

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

桑 原 雅 夫*
上 田 功**
赤 羽 弘 和***
森 田 綽 之****

本研究は、ブロック密度法を基本としたシミュレーションモデルに経路選択の機能を加えたモデルの開発を行い、モデルの基本的な性質を検討したものである。本モデルは、都市内高速道路網の中・長期的な将来ネットワークにおける交通状況を、オフラインで評価するために開発したものである。また、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量の時間変化を得ようとするものである。交通密度の伝播を単路区間で検討した結果、伝播速度は理論値とかなり良く一致していた。また、簡単なネットワークで経路選択の様子を検討したところ、経路の旅行時間の変化と利用者の経路選択の変更に、多少のタイムラグが生じたが、真の利用者均衡状態にかなり一致していることがわかった。

1. はじめに

過飽和ネットワークにおける渋滞長や旅行時間の予測を行うためには、時間的にダイナミックに変化する交通状況を経路の選択行動も含めて再現できるモデルの開発が必要となっている。著者らは、シミュレーションモデルに経路選択機能を加えたモデルの開発 [1] を行ってきたが、本研究では、本モデルの性質の概要を整理するとともに、交通密度の伝播と経路選択行動に関する再現性を、簡単なネットワークにおいて理論的に導き出せる結果と比較分析することとする。

本モデルは、都市内高速道路網の中・長期的な将来ネットワークにおける交通状況を、オフラインで評価するために開発したものである。また、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に均

衡交通量の時間変化を得ようとするものである。

2. 既往の研究

一方通行規制、右左折禁止規制、信号制御などの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、そのような政策を実施した場合に交通状況が時間的・空間的にどのように変化するのかを評価するモデルは、世界的にみて 1970 年代の終わりごろから幾つか開発されている。ここでは代表的なモデルについて、概略と主な問題点をまとめることとする。以下のモデルはいずれも信号交差点を含む一般街路網を対象として開発されたモデルであるが、高速道路網への適用も可能であると考えられる。

SATURN [2, 3] は、イギリスの Leeds 大学の研究グループが開発した一般街路のシミュレーションモデルで、信号制御や交通規制によって利用者の経路選択が変化する影響も取り込んだモデルである。時間軸を約 30 分程度の間隔に分割して、その間隔ごとに繰り返し計算を行って利用者均衡交通量を求めるものである。各繰り返し計算では、交通流を流体近似したシミュレーション結果に基

* 東京大学生産技術研究所助教授

** 日本道路公団東京第二建設局上田工事事務所

*** 千葉工業大学土木工学科助教授

**** 首都高速道路公団交通管制部管制技術課長

づいて各リンクの交通量-旅行時間曲線を推定しながら、均衡配分を行って経路を改訂していく。問題点としては、各時間間隔ごとの交通量推計はほぼ独立に扱われており、ある時間間隔に終点まで到達できずにネットワークに残っている交通の次の時間間隔への影響が十分に考慮されていないことである。具体的には、ネットワークに残留した交通は次の時間帯に引き渡されるとはいうものの、それらの利用経路については新たな選択の余地はなく、前時間帯に決められた経路に固定されているという問題である。

CONTRAM [4, 5] は、イギリスの交通研究所 (TRRL) で開発されたモデルで、同様に時間軸を 10 から 30 分程度の間隔に分割し、同じ起終点を持つ車両数台をひとまとめにしたパケットを 1 つずつ最短旅行時間経路に配分するモデルである。パケットを 1 個ずつネットワークに流すごとに、リンク旅行時間を改訂し、また次のパケットを最短経路に配分するというプロセスを繰り返して、近似的に均衡交通量を求めようとするモデルである。主な問題点としては、このような繰り返し計算を各パケットの最短経路が収束するまで行うのであるが、その際に各パケットの選択した経路上のリンクとリンクを通過する時刻 (分割した時間間隔の番号) をすべて記憶する必要があるため、計算機の記憶容量がかなり必要になる。また、パケットごとに最短経路探索を行うので計算時間も膨大となりやすい。したがって、規模の大きなネットワークにおいて、時間間隔をより細かく設定するには限界があると思われる。

我が国においても 1978 年に、DYTAN [6, 7] が科学警察研究所を中心に開発されている。まず時間軸を 30 分程度の間隔に分割し、各時間間隔では Dial の配分モデルによって選択された経路に全 OD 交通量をロードする。その時間間隔内に終点まで行き着けない交通については、行き着く地点のノードに滞留させ、次の時間間隔の OD 交通量と合計する。過飽和状態を表現するために、もしもリンクの容量を超えた交通量がロードされた場合には、その超過分を上流リンクに戻すという操作を OD ペア単位で行う。問題点としては、過

飽和状態で交通量を上流リンクに割り戻す操作を OD ペア単位で順番に行うので、この順番によって優先される OD が出てしまうこと。また、本研究で扱うモデルよりも相対的にマクロなモデルであるので、合流比や渋滞列中の交通密度の管理が不十分であると考えられる。

また、飯田等はボックスモデル [8] を開発しており、これはリンクを設定された交通容量を持つ箱の連続として表現し、流体近似したシミュレーションモデルと最短経路探索を組み合わせたモデルであり、本研究で扱うブロック密度法を基本としたモデルともっとも類似したモデルである。渋滞の延伸は、リンクの最大待ち行列時間を設定し、これを超える交通はそのリンクに流入できないとすることでコントロールされている。

本研究では、都市内高速道路網への適用を念頭においてモデルを開発しているために、交通密度の伝播を忠実に再現できるモデルが必要となる。これは、ボトルネックを頭とする渋滞の延伸が上流側の分合流点を閉息し、その容量を低下させる現象が頻繁に起きるためである。しかしながら、いずれの上記モデルも一般街路を主な対象とするモデルであるので、交通密度の伝播の管理に改良の余地があると思われる。本来、リンクの交通密度はそのリンクの交通流率の大きさによって変化するが、上記既存モデルではこのような調整が行われていない。研究対象である都市高速道路網への適用に際しては、したがって特に交通密度の伝播を精度良く表現できるモデルを開発する必要がある。

なお、以上のレビューは既往の文献を基に行ったもので、各モデルの詳細部分の情報は得ることが困難であった。今後、各モデルを共通の入力データを用いて実際に適用し、比較評価することが望まれる。

3. モデルの概要

3.1 モデルの構成と前提

本モデルは、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計算することによ

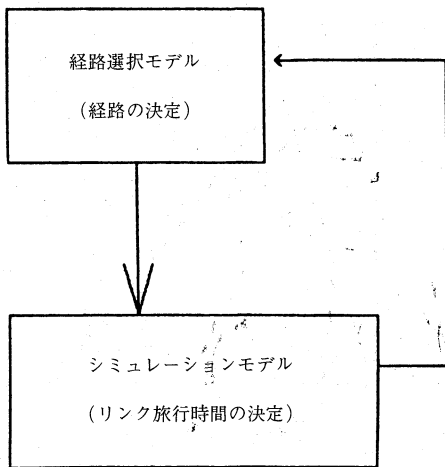


図-1 経路選択モデルとシミュレーションモデル

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、経路選択モデルで決定された経路に従って交通量をネットワークに流し、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。

本モデル化において特に考慮した項目は、

- 1) 方向別の総延長 400 km 規模の首都高速ネットワークに適用することを念頭においたため、計算機の記憶容量と計算時間が極端に大きくならないようなモデルであること。
- 2) 渋滞による旅行時間変化、渋滞長の変化を精度よく再現するために、かなり精密なシミュレーションモデルを作成する必要があること。特に、渋滞の延伸が分合流部での分合流比やオンランプからの流入交通量を制限する等の効果を表現するためには、交通密度を交通流率と関連付けながら、その伝播の様子を忠実に再現できるモデルであること。
- 3) 交差点部としては、高速道路の分合流点を扱い、一般街路のモデル化で問題となる信号交差点は、当面对象としない。
- 4) 利用者の経路選択については、利用者均衡交通量を求めることを目的とするが、真の動

的均衡状態を求めることは非常に難しいと思われるので、疑似的に利用者はある瞬間の経路情報をすべて知っており、それに基づいて目的地（本モデルでは高速オフランプ）までの最短旅行時間経路を逐次選択するものと仮定する。

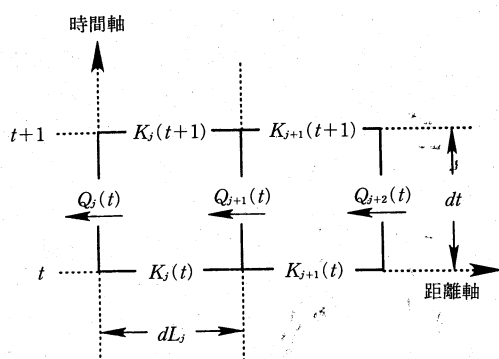
- 5) 入力データとしては、都市内高速道路のネットワークデータの他、交通需要としてラング間 OD 交通量を与え、出力としては、時間的に変化するリンク交通量及び旅行時間を得るモデルとする。実際の首都高速道路網への適用に当たっては、数年置きに実施されている起終点調査から得られる時間帯別 OD 表が利用できるものと考えられる。

3.2 ブロック密度法の概要

シミュレーションモデルは、ブロック密度法[9]を基本とするモデルとした。ブロック密度法を基本とした理由は、経路選択を内生化させるために、後述するように車両に目的地のラベルを持たせる必要があるからである。大規模ネットワークで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いため採用しなかった。

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、リンクは更に細かな幾つかのブロックに分割される。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。時間軸も一定間隔 dt ごとに離散化され、時刻 t に対して dt 後の時刻を $t+1$ というようにラベル付けしている。

ブロック密度法は、各ブロックの密度の初期値と最下流端のブロックからの流出交通量を与件として、各ブロックの密度 $K_i(t)$ をスキャンニングインターバル（固定値 $=dt$ ）ごとに修正していく方法である。図中のブロック長 (dL_i) は 1 スキャンニングインターバルに交通が自由速度で移動する距離と等しくとるので、1 スキャンの間に 1 ブロックを越える交通の移動が生じないという基本的性



$Q_j(t)$ = 時刻 t 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

図-2 各ブロックの密度と交通量の表現

質がある。

以下、本研究で扱っているブロック密度法を概説するが、本方法における密度の改訂方法は、昭和46年に発表されているブロック密度法の原因モデル [9] に、多少の変更を加えたものである。

ここではブロック j に着目し、流出交通量 $Q_j(t)$ と時刻 t の密度 $K_j(t)$ がわかっている場合に、どのようにして時刻 $t+1$ の密度 $K_j(t+1)$ と流入交通量 $Q_{j+1}(t)$ を求めるのかを説明する。未知数が2つあるので、条件式も2種類必要となるが、第1の条件は、式(1)で表されるブロック j における交通量の連続条件である。

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

第2の条件は、ブロック j の幾何構造から決まる交通量と密度の関係を満たさなければならないという条件である。本研究では、 $K_j(t+1)$ と $Q_{j+1}(t)$ が式(2)あるいは図-3で表されるQK曲線、 $f_j(K_j)$ 、上にあるという条件を用いた。この $f_j(K_j)$ の特徴は、自由流側の速度が一定値、 dL_j/dt に保たれていることである。

$$Q_{j+1}(t) = f_j\{K_j(t+1)\} \cdots (2)$$

この2つの条件を連立させて、 $K_j(t+1)$ と $Q_{j+1}(t)$ という2つの未知数を求めるわけである

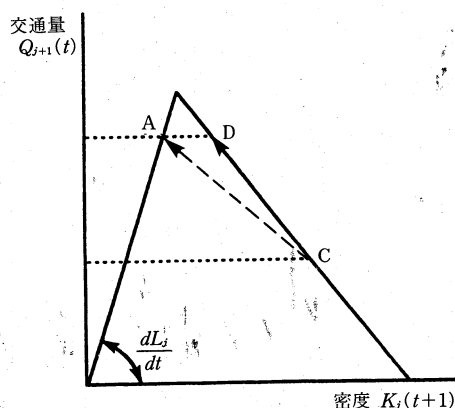


図-3 QK 曲線

が、このようにして求められる交通量 $Q_{j+1}(t)$ は、上流ブロックからの需要交通量は全く考慮しておらず、いわばブロック j の受け入れ可能交通量ととらえることができる。

そこで、求められた受け入れ可能交通量と上流ブロックからの需要交通量を比較しなければならない。上流ブロック $j+1$ の密度は $K_{j+1}(t)$ で、自由流の速度で下流ブロックに流入するのが最大の需要交通量となり、これ以上の交通量は需要として期待できない。したがって、

$$\begin{aligned} & \text{上流ブロックの需要交通量} \\ & = K_{j+1}(t) \cdot dL_{j+1}/dt \cdots \cdots (3) \end{aligned}$$

である。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、小さい方を実際の流入交通量 $Q_{j+1}(t)$ とし、連続式(1)より時刻 $t+1$ における密度 $K_j(t+1)$ も改訂する。

以上の方法で $K_j(t+1)$ と $Q_{j+1}(t)$ が決められれば、ブロックを1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。このように本方法では、連続式(1)とQK曲線関係(2)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は、ブロック j について連続式(1)とQK曲線(2)を連立させると図中のAB断面全体の受け入れ可能交通量が求められる。そこで、この受け入れ可能交通量を2つの上流ブロックにあらかじ

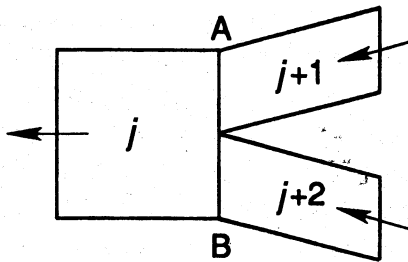


図-4 合流ブロック

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。この分割された受け入れ可能交通量とブロック $j+1$, $j+2$ の需要交通量をそれぞれ比較することとなる。

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が、需要交通量の分割も設定される分流比で行う。なお後述するように、この分流比は経路選択モデルによって内生的に決定される。

3.3 ブロック密度法の改良

本研究では、前述のモデルに幾つかの改良を加えている。

(1) 渋滞が下流側から解消する場合のロジック

3.2 で説明したモデルは、上流からの需要の変化によって渋滞が伸びたり縮んだりする現象を再現することはできる。しかしながら、渋滞が下流側から解消して行く現象を再現することができない欠点を持つ。

例えば、図-3 のような QK 関係を持つ連続するブロックの最下流端のブロックの流出交通量何らかの理由（例えば、事故の発生）によって減少しており、その時の各ブロックの状態が渋滞側の C 点で与えられているとしよう。その状態からもしも事故処理が終了し、下流端からの流出交通量が増加して渋滞が解消してブロックの状態が自由流側の A 点に移行する場合には、ショックウェーブが事故地点から順次上流に伝播していくはずである。

しかしながら、前述のモデルでは、 C 点の状態は A 点には遷移せずに D 点に遷移して安定してしまう。これは、ブロックの状態が QK 関係の渋滞側の関係に沿って移行していき、 D 点まで遷移し

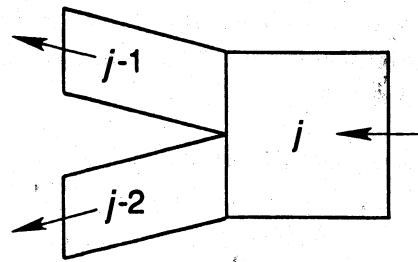


図-5 分流ブロック

たときに、各ブロックでは流出交通量と流入交通量とが釣り合ってしまうので D 点で落ち着いてしまうためである。

この問題の対策として、本研究では渋滞が下流側から解消する場合には、連続式(1)と QK 曲線(2)を連立させる代わりに、ショックウェーブの伝播速度を与える直線 $A-C$ と連続式(1)を連立させるように変更した。このロジックの適用条件としては、まず隣接する 2 ブロック間の密度を比較して、下流側のブロックの密度の方が小さく、かつ 2 ブロック間のショックウェーブの伝播速度が負（流れの方向と逆）になる場合とした。このようにすると、 C 点の交通状態は、直線 $A-C$ に沿って A 点まで遷移することになる。

(2) 合流比の修正

合流部では、受け入れ可能交通量をあらかじめ設定された合流比の割合で分割して、上流からの需要と比較するが、一方からの交通需要が分割された受け入れ可能交通量よりも小さい場合には、その余った受け入れ可能交通量をもう一方の受け入れ可能交通量に振り分けるという操作をとることとした。実際の交通の流れも、一方からの交通需要が小さい場合には、もう一方からの交通需要をほとんど受け入れることができるため妥当な修正であろう。

(3) 分流比の内生化

経路選択を行わない単なるシミュレーションの場合には、分流比をあらかじめ設定しておかなくてはならない。しかし、本モデルのように利用者の経路選択行動を内生化したモデルでは、分流比も時間的に変化する経路選択に従って変化させなければならない。

そのために、本モデルでは各ブロックの密度を、目的地のラベルを持たせて記憶させておくこととした。すなわち、

$K_{js}(t)$ =時刻 t におけるブロック j 内の目的地 s を持つ車両の密度

$$K_j(t) = \sum_s K_{js}(t) \dots\dots\dots (4)$$

この後で述べる最短経路探索の結果から、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定めることができる。つまり、分流ブロックにおいてその密度を目的地別に持っておけば、経路選択モデルの結果を用いて、分流比を内生的に計算することができる。

3.4 経路選択モデル

あらかじめ指定した一定時間間隔 DT ($\geq$ スキャニングインターバル, dt) おきに、シミュレーションモデルから出力される旅行時間情報を用いて利用者の経路を改訂させる。各利用者は、経路を改訂する時刻における瞬間の目的値までの最短旅行時間経路を選択するものと仮定する。したがって、利用者は常にネットワーク全体の交通状況を把握しており、そのときの状況に反応して経路を選択しているという仮定である。この仮定から明らかなように、本モデルで選択される経路は、出発地から目的地まで利用者が実際に経験する最短経路になるとは限らず、本モデルは真の利用者均衡状態を再現するものではない。本来の利用者均衡状態を再現するためには、SATURN や CONTRAM が行っているような収束計算が必要なのであろうが、繰り返し計算を行っても常に収束するとは限らず、大規模ネットワークに対しては計算時間も膨大になることから、現在のところこのような仮定を用いている。

さて、本研究では時刻 t のブロック j の旅行時間 $T_j(t)$ はブロックの密度と交通量から以下のよう求められる。

$$T_j(t) = dL_j \cdot \{K_j(t+1)/Q_{j+1}(t)\} \dots\dots\dots (5)$$

この各ブロックの旅行時間を用いて、各分流ブ

ックからすべての目的地までの時刻 t 瞬間の最短旅行時間経路を計算することができ、各分流ブロックにおいてある目的地を持つ車両がどちらのリンクに進むべきかがわかる。このように、最短旅行時間経路は分流ブロ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た車両についても、経路が更新されていく構造となっている。

4. モデルの検証

4.1 ブロック密度法の検証

ブロック密度法では交通の流れを、空間的にはブロックに、また時間的にはスキャニングインターバル (dt) という単位で離散的に扱っているため、ブロックの状態が理論と同じように変化するかを検証する必要がある。ここでは、経路選択を組み込まないで、簡単な単路部において上流側の需要変化と下流ブロックの容量変化によるショックウェーブの伝播を確認する。

(1) 上流の需要増減に伴うショックウェーブの伝播

図-6のような、60のブロックで構成されている単路区間で、各ブロックの QK 曲線が図-7で与えられているものとする。ブロック長は均一の50 [m]、自由速度が60 [km/h] (= 60/3.6 [m/sec]) とすると、スキャニングインターバル (dt) は次のように計算される。

$$dt = 50 / (60 / 3.6) = 3 \text{ [sec]}$$

図-8は、すべてのブロックの初期密度が20 [veh/km]、初期交通量が1200 [veh/h] (図-7のB点) の場合に、上流端から2100 [veh/h] の需要 (図-7のA点) が流下した場合の、ショックウェーブの伝播の様子を表している。

ただし、下流端のブロック1からの流出交通容

1	2	3	← ←	58	59	60
---	---	---	---------------	----	----	----

ブロック長 = $dL_j = 50$ [m], $j = 1, 2, \dots, 60$.

図-6 単路ネットワーク

量は、何らかの阻害要因（例えば事故処理）のために 1400 [veh/h] に抑えられているものとする。この場合、理論的にはまず上流から密度 35 [veh/km] のショックウェーブが 60 [km/h] の速度で下流へと伝播（B から A へ遷移）し、このショックウェーブが下流端に到達すると、下流端の容量 1400 [veh/h] に抑えられて、密度 90 [veh/km] のショックウェーブが伝播速度 $(1400-2100)/(90-35) \text{ [km/h]}$ で上流へ伝播（A から C へ遷移）す

ることとなる。図の丸印のプロットは、各ブロックの密度が自由流（渋滞流）側から渋滞流（自由流）側に遷移した時刻を表しているが、以下の図-9, 11 についても同様である。図-8 より、シミュレーションのショックウェーブの伝播は理論値とよく一致していることがわかる。

図-9 は、C 点の状態を初期値として、上流からの需要が 1200 [veh/h] へと減少した場合の伝播の様子を表している。この場合には、C から B への遷移であるから、ショックウェーブは伝播速度 $(1400-1200)/(90-20) \text{ [km/h]}$ で下流へ伝播するはずであるが、シミュレーションモデルもその様子を再現している。

(2) 下流の容量変化に伴うショックウェーブの伝播

次に、3.3(1) で説明した下流側から渋滞が解消していくロジックの検討を行う。図-10, 11 は初期値を C 点とし、下流端の事故処理が終わったために、下流からの流出交通容量が 1400 [veh/h] から 2100 [veh/h] に回復した場合の様子を表してい

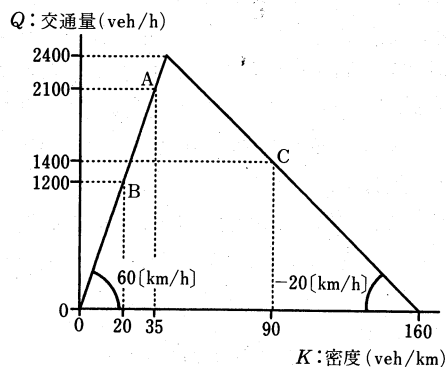


図-7 検証に用いる QK 曲線

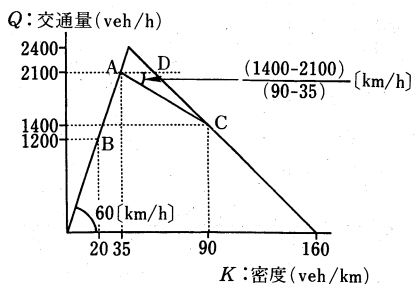
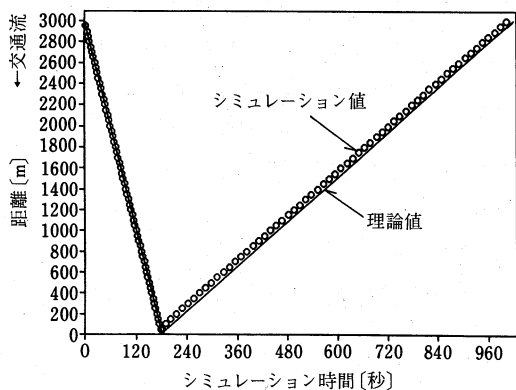


図-8 需要増加によるショックウェーブの伝播

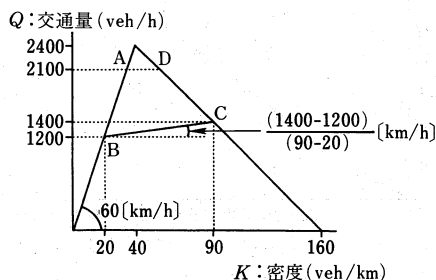
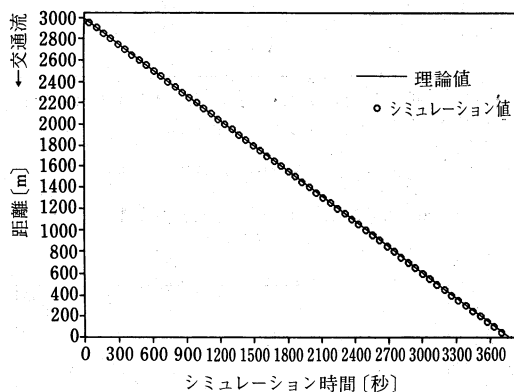
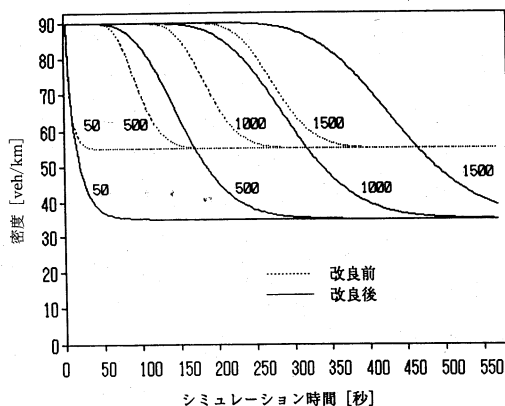


図-9 需要減少によるショックウェーブの伝播

る。CからAへの遷移であるので、ショックウェーブの伝播速度は $(1400-2100)/(90-35)$ [km/h]で上流へ伝播することとなる。

図-10は下流端より50 m, 500 m, 1000 m, 1500 mの位置にあるブロックの密度の時間変化を、改良前のモデルと比較した図である。このような場合には、3.3(1)で述べたロジックが適用されることになり、シミュレーションの結果はC点からA点(密度35 [veh/km])へと遷移しているが、改良前のモデルではD点(密度55 [veh/km])に遷移してしまい渋滞が解消されない結果となってしまう。

図-11は、本モデルによるショックウェーブの



(図中の数字は下流端からの距離 [m] を表す。)

図-10 モデル改良前・後の交通密度伝播の比較

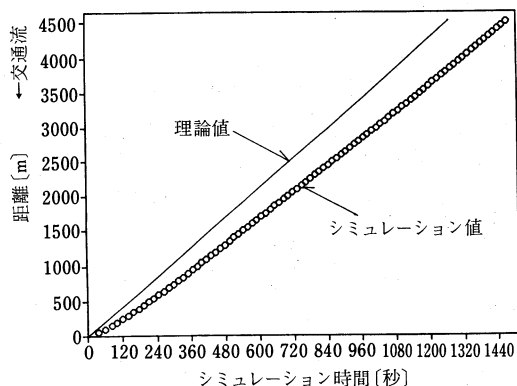


図-11 下流側から渋滞が解消する場合のショックウェーブの伝播

伝播速度を表しているが、理論値よりも遅いことがわかる。本方法は、このように下流側から渋滞が解消していく場合のショックウェーブの伝播速度に、多少の問題を残している。

4.2 経路選択を内生化したモデルの検証

次に、経路選択を組み込んだモデルの検証を、図-12のような簡単なネットワークで検証する。なお、各ブロックのQK関係は、図のように自由流側では傾き60 [km/h]、渋滞流側では傾き-20 [km/h]の2本の直線で表しており、その容量はリンク1,2,3は4200 [veh/h]であるが、リンク4の容量だけ2400 [veh/h]と低いので、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。

起点から終点までの経路は、リンク1を通る経路1とリンク2を通る経路2がある。本来、利用

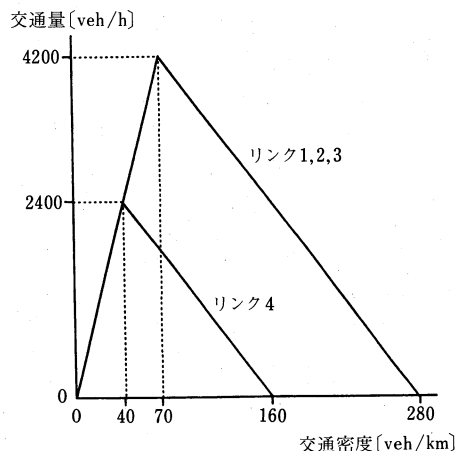
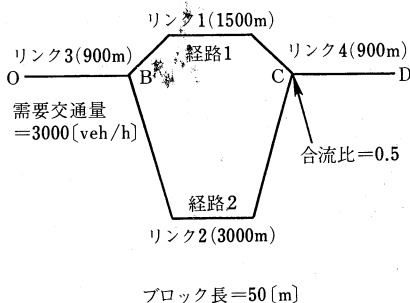


図-12 経路選択モデルの検証ネットワークとQK曲線

者均衡原理に従えば、リンク2の長さは3,000 mとリンク1の1,500 mよりも長いので、初めの渋滞が起きていない状態では全利用者は経路1を選択するが、交通容量の小さいリンク4の入り口の合流点Cを先頭に経路1が渋滞して旅行時間が経路2と等しくなると、両経路に均等に需要交通が配分されることとなる。

真の利用者均衡状態における経路1の累積交通量を表したものが図-13である。始めのうちは全交通需要が経路1を利用するので起点を出発する累積交通量 $A_0(t)$ の傾きは3000 [veh/h] となり、時速60 [km/h] でリンクを通過するので、B点、C点での累積流入交通量 $A_B(t)$ 、 $A_C(t)$ も同じ傾きで、それぞれ54,144 [sec] 右にずらして描くことができる。(ここでは簡単のために、車両の長さを考慮せず、待ち行列はC点で鉛直に積み上げられるものとしている。) 一方、C点においてリンク

4に流入できるのは容量値だけなので、C点での累積流出交通量 $D_C(t)$ は、容量値の2,400 [veh/h] の傾きを持つ線となる。

経路1と経路2の長さの違いは1,500 mであり、時速60 [km/h] で走行した場合の時間差に直すと90 [sec] となる。図-13より、B点を414 [sec] に通過した車両はC点において、ちょうど90 [sec] だけ待ち行列内で遅れることになるので、これ以後の車両は経路1,2へ均等に分配されることとなる。

この理論値とシミュレーション値を比較したのが図-14, 15である。図-14では分流点Bにおける両経路の累積流入台数を表しており、シミュレーション値とは毎スキャンごとに経路選択を行わせた場合 ($DT=3$ [sec]) の計算値である。また、図-15は両経路の旅行時間の変化を表したものである。

図-14, 15ともにシミュレーション値は、経路を改訂する時間間隔 ($DT=3$ [sec]) 以上の周期で累積交通量、旅行時間が振動していることがわかる。これは、分流点Bにおいて2本の経路に交通が分配されてから、その経路の旅行時間に変化が起きるまでに、タイムラグがあるからである。例えば、理論値を示す図-13では、B点を414 [sec] 後に通過する車両から両経路の旅行時間が均衡するが、シミュレーションではその車両が経路1において90 [sec] の遅れを被ることはその時点では予測できず、時刻414 [sec] の瞬間値として図-13中のWの遅れ時間を採用してしまうために、この時点以

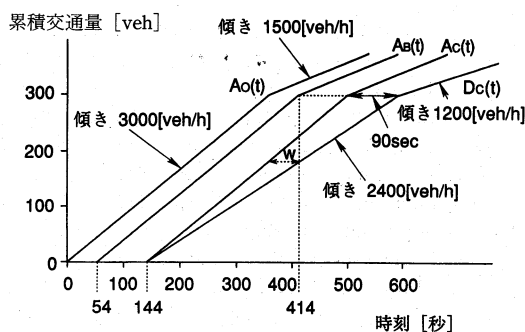


図-13 経路1の累積交通量(理論値)

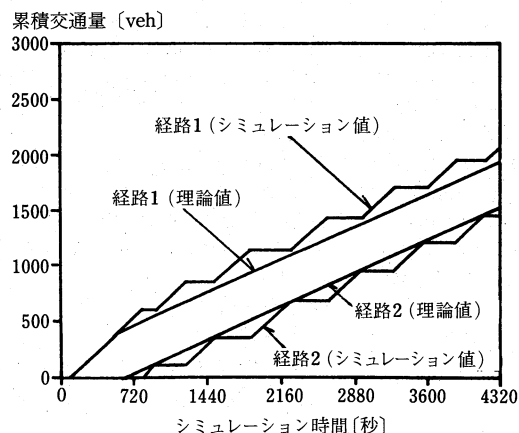


図-14 分流点(B点)における経路別の累積交通量の時間変化

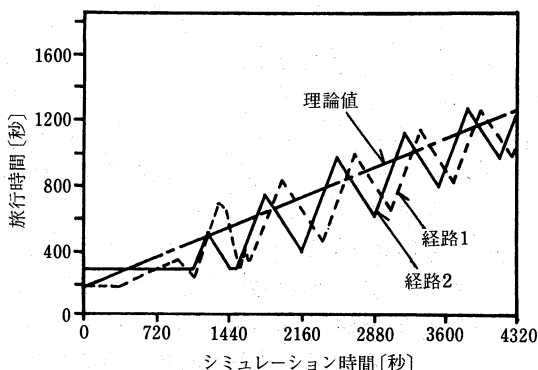


図-15 経路別の旅行時間の変化

降にB点を通過する車両も依然として経路1を選択することになってしまう。(図-13の遅れ時間Wは、累積交通量図に基づいているが、実際のシミュレーションでは各ブロックの速度から旅行時間を評価しているので、シミュレーションで計算される時刻414[sec]の遅れは完全にWと等しくはないが、タイムラグが生じる定性的な原因は同じであると考えられる。)本シミュレーションで経路1の遅れが90[sec]であることが検出されるのは、図-13より時刻約600[sec]となるので、このタイムラグが生じてしまう。

しかし、多少のタイムラグはあるものの利用者均衡状態にかなり追従していると思われる。タイムラグの生じる直接の原因としては、分流点とボトルネックまでの距離、旅行時間の評価方法などが考えられる。これらの検討は、旅行時間の予測の導入、経路選択規範などと合わせて今後の課題としたい。

5. まとめと今後の課題

本研究では、経路選択の機能を加えたシミュレーションモデルの開発を行った。以下に、本研究をまとめる。

- (1) 本モデルは、都市内高速道路網の中・長期的な将来ネットワークにおける交通状況を、オフラインで評価するために開発したものである。
- (2) 本モデルは、交通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量の時間変化を得ようとするものである。
- (3) ブロック密度法をショックウェーブの伝播が従来のモデルよりも忠実に再現できるように改良し、単路部における検討結果では、ショックウェーブの伝播速度は、理論値とかなり良く一致していた。
- (4) 簡単なネットワークで、経路選択の様子を検討した結果、経路の旅行時間の変化と利用者の経路選択の変更とに多少のタイムラグはあるものの、利用者均衡状態にかなり

追従していることがわかった。

今後の課題としては、

- (1) ショックウェーブが下流から上流へ伝播する場合に、伝播速度が理論値よりも多少遅いので、改善の必要があること、
 - (2) 経路選択行動については、真の利用者均衡状態と比べて経路選択にタイムラグが生じていたが、タイムラグの解消に向けて旅行時間の評価方法などについて検討する必要があること、
 - (4) 経路選択の規範として最短経路選択だけでなく、その他の選択についても検討する必要があること、
 - (3) 実際のネットワークへの適用を通して、本モデル及び既存モデルを比較評価する必要があること、
- などが上げられる。

参考文献

- 1) 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(1), 1991.11
- 2) M. D. Hall, D. Van Vliet, and L. G. Willumsen; “SATURN—a simulation-assignment model for the evaluation of traffic management schemes”, Traffic Engineering and Control 21, pp. 168~176, Apr, 1980
- 3) 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
- 4) D. R. Leonard, P. Gower, and N. B. Taylor; “CONTRAM: Structure of the Model”, TRRL Research Report RR 178, 1989
- 5) N. B. Taylor; “CONTRAM 5: an enhanced traffic assignment model”, TRRL Research Report RR 249, 1990
- 6) 木戸伴雄, 池之上慶一郎, 斉藤威; “街路網における経路探索・交通配分モデル(DYTAN-I)”, 科学警察研究所報告交通編, Vol.19, No.1, 1978.2
- 7) (社)日本自動車工業会, 交通対策委員会; “街路交通規制対策の検討手法に関する研究報告書(第6次分)”, 1977
- 8) 飯田恭敬, 内田敏, 藤井聡, 鷹尾和享; “渋滞の延伸を考慮した動的交通流シミュレーションモデル”, 土木計画学研究・講演集, No.14(1), 1991.11
- 9) 交通工学研究会; “交通管制第2次システムの基本プログラムに関する研究”, 首都高速道路公団委託, 1971

(1992年11月24日受付)
(1993年3月19日再受付)