

ハイブリッド型交通流シミュレーションモデルの市街路網への適用*

Application of Hybrid Traffic Flow Simulation Model for Urban Road Network*

渋谷 秀悦**、中辻 隆***

By Shuetsu SHIBUYA**, Takashi NAKATSUJI***

1. はじめに

現在、交通流シミュレーションは交通現象解析や交通状態予測のために数多く開発、適用されているが、これらはその基本的概念によりマイクロモデルとマクロモデルに大別される。

マイクロモデルでは、Gazisら¹⁾による追従理論などをベースとして、NETSIM²⁾を始め多くのモデルが開発されている。マイクロモデルは個々の車両データが得られる反面、計算時間と記憶容量を要する。そのため、多数の交差点を配しているような大規模なネットワークでのシミュレーションには不向きである。

一方マクロモデルは、交通流を数値的に捉え、交通量などマクロな指標で表すもので、交通量、密度、平均速度の関係式(車両保存則、 $Q=KV$)により計算されるモデルが一般的である。早くに開発され広く利用されたTRANSYT³⁾は交通量を基準とした計算と交通流の拡散を取り入れているのが特徴であるが、自由流のみで有効であったモデルである。

マクロモデルは、単位区間ごとにのみパラメータを持つので計算時間が短く大規模なネットワークに適している反面、各車両ごとにはデータが得られないという弱点を持ち合わせている。

本研究では、マイクロモデルとマクロモデル双方の概念を含んだハイブリッド型の交通流シミュレーションを開発することによって大規模ネットワークに適用可能で演算能力の高いシミュレーションを実現している。

現在までに開発されているハイブリッド型のモデルは

少ないが、その中で高速道路用にDYNEMO⁴⁾⁵⁾が開発された。

ハイブリッド型モデルはマイクロモデルとマクロモデルの弱点を補うことによって、中規模や大規模なネットワークに対しても個々の車両の情報を保持しながらシミュレーションを行うことができるので期待されているが、モデル構造に未だ改良の余地があるうえ、モデルパラメータへの依存性、あるいは処理能力に対して必ずしも評価が定かではない。

本研究ではDYNEMOモデルをベースとしたハイブリッドモデルに改良を加え、市街路網に適用することによりハイブリッドシミュレーションモデルの評価を行った。

2. ハイブリッドモデル

(1) DYNEMOモデル

本研究では、高速道路網のために設計されたDYNEMO(Dynamic Network Model)をその基本として開発を行った。以下にこのモデルの手法とその概要について述べる。

シミュレーションを行う対象となる1本の路線を、一定距離 l のセグメント S_i ($i=1, \dots, N$)に分割して計算の際の基本単位とする。それぞれの S_i には、時刻 t におけるセグメントごとの車両台数(密度) K_i と空間平均速度 u_i がパラメータとして保持されている。これらの値の算出は、各タイムインターバルの最初に各セグメントの車両台数を数え上げ、その値を交通密度とし、 $K-V$ 曲線から空間平均速度を得ている(図・1)。

DYNEMOではあらかじめ観測を行い、 $K-V$ 曲線を求めておく必要があり、次式で定義される鐘型曲線を使用している。

$$V = V_f e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{K}{K_0} \right)^2} \quad (1)$$

V_f は自由速度、 K_0 は臨界密度を示す。

速度にはセグメントの仮定速度と車両の仮定速度が存在する。セグメントの仮定速度とは、その密度で運転者が走行しようと望んでいる速度のことを指す。

DYNEMOでは、自由流と渋滞流とで異なるアルゴリズム

*キーワード：交通流、交通制御、交通管理

**学生員、工修、北海道大学大学院工学研究科土木工学専攻
(北海道札幌市北区北13条西8丁目、TEL 011-706-6214)

***正員、工博、北海道大学工学部土木工学科
(北海道札幌市北区北13条西8丁目、TEL 011-706-6215,
FAX 011-726-2296)

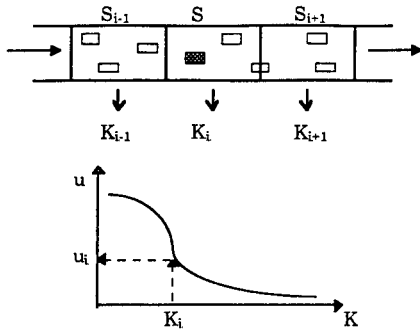


図-1 DYNEMOのマクロ変数算定

に従ってセグメントの仮定速度を計算している。自由流では、 $K-V$ 曲線式を平均値(図-2中の実線)として、車両ごとに正規乱数で設定された傾向値 δ に応じて、予め定義された最低速度 \underline{u}_i から最高速度 \bar{u}_i までの範囲内で分布させることで、仮定速度 \hat{u}_i が決定されている(図-2)。

$$\hat{u}_i = \bar{u}_i + \frac{v_\delta - v_0}{v_1 - v_0} \cdot (\bar{u}_i - \underline{u}_i) \quad (2)$$

v_δ, v_0, v_1 はそれぞれ $K \rightarrow 0$ における、計算の対象となる車両、 $\delta=0$ の車両、 $\delta=1$ の車両の速度を示す。

一方渋滞流では、各車両は自由な走行に対して制限を受けるという仮定から、全ての車両が δ に関係なく $K-V$ 曲線に従って平均速度 u_i が仮定速度となる。

$$\hat{u}_i = u_i \quad (3)$$

各車両の仮定速度は、その車両が現在走行しているセグメントの仮定速度とその前方にあるセグメントの仮定速度の、車両位置 x による加重平均である。

$$\hat{u}_i^x = \left(1 - \frac{x}{l}\right) \cdot \hat{u}_i + \frac{x}{l} \cdot \hat{u}_{i+1} \quad (4)$$

この車両仮想速度から最大加速度を考慮して各車両の速度、位置を算出し、車両データを更新する。

$$u_i^{(t+\Delta t)} = \min \left\{ v_\delta, u_i^{(t)} + b_{\max} \cdot \frac{\hat{u}_i^x - u_i^{(t)}}{v_1} \cdot \Delta t \right\}, \hat{u}_i^x > u_i^{(t)} \quad (5)$$

$$u_i^{(t+\Delta t)} = \max \left\{ \hat{u}_i^x, u_i^{(t)} + b_{\min} \cdot \frac{u_i^{(t)} - \hat{u}_i^x}{v_1} \cdot \Delta t \right\}, \hat{u}_i^x \leq u_i^{(t)} \quad (6)$$

b は加速度の最大値、最小値を示す。

すなわち、DYNEMOモデルでは、セグメントごとの空間平均速度から交通密度、そしてタイムインターバル後の個々の車両のデータを決定して、その後個々の車両の位置をセグメントのデータに反映させることによって、真

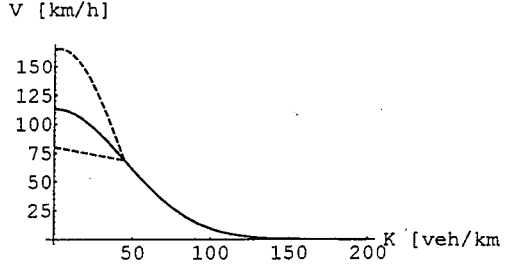


図-2 $K-V$ 曲線(DYNEMO)

の意味でのハイブリッドモデルを実現している。

(2) DYNEMOモデルの改良

DYNEMOモデルでは、渋滞流においては車両は均一速度になるという考えから式(3)が用いられている。しかし実際には、渋滞流では必ずしも均一速度は実現されず速度のばらつきが見られることから、次のようにモデルの改良を行った。

DYNEMOでは図-2に示されているように、自由流でのみセグメントの仮定速度における最低速度 \underline{u}_i と最高速度 \bar{u}_i が次式で定義されている。

$$\underline{u}_i = v_0 - \frac{v_0 - u_{opt}}{K_{opt}} \cdot K_i \quad (7)$$

$$\bar{u}_i = \underline{u}_i + \frac{v_1 - v_0}{E(V_f) - v_0} \cdot (u_i - \underline{u}_i) \quad (8)$$

K_{opt}, u_{opt} はそれぞれ臨界密度、臨界速度を、 $E(V_f)$ は自由速度の期待値を示す。

この式では、渋滞流の時運転者の速度傾向を考慮せずにセグメントの仮定速度を決定しているため、大きな速度変動が見られない。そこで本研究のハイブリッドモデルでは、渋滞流の交通流を実際の状況により近く表現するために、全ての交通密度の場合において次式を式(7)、(8)に替えて、次式を新たに定義した。

$$\underline{u}_i = v_0 e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{K}{K_{opt}} \right)^2} \quad (9)$$

$$\bar{u}_i = v_1 e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{K}{K_{opt}} \right)^2} \quad (10)$$

この式から描かれる $K-V$ 曲線を図-3に示す。

以上のように改良したモデルを以下、Hybridと書き表すこととする。

(3) 街路用ハイブリッドモデル

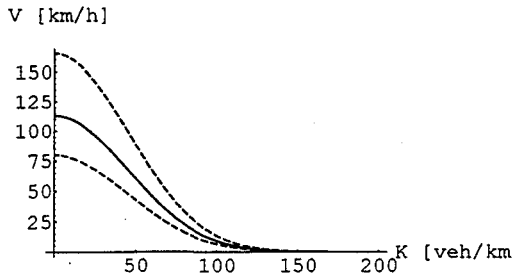


図-3 K-V曲線(Hybrid)

ハイブリッドモデルは、個々の車両の出力値を持ち、かつ計算時間が短いという2つの特長を兼ね備えていることから、市街路ネットワークのシミュレーションにも適しているといえる。そこで、本研究のハイブリッドモデルを拡張して街路網への適用を行った。

市街路対応のシミュレーションを開発する際、右左折を含む交差点における処理が問題となる。本研究のハイブリッドモデルでは、マクロの計算も含まれているため、進行方向の信号が赤の時には、交差点先のセグメントを仮想的に渋滞密度に設定することで、擬似的に各車両に停止の挙動を実現させている。

右左折に関してはモデルの性質から、交差点入り口で右左折率に応じて車両を分配することも、各車両に傾向値と同様に経路を示すパラメータを予め与えて、車両ごとにそのパラメータに従い車両の進行方向を決定することも可能である。今回は前者を用いている。

交差点内での車両の移動に関しては、図-4に示すように交差点内に設定した流入リンクと流出リンクを連絡するセグメントを配置し、これを経由して受け渡している。この連絡セグメントは左折、直進、右折のそれぞれに取り付けられ、この区間では前後のセグメントのマクロデータを使わず車両データのみでミクロ的に移動を行い、対向車によるブロッキングなど個々の車両に対する処理に対応させている。

高速道路用に開発されたマクロのアルゴリズムを含むシミュレーションモデルを市街道路網へ適用する際、非定常流、すなわち信号により交通流が分断され連続式が成り立たないという問題が生じる。これに関しては、境界条件をプログラムに組み込み、擬似的に定常流を保たせて計算させている。

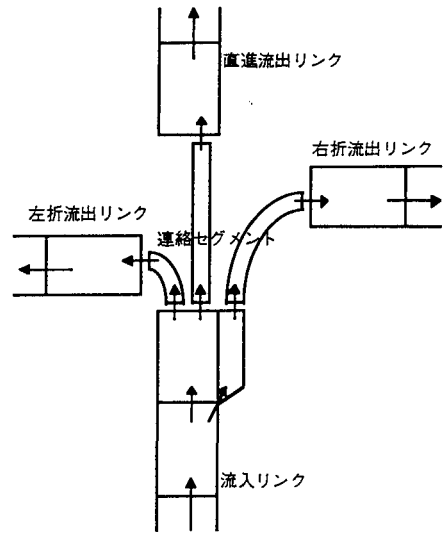


図-4 交差点付近のセグメント構造

DYNEMO や本研究でのハイブリッドモデルは、個々の車両とセグメントの両方においてパラメータを保持し、アルゴリズムに関しても双方のパラメータによる影響を考慮して計算を行っている。これらの点から見て、他のハイブリッド型モデルに比べて、よりハイブリッドの意味において純粋に近いモデルを採用していると言える。

3. 市街路における検証

ハイブリッドモデルを信号交差点を持つ市街路網に適用し、検証することを試みた。

実際の交通データによるシミュレーションでは、大きなネットワークになるほどリンク途中からの流入による影響が大きくなるので、今回は他の街路対応シミュレーションモデルと同じ条件で仮想の入力データを計算し、評価値を比較することでモデルの検討を行うこととした。

比較したシミュレーションモデルは、代表的なマクロモデルである TRANSYT (リンクごとにパラメータを保持)、CREMER モデル (リンクをセグメントに分割してセグメントごとにパラメータを保持) と代表的なマイクロモデルである NETSIM の3種類である。

シミュレーション区間は例題として作成されたデータで、4枝交差点を2つ連結させた(のべ20リンク)単純なものである。評価値として、旅行時間、遅れ時間、

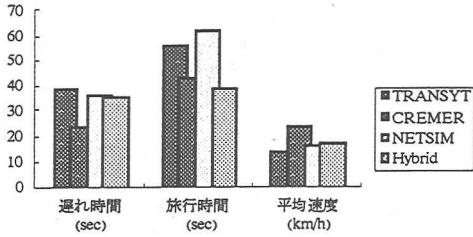


図-5 評価値比較

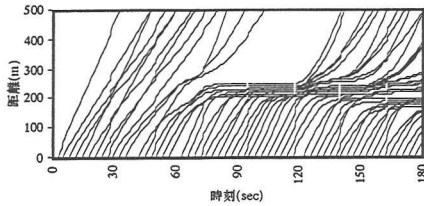


図-6 信号交差点付近における時間距離図

平均速度をそれぞれ算出して比較している(図-5)。予想と違い、ミクロモデルとマクロモデルのちょうど中間の値とはならなかったが、どの評価値でも Hybrid モデルは他のモデルとの値から大きく外れていることはない。

また、ハイブリッドモデルのシミュレーションによる車両の走行軌跡を図-6に示す。単独交差点を250m地点(中間点)に設置し、進行方向に対して青60秒、赤60秒のサイクル長120秒で信号を設定した。信号による減速波、停止、そして発進波が、一般的な観測によるものと同様であるのが見て取れる。走行軌跡が交差しているのは、走行する車両を2車線まとめて計算しているため、追い越しが発生していると解釈することで問題ないと思われる。

本研究のハイブリッドモデルの特長である計算時間は、NETSIMを100とするとHybridは35とミクロモデルに比べてかなり速い結果が得られた。

また、ハイブリッドのもう一つの長所として車両の位置データを持っているので、アニメーションや図-9に示すような時間距離図を出力することが可能である。

4. まとめと今後の課題

本研究の成果を以下にまとめる。

- 1) 高速道路用に開発された DYNEMO をベースとした街路

用ハイブリッドモデルの作成を行った。

- 2) 渋滞域における精度向上を図るために速度モデルを改良した。

- 3) 市街地交通流へ適用するため信号交差点処理のモデル化を行った。

- 4) 演算時間がマクロ並に良かっただけでなく、アニメーションや時間距離図を出力することが可能である。

今後の課題としては、モデルに関して渋滞流のよりミクロ的な検証で、交通集中渋滞のみならず事故渋滞についての検証も考えている。また今回開発したモデルはマクロのアルゴリズムが主であったので、より車両のミクロ的な挙動の影響を考慮したモデルの改善を目指している。特に信号交差点で発生する渋滞の伝播などを的確に再現できればと考えている。

また、実測とシミュレーションの比較については、感知器データを用いての検証を考えているが、できればミクロ的な検証を行いたいため、大規模な観測によりさらに細かいデータが得られればと考えている。

本研究によりハイブリッドモデルの有用性が確認できたので、大規模市街路ネットワークへの適用を今後は是非検証したい。

参考文献

- 1) Gazis, D.C, Herman, R., and Rothery, R.W. Nonlinear Follow-the Leader Models of Traffic Flow. Operations Research, Vol. 9, pp. 499-505, 1959.
- 2) TRAF-NETSIM User's Manual, FHWA, 1989
- 3) TRANSYT-7F User's Manual, FHWA, 1984
- 4) Thomas Schwerdtfeger: DYNEMO: A Model for the Simulation of Traffic Flow in Motorway Networks, Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp.65-87,1984
- 5) Rainer Wiedemarn, Thomas Schwerdtfeger: Makroskopisches Simulationsmodell für Schnellstraßennetze mit Berücksichtigung von Einzelfahrzeugen (DYNEMO), Heft 500,1987