

IV-18

交通流シミュレーションモデルに関する研究
—マクロモデル、ミクロモデル、ハイブリッドモデルの比較—

北海道大学工学部

学生員 木村秀之 山川顕吾

正員 中辻 隆 加来照俊

1. はじめに

現在、わが国で一般的に用いられているシミュレーションモデルはマクロモデルとしてTRANSYT(1)、ミクロモデルとしてNETSIM(2)がある。しかし、TRANSYTでは、交通量に基づくシミュレーションであるので、交通状態を一元的に表現することができず、自由流のみにしか適用できない欠点を有している。

Cremer(3)は、Payneによって提言された密度と空間平均速度に基づいたシミュレーションモデルを街路交通に適用し、渋滞流に対しても表現性が優れていることを示した。一方ミクロモデルは、個々の車の挙動を表現するため、大規模なネットワークに対しては適さない欠点を有している。Wiederman(4)は、マクロモデルとミクロモデルの中間的性質を有する

DYNEMO(Dynamic Network Model)に基づき、その欠点を補うことを提言している。本研究では、これらのシミュレーションモデルを比較検討し、それぞれのモデルの特徴を実証的に明らかにする。

2. 各シミュレーションモデルの概要

2・1 マクロモデル

(1) TRANSYT (Traffic Network Study Tool)

TRANSYTでは、交差点での流入交通量をIN、GO、及びOUTの3つのパターンに分類してシミュレーションを行う。図1に示すように、INパターンは、停止線に流入してくる交通量のパターンである。GOパターンは、信号が青で停止線上に待ち行列が無く、停止線に流入してくる車が、そのまま出ていくことができる交通状態を示している。OUTパターンは、信号が赤から青に変わった後の流出状態を示しており、待ち行列があるときにはGOパターン

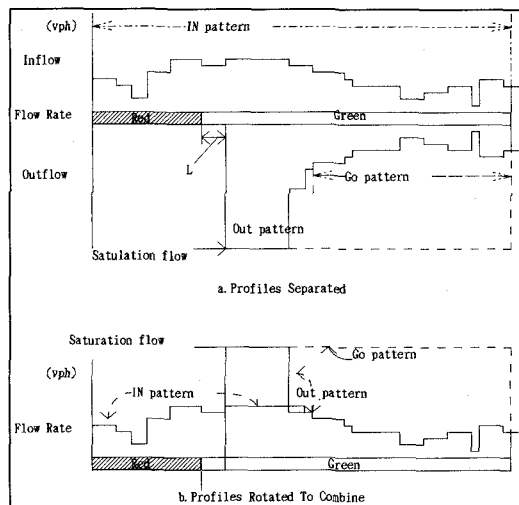


図1 IN, OUT, GO pattern

に、待ち行列がなくなった後はINパターンに一致する。また、交差点間の車の挙動は平均速度をもとにして、車群の拡散係数PDFによって表現されている。シミュレーションの評価指標としては、飽和度、総走行キロ、総走行時間、走行速度、遅れ時間(一様、ランダム)、停止回数、行列長、燃料消費量等々で表される。また、路側駐車、駐車場、ショッピングセンタ等、リンク途中の交通発生源による車の出入り、バス専用リンク、バスベイ、常時右折可能な場合(RTOR:Right Turn on Red)、橋梁部、路側駐車、ダミーノード等のボトルネック、歩行者と自転車の影響についても表現する事ができる。また、サイクル長、オフセット、及びスプリットの最適化機能を有している。

TRANSYTは、交通量をベースとしたモデルであり、良く知られているように、1つの交通量に対しては2つの交通状態(自由、渋滞)が存在する。そのため、このTRANSYTモデルでは、交通状態を一意的に表現することはできない。

(2) Cremerモデル

このモデルでは各リンクを複数のセグメントに分割して、各セグメントにおける密度と空間平均速度の時間的変化をシミュレートする。第 i セグメントにおける密度を $c_i(k)$ 、空間平均速度を $v_i(k)$ 、交通量を $q_i(k)$ と表わす時、それらの変動は以下のように記述される。

$$c_i(k+1) = c_i(k) + \frac{\Delta t}{\Delta L_i} (q_{i-1}(k) - q_i(k)) \quad (1)$$

$$v_i(k+1) = \beta \cdot v_i(k) + (1-\beta) \cdot V(\bar{c}(k)) \quad (2)$$

$$q_i(k) = c_i(k) \cdot v_i(k) \quad (3)$$

$$\bar{c}(k) = \alpha \cdot c_i(k) + (1-\alpha) \cdot c_{i+1}(k) \quad (4)$$

Δt : 時間刻み ΔL_i : セグメント長

α, β : 重み係数

ここで k は、離散時刻 k である。式 (1) は連続の式 (保存則) に基づいている。式 (2)、においては、空間平均速度の変化を 1 ステップ前の速度 $v_i(k)$ と、密度 $c_i(k)$ から規定される平均速度 $V(\bar{c}(k))$ との重み平均として定義している。式

(3) は、 $Q = K \cdot V$ に基づいて交通量を算定している。これらの式を用い、密度と空間平均速度の初期値と、流入交通量の時間変動を与えることによって、各時刻の交通状態を時々推定することができる。式 (2) において、 $V(\bar{c}(k))$ は、いわゆる $k-v$ 曲線であるが、

$$V = V_f \left[1 - \left(\frac{c}{c_{\max}} \right)^{l-1} \right]^{\frac{1}{1-m}} \quad (5)$$

として定義され、ここで V_f は自由速度、 $c_{\max}$ は最大の渋滞密度、 l, m は追従の感度パラメータである。

このモデルの特徴として、密度と空間平均速度を基本的なシステム変量としているので、交通状態を一意的に表現することができ、渋滞時における表現能力も高いといわれている。また、TRANSYTやNETSIMと異なり各時間刻み毎に変動する非定常な流入交通量を取り扱うことができる。

2・2 ミクロモデル

(1) NETSIM (NETwork SIMulation)

このシミュレーションモデルは、ミクロモデルであり、個々の車の軌跡をもとに、追従理論、待ち行列からの発進、車線変更などの考え方に基づいてシミュレーションが実行される。シミュレーションの結果はTRANSYT等と同様に、走行距離、走行時間、遅れ時間、停止時間、走行速度、待ち時間、燃料消費量、ガス排出量などで表される。

そのほかに、信号制御の方法について、定時プログラム方式、感应制御、青時間延長などに対応できる機能も付属している。また、路側駐車、駐車場、車、バスの平均乗車人数、ロードファクタ、不法駐車、短期イベントと長期イベントに関する表現、駐車帯の長さ、駐車操作に要する時間の指定、車両の長さ、最大加速度、最大速度、車頭間隔係数の再定義、排ガス排出率、燃料消費率の変更、左折飛出し確率、右左折時速度、車線変更時許容ラグ時間、左折時対向車ラグタイム、歩行者との錯綜による遅れ時間、発進車頭間隔と発進ロス時間等についても表現することができる。

2・3 Hybridモデル

(1) DYNEMO (DYNamic NETwork MOdel)

DYNEMOは、高速道路網における交通制御システムの開発、評価、利用のために設計されたシミュレーションモデルである。この交通流モデルは、マクロモデル (計算の簡便) の利点とミクロモデル (個々の車両に関連した出力の統計) の利点を組み合わせている。具体的には、Cremerモデルと同様に、1つのリンクをいくつかのセグメントに分割し、個々の車がマクロな交通流特性式 $V(\bar{c}(k))$ の関係に従って各々の走行速度を決定しながらセグメント内を移動する。全車のセグメント内の位置と速度に基づいてセグメントの交通状態 (密度、平均速度、交通量) が規定され、次のステップにおける個々の車の運動に反映される。このようにこのモデルでは、ミクロとしての運転者の動向と個々の車両の相互影響と、マクロとしての流体力学の理論を基礎においている。

3 シミュレーション結果

3.1 K-V曲線

本研究で使用した、CremerモデルとDYNEMOモデルでは、 $K-V$ 曲線が重要な役割を果たしている。これは、先に説明した様にCremer、DYNEMO両モデルが密度と速度を利用したモデルであるからである。今回、Cremer、DYNEMO両モデルに使用する $K-V$ 曲線は、実際の交通状態より得られたものを用いた。

観測方法は、市街地の交差点付近をビデオにより撮影し、平均速度と平均車頭間隔($\bar{h}$)を調べ、密度(k)を $k=1/\bar{h}$ から求めた。

求められた $K-V$ 曲線を図2に示す。上層部は定常走行時の、下層部は加減速時のデータに基づいている。それぞれの群について V_f と c_{max} の値を既知とし、最小2乗法を用いて、最適な l と m の推定を行った。ここで、密度20 (veh/km)以下の交通状態については、観測データが得られなかったため、一定の値であるものと仮定した。図3にモデル中で用いた $K-V$ 曲線と最適な l, m の値を示す。

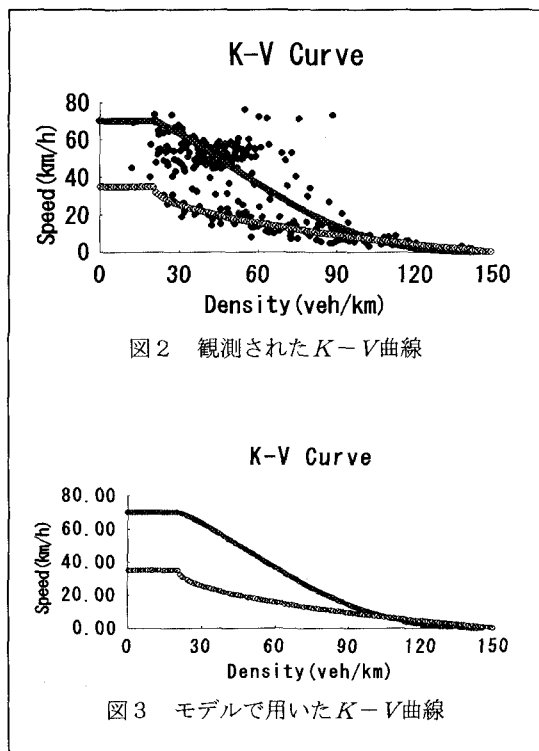


図2 観測された $K-V$ 曲線

図3 モデルで用いた $K-V$ 曲線

3.2 シミュレーション結果の比較

4つのシミュレーションモデルを比較した。例題として図4に示すネットワークを用いた。図5は、このネットワークの右左折率である。結果については、遅れ時間(delay)、旅行時間(Travel Time)、速度(Speed)の比較結果をそれぞれ図6、図7、及び図8に示す。

結果としては、4つのモデルの中で、Cremerモデルの車の流れが一番良く、TRANSYTモデルの車の流れが一番悪かった。TRANSYTでは、アメリカ車を想定した標準的なパラメータ値を使った。Cremerモデルは α の値による影響が大きく、今回は $\alpha=0.3$ を使ってシミュレーションを行った。NETSIMでは、発進遅れを1.8秒、平均車頭間隔を1.5秒とした。ただし、シミュレーションで使用するパラメータ値を変えると、評価指標が大きく変化するので、シミュレーションを行う際には、適切なパラメータ値を求め使用する必要がある。

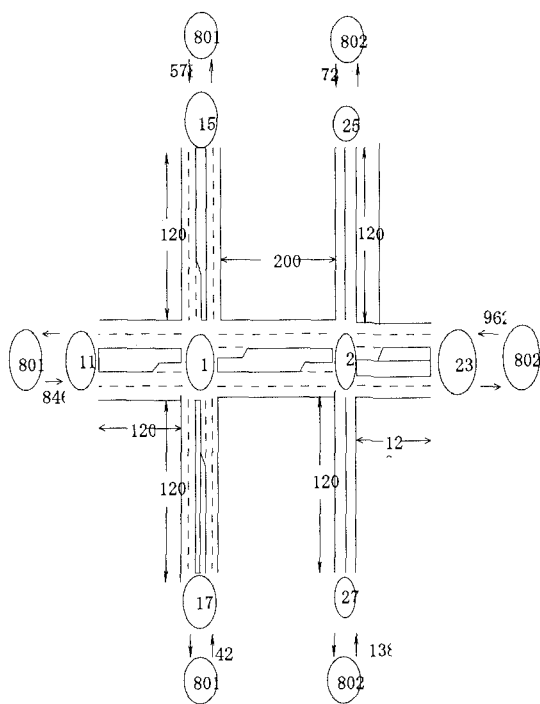


図4 ネットワーク図

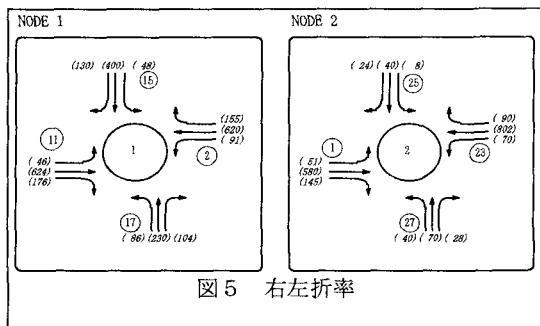


図5 右左折率

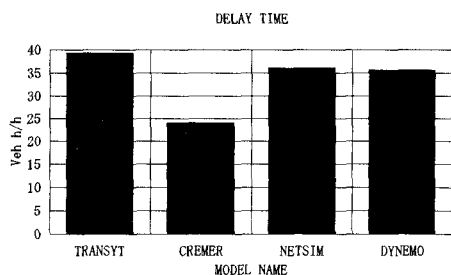


図6 遅れ時間

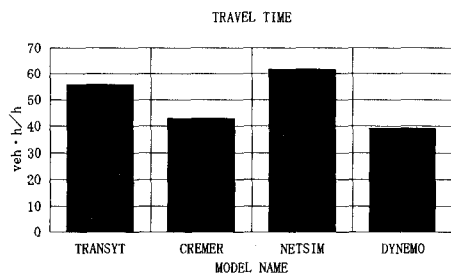


図7 旅行時間

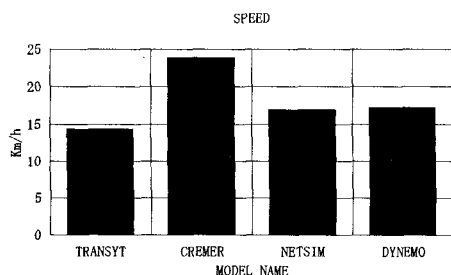


図8 速度

4 まとめ

4つのシミュレーションモデルの比較では、マイクロモデルとマクロモデルとのシミュレーション結果にあまり大きな差がなく、マクロでもマイクロでもパラメータ値を適切に設定すれば、ほぼ同様な結果が得られることがわかった。ただし、流れの良いCremerモデルと、流れの良くないTRANSYTモデルとの間では、遅れ時間と速度に若干の違いがあり、この差が生じる原因を検討することは今後の課題である。

今回は、シミュレーションに使用するパラメータの内、 $K-V$ 曲線について調査、測定をおこなったが、今後は α 、発進遅れ、平均車頭間隔等についても検討をおこなっていきたい。

参考文献

- 1) TRANSYT-7F User's Manual, FHWA, 1984
- 2) TRAF-NETSIM User's Manual, FHWA, 1989
- 3) M. Cremer, A Macroscopic Simulation Model of Urban Traffic Flow and its Application for Traffic Control Systems, 2nd Intern. CARDI Semi, on urban Traffic Networks, 1992
- 4) Wiedermann, Forschungsbericht "Makroskopisches Simulationsmodell für Schnellstraßennetze mit Berücksichtigung von Einzelfahrzeugen (DYNEMO)", Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 505, 1987