

大規模ネットワークを対象とした 動的交通流シミュレーション

A DYNAMIC TRAFFIC SIMULATION MODEL
FOR LARGE-SCALE ROAD NETWORK

飯田 恭敬*, 内田 敬**, 藤井 聡***

By Yasunori IIDA, Takashi UCHIDA, Satoshi FUJII

This paper presents a macro-scopic dynamic traffic simulation model for evaluating traffic control measures. This model simulates drivers' dynamic route choice, and assigns flow by ROUTE-CHOICE-UNIT. Each link of network is abstracted by some boxes whose size is indential to the capacity per unit time of the link. This model also simulates flow on crossing, strictly to some extent, by considering difficulties of right turning and relationship between right turning flow and straight flow from opposite link. We examine the performance of the model through the case study of simulating traffic flow on an imaginary road network. Inspections of utilizing this model are shown.

1. 序言

近年、都市部における交通渋滞はより深刻となっており、大きな社会問題の一つとなっている。従来、渋滞解消のための交通運用方策として、道路建設といったハードウェア的な代替案が採用されてきたが、地価高騰のあおりを受けたため困難となってきている。そこで、情報提供による経路誘導、信号制御といったソフトウェア的な代替案が重要視されている。それとともに、ソフトウェア的な代替案の効果を詳細に評価できるような交通配分モデルが必要とされている。詳細な代替案

評価のためには、一日の平均的な交通パターンを記述する静的なモデルでは不十分であり、時々刻々と変動する交通状況を逐一記述するモデル、すなわち動的な交通配分モデルが必要である。

従来の動的な交通配分モデルを大別すると静的な交通配分法を動学化するというアプローチのものと、計算機による交通流シミュレーションによるものがある。後者のアプローチによれば、前者のアプローチによるものよりも、時間帯ごとの細かなリンクフローを逐一追うことが可能である。

さらに、交通流シミュレーションには個々の車両を追跡するミクロシミュレーションと、ある程度の車両群あるいはフローを単位とするマクロシミュレーションとがある。ミクロシミュレーションは交差点や織り込み部分の改良計画などに主として用いられる。一方、本研究のように経路誘導

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室
** 正会員 工修 京都大学助手 工学部交通土木工学教室
*** 正会員 京都大学大学院 修士課程交通土木工学専攻
(〒606-01 京都市左京区吉田本町)

などの大規模ネットワークのフローを対象とした交通運用方策の評価には、マクロシミュレーションが計算コストの点から適切である。

マクロシミュレーションとして、ブロック密度法¹⁾、CONTRAM²⁾が挙げられる。ブロック密度法はリンクをいくつかのブロックに分割し、各々のブロックの交通状態を所与のKQ曲線に基づいて求める。一方、CONTRAMは、時間帯を15分もしくは20分の幅に離散化し、同一ODペアを持つフローを「パケット」と呼び、パケット単位でフローを表現する。

本研究の目的はソフトウェア的な交通運用方策を評価するためのシミュレーションモデルの開発である。そのためには、シミュレーションモデルの現象再現性は高くなければならない。一方、計算コストを低く押さえなければならない。また、対象ネットワークは大きなものほど望ましい。そこで、従来のマクロシミュレーションに可能な限りミクロな視点からの改良を加えるというアプローチをとる。

本研究においてはCONTRAMと同様に時間を離散化し、同一ODペアのフローを流出単位として取り扱う。パケットは発生ノードから到着ノードまで分割、統合されることはない。しかし、流出単位はよりシンプルな概念であり、一旦同じ流出単位に属したフローも下流側の条件によって分割、統合される可能性がある。さらに、ピーク時の動的情報提供を想定するならば、時間帯の幅を1～5分程度に細かく離散化する必要がある。

本研究で取り扱う動的交通流シミュレーションのプロトタイプは既に示したところであり³⁾、ミクロな視点からの改良として、交差点における交通流の現象再現性の向上を図ってきた。本稿ではさらに改良を施した結果を示す。

以下、2. で動的交通流シミュレーションモデルの基本構成を説明し、3. で交差点における交通流に関する考察と、それに基づく改良方策を述べる。4. では仮想のネットワークに対して数値計算例を示して改良によるフローへの影響を確認する。最後に5. で本稿の結論と今後の課題を述べる。

2. シミュレーションモデルの概要

本研究では交差点における交通流をより厳密に再現するために、改良を加える。以下、改良を加える以前のモデルを「基本モデル」と呼ぶこととする。本章では基本モデルについて概説する。

2.1 シミュレーションの基本構成³⁾

2.1.1 シミュレーションモデルの基本構造

本モデルは、マクロシミュレーションに運転者の経路選択行動を取り入れることを基本としている。構造としては、運転者の経路選択行動をシミュレートする経路選択シミュレーションと、ネットワーク上におけるフローをシミュレートするフローシミュレーションから構成される。前者は非集計レベルのモデル化であり、後者は集計レベルのモデル化である。

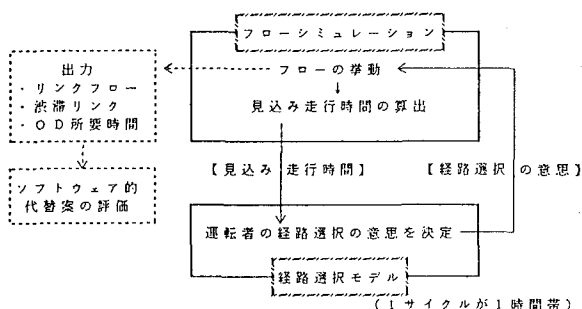


図1 シミュレーションの構造

この両者は、一方のアウトプットが他方のインプットとなるフィードバック構造を構成している。両者を媒介するのが見込み走行時間と呼ばれる各運転者が事前に予測する走行時間と、それに基づいた各運転者の経路選択の意思である。これを図式化すると図1となる。すなわち、経路選択シミュレーションにおいて、各運転者が見込み走行時間に基づいて経路選択の意思を決定する。フローシミュレーションにおいては、運転者の経路選択の意思に基づいた行動を集計してネットワーク上にフローを流し、見込み走行時間を求める。以上の操作を離散化した時間帯ごとに繰り返し、時々刻々と変動する動的なフローの挙動を再現する。出力としては各時間帯ごとのリンクフローや渋滞リンク、OD間の所要時間等を得る。これらの出力値に基づいて、ソフトウェア的代替案を評価することを目的としている。

2.1.2 フローの挙動

本モデルは複数のリンクとノードで構成されるネットワークを対象としている（後に示す図6を参照）。そして、フローは特定のノード（発生ノード、到着ノード）において発生、集中すると仮定する。

各々のフローは、現在位置と集中ノードの間に存在する全ての経路について、フローシミュレーションによって与えられる見込みパス所要時間に基づいて逐次経路を選択して移動する。

フローは発生ノードにおいて経路選択を行い、その経路に含まれるリンクに流入する。リンクに流入したフローは次第に下流側へと流れていき、リンク先頭に到着する。ここで再び経路選択を行い下流側リンクへ流入する。なお、流入できるか否かは、流入先のリンクの状態（流入可能な容量があるか否か）に制約される。

このようにして、フローは集中ノードへ向けて進行し、やがて集中ノードへ到着する。

2.1.3 フローの表現

運転者一人一人を個別にシミュレートするためには、膨大な計算時間と入力データが必要である。そこで、離散化した時間帯（スキャンインターバル）ごとにシミュレーションを進行させる。スキャンインターバルに対応させて経路選択シミュレーションを行うために、同一の位置に存在する運転者のなかで目的地を共有する集団ごとにシミュレートする。このような集団を経路選択単位と呼ぶ。同様にフローシミュレーションにおいてもスキャンインターバルに対応させて流出単位を設定する。

2.2 フローシミュレーション

2.2.1 リンクのモデル化の仮定

リンク上のフローは図2のように箱間の移動によってモデル化されている。このような箱を用いたモデルをボックスモデルと呼ぶ。

リンクのモデル化の仮定を以下に列挙する。

- ①先頭以外の箱の大きさは単位時間当たりの流出容量に等しく、先頭の箱は方向別流出容量に等しく設定する。なお、方向別流出容量の和は流出容量に等しい。
- ②箱内部のフローは一様に混ざりあっている。
- ③箱の内部にはその箱の大きさに相当する交通量

を超えるフローは存在できない。

- ④仮定③より、箱の空き領域（箱の大きさから存在しているフローを差し引いたもの）を上回る流入需要が生じた場合、流入可能なフローのみが流入し、流入不可能なフロー（残留フロー）は上流側の箱に残留する。
- ⑤渋滞時に観察される粗密波の伝搬⁴⁾を無視する。
- ⑥リンク走行時間は、自由走行時間とリンク終端での待ち時間の和とする⁵⁾。
- ⑦フローの存在しない状態においても、リンクに自由走行時間に相当する数の箱を設定する。
- ⑧既存の箱が一杯になれば新たに箱が設けられ、箱が空になれば（⑦を満たす限り）削除される。
- ⑨リンクの属性として、新設される最大の箱の数（最大走行時間）を設定する。

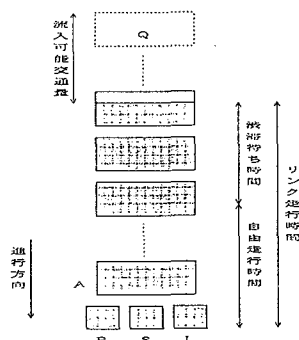


図2 リンク内フローのモデル化

2.2.2 リンクフローの流れ

リンク内のフローの流れを説明する。

渋滞のない場合、仮定①より、ある時間帯において、リンク先頭から流出容量以下のフローが流出し、一つ後ろの箱内のフローがそのまま先頭に流出する。以下同様にして、その時間帯のうちに、全ての箱内のフローは一つ前の箱へと流出する。これは仮定⑤に保証される。したがって、そのリンクの走行時間は、箱の数に相当する時間、すなわち、仮定⑦に保証される自由走行時間を要することとなる。

リンク終端からの交通量が容量を上回り、仮定④に定義される残留フローが生じた場合、先頭の箱から上流側の箱へと一つづつ一杯に詰まっていき、最終的に自由走行時間に相当する箱全てが一杯に詰まる。この時点においてさらにフローが流

入すると、仮定⑧により箱が新たに設定される。新設された箱の数が待ち時間である。リンク走行時間は、箱の数に相当する時間、すなわち、自由走行時間と待ち時間の和である（仮定⑥）。

このように、ボックスモデルでは、リンクを構成する箱の数がリンク走行時間を表すこととなる。

仮定⑨の最大走行時間はリンク上に存在できる最大の交通量（存在可能交通量）の設定である。存在可能交通量から実際に存在している交通量を差し引いたものを流入可能交通量と呼ぶ。上流側のリンクからの流入需要が流入可能交通量を上回ると、上流側リンクにフローが残留する。これにより、ボトルネックを先頭にして渋滞列が上流側リンクへと延伸するという現象をモデル化する。

また、仮定①にある方向別流出容量とは、交差点での交通流の、より厳密なモデル化のために設けられたものである。なお、方向別の流出容量は図2では箱(R)(S)(L)の大きさに対応している。右折流出容量を絞れば「右折の困難さ」がモデル化できる。また、先頭以外の箱内に、右折方向の箱に流入できなかった残留フローが生じると、箱内の右折車が多くなり、箱内での左折車数、直進車数が低下する。すなわち、右折車の待ち行列が直進車、左折車の進行の妨げとなることがモデル化できる。

また、仮定④に定義される残留フローが生じた場合、流出単位は分割され次の時間帯のフローと統合される。流出単位が分割、統合されると、同一発生時刻、同一ODの車両でも走行時間が異なることとなる。これにより、パケットタイプのモデルでありながら、運転者によってOD所要時間が異なることをモデル化することができる。

2.3 経路選択シミュレーション

本項では、運転者の経路選択行動のモデル化について述べる。

運転者は交差点において経路選択の意志決定を行う。運転者の意志決定の基準となるのが見込み走行時間である。フローシミュレーションにおいてリンク走行時間は箱の数として求められる。フローシミュレーションによるリンク走行時間を用いて見込み走行時間を幾通りかの方法で与えることができる。本研究では簡単のために、各リンク

を構成する箱の数を見込み走行時間として経路選択シミュレーションに渡すこととした。

運転者は、現在位置から目的地までの間に存在する複数の経路のうち、見込み走行時間が最短となる経路を選択する。

ネットワーク上の交通状態は動的に変化し、それにともない見込み走行時間も変化する。したがって、遭遇した渋滞を迂回するべく、出発時に予定していた経路を変更する可能性がある。

経路選択シミュレーションでは、同一交差点に存在し、かつ、目的地を共有する一群のフローで経路選択単位を構成し、経路選択単位ごとに配分を行う。その際の配分手法はALL OR NOTHING配分法である。すなわち、同じ経路選択単位に所属する車両は全て同一経路を選択する。

3. 交差点における交通流の再現

前章において基本モデルについて説明した。ここでは、ミクロな視点からのモデルの改良として、交差点における交通流をより厳密に再現するために加えた改良について述べる。

交差点とは、複数のリンクの先頭部分（すなわちボックスモデルにおいては先頭の箱）が隣接する場所である。基本モデルにおいては、リンクの先頭の箱の大きさは方向別流出容量に対応している。したがって、交差点における交通流を厳密に再現するためには、方向別流出容量に関する改良が不可欠である。また、交差点では複数のリンクから流出する交通流が交差する。したがって、それらの間の関係をモデル化することが必要である。本章ではこの2点について改良を施す。

3.1 方向別流出容量に関する改良

3.1.1 流出容量に関する考察

流出容量、方向別流出容量は様々な条件に左右される。その中でも、車線数や車線種による影響は大きい。車線種とは、その車線の流出方向に関する条件である。フローの流出方向は車線種に制約を受け、その方向以外へは流出できない。

本研究では、流出容量（方向別流出容量）は車線流出容量（車線方向別流出容量）の和であると仮定する。すなわち、

$$C_{ALL} = C_{S_{ALL1}} + \dots + C_{S_{ALLN}} \quad (1)$$

ここに、 C_{ALL} ：流出容量

C_{SALLK} ：車線Kの車線流出容量

N：そのリンクの車線数

ある車線からの流出交通量は、

$$Q_{OUT} = Q(Q_D, P, K, X) \quad (2)$$

ここに、 Q_{OUT} ：単位時間の流出交通量

Q_D ：流出需要

P：方向別流出需要パターン

K：下流側リンクの状態

X：その他の条件（大型車両混入率，路面状況，交差点の幾何的条件，信号サイクルの条件など）

と定義できる⁶⁾。Xは静的な条件で、入力データ作成の時のみに考慮する条件である。すなわち、これらはモデルの外性的条件である。一方、 Q_D ，P，Kは動的に変動する条件であり、ボックスモデルが明示的に扱いシミュレートする内性的条件である。

以上を踏まえ、車線方向別流出容量，車線流出容量を次のように定義する。

車線方向別流出容量は、

「下流側リンクに混雑がなく、かつその方向別交通需要のみが無限に存在する場合において、単位時間にその車線から流出可能な交通量。なお、その方向が車線種により禁止されていれば0となる。」

一方、車線流出容量は、

「下流側リンクに混雑がなく、車線種の制約の中で最大の流出交通量を保証する方向別流出需要パターンP*の交通需要が無限に存在する場合において、単位時間にその車線から流出可能な交通量」

であると考えられる。

さて、ここで左折専用車線，直進専用車線，直進専用車線を持つ3車線リンクについて考える。専用車線では、その方向への流出のみが許されているため、その方向への車線方向別流出容量と車線流出容量は一致する。さらに、式(1)より、車線流出容量の和は流出容量である。したがって、

$$C_{ALL} = C_R + C_S + C_L \quad (3)$$

次に、右左直併用車線1本のリンクについて考

える。この場合、全ての車両が直進する場合において流出交通量が最大となり⁶⁾、流出容量と直進流出容量と一致する。したがって、

$$C_{ALL} = C_S < C_R + C_S + C_L \quad (4)$$

$$\therefore C_R > 0 \text{ かつ } C_L > 0$$

ここで、式(3)，(4)をあわせて表現すると、

$$C_{ALL} \leq C_R + C_S + C_L \quad (5)$$

3.1.2 方向別流出容量の表現の改良

基本モデルでは「2.2.1 リンクのモデル化の仮定」における仮定①に示したように、全てのリンクにおいて、方向別流出容量の和が流出容量である、と仮定されていた。すなわち、

$$C_{ALL} = C_R + C_S + C_L \quad (6)$$

しかし、方向別流出容量と流出容量の間には式(5)の関係がある。

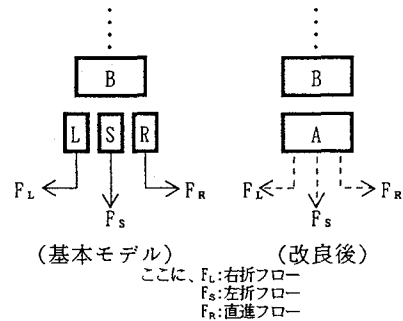


図3 リンク先頭部のモデル化

この点の改良のために考えられるのが、図3の「基本モデル」における方向別流出容量に対応した先頭の箱（箱L，S，R）の大きさを式(5)に対応するように変更することである。しかし、本モデルでは、下流側の制約を受けない限り、箱内のフローはそのまま下流側の箱に流入する（「2.2.2 リンク内でのフローの流れ」参照）。したがって、式(5)に対応するように箱の大きさを変更すれば、単位時間あたりに流出容量以上のフローが流出することとなる。そこで、図3「改良後」の様に、方向別流出容量に対応させた先頭の箱の明示的，固定的な分割を避けつつ、方向別の流出交通量を方向別流出容量以下に押さえる様に改良を施した。その際の計算手順を図4に示す。また、箱内には箱の大きさ以上のフローは存在できないため（「2.2.1 リンクのモデル化の仮定」における仮定③）、流出交通量も流出容量以下となる。

この改良によって運転者が経路選択を行う位置にも変更を加えた。基本モデルでは、図3「基本モデル」における箱Bで経路選択の意思決定を行った後に先頭の箱に流入し、流入した後は経路選択の意思を変更することはない。しかし改良後のモデルでは、経路選択を先頭の箱（図3改良後の箱A）で行い、箱A内において経路選択の意思を変更することも有り得る。

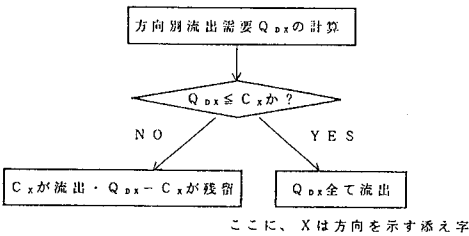


図4 交差点での交通流計算手順

3.2 対向交通流の右折交通流への影響

交差点では複数のリンクから流出する交通流が交差する。それらは互いに影響を及ぼしあう。その中でも特に、右折方向の交通流はその対向リンクの直進方向交通流（以下これを対向交通流と呼ぶ）の影響を著しく受ける。対向交通流が少なければ右折可能な交通流は多く、対向交通流が多ければ右折可能な交通流は低下する。そこで、右折容量を図5に示す様な対向交通流の関数とし、その現象をモデル化する。

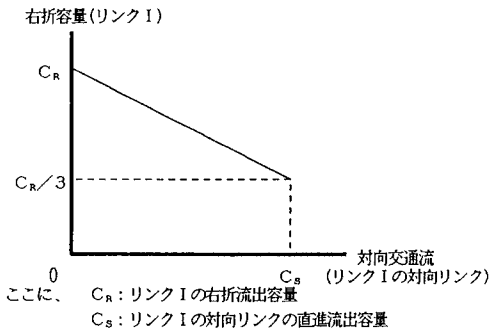


図5 リンク1の右折容量-対向交通流

この様な関数をモデルに組み込むことにより、対向交通流の右折容量への影響をモデル化する。

4. 数値計算例

本章では、前章に述べた改良のフローへの影響を確認するために数値計算を行う。3.1で述べた

方向別流出容量に関する改良を改良A（そのモデルを改良モデルA）、3.2で述べた右折容量と対向交通流の関係をモデル化した改良を改良B（そのモデルを改良モデルB）と呼ぶこととする。

4.1 改良Aのモデルの挙動への影響

改良Aのモデルの挙動への影響を述べる。はじめに、そのための数値計算の前提条件を示す。

4.1.1 前提条件

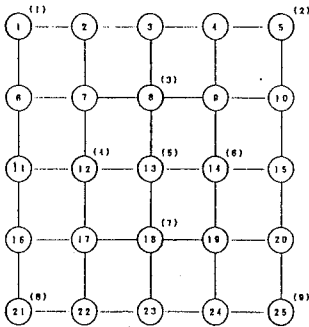


図6 ネットワーク

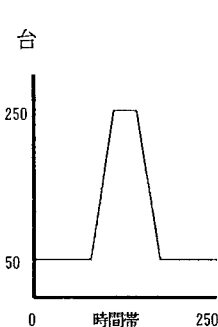


図7 発生パターン

配分対象の仮定の都市ネットワーク（有向リンク数80，セントロイド数9，ノード数25）を図6に示す。離散化した時間帯の幅を1分とし、リンクの自由走行時間は3分から6分の間で乱数的に与え、主要幹線街路，補助幹線街路，細街路の流出容量をそれぞれ60(台/分)，40(台/分)，20(台/分)とした。発生交通量は同一時間帯では各セントロイドから同一の交通量が発生するように与えるが、図7に示したように時間帯により変化する。また、目的地選択確率はOD間の距離にほぼ反比例する形で与えた。

4.1.2 計算所要時間

先に示した前提条件の下で、基本モデルと改良モデルAが要した計算時間を表1に示す。

基本モデル	改良モデルA
1 2 6 7	7 0 6

計算機種：FACOM M-1800 単位：ミリ秒
表1 所要計算時間

改良Aにより所要計算時間が約44%短縮した。これは、リンク先頭の箱の分割を避けたため、余分な変数，計算ステップが削減されたためである。

4.1.3 流出交通量への影響

ある補助幹線街路からの右折流出交通量，左折

流出交通量の時間推移を図8に示す。このリンクの方向別流出容量を表2に示す。

	右折	直進	左折
基本モデル	10	20	10
改良モデルA	20	40	20

なお、流出容量は共に40（台/分）
表2 方向別流出容量（台/分）

これらの値は基本モデルは式(6)を、改良モデルAは式(5)を満たしている。また、改良モデルAでは、方向別流出容量は車線種、車線数を考慮して求められる（右直併用車線と左直併用車線の2車線リンクを想定した）。なお、改良モデルAの方がそれぞれ2倍となっているが、リンク流出容量は共に40（台/分）であるため、改良モデルAにおいても単位時間当たりに40台以上の車両が流出することはない。

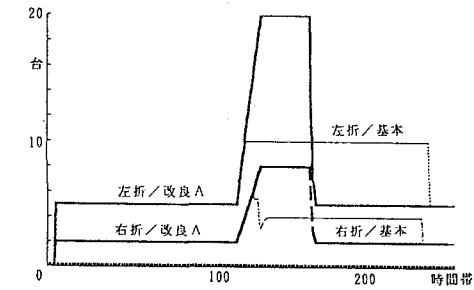


図8 右折、左折流出交通量

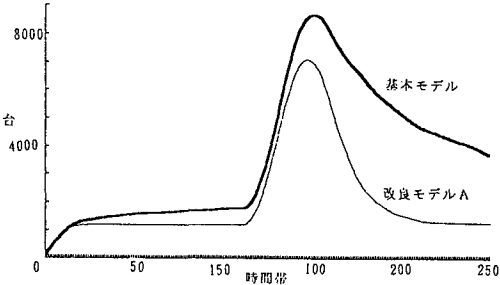


図9 総存在台数推移

図8より、右折流出交通量も左折流出交通量も改良Aにより増加していることが分かる。これは、表2に示したように、方向別流出容量が基本モデルよりも大きな値をとっているためである。

ネットワーク上に存在する全ての車両数（総存在台数）の時間推移を図9に示す。改良Aにより総存在台数は減少していることが分かる。

図8で確認したように、改良Aにより各々のリンクにおいて流出交通量が増加し、フローの進行が容易となる。したがって、フローは目的地により早く到着するために、総存在台数は減少する。

改良Aにより方向別流出容量を方向別流出パターンによらず一定値としていた基本モデルの問題点を解決するとともに、表1に示したように計算時間も短縮することができた。

4.2 改良Bのモデルの挙動への影響

改良Bは交差点内の交通流に関する改良である。したがって、図10に示した一つの交差点に着目し、改良Bの影響を調べることにした。発生交通量時間分布として図11の発生パターンを与えた。

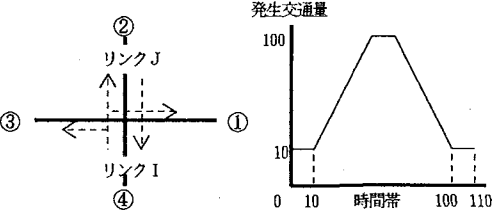


図10 ネットワーク図 図11 発生パターン

改良Bは対向交通流の右折交通流に対する影響のモデル化である。そこで、図10におけるリンクJから流出するフローは全て直進するように、リンクIから流出するフローの7割が右折、2割が直進、1割が左折するようにした。なお、リンクI、Jの流出容量を表3に示した。

	右折	直進	左折
リンクI	16	20	20
リンクJ	16	20	20

（単位：台/単位時間）

表3 方向別流出容量

リンクIから流出する右折交通流はリンクJからの対向交通流に妨害され、リンクIの右折容量は低下する。その様子を図12に示す。図12より、リンクJからの直進交通によるリンクBの右折容量低下が確認できる。右折容量の低下により右折流出交通量は低下する。それにともない、右折待ち車両が増大し直進交通流に影響を及ぼし、図13に示すようにリンクIの直進交通車両が低下する。基本モデルに比べて改良モデルBの方が直進流出交通量は小さな値をとっている。これは、

改良モデルBの方が右折待ち車両が多いため、直進交通流に対する影響も大きなものとなるためである。図13より、右折待ち行列が他方向（この場合は直進方向）の交通流に影響を与えることが確認できる。

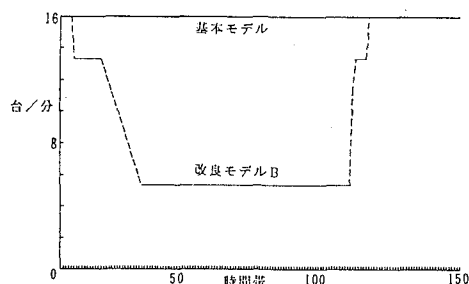


図12 リンクIの右折容量推移

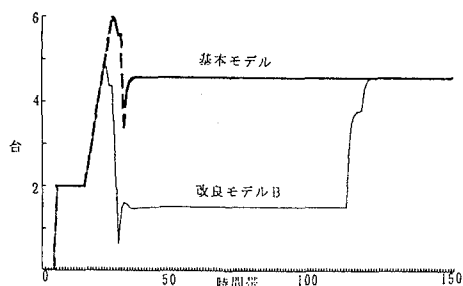


図13 リンクIの直進流出交通量推移

5. 本モデルの特徴と今後の課題点

本研究は、ソフトウェア的な代替案を評価しえる動的交通流シミュレーションモデルの構築を目指すものである。本モデルは、見込み走行時間の与え方を変更することによって、情報提供による交通運用方策を評価する手段として活用することができる。

本モデルはマクロシミュレーションであるが、本稿ではミクロな視点から改良を加え現象再現性の向上を図った。特に、交差点における交通流のより厳密なる再現のためにモデルに改良を加えた。その改良とは、

【改良A】方向別流出容量の設定に関する改良

【改良B】対向交通流の右折交通流に対する影響のモデル化

の2点である。本稿では、モデルの構造を述べた

後に、これらの改良についてを説明した。そして、方向別流出容量の与え方の変更による交差点でのフローへの影響、対向交通流の右折交通流に対する影響、を数値計算によって確認した。

最後に、今後の課題を挙げる。

- 1) 実際に観測されたフローと照らし合わせ、モデルを実証する必要がある。
- 2) フローシミュレーションにおいて、自由走行におけるフローの流れと渋滞時におけるフローの流れを区別してシミュレートし、リンク内フローの再現性の向上を図る。
- 3) 運転者の経路選択行動を厳密に再現するために、見込み走行時間の算出方法を刷新する。たとえば、見込み走行時間と実走行時間のズレ⁷⁾を減少させる、見込み走行時間算出の際に確率分布を用いる、等が挙げられる。

【参考文献】

- 1) 上田, 坪野, 桑原, 赤羽, 尾崎晴夫: 経路選択-シミュレーションモデルの開発, 土木計画学研究論文集, No14. 1, pp279-286, 1991. 11.
- 2) R. D. Coombe: Review of computer software engineers Transport reviews, Vol. 9, No3, 218-234, 1989.
- 3) 飯田, 内田, 藤井, 鷹尾: 渋滞の延伸を考慮した動的交通流シミュレーション, 土木計画学研究論文集, No14(1), pp. 301-308, 1991. 11.
- 5) 井上博司: 混雑した道路網における交通均衡及びその数値解法, 土木学会論文集, No. 365, pp. 125-133, 1986.
- 4) 交通工学ハンドブック, pp. 144-145. 技報社, 1973
- 6) Highway capacity manual, 1985, 道路の交通容量: pp. 277-261, (社) 交通工学研究会, 1985
- 7) 鷹尾, 飯田, 内田: 経路選択シミュレーションによる動的交通量配分, 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集, 4, pp. 482-483, 1990.