

道路交通流解析のディジタル・シミュレーション・モデル

DIGITAL COMPUTER SIMULATION MODELS FOR
TRAFFIC FLOW ANALYSIS

栗 本 譲*
By Yuzuru KURIMOTO

1. まえがき

交通計画、街路計画が近代都市計画の骨格としてきわめて重要視されているが、交通計画等は発展しつつある都市の将来を見越して、生活環境が劣悪とならないようになつて、交通渋滞を生じないよう十分な計画性をもって考慮されなければならない。一方、現存する道路網を有効利用するために、交通管制を行ったり、あるいは交通流を安全でかつ円滑に流すための種々な施策を講じ、交通流の麻ひをできるだけ少なくするための努力が必要である。しかしながら交通施設計画等のあり方を研究するとしても、道路交通流という複雑でかつ大規模なシステムについて、その挙動と制御効果を評価しなければならず、これはきわめて困難なことである。

一般にシステムの評価には3種類の方法が考えられている。第1はシステムを数学的モデルで表現し、これを解くことによってシステムの特性を得る方法である。第2は実験による方法であり、第3はシミュレーションによる方法である。

道路網上を流れる交通現象の構成要素は、きわめて複雑で非線形な要素が多くしかも確率的要因と同時に決定論的要因をも含んでるので解析的な方法で解くことはきわめて困難である。また道路網を実験的に建設レデータを取り解析することは、モデル化による誤差は小さいが莫大なコストと社会的影響を考えると適当ではない。したがって広域の交通計画・街路計画により生ずる交通現象の挙動や制御効果を評価するためには、システムに相似な模型を作り確率的要因を含むシステムの特性解析のできるシミュレーションがおそらく最も有効な手法と思われる。

従来からシミュレーションモデルは数多く作成されているが、それぞれの目的に応じたモデル化であり、個別目的ごとのモデル化の方が得られる結果の精度、演算の

経済性といった点で有利と考えられている。しかしながら運用の柔軟性に欠けるとともにモデル作成に多くの費用と比較的長い期間を要する欠点をもっている。さらにモデル作成にあたっては交通工学、電子計算機についての比較的高度な専門知識を必要とする。そこで演算結果の精度は劣るが、モデルの作成が簡便で経済的かつ柔軟性に富んだ広域道路交通流の汎用シミュレーションモデルがあれば交通（処理）計画、評価の方法として有意義と考えられる。

本研究は交通流の基本的な解析と交通制御方式の評価を図るためにモデルの作成が比較的容易でかつ柔軟性・拡張性に富んだシミュレーションモデルを開発し、その有用性について検討したものである。

(1) システムの最小機能単位であるシステム・モジュールとして基本ブロックを考え、必要な個数の基本ブロックをつなぎ合わせることで所望の study area が簡単に作成し得る。(2) シミュレーション手法は流体モデルの論理に従うがブロック内およびブロック間の移動については1台ずつの車両として取り扱い、演算時間の短縮を図るとともに巨視的モデルでは求められない詳細な交通現象情報が得られる。(3) 流体モデルでは取り扱えないような複雑な現象を再現するために基本ブロックを利用した追従モデルを考え、追従モデルをサブ的に RUN させて、その出力をを利用して広域道路網シミュレーション効果の向上を図ったり、あるいは広域道路網シミュレーションモデルのサブシステムとして同時に RUN させ得ることができる。

2. 従来の研究概要

シミュレーション手法を交通流に適用する考えが1949年の初期に提案され¹⁾、1955年にアナログ計算機によるシミュレーション手法が実施されて以来多くの交通流シミュレーションが開発されている。

1958年 F.W. Webster²⁾ による単独十字型交差点を

* 正会員 工修 豊田工業高等専門学校教授 土木工学科

対象としたシミュレーションは有名である。ネットワークシミュレーションは 1962~1968 年にかけて米国の PRC (Planning Research Corporation) で Gerlough, Wagner および Katy により TRANS³⁾ (I~IV) と名づけられたモデルが開発された。TRANS は当初、交差点信号制御理論を評価するためのモデルであったが、その後道路の幾何学的構造の設計変更、歩行者による影響、右左折や駐車禁止などの規制変更、交通需要の変化などの効果をシミュレートし得るよう改良されている。TRANS は DYNET, SIGNET および UTCSS-1 などのモデル開発の基礎ともなっている。一方、英国では 1967~1975 年にかけ Robertson と Gower により TRANSYT モデル⁴⁾ (1~6) が開発されている。TRANSYT モデルは信号機で制御されている道路網の交通流をモデル化し、信号による車両の遅れを最小にする信号パラメーターを山登り法で求めるものである。

わが国においては日本自動車工業会、科学警察研究所等が中心となり昭和47年以来TRANSモデルをわが国の交通実態に適合するよう修正改良している。また、PRCの開発した「単独交差点のデジタルシミュレーション」を根幹として池之上、齊藤および花堂⁵⁾はMICSTRAN-1なるシミュレーションモデルに発展させ、「リンク間処理」「車線変更」等の機能を付加して街路網交通の微視的モデルを開発した。

シミュレーション手法を車の表現方法で分類すると、

(1) 微視的モデル（追従モデル）

表-1 各道路網シミュレーションモデルの特性

No.	適用例(目的)	車の発生	シミュレーション手法	時間進行方式	シミュレーションの範囲	諸条件の仮定	危険表示の方法	車種	維持の行動	顕著者による妨害	速度変分(車速変分値)	リンクの長さ	スキヤニングサイクル	経路指標	主なINPUT DATA(複数ある場合は各1つ)
(1)	高速道路の回廊におけるオンラインペレーショントラック	発生時刻データ 巨視的モデルと微視的モデル	周期進行方式	高速道路の回廊	無	ランプにおける信号制御能力あり	乗用車 トラック バス	一般街道でいる	考慮されていない	自走進行 追従進行 停止折行 停止折行 待ち行列 車線変更	ランプ開閉速度か 停止速度	6 sec (任意)	右左折率	42	
(2)	渡辺道出入口と街路の接続部	発生時刻データ 巨視的モデル	周期進行方式	リンク数160 車両数 1600台	無	定期時刻式	乗用車 トラック	自走進行 追従進行 停止折行 停止折行 待ち行列 車線変更	考慮されている	平均速度 平均速度 自走進行 追従進行 停止折行 停止折行 待ち行列 車線変更	交差点間距離	1 sec	右左折率	32	
(3)	街路交通流のシミュレーション	ボアソン分布 正規分布 信頼度 発生時刻データ	従前のモデル	周期進行方式	使用計算機容量のゆるすか ぎりにくいで もよい	有	定期時式 地点迷惑式	乗用車 バス 大型その他	自走進行 追従進行 停止折行 停止折行 車線変更	考慮されている	高速車 高中速車 低中速車 低速車	任意閾限	1 sec	右左折率	35
(4)	信号 gere た めの街路交通シミュレーション	一様分布	巨視的モデル	周期進行方式	50交差点 リンク数 200	無	定期時式	6種類	車群として 移動	考慮していない	0~V式に 従う	交差点閾限 定期 T sec T 50	右左折率	46	
(5)	交通安全評価 のための街路交通シミュレーション	発生時刻データ 巨視的モデル	周期進行方式	100交差点 車両数 2000台	無	定期時式 地点迷惑式 停止折行 回頭	乗用車 トラック バス	自走進行 追従進行 停止折行 停止折行 車線変更	考慮されている	速度変化 の悪化した バターン	交差点閾限	1 sec	右左折率	31	
(6)	信号 gere システムの改善手 法の開拓	ボアソン分布	巨視的モデル	周期進行方式	リンク数 217 80交差点	無	定期時式 迷惑式	/種類	車群として 移動	歩行者妨害 確率を使用して いる	自走進行 速度減少 交差点閾限	2 sec	右左折率	28	
(7)	信号 gere による 交通事故の検索	ボアソン分布	従前のモデル	事象進行方式	数十交差点	無	定期時式 迷惑式	大車両 小型車	自走進行 追従進行 停止折行 車線変更	考慮していない	正規分布	交差点閾限	右左折率	-	
(8)	各種道路交通 流管理のためのシミュレーション	ボアソン分布 正規分布	巨視的モデル と従前のモ デルの併用	高周進行方式	使用計算機容 量のゆるすか ぎりにくいで もよい	有	定期時式 地点迷惑式	乗用車 バス トラック その他の車種	自走進行 停止折行 加速進行 追従進行	考慮されている	K~V式に 従う	任意閾限 (0.5sec)	00時分	20	
(9)	信号 gere 損失 方式の検討	ボアソン分布 正規分布 一様分布	従前のモデル	周期進行方式	使用計算機容 量のゆるすか ぎりにくいで もよい	有	定期時式 地点迷惑式	5種類	自走進行 追従進行 その他の車種	考慮されている	正規分布 任意閾限 (0.2sec)	00時分	00時分	32	

- (1) : SIMULATION OF CORRIDOR TRAFFIC (1972)
- (2) : AUTOMOBILE TRAFFIC SIMULATOR
- (3) : MICROSCOPIC SIMULATION OF TRAFFIC NETWORK (1975)
- (4) : TRAFFIC NETWORK STUDY TOOL (1975)
- (5) : URBAN TRAFFIC CONTROL SYSTEM (1971)

(6) : TRANS (1967)
 (7) : GENERAL PURPOSE DIGITAL TRAFFIC SIMULATOR (1970)
 (8) : URBAN ROAD TRAFFIC NET WORK SIMULATION MODEL-1
 (9) : " " " -2

交通流を流体とみなして表現するものに大別できる。

現在、道路交通流解析に関する多くのシミュレーションモデルが一般目的あるいは特殊目的のために開発されているが、これらのシミュレーションモデルは使用者の要求が異なっているため目的や構造に違いがみられる。これらのモデルに共通する 14 特性について代表的な 7 モデルを比較したのが表-1 である。なお表中(8), (9) は本研究で開発した新モデルである。新モデルの特長は基本ブロックの採用によって比較的簡単に所望の道路・交通条件を表現し得るシミュレーションモデルを作成し得ること、また巨視的モデルと微視的モデルの考え方を併用したため必要に応じて個々の車両情報をも取ることができる。さらにプログラムが小さく(約 1500 ステップ) モデルを構成する 2 つのサブプログラムはそれぞれ単独にも使用可能である。さらに表-2 で代表的な 7 モデルおよび開発した新モデルの長所、短所を示す。

3. システムモジュール

(1) 基本ブロック^{13), 14)}

本シミュレーションモデルは巨視的・微視的の併用モデルと微視的モデルの 2 つのモデルから構成され、それぞれ単独でまたは後者のモデルは前者のサブモデルとして使用可能である。また、モデル内の車両は車頭間隔に応じた挙動を取らせるため演算時間は少し長くなるが、時間進行方式を取った。道路条件の変化は基本ブロックの構成で、交通条件の変化は V-K 曲線によって表現することができる。

本研究で開発した交通流解析のためのデジタル・トライフィック・シミュレーションモデル(Urban Road Traffic Network Simulation Model, URTRAN と略称する)は 2 つのサブシステムから構成されている。その 1 はシミュレーション手法として流体モデルを利用する URTRAN の主体となるサブシステム(URTRAN-1 と略称)で、その 2 は追従モデルを利用する微視的モデル(URTRAN-2 と略称)である。URTRAN-1, 2 はそれぞれ単独でも使用可能である。

シミュレーションシステム構成の概要を示したのが図-1 であり、道路網、交通条件のデータは道路の接続関

係、ブロック道路長、ブロック交通容量、車線数等からなるデータベースであり、データハンドリングルーチンを通して属性の修正などが容易に修正可能である。シミュレーションのコントロールデータや各種パラメーターはカードにより入力することになっており、演算に必要なモニターは入力データを解釈して初期化を行い、URTRAN-2 を必要に応じて実行させ、URTRAN-1 を制御するメインプログラムである。

URTRAN システム

のシステムモジュールは基本ブロックであり、基本ブロックは図-2 のような構造で幅員 W^m 、長さ L^m の単路で、その先端 \overline{CD} に信号機を設置したものである。各基本ブロックはモデル化対象道路区間の道路・交通条件に適合する条件を付与し、これらの基本ブロックを適時組み合わせることにより所望の道路網モデルを作成することができる。基本ブロックの性格は道路・交通条件がほぼ同一の単路と考える。したがってブロック長は実際の道路の状況により一義的に決定され、最長時で交差点間隔となる。ブロック長が短くなると、K-V 曲線から V を求めると、誤差が大きくなるので特別の場合を除き 300 m 以上のブロック長が望ましい、またブロック長が交差点間隔となるときは交差点中心間隔を取るものとする。車両の出入りは原則として \overline{AB} , \overline{CD} 端からであるが、条件によっては \overline{AC} , \overline{BD} 端からも可能である。 \overline{AB} 端は他の基本ブロック完走車あるいは発生車両の流入口となり、 \overline{CD} 端は基本ブロック完走車の流出端となる。このため車両の動きは、基本ブロック内の動きと、ブロックを完走したときの動きに分けて考えている。

流出端信号機の取扱いは、現実の道路上に信号機が設置されていたり、設置される予定があるときは、それぞれの信号機の種類に応じた挙動を信号制御サブルーチンの演算で現示させる。これに対して比較的長い単路等で信号機はないが途中で道路・交通条件の変化があるとき、その前後で基本ブロックを変えなければならない。そのようなときは、接続端信号機を常に緑現示することで信号機が設置されていないと同じ状態に保つことができる。

(2) ブロック接続表

基本ブロックを接続し所望の道路網を作成したとき、各基本ブロックの接続順序関係を示すのがブロック接続表である。ブロック接続表は最左列に対象地域内に存在する基本ブロックのうち、流出基本ブロックを除いた基

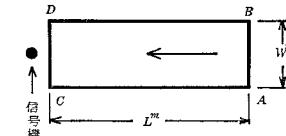
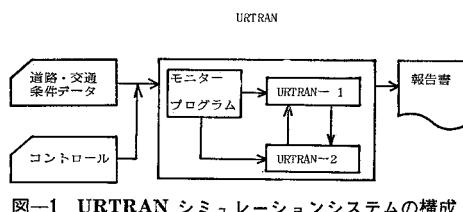


図-2 システムモジュールの基本ブロック

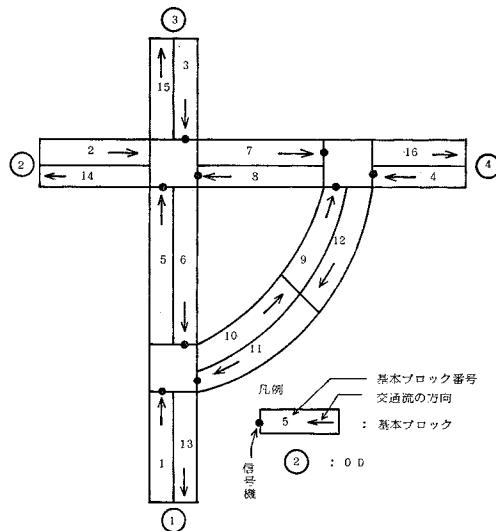


図-3 変型交差点モデル

本ブロック番号を、最上行に着地番号を記入し、行列の要素に次に流入する基本ブロック番号を記入したマトリックスである。したがってブロック接続表で相対位置を決定するため、基本ブロックに一連番号を付与しなければならない。

ブロック接続表は各基本ブロックを完走した車両が、それぞれの目的地に到着するためには次にどのブロックに流入しなければならないかを示す表である。

変型交差点モデルを 図-3 に示す。これは基本ブロック 16 個を使用した一例で

表-3 はこのモデルのブロックの接続状態を示すブロック接続表である。ブロック内の数字 1~16 は基本ブロック番号を、①~④ は着（発）地を示す。

車両の走行経路は初期値 OD とブロック番号が判明すればブロック接続表を用いて決定することができる

(この走行経路の指示方法を OD 指示と称する)。車両は最短距離を選び走行することを原則とすれば、基本ブロック 5 を完走して着地 ④ をもつ車両は、次にどのブロックに流入するかを判断するために、ブロック接続表の最左列から基本ブロック 5 を選び、ついでその車両の着地 ④ を最上行より求めて、これら行・列の要素を求めると、基本ブロック 7 に流入すべきことがわかる。完走車両が着地に対して経路が 2 つ以上選択できるときは、一様乱数を発生し、あらかじめ付与した右左直進パラメーターと比較して流入ブロックを決定(最大 3 分岐)

表-3 変型交差点 (図-3) のためのブロック接続表

	0	1	2	3	4
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

ただし要素の数字
は
基本ブロック番号

するロジックも付与されている。

(3) 右左折表

ブロックを完走した車両が次に流入する基本ブロックはブロック接続表から明らかになるが、そのブロックに流入するために車両はどのような挙動(直進、右左折)を取るかについての情報は指示されていない。したがって完走車両に対して取るべき挙動を指示するのが右左折表(表-4)である。この情報は信号現示が緑に変わったとき停止車両の発進遅れ時間の付与、交差点内での直進車動線の横断あるいは横断歩行者妨害に対する点検にも利用される。

表-4 変型交差点(図-3)のための右左折表

	0	1	2	3	4
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

ただし要素の数字
1: 直進車
2: 右折車
3: 左折車

右左折表の構成および使用法はブロック接続表に準ずる。ブロックの接続の順位とブロック間の車両の挙動についての情報は提供されれるが、その基本ブロックがどのような性格をもって他のブロックと接続しているかを考える必要があるのでブロック接続上の性格を示すパラメーターとして 4 つの接続のしかたについて定義した。a) 信号交差点での接続, b) 無信号交差点での接続, c) 交差点でない基本ブロックとの接続, d) 対象地域外あるいは駐車場へ流出するブロック。

(4) 車両の発生

流入交通流は乱されない交通流と仮定し、[0, 1] の一樣擬似乱数を発生して限界車頭時間より小さい間隔の車両が発生しないようトランケートした指數分布型から車頭時間を計算し流入基本ブロックの AB 端から流入させた。流入交通流は各車線単位で発生計算が行われるが、URTRAN-1 においては車線に関係なく同じ基本ブロックに入れ、URTRAN-2 では各車線に対応する基本ブロックに流入させた。

4. URTRAN-1¹⁵⁾

規模の大きな道路網を模擬し、信号制御方式の評価や交通現象を再現するためには、巨視的モデルに頼らねばならないことが多い。一般に巨視的モデルは微視的モデルに比して近似的なものであるが、街路のシミュレーションにおいては次のような理由で使用されている¹⁶⁾。

「街路で車両は信号機により制御されているので車群となって走行することが多い、このため個々の車両間の

相互干渉はそれほど問題とはならない、また、待ち時間や待ち行列長は車群特性に大きく依存する”。反面この方式はあまりにも巨視化されているためきめの細かい信号制御や交通現象の再現には不都合である。URTRAN-1 は基本ブロック使用により道路網モデル作成の容易さとともに、巨視的モデルの演算の速さ、シミュレーション手法の簡単さをもつとともに、ブロック間での車両の受渡しは、個々の車両に着目して、右折車の時間遅れ、発進時間遅れ等微視的モデルの考え方をも導入したモデルである。

(1) 車両情報

システム内の走行各車は下記の 5 個の情報を基本ブロックに流入から流出時まで常にもっている。

a) ブロック完走予想時間 (t)

$t=0$: 基本ブロックを完走したとき

$t < 0$: 停車中

$t > 0$: 基本ブロック内を走行中

b) 発地: 流入基本ブロック番号

c) 着地

d) 車種: 車種表から乱数処理により車種記号で示される（車種の種類は任意に設定が可能）。

e) 流入時刻: その基本ブロックに流入したときのシミュレーション開始時からの経過時間
情報諸元のうち、b), c) および d) は車両が発生し流入基本ブロックに流入するときに付与されその後、系より流出するまで変化しないもの、e) は新たな基本ブロックに流入するたびに付与される。a) は基本ブロックに流入時 $K-V$ 曲線から基本ブロック内の K に対応した V より基本ブロック完走予想時間が算定されるが、 t の値は演算のスキャンニングサイクル（シミュレーションにおける時間を進行させる場合の単位時間）ごとに減少していく変化量である。

各基本ブロック内の車両は流入時刻の早いものから順番に各配列内に格納される。また基本ブロック内の先頭車両には、これら情報のほかに流入予定ブロック番号、右左折記号、遅れ時間の 3 情報が付与される。ただし多車線あるいは右（左）折ポケットを有する基本ブロックにあっては車線数、ポケット数に応ずる車両に前記 3 情報を付加する。

(2) 車両の走行挙動

a) 基本ブロック内の走行

基本ブロック内の車両の挙動は等速走行するものと仮定し、与えられた速度で基本ブロックを完走するに要する時間を求める。まず対象とする基本ブロック内に存在

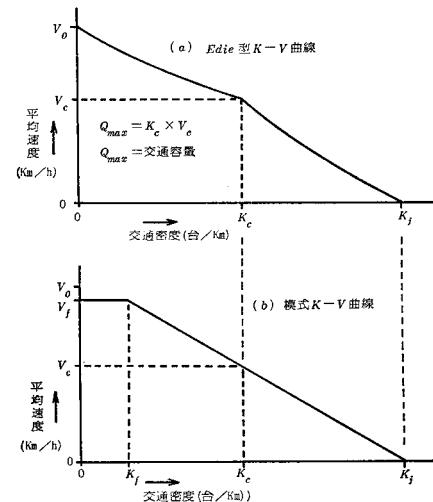


図-4 UTRAN-1 で使用した模式 $K-V$ 曲線

する車両台数（車両情報の車種記号を利用して乗用車当量に換算した台数）を求める、その台数を密度 (K_i) に変換する。ついでその基本ブロックの道路・交通条件に合った $K-V$ 曲線（図-4(a)）から、その密度に対応する走行速度 (V_i) を計算する。基本ブロックの長さは既知なので、そのブロックの完走予想時間が得られることになる。

新たにブロックに流入する車両には、このようにして完走予想時間が与えられているので、演算のスキャンニングサイクルごとに完走予想時間からスキャンニングサイクルを減じていく、完走予想時間が零となれば、その車両はそのブロックを完走したことになり次のブロックへの流入が点検される。信号機が赤表示、進入予定ブロックの先詰り等により完走予想時間が負となってもブロックに存在している車両は、負の時間だけそのブロック内で停止したことを意味する。

このモデルでは演算をより早く行い、かつ実現象に一致させるために図-4(b) に示す型の $K-V$ 曲線を使用した。 K_f は飽和密度を、 K_c は臨界密度を、 V_c は K_c に対応する臨界速度でありこのとき、交通流は容量を示す。また K_f より小さな密度のとき、車はその道路・交通条件等によって決定される自由速度 (V_f) で走行することを示す。

b) 基本ブロック内の先頭車の走行挙動

ブロック内の車両の走行は本章(2). a) に述べた方法で処理されるのであるが、ブロック先頭車（ブロック内の車両はブロックに流入した順序に STORE されている。ブロック先頭車はこれら車両のうちで最も早くブロックに流入した車両で、配列の先頭にいる車である）でかつブロックの終端に到着するのにまだ一定の時間を有する車両についてのみ速度（完走予想時間）の補正を

行っている。

このことは基本ブロックに車両が臨界密度を越してから流入したが、その後ブロック内の車両が減少しても以前に流入した車両の完走予想時間の修正を行わないならば、あいかわらず高密度での速度で走行していることになり渋滞の解消が実現象に比較して遅れることになる。このような不合理をなくするために次のような速度補正（修正完走予想時間の算定）を実施した。

同一ブロック内で自車を含む前方車両台数を n , i 番目車両の走行残距離を D_i とすれば密度 K_i は n/D_i となる. そこで, i 番目車両のブロック流入時間 to T_i , シミュレーションでの現在時間を T とすれば, 修正完走予想時間 t_i' は次式より求める.

$$t_i' = D_i/V_i$$

ただし、 $D_i : L \cdot t_i / (T + t_i - T_i)$

V_i : $K-V$ 曲線より求めた K_i に対応する速度

t_i : i 番目車両の完走予想時間

ついで t_i と $t_{i'}$ を比較して小さい値を新完走予想時間とし i 番目車両に付与した。なお先頭車が補正の対象となったブロックは全車両について同様の補正を行った。

(3) 車線数に対する修正

a) 車 線 数

多車線道路網モデルの URTRAN-1 による演算は車線数に関係なく一方向に基本ブロックを 1 個のみ使用する。ただし基本ブロックの飽和密度は多車線道路の飽和密度に相当する密度(容量)を準備する。たとえば、 i 区間の基本ブロック長を L_i 、車線数を N_i 、停止時の車頭間隔を D_i とすれば、飽和密度は $K_j = N_i \cdot L_i / D_i$ となる。

先頭車がブロックを完走したかどうかを調べる演算は At なるスキャンニングサイクルで実行されるが、車線数 N_i ($N_i \geq 2$) に相当する基本ブロックになると N_i 回スキャンニングを実行する。

b) 屈折車線

一方向一車線道路の交差点における右左折車の後続車両に与える影響はきわめて大きい。そこで右左折車が比較的多い交差点では右左折専用のポケット（屈折車線）を設置して通過交通流の混乱を少しでも防止し、安全で円滑な流れを確保し得るよう配慮した。設置した右左折ポケット以上の右左折車が出現すれば、後続直進車の走行を妨害することになるが、図-5に示す論理に従い屈折車線の交通現象を処理している。

(4) 交差点の交通処理

基本ブロック間の走行挙動（ブロック間の車両の受渡し）は信号機の有無、車種、右左折車および横断歩行者

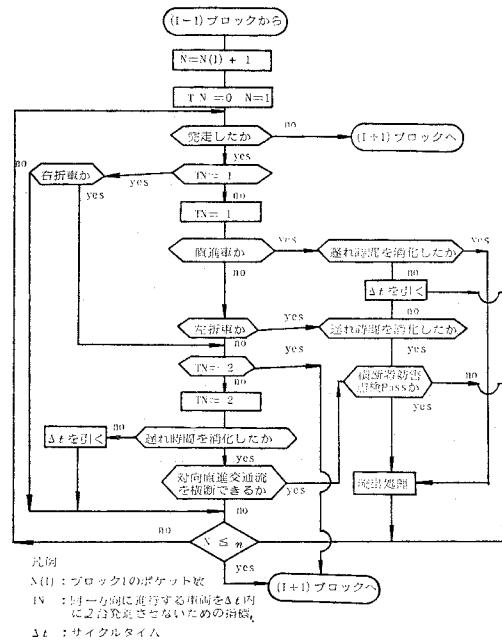


図-5 右折ポケット (N 台収容) をもつ基本ブロックの処理論理

の有無によって異なるのでこれらの点を考慮した。

a) 信号交差点での交通処理

先頭直進車で緑現示内に基本ブロックを完走したとき、あるいは先頭直進待ち行列車で“発進遅れ時間”を緑現示のもとで費やした車両は前節 a) の方法で完走予想時間を計算し前章(2)の手順に従って指定された基本ブロックに流入させる。停止時の“発進遅れ時間”は下記の式で計算した。

発進遅れ時間 = (車種係数) × (右左折車係数) × (停止車の先頭からの順位によって定まる定数)

係数は乗用車、直進をそれぞれ1とし基準とする。車種および道路条件に応じた右左折の値はパラメーターとして基準値の倍数として付与することができる。順位による定数は先頭車 3.0, 2 台目 2.6, 3 台目 2.2, 4 台目以上は 1.9 をそれぞれスキャンニングサイクルで割った値を取った。

交差（合流）交通流となる右左折車両は、対向する直進車、左折車の順に優先権を与え、それぞれの流入gapを検討し、交差（合流）が許された車両についてのみさらに横断歩行者妨害点検を行い通過し得る車両を直進車と同様の手順で処理した。

b) 無信号交差点での交通処理

交差点内の優先順位は先着到着優先とし、同時到着の場合は前もって付与された優先順位を乱数処理で決定した。交差（合流）の Acceptable gap をまず求め、gap 値が定められた条件を満足し、かつ横断歩行者妨害の心

配がないとき、前項の手順で次の基本ブロックに流入させた。条件を満たない車両は、その場（ブロックの先頭）で停止させ待ち時間を加算するとともに、“発進遅れ時間”を一律 3 sec 付与し、次の点検は“発進遅れ時間”が零となってから再処理点検を行わせた。

c) 橫斷步行者妨害

横断歩行者による右左折車の停止確率に関する要因は、横断歩道上のある部分（コンフリクトゾーン）の歩行者密度であるという考え方に基づいて誘導された算定法¹⁷⁾を利用した。

$$P = 100(1 - e^{-BD})$$

ただし、 P ：停止確率 (%)

D: コンフリクトゾーン内の歩行者密度（人）

$$B : 0.15 + 0.0045 V_0$$

V_0 : 1 サイクル当たりの平均歩行者数

すなわち右左折点検の際一様擬似乱数(RN)を発生させ $RN > \kappa$ なるとき車両の通過を許している。

(5) プログラムの概要

このモデルはプログラムの汎用性を考慮して FORT-RAN-IV を使用し、54 個の配列を用いている。このうち 20 個は道路・交通条件のデータを input するのに利用している。URTRAN-1 の流れ図を図-6 に示した。

プログラムはステートメント数約 700 で 22 個のルーチンから構成され比較的簡単に修正、改良が可能となっている。演算のスキャニングサイクルは任意に設定できるが、基本ブロック間の処理を考え特に指定がないと

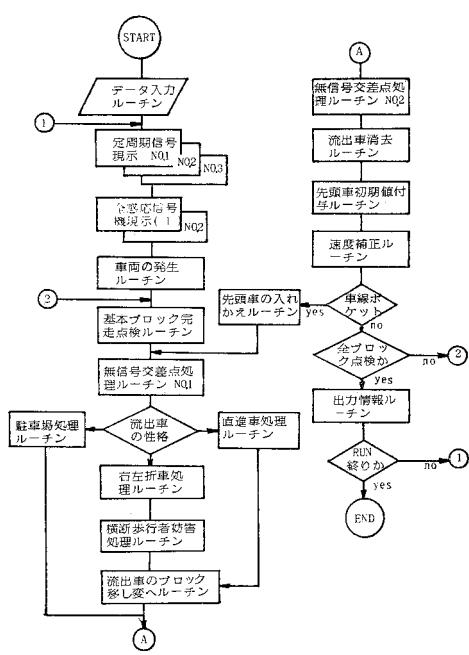


図-6 URTRAN-1 の流れ図

きは 0.5 sec を取っている。シミュレーションの対象道路網の大きさは使用する計算機の使用可能容量の許す限りいくらでも大きくできる。

出力情報は各基本ブロックごと 5 分間隔で流入交通量、流出交通量、速度分布、平均速度、密度、停止車両数および平均待ち時間が出力されるが、必要に応じて任意の地点の情報も取り出し得る。

(6) URTRAN-1 の検証

開発した URTRAN-1 を実際の道路網に適用して、これを実現象と比較しこのモデルの妥当性の検討を行った。

a) 対象ネットワーク

対象としたネットワークは東京銀座地区（南北：外堀通り、銀座中央通り、東西：銀座北三一銀座西四、晴海通り）の 0.4×0.4 km の地域である。ブロック構成は流入基本ブロック 10、ネットワーク基本ブロック 12、流出基本ブロック 12、信号交差点 6、無信号交差点 2（図-7 参照）である。データは昭和 47 年 3 月 30 日 10 時 15 分～45 分の実測資料¹⁸⁾で、信号現示、平均速度は資料をそのまま使用したが、交通量を時間交通量に、径路指示は右左折率による表示であったため OD 指示

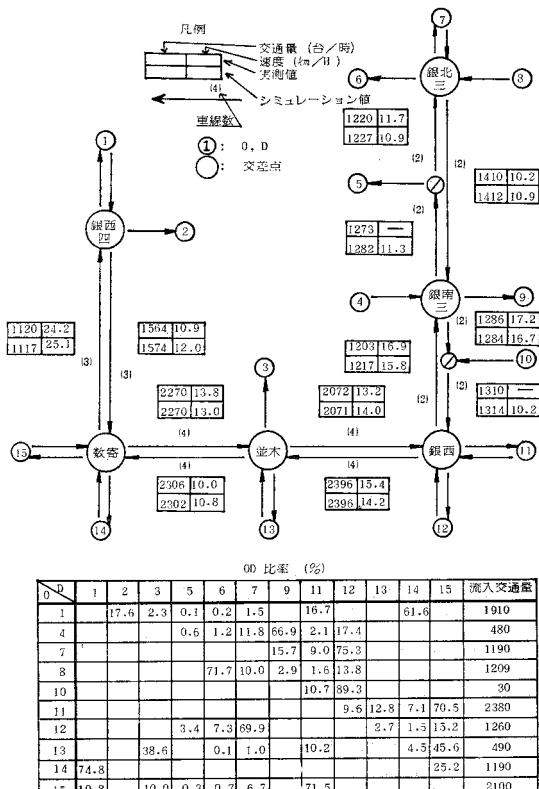


図-7 URTRAN-1 の検証結果（銀座地区、実走行
1 時間分）

にそれぞれ修正し利用した。

b) シミュレーションの結果

シミュレーションは実走行 30 分間演算を行ったときを初期状態としてから実走行 1 時間分について集計した。演算処理時間は実 1 時間に對して 2.3 分であった。基本ブロックごとの交通量および平均速度について演算結果と実測値との対比を図-7 に示した。

平均速度については、実測値に比して +10.4 ～ -7.8 % の差がみられる。これはインプットデータとして用いた交通量のほとんどが乗用車であったのですべて乗用車としたが、このなかには貨物車その他も若干存在したためと想定されるが、ほぼネットワークの交通実態をよく再現し得たものと思われる。

5. URTRAN-2⁽⁹⁾

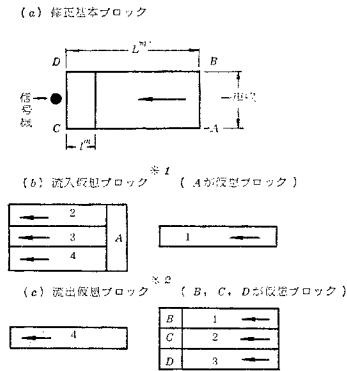
広範囲な街路網をシミュレートしようとするとき、問題となるのは、その地域に含まれる比較的複雑な交通現象をどのようにモデル化すべきであるかということである。

モデル化が粗雑であれば、その結果は、局所の誤差が相互に干渉しあい原因となり広範囲な地域のシミュレーションの精度に大きな影響を与える。成果の評価を減少せしめる。また、あまりにも密なモデルであれば、交通現象の再現という点では満足し得るが演算に多くの時間を費やすばかりで、成果そのものの実用的な価値は低くならざるを得ない。そこでこれらの複雑な交通現象をモデル化する場合、全地域のシミュレート精度に影響を与えない程度に、いかに簡略化することができるかが要点となってくる。この URTRAN-2 は小地域の複雑な交通現象を、その本質をあまり崩すことなく簡単なルールで再現し得る目的で作成したものである。したがって交通流の運動挙動については、かなり忠実に再現が可能であり、かつ演算結果の output を URTRAN-1 の input 配列に記録する機能をもっているため URTRAN-1 のサブシステムとしても、単独でも使用し得る融通性のあるモデルである。

URTRAN-2 は追従理論的考え方で、車両の挙動をコントロールしている。すなわち走行車両の挙動は前車の走行速度と自車の速度および車頭間隔によって制御し、反応時間については零とし考慮していない。

(1) 基本ブロックの修正

URTRAN-2 では車両のミクロ的な走行挙動と車線変更および基本ブロックの接続部で車線増減を考慮して基本ブロックを一部修正して使用した。図-8 (a) に最も基礎となる修正ブロックを示す。このブロックは 3.



* 1 : ブロック 1 を通過した車はまず A ブロックに入れるが、そのスキーリングサイクル内に乱数処理によって 2, 3, 4 ブロックへ分岐流入する。

* 2 : ブロック 1 への流入は仮想ブロック B, C, D に先んじて車両が通過した場合は乱数処理によって流入車が先端並び右端され、所定の車頭間隔が保たれて車両が假想ブロック内で減速停止させる。

図-8 URTRAN-2 に使用された修正基本ブロック

(1) で記述した機能に加えて次のような修正を行った。 $\overline{AC} \cdot \overline{BD}$ 端から条件によって流入出可能、車線幅は一車線、座標の原点を \overline{AB} 端に取り車両の前進方向に距離を取り車両の位置を決定し得るようにした。

URTRAN-2 での車両の挙動は追従理論に従い各車両の位置は各ブロックの原点からの距離で示すため、演算の 1 回のスキーリングサイクルでは通過し得ない幅のゾーン（これをフロートゾーンと名付けた）を基本ブロックの先端に設置し、フロートゾーンに入った車両についてのみ前進方向へのブロック変更の点検を行った。フロートゾーンの長さ l は車両の最高速度と演算のスキーリングサイクルの大きさによって決定される値である。

URTRAN-2 に使用された修正ブロックの種類（図-8）は下記のとおりである。

- a) 基本ブロック
 - (i) 車両発生ブロック
 - (ii) 車両流出ブロック
 - (iii) 車線変更ブロック：最も基本になるブロックで \overline{AB} 端から流入、 \overline{DC} 端から流出、 \overline{AC} , \overline{BD} 端からも条件が満たされれば流入出可能

車線変更の可否は、変更希望車線上の直近前・後車と自車との車頭間隔およびそれらの速度により可能性を判断し、可能と判断されたときは、ただちに車線変更を実施する。ただし一度車線変更を行った車両は元車線に短時間で復帰することを防止するため一定時間（任意に設定可能）変更判断を行わない。

- (iv) 車線変更不可ブロック
- b) 流入仮想ブロック
- c) 流出仮想ブロック

修正基本ブロックの接続方法、車両の右左折・直進等については 3. の手順に従う。

(2) 車両情報

システム内の各車両は次の 10 個の情報をもって走行させる。

車両の位置、地点速度、希望速度（車種を含む）、待ち時間、発地、着地、走行状態、発進遅れ時間（または車線変更調節時間）、右左折記号、基本ブロックへの流入時刻、これら情報のうち発・着地および希望速度は系に流入するとき付与され、右左折記号・流入時刻は各基本ブロックに流入時に与えられる。その他の情報は演算のスキャンニングサイクルごとに計算される。また希望速度は乱数処理により上・下限を切った正規分布型で付与する。

走行挙動は、各車種ごとに速度と車頭間隔および優先順位により次の 7 種類を考えた。

自由走行、追従走行、加速走行、減速走行、停止、強制停止、強制減速である。ここで強制停止、強制減速はある基本ブロックに車両が流入しようとしたとき隣接競合ブロック上に優先車が存在するとき付与される挙動であり、停止、減速走行状態に比較して挙動が一般に急激となる。

(3) プログラムの概要

プログラム言語は FORTRAN-IV を使用し、全ステートメント数約 320 である。使用した配列は 22 個そのうち道路・交通条件としてインプットに使用した配列は 11 個である。

またプログラムは 9 個のルーチンから構成されており比較的簡単に修正変更が可能である。演算のスキャンニングサイクルは任意に設定できるが車両の挙動をより正確にかつフロートゾーンを小さくするために、0.1~0.2 sec が望ましい。シミュレーションの対象道路網の大きさは使用される計算機の使用可能コア数とプログラム占有コア数によって決定される。

出力情報は各基本ブロックについて 5 分間隔および信号機が緑現示を開始したとき、流入交通量、流出交通量、速度分布、平均速度、平均待ち時間、渋滞長、停止車両数、車線変更回数、が output される。必要に応じて任意の時と場所でも情報を取り出すことができる。

6. URTRAN の適用例

豊田市北部にある総合競技場（収容人員約 2 万人）周辺の道路網を対象として選定した。図-9 からわかるように豊田市内から競技場に向かうルートは次の 4 つが考えられる。国道 155 号線から大井橋交差点を経由して競技場に向かうルート、四郷から大井橋交差点を経由して競技場に向かうルート、国道 153 号線から宮口、福谷を経由して競技場に向かうルート、同じく、東

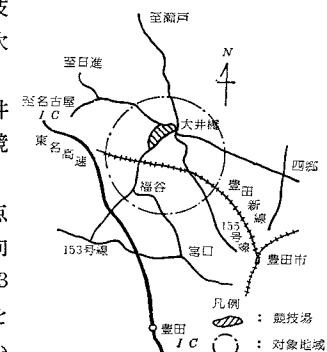


図-9 豊田市域略図

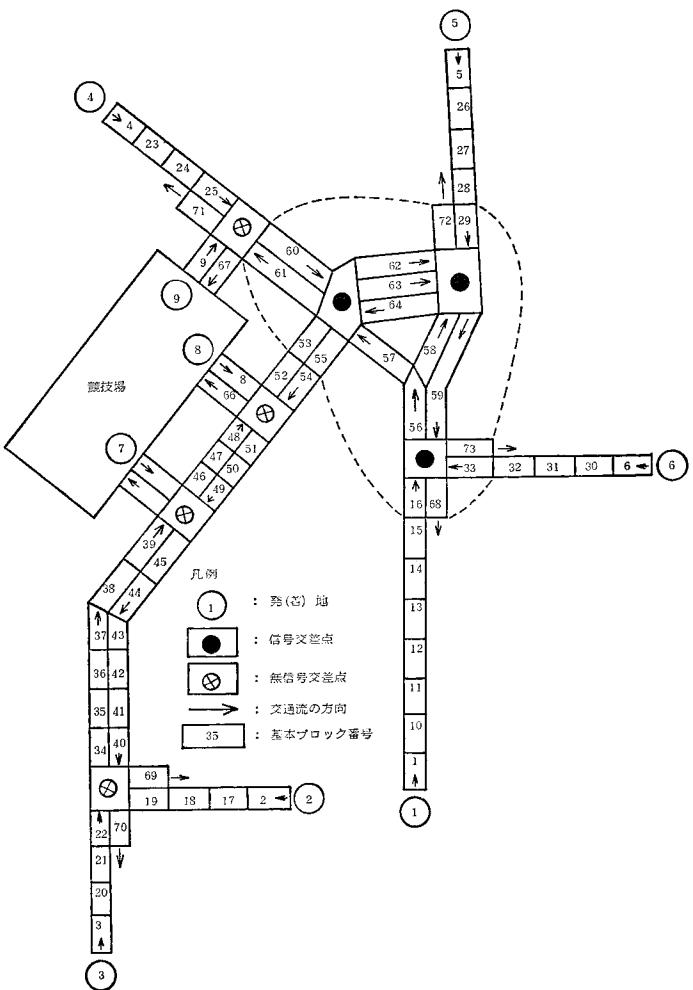


図-10 総合競技場周辺シミュレーション実施のための道路網モデル

名高速道路高架下をくぐって福谷経由で競技場に向かうルートである。

このようなあるイベントに対する集中交通流の管制方法には信号現示による制御、迂回指示による制御、バスへの強制転換、時間的一方通行規制等が考えられるが、一般通行車両も比較的多いため、時間的一方通行規制を除いた各手法によってシミュレーションを実施して評価を行った。

(1) 道路網モデル

シミュレーション実施の study area は図-9 を参照して道路網モデルを 図-10 のように決めた。道路網モデルは基本ブロック 73 個（系全長は 2 車線 10.2 km）で構成されており、定周機信号交差点 3 か所、無信号交差点 4 か所駐車場容量 2000 台、基本ブロック長は特殊なブロックを除き 300 m とした。車種は乗用車、大型車の 2 種類とし最高速度は 11 m/sec（モデル地域の制限速度が 40 km/h）とした。

(2) 定周期信号機の現示の決定

図-10 の破線で囲まれた部分（大井橋を中心とした区域）は、競技場で特別なイベントがなくとも常に混雑しており特に基本ブロック番号 57, 62, 63, 64（以後 No. 57 等と略称する）は橋梁部分で地形的にも改修が困難なところである、そこでネットワークシミュレーションに入る前に、この破線に囲まれた部分の信号機について系統化を考え待ち時間最小の最適と思われる信号オフセットを試行的に求める。

この交差点地区的モデルは基本ブロック 17 個から構成されており（総延長 3 660 m/車線）、基本ブロック長は No. 57, 62, 63, 64 は 30 m, No. 58 は 60 m, No. 56 は 180 m, No. 59 は 240 m とし、他のブロックは 300 m とした。信号機の周期は 120 sec とし各スプリットを表-5 に示す。表内の番号は基本ブロックの先頭に設置した信号機番号（基本ブロック番号と同じ）であり、No. 56 は常に緑現示となるため記載しなかった。

シミュレーションは URTRAN-2 を用い、信号現示の決定には代表車種として乗用車を用い、スキャンニングサイクルを 0.2 sec とした。流入基本ブロックからの交通量としては予測交通量を用い、それは 200~600 台/時であった。そして実 1 時間のシミュレーションの演算 CPU 時間は 7.3 sec であった。シミュレーション結果のうちブロック通過台数および停止車の平均遅れ時間を表-6 に示した。現状の信号機のスプリットはタイプ II であり、全系の停止車の平均遅れ時間のタイプ II に対する比率は I=2.65, III=2.96, IV=0.81 となる、さら

表-5 大井橋周辺の最適スプリット決定のためのインプットデータ

ケース	I		II		III		IV	
	基本ブロック番号	スプリット (sec)	オフセット (sec)	スプリット (sec)	オフセット (sec)	スプリット (sec)	オフセット (sec)	スプリット (sec)
16	30-30-30-30			30-30-30-30		30-30-30-30		30-30-30-30
53	30-90	0.25	23-92	0.49	45-75	0.19	25-95	0.19
60	90-30	0.75	40-80	0.17	75-45	0.69	43-77	0.69
29	60-60	0.63	67-53	0.90	60-60	0.63	70-50	0.63
33	30-30-30-30	0.25	30-30-30-30	0.25	30-30-30-30	0.25	30-30-30-30	0.25
57	90-30	0.75	31-29-31-29	0.51	75-45	0.69	35-23-35-25	0.69
58	60-60	0.63	85-35	0.23	60-60	0.63	35-85	0.63
62	60-60	0.13	31-39	0.28	60-60	0.13	80-40	0.13
63	60-60	0.13	53-67	0.35	60-60	0.13	55-85	0.13
64	30-90	0.25	34-86	0.05	45-75	0.19	33-37	0.19
59	30-30-30-30	0	30-30-30-30	0	30-30-30-30	0	30-30-30-30	0

ただし、30-30-30-30 は緑一赤一緑一赤を示し、黄は赤に含む。

現行の信号機のスプリットはケース II である。

オフセットは基本ブロック No. 16 の最初の赤の中央を基準にした。

表-6 大井橋周辺の最適スプリット決定のためのシミュレーション結果 (URTRAN-2)

ケース	通過台数 (台/時)	停止車の平均遅れ時間 (sec/台)						
		I	II	III	IV			
57	99	124	115	124	18	12	31	9
58	33	33	33	29	71	33	98	29
59	107	130	130	126	36	15	80	7
62	18	18	18	23	31	13	46	7
63	74	81	81	85	67	19	83	10
64	20	29	29	12	34	30	27	24

にこのモデルで競技場に向かう主交通流は No. 16, 33 から流入して No. 57, 58 に流出するものと考えられるので、特に No. 57, 58 での遅れ時間が最少となるタイプ IV を最適信号スプリット、およびオフセットとして採用することにする。

(3) 対象道路網全体での計算例

図-10 に示した道路網モデルに URTRAN-1 を適用してシミュレーションを実施した。モデルに流入させた各基本ブロックの流入交通量を表-7 で示す。最適信号制御を行った場合を A、現行制御を B とし、さらに乗用車のみのときを 1、乗車率 100% として定員 75 人のバス（乗用車の乗車率が平均 2 人/台とすれば乗用車 37 台分がバス 1 台に転換することになる）を No. 1 から 5 台/時競技場に運行させるときを 2、同じく乗車率 25%（乗用車 9 台分がバス 1 台に転換）のときを 3、No. 1 → No. 7, 8, 9 という競技場に向かう交通量のうち 150 台/時を No. 2, 3 に均等に迂回させたときを 4 として、A-1, B-1, A-2……A-4, B-4 の計 8 通りについてシミュレーションを実施した。その結果の一部を表-8 に示す。実走行 1 時間にに対する演算 CPU 時間は、3.38 分であった。

a) A-1 と B-1 の比較

A-1 は No. 16 で遅れ時間、停止率がそれぞれ約 30 sec/台、19% の減少がみられるが、停止率の減少比率が

表-7 総合競技場周辺シミュレーション実施のための流入交通量

ケース	路線系統	流入交通量(台/時)									備考
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A-1	有	600	300	200	100	300	400	100	100	100	乗用車のみ
B-1	無										
A-2	有	417	300	200	100	300	400	100	100	100	バスに転換100% 5台/時
B-2	無										
A-3	有	553	300	200	100	300	400	100	100	100	バスに転換25% 5台/時
B-3	無										
A-4	有	450	375	275	100	300	400	100	100	100	①→⑦ ⑧ ⑨への交通量 150台/時を②→③→⑦ ⑧ ⑨に均等に分配巡回
B-4	無										

表-8 総合競技場周辺シミュレーション結果(URTRAN-1)

シミュレーションの種類	駐車場	ブロック 16			ブロック 37			ブロック 58			ブロック 33			ブロック 39			ブロック 22			ブロック 19		
		N	SN	ST	N	SN	ST															
A-1	1197	545	253	45	499	162	24	422	286	16	383	237	20	480	84	15	283	263	16	175	169	15
A-2	1088	390	293	25	405	159	20	375	219	15	398	234	18	469	108	25	266	251	14	185	175	14
A-3	1161	527	28	28	515	171	22	380	295	16	382	236	17	481	91	14	276	252	9	176	163	13
A-4	1188	410	215	30	413	135	19	421	208	13	385	250	19	374	291	41	305	257	35	230	226	31
B-1	1123	277	76	491	164	20	425	302	22	380	198	33	488	105	33	284	261	17	176	160	17	
B-2	1081	522	53	140	491	32	61	51	71	16	380	52	17	488	21	5	191	19	16	90	9	15
B-3	1150	270	24	500	167	25	380	310	20	371	220	18	478	112	20	267	241	15	172	150	13	
B-4	1179	405	215	47	405	166	28	395	320	21	374	192	25	473	107	23	250	22	14	184	160	9

N: 流入台数, SN: 停止台数(下段修正率), ST: 遅れ時間(sec/台)(下段全車平均)

最大となるのは A-3, B-3 であり、流入交通量が少ないときほど系統化が有効である。No. 57 については、遅れ時間の減少が 2 sec/台 とわずかであり、かつ停止率については変化がみられない。しかし No. 58 では、遅れ時間、停止率ともに顕著な減少効果がみられる。No. 33 は系統化から外れているため遅れ時間は A タイプが約 13 sec/台減少しているが停止率は逆に増加している。

b) A-2 と B-2 の比較

A-2 は全基本ブロックにおいて他のシミュレートしたすべてのタイプの遅れ時間、停止率に比較して最小を示しており、系統化の効果が最も顕著に表われた例である。この影響を受け系統化から外れている No. 33 の遅れ時間、停止率とともに B-2 とほぼ同じ値を示しているが、しかし系全体での損失を考慮すれば系統化することが望ましい。

c) A-3 と B-3 の比較

b) ほど顕著な変化はみられないが A-1 に比較すればバス転換の効果がみられる No. 16 では、現行信号方式によるものが遅れ時間、停止率ともに良好な結果を与えている。

d) A-4 と B-4 の比較

無信号交差点に 150 台/時 の交通量が転換し現在交通量に上積みされるため A, B-4 ともに他のケースに比較して No. 19, 22 で遅れ時間 20 sec/台 の増加がみられる、さらに No. 39 では 40 sec/台 の遅れ時間が発生している反面 No. 16, 57, 58 での遅れ時間、停止率に目

立った変化がみられない。したがって系全体としての遅れ時間の減少も望めない。

対象道路網全体の総合的評価は input 交通量が異なるため一概にはできないが、与えられた車種別交通量で、遅れ時間最小を基準とすれば A-2, A-3, A-1 の順に良好な交通制御といえる。A-4, B-4 は無信号交差点への交通量の増加となり安全

対策の面からも好ましい制御ではない。ここでは、信号制御、迂回指示、バス転換方式の交通流に与える影響を検討したが、実際の交通管理方式の決定は、これらの結果と周辺地域全体の交通の利便性、安全性、環境に与える影響などを当該地区の交通に関連する諸条件を考慮した総合的評価に基づいて行われるべきであろう。

7. あとがき

本研究では広域道路交通を巨視的および微視的の両面から解析する一方法として、一般目的をもったシミュレーションモデル(URTRAN)を開発した。銀座地区の実測値とシミュレーション結果とを比較検討し、本モデルの検証を行い十分実用的に使用可能と判断した。さらに豊田市北部地区の競技場周辺を含む道路網を対象として URTRAN を適用し、条件を変え発生すると思われる各種の交通流をシミュレートし検討を行い本モデルの交通流解析への適用法についても述べた。

本研究において得られた成果のおもなものを要約すると次のようである。

(1) 従来の交通流シミュレーションの方法を構造、精度、使いやすさなどの面から比較検討し、それらの利害得失を示した。

(2) URTRAN はシステムモジュールに基本ブロックを採用したため、柔軟性があり、拡張性に富んでいる。道路・交通条件の変化はもちろん、信号機に関する情報も比較的簡単にモデル化し得るとともに複雑な道路網も基本ブロックを単に組み合わせるだけで作成し得る利点をもっている。

(3) URTRAN は URTRAN-1, 2 の 2 つのサブシステムから構成され、URTRAN-1 は広域道路網交通流の巨視的解析に適し、URTRAN-2 は複雑な局部的交通現象の微視的解析に適している。URTRAN-1 は

URTRAN-2 をサブシステムとして利用し得る機能とともに単独で使用することも可能である。

(4) URTRAN-1 のシミュレーション手法は、基本ブロック内での車両の挙動を $K-V$ 曲線に基づき定速走行させるため演算速度は極端に短縮された。この方式によって現象の再現が粗雑になる欠点を避けるため先頭車の速度補正処置を導入し比較的忠実に交通現象を再現し得るよう配慮した。また各車両単位の情報を付与走行させてるので、微視的モデルに近似した交通流情報を収集することができる。

(5) ネットワーク内走行車両の経路指定は、OD 指示をとったため、所望の経路に、所望の交通流を誘導することができるので、経路についての特別な交通現象（たとえばバス専用路線の影響）のシミュレーションに本システムを用いることはきわめて効果的と思われる。

(6) 従来のモデルでは広域道路網の交通制御において重要となる OD 交通量の条件を考慮しにくかったが、本モデルでは経路指定における煩雑さはあるがこの欠点は解消されている。

本研究では利点の一つとして考えられる OD 指示を取ったが系が大きくなるにつれて、一対の OD に対して経路が一意的に決定できず乱数処理による余分な手順が必要となるので、今後右左折率による経路指定をもプログラム化し、いずれかを選択使用し得るよう検討する必要がある。なお、URTRAN の開発および数値計算は名古屋大学大型計算機センターの FACOM M-200 システムおよび豊田高専学内共同利用データステーションの FACOM 230-25 を利用した。

最後に、本研究を遂行するにあたって、ご指導、ご援助をいただいた、名古屋大学工学部、河上省吾教授に厚くお礼を申し上げる。さらに論文集編集委員会第4部門小委員会の多数の方々から有益なる助言をいただいた。深く謝意を表する。

参考文献

- 1) Gerlough, D.L. and M.J. Huber : Traffic Flow Theory, T.R.B. special report 165, pp. 175~176, 1975.
- 2) Webster, E.V. : Traffic Setting, Road Research Technical Paper, No. 39, 1958.
- 3) Ross, P.R. and D. Gibson : Review of Road Traffic Network Simulation Models, Transp. Res. Rec. 644, pp. 36~41, 1977.
- 4) Robertson, D.T. and P. Gower : User Guide to TRANNSYT version 6, TRRL. Supplementary Report 255, 1977.
- 5) 池之上慶一郎・斎藤 威・花堂紘之：街路交通のシミュレーション・モデル、科警研報告交通編 16, pp. 1~16, 1975.
- 6) Muzyka, A. : Urban Freeway Traffic Control, IEEE Conference on Decision and Control. New Orleans, 1972.
- 7) Automobile Traffic Simulator Manual.
- 8) Robertson, D.I. : Transyt : A Traffic Network Study Tool, RRL. Report, LR 253, 1969.
- 9) Lieberman, E.B. et al. : Logical Design and Demonstration of UTCS-1 Network Simulation Model, 51'st Annual Meeting, H.R.B. 1972.
- 10) Gerlough, D.L. and F.A. Wagner : Simulation of the Network, Conference on Traffic Surveillance, Simulation and Control, pp. 152~165, Washington, D.C., 1964.
- 11) Blum, A.M. : A General Purpose Digital Traffic Simulation, IBM. Advanced Systems Development Division Yorktown Heights New York, Simulation 14 [1], pp. 9~25, 1970.
- 12) Traffic Control Systems Handbook, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 1976.
- 13) 栗本 譲・荻野 弘：街路交通流のトライックシミュレーションモデル、未発表、昭和 48 年 10 月。
- 14) 栗本 譲・荻野 弘：変型交差点のシミュレーションモデルについて、土木学会中部支部昭和 48 年度研究発表会講演概要集、pp. 183~184、昭和 49 年 2 月。
- 15) 栗本 譲・荻野 弘：街路網交通処理に関するシミュレーションモデルについて、土木学会第 29 回年次学術講演会講演概要集、pp. 85~86、昭和 49 年 10 月。
- 16) 猪瀬 博・浜田 喬：道路交通管制、産業図書、p. 170, 昭和 47 年 1 月。
- 17) 池之上慶一郎・斎藤 威：シミュレーションのための信号交差点における転向車両の横断歩行者による停止確率の算出法、科警研研究所報告 13 卷 1 号、交通編(15 号), pp. 12~23, 昭和 47 年 3 月。
- 18) 自工会、交通対策委員会：街路交通規制対策の検討手法に関する研究報告書、昭和 48 年。
- 19) 栗本 譲：高速道路出口部のシミュレーションモデル、土木学会第 31 回年次学術講演会講演概要集、pp. 266~267、昭和 51 年 10 月。

(1980.8.9・受付)