

ハイブリッド型交通流シミュレーションの開発*

Development of Hybrid Traffic Flow Simulation*

渋谷秀悦**、中辻隆***、加来照俊****

By Shuetsu SHIBUYA **,Takashi NAKATSUJI ***,Terutoshi KAKU ****

1. はじめに

現在、数ある交通問題の中でも、交通混雑の解消は重要な課題となって久しい。その対策の中でも、コスト面を考慮すると交通マネジメントの改善が有効な手段であり、その改善策の検討材料として、交通制御システムの開発、評価や、交通制御問題の対策支援など、その目的に応じて多様なシミュレーションモデルが、現在までに国内外で設計され使用されている。

本研究では、ユーザーの使用目的やシミュレーションの対象地域の範囲によっては、現在一般的に利用されているミクロモデルやマクロモデルでは対応しきれない部分を補えるよう、それら2種類のモデルのアルゴリズムを組み合わせたハイブリッドモデルに信号処理を組み込んだ、市街道路網交通流シミュレーションモデルを開発し、その適用性を実験を通して検討した。

2. 既存モデルの問題点

(1) 海外と日本の状況

交通流シミュレーションに関して海外では、交通工学の研究者、専門家や技術者以外の利用も考慮した、汎用性の高いシミュレーションプログラムがい

くつも開発され頒布、販売されている。これに対し国内ではそのようなアプリケーションは少なく、海外で開発された製品を、日本の交通状況に合わせてパラメータ等細かい点を変更した上で利用している場合が多い。また、採用されているモデルは用途に応じてある程度限定されている。そこでこのような現状を踏まえ、現在利用されているアプリケーションの問題点を明らかにする。

(2) TRANSYTとNETSIM

現在一般利用者に公開され、広く利用されている汎用型のシミュレーションソフトの中で、代表的なアプリケーションは2つ挙げられる。マクロモデルのTRANSYTと、ミクロモデルのNETSIMである。

TRANSYTでは、シミュレーションでのパラメータの算定を、各リンクごとの交通量を基準として行うので、ある交通量に対応する密度の値を求める際にその値が2つ存在してしまい、自由流では問題ないが、渋滞流での表現能力に劣ってしまう。そのためシミュレートした結果が全ての交通状態において十分であるとはいえない。またこれらマクロモデルでは、各車両ごとには走行速度、走行地点といったパラメータを持っていない。その代わりとなる値として、計算処理を行う単位区間ごとに空間平均速度と密度の2つのパラメータを設定している。計算の際にはこれらのパラメータを使って車両数保存則や交通量との関係式を組み込んだアルゴリズムを用いて計算を行っている。

NETSIMに代表されるミクロモデルの基本的な概念は個々の車両の相互影響であり、ミクロモデルでは追従理論をアルゴリズムに組み込んでいる。このモデルの利点は、車両一台ごとに関する情報（走行地点、走行速度など）を保持していることである。

*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 011-706-6217、
FAX 011-726-2296)

***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)

****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 011-706-6214、
FAX 011-726-2296)

マイクロモデルによるNETSIMはそのモデルの持つ特徴から、主として信号制御の評価によく利用されている。NETSIMのアルゴリズムは他のマイクロモデルと同様に、追従理論に基づいて個々の車両に関して計算を行っている。その為、数十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では、このモデルを用いると処理する車両数が増大するため、記憶容量と計算時間が膨大になってしまうのである。

しかしその一方で、個々の車両について走行地点のデータを保持しているため、シミュレーションの結果をアニメーションで表示する場合に、車両一台ずつを描画することが可能である。よってシミュレーションの対象地域を俯瞰図のように見ることができ、車両一台ごとの走行状況が容易にそして克明に把握することが可能となる。この手法により視覚的に解りやすいアニメーション表示が可能となる。

3. シミュレーションモデル

(1) 既存モデル

本研究で開発したシミュレーションで使したモデルは、マイクロモデル、マクロモデルのアルゴリズムを組み合わせているので、それぞれの基本的な考え方を、DYNEMOモデルが参考になっているモデルを例にとって記しておく。

マイクロモデルは基本的に追従理論に基づいている。この理論は、互いに追走している一組の車両の走行現象を式化している。後ろを走る車両の加速度は2台の走行速度の差に比例することを定式化したものに加え、2台の車両間隔に反比例する感度係数を仮定したのが次式である。

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = a \frac{\dot{x}_{n+1}(t+T)}{|x_n(t) - x_{n+1}(t)|} [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad (1)$$

マクロモデルはPayneによるFREFLOモデルを紹介する。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計算しているので、TRANSYTに比べてより細かな結果と変動が得られる。またこのモデ

ルでは追従理論に基づいた補正係数を組み込んでいるので、ミクロの影響を考慮した計算結果が得られる。このモデルは次に示す3式で構成される。

$$\rho_j^{n+1} = \rho_j^n + \frac{\Delta t}{\Delta x_j} (\lambda_j^{n+1} - \lambda_j^{n+1}) \quad (2)$$

$$\lambda_{j+1}^{n+1} = \rho_j^n u_j^n \quad (3)$$

$$u_j^{n+1} = u_j^n - \Delta t u_j^n (u_j^n - u_{j-1}^n) / \Delta x_j + \frac{1}{T_j} (u_j^n - u_c(\rho_j^n) +$$

$$\frac{v_j}{\rho_j^n} [\rho_{j+1}^n - \rho_j^n] / \Delta x_j) \quad (4)$$

最初の式は車両保存則に基づくセグメントの密度決定式である。2番目の式ではセグメント内の車両の平均速度と密度から交通量が算定される。3番目の式は速度決定式である。この式では後方との対流による速度式の他に、理想状態での速度と密度の関係曲線 $v = f(k)$ に近づくよう平衡状態へと緩和する影響を表した項と、運転者の前方の密度を見ての判断による速度変化の予想を考慮した項が含まれている。

(2) DYNEMOモデル

本研究では前述のマイクロモデルとマクロモデルのちょうど中間的な結果が得られるようなモデルとして、ハイブリッドモデルを組み込んでいる。

今回モデルとして取り入れたハイブリッドモデルは、ドイツで高速道路ネットワーク用に開発されたDYNEMOモデル¹⁾を、右左折の際の車両挙動²⁾や信号交差点の存在による停止、発進をアルゴリズムに組み込むことで改良を加えたものである。

このDYNEMOモデルでは、計算が単純であるため計算にかかる時間が短くて済むというマクロモデルの利点と、個々の車両に関するデータが得られるので車両ごとのアニメーション表示や評価値の出力が可能であるというマイクロモデルの利点を組み合わせたアルゴリズムとなっている。その基礎となる考え方は、個々の車両とセグメントの両方ともパラメータを所有した上で成り立っている。

DYNEMOモデルの基本理論を以下に述べる。

1本の路線は距離 l のセグメント $S_i(i=1,\dots,N)$ に分割される。それぞれの S_i は時刻 t におけるセグメント S_i の車両台数(密度) ρ_i によって記述されている。すなわち最初に、タイムステップごと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ている。

予めシミュレーションを行う路線では観測を行いその分析結果から速度と密度との関係曲線を求めてモデルに入力しておく。これにより得られた $u=u(\rho)$ の関係を用いて、渋滞流では関係式に従い、自由流では関係式から車両ごとに正規乱数で設定された傾向値 δ に応じて分布させて、それぞれ速度 u_i が各セグメントで決定する。

セグメント S_i で時刻 t 、位置 $x(t)$ に速度 $v(t)$ で走行する車両は、その車両が現在走行しているセグメントの車両全体の平均速度 u_i 、その計算対象とした車両の前方にあるセグメントの平均速度 u_{i+1} と時刻 t でのその車両自身の状態(セグメント内の位置 $x(t)$ 、走行速度 $v(t)$ 、固有傾向値 δ)に従って、タイムステップ後の位置、走行速度が計算され、各車両は移動される。車両がセグメントの後方を走行していれば、その車両が走行しているセグメントの平均速度の影響を大きく受け、車両がセグメントの前方を走行していれば、前方のセグメントの平均速度の影響を大きく受けるような計算式になっている。

以上のことから大筋としては、次に示す2つの作業をタイムステップごとに行うことで、各セグメントと各車両の間で一方のデータを用いてもう一方のデータを決定している。セグメントが保持するデータからタイムステップ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統計値をセグメントのデータに返している。

4. 適用実験

(1) 高速道路への適用

自由流と渋滞流双方でのシミュレーションを実行し、評価を行うために、首都高速道路公団に任意観測データを提供していただいた。

シミュレーションの対象となった路線は、高速神奈川1号横羽線(金港IC→生麦IC→大師IC)である。入手したデータの内容は、数百メートルおきに配置されている車両感知器より得られる1分毎の地点交通量、地点平均速度、占有率である。このデータから、シミュレーションに合わせて、入力値を10秒ごとに変換してシミュレーションを行った。

比較検討の一例として平均速度分布図の観測値を図1に、計算値を図2に示す。これらの図は、横軸に距離(観測地点)、縦軸に観測の経過時間を取り、各地点、各時刻での平均速度を20km/hごとに色分けして表現している。

渋滞を示す濃い色の筋が右上から左下に続いている(渋滞が後方に伝搬している)のが見て取れ、渋滞の発生とその成長過程が容易に理解できるようになっている。

観測値の方の速度変化が非常に細かいのと、下流からの渋滞流の伝搬がシミュレートが部分的に再現されていないのが目に付くが、観測値の分布図が示す、渋滞の発生、成長の傾向をほぼ捉えていることは、図の色合いから見て取れることと思う。また合流点(中央やや左よりの地点、生麦IC)から発生する渋滞に関しても同様な結果を示している。

(2) 都市道路網への適用

市街道路網における実際の交通データを得るには、各リンクと交差点ごとに合わせて膨大なデータが必要となる。今回、市街道路網の交通データを得るのは困難であったため、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にした。

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、2ノード(ともに4枝交差点)、20レーンの単純なものである。評価値として、旅行時間、遅れ時間、平均速度をそれぞれ算出して比較している(図3)。

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(リンクごとに計算)とCREMER(リンクをセグメントに分割してセグメントごとに計算)、ミクロモデルのNETSIMの3種類である。

高速道路用に開発された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。基本的に信号処理に関しては、赤の時に擬似的に前方のセグメントの交通密度を渋滞密度に設定することでアルゴリズムを通して車両の走行速度を下げてもその通行を遮断している。

また右左折流に関しては計算の簡便性を優先させ、交差点のセグメント内で幹線（直進方向）からそれぞれ分流し、接続先のリンクで支線から単純に合流するとみなして計算させている。

5. 総論と今後の課題

DYNEMOモデルに代表されるような、ハイブリッドタイプの交通流モデルは、その考え方自体も比較的新しいもので、市販型のシミュレーションにはまだあまり取り入れられていないのが現状であるが、マイクロモデルを考慮したアルゴリズムとアウトプットデータを持ち、かつパソコンレベルの計算機で数十交差点の道路網をシミュレートすることが可能であり、今後その発展が期待されるモデルであろう。

本研究の結果からみれば、これだけでは適合性が高いとは言いきれない部分もあるが、パラメータの調整や計算処理、また信号交差点での走行挙動アルゴリズムを工夫することによって、改善できるものと考えている。信号処理は当初の予想よりも問題は少なく、評価値も期待したものに近い値を算出することができたと考えられる。今後、市街道路網における実際の交通データとの検証も実験する予定である。

これらの成果をふまえた上で、これから先期待される研究としては、ハイブリッドモデルの特徴を活かした、信号制御の動的最適化、経路選択による動的交通配分などが挙げられる。と組み合わせて発展させたいと考えている。

参考文献

- 1) SCHWERDTFEGER, T. : DYNEMO: A Model For The Simulation Of Traffic Flow In Motorway Net-

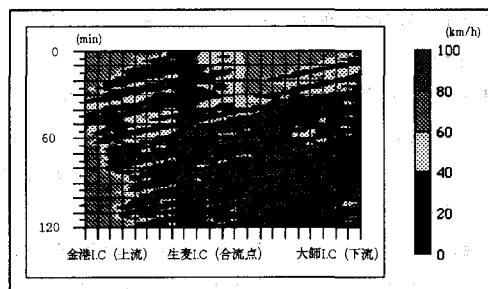


図1 速度分布図（観測値）

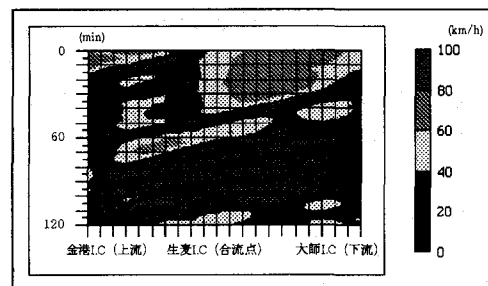


図2 速度分布図（計算値）

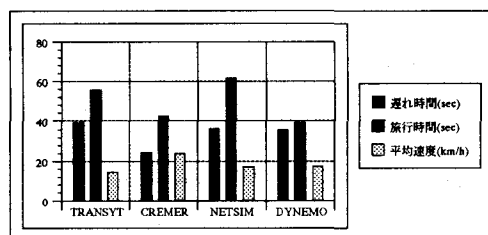


図3 評価値比較

works, Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory

- 2) Putensen, K., Cremer, M. : A Macroscopic Simulation Model Of Urban Traffic Flow And Its Application For Control Systems, Technical University Hamburg-Harburg Federal Republic Of Germany