構成し、トランジションの発火則により、安全な走行性が保証される。この記述方式の実道路空間対応性は、図-3に示すように、対象道路を背景画像とし、ペトリネットシミュレータの諸機能を活用することで、より直接的な形で視覚化される。図-3は、Color Petri-Net Simulation Systemによる図-2の実行画面で、“車両の存在”を示すブレースのみを表示し、他のブレースや、トランジションやアークを全て非表示としたときのものである。

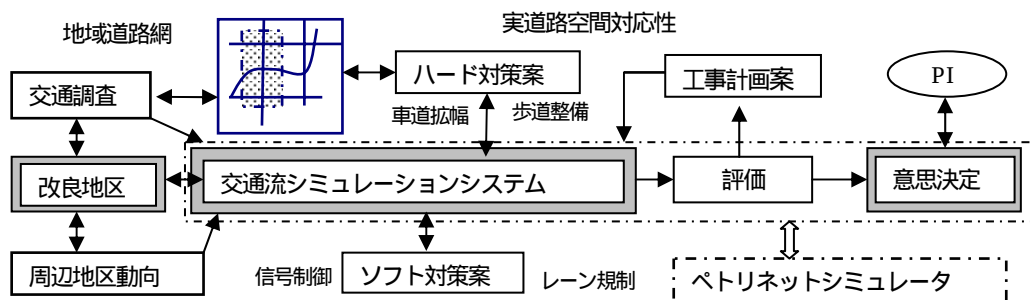


図-1:改良計画の基本スキーム

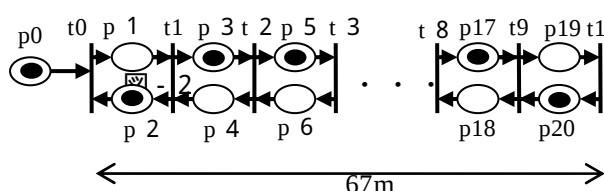


図-2:交通流基本ネット
表-1:サブネット

発生交通量生成	車両走行	走行特性	信号	停車場	その他
ポアソン分布	一般車	右左折	3現示	バス停	歩行者
タイムテーブル	バス	車線変更	右折現示	バスベイ	レーン規制
二項分布	混在流	追い越し	バス優先	タクシーベイ	分岐・合流

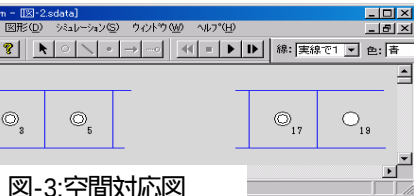


図-3:空間対応図

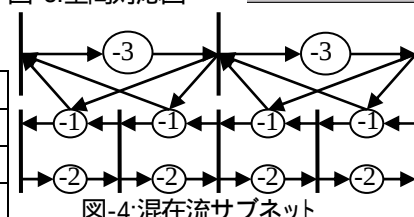


図-4:混在流サブネット

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	抑止トラン番号	タイム種類	カラー種類	表示:非表示	表示色					入力プレース番号	出力プレース番号	トラン種類	表示:非表示								発生ブ	発生トーク
2																						
3										end												
4	PLACE	21								TRAN	11										-2	
5		-1	-1	0	1		//P0	発生部		0	2	-1	1		-1	0	1	//T0	発生部		GENE	1
6		-1	1	0	1		//P1			1	4	-1	2	3	-1	0	1	//T1			0	5
7		-1	-1	0	0		//P2			3	6	-1	4	5	-1	0	1	//T2	走行部			
8		-1	-2	0	1		//P3	走行部(車両)		5	8	-1	6	7	-1	0	1	//T3				
9		-1	-1	0	0		//P4	走行部(開き空間)		7	10	-1	8	9	-1	0	1	//T4				
10		-1	-2	0	1		//P5	走行部(車両)		9	12	-1	10	11	-1	0	1	//T5				

図-5:交通流サブネットモデルの Excel 形式 Sdata

b) 交通流サブネットの整備と活用方式

著者らは、図-2で紹介したような交通流の基本部分のサブネットを、既に幾つも開発してきている。表-1にその一覧を示す^{1)~3)}。

図-4は、その中のバスと一般車の混在流のサブネットを示したものである。下段は、前出の一般車流のネット、その進行には、前方の空き空間は1個あればよいが、上段のバスの進行では、大型車であるために、前方の空き空間は2個必要となるとして、空間対応がここでも実現されている。さらに、一般車の存在プレースには-2、バスの存在プレースには-3（空間の空きプレースは-1）と記録することで、車速更新の違いも表現可能なレベルになっている³⁾。図-1で要件とした各レベルでの交通流ペトリネットシミュレーションは、基本的には、これらのサブネットを拡張化し、結合する形で構築対象区域のシミュレーションネットでは、レーンの車両走行部が最も大規模となるが、図-2や図-4に示すように、規則性の高いネットであり、従って、まず、走行部分のSdataは、この方式で容易に構成できることとなる。図-5は、図-2のネットのSdataであるが、コメント欄に走行部とある部分は、基本となる2行をコピーし

必要な区間長分ドラッグすることで構成されることを示している。

また、信号や分岐等は、背景画像上に構築された基本ネット図を見ながら、図-5にあるコメント欄を作成し、必要なサブネットを表-1より選定し、それらのSdataの挿入と、トランジションの入出力関係を設定することで、組み込むことが可能となる。

3. 道路改良計画事例への支援システムの適用化と考察

(1) 道路改良計画の支援事例の概要

道路改良計画の実施事例として、金沢市都心軸の国道157号線野町広小路交差点での片町方面からの右折2車線化を取り上げる。片側2車線道路で、中央レーンが右折、路肩レーンが直進・左折レーンに指定されており、平日の7時から9時までの2日間分の観測データでは、通過時間では、直進・左折は、平均5分で、2信号サイクル時間であるが、右折は10分、4信号サイクル時間となっており、右折の走行性改善が計画目標とされ、広小路交差点手前の160m区間の拡幅工事が実施され、現在、中央2レーンを右折、拡幅された路肩レーンを直進・左折として運用・供用されている。図-6に、現状

と改良後の実道路図を示す。

この実施事例を対象に、図- 1 の基本スキームに従って、ペトリネットシミュレーションシステムによる支援実践を試みる。まず、図- 7 に、対象改良地区の現状交通流の構成を示す。上方の点線部が片町のスクランブル交差点部で、上方の点線部が広小路交差点部である。

この区間への負荷交通は、一般車の G1、G2、G3 と、バスの B である。スクランブル交差点の先にバス停留所があるために、一般車は全て当初は中央レーンを走行し、その先で直進・左折車は路肩レーンに分岐する。その先での車線変更は、通勤時間帯であることから想定しない。バスも、路肩レーンを走行したのち、右折分は中央レーンに分岐する。図中の α は、一般車のこの路肩レーンへの分岐率で、バスの方は $(1 - \beta)$ が中央レーンへの分岐率となる。 γ は、路肩レーンを走行する車両の直進率で、 γ_g で一般車の直進率を、 γ_b でバスの直進率という区別が、さらに必要となる。

もう1つの負荷交通が、図中の C であり、広小路交差点での右折抑止として作用する。これらの交通に関して、調査がなされている。上述した2日間の調査データを整理したものを、表- 2 と表- 3 に示す。

(2) システムネットの構成と検証

まず、現状道路での交通流シミュレーションネットの構成を行う。これは、図- 7 を基に、必要な部分ネットを、表- 1 で用意された中から選択し、2. の(2)のb) で述べたように、Excel 形式の S d a t a を編集する形で行われる。

具体的には、発生部ネットでは、片町交差点で4個、

広小路で1個、走行部ネットでは、一般車およびバスの各車両ネットと混在流ネット、走行特性部では、車線変更部ネットと右左折分岐ネットが、まず、必要となる。信号系については、片町交差点では2方向の右左折現示付き信号によるスクランブル型と、広小路での右折現示付き信号が使用されることになる。

拡幅工事区間は160 mであるが、渋滞長の調査では、直進・左折で平均450 m、右折で249 mとなっており、手前交差点を含む460 mの区間でシミュレーションネットを構成することとした。一般車の閉塞区間長は6.7 mとしており、1レーン当たりの“車両の存在”のスペース数は68個となる。

まず、このネットによる負荷交通量の再現性を検討し、ほぼ想定値が生成されることを確認した。次に、負荷交通のパラメータをピーク時の値(表- 2 の<平均> + 3<偏差>)とし、分岐率のパラメータは、表- 3 の値として、広小路交差点の通過交通量の計測を行った。その結果を、表- 4 に示す。ここでもほぼ調査結果と合う結果が得られた。



図-6:対象道路空間と改良計画

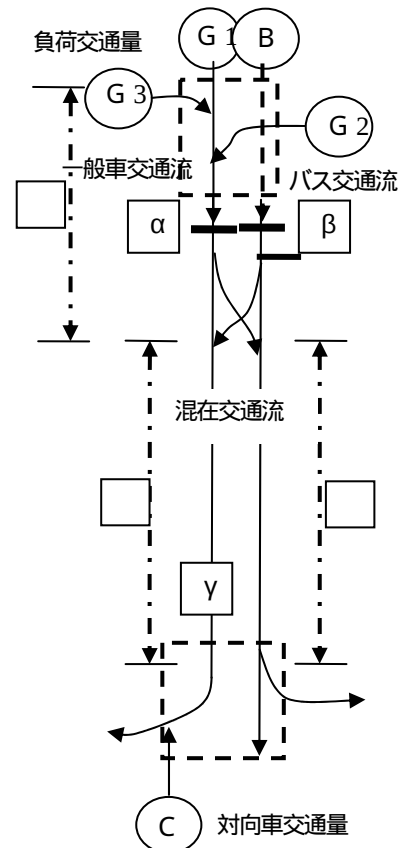


図-7 現状交通流の概念図

表-2:図-7 の負荷交通量の想定データ

調査		平均(台/10分)	偏差	信号時間
B	バス	13	3.54	65 秒
G1	一般車	84	16.17	
G2	一般車	15	5.09	43 秒
G3	一般車	6	3.22	5 秒
C	対向車	133	28.51	81 秒

表-3:分岐率の設定

調査	出口交差点流(台/10分)			図-7 の分岐パラメータ		
	直	左	右折	α	β	γ
バス	8	3.58	2.42	—	0.83	0.69
一般車	79.75	8.58	29	0.75	—	0.9

表-4:広小路交差点通過交通量

台/10分	実測値			シミュレーション		
	右折	直進	左折	右折	直進	左折
平均	31.42	87.75	12.17	31.4	109	11.8
分散	58.24	31.42	87.75	116	479	10.56
偏差	7.63	5.61	9.37	10.8	21.9	3.25

この時の渋滞長の計測結果を、図- 8 のグラフに示す。これは、図 - 7 に破線矢印で示した3つの区間に分けて、広小路交差点の信号現示が赤から青に変わる瞬間に、各区間にいる車両台数を計測し、占有閉塞区間長を掛けて、渋滞長としたものである。図 - 2 と図 - 3 に示したように、各区間において、一般車とバスの“車両の存在”を示すブレースが区分されており、ペトリネットシミュレーションでは、占有閉塞区間長の違いも反映することが可能である。

図 - 8 では、調査方法との兼ね合いで、路肩の直進・左折レーンは、区間の220 mでの計測とし、中央の右折レーンは、区間とを合わせ375 mでの計測とし表示している。この結果、直進・左折レーンの渋滞長が0となる信号サイクル時が出てきている。その時には、区間とを合わせた渋滞長が、中央レーンの道路長一杯に達しており、路肩レーンへの車線変更車がブロック状態になったか、バスの車線変更優先権を設定しており、中央レーンへの車線変更バスが原因である可能性がある。

最後に、道路拡幅後のシミュレーションネットの構成法を、図 - 9 に示す。これは、構築した現状交通流のシミュレーションネットの中の拡幅区間に当たる部分を、背景画像上でクリックし、ドラッグ操作で、まず、拡幅道路空間にまで移動させ、そのことで空く中央レーン上に、右折レーン走行部ネットを新たに挿入し、そして、現状交通流のシミュレーションネットに、車線変更・分岐部を設け、両者の接続を行うというものである。

ここでも、2 . の(2)のb)で述べたExcel形式のSdataの編集方式が有効に機能するし、ペトリネットシミュレーションシステムの持つ実道路空間との対応性の活用した展開性も、大いに威力を発揮する。このネットの改良計画の効果評価については、発表時に行う。

4 . あとがき

本研究では、既存道路の改良による交通課題の解決という社会的な要請の中で、その支援システムの要件と、ペトリネットシミュレーションによる支援実践について報告した。要件としては、既存道路の実空間の反応性、現状道路のシミュレーションを出発点とし、ソフト対策ハード対策の検討支援への展開性、さらには、改良工事

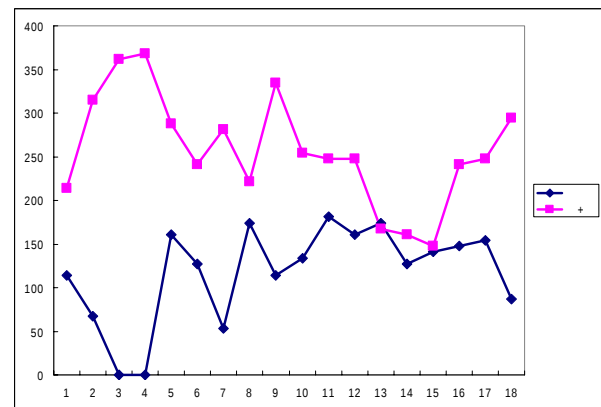


図-8:シミュレーション渋滞長

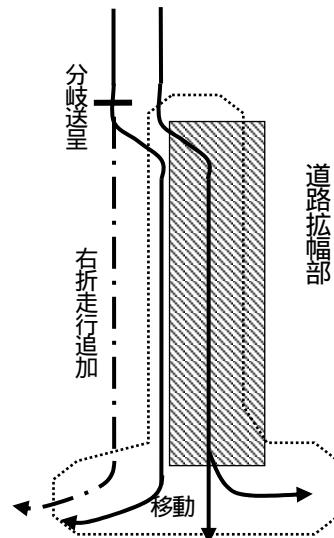


図-9 改良交通流への展開法

期の検討支援への展開性を挙げた。実空間対応性については、ペトリネットでの交通流記述の原理であり、また、実行ソフトウェア上でも、その視覚化がなされていることを報告した。展開性も、ペトリネットの結合性に基礎を置く大きな特徴であり、Excel形式でのSdataの管理で、さらに実践化できることを示した。

具体的な実践では、シミュレーション区間の取り方、特に、負荷交通量の発生形式と位置、また、調査方式との関連での検証法に課題を残している。

参考文献

- 1) 木俣昇、他：ペトリネットによる交通流シミュレーションの開発、土木計画学研究・論文集，No.12，691-699，1995．
- 2) 木俣昇、他：ミクロ交通流のペトリネットシミュレータの検証に関する基礎的研究、土木計画学研究・論文集，No.18，755-762，2001．
- 3) 木俣昇、他：背景画像上でのバス交通計画のペトリネットシミュレーション技術、土木情報利用技術論文集、Vol. 207-216，2003．