

特集論文(交通需要の動的分析) 道路網における交通流動の動的 シミュレーション手法

井上博司*

道路網上での交通流動を、個々の車両の動きを基にして動的に再現する精密なシミュレーションモデルを提案する。モデルの特徴は、道路網の構造を詳細なネットワークとして表現し、車両間の干渉と信号表示との整合性を考慮して車両を運動させることにあり、また信号制御と経路選択を内生化しており、交通流動をコンピュータ画面に動的に表示する機能をもっている。実験の結果、交差点遅れを適切に再現できること、およびかなりの規模の道路網でも精密なシミュレーションが可能であることが確認された。

Key Words: traffic simulation, traffic assignment, network simulation, traffic congestion, junction delay, computer graphics

1. はじめに

OD 交通量を起終点間の経路に割当て、道路網上の各部分の交通量を算定する交通量配分については、これまで様々な手法が開発され、実用に供されてきた。従来の交通量配分における主要な問題は、配分手法の合理性と実用計算における演算の効率性の2点に集約することができる。すなわち、運転者の経路選択挙動や道路網上の交通流動をモデルとして如何に合理的に表現できるかがということが第1点である。また配分計算は実際には大規模なネットワークを対象として行われるので、計算量が膨大であり、このため演算を如何に効率的に行うかが第2点である。ただし演算を効率的に行うためには、モデルの簡略化が避けられず、したがって両者はある意味では表裏一体をなす問題である。

運転者の経路選択挙動については、確率均衡¹⁾や Fuzzy 均衡²⁾などの新しい概念や、均衡に至る動的な過程³⁾等についての研究が盛んになされている。しかしそれらは、道路網上の交通流動が的確に表現されてはじめて意味をもつものである。交通量配分において交通流動を表現する際の一つの問題は、交通渋滞を如何に取り扱うかということである。交通量がリンク末端の容量を上回るとき、交通流がリンク内に貯溜され、渋滞が発生する。これによってリンク内の交通流は一様ではなくなるし、また渋滞による遅れが生じる。静的な配分モデルで交通渋滞を表現する手法⁴⁾が提案されているが、渋滞の延伸や減衰などの動的な現象にどのように対応するかという問題が残されている。

交通流動の表現についての二つ目の問題は、交差点における交通流と交通信号との干渉を如何に取り扱うかということである。信号交差点においては明らかに交通流

は交通信号の影響を受けるし、また交通信号の設定は、交通量に基づいてなされる。両者の相互干渉を完全に組み込んだモデルはこれまでのところ開発されていない。ただし部分的に相互干渉を考慮したモデル、たとえば M. J. Smith によるネットワーク容量を最大とする応答的制御策⁵⁾や、利用者と管理者のゲーム論的な競合を考慮したモデル⁶⁾などが提案されている。

三つ目の問題は交通需要の時間的な変動を如何に組み込むかということである。交通の発生は必ずしも定常的ではなく、とくに朝夕のラッシュ時の交通流では時間的な変動が大きい。需要の時間変動にともなって旅行時間が変化し、また渋滞の延伸・減衰が起こる。このような非定常な現象を取り扱うため、配分モデルの動学化についてこれまで様々な検討がなされてきた。数理計画的な手法によってモデルの動学化を図る場合、変数に時間的要素の入った最大値問題⁷⁾を取り扱わざるを得ない。このような問題は、非常に単純なネットワークを対象とするならば数値計算が可能であるが、一般の道路ネットワークを対象とするとほとんど計算は不可能である。実用的な手法として、時間帯ごとに分けて静的な配分を行う手法⁸⁾が提案されているが、時間帯ごとのフローをどのように重合するかという問題がある。

動的な交通現象を正確に取り扱おうとすると、コンピュータ・シミュレーション手法に頼らざるを得ない。コンピュータ・シミュレーションにおいて交通流動を表現する方法には、連続流体とみなす方法と、個別車両を取り扱う方法の二つがある。交通流を連続流体とみなすとき、OD 別にフローの連続性が保持されるためには、OD 別または目的地別に識別された流体を考えなければならぬ。交通流が時間的に変化するときには、さらにフローの時間的な整合を考慮しなければならない。このための有効な方法は、リンクを細かいブロックに分けてフローを細分化することであるが、このようにすると変

*正会員 工博 岡山大学助教授 工学部土木工学科
(〒700 岡山市津島中3-1-1)

数の数が多くなり、演算に時間がかかること、他、細分化されたフローが実際の交通流の単位よりも小さくなってしまいう可能性がある。このようなことのため、交通流動を精緻に表現するためには、1台ごとの個別の車両を単位として、その動きを取り扱う方が合理的であると考えられる。

個別車両を単位とする微視的なシミュレーションは、これまで道路の分合流部や、単一交差点等道路網中の局所的な部分を対象とした交通流の分析に用いられてきた。その場合需要の構造は極めて単純であって、幾つもの起点や終点をもつOD交通量が考慮されることはほとんどない。また交通流の経路あるいは交差点での右左折率があらかじめ設定されており、道路網中での経路選択が取り扱われることもほとんどない。多数のノード、リンクおよび多数の起点、終点を有する道路ネットワークを対象として、経路選択を含む道路ネットワーク上の交通流動を、個別車両を単位として精緻に表現できる汎用的なシミュレーション手法は、これまで十分のものが開発されていない。このようなシミュレーション手法は、交通運用管理計画の評価や運用の指針の作成、あるいは応答的な交通制御法の開発などにおいて、有力なツールとなりうるものであり、その開発の意義は十分大きいと考えられる。

2. 既往の研究

交差点での交通渋滞や信号制御による影響、交通流の時間的変動など道路網上の交通流動の詳細な現象を考慮した交通量配分・シミュレーション手法がこれまで幾つか開発されてきた。それらのうち代表的なものに、CONTRAM⁹⁾やSATURN¹⁰⁾がある。これらは交通運用管理計画を評価するための手法として考え出されたものであって、数十交差点程度のネットワークを対象としたシミュレーションと配分とを結合したモデルである。CONTRAMではパケットと呼ばれる同一ODペアをもつフローを基本的な単位として交通流を表現している。また時間を15分間程度に分割し、各時間帯でのフローを重合することによって動学化を図っている。しかし交差点の構造はあまり詳細に取り扱われていない。一方SATURNでは、30分間程度の固定した需要を取り扱っており、交通流を連続流体として表現している。モデルは、フローの拡散を考慮してフローと遅れの関係を求めるシミュレーションのフェーズと、求められたフロー-遅れ曲線に基づいてリンクフローを求める配分のフェーズの反復よりなる。交差点はかなり詳細に表現されているが、信号設定は固定されている。この手法では、渋滞長の変化が考慮されているものの、本質的に静的なモデルであるため、需要が変化する動的な現象に対応できない。

以上のモデルの他、交通運用管理計画を取り扱うマイクロシミュレーションモデルには、TRAFFICQ¹¹⁾、TRANSYT¹²⁾、NETSIM¹³⁾などがある。これらは交差点を詳細にモデル化し、信号制御やバス、歩行者による自動車交通への影響をシミュレートすることができるが、外生的に設定された固定配分を仮定している。それゆえ変動する交通状況に応じた経路選択を表現することができない。わが国での精緻な配分・シミュレーション手法として、井上のモデル¹⁴⁾、東大生研モデル^{15),16)}、飯田等のモデル¹⁷⁾、森津等のモデル¹⁸⁾などがある。

井上のモデルは、静的な配分モデルではあるが、信号交差点の詳細な構造や信号制御との干渉、交差点での渋滞などを考慮したものである。SATURNではシミュレーションによってフロー-遅れ関数が求められるが、このモデルでは解析的に信号による進行方向別のフロー-遅れ関数が求められており、演算の効率化が図られている。

東大生研モデル(DESC)は、基本的には交通流を連続流体とみなすマクロモデルであるが、右折車の挙動と車両感知器データの再現に関して、部分的に個別車両を取り扱うマイクロモデルが導入されている。ネットワーク表現は粗く、また経路選択は内生化されていない。

改良東大生研モデルは、過飽和時における渋滞現象の再現を目的としたものである。交通流を連続流体とみなし、リンクを細かいブロックに分割して、ブロックへの出入によって交通流動を表現している。モデルは、ブロック内での $Q-K$ 曲線によってブロックの旅行時間を決定するシミュレーションのフェーズと、一定時間間隔で最短経路を更新する経路選択のフェーズよりなる。この方法ではブロック別、目的地別のフローをスキューニング・タイムインタバルごとに求めるため、計算時間が長くなることが問題点としてあげられている。

飯田等のモデルも同様に、リンクをブロックに分割し、スキューニング・タイムインタバルごとにブロックへ出入りする目的地別のフローを求めている。フローが単位時間に進む長さをブロックの長さとする点に特徴があり、ブロック流入量に上限を設定して、それを越えるフローは上流側に残留するものとして渋滞を考慮している。この方法では、右折時の対向交通との干渉や、信号現示との直接の関係は考慮されていない。

森津等のモデルは、経路誘導システムの運用の指針を明らかにすることを目的としたものであり、細かく表現されたネットワーク上での個別車両の動きを再現するものである。利用経路は変動する交通状況に応じて、一定時間間隔で更新されるようになっている。リンク内では車両は一定の速度で走行させるが、旅行時間の非合理性を排除するため、リンクからの車両の流出に条件を設定している。車両間の干渉や、信号現示との整合、右折車

両の対向交通との干渉は考慮されていない。

以上のように、従来の配分・シミュレーションモデルではそれぞれ独自の工夫がなされており、さまざまな特徴を有しているが、道路網や交通流の表現、信号現示との整合性などの点で必ずしも十分でない点が見られ、さらに精緻なモデルの開発が必要となっている。

3. ネットワーク・シミュレーションモデルの開発

本研究においては、詳細に表現された道路ネットワーク上での交通流動を、個別車両を単位としてダイナミックに表現する精緻なシミュレーション・モデルを提案する。

(1) モデルの特徴

本モデルは、パリオディック・スキヤニング方式を用いたデジタル・シミュレーションモデルであり、道路上の個別車両の細かい動きを再現する。その特徴は次のとおりである。

1. 道路網とくに交差点の構造を、車線を単位として詳細に表現している。
2. 道路内での車両間の干渉を考慮して、個別車両の動きを表現している。
3. 交通需要の時間的な変動を許容している。
4. 交差点での信号表示と個々の車両の動きを整合させている。
5. 右折車両の対向交通との干渉を考慮している。
6. 交差点での信号待ち車両の行列の生成、解消をダイナミックに再現する。
7. 経路選択を内生化しており、変動する交通状況に依じて的確な経路が選択されるようになっている。
8. 経路選択における不確定性を考慮している。
9. 信号制御を外生的に与えるモードの他、内生化的モードを有しており、信号制御シミュレーションが可能である。
10. 交通流動をコンピュータ画面に表示するアニメーション機能を有している。

(2) 道路網の表現

一般に交通量配分では交差点はノードとして表現され、また交差点間の道路は方向別に1本のリンクとして表現される。この場合、交差点での右折、左折、直進等進行方向別の交通量や、進行方向別の待ち時間等を考慮することはできない。井上¹⁹⁾は、交差点の詳細な構造をネットワークとして表現し、これを交通量配分に組み込む方法を提案している。この方法は、交差点の各流入部に対して進行方向別にリンクを設定し、各方向に対する信号条件より進行方向別のフロー・遅れ関数を作成するものである。本モデルではこのような考え方をを用いて、さらに実際の道路の構造に対応するよう、精緻に道路網

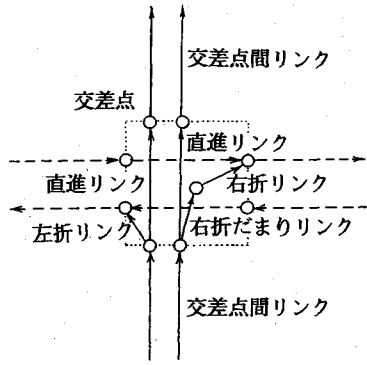


図-1 特定の交差点流入部に対するリンク設定の例

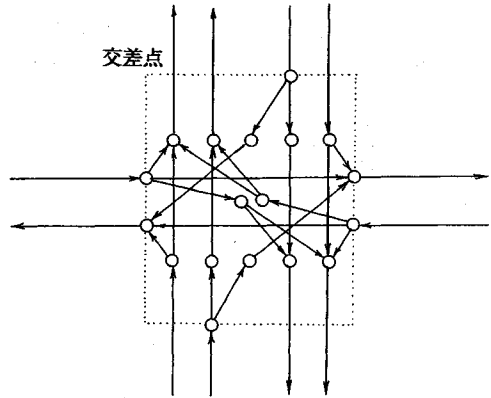


図-2 交差点でのリンク設定の例

を表現する方法を考える。

まず交差点間では、方向別、車線別に独立したリンクを設定するとともに、交差点内では各車線リンクに接続する右折、左折、直進等進行方向別のリンクを設ける。とくに右折に関しては、右折交通の特異性に対応するよう、右折だまりリンクと右折リンクの2段階構造とする。右折だまりリンクは信号待ち右折交通を貯溜するためのものであり、また右折リンクは右折だまりリンクと交差点間リンクを接続するためのものである。これらのリンクの接続状況、長さ、信号設定等は、実際の道路条件、信号条件に対応するように設定する。図-1に、特定の交差点流入部に対するリンクの設定法の例を示す。また図-2には、右折車線、右折専用現示をもつ2方向4車線道路と、右折車線、右折専用現示のない2方向、2車線道路の交差点部のネットワーク表現の例を示す。

フローの発生・吸引は、セントロイドと呼ばれる特別のノードにおいて行う。セントロイドはダミーリンクを経て交差点間リンクに連結される。セントロイドを交差点のノードに連結する方法もあるが、実際の道路で交差点においてフローが発生・吸引することはないから、このような方法は不自然である。実際には配分対象道路に含まれない細街路へ流入することが多いので、セント

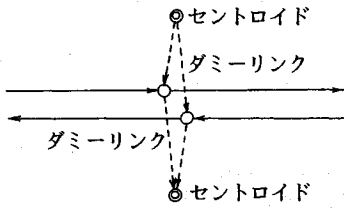


図-3 セントロイドと交差点間リンクの接続

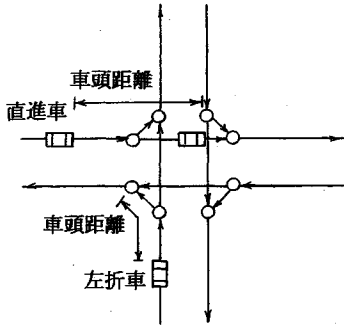


図-4 前方走行車両との車頭距離

ロイドを交差点間のリンクに接続する方が合理的であると考えられる。図-3にセントロイドと交差点間リンクの接続法を示す。

(3) 車両の発生

本モデルでは需要交通量が時間的に変化することを許容しており、このため与えられた時間変動特性に基づいて、一定時間間隔（標準5分）で基準となるOD表を更新する。車両の発生は、各セントロイドにおいて、基準OD表より求められた発生密度より、単位時間ごとに車両の発生の有無を乱数を用いて決定する。車両が発生するときには、別の乱数を用いて、OD表より求められた目的地確率より目的地を決定する。さらに目的地まで複数の経路のうちの1本を選択していくために、別の乱数を発生させる。発生した車両は、ダミーリンクの始端上に位置させる。

(4) 車両の運動

車両の運動は、単位時間ごとに道路内での車両間の干渉を考慮して各車両の加速度を決定し、車両を移動させる。時刻 t , $t + \Delta t$ における車両の加速度は、時刻 t での前方走行車両との車頭距離および当該車両の速度により決定する。ここに前方走行車両は、同一リンク上の前方に車両があるときにはその車両とし、同一リンク上の前方に車両がないときには、当該車両の進む次のリンク上の最後尾の車両とする。これらの車両がないときには、次に進むリンクの終端までの距離を与える。

加速度の決定は、当該車両の速度に応じた車頭距離が維持されるように、また現在走行しているリンクに設定された速度の上限を越えないように行う。

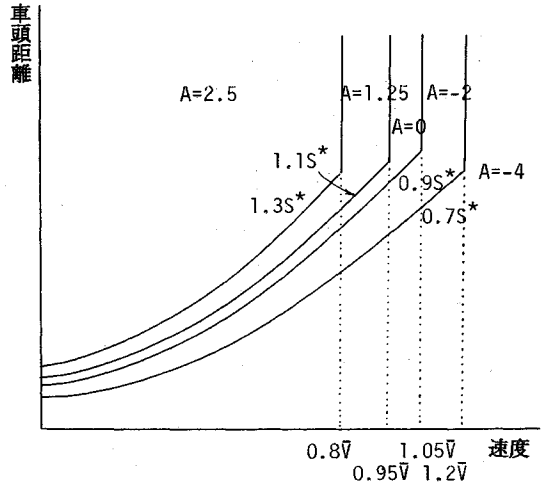


図-5 速度と車頭距離による加速度の決定

まず当該車両の速度に応じた車頭距離が維持されるように、実際の車頭距離 S と、当該車両の速度 V に対する標準車頭距離 $S^* = f(V)$ との比較によって、次のように加速度 $A(m/sec^2)$ を決定する。

$S > 1.3S^*$ のとき $A = 2.5$

$1.3S^* \geq S > 1.1S^*$ のとき $A = 1.25$

$1.1S^* \geq S > 0.9S^*$ のとき $A = -2$

$S \leq 0.7S^*$ のとき $A = 0$

$0.9S^* \geq S > 0.7S^*$ のとき $A = -2$

標準車頭距離 $S^* = f(V)$ は、各種の理論・観測式を参考にし、速度 40 (km/h) で基本容量 2000 (台/時) が確保されるよう、また最小車頭距離が 6 m となるよう、次の関数を設定した。

$S^* = 6 + 0.9V + 0.0324V^2 (m) \dots \dots \dots (1)$

V : (m/sec)

つぎに、各リンクに設定された速度の上限値を越えないようにするため、速度が上限値に近づくと加速されないように、次のように加速度を決める。

$V < 0.8\bar{V}$ のとき $A = 2.5$

$0.8\bar{V} \leq V < 0.95\bar{V}$ のとき $A = 1.25$

$0.95\bar{V} \leq V < 1.05\bar{V}$ のとき $A = 0$

$1.05\bar{V} \leq V < 1.2\bar{V}$ のとき $A = -2$

$V \geq 1.2\bar{V}$ のとき $A = -4$

ここに \bar{V} は各リンクに与えられた速度の上限値である。実際の加速度の決定は、2つの論理を組合せ、安全性のため小さい方の加速度をとるものとしている。図-5に車頭距離と速度による加速度の決め方を示す。

求められた加速度により、前方車両より順に時刻 $t + \Delta t$ における車両の位置および速度を計算する。このとき、移動後に前方車両を追い越す場合が稀に起こるが、

このときには加速度を微調整して追い越しが生じないようにしている。

(5) 信号表示と車両の動きの整合

交差点では車両の動きを信号表示と整合させるため、交差点直前のリンクからの流出が青表示のときのみ可能であるとする。ただし右折に関しては、右折車線および右折専用表示のある場合には、右折だまりリンクからの流出が右折専用表示が青であるときのみ可能であるとする。右折車線および右折専用表示がない場合には、対向直進交通に交差点中央から上流側に一定長さ（標準 40 m）以上のギャップがあるときのみ、右折だまりリンクからの流出が可能であるとする。なお現示の切替え時の流出を許容するため、右折だまりリンクの青時間を実際よりも若干延長させている。

信号表示が赤に切り替わったときには、先頭車には交差点までの距離を車頭距離の代わりに与え、追従車と同様のロジックによって加速度を決定する。ただし交差点の直前一定距離（標準 20 m）以内では、最大減速度 -4 (m/sec) 以内で停止できるときには一定減速度で停止し、最大減速度以内で停止できないときには、現在の速度のままで交差点に進入するようにしている。

(6) 合流

交差点間のリンクにおいては、セントロイドに接続されたダミーリンク上の車両との合流が生じ、また交差点から流出する交差点間リンクでは、交差点内の直進リンクおよび右折、左折リンク上の車両との合流が生じる。合流点では車両どうしの衝突が生じる可能性があり、このためリンク種別によって優先順位を設定し、上位のリンクからの流入を優先させている。優先順位は、ダミーリンク、交差点間リンク、交差点内直進リンク、左折リンク、右折だまりリンク、右折リンクの順としている。ダミーリンクを最優先させているのは、ダミーリンク内で渋滞が生じないようにするためである。

(7) 経路選択

本シミュレーションモデルにおいては、起終点間の利用経路は外生的に与えるのではなく、内生的に適切な経路が選択されるようにしている。需要交通量が時間的に変化するため、リンク交通量も時間によって変化する。それゆえ出発時点において所要時間が最も短い経路であっても、終点に到達するまでそれが常に最適な経路であるとは限らない。このため、利用経路は基本的には次の基準によって選択させる。

“各車両は、常に現在走行しているリンクから目的地まで、現時点で時間が最も短い経路を選択する。”

この基準によって経路選択が行われるとき、現在走行しているリンクの終端のノードに到達したとき、次に進むリンクはその時点でそのノードから目的地ノードまでの最短時間経路上にあるリンクを選択することになる。

こうしてリンク終端に到達するごとに、その時点での最適な経路を選択していく。ただし最短時間経路は各車両のリンク終端への到達時点ごとに探索するのではなく、一定の時間間隔で各ノードからセントロイドまでの最短時間経路を探索し、記憶しておく。経路探索は、あまり短い時間間隔で行っても同じ経路ばかり探索される可能性があり、また計算量も多くなるので、2～3分間隔で行うようにしている。

探索された新しい経路に OD 交通量の全てを配分すると、特定のリンクに交通量が集中し、また交通量の増減が激しくなって、振動を起こすことがある。このため、探索された経路を各 OD について一定の本数だけ記憶しておき、それらの経路に等分に OD 交通量を配分するようにしている。これは経路選択における時間遅れあるいは不確定性を考慮するという意味もある。もし経路選択の時間間隔を短くし、多数の経路に等分に配分すると、そのうちには同一の経路も含まれるから、最短時間経路となる確率に比例して交通量が配分されることになる。これは確率均衡の概念と符合するものである。このことから、本モデルは確率均衡に対する近似的な解を提供するものと思われる。

なお経路探索の際に用いるリンク旅行時間は、次式によって経路更新期間中の平均的な旅行時間を算出する。

$$T_i = L_i \frac{\sum \Delta T_i}{\sum \Delta X_i} \dots \dots \dots (2)$$

ここに T_i はリンク i の旅行時間、 L_i はリンク i の長さであり、 $\sum \Delta T_i$ および $\sum \Delta X_i$ は、スキャンニング・タイムインタバル ΔT および車両が ΔT 中に動いた距離 ΔX を、リンク i 上のすべての車両について、また経路更新期間について合計したものを表す。

(8) 信号制御

本シミュレーションモデルでは、信号制御は外生的にパラメータを与えるモードまたは内生的にパラメータを生成するモードのいずれかを選択できるようにしている。内生モードでは、現在までのところ固定サイクル下での簡単な応答制御を模擬している。すなわち、各流入部に対するスプリットは、現示の飽和度の比率で配分するとともに、オフセットはあらかじめ与えられたツリーに沿って決定していくようにしている。制御パラメータは、一定時間間隔で新しい交通量に応じて更新されるようになっている。このため、交差点直前に車両検知器が配置されているものとして、交差点直前のリンクを流出する車両の数をカウントしている。計測の誤差は考慮していない。なおプログラム中の信号設定の部分を変更することによって、いろいろな信号制御法の模擬を行うことが可能である。

(9) グラフィック表示機能

本シミュレーションモデルでは、シミュレーションの

内容を即時的にグラフィック表示し、アニメーション的に交通流動を表現できるようにしている。このため各ノードの座標を入力しており、ノード間は直線補間して各車両の位置を点で表示している。車両の位置は単位時間ごとに更新を行っており、また流れの状態がよくわかるように、加速車両、減速車両、定速走行車両、停止車両に分けて、それぞれ異なる色で表示している。

(10) 入出力情報

本シミュレーションモデルにおいては、モデルに与える主な入力情報およびプログラムの実行によって得られる主な出力情報は次のとおりである。

入力情報

リンクデータ：リンクタイプ、リンク長、連結ノード、速度の上限等

ノードデータ：x, y 座標等

信号データ（外生モードのとき）：サイクル、スプリット、オフセット等

OD 交通量および時間変動パターン

出力情報

リンク情報：交通量、平均速度、旅行時間、交差点遅れ、渋滞長（5分間および1時間ごと）

トリップ情報：各車両の起点、終点、発生時刻、吸引時刻、旅行時間、利用経路

なおスキランニング・タイムインタバルや経路更新間隔、記憶経路数、信号設定更新間隔等のパラメータは、容易に変更が可能であるようにしている。

4. 交差点での遅れ時間の特性

本シミュレーションモデルの特徴は、交差点での渋滞や右折等、交差点での複雑な交通流の挙動を、信号制御や全体の道路網での経路選択と関連づけて表現しようとするところにある。このためには、交差点での交通混雑による遅れ時間が、正確に再現されなければならない。交差点遅れを規定する要因は多くあり、当該交差点のみならず周辺の交差点での信号制御の影響も受けるものと考えられる。ただしそのような多くの要因を考慮すると、複雑な交互作用が働くため、解析が著しく困難になる。そこで非常にシンプルな場合として、孤立した交差点での遅れをシミュレーションにより求め、これをよく知られた次の Webster の式²⁰⁾と比較して、交差点遅れの予測精度を検討した。

$$d = \frac{C(1-g)^2}{2(1-\rho)} + \frac{x}{2S(g-\rho)} - 0.65 \left(\frac{C}{q^2}\right)^{\frac{1}{3}} (x)^{2+5g} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、d：交差点遅れ
C：サイクル長
G：有効青時間

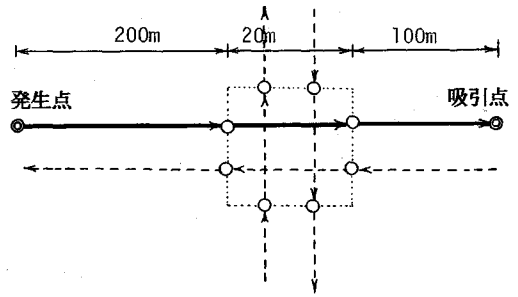


図-6 シミュレーション対象交差点

表-1 交差点遅れの実験値と Webster の式による計算値の比較

発生密度 (台/時)	実発生台数 (台/30分)	交差点遅れ (秒)	
		シミュレーション値	Webster 式の計算値
100	52	13.67	13.48
200	104	15.11	14.61
300	156	16.12	15.89
400	202	17.18	17.33
500	245	19.65	19.01
600	288	21.45	21.13
700	347	24.69	24.56
800	403	33.86	33.63
850	431	52.42	51.55

S：飽和交通流率
q：流入交通量
 $\rho = q/S$
 $g = G/C$
 $x = \rho/g$ である。

対象とした交差点の条件は、図-6 に示すとおりであり、発生点から交差点までのリンク長は 200 m とした。交差点での右・左折は考慮していない。サイクル長を 100 秒、飽和交通流率を 1 800 台/時、スプリットを 50 パーセントに固定して、流入交通量を変化させ、シミュレーションを行った。実行開始後 5 分間経過後の 30 分間の実行によって得られた交差点通過車両の遅れの平均値と、Webster の式による計算値との関係を表-1 に示す。なお交差点遅れは、各車両の旅行時間から、遅滞なく交差点に進入したときの旅行時間を差し引いたものとした。

交差点遅れの実験値は Webster の式による計算値に非常に近接しており、このことから本シミュレーションモデルでは、交差点での遅れの現象を適切に再現しているものと判断することができる。なお発生点から交差点までのリンク長をさらに長くしたシミュレーションでは、交差点遅れの実験値は Webster の式による計算値よりもやや小さくなり、一様到着の場合の遅れを表す同式の第 1 項に近づく傾向がある。これはリンク内を走行する間に、車両間の干渉によって車頭間隔が平均化され

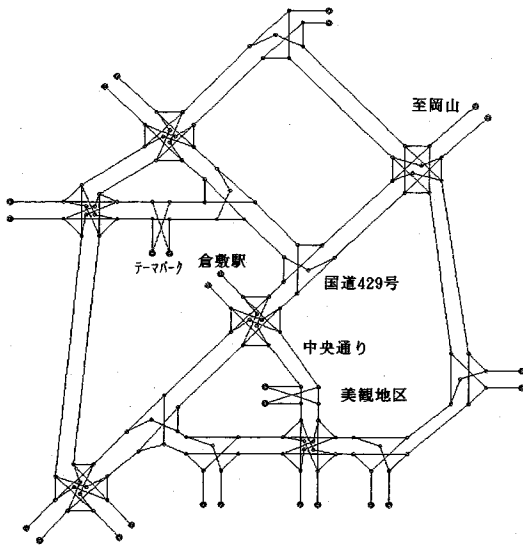


図-7 配分対象ネットワーク

てくるためであると考えられる。

5. 計算例

本シミュレーション手法の適用可能性ならびに演算の効率性を検討するため、具体的なテーマを設定してシミュレーションを行ってみた。対象としたのは倉敷市中心部の道路網であり、JR倉敷駅裏に計画されているテーマパークへの来訪車両による道路交通への影響を予測することをテーマとしている。配分対象道路網は、都心部をとりまく環状道路および国道429号線を中心として、これらに接続する主要街路を含めて設定した。

先に述べたコーディングの手法によって作成された道路ネットワークを図-7に示す。ネットワークのノード数は153、リンク数は215、セントロイド数は13であり、15交差点を含んでいる。

需要交通量は岡山県南地域パーソントリップ調査(1982年10月)の結果を基にして、1992年時点での自動車OD表を作成した。また道路および信号制御も、1992年時点での状態を対象としている。本テーマパークでは夜型の娯楽施設が計画されているので、夕方の帰宅交通とテーマパークへの来訪車が重なる17時から20時までを中心とする時間帯をシミュレーションの対象としている。

需要交通を、テーマパークへの来訪車とそれ以外の一般交通とに分け、それぞれに対して交通発生の時間変化パターンを想定した。簡単のため、時間変化パターンはすべてのセントロイドに対して同一とした。図-8、図-9に示すように一般交通は17時30分から18時30分にピークをもつ台形状とし、テーマパークへの来訪車は18時30分をピークとする三角形状としており、ピーク

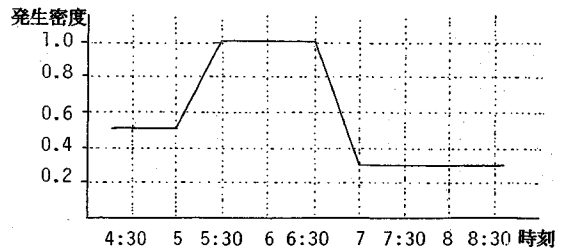


図-8 一般交通の発生パターン

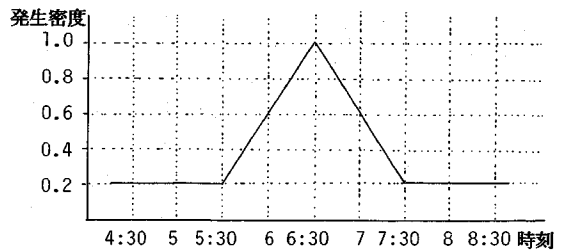


図-9 テーマパークへの来訪車の発生パターン

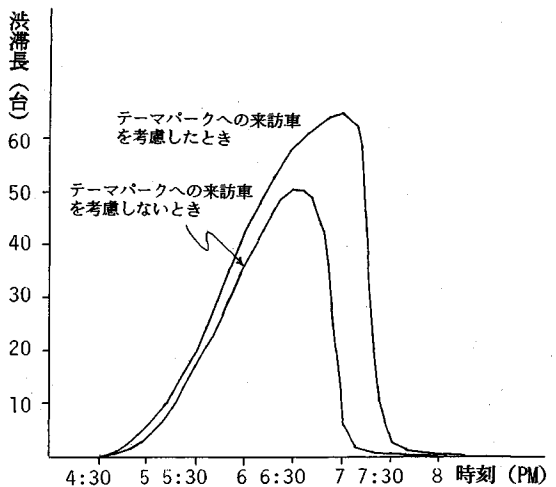


図-10 中央通り駅前交差点での渋滞長の変化

時間を若干ずらしている。17時30分から19時30分までのテーマパークへの自動車による来訪人数は2500人と仮定し、平均乗車人数を2.5人/台として、この間の来訪車数を1000台と見込んでいる。

本シミュレーションにおいては、パラメーターは次のように設定した。

スキャンニング・タイムインタバル=1秒、信号サイクル長=100秒、信号設定更新間隔=300秒、経路更新間隔=200秒、記憶経路数=各ODについて5本

最も混雑が予想されるのは元町通り駅前交差点であり、これとともに国道429号の各交差点でも若干の混雑が予想される。シミュレーションの結果、予測された元町通り駅前交差点での渋滞長の変化を図-10に示す。

テーマパークへの来訪車を想定しない場合には、17

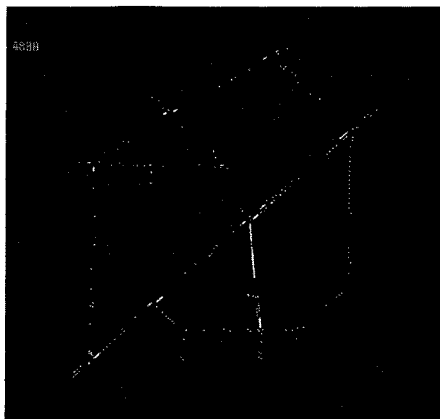


写真-1 交通流状態のグラフィック表示

時くらいから次第に渋滞が長くなり、18時40分くらいまで混雑が続いているが、その後は急速に渋滞が解消している。一方テーマパークへの来訪車のある場合には、渋滞はさらに長くなり、また解消に要する時間も30分程度余計にかかっている。なお、コンピュータ画面に表示された交通流の状態の例を写真-1に示している。

本シミュレーションのプログラムは、パーソナル・コンピュータの使用を前提として、BASICで書かれている。本シミュレーションでは、日電PC-H 98 model U 90(CPU 80486 SX クロック 25 MHz, 主記憶 5.5 M バイト)を使用した。主記憶容量の制約より、1000リンク程度のネットワーク上で、同時に最大約5000台の車両を取り扱うことができる。演算に要した時間は、実時間の2倍程度である。今後さらに高速のパーソナル・コンピュータまたはEWSの使用によって、これらの点の改良が可能である。

6. おわりに

本研究においては、道路網上で交通流動を精緻に再現できるシミュレーションモデルの開発を行った。本研究の内容をまとめると、次のとおりである。

(1) 道路網を方向別、車線別にリンクの集合として表現する方法を示した。とくに交差点では、実際の道路の構造に即して、進行方向別にリンクを設定する方法を示した。

(2) 道路上での車両間の干渉を考慮して、車両を運動させる方法を示した。個々の車両の加速度は、車頭距離と速度ならびに道路の速度上限値に応じて決定され、これによって滑らかに車両を動かすことができる。

(3) 車両の運動を交差点の信号表示と整合させ、とくに右折車両を対向交通との干渉を考慮して動かす方法を示した。

(4) 各車両の利用経路を、時々刻々変化する交通流状況に応じて、ダイナミックに選択させる方法を示した。

この方法では経路選択の不確実性が考慮されている。

(5) 演算の内容を即時的にディスプレイ上に表示することによって、交通流状態を視覚化する方法を示した。

(6) 孤立した交差点での遅れに関するシミュレーションより、交差点遅れ現象を適切に再現していることを確認した。

(7) 具体的にテーマを設定した計算例より、かなりの規模のネットワークにおいても、実際に交通流のシミュレーションが可能であることを確認した。

謝辞：本研究を行うにあたり、京都大学佐佐木綱教授ならびに同飯田恭敬教授より鼓舞激励をいただいた。厚く謝意を表する次第である。なお本研究は、平成4年度文部省科学研究費(一般CNo.04650484)の補助を受けたことを記し、感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) Daganzo, C. F. : Some developments in equilibrium traffic assignment, *Transpn. Sci.*, Vol.11, No.3, pp.253~274, 1977.
- 2) 邵春福・秋山孝正・佐佐木綱：ファジー情報下のネットワーク利用者均衡配分の方法, *交通工学*, Vol.25, No.5, pp.13~23, 1990.
- 3) Iida, Y., Akiyama, T. and Uchida, T. : Experimental analysis of dynamic route choice behavior, *International Conference on Dynamic Travel Behavior Analysis*, Kyoto, 1989.
- 4) 井上博司：混雑した道路網における交通均衡およびその数値解法, *土木学会論文集*, 第365号, pp.125~133, 1986.
- 5) Smith, M.J. : Traffic control and traffic assignment in a signal-controlled network with queueing, *Proc. of the 10th Int. Sympo. on Transpn. and Traffic Theory*, pp.61~77, 1987.
- 6) 井上博司：ノードの隘路性を考慮した交通均衡およびその数値解法, *土木計画学研究・論文集*, No.6, pp.169~176, 1988.
- 7) 松井寛：総走行時間最小化配分と等時間原則配分の動的化, *土木学会論文報告集*, 第339号, pp.239~242, 1983.
- 8) 藤田素弘・山本幸司・松井寛：渋滞を考慮した時間帯別交通量配分モデルの開発, *土木学会論文集*, 第407号/IV-11, pp.129~138, 1989.
- 9) Lenard, D.R., Tough, J.B. and Baguley, P.C. : CONTRAM-a traffic assignment model for predicting flows and queues during peak periods, *TRRL Report LR 841*, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1978.
- 10) Hall, M.D., Vliet D. Van. and Willumsen, L.G. : A simulation assignment model for the evaluation of traffic management schemes, *Traffic Engineering & Control*, Vol.21, No.4, pp.168~176, 1980.
- 11) Logie, D.M.W. : TRAFFICQ-a comprehensive model for traffic management schemes, *Traffic Engineering & Control*, Vol.20, No.11, pp.516~518, 1979.

- 12) Robertson, D.I. : TRANSYT Method for area traffic control, *Traffic Engineering & Control*, Vol.10, No.11, 1969.
- 13) 交通流シミュレーションモデルの適用性検討, 自動車交通, 日産自動車株式会社, pp.46~49, 1991.
- 14) 井上博司: 交通運用管理計画の評価のための均衡論的方法, 土木計画学研究・論文集, No.8, pp.193~200, 1990.
- 15) 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.
- 16) 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), pp.279~286, 1991.
- 17) 飯田恭敬・内田敬・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, 土木計画学研究・講演集, No.14 (1), pp.301~308, 1991.
- 18) 森津秀夫・大原竜也・多田典史・井上琢弥: 経路誘導による交通ネットワークフローの変化に関する分析, 土木計画学研究・論文集, No.9, pp.37~44, 1991.
- 19) 前掲 14).
- 20) Webster, F.V. : Traffic signal settings, *Road Res. Tech. Paper 39*, Road Research Laboratory, London, 1958. (1992.10.26 受付)

A DYNAMICAL SIMULATION METHOD OF TRAFFIC FLOW ON A ROAD NETWORK

Hiroshi INOUE

A precise network simulation method is proposed, which represents traffic flows on a road network dynamically, modelling motions of individual vehicles. The characteristics of the model is to represent the constitution of roads as a detailed network and to move vehicles taking into account the mutual interaction of vehicles and the coordination with signal indications. The model produces signal settings and route choice endogenously, and has a faculty of computer graphics presentation of the traffic flow state on a network. Through practical simulations, it was confirmed that the model reproduces intersection delays adequately and that the exact simulation is possible on a fairly large scale network.