

## 9. 都市街路網の交通流シミュレータ - AVENUE - の開発

(株)熊谷組 正会員 ○堀口良太  
 東京都立大学 正会員 片倉正彦  
 東京大学生産技術研究所 正会員 桑原雅夫

## 1. はじめに

信号制御や交通規制などの評価・検討のために、利用者の経路選択を考慮したシミュレーションツールが有効な手段となりうる。これまでも都市街路網のシミュレーションを対象にしたCONTRAMやSATURNあるいはMACSTRANといったシステムが開発されているが、渋滞時における交通密度の管理が簡略化され過ぎていたり、交差点での個別車両の挙動が交通に及ぼす影響を表現することが不十分であるなど、いくつかの問題点が指摘される。1984年に東京大学生産技術研究所で信号制御評価のために開発されたDESCモデルは、過飽和の交通流にも対応できるようブロック密度法に基づき、また交差点での個々の右折車両の影響を考慮しているが、交通量を流体的に扱っているためシミュレーション結果を実現象に近づけるための交差点での右左折率の調整や交通規制の表現が困難である等の問題があった。その後もブロック密度法を改良して経路選択を内包したものが開発されているが、流体的な交通の扱いではブロック毎に目的地別の密度分布の変更を行わなければならない、1スキャンにおける計算量が非常に多くなってしまい、という問題があった。

本稿ではDESCモデルを発展させた都市街路網の交通流シミュレータ - AVENUE (Advanced & Visual Evaluator for road Networks in Urban arEas) について述べる。AVENUEはオブジェクト指向にしたがって設計されており、離散的な車両オブジェクトをブロック密度法によって移動させるハイブリッド方式で交通流を管理する。各車両は目的地情報をもっており、内包された経路選択モデルにしたがって配分される。また基本的な信号制御方式を実装したオブジェクトが用意され、その評価が容易に行える。さらに道路ごとに詳細度の異なったモデル化を行い、レーンごとの規制なども表現できる。AVENUEは開発当初からデータの入力やシステムの操作、結果の出力などについても考慮しており、ユーザフレンドリーなグラフィックインタフェースを提供する。

## 2. AVENUEの開発方針

AVENUEは信号交差点で制限される都市交通流を対象としている。ネットワークの規模は交差点数80程度を想定している。一般に都市街路網では過飽和の交通状況も少なくなく、シミュレータには

- 信号による発進波、停止波の伝播を含む非定常的な交通流をダイナミックに再現できる
- 右折車両のブロッキングのような交差点付近の個別車両の交通に対する影響を再現できる
- 車両の経路選択モデルを内包する

というような機能が必要である。

またAVENUEは一般ユーザの使用を想定しており、これまでのシミュレータでは不十分な点が多かったユーザインタフェースについても、画面上でマウスで簡単に操作・確認ができるようなユーザフレンドリーなものを当初から作成している。

## 3. AVENUEの交通流の管理

AVENUEでは与えられたOD交通量に基づいたシミュレーションを行うため、行き先情報をあたえた車両オブジェクトを発生させている。ここでは流体的に管理した交通量に基づいて離散的な車両を移動させるハイブリッドブロック密度法について述べる。

## 3.1 ブロック密度法

ブロック密度法ではリンクは単位距離 $dL$ で区切られたブロックに分割される。単位距離はスキャンインタバル $dt$ (=1秒)の間にそのリンクの自由流速度で進む距離である。各ブロック $B_i$ にはリンク容量 $Kc_i$ とジャム密度 $Km_i$ が与えられ、時刻 $t$ における車両密度 $K_i(t)$ に基づいて流出可能量 $A_{out}(t)$ と流入可能量 $A_{in}(t)$ が次式のように定義される。すなわち

$$A_{out}(t) = \min(Kc_i, K_i(t)) \frac{dL}{dt} \quad \dots (1)$$

$$A_{in}(t) = \begin{cases} (Km_i - K_i(t)) \frac{dL}{dt} & (K_i(t) \leq Kc_i) \\ \frac{Kc_i (Km_i - K_i(t))}{Km_i - Kc_i} \frac{dL}{dt} & (Kc_i < K_i(t) \leq Km_i) \\ 0 & (K_i(t-1) = Km_i) \end{cases} \quad \dots (2)$$

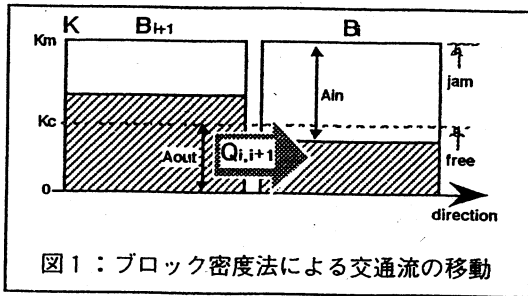


図1：ブロック密度法による交通流の移動

である。これにより隣接するブロック $B_i$ と $B_{i+1}$ 間の移動交通量 $Q_{i,i+1}(t)$ は、下流ブロックの流入可能量 $A_{in_i}(t)$ および上流ブロックの流出可能量 $A_{out_{i+1}}(t)$ の最小値で決定される(図1)。すなわち

$$Q_{i,i+1}(t) = \min(A_{in_i}(t), A_{out_{i+1}}(t)) \quad \dots (3)$$

となる。次の時刻 $t+1$ におけるブロック $B_i$ の車両密度 $K_i(t+1)$ は

$$K_i(t+1) dL = K_i(t) dL - Q_{i,i+1}(t) dt + Q_{i,i-1}(t) dt \quad \dots (4)$$

のように改訂される。このような交通流の管理により信号による停止波・発進波の伝播が再現できる。

### 3.2 離散的な車両移動—ハイブリッドブロック密度法

(3)式により連続量として算出されたブロック間の移動交通量 $Q$ は切り上げることで整数値 $M$ に変換される。この整数値の台数分だけ上流ブロックから車両オブジェクトを獲得することで離散的な車両移動を行う。同時に各ブロックでの交通量を保存するために、切り上げによって増えた小数点以下の交通量(アンダーフロー) $E$ は上流ブロックと下流ブロックの補正值として保存される。すなわち

$$M = \text{ceiling}(Q) \quad \dots (5)$$

$$E = M - Q \quad \dots (6)$$

このとき次時刻において各流出・流入可能量を求めるためのブロック $B_i$ の車両密度 $K_i$ はブロック内の車両台数 $N_i$ と補正值 $E_i$ で次のように求められる。

$$K_i = N_i + E_i \quad \dots (7)$$

いったんアンダーフローが生じると、次のスキャン以降ではそのアンダーフローの分が移動し終わるまで連続量でブロック間の密度を改訂し、離散的な車両オブジェクトの移動を行わない。

### 3.3 ハイブリッド密度法でのレーン毎の制約の設定

ハイブリッドブロック密度法の長所の一つは、各

ブロックに判別基準を設けて個々の車両を取捨選択して移動させることができる点にある。たとえば右折専用レーンの設置などのようにリンク内部に細かな制約を設けたい場合は、レーンごとにブロックに分割してハイブリッドブロック密度法で車両を移動させる。このとき各ブロックに車両の進行方向に対する制約を記述しておくことで、車両移動の際に自ブロックの制約を満たす車両のみを上流ブロックから取捨選択して移動させることでその制約を実現できる。図2を例にとると、各ブロックに課せられた進行方向に対する制約は矢印で示されており、ブロックAにいる車両のうち左折するものはBに、右折するものはCにのみ移動可能であり、直進車はB、Cどちらにも移動することができる。またDにいる車両のうち右折車は直進してEに移動できないような設定になっているので、次スキャンでは必ず右折専用レーンのFに移動する。

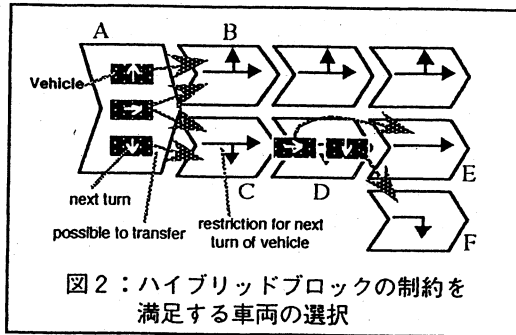


図2：ハイブリッドブロックの制約を満足する車両の選択

現在のところブロックに記述できる制約は次交差点での進行方向に対するものだけであるが、そのほかにもバス専用レーンなどの設定のための車種による制約、乗り合いレーンのための乗車人数に対する制約なども考えられている。

### 3.4 ハイブリッド密度法での車線変更の実現

ハイブリッドブロック密度法では、あるブロックの上流・下流のブロックは1つに限らず、必要に応じて複数のブロックをもつことができる。このとき下流ブロックはスキャン内に複数の上流ブロックを評価して移動車両を決定する。

リンクをレーン毎のブロックに分割した場合、車両がどのレーンを通るかが問題になる。AVENUEでは車両がリンクに流入した時点で、次の交差点での進行方向に応じたレーンのブロックがその車両を獲得し、必要に応じて車線変更を行うものとしている。車線変更が必要な場合とは、信号や障害物などの影響でレーン

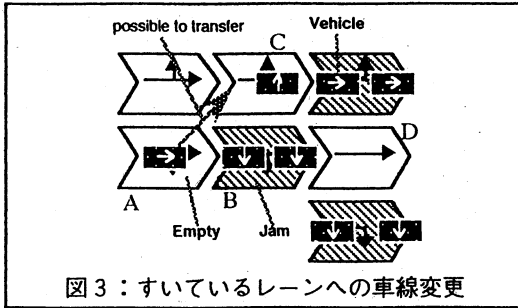


図3：すいているレーンへの車線変更

の直進方向が先詰まりになっているときである。図3を例にとると、ブロックAの直進方向にあるBは右折車両でいっぱいになっているが、このような場合はAを斜め方向のすいているCに関係づけると、Aの直進車両はとなりのレーンに車線変更をすることができるようになる。一方ブロックCも直進方向が詰まっているので斜め方向のDと関係づけられるが、Cにいる左折車両は3.4で述べたようなブロックの制約を満たさないで車線変更を行わない。

### 3.5 詳細度の異なる交通流モデル

AVENUEはハイブリッドブロック密度法を基本にしているが、目的に応じてネットワークの一部を詳細度の異なったモデルにすることができる。ひとつは比較的详细な交通現象を再現する必要のない部分に対してのマクロなモデルで、計算コストの軽減のために通常のブロック密度法に基づいて交通流の移動を行うものである。この場合のブロックは複数のレーンをカバーし、またブロック長を可変にすることでスキャン毎に密度の改訂の必要がないものになっている。もう一つは個々の離散的な車両の追従によるミクロなモデルである。こちらは織り込み区間などのようにブロック密度法による交通流の管理だけでは再現が困難な部分に適用する。

### 3.6 信号交差点での交通流

信号交差点部の交通は全てハイブリッドなものとして扱う。リンクの最下流は信号による制約を受けるブロック(信号ブロック)で構成され、ブロックの進行方向にある下流リンクの最上流のブロックと接続している。それぞれの信号ブロックは関係する信号灯器の現示に応じて流出可能量を変化させる。また右折交通に対しては現示の変わり目での捌けとギャップを考慮して車両の移動を行う。例えば図4では、信号ブロックAは信号灯器Sを参照しており、左折先のリンクの最

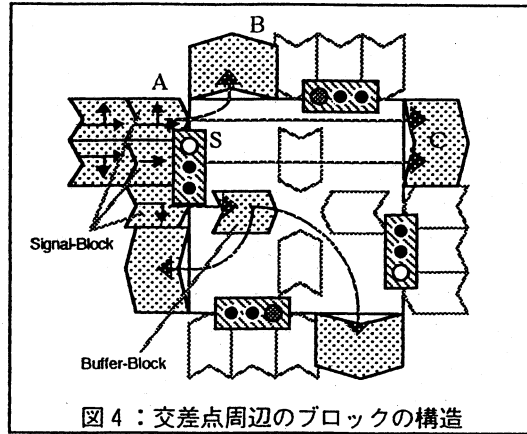


図4：交差点周辺のブロックの構造

上流ブロックBと直進先のリンクの最上流ブロックCと関係付けられている。Sの現示が青になったとき、Aは車両を流出させることができ、BはAの左折車両を、Cは直進車両を選択して移動させることで、各車両は正しいリンクに流入する。現示が赤のときはAの流出可能量は0になり、車両は移動しない。

### 3.8 交通流の配分

AVENUEでは一定時間毎に経路探索を行い、各リンクオブジェクトの方向表示の属性を変更する。車両はリンクに流入した時点で、そのリンクの方向表示属性を参照して次に流入するリンクを決定する。

リンクの旅行時間はそのリンクの交通量の関数として表現され、さらに右左折と直進交通それぞれに対して旅行時間のシミュレーションによる値と関数による値との差がペナルティとして与えられる。現在のところはこの情報に基づいて求めた最短経路に配分している。

## 4. システムの概要

AVENUEはSUN4 SPARC2で稼働するリアルタイムエキスパートシステムG2上に構築されている。G2はルールによる宣言的な知識の表現のほか、オブジェクトの概念や手続き的なプログラミング言語を備え、様々な問題の記述が可能である。またG2は優れたグラフィックインターフェースをもち、モデル構築のために画面上的アイコンに対応付けられたオブジェクトどうしをG2が用意するコネクションで接続することで容易に関係付けることができる(図5)。

AVENUEへの入力

- 1) 道路ネットワークデータ

2) 信号制御パラメータ

3) OD交通量

などで、いずれもグラフィカルに入力することができる。

システムはシミュレーション結果の交通状態を画面上にダイナミックに表示するほか、出力として

- 1) 特定のリンクや経路などについての渋滞長情報
- 2) 特定のリンクや経路あるいはネットワーク全体についての旅行時間情報
- 3) 車線占有率、パルスデータなどの感知器情報などを得ることができる。

5. おわりに

AVENUEは現在開発の第1段階を終えたところであり、システムの正当性評価のための事例適用を検討

している。今後は機能向上のための開発を続けると共に、より一般的なものを目指して様々な事例に適用するように努めていく予定である。

参考文献

- 1) 尾崎晴男:「街路網信号制御の評価シミュレーションモデル(DESC)」, 交通工学 Vol.24 No.6 pp.31-37, 1989
- 2) 上田功, 他:「経路選択—シミュレーションモデルの開発」, 土木計画学研究講演集No.14(1), 1991
- 3) 交通工学研究会:「交通工学ハンドブック」, 技報堂出版
- 4) P. Coad & E. Yourdon: "Object-Oriented Analysis", Yourdon Press, 1991
- 5) P. Coad & E. Yourdon: "Object-Oriented Design", Yourdon Press, 1991

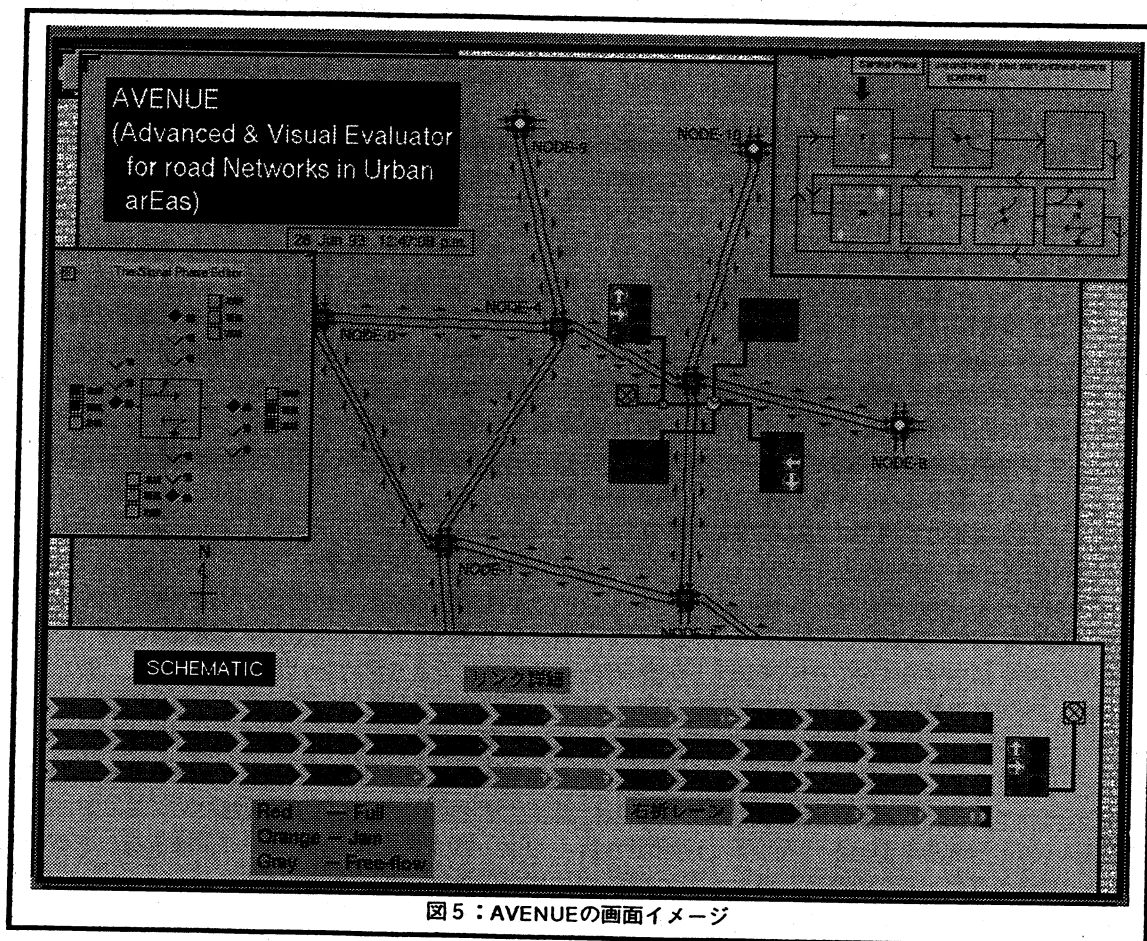


図5: AVENUEの画面イメージ