

ミクロシミュレーションシステムSMOOTHの開発について*

Development of Micro Simulation System “SMOOTH”*

ハツ元仁**・北澤俊彦***・三谷卓摩****・羽藤英二*****

By Hitoshi YATSUMOTO**・Toshihiko KITAZAWA***・Takuma MITANI****・Eiji HATO*****

1. はじめに

都市高速道路上の交通現象をモデル化する方法として、分割配分、均衡配分、マクロシミュレーションなどの様々なモデルが考えられてきた。阪神高速においてもH EROINEというマクロシミュレーションモデルを用いて、様々な分析を行ってきた。マクロシミュレーションモデルは、膨大な計算処理が必要とされる大規模ネットワークでのモデル化には適しているとされてきた。しかし、実際の高速道路では、車線運用やETCゲートの設定位置などによりの車両の挙動は大きく変化し、錯綜し干渉しあう車両挙動が交通容量に大きな影響を与える。このような個々の車両の挙動とインタラクションをモデル化しない限り、道路混雑の正確な再現は困難であるといえる。しかしながら、近年の計算機の処理速度に格段の進歩が見られ、大規模ネットワークを取り扱うことも可能となってきた。また、取り巻く環境の変化として、発展途上国などにおけるプローブシステムを前提にしたポータブルな交通管制システムのニーズや10月の公団民営化とともに、利用者への情報提供サービスのさらなる充実といったニーズなどもあり、個々の車両の挙動データを基本にした、計算時間の早いシミュレーションシステムの重要性が認識されてきている。

そこで、本研究では、ポータブルな交通管制システムを志向したミクロ交通シミュレーションシステムを開発し、演算処理時間の増加に対する計算時間評価と再現性評価を行った上で、ミクロシミュレーションモデルのフレーム評価を行う。

*キーワード：ミクロシミュレーション、システム開発、演算処理時間

**非会員，工修，阪神公団計画部（大阪市中央区久太郎町4-1-3，TEL06-6525-8121，hitoshi-yatsumoto@hepc.go.jp）

***正員，阪神公団計画部（大阪市中央区久太郎町4-1-3，TEL06-6525-8121，toshihiko-kitazawa@hepc.go.jp）

****学生員，工修，愛媛大学大学院理工学研究科（愛媛県松山市文京町3），TEL089-927-9843，mitani@eh.cee.ehime-u.ac.jp

*****正員，工博，愛媛大学大学院理工学研究科（愛媛県松山市文京町3），hato@eh.cee.ehime-u.ac.jp

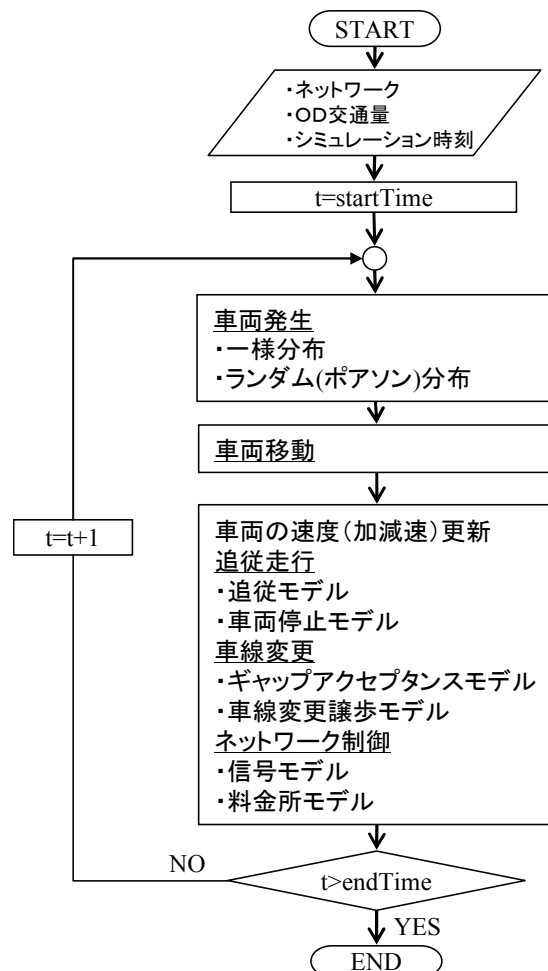


図-1 SMOOTHの実行フロー

2. ミクロ交通シミュレーションシステムの開発

(1) SMOOTHの概要

図-1 にミクロ交通シミュレーションシステム SMOOTH の実行フローを示す。SMOOTH の計算エンジンは、車両発生、追従走行、車線変更、ネットワーク制御の 4 つのモジュールで構成されている。これらの計算モジュールをスキャンインターバルごと各車両ごとに繰り返す離散型のシミュレーションモデルである。

道路ネットワークをリンクとノードから定義し、さらに各リンクをセグメントによって構成する。各セグメントはレーン数、速度、レーン接続条件といった属性値を持っている。ノードとリンクで現実的な JCT の車両

挙動を表現することは困難である。レーン間の車線変更の可否といった情報を詳細に定義することで、複雑な車線運用に対する車両の移動挙動を表現する。さらに検知器を任意の場所に設定することより、通過した車両の台数や速度をカウントすることも可能な構成とした。

車両移動において、各車両は属性別に設定されたパラメータを用いて、相互に干渉する車両との関係に基づいて速度を計算し、その速度を用いて移動する。同時に次の条件にあてはまる場合には車線変更を実施する。1) 次に進む方向のリンクに接続するレーンが限られている場合(右左折の場合など)、2) 下流側でレーンがなくなっている場合、3) 前方に速度の低い車両がいる等の理由で自車の速度が低く抑えられているが、車線変更によって、自車の希望速度に近づくことができる場合。以上の車線変更条件に当てはまる場合、隣接レーンのギャップから、車線変更の可否を判断して確率的に車線変更を実施させる。また、ネットワーク制御では料金所(レーン単位のETC 設置の有無)、信号の設置を行うことが可能である。次に、SMOOTH の特徴である車両挙動モデルの考え方を説明する。

(2) 追従モデル

自動車交通流を個々の車両の走行挙動の集積として取り扱う考え方は佐佐木らによって 1950 年代に示されている。道路を走行する車両は、前方走行車両特に直前の車両の挙動による影響を強く受ける。このため道路の延長方向に何台かの車両が列をなして走行している時、列の途中で生じた走行の乱れは後方車両に順に伝播していく。車両の追従挙動を微分方程式で表され、追従時での乱れの伝播の安定性解析がなされている。ある 2 台の車両の後方車($n+1$ 番目の車両)が、前方車(n 番目の車両)に対してとる関係は次式で示される。

$$x_n - x_{n+1} = L + S\dot{x}_{n+1} \quad (1)$$

x_n ; n 番目の車両の位置
 $\dot{x}_n$; n 番目の車両速度
 L ; 停止時の車頭距離
 S ; 比例定数

車頭距離は連続する 2 台の車両の前端間の距離を指す。式(1)は、後方車が前方車との間にとる車間距離が停止時の車間距離に速度に比例する距離を付け加えた値になることを意味している。

(3) 最適速度モデル(Optimal Velocity Model)

一方、SMOOTH では、車両の追従(自由)走行を OVM で表現する。通常の追従モデルに対する OVM の

特徴は、個々の車両の相互干渉を協同現象として捉えており、渋滞クラスタの移動速度や、臨界車両密度などをより柔軟に表現できる点にある。

まず、道路の延長方向に多数の車両が列をなして走行しており、追い越しが禁止されているものとする。このとき、前方車両が速度変化を起こしたなら運転者は安全を保つため自己の車両の速度を調節し、安全な車間距離を保持しようとする。このような運動を Bando et al(1994)は式(1)の両辺を時間微分した次の微分方程式で表現している。

$$\ddot{x}_{n+1}(t) = \lambda[\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad (2)$$

$\dot{x}_n(t)$; n 番目の車両速度
 $\ddot{x}_n(t)$; n 番目の車両の加速度
 λ ; 定数(= 1/S)

式(2)は、追従車両の加速度はその時の直前の車両と当該車両との速度差に比例していることを意味する。定数 λ は、正の値とし運転者の前者からの刺激に対する反応鋭敏性を示す。

1 本の道路を多数の車両が走る数値シミュレーションを考える場合、直線的な高速道路のような単純な道路においてさえ自然渋滞が発生しうることがよく知られている。各車の速度は、前方車両との車間距離が一定ならば決まった値をとるものとし、それを「最適速度」と定義する。現在の速度が最適速度より速ければブレーキをかけ逆に遅ければ加速する。

周期境界条件を課した OVM において、追従速度は前の車との間隔による関数として導入される。すべての車の大きさを 0 とし、ドライバーの反応速度が一様であるという場合について考える。ドライバーは前の車の情報から衝突しないように、そして法定速度を超えないように加減速するため、運動方程式は次式で表される。

OVM では、各車の運転者は自分の一つ前の車との距離 Δx_n に応じて変化する理想の速度(最適速度)を目標値として持ち、その理想速度に近づけようと加減速するという状況を設定している。その最適速度には次の性質が要求される。

- a) $\Delta x_n = \lim 0$ の時、 $V(\Delta x_n) = 0$ となる関数。
- b) $\Delta x_n = \lim \infty$ の時、 $V(\Delta x_n) = \text{定数}$ となる関数。
 定数とは法定速度を指す。
- c) 単調増加である関数。

$V(\Delta x_n)$ は、既往の研究にしたがって、最適速度関

数(図2)を仮定する。

$$V(\Delta x_n) = \tanh(\Delta x_n - 2.0) + \tanh(2.0) \quad (4)$$

OVモデルでは、前方車両との車間距離が一定距離 $L_{\max}$ を超えると車両速度は限りなく法定速度 $V_{\max}$ に漸近する。この時、車両は自由走行状態であるといえる。

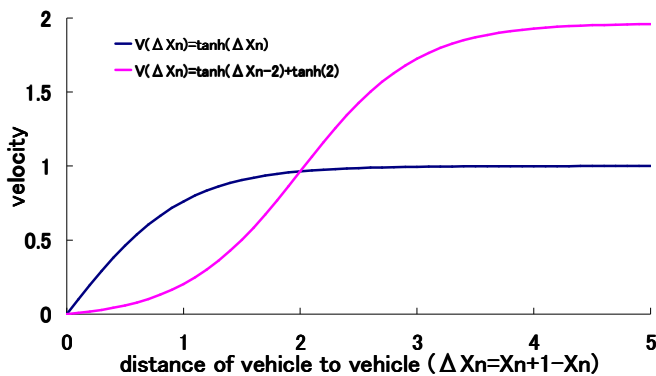


図-2 最適速度関数

$$x_n'' = \alpha[V(\Delta x_n) - x_n'] \quad n = (0, 1, 2, \dots, N-1) \quad (3)$$

$\Delta x_n (= x_{n+1} - x_n)$: 前方車両 $n+1$ と自身の車 n との車間距離

x', x'' : 時間1階, 2階微分

$V(\Delta x_n)$: 車間距離が Δx_n の時の最適速度

α : ドライバー反応パラメータ

4. 実ネットワークへの適用

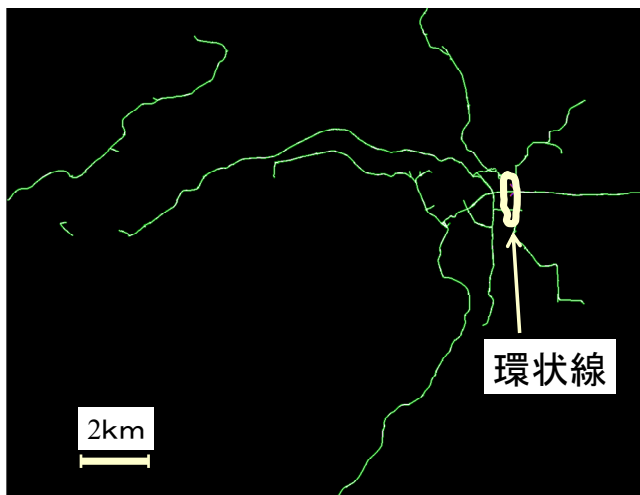


図-3 阪神高速道路ネットワーク

開発したSMOOTHを実ネットワークに適用し、演算処理時間と再現性の検証を行った。SMOOTHとの比較のためにMITSIMを用いて同様のシミュレーションを実行した。

(1) 計算条件

適用した阪神高速道路ネットワークを図3に示す。阪神高速道路のネットワークはノード数560、リンク数708、セグメント数3469、レーン数6670で構成されている。OD交通量のデータは、平成11年度阪神高速道路起終点調査より作成した。経路は、本来複数の経路選択枝集合を設定すべきであるが、今回の計算では、1つのODペアに対して現実的な距離最短経路のみを設定し、経路選択行動の計算を実施せず、個々の車両の車両挙動、車線変更挙動に関する再現性と計算時間の評価を実施した。シミュレーション実行時間は、最も混雑している時間帯の午前7時～9時とし、環状線に設置してある車両検知器との比較を行った。また、ベンチマークテストにはPentium4 2.4GHZ、メモリ512MBのPCを用いた。

(2) 計算結果

SMOOTHによるシミュレーション実行画面を図4に示す。Viewerと組み合わせることにより計算結果を3D画面によって様々な角度から表示することが可能となっている。

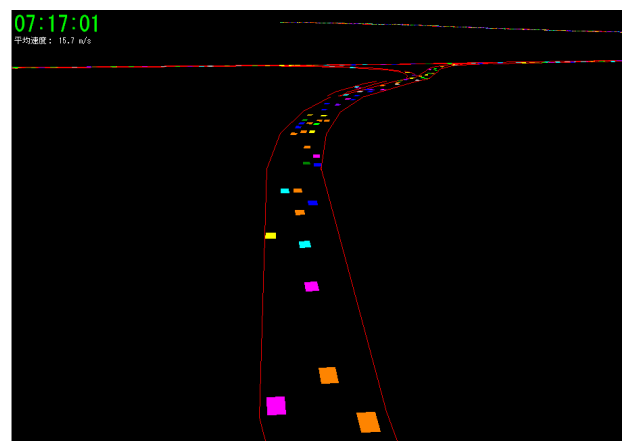
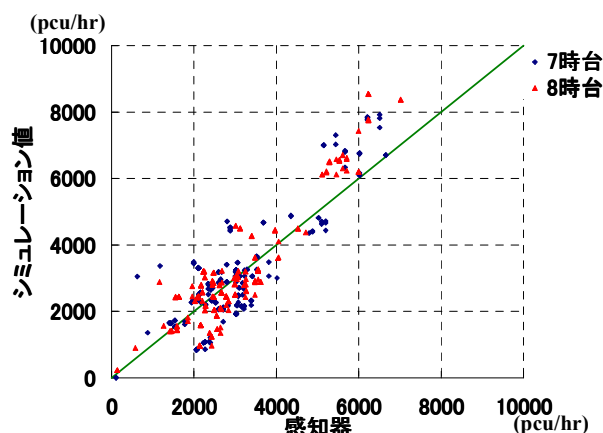


図-4 SMOOTHによるシミュレーション実行画面

SMOOTHの現況再現性を図5に示す。検知器の観測結果からは乖離した値を示していることがわかる。OD交通量のデータを起終点調査結果から直接利用したことや経路データを最短経路のみにしたこと、パラメータチューニングが不足していたこと等の問題により再現性が低い結果となっている。次にSMOOTHの現況再現性を同様のミクロ交通シミュレーションであるMITSIMと比較した。SMOOTHの再現性はMITSIMに比べ、%RMS誤差で2ポイント度向上していることがわかる。MITSIMとSMOOTHの違いは、1)MITSIMがGM型追従モデルなのに対してSMOOTHはOVMである。2)SMOOTHでは織り込み部の合流についてのモデル化がなされている。の2点

に集約される。分合流部の複雑な車線変更に伴う交通容量の動的な変化と自由流走行時の巨視的な群形成に伴う速度低下を表現できていることが確認できており、こうした点により、僅かではあるが、SMOOTHの再現性が高くなっていると考える。

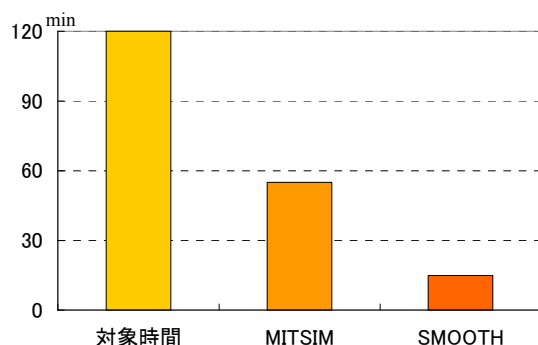


図－5 SMOOTHの現況再現性

表－1 現況再現性の比較

	SMOOTH	MITSIM
重相関係数	0.79	0.74
RMS誤差	579.49	621.89
%RMS誤差	0.22	0.24

次に、SMOOTH、MITSIMの演算処理時間の比較を示す(図6)。演算処理時間は、対象時間帯2時間帯を計算するのにSMOOTHで15分、MITSIMで55分を要している。SMOOTHの演算速度の高速化は、モデル計算処理の簡素化、車両などの各オブジェクトに対して、実行中に必要なメモリを動的に確保することで計算メモリの節約を行うことにより実現している。この結果、今回の計算機性能(Pentium4 2.4GHZ、メモリ512MB)では、検知器データなどから現在の交通状況データを入力すれば、5分程度の計算時間で30分後の現況再現が可能であることがわかった。



図－6 演算処理時間の比較

5. おわりに

マイクロ交通シミュレーションシステム SMOOTHを開発し、計算時間と再現性について評価を行った。阪神高速道路ネットワークにおけるケーススタディの結果、従来のマイクロ交通シミュレーションに比べ再現性がやや向上することと、現実的な演算処理時間で計算可能なことを示した。比較的安価に購入可能な計算機で高速な計算時間を実現できたことから、オンラインでのマイクロ交通シミュレーションによる旅行時間情報配信の可能性を示せたと考える。

今後の課題として、プローブデータを利用した経路選択集合の限定と再現性の高い経路選択モデルの開発を行うことにより、現況再現性の更なる向上を行う予定である。また、車両検知器データからのOD推定を行うなどの、インプットデータのさらなる精度の向上やviewerの改良による視覚的説明ツールとしての確立を行う予定である。

謝辞

なお、SMOOTHの開発にあたっては、(株)オリエンタルコンサルタツの川崎洋輔氏に愛媛大学大学院在学中多大なる協力を得た。ここに記し感謝の意を表する。

参考文献

- 1)Bando,M.,Hasebe,K.,Nakayama,A.,Shibata,A.,and Sugiyama,Y.,Structure stability of congestion in traffic dynamics, Jpn.J.Ind.Appl.Math.,11(1994)
- 2)玉本学也, 堀口良太, 桑原雅夫: 交通流シミュレーションSOUNDの大規模ネットワークへの適用, 第30回土木計画学研究発表会講演論文集, CD-ROM, 2004.
- 3)Massachusetts Institute of Technology Intelligent Transportation System Program : User's Guide for MITSIMLab and Road Network Editor(RNE).