

I-13 公共交通と自動車交通を統合した都市交通シミュレーションシステムの構築

Integrated Urban Transportation Simulation System with Mass Transit and Vehicle Traffic

中川 大*

伊藤 雅**

小出泰弘***

Dai Nakagawa

Tadashi Itoh

Yasuhiro Koide

【抄録】本研究では、公共交通と自動車交通の両方を取り扱う都市交通シミュレーションシステムを構築した。このシステムは、公共交通とその乗客の行動を表現する部分を、自動車交通を表現するシミュレーションに組み入れており、公共交通と自動車の間での所要時間や容量の相互の影響関係を取り扱っている。このシステムを京都都市圏を対象に適用し、実測データを用いて検証した結果、公共交通の運行と乗客の行動、自動車交通の再現等において良好な結果を得た。また、それを踏まえて、このモデルの応用方法として、時差出勤などの交通需要マネジメント施策の効果分析を行った。

【Abstract】 This study built an urban transportation simulation system which considered both mass transit and vehicle traffic. This system integrated mass transit users' behavior into vehicle traffic simulation. Therefore, it can be considered an interrelationship of travel time and road capacity between mass transit and vehicle traffic. We applied this simulation system to the Kyoto metropolitan area. As a result, this system could simulate bus operations, passengers' behavior and vehicle traffic accurately. Moreover, we illustrated a way to apply one of the policy analyses. We indicated the effects of transportation demand management measures, such as staggered commuting hours.

【キーワード】 都市交通シミュレーション、公共交通、交通需要マネジメント

【Keywords】 Urban Transportation Simulation, Mass Transit, Transportation Demand Management

1. はじめに

道路ネットワーク上を走行する自動車交通をシミュレートするモデルはこれまで数多く構築されてきたが、交通需要マネジメント施策などの効果分析を行うためには、公共交通と自動車交通の相互関係を取り扱ったモデルが必要である。

そこで本研究では、公共交通と自動車交通の両方を取り扱う都市交通シミュレーションシステムを構築する。

公共交通はあらかじめ定められた経路上をダイヤに基づいて走行しているため、本システムでは、自動車のための最短経路探索ルーチンに加えて公共交通利用の際の経路を探索するルーチンを有している。また、自動車交通量の増減による公共交通の走行速度の変化

やダイヤからの遅れなど、公共交通とその利用者及び自動車の間での所要時間や容量の相互関係を取り扱っている。さらに、バス優先レーン、トランジットモールなど、公共交通と自動車の相互関係を踏まえて分析することが必要な施策を念頭において、リンクあるはレーンごとの車種規制を時間ごとに設定できるようにしている。

本研究では、そのシステムの内容を示した上で、京都都市圏を対象に適用し、再現性の検証を行う。また、さらにモデルの応用例として、いくつかの交通需要マネジメント施策の効果分析を行った結果を示す。

2. 公共交通分析におけるシミュレーションの必要性

2-1 従来の交通シミュレーションモデル

* 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻 (京都市左京区吉田本町、FAX 075-753-5759)

**和歌山工業高等専門学校環境都市工学科

***南海電気鉄道株式会社

交通シミュレーションモデルはこれまでも数多く開発されている。その目的は多様であるが、大きく分類すると、交差点や合流部などでの交通挙動を詳しく取り扱ったもの^{1)~4)}、ネットワークを構成して経路選択や交通量配分を主たる目的としたもの^{5)~21)}に分けられる²²⁾。

前者には、信号サイクルや右左折レーンを明示的に取り扱うなど、交通をマイクロに捉え、スキャンのインターバルも短いものが多い。後者には、交通フローをある程度のユニットとして捉え、リンク密度等を変数としてネットワーク全体の挙動を表現するものが多い。

上記の研究が自動車交通を対象としたものであるのに対して、バスの運行状況を再現したもののように公共交通をシミュレートした研究も行われているが、公共交通と自動車交通の相互関係を取り扱ったものではなく、交通需要マネジメント施策などの効果分析に実際に用いられるようなモデルは作成されていない。

2-2 公共交通のシミュレーションの意義

公共交通の利用促進や自動車交通の抑制のための施策は、系統・ダイヤの改善、乗り継ぎ利便性の改善、時間を定めたレーン規制、時差出勤など、時間の経過に応じて空間的な配分を改善することを念頭に置いたものが多く、静的モデルでは分析できない要素を多く含んでいる。そのため、時間帯による所要時間の違い、公共交通の遅れがもたらす影響なども含めて、時々刻々と変化する公共交通と自動車交通の様相をシミュレートする方法がこれらの施策の効果进行分析するうえで有効である。本研究では、そのためのシステムを構築し、いくつかの施策について、その効果を分析して示す。

3. シミュレーションシステムの構成

3-1 全体構成

本研究で構築するシステムの全体構成を図1に示す。シミュレーションの本体とその周辺の入出力システム及びデータ処理プログラム群によって構成される。また、シミュレーションのフローは図2に示す。

3-2 自動車交通の挙動

自動車交通のシミュレーションは、リンクごとの交通密度から速度を求めて、一定のタイムインターバルごとに車両の位置を移動させる一般的な方式を用いて

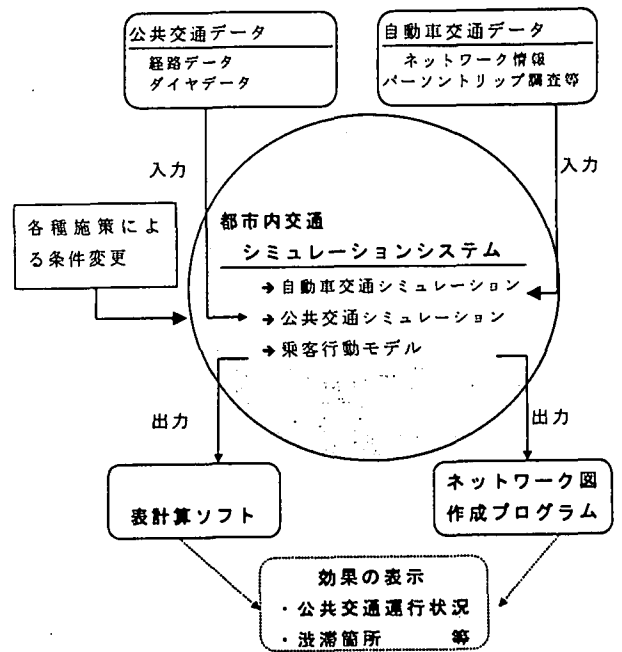


図1 システムの全体構成

いる。

- ①データ：シミュレーションの本体部分においては、時間帯別のOD交通量が手段別に与えられている。すなわち、手段選択はシミュレートの内部ではなく別のモデルで計算して入力する。
- ②走行経路：車両は最短所要時間経路を選択して走行する。ただし、最短経路の探索は、車両移動とは異なるインターバル(5分)で行う。
- ③ネットワークの表現：1本の道路は両方向分の2本のリンクとして表現する。
- ④車両の表現：同一ODノードを持つ車両が同時刻に発生する場合、それら数台の車両を一組にした車両ユニットで表す。車両ユニットは、1.車種（乗用車と貨物車・タクシー）、2.発生セントロイド出発時刻、3.集中セントロイド番号、4.走行経路(次に走行するリンク番号)、5.現在走行しているリンクでの位置、6.走行速度、7.ユニットの大きさ（最大3台）の情報を持っており、 $\Delta t(30 \text{ 秒})$ ごとに全ての車両ユニットの情報を更新する。
- ⑤交差点での影響：交差点における信号の影響は右折時の対向車によって受ける影響のみ考慮し、ミクロなシミュレートは行っていない。
- ⑥混雑リンクへの流入：次に走行すべきリンクの道路密度が大きい場合（100（台/km・車線）以上）は、当該リンクの混雑が緩和されるまで交差点において停

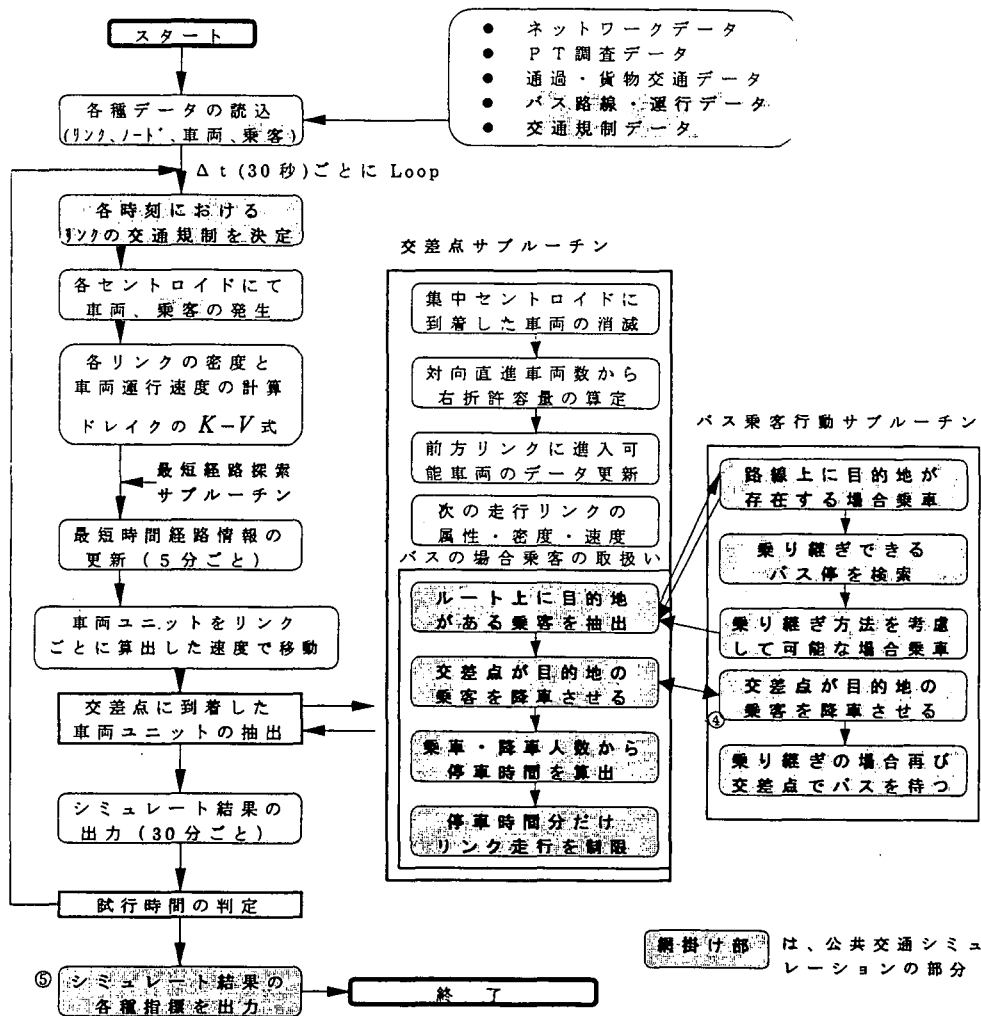


図2 シミュレーションのフロー

止する。また、停止している間に最短所要時間経路が更新されれば、その車両ユニットは経路を更新する。
 ⑦車両運行速度の計算：各リンク内の車両数からリンクの交通密度を求め、J.Drake の式によって速度を求め。

$$v_i(t) = v_f \cdot e^{-\frac{1}{2}(k_i/k_0)} \quad (式1)$$

($v_i(t)$: 時刻 t におけるリンク i の速度、 v_f : 自由速度、 k_i : リンク i の交通密度、 k_0 : 臨界密度)

⑧車両ユニットの移動：車両ユニットを、 $\Delta t(30$ 秒)ごとに式(1)で算出した走行速度で動かし、リンク上での走行位置を更新する。

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t) + \Delta t \cdot v_i(t) \quad (式2)$$

($x_i(t)$: 時刻 t でのユニット i の走行位置、 $v_i(t)$: 時刻 t での走行速度)

3-3 バスの車両・運行の表現

バスは、1台を1ユニットとするバスユニットで表現し、道路ネットワーク上を自動車とともに走行させる。

- ①道路交通への影響：道路交通密度を計算する際には、乗用車換算計数を用いて乗用車の台数に換算する。
- ②走行経路：最短時間経路検索ルーチンを使わず、交差点ノードで構成される経路ベクトルに従って走行する。
- ③バス停の位置：リンクの任意の場所に設けることが可能であるが、ノードを基本とする。
- ④バスの走行速度：ダイヤに沿って運行させる方法と、道路の混雑状況に応じて走行速度を算出させる方法の2通りを採ることができる。
- ⑤乗客の乗降に要する時間：乗客の乗降に要する時間は、バスの運行時間に大きな比較を与えているため、実際に乗降人数と停車時間の関係を調査し、次に示す

回帰式を求めてシミュレーションに用いた(1995年12月調査実施、対象系統：京都市交通局5号系統、サンプル数：67便のバスの27バス停、合計1809データ)。

$$Time_{ON} = 1.86 \times Number_{ON} + 4.96, R^2 = 0.59. \quad (式3)$$

$$Time_{OFF} = 2.06 \times Number_{OFF} + 3.07, R^2 = 0.74. \quad (式4)$$

($Time_{ON}$: 停車時間(秒)、 $Number_{ON}$: 乗車人数)
($Time_{OFF}$: 停車時間(秒)、 $Number_{OFF}$: 乗車人数)

3-4 乗客の行動

(1)乗客トリップ

パーソントリップ調査の公共交通利用トリップから、乗客ユニットを作成する。乗客ユニットは、1.発生セントロイド、2.集中セントロイド、3.出発時刻、4.現在乗車しているバスの系統、5.ユニットの大きさ(最大3人)の情報を持っており、さらに乗り継ぎを要する場合は⑥乗り継ぎ交差点ノードの情報も有し、 $\Delta t(30$ 秒)ごとに全ての乗客ユニットの情報を更新する。

(2)乗客のバス選択

厳密な方法としては目的地までの一般化費用または所要時間を最小にする便を選択するものとする方法があり得るが、その場合は、ダイヤの乱れも含めた乗換後のバスの運行状況まで予知したうえで選択していることになり必ずしも現実的ではない。そこで、下記の方法で乗車するバスを決める。

①発生交差点ノード(出発地)に到着したバスが、乗客ユニットの集中交差点ノード(目的地)へ直接到達できるかどうかを検索し、集中交差点ノードがバス路線上に存在する場合は、そのバス系統を選択する。

②次に、バス路線上に集中交差点ノードが存在しない場合は、集中交差点ノードへ到達することが可能なバス系統が発着する交差点ノードが、そのバス路線上に存在するかどうかを発生交差点ノードからバスの進行方向へ順番に検索し、乗客ユニットがその交差点ノードを経由してなら集中交差点ノードに到達できる場合、そのバス系統を選択する。

ただし、この方法によると、直通バスの運行頻度が低い場合でも直通バスを待つことになる。そこで、乗り継ぎの経路を選択することによって所要時間が短縮する場合はその経路を選択する方法も別途計算できる

ようにしている。

3-5 リンク属性の考慮

レーンごとに車種によって走行を規制することができるようにしている。また、規制は時間ごとに行えるようにする。さらに、レーン数そのものも時間によって変化できるようにし、リバーシブルレーンについても考慮可能としている。その際には、規制に反して専用レーンへ進入する車両の存在を考慮して、一般車の専用レーンへの進入率を用いる。進入率も通常はデータが得られないので、実測によって求める。

リンク規制がある場合には、車種によって最短経路が異なるため、車種ごとに最短経路探索を行う。

4. シミュレーションの実行と検証

4-1 シミュレーションの前提

計算対象は、京都市と周辺市町の一部を含む地域とし、図3にそのネットワークを示した。ノードは主要交差点を中心に288ノード、リンクは主要道をほぼ網羅した956リンクである。

(1)トリップデータ

乗用車の発生・集中ODデータは、第3回京阪神都市圏パーソントリップ調査のほか、表1に示す統計を用いて作成した。

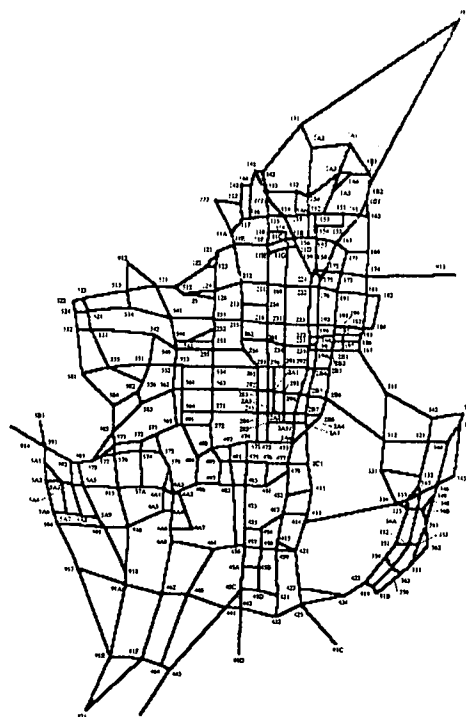


図3 対象ネットワーク

表1 自動車交通量データ作成に用いた統計

	乗用車	貨物車
内々交通	第3回京阪神都市圏パーソントリップ調査 (一つのゾーン内に複数のセントロイドが存在する場合は、発生・集中トリップを各セントロイドに振り分ける。)	第2回京阪神都市圏物流流動調査・京都市統計書 (発生量の時間分布は物流流動調査の結果を各時間ごとに比例配分。トリップの発生地点は、全体量を各区の事業所数で比例配分。集中地点は、物流流動調査のOD領域構成より、各内に配分。)
域内→ 域外 域外→ 域内	第3回京阪神都市圏パーソントリップ調査 (域外へ通じる路線に接続ノード(11箇所)を設け、域内へ向かう交通の出発地(域内から域外への交通の目的地)ごとに路線を割り分けてODペアを作成)	
通過交通	平成2年度全国道路交通情勢調査 (市外への接続ノードでの交通量とパーソントリップデータのみを利用したシミュレーションの計算結果との差より通過交通を算出。)	

の延べ走行数は8,886便/日となる。

なお、専用レーンへの進入率は、京都市内のバス・タクシー専用レーン実施個所3ヶ所において、1996年12月に行った調査データを用いた。

4-2 シミュレーションの結果と検証

(1)断面日交通量による検証

京都市内の主要幹線道路24区間48リンクの実測交通量(道路交通情報年報)とシミュレーション結果を比較したのが図4である。実測値と計算値の相関係数は0.88であり良好な結果が得られた。

(2)時間交通量データによる検証

主要区間について時間交通量による検証を行った。そのうち、国道1号(東山区清閑寺山ノ内町)における時間別交通量との比較を図5に示す。計算結果と実測値の相関係数は0.93である。ただし、昼間時の交通量が実測値と比較して少なく計算されており、これはパーソントリップ調査において業務交通や自由交通の捕捉率が悪いことに起因するものと考えられる。

(3)バスの所要時間と車内人数の検証

バス停間の所要時間を実測したデータはないので、検証に用いるために前述した5号系統の調査と同時に着発時刻及び乗降客数を調べた。午後4時から8時に始発地を出発したすべての便(2日分67便)の27バス停においてデータを得た。表3、表4は調査によって得られた所要時間と車内人数を、シミュレーションによって得られた値と比較したものである。車内人数について計算値の分散がやや平均はほぼ一致する結果と

(2)バス運行データ

バスの系統は、地域内を運行する京都市交通局の系統(87系統,174ルート)のすべてを対象とする。データの一部を表2に示す。このようにそれぞれの系統についてルート番号・運行経路・運行回数を入力し、このデータに従ってバスユニットを道路ネットワーク上で走行させる。

バスのダイヤについては時間帯ごとの運行本数を与えた上で、等間隔で出発地を発車させる。フリクエンシーを変化させたときの効果を明示できるようにするため等間隔で出発させているが、実際のバスダイヤのデータベースも構築しておりそれを用いることも可能である。以上に示した方法でデータを作成した結果、バス利用トリップは総数252,559trip/日で、バス車両

表2 バスの運行経路データ(循環系統)

バスルート(循環系統)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27			
系統番号	運行回数	ルート番号	運行経路(ノード記号)																											
201(甲)	214	201	263	281	256	291	292	284	283	282	198	194	193	191	176	222	165	211	212	213	215	262	254	263						
201(乙)	214	211	263	254	262	215	213	212	211	165	222	176	191	193	194	198	282	283	284	292	291	256	281	263						
202(甲)	181	202	472	473	288	286	283	282	198	194	193	192	223	231	216	215	251	252	253	255	554	563	271	272	493	492	474	471	472	
202(乙)	181	212	472	471	474	492	493	272	271	563	554	255	253	252	251	215	216	231	223	192	193	194	198	282	283	286	288	473	472	
203(甲)	188	203	183	193	194	198	282	283	284	292	291	256	281	283	554	255	253	252	251	126	124	212	211	165	222	176	181	183		
203(乙)	188	213	183	181	191	176	222	165	211	212	124	126	251	252	253	255	554	263	281	256	291	292	284	283	282	198	193	183		
204(甲)	138	204	110	11F	11E	121	123	124	126	251	215	216	231	223	192	193	183	181	174	164	171	163	157	156	118	110				
204(乙)	138	214	110	11B	156	157	163	171	164	174	181	183	193	192	223	231	216	215	251	126	124	123	121	11E	11F	110				
205(甲)	250	205	2A5	2A6	2A4	294	292	235	233	232	223	222	221	159	158	157	156	11B	110	11F	11E	121	123	124	126	251	252	253	255	
			554	563	271	241	284	2A2	2A3	2A5																				
205(乙)	250	215	2A5	2A3	2A2	284	241	271	563	554	255	253	252	251	126	124	123	121	11E	11F	110	11B	156	157	158	159	221	222	223	
			232	233	235	292	294	2A4	2A6	2A5																				
206(甲)	199	206	110	11F	11E	212	213	215	262	254	263	282	241	284	285	2A5	2A3	2A4	287	288	286	283	282	198	194	193	191	173	171	
			163	157	156	11B	110																							
206(乙)	199	216	110	11B	156	157	163	171	173	191	193	194	198	282	283	286	288	287	2A4	2A3	2A5	285	284	241	282	263	254	262	215	
			213	212	11E	11F	110																							
207(甲)	237	207	472	473	288	286	283	284	292	291	256	281	263	282	241	471	472													
207(乙)	237	217	472	471	241	282	263	281	256	291	292	284	283	286	288	473	472													
208(甲)	108	208	472	473	288	287	2A4	2A3	2A5	285	284	241	271	272	493	492	474	471	472											
208(乙)	108	218	472	471	474	492	493	272	271	241	284	285	2A5	2A3	2A4	287	288	473	472											

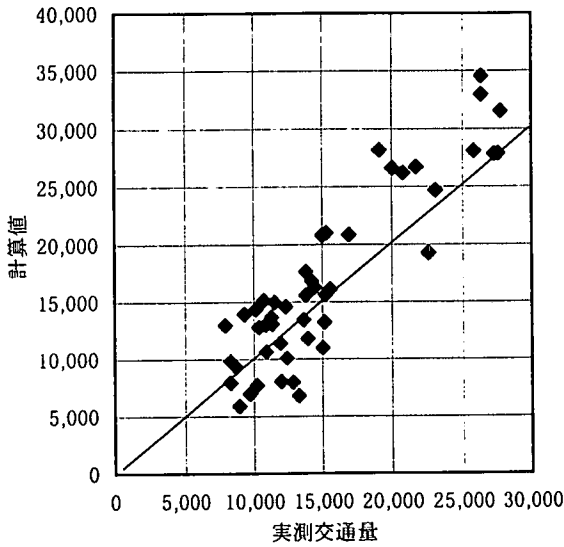


図4 断面日交通量による検証

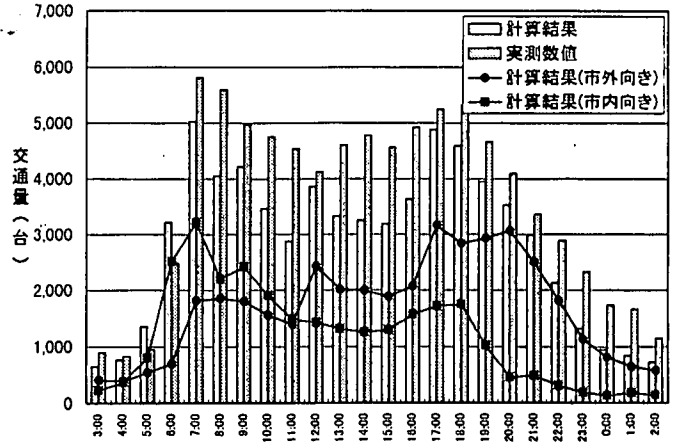


図5 時間交通量による検証

表3 運行時間の実測値と計算値の比較

	観測数	平均	分散	標準偏差
実測値	32	51.40	21.34	4.619
計算値	34	46.65	19.51	4.417

表4 車内人数の実測値と計算値の比較

	観測数	平均	分散	標準偏差
実測値	32	33.88	145.66	12.069
計算値	34	35.68	305.68	17.484

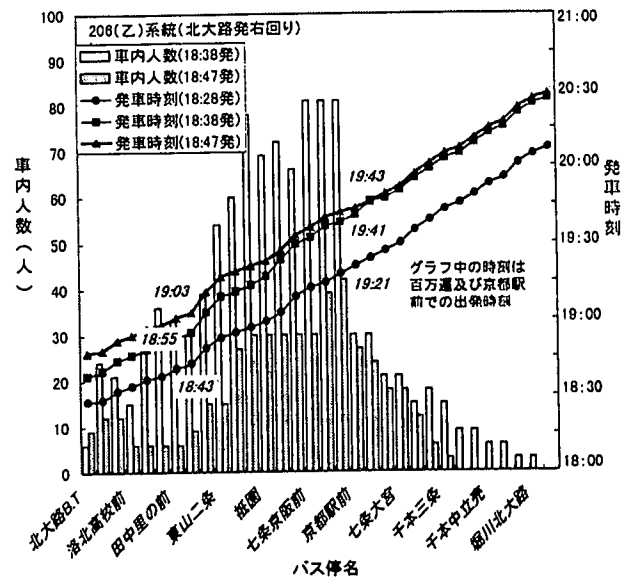


図7 運行間隔接近の例

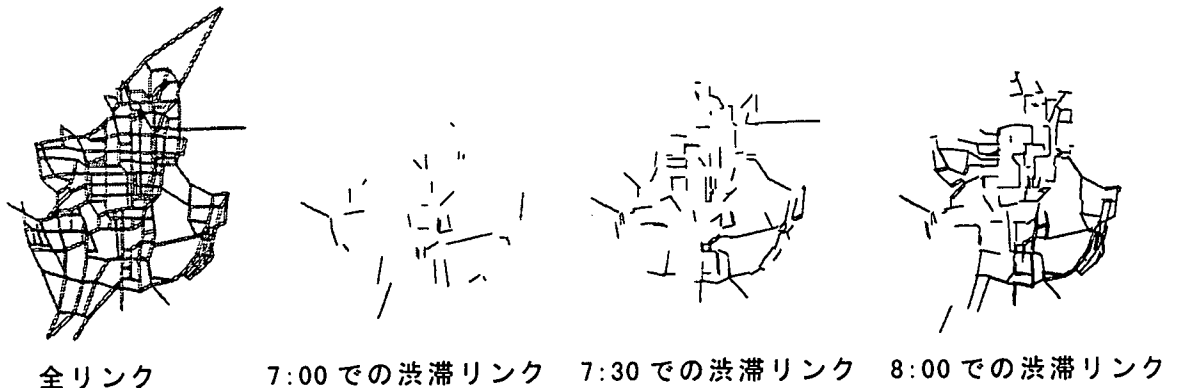


図6 渋滞リンクの時間推移

なっている。

以上のように、検証の結果はいずれも比較的良好であり、政策分析を行ううえでは満足な精度で現象を再現できていると考える。

4-3 シミュレーションのアウトプット例

シミュレーションからは様々なアウトプットを算出することができるが、以下ではその例を示す。

(1) 渋滞の時間的推移

図6は、市内全域の朝ラッシュ時における交通量の時間的な変化を示したものである。時々刻々と交通量が増加していることがわかるが、特に、市内中心部よりも、市外近郊部や中心部への流入部の渋滞が激しいという実際の状況と整合した結果が示されている。

(2) バスの運行状況

図7は、バスの運行状況を示したものである。連続しているバスについて、各ノードでの発車時刻と車内人数を示したものであるが、車内人数の多い先行バスが遅れ始めて、次第に後続のバスとの間隔が狭くなっていることがわかる。この現象は「だんご運転」と呼ばれることもあるが、前述の5号系統での調査でも確認されているもので、静的なモデルでは表現しにくいこのような現象も分析することができるがわかる。

5. シミュレーションシステムの応用

本システムでは、リンクを走行する車両の属性を考慮できることや、交通量の時間的推移を考慮できることを考慮して、下記の施策について効果分析を行った。

- ① 時差出勤
- ② 相乗り出勤
- ③ HOV (多乗員車) レーンの設置
- ④ バスの運転本数の増加
- ⑤ トランジットモールの設置

表5にその具体的な内容を示し、図8には各施策実施時における総走行車両台数の時間的な変化を求めた結果を示す。時差出勤はピーク時の車両減少をもたらすが昼間時の交通量が増加していること、バスの本数増加が自動車の走行台数の減少につながっていることなどがわかる。

表5 シミュレーションを行う交通施策

交通施策	変化させる条件
No.1 時差出勤	通勤目的の全てのトリップの30%について出発時間を2時間遅らせる。
No.2 相乗り	通勤目的の自動車利用トリップの25%について平均乗車人数を3倍にし、車両数を1/3にする。
No.3 HOV レーンの設置	現行のバス・タクシー専用レーンに相乗り自動車の走行を許可する。
No.4 バス運転本数の増加	現行のバスの運行本数を1.5倍に設定する。
No.5 トランジットモールの設置	市内中心部の四条通(烏丸通~河原町通)・三条通(川端通~河原町通)・河原町通(三条通~四条通)の3路線6リンクにおいて終日バス・タクシー以外は通行禁止にする。

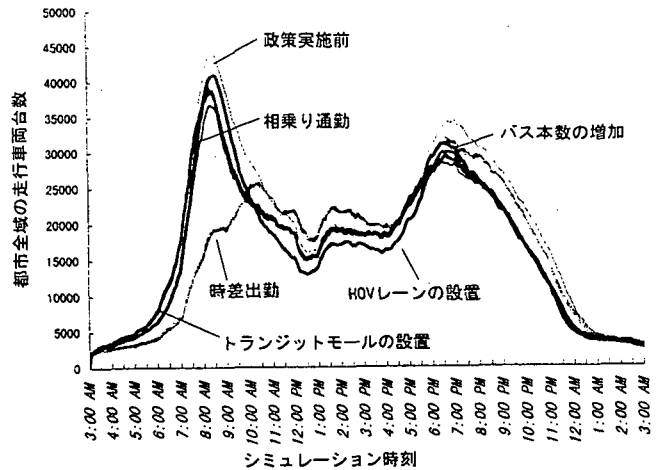


図8 施策実施時の走行車両台数の比較

6. おわりに

本研究では、公共交通と自動車交通を統合したシミュレーションシステムを構築した。交差点の処理などにおける細部の表現は比較的簡略なものとしたが、実用上十分な精度が得られ、これまでの手法では効果の分析を直接行えないような施策などについても評価することができることを示した。

システムの特徴としては、公共交通利用の際の経路の選択や、レーン規制を考慮した車種別の最短経路探索など多様な経路選択ルーチンを盛り込んでいること、956リンクという比較的大きいネットワークで、全バス系統・全便(約8800便)のバス運行をシミュレートすることが可能であることなども挙げることができる。

都市内交通において自動車交通を抑制し、公共交通の利用促進を図ることは喫緊の課題であり、本システムの応用可能性は高いと考える。

なお、本研究の今後の課題として、下記の点が挙げ

られる。

①乗客の公共交通への乗車判断において、所要時間を考慮したが、運賃などの費用や混雑度もシミュレーションでは個々に求めることができるため、これらを選択要因に入れることが考えられる。

②自動車と公共交通を乗り継ぐ交通の表現や、トリップチェーンを考慮した手段選択等もシミュレーションの枠組みのなかに入れることは可能であると考えられる。

【参考文献】

- 1)尾崎晴男, 街路網信号制御の評価シミュレーションモデル, 交通工学, No.6, pp.31-37, 1989.
- 2)横井昭,宮田晋,田村恒治, 交通管制マクロシミュレータ, 交通工学研究発表会論文集, pp.37-40, 1993.
- 3)別所則幸,内山久雄, 交差点シミュレーションモデルの開発とその適用,交通工学研究発表会論文集, pp.29-32, 1993.
- 4)尾崎晴男, 街路網信号制御の評価シミュレーションモデル(D E S C), 交通工学, No.6, pp.31-37, 1989.
- 5)高田弘, 電子計算機を利用したシミュレーションによる道路交通流の解析, 土木学会論文集, 1965.
- 6)飯田恭敬,藤井聡,内田敬, 道路網における経路選択を考慮した動的交通流シミュレーション, 土木学会論文集, pp.37-47, 1996.
- 7)山田稔,嘉藤忍,村本信夫, 交通流シミュレーションのオブジェクト指向開発と再利用性に関する研究, 土木情報システム論文集, Vol.6, pp.95-102, 1997.
- 8)渋谷秀悦,中辻隆,加来照俊, ハイブリッド型交通流シミュレーションモデルの開発と評価, 土木情報システム論文集, Vol.5, pp.15-22, 1996.
- 9)井上博司, 道路網における交通流動の動的シミュレーション手法, 土木学会論文集, pp.97-100, 1993.
- 10)中川大,若山真樹,伊藤雅, シミュレーションを用いた震災時の緊急物資輸送計画に関する研究, 土木計画学・論文集, No.14, pp.353-360, 1997.
- 11)小谷通泰,小牟田時,牧野太郎, 都市圏における道路ネットワークシミュレーションシステムの開発, 土木学会第 47 回年次学術講演集, pp.232-233, 1992.
- 12)斎藤清志,山田清利,伊藤善裕,吉田禎男, 都市圏規模での交通渋滞シミュレーションモデルの開発, 土木学会第 47 回年次学術講演集, pp.320-321, 1992.
- 13)飯田恭敬,内田敬,藤井聡, 大規模ネットワークを対象とした動的交通流シミュレーション, 土木計画学研究・講演集, pp.39-46, 1992.
- 14)上田功,桑原雅夫,坪井寿美夫,赤羽弘和,尾崎晴男, 経路選択—シミュレーションモデルの開発, 土木計画学研究・講演集, pp.279-286, 1991.
- 15)高山純一,中村光生,飯田恭敬, 信号遅れ時間を考慮した時間交通量配分モデルに関する研究, 交通工学研究発表会論文集, pp.97-100, 1990.
- 16)堀口良太,片倉正彦,桑原雅夫, 都市街路網の交通流シミュレータ—A V E N U E—の開発, 交通工学研究発表会論文集, pp.33-36, 1993.
- 17)深田清明,川村隆治,吉田禎男, 交通流再現シミュレーションモデルの開発, 交通工学研究発表会論文集, pp.1-4, 1991.
- 18)井上博司, 混雑した道路網における交通均衡およびその数値解法, 土木学会論文集, pp.125-133, 1986.
- 19)森津秀夫,大原竜也,多田典文,井上琢弥, 経路誘導による交通ネットワークフローの変化に関する分析, 土木計画学研究・講演集, pp.37-44, 1991.
- 20)M.D. Hall D. Van Vlietetc, SATURN - a simulation-assignment model for the evaluation of traffic management schemes, Traffic Engineering & Control, No.4
- 21)Dynamic Traffic Simulation 'TRANSIMS', Univ. of OXFORD transport studies unit, 1980.
- 21)小谷通泰,小牟田時,牧野太郎, 都市圏における道路ネットワークシミュレーションシステムの開発, 土木学会第 47 回年次学術講演集, 1992.
- 22)森津秀夫,久保田 尚,坂本邦宏,内田敬,中辻隆,藤原隆,田頭直樹,塚本直幸,吉井稔雄,桑原雅夫,杉本幸正, 交通ネットワークフローの再現を目指して—, スペシャルセッション, 土木計画学研究・講演集, No.19(1), p.667, 1996.
- 23)銭谷善信, バスレーンの設置効果に関するシミュレーションモデルと評価手法の研究, 京都大学工学部博論, 1977.
- 24)加島大地, バスサービス改善策の効果計測のためのシミュレーション分析, 京都大学工学部修論, 1995.
- 25)生田正洋,天野光三,中川大, バスの利便性評価指標と利用者の行動・意識に関する研究, 第 26 回日本都市計画学会学術論文集, pp.265-270, 1991.