

# 宇部市街地ネットワークを対象とした 交通渋滞シミュレーションと交通現況再現の試み

壬生 裕之 (ビップシステムズ(株))

久井 守 (知能情報システム工学科)

## Simulation on Traffic Flow and Congestion of the Signalized Network in Urban Area of Ube City

Hiroyuki MIBU (BIP Systems Corporation)

Mamoru HISAI (Department of Computer Science and Systems Engineering)

This paper aims to perform traffic simulations on traffic flow and congestion of the signalized network in urban area of Ube city and to try to improve the reproduction ability of current traffic situation by adjusting simulation conditions in heuristic manner. Time span of simulation is 24 hours including peak hours in the morning and in the evening when traffic congestion occurs. A microscopic simulation that has been developed based on discrete model is used. One of the feature of the simulation is that vehicles are assumed to take either of two mode of stopping and running to increase calculation efficiency. Another feature is that route selection is modeled.

**Key Words :** *microscopic simulation, two-mode model, OD table, route selection, large-scale network*

### 1. はじめに

本研究は、宇部市の中心市街地を含む道路ネットワークを対象として交通シミュレーションを行い、試行錯誤的にシミュレーション条件を改善し、交通現況の再現性向上を試みたものである。シミュレーション対象時間は、交通渋滞が発生するような朝夕のピーク時を含む1日24時間を原則とする。

本研究では、すでに開発済みの2モード走行シミュレーションを用いる<sup>1)~4)</sup>。ただし細部の改良はいくつか行い<sup>5)~7)</sup>、その改良したものをを用いることとする。

### 2. シミュレーションの概要

交通シミュレーションは国の内外をとわず多数開発されているが、本研究で用いる2モード走行シミュレーションは大規模な街路ネットワークを対象とし車1台1台を離散的に扱う微視的シミュレーションである。その特徴の第1点は、定速走行か停止のいずれかで車の走行状態を表

現する2モード走行モデルであるという点にある。加減速や追従はないのでスキッピングサイクルは1秒程度にまで大きくすることができる。第2点は、リンク走行途中の車線変更は考慮しないという点である。ただし車が新しいリンクに移動するときには車線選択をするという機能をもたせている。この2点の特徴は、演算効率を高めることが目的である。これによってできるだけ規模の大きいネットワークの交通現象をできるだけ短い演算時間で再現できるようにするためである。

ただし渋滞を扱うために物理待ち行列は再現する。したがって先詰まりも扱うことができる。また交差点の交通現象を再現する上で重要な要素となる飽和交通流率と発進波伝播速度はあらかじめ指定しこれを再現できるようにする。交差点の停止線付近における車の挙動を再現する基本的な考え方をFig. 1に示す。この図は飽和交通流率、発進波伝播速度、自由速度、最小車頭距離の間の相互関係を示したものである。また2モード走行シミュレーション実行例による走行軌跡の例をFig. 2に示す。

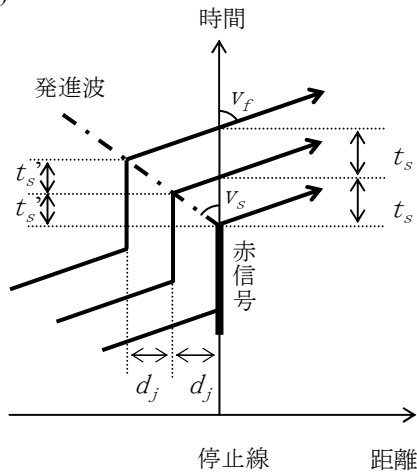


Fig. 1 2モード走行モデル

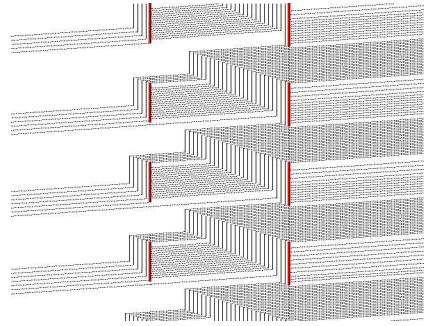


Fig. 2 走行軌跡の例

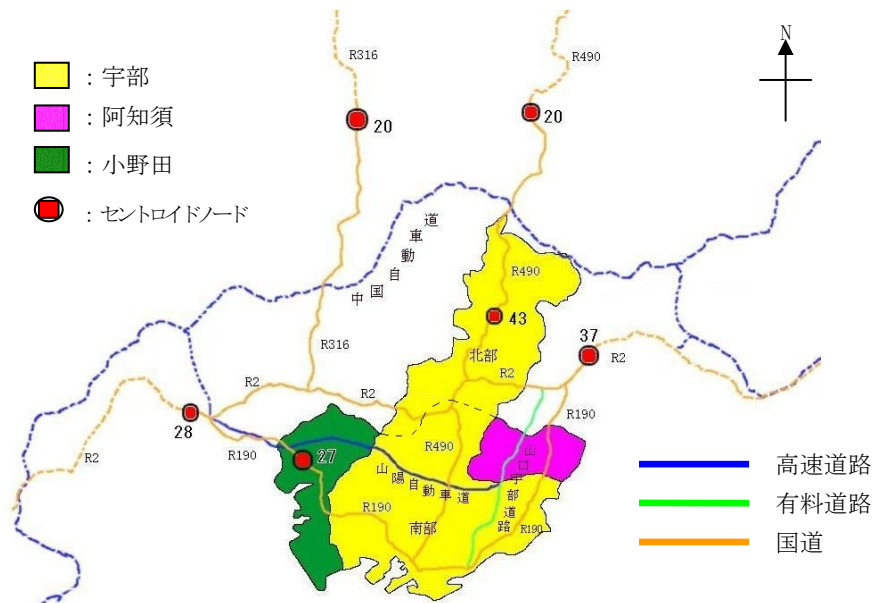


Fig. 3 シミュレーション対象エリア(宇部市南部)と圏域外主要幹線と圏域外セントロイド

シミュレーションを実行するためには、大きく分けて①ネットワークに関するデータと②OD表に関するデータが必要である。ネットワークはノードとリンクから構成する。ノードは面積をもたない点とし、原則として信号交差点とする。リンクはノード間を結ぶ道路区間であり、往復を区別して別々の有向リンクとして扱う。リンクは複数の車線から構成することができ、また右折車線をもたせることができる。信号はリンク下流端にあるものとして扱う。

交通需要はOD表で与える。OD交通は与えられたネットワーク上を起点から終点まで走行する。各車両には経路選択機能をもたせる。選択経路は距離最短と時間最短のいずれかとし、その構成割合は入力データで指定する。時間最短経路を選択する車両は、情報更新間隔ごとに提供される情報に従って経路を変更するものと変更しない

ものからなり、その両者の割合は入力データで指定する。リンクごとの旅行時間とネットワーク全体の総旅行時間はシミュレーションの経過に従って集計する。

道路の新設、拡幅、右折車線設置などの道路施策は、リンクデータで設定し、その上でシミュレーションを行えばその効果を評価することができる。また信号のサイクル長、青時間、右折現示およびオフセットなどの信号制御パラメータも入力データで指定することができる。したがって信号制御や右折禁止などの交通運用方策の効果も評価することができる。評価指標としては旅行時間または遅れ時間を用いる。

なお2モード走行シミュレーションはすでに岩永が開発したもの<sup>1)~4)</sup>をさらに改良して構築したもの<sup>5)~7)</sup>である。2モード走行シミュレーションは小規模ネットワークを対象とした等時間

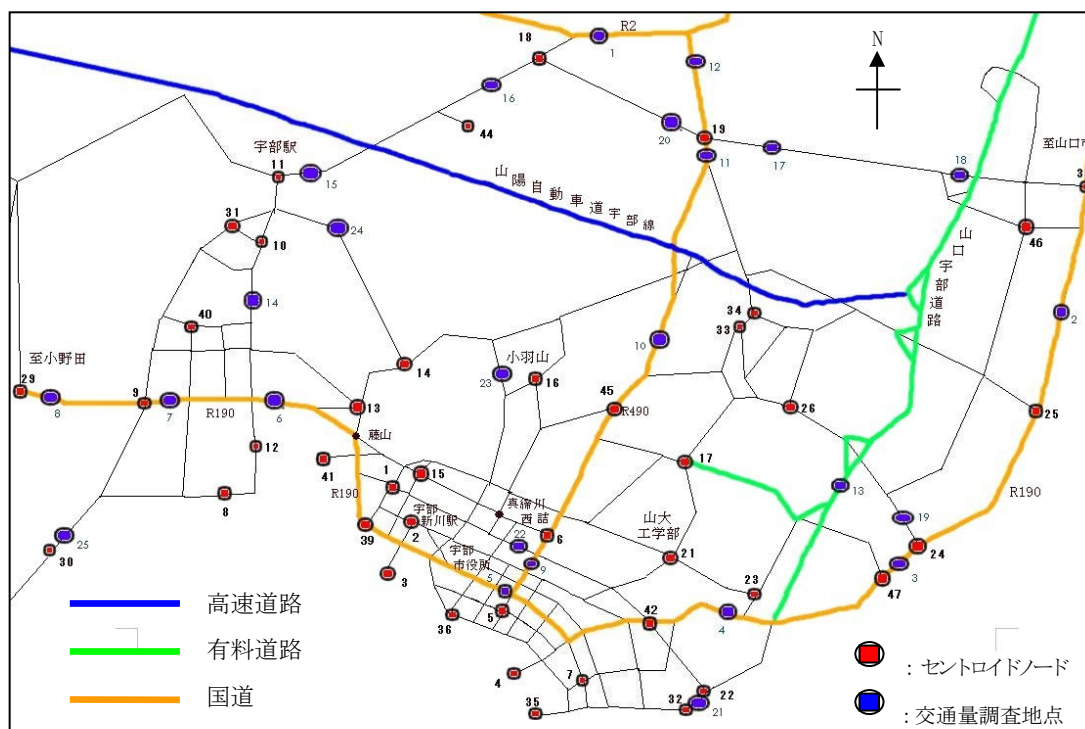


Fig. 4 シミュレーション対象エリアのネットワーク図

原則配分や中規模ネットワークを対象とした信号制御の最適化にも適用できるが、これについてはすでに示したとおり<sup>1)~4)</sup>である。

### 3. 宇部市の交通現況再現の試み

#### (1) シミュレーション対象エリア

シミュレーションの対象エリアはFig. 3に示す宇部市中心部を含む東西約20km南北約15 kmのエリアとする。この対象エリアは宇部市南部の市街地エリアであるが、この南部の市街地エリアと、これに隣接する宇部市北部、小野田市および阿知須町の2市1町(本研究では合併前の旧市町を指すものとする)のエリアはOD交通の結びつきからみて同一の圏域内として扱う必要がある。したがってOD表は少なくともこの圏域関連のものを用いる必要がある。

#### (2) リンクデータ

対象エリアに圏域外から連絡する主要幹線として山陽自動車宇部線、山口宇部道路、国道2号、190号、490号、および316号を考慮することとする。したがって道路ネットワークは、この圏域外の主要幹線を含めて次のようなノード数とリンク数から構成することとした。

ノード数 194ノード(セントロイドを含む)

リンク数 638リンク

対象エリアのネットワーク図はFig. 4に示すとおりである。リンクの特性はリンクデータで与える。リンクデータとして重要なものは、リンク長、車線数、右折車線長、走行速度、リンク相互の接続関係のほか、リンク下流端ノードの飽和交通流量と信号データ(サイクル長、青時間、絶対オフセット)などである。走行速度は道路種別ごとに原則として次のように設定する。

国道	60km/時
県道	50km/時
市道	40km/時

高速道路と有料道路などの自動車専用道路の速度は80km/時程度とするべきであるが、料金抵抗を考慮して割り引く必要があり、交通現況再現性を考慮して調節することとする。

#### (3) 信号データ

サイクル長は交差点ごとに異なるように設定することができるが、ここでは

サイクル長 全信号120秒

とした。現示率と絶対オフセットは適切と思われる値に設定し、シミュレーションの結果をみて微調整を行うこととした。ただし藤山交差点のように渋滞の原因となり、また単純な2現示方式ではない特殊現示の交差点については制御パラメー

Table 1 宇部・小野田・阿知須圏域関連OD表

O \ D	圏域内			圏域外					合計	
	宇部	小野田	阿知須	山口県			九州	島根・広島 以東		
				東部	北部	西部				
圏域内	宇部	205232	15895	4391	13697	2720	8368	1700	873	252876
	小野田	16329	42063	440	1760	1049	7835	473	191	70140
	阿知須	4566	379	5517	4513	125	133	11	33	15277
圏域外	山 東部	13565	1857	4735	—	—	—	—	—	20157
	口 北部	2948	880	76	—	—	—	—	—	3904
	県 西部	8109	7943	136	—	—	—	—	—	16188
	九州	1609	678	22	—	—	—	—	—	2309
	島根・広島 以東	947	128	16	—	—	—	—	—	1091
合計		253305	69823	15333	19970	3894	16336	2184	1097	381942

注)宇部, 小野田, 阿知須は合併前の旧市町名である。

タは慎重に調整した。

#### (4) OD交通量

OD交通量は5年ごとに実施される道路交通センサスのデータを用いる。実際に用いたのは平成11年度道路交通センサス

のOD調査から宇部市, 小野田市および阿知須町に起終点をもつ圏域関連のOD交通である。宇部市南部のシミュレーション対象エリアはCゾーン数で28ゾーン, 圏域内は阿知須1ゾーン, 小野田はBゾーンで2ゾーンである。圏域外は山口県の東部, 北部, 西部のほか, 九州, 島根・広島以東(四国も含む)の5ゾーンにゾーン分割した。合計36ゾーンである。OD構成の概略を分かりやすくするために36×36の行列を圏域関連OD表として集約したものをTable 1に示す。圏域関連の総交通量は次のとおりとなる。

総交通量 約38万トリップ/日

この表からもわかるように圏域外を相互に往復するOD交通は考慮していない点が多少問題点として残される。シミュレーション対象エリアの宇部市南部を単に通過するだけの圏域外の通過交通は主に国道2号, 190号および山陽自動車道宇部線を通るものと思われる。これらの通過交通が対象エリアの交通に及ぼす影響を考慮するためには, この通過交通量を別途何らかの方法で与えてやる必要がある。

次に, シミュレーションに用いるためにOD表のゾーン分割を変更した。宇部市は北部を1ゾーンに集約し, 南部の対象エリアは27ゾーンから38ゾーンに細分した。すなわち発生量または集中量が1万トリップを上回るゾーンは1万程度以下になるように分割した。分割は均等分割とした。小野田は2ゾーンから3ゾーン(セントロイド

27, 29, 30)に増やし, 阿知須も1ゾーンから2ゾーン(セントロイド38, 46)に増やした。圏域外については, 島根・広島以東は山口県東部に集約して1ゾーン(セントロイド37)とし, 九州も山口県西部に集約して1ゾーン(セントロイド28)とした。山口県北部はそのまま1ゾーン(セントロイド20)とした。結局, 最終的には圏域内44ゾーン, 圏域外3ゾーン, 合計47ゾーンとした。したがってOD表は47×47の行列となる。ネットワーク上では交通の起終点となるセントロイドノード47個を各ゾーンに配置した。

東部のセントロイド37および西部のセントロイド28の発生集中交通はR2, R190または山陽自動車道宇部線のいずれかの経路を選択することができ, また北部のセントロイド20の発生集中交通はR490またはR316のいずれかの経路を選択することができるようにした。

#### (5) 現況再現の試み

道路交通センサスの地点別交通量の実績値がシミュレーション対象エリア内に25地点ある。また国道190号藤山交差点と浜バイパス真締川西詰交差点の2交差点で実測した右左折直進別の交通量データがある。シミュレーションの結果がこれらのデータに近づくようにリンクデータ, 信号データおよびODデータを調整した。具体的にはリンクの自由速度, 信号の現示率, オフセット, 交差点の飽和交通流率, OD交通量の調整, および経路選択方法の調整などを行った。これはシミュレーション結果が実測に一致するような道路条件と交通条件をさぐるという逆解析に相当する作業である。OD交通量の調節では, 国道2号の計算値を実績値に近づけ, また山陽自動車道の再現性を改善するためにセントロイド37と28の間の通過交通を7500台/日程度増やした。

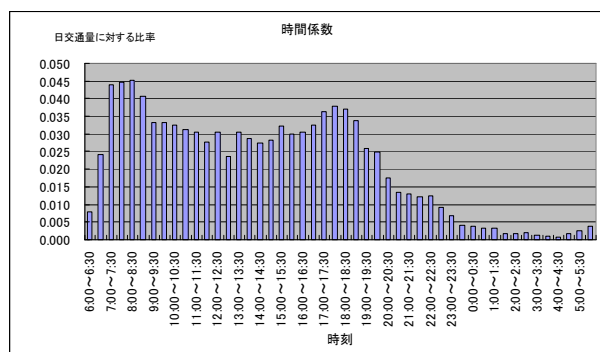


Fig. 5 交通量変動パターン

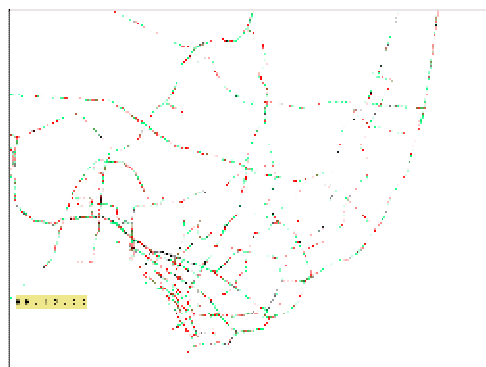


Fig. 6 シミュレーション実行画面の例

Table 2 地点別交通量の実績値と計算値の比較

番号	路線名	観測地点名	実績値		計算値
			H11年度 24時間	H17年度 24時間	
1	一般国道2号	宇部市大字吉見字岡	(23928)	(26297)	21242
2		宇部市東岐波区磯地	21783	24205	18741
3	一般国道190号	宇部市大字西岐波字権代	(28686)	(22953)	29407
4		宇部市則貞2丁目	(32148)	(30520)	29354
5		宇部市常盤町1丁目	(34484)	(29946)	31178
6		宇部市大字妻崎間作字妻拾五・拾六ノろ	(68405)	(64310)	66607
7		宇部市厚南区西割	40950	40371	40197
8	一般国道490号	小野田市大字東須恵字屋根下	(37144)	(35211)	37685
9		宇部市沼	23998	26354	22473
10		宇部市北迫	(14639)	(17253)	13742
11		宇部市二俣瀬区善和	(18177)	(17999)	16998
12		宇部市二俣瀬区田ノ小野	(8635)	(7851)	9007
13	山口宇部線	宇部市大字西岐波字長谷1173-5	5032	9289	4895
14	宇部船木線	宇部市厚南区中野間作	21783	19957	21691
15	宇部停車場線	宇部市厚南区西宇部町	(11317)	(11727)	14425
16		宇部市厚南区棚井上	(9857)	(10171)	12486
17	善和阿知須線	宇部市善和	(10012)	(11081)	11764
18		吉敷郡阿知須町杖川区	(10151)	不明	8966
19	西岐波吉見線	宇部市西岐波区下片倉	11402	8727	10495
20		宇部市西岐波区下片倉田原	(2276)	(3024)	3259
21	宇部空港線	宇部市西岐波区草江	(14417)	(14167)	11588
22		宇部市琴芝町一丁目	(22996)	(17623)	18836
23	琴芝際波線	宇部市北小羽山町	(7103)	(7688)	10722
24		宇部市沖ノ目	(19387)	(17101)	16197
25	妻崎間作小野田線	宇部市厚南区波多野間作	(13661)	(12143)	16545
合計			512371	485963	498500
RMS			—	—	2229

現況再現改善のために1日38万トリップのOD交通量をネットワークに流すという24時間のシミュレーションを繰り返し行った。セントロイドで発生する交通量の時間変動はFig. 5に示すような変動パターンと仮定した。この交通量変動パターンは平成14年10月16日(水)厚東川大橋上り方向(小野田から宇部市内に向かう方向)の2車線合計の感知器交通量の変動を示したものである。

経路選択については、距離最短経路選択層(情報非利用層)の割合は10%とした。時間最短経路選択層(情報利用層)の割合は90%とし、そのうち最短経路情報の更新に従って途中で経路を変更する割合と変更しない割合は半々とした。情報更新間隔は5分とし、情報伝達遅れはないものとした。

Fig. 6にシミュレーション実行時のパソコン画面の1例を示す。画面表示をすると実行速度は遅くなるが、画面表示をしない場合には1日のシミュレーションに要する時間はクロック周波数

2 GHzのパソコンで約60分である。

Table 2に25地点の地点別交通量の実績値とシミュレーションによる計算値の比較を示す。平成11年度の実績値と計算値を比較した場合のRMS誤差は1地点あたり2229台となった。また山陽自動車道の平成17年1月の実績交通量約4000台/日に対して計算値は約5500台/日となった。なお25地点の位置はFig. 4に示すとおりである。また浜バイパスが平成16年10月19日(火)に開通した後に調査した藤山交差点および真締川西詰交差点の右左折直進別交通量の実測値と計算値を比較したものをそれぞれFig. 7およびFig. 8に示す。以上を総合的にみて、一応の再現結果が得られたものと思われる。

情報利用層の割合が変化した場合の総旅行時間の変化をFig. 9に示す。これは24時間ではなく午前中6時間のシミュレーションによる結果である。



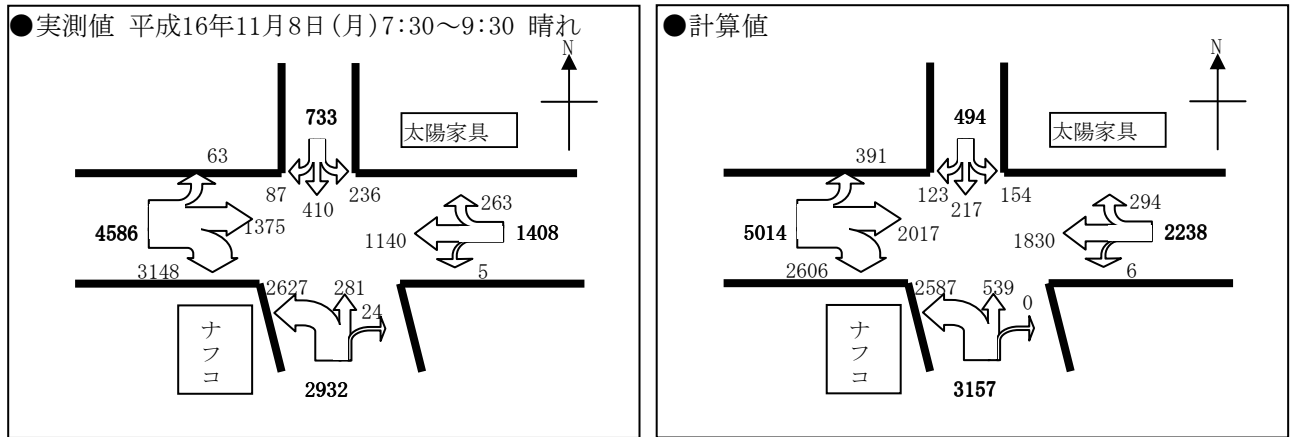


Fig. 7 藤山交差点の交通量の再現性比較

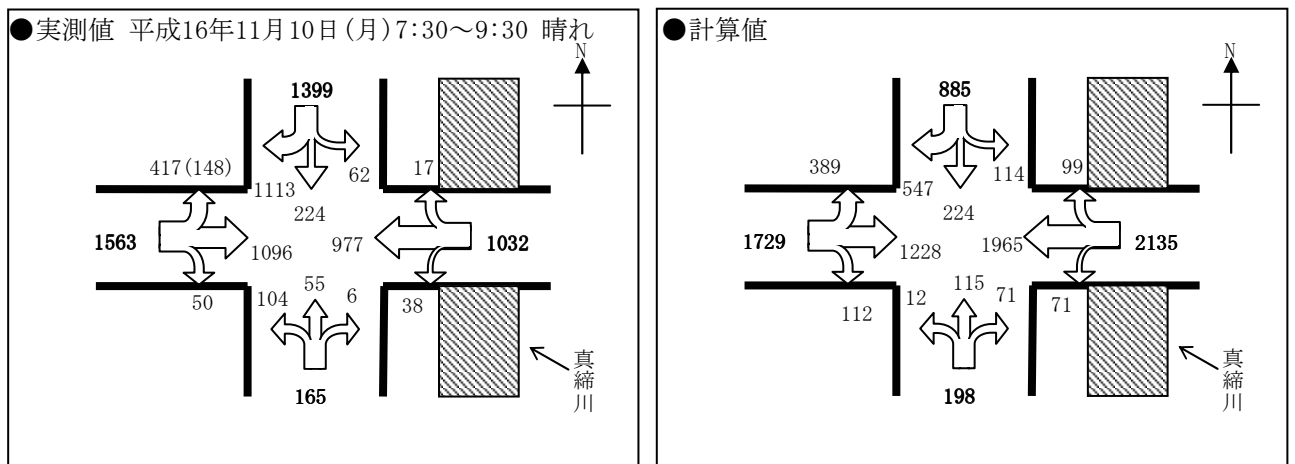


Fig. 8 真締川西詰交差点の交通量の再現性比較

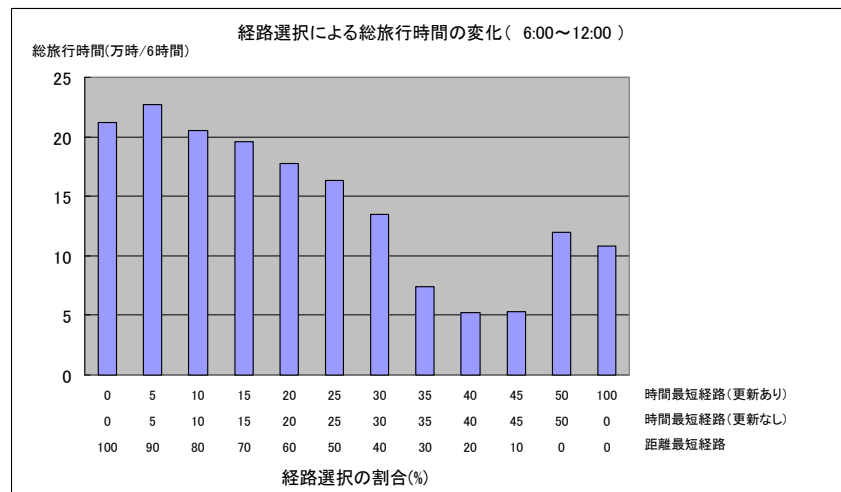


Fig. 9 情報利用層の割合とネットワークの効率性

(6) 課題の検討

計算結果を実際の値に近づけることは、その方法の是非を問わなければ不可能なことではない。しかし運転者の行動を正しく再現したモデルによる結果でなければ時間移転性、地域移転性も乏しく、価値は低いといわざるを得ない。交通条件や道路条件が変わっても適用可能でなければな

らない。したがって、運転者の経路選択モデルを改善することが今後の課題としてあげられる。

交通現象は時間的に変化し、厳密に考えると同じ現象は起こらないような確率過程と考えることができる。実測交通量もOD表も繰り返し同じ調査結果が得られるというような性質のデータではない。したがって真の値というものではなく、

したがって誤差とは何かも不明である。したがってここではあまり厳密に実測値および計算条件などは気にせず再現性を試みたものとする。次第である。

ネットワークシミュレーションでも交通量配分でも対象ネットワークをどう構成するかがつねに問題となり、またOD表も内々交通は配分の対象とはしない、セントロイドでしか発生集中がない、などつねに問題となる<sup>8)</sup>。

#### (7) 再現実験で得られた知見

交通現況の再現シミュレーションを繰り返す行う中で経験した事例として次のような点があげられる。

- ①交通量の需給バランスはきわめて微妙である。ピーク時にはネック交差点を先頭に渋滞が発生し、対象ネットワーク全体が麻痺することもある。
- ②情報利用層の割合など経路選択の設定を誤るとネットワークの格子部分が左折交通で膠着状態となり、渋滞の先頭となる交差点の流出部が先詰まりとなるようなことも発生する。
- ③信号の青時間配分すなわちスプリットが現示の飽和度に比例しないような不適切な設定になっていると交差点飽和度の大きい交差点で大きな渋滞になることがある。
- ④リンク長の短い区間の相対オフセットが禁止領域に入るような不適切な設定にすると、交通処理能力が低下し大きな渋滞になる場合がある。

## 4. おわりに

本研究では2モード走行シミュレーションを宇部市街地ネットワークに適用して交通現況を再現することを試みた。その結果、一応の再現結果を得ることができた。シミュレーションもタフに動作することが確認された。今後はリンクデータ、信号データ、セントロイドの配置などデータの細部の詰めを行うことのほか、OD交通量の変化、道路の新設改良、信号制御の高度化、高速道の料金変更などの道路交通施策の効果について検討していきたい。

本研究では、計算例の実行および図表の作成で山口大学工学部の福田桂大君にご協力いただいた。ここに記して謝意を表したい。

## 参考文献

1)久井守, 岩永和大, 南正昭, 福島永士: 交通配分による渋滞リンクのオフセットがネットワーク全体に及

ぼす影響分析, 山口大学工学部研究報告, Vol. 51, No. 1, pp. 25-31, 2000. 10

2)久井守, 田村洋一, 岩永和大: シミュレーションによる混雑時の系統交通信号の最適制御の検討, 山口大学工学部研究報告, Vol. 51, No. 2, pp. 31-36, 2001. 3

3)岩永和大, 久井守: 道路網からみた混雑時の系統信号制御に関する一考察, 第21回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 281-284, 2001. 10

4)岩永和大, 久井守: 道路網の観点からみた混雑時の系統信号のオフセット制御, 土木計画学研究・講演集, Vol. 24, CD-ROM, 2001. 11

5)壬生裕之, 久井守: 大規模信号ネットワークの2モード走行シミュレーション, 土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp. 353-354, 2004. 5

6)壬生裕之, 久井守: 大規模街路網の簡易型2モード走行シミュレーションに関する一考察, 土木学会第59回年次学術講演会講演概要集(第IV部門), pp. 721-722, 2004. 9

7)壬生裕之: 信号ネットワークの交通配分シミュレーションの構築とその検証, 山口大学理工学研究科修士論文, 平成18年2月

8)中村俊之, 吉井稔雄, 北村隆一: 全ての道路リンクに相当する単純化ネットワーク作成手法の構築, 土木計画学研究・論文集, No. 23, no. 2, pp. 441-446, 2006. 9

## 付録: シミュレーションの補足説明

岩永から引用して2モード走行シミュレーションの機能について重要と思われるものを以下に列挙する<sup>4)</sup>。

(1)車両はOD交通需要に従って等間隔に発生する

(2)セントロイドノードで発生した車両が先詰まりによってリンクに流入できない場合には、セントロイドノードで垂直待ち行列を形成する。

(3)リンク下流端でUターンはしない。

(4)交差点流入部の飽和交通流率 $S$ (台/青時)は指定し、これをもとに青時間中に流出できる車両台数を求める。

(5)飽和交通流率から求めた飽和発進時間間隔を経過し、信号が青で、かつ先詰まりがなければ、車両は交差点を通過することができる。飽和発進時間間隔 $t_s$ (秒)は次式から求めることができる。

$$t_s = \frac{3600}{S}$$

(6)自由速度 $v_f$ (m/秒), 飽和発進時間間隔 $t_s$ (秒), 発進時間間隔 $t_s'$ (秒), 最小車頭距離 $d_j$ (m), 発進波の伝播速度 $v_s$ (m/秒)の関係に次に示す。飽

和発進時間間隔と発進時間間隔の間には次式の関係がある.

$$t_s' = t_s - \frac{d_j}{v_f}$$

発進波の伝播速度は次式から求めることができる

$$v_s = \frac{d_j}{t_s'}$$

(7) 最短経路はダイクストラ法を用いて探索する.

(8) 各リンクの平均旅行時間と時間最短経路は情報更新間隔ごとに求めて更新する.

(9) 旅行時間の集計から提供までの時間, すなわち情報伝達遅れを考慮することができる.

(10) リンク下流端で左折する車両は, 最も外側の車線に流入する

(11) リンク下流端で右折する車両は, 最も内側の車線に流入する

(12) リンク下流端で直進する車両は, 直前車両が最も下流にある車線に流入する

(13) 右折車線への流入が不可能な場合は流入待ちのために待ち行列を形成する.

(14) リンクの総旅行時間は車両がリンク内に存在する時間の総和と考えて次のようにして求める.

$$\sum n_k(t) dt$$

すなわち時刻 $t$ におけるリンク $k$ の存在台数 $n_k(t)$ にスキャンサイクル $dt$ を乗じたものをスキャンサイクルごとに総和することによって求めることができる. 1台あたりの平均旅行時間は, この総旅行時間を通過台数で割れば求められる. ネットワーク全体の総旅行時間は各リンクの総旅行時間を総和すればよい. したがって総旅行時間最小化制御は存在台数最小化制御と等価であり, また交通処理量最大化制御と等価となる.

(15) リンクの平均旅行時間は, 右折車と直進左折車を区別して求める.

(16) リンクの1台あたり平均遅れ時間は, 1台あたりの平均旅行時間から, 自由速度による走行所要時間を引くことによって求める.

(受理年月日: 平成18年12月27日)