

IV-19

高速道路網交通流シミュレーションモデルの
市街交通網への適用に関する研究
—DYnamic NETwork Model によるアプローチ—

北海道大学工学部	学生員	渋谷 秀悦
北海道大学工学部	正 員	中辻 隆
北海道大学工学部	正 員	加来 照俊

1. 序章

現在、交通制御システムを開発、評価するために、目的に応じて多様なシミュレーションモデルが設計され、使用されている。それらの交通流モデルは、マクロモデルとミクロモデルの2つに大別されるが、ミクロモデルは、追従理論を用いて車両の運転者による個々の車両の相互の影響を基本に置いているのに対して、マクロモデルは、流体力学理論を用いて交通流を圧縮できる媒体とみなして連続の定理に当てはめている。これら2つのモデルからそれぞれの利点を組み合わせた新しい交通流モデルが、ドイツの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、提唱された。本研究では、この交通流モデルDYNEMOの理論が日本の交通状況に適用できるかを実験を通して比較、検討し、その結果を踏まえた上で日本の市街道路網にこのモデルを応用できるか否かを検討していく。

2. モデルの詳述

このDYNEMOモデルは新しい交通流モデルを基礎に置いている。このモデルはいくつかのマクロのパラメータに従い1本の車道に沿って移動される個々の車両を扱う。これらのパラメータは車両の付近の交通状態に関係している。

ミクロモデルは車両付近の状態に従い1本の道路に沿って移動される個々の車両を扱う。時刻 $t + \Delta t$ での車両の状態は、その車両の状態と時刻 t での付近の車両に依存する。

マクロモデルは交通密度 ρ_i と対応する速度 u_i によって記述された1本の道路のセグメントを扱っている。時刻 $t + \Delta t$ での車道のセグメント S_i の交通状態は、時刻 t におけるセグメント S_{i-1}, S_i, S_{i+1} にわたる交通状態に依存する。

そこでこのDYNEMOモデルは、計算が単純であるというマクロモデルの利点と、個々の車両に関する出力統計が得られるというミクロモデルの利点を組み合わせている。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を扱っていて、次のように説明できる。

1本の車道は距離 l のセグメント $S_i (i=1, \dots, N)$ に分割される。時刻 t におけるセグメント S_i の車両 ρ_i の数によって記述されている。各々のタイムステップでの $u = u(\rho)$ の関係に従って、対応する速度 u_i が決定する。 $u = u(\rho)$ の関係はモデルに入力される。 ρ_i の値は、セグメントへ流入したり流出したりする個々の車両を数えることで実行される。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、速度 u_i, u_{i+1} と時刻 t での車両自身の状態に従って移動される。

Application of Network Traffic Flow Simulation Model for Freeways to Urban Road Network

by Shuetsu SHIBUYA, Takashi NAKATSUJI, Terutoshi KAKU, Faculty of Engineering, Hokkaido Univ.

計算方法は、マクロモデルの計算式に拡散、慣性、緩和の影響を付加項として加えた拡張式を用いる。このモデルの各セグメントでは、速度－密度の関係式を入力として必要とする。このモデルは、道路沿いに入口や出口のない単路線の高速道路で、次のように記述される。

高速道路の区間は距離 $\Delta x_1, \dots, \Delta x_N$ で N 個の部分に分けられる。次のような変数が使われている。

Δt : モデルの時間間隔

Δx_j : 部分 j の距離

ρ_j^n : 時刻 $n \Delta t$ での部分 j の密度

u_j^n : 時刻 $n \Delta t$ での部分 j の車両の空間平均速度

λ_j^n : 部分 $j-1$ から部分 j へ間隔 $[(n-1)\Delta t, n\Delta t]$ に通過した台数

モデルの方程式は

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

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

$$u_j^{n+1} = u_j^n - \Delta t \left\{ u_j^n \left(u_j^n - u_{j-1}^n \right) / \Delta x_j + \frac{1}{T_j} \left[u_j^n - u_c(\rho_j^n) + \frac{v_j}{\rho_j} (\rho_{j+1}^n - \rho_j^n) / \Delta x_j \right] \right\} \quad (c)$$

方程式(a)は車両の保存を表わしている。方程式(b)は車両台数、密度と速度の間の関係である。方程式(c)は力学上の速度－密度の関係であり、係数は $T_j = k\tau \Delta x_j$, $v_j = k\nu \Delta x_j$ である。 $k\tau$ と $k\nu$ の項はそれぞれ緩和時間と予想係数を表わしている。方程式(c)の項の3つのグループは3つの物理学的な作用を表わしている。これらの最初是对流で、すなわちセグメント $j-1$ の交通状態がセグメント j の交通状態に影響することである。2つめの項、 $(1/T_j)(u_j^n - u_c(\rho_j^n))$ は、交通状態が $u_c(\rho)$ の関係によって定義された平衡状態に緩和するという事実を表わしている。3つめの項は交通状態変化の予想モデルである。

この方程式を用いたモデルには、車線毎に計算を行うタイプと、リンク毎に計算するタイプがあるが、本研究ではリンク毎に計算を行っている。

3. 道央自動車道への適用

DYNEMOモデルはシミュレーションを行う際、次に示す入力値を必要とする。

- ・各セグメントの初期値
(地点交通量、交通密度、空間平均速度)
- ・流入地点の地点交通量、空間平均速度
- ・流出地点の交通密度
- ・インターチェンジからの路線途中での流入、流出交通量

まず、ドイツの高速道路路用に開発されたDYNEMOが日本の高速道路状況に、特にアルゴリズムに手を加えず対応できるかを検討する目的で平成5年9月17日に観測を行った。観測は、道央自動車道北広島ICから恵庭ICまでの路線を横切る橋梁を7.9kmにわたって4カ所選び、同時刻に橋梁上からピ

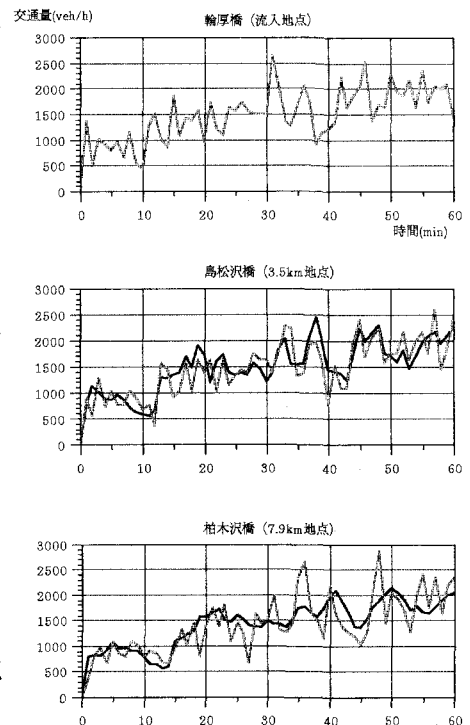


図1 観測値とシミュレーション値

デオ撮影を行った。観測時間は、交通量の変動が比較的大きい時間帯を札幌道路エンジニアリング株式会社の持つ資料から選り出し、走行方向、撮影条件を考慮して6時から8時までとした。撮影したビデオにタイムジェネレータで1/30秒刻みで時刻を書き込み、予め現場で日本道路公団の協力により測定した100m区間を走行する車両1台毎に時刻を読みとり、地点交通量、時間平均速度を算出して入力値として使用した。

事故等による非定常流の発生がみられなかった1時間について、観測区間内から流入地点（和厚橋）、中間地点（島松沢橋）、流出地点（柏木沢橋）の観測による交通量と、中間地点、流出地点のシミュレーションによって算出された交通量を取り出して図1に示した。観測値と計算値を比べてみると、短時間の急激な交通量の変化に対しては対応しきれていない部分はあるが、全体的にみると観測値をほぼトレースしていることが見て取れることと思う。

ビデオから掘り起こしたデータから、この観測時の交通流はすべて自由流であることがわかったので、後に渋滞流についても観測値を入手し、比較検討を行うことになった。

4. 首都高速道への適用

道内の高速道路では普段渋滞が発生しにくいため、その観測も困難である。そこで、渋滞流時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協力していただき、平成5年10月28日から11月1日までの5日間について、午前6時から午後6時までの12時間分の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号横羽線の金港ICから大師ICまでの全長14kmの区間であり、比較的交通状況の変動が大きい箇所を選定していただいた。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、道央道の場合と同様に入力値を作成して、シミュレーションを行った。観測データを分析したところ、事故、故障車の発生による渋滞の発生がいくつかあったのでその時間帯は除外した。

比較検討の一例として、10月29日の午前6時から8時までの120分の平均速度分布図を、観測値を図2に、計算値を図3に示す。横軸は、左端が金港IC（上流）、右端が大師IC（下流）と観測地点を示し、縦軸は上から経過時間（分）を示している。また、分布図のパターンが速度の範囲（km/h）を示している。

全体的に見てみると、まず観測値の方の速度変化が非常に細かいのが目に付く。これはミクロ的な観測により断続的に変化する値と、マクロ的な計算により連続的に変化する値との差がこのように現れているものと思われる。また最下流の密度を入力値として与えることにより下流からの渋滞流の伝搬がシミュレートできるのだが、両図を比べてみると部分的に再現されていないことがわかる。しかし観測値の分布図が示す、渋滞の発生、成長の傾向を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）から発生する渋滞に関しても同様な結果を示している。

5. 市街道路網への適用

市街道路網をビデオ撮影で観測するのは撮影条件、機材繰りなどかなり困難なので、今回は他の街路対応シミュレーションモデルと同じ入力データを計算し、評価値を比較して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仮想のデータで、2ノード、20レーンの単純なものである。評価値としては、旅行時間、遅れ時間、平均速度を算出して比較している。詳しい結果等は、この冊子内の論文「交通流シミュレーションモデルに関する研究 ―ミクロモデル、マクロモデル、ハイブリッドモデルの比較―」に掲載されているので一読していただきたい。

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問題が生じる。これに関しては試験的ではあるが、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、信号が青の時にはその地点の交通量を上流から計算し、赤の時にはその通行を遮断することで成り立たせている。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分流、接続先のリンクで合流するとみなして計算させている。

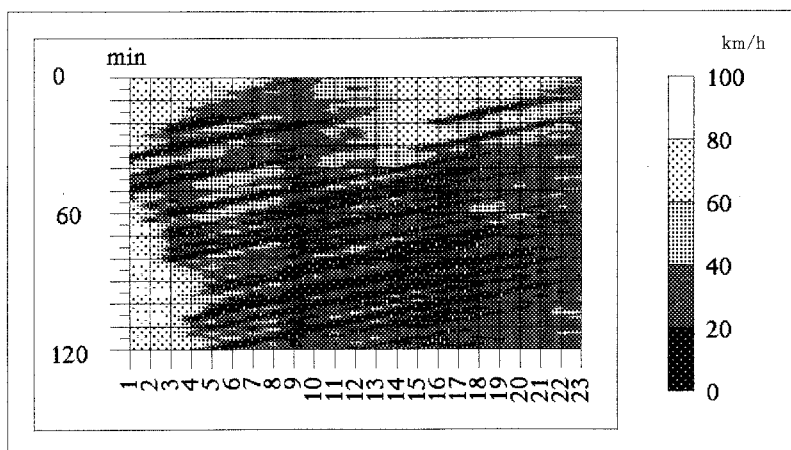


図2 観測値

6. まとめ

DYNEMOモデルに代表される交通流の考え方は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ほとんど取り入れられていないが、ミクロモデルに近いアルゴリズムを持ち、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、今後注目されるモデルとなるであろう。本

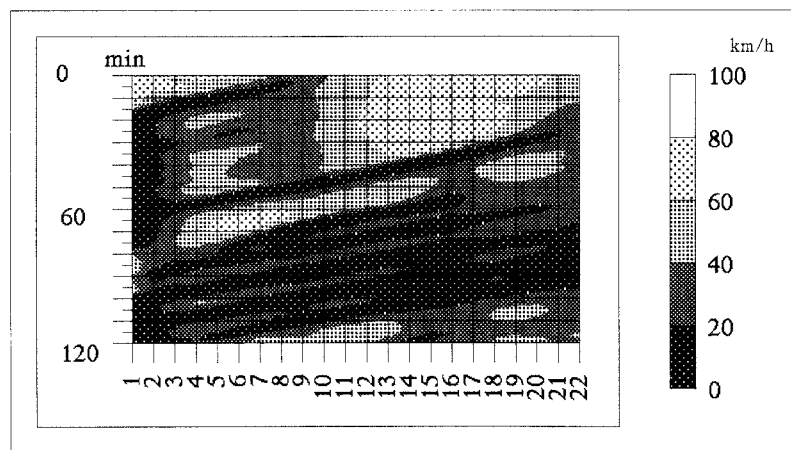


図3 シミュレーション値

研究の結果からみれば、適合性に不安を見せる点もあるが、パラメータの調整や方程式の改良などの作業により、改善できるものと考えられる。信号処理は当初の予想よりも問題は少なく、評価値も期待どおりの値を算出できた。これらの成果をふまえ、これから先信号制御の動的最適化、経路選択による交通配分などに応用させていきたいと考えている。

参考文献

- 1) Thomas Schwerdtfeger : DYNEMO: A Model for the Simulation of Traffic Flow in Motorway Networks, Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory
- 2) Harold J. Payne, ESSCOR, San Diego : FREFLO: A Macroscopic Simulation Model of FreeWay Traffic
- 3) K. Putensen, M. Cremer : A Macroscopic Simulation Model of Urban Traffic Flow and its Application for Control Systems, Technical University Hamburg-Harburg Federal Republic of Germany
- 4) Adolf D. May, Jr., and Hartmut E. M. Keller : Non-Integer Car-Following Models, ITTE, University of California, Berkeley