

## GA を用いた経路最適化による 広域交通流シミュレータ NETSTREAM での交通状況再現手法

馬場 美也子      北岡 広宣      棚橋 巖  
(株)豊田中央研究所

我々は以前に、渋滞や環境を改善するための交通対策やITS技術の効果評価に役立つ交通流シミュレータ NETSTREAM (NETwork Simulator for TRaffic Efficiency And Mobility) を開発した。本報告では評価の際に必要な、NETSTREAM 上での対象地域における施策実施前の交通状況再現手法について述べる。我々は、シミュレータの入力である経路データを GA (遺伝的アルゴリズム) を用いてあらかじめ最適化することにより、精度良く交通状況再現を行う手法を考案した。さらに本手法および従来手法を愛知県豊田市に適用した場合の NETSTREAM の出力結果と実測値の比較を行って本手法の有効性を確認した。

### Reproduction of Traffic Conditions on a Traffic Simulator NETSTREAM Based on Optimization of Drivers' Routes Using Genetic Algorithm

Miyako Baba   Hironobu Kitaoka   Iwao Tanahashi  
Toyota Central R&D Labs., Inc.

A traffic simulator NETSTREAM (NETwork Simulator for TRaffic Efficiency And Mobility) has been developed to estimate the effects of traffic measures and Intelligent Transport Systems that ease traffic congestion and environmental pollution. Traffic conditions of target area before application of systems have to be reproduced on NETSTREAM at the outset of the estimation. In this paper, we propose a method to reproduce traffic conditions accurately. In this method, drivers' routes are optimized by the use of genetic algorithm. As the result of the application to the simulation of Toyota city, availability of the method was confirmed.

#### 1. はじめに

交通渋滞低減、環境改善のための交通対策や様々な ITS 技術を導入した際の効果予測など、実際の道路での評価が困難な場合に交通流シミュレータを用いた評価が有効である。我々はこれまでに、広域交通流を対象とする様々な施策評価が可能な交通流シミュレータ NETSTREAM (NETwork Simulator for TRaffic Efficiency And Mobility) <sup>1)</sup> を開発した。NETSTREAM を用いて評価を行う際、対象とする地域における施策実施前の交通状況

を精度良く再現する必要がある。交通状況再現を行うためには実測調査を行う必要があるが、対象地域が広域であるときはすべての道路を調査することは困難である。そこで、従来では広域を対象とした交通状況再現にはアンケート調査等で求めた OD 交通量を、対象とする道路ネットワーク上に均衡配分を行うという交通均衡的手法が多く用いられてきた <sup>2)</sup>。しかしながら、現実の交通状況は必ずしも均衡状態であるとは言えないため、再現された交通状況が実際の状況と大きく異なり高精度な再現を行

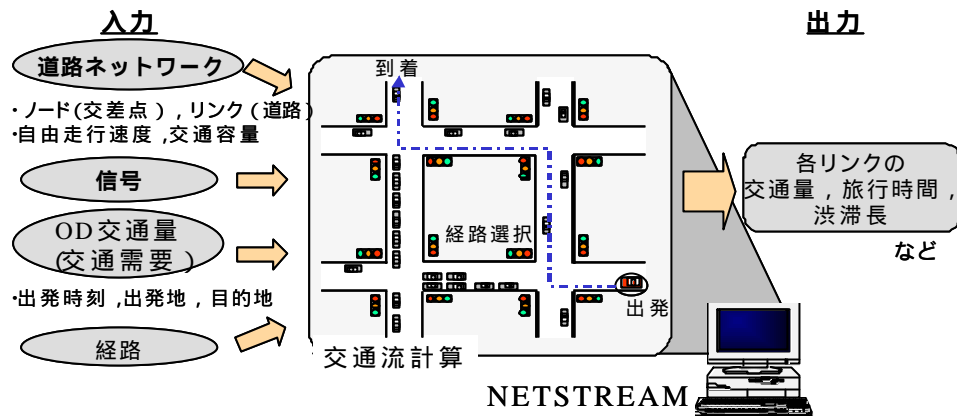


図 1 NETSTREAM の入出力

うことが難しい。

一方、観測交通量と一致するように OD 交通量を推定<sup>3),4)</sup>し、シミュレータ上で高精度な交通状況再現を行う方法もある。その場合、交通均衡的手法などを用いて経路選択率を仮定する必要があるが、ドライバの経路選択行動を明確に示す手法は確立されていないため、推定された OD 交通量が必ずしも実際の状況と一致せず、現況再現は良好であっても施策実施後の予測に悪影響を及ぼす可能性がある。従って、OD 交通量はアンケート調査等に基づくものを用いることが望ましい。

実際の交通状況を考えてみると、車両 1 台 1 台が経路を決定し走行した結果として、全体の交通状況が形成されている。そこで我々は、各車両が選択した経路の組み合わせを求めることにより、交通流シミュレータ上で高精度な交通状況再現を行う手法を提案する。本手法ではアンケート調査から作成した OD 交通量データを用い、各車両が選択し得る経路の中から実測交通量との誤差が最小となる経路の組み合わせを GA (遺伝的アルゴリズム)<sup>5)</sup>を用いて求めることにより交通状況再現を行う。本手法は必ずしもネットワーク全体の交通量等の実測値を必要とせず、一部の道路の実測値を用いても計算可能であるため、広域にも容易に適用できる。車両数が増えるにつれ経路の組み合わ

せ数は膨大になるが、GA を用いることにより車両数の多い広域でも効率よく高速に計算することができる。さらに実際の交通状況を最も精度よく再現するように各車両の選択経路の組み合わせを求めることにより、交通均衡的手法などでは表されないような交通状況をも再現することができる。以下にその手法の内容と実際に愛知県豊田市に適用した時の再現性の検証について述べる。

## 2. 交通流シミュレータ NETSTREAM

はじめに我々が開発した交通流シミュレータ NETSTREAM の概要を説明する。NETSTREAM では図 1 に示すように、ノード・リンクなどを表す道路ネットワークデータ、信号データ、出発時刻・出発地・目的地を表す OD (Origin-Destination) 交通量データなどを入力とする。そして、各道路を走行する車両の位置を更新することにより、ネットワーク上の交通流をシミュレートし、リンクの交通量、旅行時間などを出力する。車両移動モデルは、個々の車両が前車との車頭時間、車間距離などから自車の速度を決定する追従モデルとなっている。スキャンサイクルは 1 秒として使用したが、さらに短く設定することも可能である。NETSTREAM はグラフィカルなユーザインタフェースを備えており、走行中の車両情報や

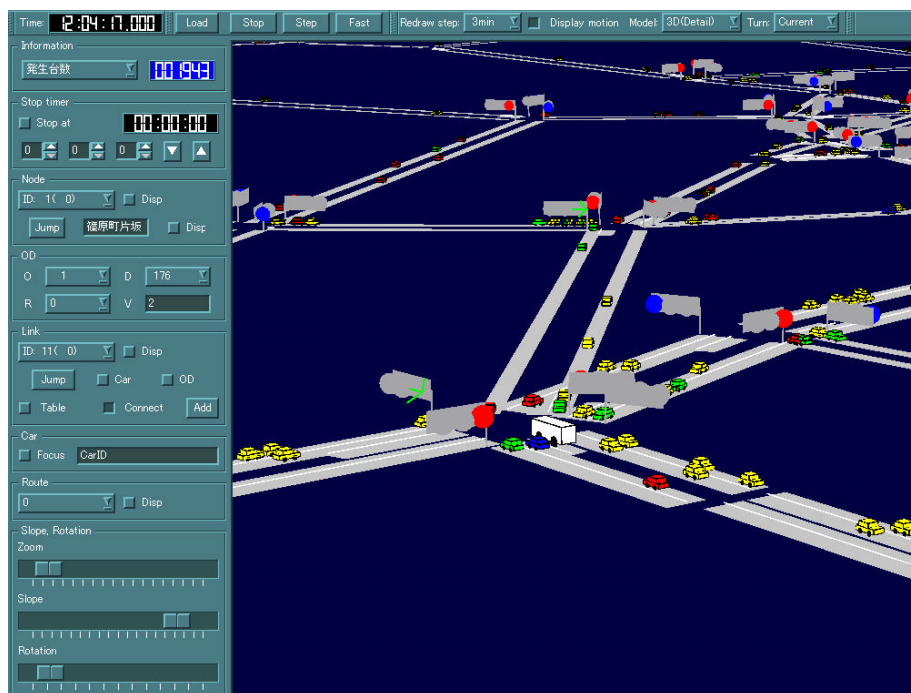


図 2 NETSTREAM 実行画面 (3D&バードビュー表示時)

リンク通過台数などの情報を容易に確認することができる。また、交通流の様子を表示範囲や角度の変更、あるいは 3D、2D 切り替えを行って表示することができる。実行画面の一例を図 2 に示す。NETSTREAM は C++言語を用いて、Windows、UNIX、Linux を OS とするコンピュータ上で動作するよう構築されている。

### 3. 交通状況再現手法

NETSTREAM では、前章で述べたように道路ネットワークや OD 交通量など複数のデータを入力として使用している。図 3 に示すように、我々はそのうちの経路データをあらかじめ最適化して最適経路データを作成し、これを入力として用いることにより NETSTREAM 上で交通状況を精度良く再現する手法を考案した。以下に経路の最適化について説明する。

最適化計算では図 3 に示すように、道路ネットワークデータ、信号データ、OD 交通量デ

ータのほか、各車両に対して選択する可能性のある複数の経路すなわち候補経路と再現したい交通状況におけるリンク交通量などの実測値を入力とし、以下のような計算を行う。候補経路の中から各車両が選択する経路の組み合わせ別に交通量配分を行い、実測値との誤差を計算する。そのうち最も誤差の少ない経路の組み合わせを求め、最適経路データとする。経路の最適化は、各車両の候補経路数を  $M$ 、車両数を  $N$  とすると、 $M^N$  通りの経路の組み合わせから最適な組み合わせを求め、広域に適用した場合など組み合わせ数が多くなると計算時間が膨大になり実用的ではない。そこで我々は、膨大な組み合わせの中から近似解を高速に求めることができる GA を用いて経路の最適化計算を行った。次に GA の適用方法について説明する。

GA の詳細についてはここでは省略し、今回の適用方法に沿って簡単に説明する。GA で用いる遺伝子を今回次のように定義した。遺伝子

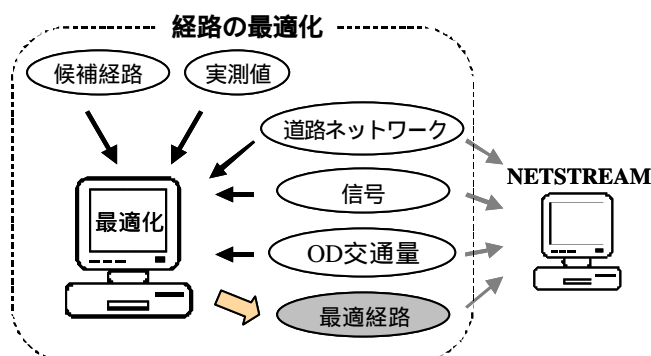


図 3 交通状況再現の流れ

の長さは車両数であり、各要素は各車両が選択した候補経路の番号を示す。例えば $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ は、車両数  $n$ 、1 番目の車両は候補経路  $x_1$ 、2 番目の車両は候補経路  $x_2$ 、 $\dots$ 、 $n$  番目の車両は候補経路  $x_n$  を選択した場合の遺伝子を表す。GA の計算手順を図 4 に示す。初めにあらかじめ設定した数の遺伝子をランダムに作成する。これを初期人口の生成と言う。次に以下に示す手順で第 1 世代の計算を行う。まず各遺伝子に示される番号の経路に対し、All or Nothing 法による交通量配分を行い、配分値と実測値の誤差を示す目的関数を算出する。目的関数の計算には、実測値としてリンク交通量のほか旅行時間、渋滞度などを用いることができる。すべての遺伝子について目的関数を計算した後、目的関数値の小さい順に並べ替える。ここで第 2 世代以降の計算の場合、前世代以前で計算された目的関数最小値と現世代の目的関数最小値を比較し、目的関数の減少が見られなければ計算終了とする。また、あらかじめ設定した世代数の計算が終了した場合も計算終了とする。そうでない場合、GA の手法に従って再生産、交叉、突然変異を行い、目的関数計算の過程に戻って同様に次世代の計算を行う。これを先に挙げた終了条件が満たされるまで繰り返すことにより、目的関数が最小となる経路

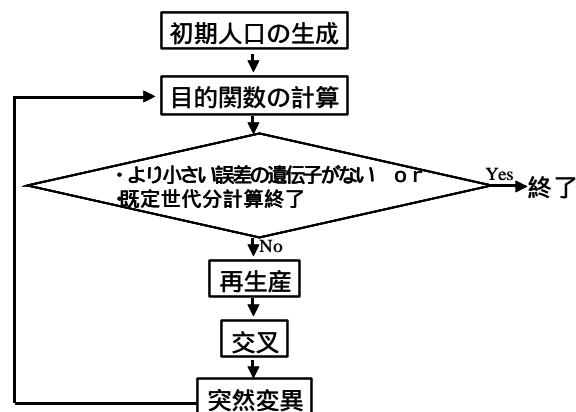


図 4 GA (遺伝的アルゴリズム) の計算手順

の組み合わせを示す遺伝子を求める。

再生産、交叉、突然変異については種々の方法が考案されているが、今回は次のように行うこととした。再生産は、人口の中の遺伝子のうち、目的関数の大きい方からあらかじめ定めた割合の遺伝子を消去し、消去した数の遺伝子を新たにランダムに作成する。また交叉は、あらかじめ定めた交叉率でランダムに 2 つの遺伝子を組み合わせ、ランダムな位置で各遺伝子の要素を交互に入れ替えて新しい 2 つの遺伝子を作成する。突然変異は、あらかじめ定めた突然変異率で遺伝子を抽出し、その遺伝子のランダムな位置の要素を異なる要素に入れ替えて新しい遺伝子を作成する。これらの操作から、新しい遺伝子の生成により解の探索範囲を広げ、突然変異を起こすことにより局所解に陥るのを防ぎつつ、優秀な遺伝子すなわち目的関数を小さくする遺伝子を次世代に残しながら効率よく最適解を求めることができる。次にこの手法を豊田市に適用した時の再現性の検証について示す。

#### 4. 豊田市への適用と検証

提案した交通状況再現手法を愛知県豊田市に適用した。対象時間は休日の 12:00 ~ 19:00 とした。シミュレーションおよび経路の

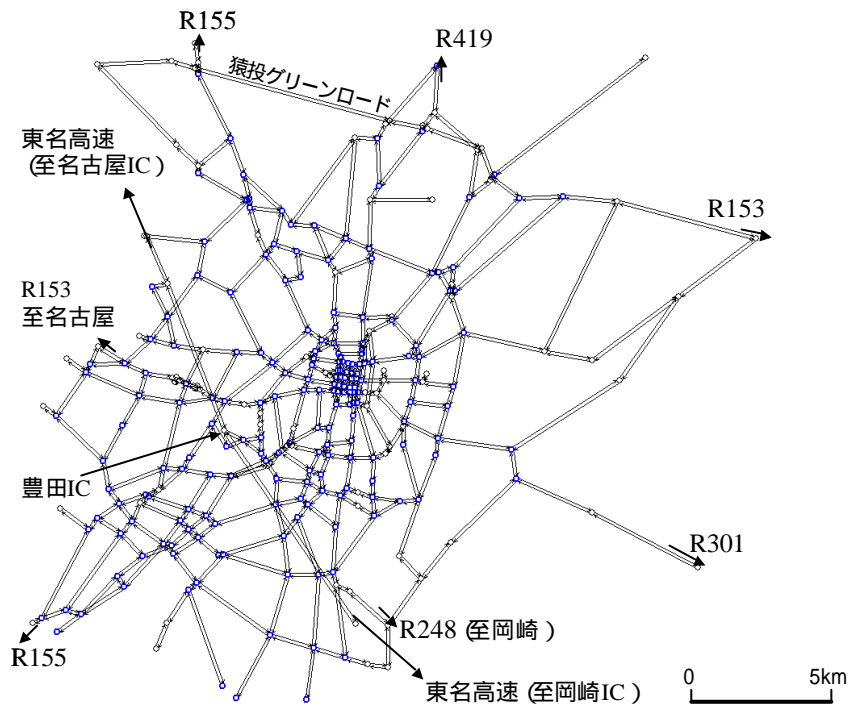


図 5 対象とした道路ネットワーク

最適化計算の入力データについて説明する。使用した道路ネットワークデータを図 5 に示す。ノード数は 296、リンク数は 900 である。また、信号データは 2000 年 10 月 8 日(日)のパターンおよびオフセットデータを設定した。信号設置交差点数は 196 である。OD 交通量データは、平成 6 年度道路交通センサスの休日カー OD 等のデータを基に、別途推計された 30 分単位での時間帯別 OD 交通量を用いた。これは対象域内 50、域外 20 の計 70 ゾーン間の OD であるが、シミュレーションおよび経路の最適化に適用するためにはノード間の OD 交通量データが必要であるため、各ゾーン内の全ノードに交通量を等分割するという方法で時間帯別ノード間 OD 交通量データを作成した。

これらのデータを用いて、前章で示した方法により経路の最適化を行った。ただし、最適経路は各車両ごとに決定するのが望ましいが、車両数が多い場合には数台ごとにまとめて決定する方が計算効率が良い。そこで今回は各

OD の車両数が数台であることを前提に、OD ごとにまとめて最適経路データを計算した。最適化計算はシミュレーション対象となる 12:00~19:00 で OD 交通量と同じ 30 分単位で行った。今回用いた GA のパラメータは人口 20、世代数 50000、再生産する割合 0.2、交叉率 0.8、突然変異率 0.3 とした。また、各遺伝子の目的関数は式(1)で算出した。ここで用いた実測交通量データは、1999 年 11 月 14 日(日)の豊田市内 59 箇所の感知器データである。

$$\sum_{l \in L_s} (q_l - q'_l)^2 + \sum_{l \notin L_s} o_l^2 \quad \dots (1)$$

$q_l$  : リンク  $l$  の実測交通量

$q'_l$  : リンク  $l$  の配分交通量

$L_s$  : 感知器設置リンクの集合

$o_l$  : リンク容量超過交通量

$$\begin{cases} c_l < q'_l \text{ のとき} & q'_l - c_l \\ \text{その他} & 0 \end{cases}$$

$c_l$  : リンク容量

$$c_l = h_l * s_l * t$$

$h_l$  : リンクの飽和交通流率 (台 / 青 1 時間)

$s_l$  : 信号スプリット (= リンク  $l$  に対する青時間 / サイクル長)

$t$  : 時間係数 (= OD の時間幅 / 1 時間)

次に、最適化計算に用いた候補経路の選定方法について説明する。今回、候補経路数は最大 3 本とした。候補経路 0、候補経路 1 は AHP (階層分析法) を用いてドライバの経路選択特性を考慮した経路探索<sup>6)</sup>により求めた。これは、アンケート調査より分析して求めた、距離、時間、車線数、右左折回数を考慮した経路探索となっている。候補経路 0 は混雑していない場合を想定し、この経路探索の中の時間を、リンクの設定値である距離と走行速度から算出して用いた。また、候補経路 1 は混雑時を想定し、All or Nothing 法による交通量配分を行ったときの交通量に対し、各リンクに設定されている走行速度、容量より求めた QV 式から算出した速度とリンク設定値の距離から算出した時間を用いた。候補経路 2 は、国道リンクに対して重み付けを行って経路探索を行い、国道を優先して通る経路を選定した。

以上より、交通状況を最も精度よく再現する時間帯別最適経路データを求め、NETSTREAM の入力データとして用いることにより交通状況再現シミュレーションを行った。本手法による再現性の検証を行うため、本手法を用いたシミュレーション結果、および従来手法を用いたシミュレーション結果と交通量、旅行時間の実測値の比較を行った。従来手法として式(2)に表す Dial の経路選択確率により走行経路を決定し、本手法と同一の道路ネットワーク、OD 交通量、候補経路データを用いてシミュレーションを行った。また実測値と

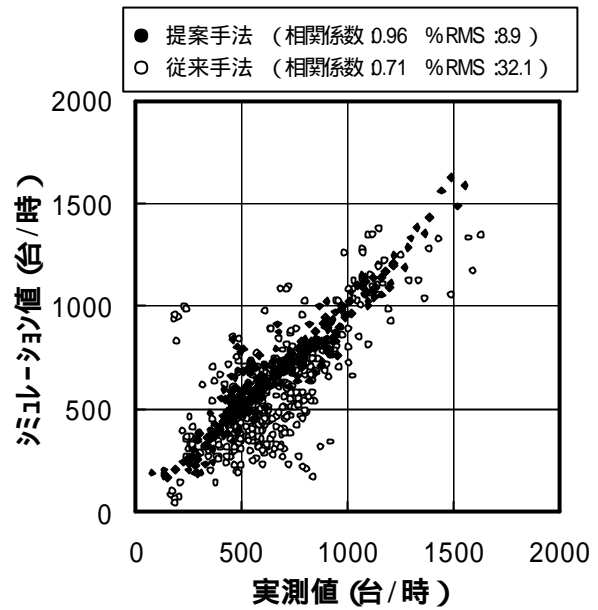


図 6 交通量の実測値とシミュレーション値の比較

して、交通量については経路の最適化計算時に用いた感知器交通量を、旅行時間については 1999 年 11 月 14 日 (日) に計測されたデータを用いて比較を行った。このデータは豊田市内の代表的な 20 ルートについて 15 分ごとに 1 台の車両が走行して計測した旅行時間データである。

$$P_k = \frac{\exp(-qt_k)}{\sum_{r \in R_{ij}} \exp(-qt_r)} \quad \dots (2)$$

$P_k$  :  $i, j$  間の候補経路のうち経路  $k$  を選択する確率

$R_{ij}$  :  $i, j$  間の候補経路の集合

$t_k$  : 経路  $k$  の所要時間

: パラメータ

感知器が設置されているリンクの 1 時間単位の交通量について実測値とシミュレーション値の比較を図 6 に示す。この図から提案手法を用いたシミュレーション結果は、従来手法よりも実測値と良く一致していることがわかる。

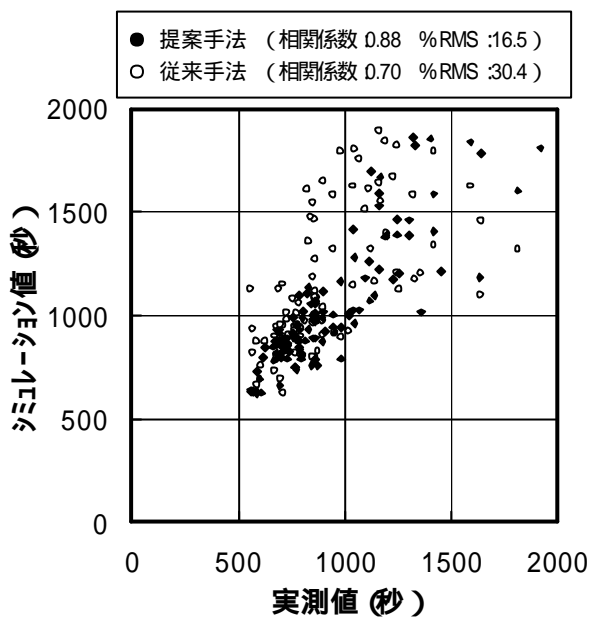


図 7 旅行時間の実測値とシミュレーション値の比較

また提案手法によるシミュレーション値は実測値との相関値が高く、%RMS 誤差がかなり小さいことから、提案手法は高い精度で交通量を再現していることがわかる。また、20 ルートの 1 時間平均の旅行時間について、実測値とシミュレーション値の比較を図 7 に示す。同様に旅行時間についても提案手法を用いた場合の方が実測値と良い相関を示しており、提案手法を用いることにより交通状況再現性の高いシミュレーションが可能であることがわかる。

## 5. まとめ

交通流シミュレータ NETSTREAM を用いて各種交通対策や ITS 技術の導入効果予測を行う際に必要となる、広域な道路ネットワークを対象とした交通状況再現手法を提案した。本手法は、GA を用いて各車両が選択する経路の組み合わせから最も実測値に適合するものを高速に求めることができる。これを NETSTREAM の入力データとして用いることにより高精度な交通状況再現を行うことができる。本手法を愛知県豊田市に適用した結果、

従来手法に比べて交通量、旅行時間を精度良く再現することが確認できた。今後は、本手法を適用して各種シミュレーション評価を行う。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、豊田工業高等専門学校荻野弘教授、国土交通省中部地方整備局、愛知県警察、豊田市、(財)豊田都市交通研究所、トヨタ自動車(株)で構成される豊田市交通シミュレーション研究会よりデータの提供や貴重な助言を頂いた。さらに、シミュレーション実施にあたり豊田中央研究所 ITS 技術企画 G 各位の多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

## <参考文献>

- 1) 平子, 馬場, 寺本: “交通情報システム評価用広域交通流シミュレータ”, 第 16 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.97-100, 1996.
- 2) 宮城, 浅井, 岡: “フラクタル制導入に伴う道路交通環境変化のネットワークシミュレーション分析”, 交通工学, Vol.31, No.1, pp.35-43, 1996.
- 3) 楊, 飯田, 佐佐木: “ネットワーク均衡に基づく OD マトリックス推計法と誤差限界”, 交通工学, Vol.27, No.2, pp.17-25, 1992.
- 4) 小根山, 桑原: “路側観測交通量からの時間変化する OD 交通量の推定”, 交通工学, Vol.32, No.2, pp.5-16, 1997.
- 5) 日本機械学会編: “工学問題を解決する適応化・知能化・最適化法”, 技報堂出版, 1996.
- 6) 桂川, 辻: “経路選択特性を取り入れた経路探索法”, 自動車技術会中部支部研究発表会前刷集, pp.96-101, 1994.