

経路選択—シミュレーションモデルの開発

Development of a Traffic Simulation Model Incorporating Route Choice

上田 功¹⁾, 坪野寿美夫²⁾, 桑原雅夫³⁾, 赤羽弘和⁴⁾, 尾崎晴男⁵⁾

Isao UEDA, Sumio TSUBONO, Masao KUWAHARA, Hirokazu AKAHANE, and Haruo OZAKI

This study develops a traffic simulation model which incorporates driver's route choice behavior. The model attempts to approximately reproduce time dependent traffic conditions under the user equilibrium principle, given the temporally varying OD demand. The Block-Density Simulation Model is combined with the shortest route search to update a route for each OD pair at certain time intervals. The model is applied to the Tokyo Expressway network. Although the simulated travel times from fringes of radial routes to the central area fairly well agree with the observed ones during uncongested period, the travel times to be over-estimated in congested situation. The problems of adjusting the parameters of blocks, examining the route choice logic, etc. must be resolved.

1. はじめに

交通需要予測においても渋滞列の長さなどに代表される時間的に変動する渋滞状況を予測することが要望されている。また、一方通行や右左折禁止などの交通運用策を施した場合の、渋滞・環境への影響を評価するためにも、利用者の経路選択の変化を考慮しながら、交通状況の時間変化を推定したい場合が多い。しかしながら、特に過飽和

ネットワークにおいて時間的にダイナミックに変化する経路選択行動と交通状況を再現できる実用性のあるモデルは今のところ開発されていない。

過飽和時には、交通需要の僅かな変動が旅行時間等の交通状況を大幅に変化させる。過飽和時の配分交通量の推定精度を改善するためには、このような渋滞現象を再現することが不可欠である。そこで本研究では、従来の配分モデル以上に過飽和時の交通状況を良く再現できるシミュレーションモデルを基本に、それに経路選択の機能を加えたモデルの開発を行った。

本モデルは厳密な意味での動的な均衡交通量配分を目指したものではなく、シミュレーションと最短経路選択を交互に行うことによって近似的な均衡交通流の時間変化を得ようとするものである。

1) 学生会員 東京大学生産技術研究所

2) 正会員 首都高速道路公団計画部調査課

3) 正会員 東京大学生産技術研究所

4) 正会員 千葉工業大学土木工学科

5) 正会員 東京大学生産技術研究所

(〒106 東京都港区六本木7-22-1)

2. モデルの構成

モデルは、シミュレーションモデルと経路選択モデルの2種類からなり、図-1に示すようにこの2種類のモデルを繰り返し適用することによって、

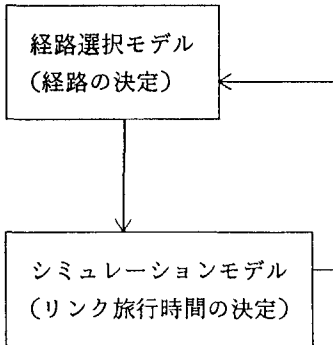


図-1 経路選択モデルとシミュレーションモデル

近似的な均衡交通流の時間変化を得ようと試みた。すなわち、シミュレーションモデルでは、経路選択モデルで指定された経路に従って交通量を流してリンク旅行時間を再現する。一方、経路選択モデルはシミュレーションモデルで再現されたリンク旅行時間を基に、ODペアごとの利用経路をある一定時間間隔で改訂するという構造である。

2.1. シミュレーションモデル

シミュレーションモデルにはブロック密度法を用いた。ネットワークは通常の分析と同じようにノードとリンクで構成されるが、ブロック密度法ではリンクをさらに細かいいくつかのブロックに分割する。

図-2は、横軸に距離、縦軸に時間を取り、各時間の各ブロックの密度とブロック間の交通量を表した図である。ブロック密度法は、各ブロックの密度の初期値を与件として、各ブロックの密度 $K_j(t)$ をスキャニングインターバル(dt)ごとに修正していく方法である。以下、ブロック密度法の概略を説明する。

図-2において初期密度 $K_j(t), K_{j+1}(t), \dots$ とネットワーク下流端からの流出交通量 $Q_j(t)$ が与えられた場合に、密度が上流に向けてどの様に修正されていくのかを説明する。

下流端のブロック j について、連続式を立てると、

$$K_j(t+1)dL_j = K_j(t)dL_j + Q_{j+1}(t)dt - Q_j(t)dt \quad (1)$$

$Q_j(t)$ = 時刻 t から $t+1$ 迄にブロック j から流出する交通量

$K_j(t)$ = ブロック j 内の時刻 t における密度

dt = スキャニングインターバル

dL_j = ブロック j の長さ

となるので、もしも流入交通量 $Q_{j+1}(t)$ が決められれば、密度 $K_j(t+1)$ が更新できることとなる。したがって、如何に流入交通量 $Q_{j+1}(t)$ を決めるのかがポイントとなる。

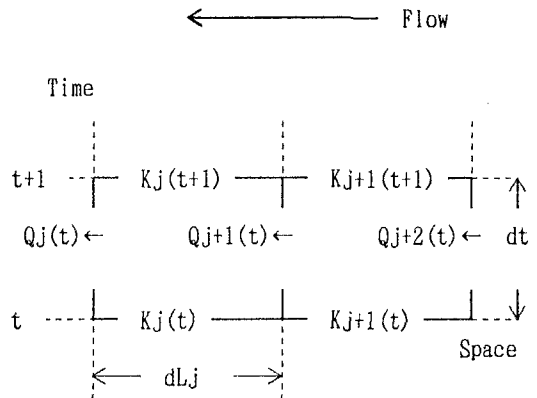


図-2 各ブロックの密度と交通量の関係

基本的考え方は、ブロック j が受け入れることのできる受け入れ可能交通量と、上流側のブロック $j+1$ からの需要交通量を比較し、小さい方を $Q_{j+1}(t)$ というものである。

まず需要交通量であるが、上流ブロック $j+1$ の存在台数は、 $K_{j+1}(t) \cdot dL_{j+1}$ でスキャンインターバル

dt間にこれらすべてが下流ブロックに移動する（自由速度= dL_j/dt ）ようにブロック長を設定すると、

$$\text{需要交通量} = K_{j+1}(t) \cdot dL_j/dt \quad (2)$$

となる。

一方、受け入れ可能交通量は、ブロックjの交通状態から求められるべき量で、そのブロックの幾何構造から決まる密度と交通量との関係を満たさなければならないという条件から決められる。本研究では、次のように $K_j(t+1)$ と $Q_{j+1}(t)$ がQ-K曲線、 $f_j(K_j)$ 上にあるという条件を用いた（図-3参照）。

$$Q_{j+1}(t) = f_j\{K_j(t+1)\} \quad (3)$$

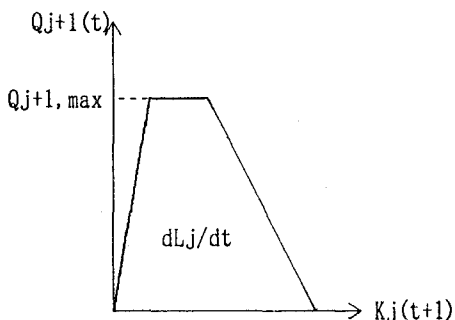


図-3 Q-K曲線

ブロックjの状態が、自由流状態の場合には、式(2)で仮定したようにブロックjの速度は dL_j/dt であるので、式(3)は

$$Q_{j+1}(t) = dL_j/dt \cdot K_j(t+1) \quad (4)$$

となり、連続式(1)にこの関係を代入すると、

$$Q_j(t) = dL_j/dt \cdot K_j(t) \quad (5)$$

が得られる。よって、既知である $Q_j(t)$ と $K_j(t)$ が式(5)を満たす場合には、ブロックjは自由流状態であるものと見なすことができ、受け入れ可能交通

量は、予め設定されているブロックjとj+1の境界断面容量（＝ブロックj+1の容量）の $Q_{j+1, max}$ とする。

式(5)が満たされない場合は、ブロックjは自由流状態ではないので、連続式(1)とQ-K曲線(3)を連立させて求められる流入量 $Q_{j+1}(t)$ を受け入れ可能交通量とする。

最後に、求められた需要交通量と受け入れ可能交通量を比較して、小さい方を流入交通量 $Q_{j+1}(t)$ とし、連続式(1)より時刻t+1における密度 $K_j(t+1)$ を改訂する。これらより時刻tのブロックjの旅行時間 $T_j(t)$ が、

$$T_j(t) = dL_j \cdot K_j(t+1) / Q_{j+1}(t) \quad (6)$$

のように決められ、次に述べる経路選択モデルに受け渡される。

以上の方法で $K_j(t+1)$ と $Q_j(t)$ が決められれば、ブロックを一つ上流側に移し、ブロックj+1において同様の計算を行うことができる。このようにブロック密度法では、連続式(1)とQ-K曲線関係(3)を使って、下流側のブロックから上流に向かって計算を進める。

合流部、分流部では上記の単路部での演算を多少修正する必要がある。図-4のような合流部においても、ブロックj+1、j+2からの需要交通量の求め方は同じ手続きをとる。一方、ブロックjの全体の受け入れ可能交通量も同じ方法で求めるが、この受け入れ可能交通量を2つの上流ブロックに予め設定されている合流比率で分割するという手続きが加わる。

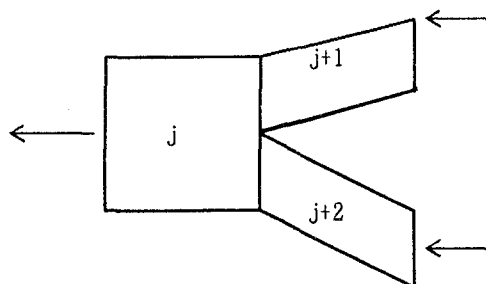


図-4 合流ブロック

図-5の分流部で異なるのは、分流ブロックjの需要交通量を下流の2つのブロックに分割する点である。これまでは、簡単のために各ブロックの密度を目的地別に区別せずに説明してきたが、各ブロックには、目的地の異なった交通が混在しており、需要を分割するためには以下のような目的地別の密度を各ブロックが情報として持っていないなければならない。

$$K_{js}(t) = \text{ブロック } j \text{ 内の目的地 } s \text{ をもつ交通の時刻 } t \text{ における密度 } (K_j(t) = \sum_s K_{js}(t))$$

この後で述べる最短経路探査の結果から、ネットワークの各分流点において、ある目的地を持つ交通が次にどちらのブロックに進むべきかを決定することができる。この情報を分流ブロックに記憶させておき、時刻tにおける交通密度($K_{js}(t)$)を目的地別に分流させる。

このように交通を目的地別に決められた経路に割り振るためには、 $K_{js}(t)$ のようにブロックに目的地のラベルsをもたせる必要があり、シミュレーションモデルとしてブロック密度法を用いた大きな理由は、この目的地ラベルをもたせやすいことにある。大規模ネットワークではよく用いられるシミュレーションの方法として、インプット・アウトプット(I/O)法があるが、計算の進め方が下流側からだけでなく上流側からの計算も交互に行うので、目的地ラベルの管理がしにくい。今回回は用いなかった。

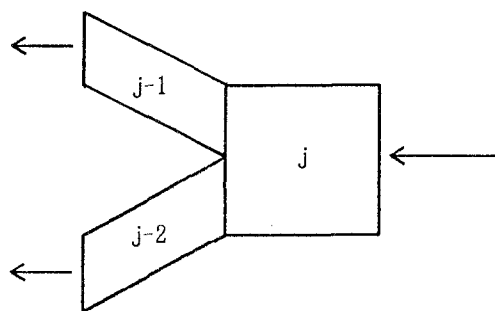


図-5 分流ブロック

2. 2. 経路選択モデル

各ODペアの交通はすべて、ある時刻の最短旅行時間経路を選択すると仮定する。ある一定時間間隔($DT \geq dt$)おきにシミュレーションモデルから出力される式(6)のリンク旅行時間 $T_j(t)$ を用いて、最短経路を改訂させる。

最短経路の情報は、先に述べたように分流ブ

ックにおける目的地別の進行方向として記憶させる。したがって、経路が改訂された時刻にネットワーク上に存在している交通は次の時刻からは新たな経路にしたがって目的地まで進むこととなる。

3. モデルの適用と検証

3. 1. 適用方法

対象ネットワークは、時間的に変動する交通状況が詳細にわかっている首都高速道路とした。1ブロックの長さは均一50mとし、各ブロックjの Q_j と容量($Q_{j,max}$)は、車両感知器から得られる交通量と密度の関係に基づいて図-3のように基本的に3本の直線で設定した。ただし自由流側の傾きは、どのブロックでも走行速度が60[km/h]となるように設定している。

したがって、シミュレーションモデルのスキニングインターバル(dt)は自由走行速度60[km/h]で1ブロック50mを通過できる時間で、3[sec]となる。

3. 2. 適用結果と検証

(1) 首都高速道路3号線への適用

ブロック密度法のみを検証するために、全く経路選択の余地がない1本の放射線である首都高速道路の3号線用賀から谷町分流までの上り区間に適用した。図-6に示すようなネットワークとなっており、ブロック数234、起終点は入口数5、出口数4から構成されている。

入力情報として、オンランプからの時刻別流入

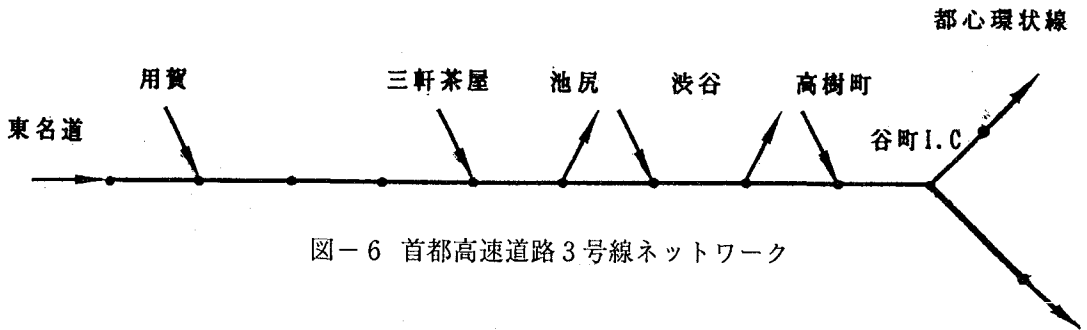


図-6 首都高速道路3号線ネットワーク

交通量，分流点での分流比率，および谷町からの流出交通量は，1989年10月5日の車両感知器データから5分単位で与えた．また，用賀から谷町までの旅行時間の実測値も，同じデータから区間の旅行時間を算出して求めた．

図-7は，用賀から谷町までの旅行時間のシミュレーション値と実測値とを比較した図である．混雑していない時間帯の旅行時間は，10数分ではほぼ一致しているものの，日中の渋滞時間帯においては，シミュレーション値は一様に実測値よりも低くでている．実測旅行時間との差は，平均5.3分であり，最大誤差は17.8分であった．シミュレーションで用いている各種パラメーター，特にブロック容量値の設定に問題があるものと思われる．

また，この場合においては，各出口から流出する交通量は単に各時刻ごとにあたえられている分流比によって決定されるため，OD交通量としては，実際の値とは異なる値を取りかねないということも誤差を生じる原因となっているのかもしれない．

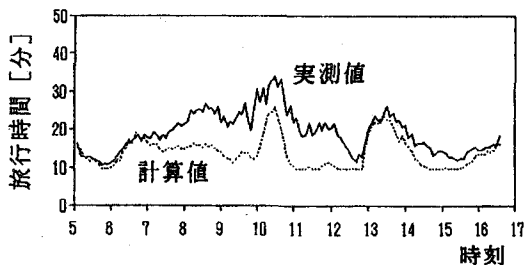


図-7 用賀→谷町間の旅行時間比較

(2) 首都高速道路東京線ネットワークへの適用

次に，OD間でいくつかの経路が選択できるように，首都高速道路の東京線ネットワーク（図-8）にモデルを適用した．ネットワークの構成は，ブロック数が7376で，起終点は入口数117，出口数123である．

ブロック密度法では，ネットワークがループになる場合には，ネットワークをカットしていくつかのツリーに分解して，それぞれのツリーの最下流端から演算を行うことが必要となる．東京線ネットワークにおいては，図-8に示すような3箇所のカットを設けた．

オン，オフランプ間のOD需要は，昭和63年5月18日（木）に行われた首都高速道路起終点調査から得られた1時間単位のOD表を用いた．シミュレーションの計算対象時間帯としては，早朝の5時から15時までの10時間とした．また，最短経路探索によって経路を改訂するのは，時間間隔(DT)1分で行った．

図-9は，この適用例のうち，羽田-銀座間の旅行時間をシミュレーションの結果と感知器データによって得られたものとの間で比較を行ったものである．

この結果から，あまり混雑していない時間帯においては比較的良い一致を見ているものの，混雑の増加する時間帯からは，シミュレーションの計算結果の値のほうが，観測値に対して非常に大きくなっていることがわかる．

この傾向は，他の放射線においてもほぼ同じく



図-8 首都高速道路東京線ネットワーク

してみられる。混雑時間帯において、各放射線からの環状線との接続部における容量の不足がこのように放射線部における過度の旅行時間の増加という結果を示す原因ではないと思われる。

図-10-1及び図-10-2は三宅坂IC分流点及び谷町IC分流点（3,4号線と環状線との各接続部）における、環状線外回り方面への分流比率を表したものである。各時間帯においてほぼ観測された値との一致を示すものの、時間帯においては、20%ほどの相違を示している。このことも、ひいては分流出点において、片方の分流方向に対する需要超過を引き起こし、そのために、放射線における、

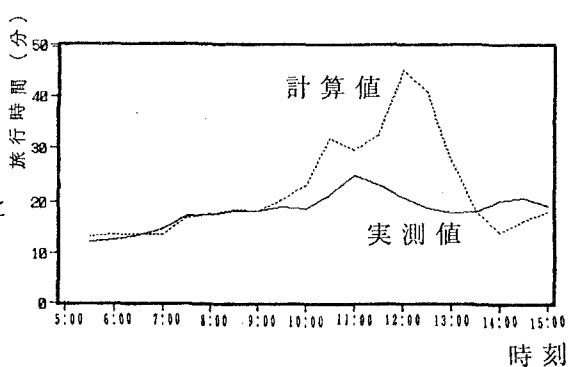


図-9 羽田-銀座間の旅行時間比較

旅行時間の増加を喚起しているとも考えられる。

図-11は計算によって得られた旅行時間と、感知器データによる値、実際の走行実験によって得られた値との比較を行った結果である。各値ともに、8時の時点での感知器による旅行時間、実際の走行によって得られた旅行時間を横軸に、計算によって得られた旅行時間を縦軸に、プロットしたものである。これは、感知器によって得られたデータが感覚的に低い値をとっていたため、同時期に行われた走行実験による旅行時間との比較を行ってみたのであるが、感知器によって得られるデータは走行実験によって得られる旅行時間と比較して、低めの値をとる傾向にあること、また計算結果による旅行時間はこれらと比較しても大きくなる傾向にあることもこの図から読み取ることができる。

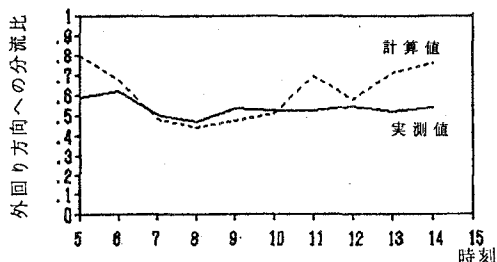


図10-1 谷町ICにおける分流比率

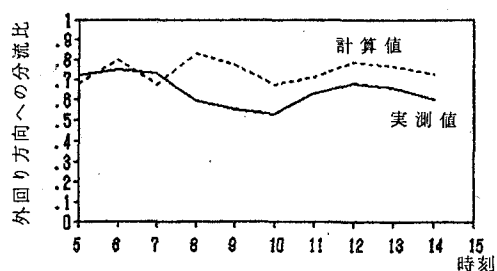


図10-2 三宅坂ICにおける分流比率

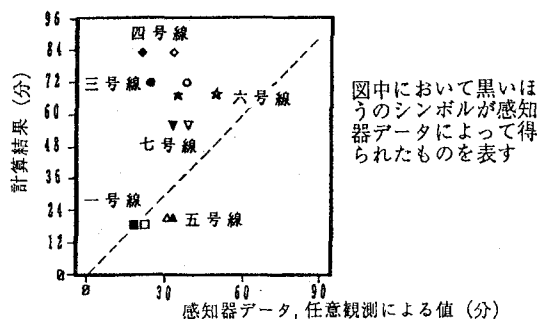


図-11 計算値及び感知器データ、任意観測値との比較

4. まとめと今後の課題

本研究では、シミュレーションモデルを基本に、それに経路選択の機能を加えたモデルの開発を行った。具体的には、シミュレーションモデルにはブロック密度法を、また経路選択としては各ODペアの交通需要は全てその時点での最短旅行時間経路を選択すると仮定して、ある一定時間間隔で経路を改訂しながらシミュレーションを実行するモデルである。主な結果を以下にまとめる。

1) ブロック密度法のみを検証するために、全く経路選択の余地がない首都高速道路の3号線用賀から谷町分岐までの区間に適用した。用賀から谷町までの旅行時間の全体的な時間変動パターンおよび非渋滞時の旅行時間は、実測値と一致していたが、日中の渋滞時間帯の旅行時間のシミュレーション値は一樣に実測値よりも低くしており、ブロック容量値の設定に問題があった。

2) 首都高速道路の東京線ネットワークにモデルを適用した。とりえず現在の段階では、ようやく、モデルが完成し、計算結果がでるという段階であるので、旅行時間等の各結果に関しては、非混雑時においてはかなりの一致を見ることができたが、混雑時における計算結果の過大評価傾向を考えると、十分に満足はいくものとは言いがたかった。特に分・合流部における容量不足の傾向、分流点における需要交通量の一方方向への集中に関しては、ネットワーク中の交通量のバランスを極端に変化させることも懸念され、速やかな改善が望まれるところである。

今後の課題としては、

- 1) ブロック密度法の各種パラメーター、特にブロックの容量値の設定を調整する必要がある。
- 2) 経路選択モデルについては、今回用いたようなすべてのOD交通量を最短経路に配分するAll or Nothing法以外の経路選択方法をテストする必要がある。また、ODペアごとの選択経路の

改訂時間間隔(DT)についても吟味が必要である。

- 3) 本モデルにおいてはブロック数8000弱を持ち、これらのブロックにおける各目的地別の密度の改訂をスキャンインターバルごとにおこなっているため、計算時間が長くなる傾向にある。モデルの実用性を高めるためにも、アルゴリズムの見直し等を行い、一層の計算時間の短縮を図る必要がある。
- 4) ネットワークのカットポイントにおいては、モデルの構造上1スキャン前の情報を用いなければならない。このカットポイントを設ける地点、及びリンクの計算順序についても、なるべくネットワークへの影響が少なくなるように考慮する必要があると思われる。

謝辞：本研究は文部省科学研究費奨励研究の補助を受けていることを明記するとともに、資料、データを提供して下さった首都高速道路公団計画部、管制部の皆様、並びに貴重なご意見を頂戴した同公団計画部調査課の森田緯之氏に厚くお礼申し上げます。

参考文献

1. Papageorgiou, M : Applications of Automatic Control Concepts to Traffic Flow Modeling and Control, Springer-Verlag, 1983.
2. 交通工学研究会：交通管制2次システムの基本プログラムに関する研究，昭和48年。
3. 高山純一，中村光生，飯田恭敬：信号遅れ時間を考慮した時間交通量配分モデルに関する研究，第10回交通工学研究発表会論文集，pp. 97-100，平成2年11月。