

都市高速道路を対象とした 過飽和交通流シミュレーションモデル

A Traffic Simulation Model for Oversaturated Traffic Flow on Urban Expressway

吉井 稔雄**, 桑原 雅夫***

Toshio Yoshii, Masao Kuwahara

This study develops a traffic simulation model which incorporates driver's route choice behavior, and verifies its fundamental nature. The model attempts to approximately reproduce time-dependent traffic conditions under the stochastic user equilibrium principle, given the temporally varying OD demand. The whole model consists of the simulation of vehicle motions and route choice model, which are implemented alternatively. Vehicle motion is modelled based on the car-following behavior so that propagation of the shock wave is reproduced precisely. On the other hand, the route choice is given by the Dial's model. The model is examined using a simple network and yields reasonably good agreement with the theory.

1. はじめに

ネットワーク新設や交通規制の変更の影響評価のためには、時間的に変動する渋滞状況を予測することが必要である。特に、過飽和ネットワークにおける渋滞長や旅行時間の時間変化をダイナミックに再現できるモデルの開発が必要となっている。

本研究では、都市高速道路を対象とし、特に過飽和時における渋滞の延進および解消の状況を良く再現できるシミュレーションを基本にして、それに経

路選択の機能を加えたモデルの開発を行なった。また本モデルは厳密な意味での利用者均衡配分を再現するものではなく、シミュレーションと確率的利用者均衡配分による経路選択を交互に繰り返すことにより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。

2. 既往の研究

交通運用策の評価やネットワーク新設による影響評価などのために開発されたシミュレーションモデルとしては、イギリスで開発されたSATURN¹⁾、CONTRAM²⁾をはじめ、上田等によるブロック密度法^{3,4)}などがあげられる。しかし、SATURN¹⁾、CONTRAM²⁾は交通密度の管理が不十分である、といった問題点を抱えている。さらに、上田等によ

* キーワード 交通流シミュレーションモデル,
ネットワーク

** 学生会員 東京大学生産技術研究所

*** 正会員 Ph.D 東京大学生産技術研究所 助教授
(〒106 東京都港区六本木7-22-1)

るブロック密度法においては、各ブロックが全目的
地別の交通密度を記憶し、その交通密度をスキャン
インターバルごとに改訂していくという方法を用い
たので、密度改訂のための計算時間がかかるという
問題点が残されていた。

3. モデルの概要

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、近
似的に均衡交通量の時間変化を得ようとするもの
である。すなわち、シミュレーションモデルでは経路
選択モデルによって求められた各経路の選択率をも
とに、与えられた交通量をネットワークに流し、リ
ンク旅行時間を決定する。一方経路選択モデルにお
いては、シミュレーションモデルによって得られた
リンク旅行時間をもとに、各ODの経路選択確率を
ある一定時間ごとに改定するという構造である。

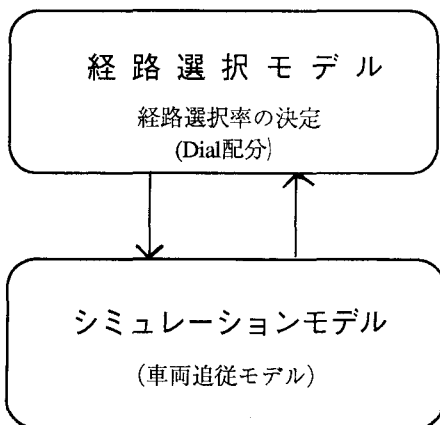


図-1 経路選択モデルとシミュレーションモデル

3. 1. シミュレーションモデル

シミュレーションモデルにおいては、ネットワ
ーク上の個々の車両がそれぞれにネットワークを移動
するという方法を用いた。ここで各車両にはそれぞ
れ目的地、現在位置、出発時刻の情報をもたせてい
る。さらに個々の車両の移動方法については以下の
車両追従モデルに従った。

車両追従モデル

各車両は下流側より順次移動し、図-2に示すよ
うにまず前方の車両が移動した後、そのスキャンに
おけるスピードと車頭距離の関係が、あらかじめ仮
定されている交通密度-交通量（ $Q-K$ ）の関係を
満たすように移動する。ここで、密度と交通量の関
係（式(1)）は図-3のような形として各リンクごと
に与えた。

$$Q = f(K) \quad \dots (1)$$

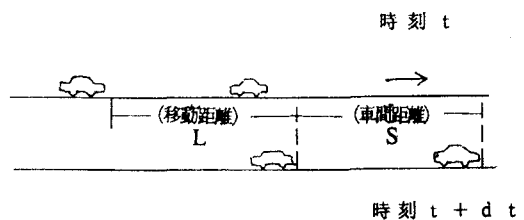


図-2 車両追従モデル

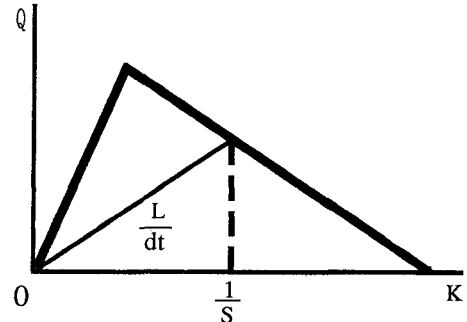


図-3 密度と交通量の関係

1スキャンにおける移動距離（ L ）の求め方は以
下のとおりである。

車頭間隔距離（ S ）は交通密度（ K ）に反比例する
ことから

$$S = \frac{1}{K} \quad \dots (2)$$

交通量＝速度（ V ）×交通密度の関係があるので

$$Q = V \times K \quad \dots (3)$$

さらに1 スキャンにおける移動距離 (L) は

$$L = V \times \text{スキャンインターバル (dt)} \dots (4)$$

であるから (1), (2), (3), (4) 式より

$$f\left(\frac{1}{S}\right) \times S = \frac{L}{dt} \dots (5)$$

が得られる。

ここでdtと関数形fは既知であり、さらに前車の移動によりS+Lが与えられるので、L、Sの値が決定される。

3. 2. シミュレーションモデルの検証

シミュレーションモデルを検証するために、図-4に示すQ-K曲線を仮定し、単路部におけるショックウェーブをスキャンインターバル1秒で計算して理論値と比較した。以下では基本的な2パターンについてその結果を示す。

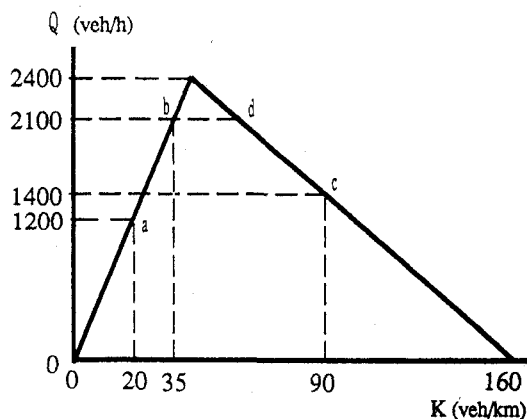


図-4 検証に用いるQ-K曲線

パターン1 上流側から大きな需要が押し寄せボトルネックに達し、次に渋滞が上流へと伝播する状況

交通量1200veh/hであった状況に上流から2100veh/hの交通量が押し寄せ(a→b)1400veh/hのボトルネックによって容量が制限され、渋滞が上流へと伝播する(b→c)。

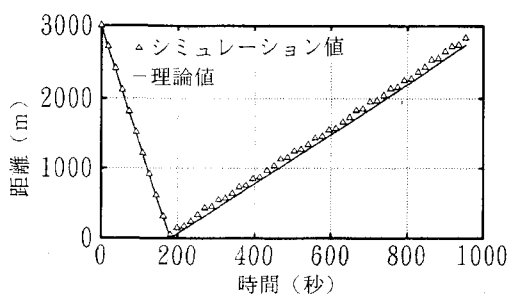


図-5 ショックウェーブの比較 (パターン1)

パターン2 渋滞が上流からの需要の減少にとともに解消する状況

交通量1400veh/hで渋滞している状況で上流からの交通量が1200veh/hに減少し、上流側より渋滞が解消する(c→a)。

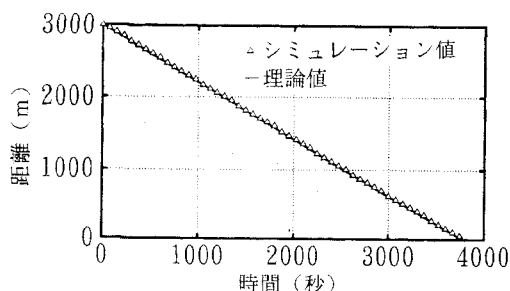


図-6 ショックウェーブの比較 (パターン2)

図-5, 6よりシミュレーションによるショックウェーブの伝播は理論値のそれとよく一致していることが明らかとなった。

3. 3. 経路選択モデル

経路選択モデルにおいては、ある一定の時間間隔(DT)おきにシミュレーションモデルから得られる旅行時間を用いて各経路の選択確率を改訂するという方法を用いた。具体的には、経路選択率を改訂する時刻に、その瞬間の各リンクの旅行時間を用いて、Dial配分により経路の選択率を算出している。さらにこの計算された経路選択率をもとに、各分流出点における目的地別の分流比率を算出する。ここで

注意することは経路選択率の改訂時刻にネットワーク上に存在する交通はその時刻から新たな経路選択率によって経路を選択することになるということである。

このように本モデルは厳密には確率均衡状態を再現するものではない。厳密に確率均衡状態を再現するためには、CONTRAM やSATURN のように繰り返し計算を行なう必要があるが、収束するとは限らず、また大規模なネットワークに対しては膨大な量の計算機のメモリが必要となり、さらに計算時間もかかることから、現在のところはこの方法で近似的に確率均衡状態を再現している。

3. 4. 経路選択を内生化したモデルの検証

この経路選択を内生化したモデルを検証するために、図-7に示す簡単なネットワークを用いて検証した。なお、スキャンインターバルは1秒、経路選択率の更新間隔は60秒とした。さらに、各リンクのQ-K関係は、図-8のように自由流側では傾き60km/h、渋滞流側では傾き20km/hの2本の直線で表し、その容量はリンク1, 2, 3は4200veh/h、リンク4だけ2400veh/hと設定した。この結果、リンク4の容量のみが低いことにより、合流点Cがボトルネックとなる。この合流点では、リンク1とリンク2からの交通が均等に合流するものと仮定し、合流比は0.5と設定する。また、Dial配分のパラメータ θ は図-9に示すように

1. $\theta = \infty$ [sec] (最短経路を選択するもの)
2. $\theta = 0.011$ [sec]

の2通りについて行なった。

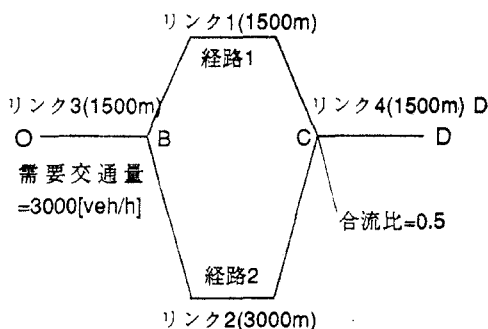


図-7 経路選択モデルの検証ネットワーク

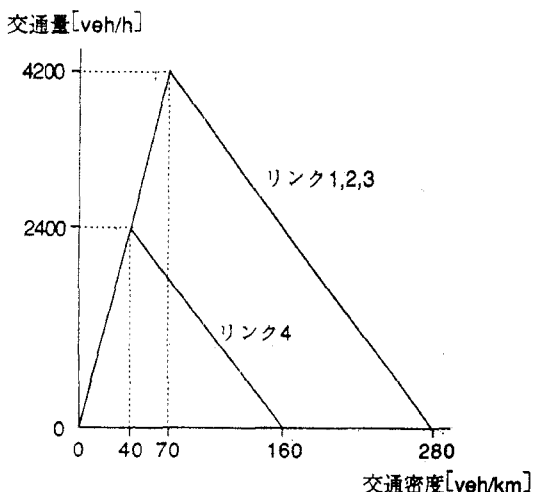


図-8 検証ネットワークリンクのQ-K曲線

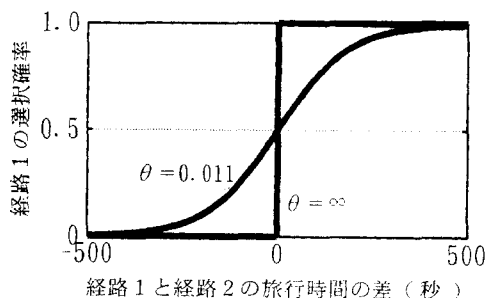


図-9 Dial配分のパラメータ

この検証の結果が図-10, 11, 12, 13である。図-10, 11は分流点Bにおけるそれぞれの経路の累積流入交通量を表しており、理論値は完全な確率均衡状態での累積流入交通量を表し、シミュレーション値は1分毎に経路選択率を改訂したときの累積流入交通量を表している。また図-12, 13は2つの経路の旅行時間を示したものである。

図-10, 11からわかるようにいずれの場合も累積流入交通量のシミュレーション値は振動している。これは理論では分流点において、将来のリンク旅行時間(自分自身のリンク通過時間)を考慮して経路選択を行なうのに対し、シミュレーションでは分流点に到達した時刻の(瞬間の)旅行時間に従って経路選択を行なうためである。例えばある時刻に一方の

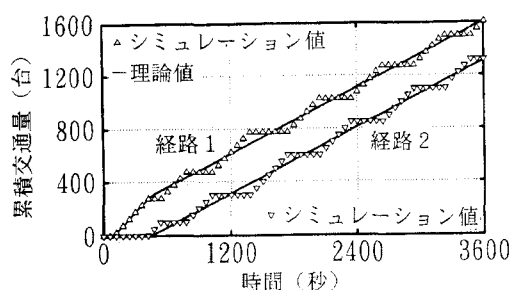


図-1 0 累積流入交通量の比較 ($\theta = \infty$)

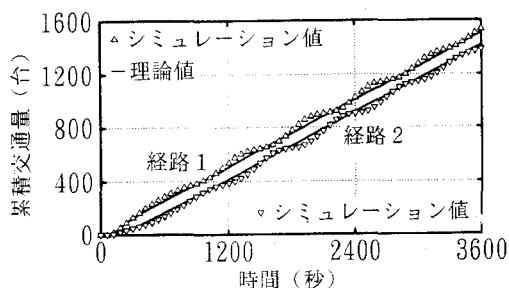


図-1 1 累積流入交通量の比較 ($\theta = 0.011$)

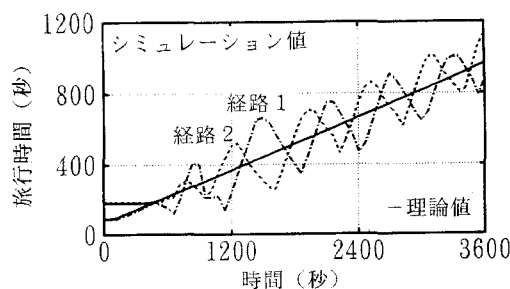


図-1 2 旅行時間の比較 ($\theta = \infty$)

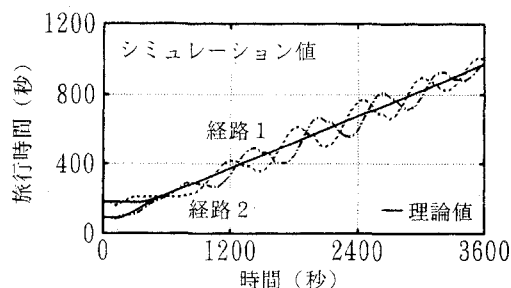


図-1 3 旅行時間の比較 ($\theta = 0.011$)

経路の所要時間が短いと実際はその交通量が流入したことによって短いほうの経路の所要時間は長くなるのだが、その情報を持たずに現在の短い所要時間に見合った必要以上の交通量が流入してしまうからである。図-12, 13についても同様の理由から、シミュレーションにおいては多少の振動が生じることになる。

さらに、パラメータ θ を変化させると累積交通量、旅行時間ともに、その振動の振幅は θ の値が大きいほど大きくなり、周期は θ の値にほとんど影響されないことがわかる。これは θ が大きくなると同じ旅行時間差でも経路選択率の差が大きくなり、経路選択時刻と実際に経路を通過する時刻のタイムラグにそれぞれの経路に流入する交通量の差が大きくなることが振幅に影響し、周期はタイムラグにのみ依存し交通量の影響を受けないことが原因であろう。しかし、このように多少の振動は生じるものの全体としてはかなり利用者均衡状態に近い状況が再現できているものと考えられる。さらに均衡状態に近い状況を再現するためには、旅行時間の評価方法や経路選択の方法の見直しが考えられ今後さらに改善していきたい。

4. まとめと今後の課題

本研究においては、シミュレーションモデルを基本とし、経路選択の機能を内生化したモデルの開発を行ない、その基本的な性質についての検討を行なった。モデルはシミュレーションモデルと経路選択モデルとからなり、ある一定時間間隔で経路選択率を改訂しながらシミュレーションを実行するという構造をとっている。

- 1) モデルの対象としては過飽和の都市内高速道路を考え、渋滞による影響が強いことから特に交通密度の管理がしっかりなされたモデルを目指した。
- 2) シミュレーションモデルでは、個々の車両1台1台を車両追従モデルに従って移動させる方法をとった。単路部についてショックウェーブの伝播の検証を行なった結果、理論値とかなり良く一致することが確認できた。

3) 経路選択率はある一定時間間隔ごとに、その瞬間の旅行時間を用いてDial配分によって求めるという方法を用いた。この計算方法によって得られる経路選択率を、簡単なモデルで検討した。その結果、多少理論値とはズレが生じたもののかなり確率均衡状態に近いことが確認できた。

今後の課題としては

- 1) 経路選択モデルにおいて、厳密な確率均衡状態とは多少のズレがあるので、経路選択率の決定方法および旅行時間の評価方法の検討が必要であること
- 2) 今後実際のネットワークにモデルを適用し、他のモデルとの比較評価を行なう必要があること
- 3) 分流部における車線変更挙動その他による容量の変化を考慮する必要があること
- 4) 周辺一般街路網の影響も無視できない場合があるので、一般街路網のモデルへの取り込みを図る必要があること。

などがあげられる。

参考文献

- 1) D. Van Vliet and M. D. Hall : SATURN 8.3 -A User's Manual-Universal Version , Institute for Transport Studies , University of Leeds , Nov . 1991
- 2) D. R. Leonard, P. Gower, and N. B. Taylor : CONTRAM : Structure of the Model , TRRL Research Report RR 178 , 1989
- 3) 上田功, 坪野寿美夫, 桑原雅夫, 赤羽弘和, 尾崎晴男 : 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, 1991
- 4) 桑原雅夫, 上田功, 赤羽弘和, 森田綽之 : 都市内高速道路を対象とした経路選択機能を持つネットワークシミュレーションモデルの開発, 交通工学, Vol. 28, 1993. 7