

## 交通流シミュレーション・システム TRN\*SIM II

TRN\*SIM II, the Simulation System for Car Traffic Flow

高羽禎雄\*・浜田 喬\*・谷口忠勝\*・兼子 隆\*・藤田一彦\*

Sadao TAKABA, Takashi HAMADA, Tadakatsu TANIGUCHI, Takashi KANEKO and Kazuhiko FUJITA

## 1. はじめに

道路交通の計算機シミュレーションは、1950年代の半ばから数多くの実例が知られており、個々の車両のふるまいを忠実に記述して局所的な交通現象を解析することにより道路施設の設計に反映させるものから、広範囲の道路網における交通を定常的な流れとしてとらえ、交通制御におけるパラメータの最適化に役立てるものまで、目的に応じてさまざまな手法が用いられてきた<sup>1)</sup>。

しかし、現在の都市内道路交通が直面している諸問題の解決策、とくに種々の新しい交通制御方策の検討のために、シミュレーションの手法を活用しようとするとき、従来の方法には多くの難点が見出される。たとえば、巨視的な手法では、流れの定常性や現象の周期性などを仮定して単純化をはかったものが多く、広範囲な制御手法に対する検討の手段としては不十分である一方、微視的な手法では、シミュレータの規模の制約から相互に有機的な連関をもつ道路網の各部分を分割して解析せざるを得なくなったり、シミュレーション時間の増大が実用的な範囲を越えたりする場合が多い。

すでに述べた<sup>2)</sup>ように、我々は広域的な流入規制、迂回規制や交通公害軽減の方策、地震、火災など非常時における交通渋滞の対応策などをも含めた新しい交通制御方策の研究に役立たせるための実用的なシミュレーション・システムとして、ハイブリッド・シミュレーションの手法<sup>3)</sup>を用い、専用の演算装置の高速度と汎用電子計算機の柔軟性を併せもったシステムの開発を意図し、この構想に基いてシミュレータの設計・試作をすすめてきた。

このシステムは、すでに我々が開発・使用しているシステム<sup>4)</sup>にない、Traffic Network Simulatorの頭文字をとってTRN\*SIM IIと名付けられており、上に述べたような交通流シミュレーションの手法上の制約を打開するために、設計上の配慮とくふうがなされた。ここでは、システムの概要とシミュレーションの手法について述べ、本システムの特徴をあきらかにする。

## 2. システムの概要

開発にあたっては、システムがもつべき機能として、つぎの諸条件を考慮した。

- a 道路網規模としては、現在の広域信号制御システムにおけるサブエリアなどを考慮するとき、数十個の信号機制御交差点をふくむ複数車線の道路を対象となしうること
- b 微視的モデルにより、個々の車両を取扱うことが望ましく、その精密さは個々の車両の運動を正確に記述できる程度のものでなくともよいが、個々の車両が目的地情報に従って、他の車両や歩行者の干渉の下で、信号機による制御を受けて走行する結果、道路網にどのような待行列の消長があり、渋滞の発生、波及の様相がどうなるかを解析しうるのであること
- c 流入交通量の時間的な変動や、交通制御上のパラメータの変更などに対する交通状態の過渡的推移など、非定常的な現象を表現しうること
- d 個々の車両の微視的なふるまいや、さらに、これらに起因する車両密度、速度、交通容量などの巨視的交通諸量とその動的変動の様相、総待合せ時間、走行時間などの評価量などについて、実測値との照合が可能な形で解析結果が得られること
- e シミュレーション時間が実時間よりもひとけた以上小さく、各種の交通制御方策のアルゴリズムの検討に対して実用上差支えない程度であること
- f 利用者の目的に応じてモデルの設定、シミュレーションの実行、データの収集等に柔軟性の許されるシステムである一方、利用者が複雑なシミュレーション・プログラムをその都度作成することなく、用意されたサブルーチンを適当に利用し、あるいは既存のプログラムのパラメータ、データを適当に設定することによってシミュレーションが実行できること

このような諸条件を満足させるために、本システムではつぎのような方法をとった。

## (1) システム構成

図1はTRN\*SIM IIのシステム構成を示す。ここでは車両走行に関するデジタル演算を行なう演算装置、車両データを記憶するデータメモリ(ここではMOS LSIメモリLMおよびコアメモリCM)を置き、微視的なシミュレーションを実行させる。この演算は、自由

\* 東京大学生産技術研究所 第3部

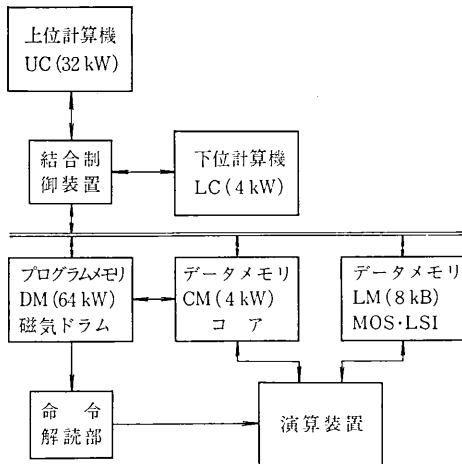


図1 TRN\*SIM II のシステム構成

度を高めるためプログラム制御として、そのためのプログラム・メモリ（ここでは磁気ドラム DM）および命令解読部を置いて、20 msec を基本周期とし、1 ステップ当り約  $0.6 \mu\text{sec}$  で高速度に演算を行なう。一方、制御とデータ処理を行なう汎用電子計算機を上下位 2 層に置き、シミュレーションに柔軟性を与える。また、図 1 の各部間でのデータ転送の制御は下位計算機 LC が行なうが、上位計算機 UC と CM, UC と LM, CM と DM などの間でのバイパス転送も可能とすることによって、システムの能率を高めている。

(2) シミュレーションの形式

シミュレーションの形式としては、このようなシステムの特徴をいかすために、一定長の道路区間にメモリ中の 1 語を割当てる、いわゆる物理モデルを用い、実時間の基本単位ごとに車両データ、信号機パラメータ、干渉パラメータの更新とデータ収集を行なう、いわゆる周期走査方式をとる。ここでは、距離単位は停止時の車頭間隔を考慮して 5 m、時間単位は信号機現示時間の刻み、車両走行時の時間遅れを考慮して 1 sec、1 車両当りのデータは 1 語 8 ビットとした。この値はシミュレータの所要記憶容量および演算速度を配慮したものであって、微視的モデルとしてはかなり粗い値であるが、本システムの目的にそって、巨視的レベルでの実現象との対応づけが可能な範囲に選ばれたものである。

(3) 車両データの構成

車両データの構成を図 2 に示す。ここでは、シミュレーションの目的に応じて CF モード（追従走行特性に重点を置いたモード）、OD モード（目的地情報に基く処理に重点を置いたモード）の二つのモードを使い分けるものとし、データの効率的な利用をはかる。同図で存在指標はそれぞれの道路区間における車両（車頭位置）の存在を  $B_0=1$  または 0 によって示し、車種指標は大型車であるか否かを  $B_1=1$ 、または 0 によって示す。OD 指標は目的地または目的方向、速度指標は車両の現在の速

$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

存在 車種  
指標 指標      OD 指標      速度指標

1) CF モードの場合

$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

存在 車種  
指標 指標      OD 指標

2) OD モードの場合

図 2 車両データの構成

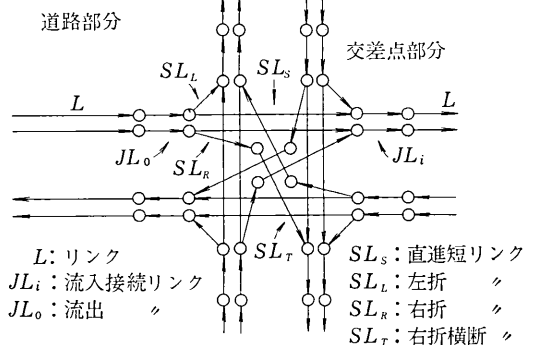


図 3 道路網の表現

度を与えるものとする。

(4) 道路網の表現

道路網は、図 3 に示すように、車線ごとの径路をあらわすリンクの集合によって表現される。一般には車線数は片側 1 ないし 4 とする。演算の都合上、道路網中の道路部分はリンク  $L$  によって、交差点部分は短リンク  $SL$  によってあらわされる。また、両者間でのデータの受渡しを行なう必要上、接続リンク  $JL$  が設けられる。

同一車線上での車両走行の演算は DRIVE 演算と名付けられ、図 3 の道路網の全部分に適用される。車線変更の演算は CHANGE 演算と名付けられ、リンクすなわち道路部分のみに適用される。交差点部分での 2 次元的な車両の動きは実際にはきわめて複雑となるが、ここでは短リンク相互間で干渉条件を定め、車両の走行を制御する方法をとることによって近似する。

(5) シミュレーション機能の分担

図 4 は本システムにおけるシミュレーション・プログラムおよびデータの収容分担を示す。

リンクの車両データは MOS-LSI メモリに、短リンクおよび接続リンクの車両データおよび収集データはコアメモリに収容される。

道路部分における DRIVE 演算、CHANGE 演算のプログラムはそれぞれ DRIVE ルーチン、CHANGE ルーチンと呼ばれ、交差点部分における DRIVE 演算、干渉条件設定その他のプログラムを複合したものは INTSEC ルーチンと呼ばれている。磁気ドラム上の第 1 チャネルに DRIVE、INTSEC 両ルーチンが、また第 2

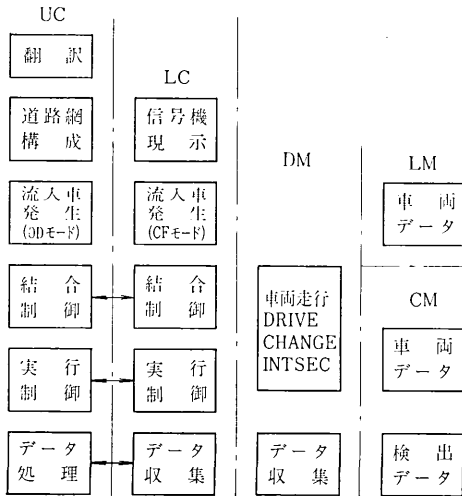


図4 シミュレーション・プログラムおよびデータの収容分担

チャンネルに CHANGE ルーチンが収容される。データ収集のプログラムはこれらのルーチンの間に挿入された形をとっている。

上下位の計算機では先に述べたように制御とデータ処理を行なうほか、流入車両データ、信号機現示データの作成などシミュレータの演算機能の一部を分担し、さらに磁気ドラムプログラムを利用者が容易に作成しうような翻訳機能など、シミュレーションの準備段階に必要な機能を果している。

### 3. シミュレーションの手法

#### (1) 流入車両の発生

道路網の各流入入口においては、それぞれの車線ごとに流入車両データが作成される。車両データのうち、存在指標は、流入ひん度が最大 3,600 台/時で、車頭時間間隔が指数分布または Erlang 分布をとるか、あるいは一定値となるように定められる。存在指標が1となったものに対しては、車種指標、OD 指標がランダムに指定され、適当な速度指標が付加される。

流入車両発生は、ソフトウェアで行なわれるので、モデルの設定はかなり自由度が大である。前者に対してはサブルーチン・GNTV が作成され、流入口数64, 流入ひん度 1,800 台/時、車頭時間間隔が指数分布の場合、実時間 1 sec 分のデータの作成時間は約 15 msec (乱数発生はハードウェアによる) となっている。

また、場合により、交通制御の野外実験システムで収集した実測結果に基づいて流入車両データを作成することも計画されている。

#### (2) 車両の走行

同一車線上における車両の走行は、追従理論に基く微視的走行モデルに基づいて行なわれる。このようなモデルとしては、Herman, Gaziz らの加速度指定形モデルがよく知られているが、ここでは、数値の粗さに基く誤差、

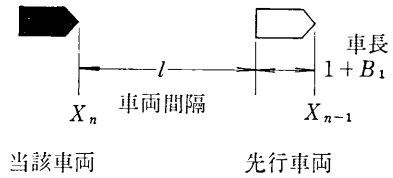
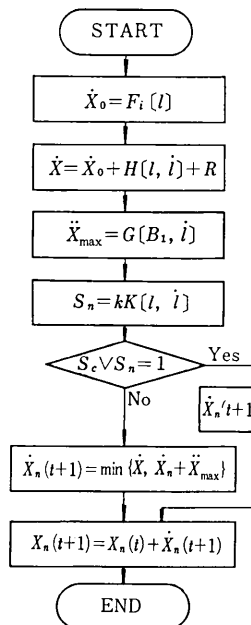


図5 同一車線走行の条件

追従走行とならない場合についての取扱いの容易さを考慮して、上記モデルの積分形である Newell の速度指定形モデルを修正したものを用いている。このモデルでは、図5に示すような当該車両と先行車両の車両間隔  $l$  に基づいて当該車両の希望速度  $\dot{X}_0$  をつぎのごとく定める。

$$\dot{X}_0(t+1) = F(l) = F(X_{n-1} - X_n - 1 - B_1) \quad (1)$$

さらに、両車両の速度差  $\dot{l} = \dot{X}_{n-1} - \dot{X}_n$  をも入力として、図6に示すような手順によって当該車両の位置が算



- $F_i$ : 希望速度関数 ( $1 \leq i \leq 8$ )
- $G$ : 加速度制限関数
- $H$ : 希望速度修正関数
- $K$ : 黄信号判定関数
- $R$ : 2値乱数
- $k$ : 黄信号制御変数
- $S_c$ : 発進制御変数

図6 DRIVE 演算のフロー

出される。ここで、加速度の制限は発進加速時の走行状態、希望速度の修正は定常時および減速停止時の走行状態を実際に近い形とするためにとり入れられたもの、黄信号の判定は信号機現示が青から赤に変わる際の通過車両と停止車両の切りわけのために用いられるものである。希望速度関数  $F$  は Greenberg 等による巨視的な密度-速度曲線をもとにして定め、また加速度制限関数  $G$  は発進交通量の最大値と車群の発進遅れ時間、希望速度修正関数  $H$  は走行時の車群の分散と停止遅れ時間をもとに定めることにより、実際の道路に

おける観測値との対応をはかりうるものがあきらかになっている。DRIVE 演算を実行する回路では、関数  $F, G, H, K$  をテーブルとして書換え可能な IC メモリに用意する方法をとり、図6に示した演算を約  $1.2 \mu s$  の短時間に実行する。このうち、希望速度関数  $F$  は同時に8種類のテーブルから選択できるようになっており、また発進制御変数  $S_c$  は発進交通量に応じて1をとる確率を変えうなど、道路の性質や交差点付近のボトルネックの特性などを細か

く表現しよう配慮されている。

DRIVE 演算を INTSEC ルーチンで交差点内径路に対して適用する場合には、短リンク間の車両データの“乗り換え”がしばしば行なわれることになる。これらを

- a 合流演算  $SL_S, SL_L, SL_T \rightarrow JL_i$
- b 右折演算  $SL_R \rightarrow SL_T$
- c 分流演算  $JL_O \rightarrow SL_S, SL_L, SL_R$

の三つに分類し、a, b, c の順序で下流側から処理することにより演算の連続性を保つくふうがなされている。また、道路部分と交差点部分を接続するために

- d リンク流入演算  $JL_i \rightarrow L$
- e リンク流出演算  $L \rightarrow JL_O$

の二つを、d は a に先立って、また e は c の後に行なっている。

### (3) 車線の変更

車線変更の処理 (CHANGE 演算) に当っては

- a 右左折のための車線変更 (交差点近傍)
- b 追抜きのための車線変更 (交差点近傍以外)

の二つの場合を考慮する。この演算は図7に示すような相対的位置関係にある車両について、図8に示すような

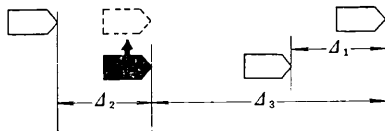


図7 車線変更の条件

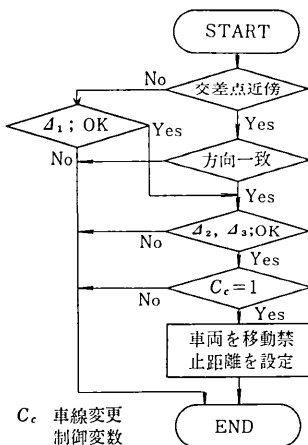


図8 CHANGE 検算のフロー

で、このモデルではこのようになりかなり簡便化されたモデルにとどめ、車線変更制御変数  $C_c$  が 1 となる確率および車線変更禁止距離 (車線変更が引続いて起るために生ずるハンティングを防ぐためのもの) を調整することにより、実現象との対応をはかる。

### (4) 交差点における取り扱い

交差点においては、流入車両の進行方向が決定されるとともに、信号機現示、対向車両、歩行者の存在によ

て車両の走行に干渉をうける。進行方向は、分流演算に際して方向指標テーブルから車両のもつ OD 指標に対応した右左折分配率を読み出し、この比率に従って定められ、その結果に基づいてリンクの乗り換えが行なわれる。信号機現示は下位計算機のサブルーチン・TMR によって算出され、16 ビットのパラメータに変換されて演算装置に転送される。64 交差点のそれぞれに 12 個の現示を許容したときでも、実時間 1 sec 分のデータ作成時間は約 2.5 msec ですむ。対向車両による干渉は、INTSEC ルーチンの中で対象となる短リンクまたはその指定された部分に車両が存在するか否かを検出することによって求められる。右折車と対向方向の直進車との交差、対向方向の左折車との合流、渋滞の際に生ずる交差方向の直進車同志の閉塞などが取り上げられ、車線ごとに処理される。これらの干渉パラメータはレジスタに蓄積され、前述の DRIVE 演算を適用する際に、乗り換え先リンクの末尾に先行車両を等価的に置いた形に演算を修正することにより、車両を停止させる。

### (5) データの収集

シミュレーションの結果得られるデータとしては、一定地点で観測されるデータとして、通過車両総台数  $Y_T$ 、同平均速度  $V_T$ 、オキュパンス  $O_{cc}$ 、一定時刻にリンク中の指定された区間で観測されるデータとして存在車両総台数  $Y_X$ 、同平均速度  $V_X$ 、大型車両総台数  $Y_{LSX}$ 、一定限度を越える加減速車両の総台数  $A_X^+, A_X^-$ 、待行列長  $W$ 、渋滞の有無  $W_i$  などを、磁気ドラムのプログラムによってハードウェアで収集することができる。その他のデータについても、道路網上の車両データの全部または一部を上位計算機に転送し、解析する方法をとれば、収集が可能である。

## 4. む す び

本システムは最大交差点数 64、最大車線数 8、道路総延長 50km (1 車線換算) の道路網規模の範囲内で、実時間に対し  $3 \times 10^{-3}$  倍の時間で徹底的シミュレーションが可能なシステムである。おわりに、ご指導、ご教示頂いた森脇名誉教授、越助教授、シミュレータの設計・製作を担当された住友電気工業 (株) 第一研究部倉内憲孝氏、今井元氏、平本順一氏ほか関係各位に謝意を表する。  
(1972 年 12 月 9 日受理)

### 参 考 文 献

- 1) たとえば猪瀬博, 浜田喬, 道路交通管制, 産業図書(昭46)
- 2) 越正毅, 高羽慎雄, 大野進一, 河村達雄, 都市交通公害対策の調査研究, 生産研究, 24, 3, p. 86 (昭 47.3)
- 3) 森脇義雄, 高羽慎雄, 谷 忠勝: 道路網模擬装置と電子計算機による交通流シミュレーションの方式, 電子通信学会電子計算機研究会資料, EC 70-36 (昭 46.1)
- 4) 高羽慎雄: 道路交通のシミュレーション, 昭和 47 年度電気四学会連合大会論文集, 268 (昭 47.11)
- 5) 高羽慎雄: 新設の交通流シミュレータとその臨時事業における課題, 臨時事業委員会研究報告, 2-2-72 (昭 47.1)