

# 混雑したネットワーク交通流の動的シミュレーション

## Dynamic Traffic Simulation of Congested Network Flow

井上博司\*

Hiroshi Inouye

### 1. はじめに

本稿においては、混雑した交通流の動的シミュレーション手法を一般のネットワークに適用するために必要な技法について述べる。ネットワーク上でシミュレーションを行なうためには、交通需要のOD構成を考慮してフローの表現単位が設定される必要がある。また分流部、および合流部での交通流動が適確に表現される必要がある。交通渋滞は合流点、分流点を越えて上流側に延伸していきることがあり、このような現象が再現できるように、モデル化がなされなければならない。さらに経路選択についても考慮しておく必要がある。

### 2. 分・合流部のモデル化

#### (1) フローの表現単位

起点および終点が数多くある一般のネットワークを対象とする場合には、フローを起終点によって分別しておく必要がある。パケットのようにフローの表現単位をODペアごとに設定すると、非常に数多くのフロー単位を取り扱わねばならないので、シミュレーションの効率性が低下する。任意のセクション上に存在する経路選択基準と終点が同じフローは、いずれの起点から出発したかにかかわらず同一の経路選択行動をとるとすると、フローを起点によって識別する必要がないので、単に経路選択基準と終点によってのみフローを分別しておけばよい。と

キーワード：交通流、ネットワーク分析

\* 正会員 工博 岡山大学環境理工学部環境デザイン工学科  
〒700 岡山市津島中2-1-1 Tel. 086-251-8162

Fax. 086-253-2993

くに経路選択基準が1種類だけの場合には、終点によってのみ分別すればよい。任意のセクションのトータルフローは、

$$q_i = \sum_k \sum_r q_i^{kr} \quad (1)$$

となる。ここに、 $q_i$ ：セクション*i*のトータルフロー、 $q_i^{kr}$ ：セクション*i*の終点*k*、経路選択基準*r*のフロー。

#### (2) 分流のモデル

フローの分流点においては、経路選択基準から得られる情報にもとづいてフロー単位を終点によって分流させるが、このとき渋滞流が分流点を越えて上流側に延伸していきという現象を再現できるようにモデル化しておく必要がある。また分流点での交通流モデルが単路部でのモデルと相似形になるようにしておく必要がある。なお信号交差点では信号現示との同期を考慮しなければならないので、ここでは信号のない分流部を対象とする。

いまセクション*i*から二つのセクション*j*、*k*に分岐するものとする。このとき経路選択モデルから得られる情報、すなわちセクションの端末からそれぞれの終点に至る次のセクションの情報にもとづいて、各フロー単位を、セクション*j*を利用する部分とセクション*k*を利用する部分に分けることができる。

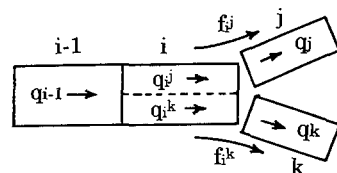


図-1 分流部での交通流モデル

ただしセクション内ではフローは一様であるという仮定から、両者は同じ速度で動いており、その交通流状態はセクション*i*における全体の交通量と密度によって決まる共通のものとしておく。ここでセクション*j*を利用する部分の交通量を $q_j^i$ 、セクション*k*を利用する部分の交通量を $q_k^i$ 、とすると、セクション*i*からセクション*j*への流入交通量 $f_j^i$ は、両セクションの交通量およびその交通流状態（渋滞、非渋滞の区別）によって決定することができる。セクション*i*からセクション*k*への流入交通量 $f_k^i$ についても同様である。ただし下流側セクション*j*と*k*の交通量により流入交通量が決定される場合には、セクション*i*内のフローの一様性の仮定が保てないので、次のような修正を行なっておく必要がある。

$$f_j^i \leftarrow q_j^i \min \left( f_j^i / q_j^i, f_k^i / q_k^i \right) \quad (2)$$

$$f_k^i \leftarrow q_k^i \min \left( f_j^i / q_j^i, f_k^i / q_k^i \right) \quad (3)$$

もちろんセクション*i-1*からセクション*i*への流入交通量は、セクション*i-1*の交通量と交通流状態およびセクション*i*の全体の交通量と交通流状態から決定される。このように、単路部での基本モデルに相似な形で分流部の交通流を取り扱うことができる。

### (3) 合流のモデル

合流部においては、分流部の裏返しを行なえばよい。いまセクション*i*においてセクション*j*とセクション*k*のフローが合流するものとする。

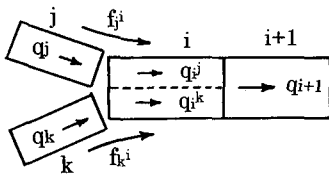


図-2 合流部での交通流モデル

このときセクション*i*内のフローを、セクション*j*からのフロー $q_j^i$ とセクション*k*からのフロー $q_k^i$ に分ける。フロー $q_j^i$ および $q_k^i$ の交通流状態は、セクション*i*の全体の交通量および密度から決まる共通のものとする。このとき、セクション*j*からセクション*i*への流入交通量 $f_j^i$ は、フロー $q_j^i$ およびフロ

ー $q_k^i$ および両セクションの交通流状態より決定することができる。セクション*k*からセクション*i*への流入交通量 $f_k^i$ についても同様である。セクション*i*からセクション*i+1*への流入交通量は、セクション*i*の全体の交通量と交通流状態およびセクション*i+1*の交通量と交通流状態より決定できる。このように、合流部の裏返しを行なうことによって、単路部の基本モデルに相似な形で合流部の交通流を取り扱うことができる。

## 3. 経路選択

経路選択基準としては、ペリオディック・スキャンニング方式によるシミュレーションでは、既往の多くのモデルと同様に、動的利用者最適基準すなわち、終点まで到達する任意の時点において、終点までの所要時間が最小となる経路を選択するという基準を用いるのがよい。この場合各分流点において、それぞれの終点まで最短時間で到達するための次のセクションをラベルとして保持しておればよい。最短時間経路探索には時間がかかるので、経路の更新は各スキャンタイムごとではなく、ある程度の時間間隔で行なうことになる。

## 4. 簡単なシミュレーション例

### (1) 単路での交通流のシミュレーション

図-3に示す5つのセクションからなるネットワークを想定する。各セクションの交通流特性はすべて同一とし、速度-密度関係および交通量-密度関係を図-4、図-5のように仮定する。セクション1への流入交通流がセクション5まで流れるものとし、その交通量発生時間パターンを図-6のように想定する。セクション1から4までは容量制限がなく、単位時間あたり最大100台の交通量が流れるが、セクション5では単位時間あたり最大60台に制限されているものとする。 $\Delta t = 0.1$ 、 $\Delta x = 2$ として、 $t=0$ から $t=10$ までのシミュレーションを行なう。なおここでは数値をすべて無次元で表示している。

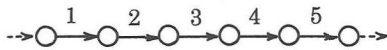


図-3 シミュレーション対象ネットワーク

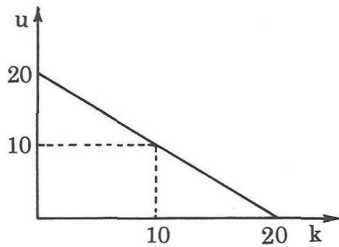


図-4 速度-密度関係

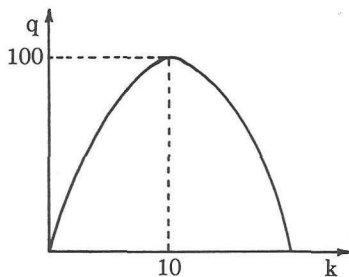


図-5 交通量-密度関係

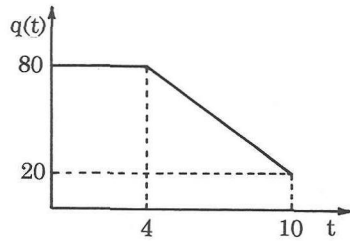


図-6 交通発生時間パターン

図-7はシミュレーションの結果を3次元的に表示したものである。容量制限の課されたセクション5から交通量60に対応する密度16.3の渋滞流が発生し、時間の経過とともに上流のセクション4およびセクション3へと延伸している。さらに時間の経過とともに需要交通量が減少するため、上流側のセクション3から渋滞流が次第に解消している。

(2) 分・合流部をもつネットワークでのシミュレーション

図-8に示す合流部と分流部をもつ6セクションよりなるネットワークを対象とする。各セクションの速度-密度関係は図-4に示したものと同一とする。ただしセクション3、4の飽和密度は他のセクションの2倍の40とする。セクション1~5では交通量の制限はないが、セクション6では、末端にお

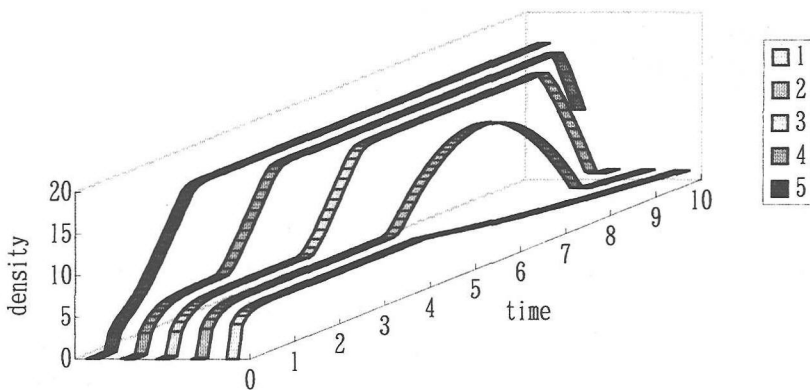


図-7 単路部交通流のシミュレーション結果

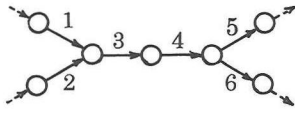


図-8 シミュレーション対象ネットワーク  
いて単位時間あたり最大 60 台に交通量が制限されているものとする。OD交通量を表-1に示す。ここに  $q(t)$  はOD交通量発生の時間的パターンであり、全てのODについて図-6に示したものと同一であるとする。

表-1 OD交通量

O\D	5	6
1	$0.4q(t)$	$0.4q(t)$
2	$0.6q(t)$	$0.6q(t)$

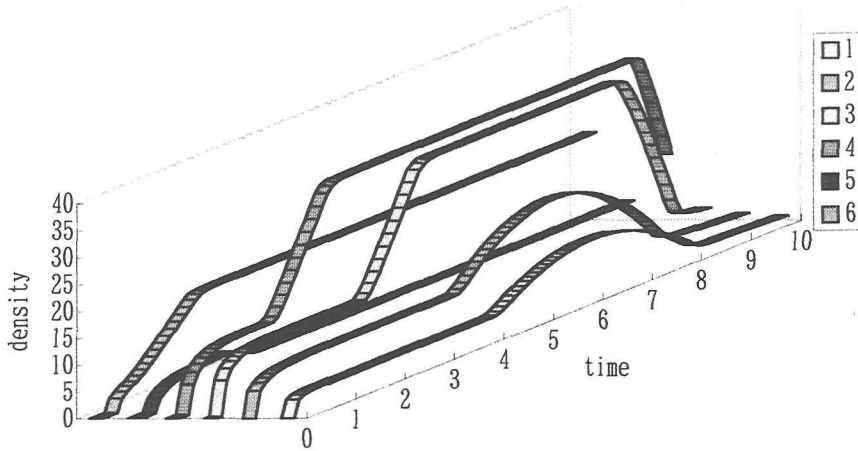


図-9 シミュレーション結果の3次元表示

図-9はシミュレーション結果を3次元的に表示したものである。まずセクション6で交通量60に対応する渋滞流が発生し、時間の経過とともに分流点を越えて次第に上流のセクション4、セクション3へと延伸している。さらに時間の経過とともに、合流点を越えてセクション1、セクション2へと渋滞が延伸している。やがて需要交通量が小さくなるため、上流のセクション1、セクション2から渋滞が

解消し、さらに合流点を越えてセクション3、セクション4も急激に渋滞が解消に向かっている。セクション6では需要交通量が小さくてもセクション内にフローが残っているため最後まで渋滞が続くが、セクション5では交通量を処理できるため、渋滞は発生していない。なおセクション5の密度がほぼ一定なのは、セクション内で交通流が一様であるという仮定より、セクション6の渋滞のため、セクション5への流入量が抑制されているためである。

## 5. おわりに

本稿においては、混雑した交通流のシミュレーション手法を一般のネットワークに適用するための技法について述べた。その際、実際の交通現象が適確に表現できるよう、また単路での交通流モデルと矛盾しないようモデル化を行なった。本シミュレーションモデルでは、分流点や合流点を越えて渋滞が上

流に延伸し、また解消していく過程を適確に表現することが可能である。実際の街路網を対象とするときには、交差点での交通流、とくに交差点流入部での直進交通と右・左折交通との分岐、ならびに交差点流出部での直進交通と右・左折交通との合流、ならびにこれら交通流と信号制御との同期を適確に表現することが必要である。これらについては、まだ未解決の点が多く、今後の課題としたい。