# 信号交差点を組み込んだ時間交通量配分モデルの動的化に関する研究


| メタデータ | 言語: Japanese |
| --- | --- |
| | 出版者: |
| | 公開日: 2017-10-03 |
| | キーワード (Ja): |
| | キーワード (En): |
| | 作成者: 井上, 秀行, 高山, 純一 |
| | メールアドレス: |
| | 所属: |
| URL | http://hdl.handle.net/2297/11807 |

# 107. 信号交差点を組み込んだ時間交通量配分モデルの動的化に関する研究

Improvement of Dynamic in Time-of-Day Traffic Assignment Method Combined with Capacity Analysis of Signalized Intersections

井上秀行*・高山純一**
Hideyuki Inoue and Junichi Takayama

We have proposed a time-of-day traffic assignment model which can predict the hourly traffic volume on each network links. The main feature of this model is to be combined with capacity analysis of signalized intersections. But this model is not modified by demand flows among the adjacent hours for the conservation law of flows.

In this paper, we propose a dynamic assignment model which can describe the congested network flows at bottleneck intersections. And we examine the validity of this model through numerical analysis.

***Keywords*** : dynamic assignment model , capacity analysis of intersections, improvement of intersections
動的交通量配分法、交差点容量解析、交差点改良

## 1．はじめに

近年の都市部における交通渋滞は慢性化しており、交通渋滞の緩和が都市内交通政策の大きな課題となっている。しかし、都市部における交通施設の新規建設は非常に困難である場合が多い。一方都市部における交通渋滞は、その多くがボトルネック交差点を先頭としたものであり、信号交差点の改良並びにその最適制御は最も有効な交通渋滞対策の１つといえる。そこで、都市部における交通運用計画の立案とその評価を目的として、信号交差点での平均遅れ時間を明示的に考慮した配分モデルを提案してきた[1)]。

ところで、従来の交通量配分モデルは、その多くが静的モデルであり、１日あるいは特定の時間帯の平均値として交通量が求められるため、中長期的な道路整備計画や土地利用計画等のハード的対策案の作成や評価には有効であるが、短期的なボトルネック交差点の改良や信号制御の最適化、交通規制の見直し等のソフト的対策案の作成や評価には十分とはいえない。そこでこれからは交通量配分モデルも時々刻々と変化する道路状況に対応できるよう動的化を行う必要があるといえる。

本研究は信号交差点による都市内交通渋滞の発生と短い時間間隔に対する交通状況の変化を記述することを目的として、従来の静的モデルである信号交差点を組み込んだ時間交通量配分モデルの動的化を行うものである。

ここでは、簡単な数値シミュレーションにより提案モデルの適用性を検討し、さらにボトルネック交差点の改良計画案の検討・評価により、その有効性を検討する。

## 2．動的交通量配分モデル

### （１）動的化へのアプローチ

動的交通量配分モデルには大きく２つの流れがある。１つは従来静的モデルとして開発された交通量配分モデルを動的化するものであり、もう１つは車両の挙動を計算機上で記述する交通流シミュレーションによるものである。本研究は従来静的モデルとして提案されてきた交通量配分モデルを動的化するアプローチをとるが、基本となるモデルはマクロな交通流シミュレーションモデルである。そこで本節では動的な交通流シミュレーションモデルに関する研究を整理する。

このモデルの枠組みは、経路選択サブモデルと、交通流サブモデルからなる[2)]。経路選択サブモデルは、ドライバーの経路選択行動を記述するモデルであるが、モデル内における車両・車群の集計単位より、マクロモデルとミクロモデルに分けられる。マクロモデルにはCONTRAM[3)]や飯田らのボックスモデル[4)]が挙げられる。このモデルの基本的な考え方は、同一のＯＤを持ったフローをパケットとして集約化し、パケット単位で最短経路の配分をするものである。一方ミクロモデルは、車両１台ごとに経路選択を行う非集計タイプのモデルであり、交差点改良計画などに用いられる。

交通流サブモデルは、経路選択サブモデルからの交通量を受け、交通量、密度、速度などの交通状態を記述する。交通流サブモデルもマクロモデルとミクロモデルに分けることができる。マクロモデルは、圧縮性流体の連続方程式（交通量の保存則）と速度、密度の関係を用いるものであり、ミクロモデルは個々の車両の行動を記述

* 学生員　金沢大学大学院工学研究科土木建設工学専攻(Kanazawa U.)
**正会員　金沢大学工学部土木建設工学科(Kanazawa U.)

するもので、追従理論に基づいている。

（２）本研究の位置づけ

以上のように、動的交通流シミュレーションモデルは近年大幅に発達している。本研究では、従来静的なマクロシミュレーションモデルとして提案してきた信号交差点を組み込んだ時間交通量配分モデル[5]を動的化することにより、時間的変化に対応できる配分モデルの開発を目指す。本研究で提案するモデルは、基本的に経路選択サブモデル、交通流サブモデルともにマクロモデルに位置づけられる。すなわち、経路選択サブモデルにおいては、信号交差点の通過時間を考慮したパケット集約化を行い、交通流サブモデルにおいては、リンクにおける流入・流出の保存関係を用いるため、交差点流入部における車群の滞留を考慮する。

## ３．信号交差点を組み込んだ交通量配分モデルの動的化

（１）交通量配分モデルの基本的な考え方

本研究で動的化を行う配分モデルは、混雑したリンクにおける交通量とリンク走行所要時間の関係の中に、信号による平均遅れ時間（平均待ち時間）を明示的に取り入れたところに特徴がある。本モデルでは、各分割配分を行うたびに各交差点における交通容量解析と最短経路探索を繰り返す。具体的には、分割配分法により配分された交通量から各交差点の需要交通量（右左折直進交通量、対向直進交通量等）を計算し、与えられた信号現示方式について交差点の容量解析（飽和交通流率、正規化交通量、現示の飽和度、交差点飽和度の計算）を行う。その結果、交差点を通過する需要交通量が交通容量を超過した場合その超過分が渋滞列を形成する。なお、交差点の容量解析は信号交差点設計マニュアルである「平面交差点の計画と設計（交通工学研究会）」に基づいているが、各信号サイクル長やスプリットは与件とし、配分を通じて一定の値を用いている。需要交通量は各時間帯当たり一定の値として考え、時間帯内での需要変動はないものとする。なお、時間帯の幅は対象エリアの大きさや配分の目的などにより異なるが、概ね5～10分とする。

本モデルにおける渋滞列のモデル化を図-1に示す。２つの交差点に挟まれたある任意のリンク（リンク長：L）において、交差点流入部から渋滞列が生じたとする。

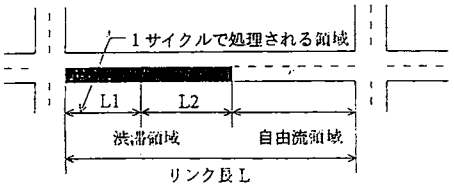



図-1　渋滞列のモデル化

このとき、このリンクを自由流領域（速度：$V_1(Q)$）と渋滞領域（渋滞長：$L_2$、速度：$V_2(Q)$）に分け、そのリンクの走行所要時間tを式(1)(2)に示すように仮想的な自由流領域での走行所要時間（$L/V_1(Q)$）と、信号による平均遅れ時間y（$y_{max}$：飽和状態における平均遅れ時間）およびリンク終端（渋滞列）における仮想的な待ち時間w（$=\{L_2/V_2(Q)-L_2/V_1(Q)\}$）の和として表す。yは式(1)で求められる。

$$y=\frac{H\{1-(G/H)\}^2}{2\{1-(Q/S)\}} \tag{1}$$

ここに、H；サイクル長、G；青時間、Q；流入交通量、S；飽和交通流率である。

本来は１サイクルで捌ける車列についても、発進損失等を考慮すべきであるが、停止線通過の速度はほぼ自由流領域と同じと考えられる。また、本モデルは信号交差点を明示的に考慮したマクロシミュレーションモデルであり、配分対象時間帯で交差点を通過できるか否かがポイントとなる。そのため交差点手前の１サイクルで処理される交通量が占める領域（$L_1$）は自由流領域として扱った。

(i)　渋滞列のない場合$(0 \le Q \le C)$

$$t=L/V_1(Q)+y \tag{2}$$

(ii)　渋滞列がある場合$(C<Q<C_{max})$

$$t=L/V_1(Q)+y_{max}+w \tag{3}$$

ここに、Qはリンク上を流れる交通量であり、Cはリンク終端における端末交通容量（ボトルネックとなる交差点の交通容量）である。また、$C_{max}$はリンクの区間交通容量である。本研究では渋滞列が発生する状態（過飽和状態）を$(C<Q<C_{max})$と考えた。すなわち、n時間帯のリンク交通量の確定後、式(2)あるいは(3)によってn時間帯のリンク所要時間が決定し、n+1時間帯の最短経路探索が行われる。

（２）モデルの動的化

本モデルは分割配分法を基本として動的化を行うため、配分にあたっては静的な分割配分の方法を応用し、一定の時間帯幅の交通量を１回の最短経路探索により配分するものである。なお、本モデルでは、リンク走行時間の算出にあたり、リンク容量を用いた関数（例：修正ＢＰＲ関数）を用いる。また、延伸渋滞列が手前交差点に達した場合、手前交差点流入部における流入可能台数を再計算する方法[6]をとっている。

(i)経路選択サブモデル

動的交通量配分モデルにおける経路選択サブモデルのＯＤフローの考え方は、以下の３つの仮定としてまとめることができる。

仮定１：同一時間帯内に同じＯＤペアとして配分される

交通量は、1つのパケットに集約し、その時間帯の最初に起点ノードを出発するものとする。

**仮定2**：交差点ノード流入部で滞留が発生した場合、そのOD内訳は当該流入部を通過するOD交通量の比から決定する。そのうえでパケットを交差点を通過したものと滞留によるものに分割し、次の処理（次時間帯の配分あるいは後述の2次配分）を行う。

**仮定3**：経路選択単位はODペア単位（パケット単位）とし、経路選択は各時間帯の初期に行い、その時点における最短経路（所要時間、信号待ち時間などは前時間帯の配分結果）に配分するものとする。

本研究はマクロシミュレーションの方法を採用するため、基本的にはODフローを仮定1のように取り扱う。したがって、基本的にはODペアがあるノードに時間帯内に到着できるか否かはAll or Nothingで判断する。しかし、実際には交差点ノード流入部における滞留が生じるため、仮定1だけでは不十分である。そこで、交差点ノードにおける滞留台数に関しては、仮定2のように取り扱う。また、各ドライバーの行動は、仮定3のように、完全情報のもとで、各時間帯の初期に最短経路を把握し経路を変更するものと考える。なお、静的モデルと同様、各時間帯におけるリンク交通量の確定後、配分された各リンク全体の交通量Qにより、式(2)あるいは(3)から、各リンクの所要時間が算出され、次時間帯の最短経路探索が行われる。なお、本研究では信号交差点の短い都市内街路を対象としており、またマクロシミュレーションとして時間帯幅を5～10分に設定しているので、リンクの各部分の交通量もほぼ等しいと考えている。実際には厳密に動的なODデータを得ることは困難であるので、1つのアプローチとして、時間帯内でODは一定とみなしたうえで、パケット化の処理を行うこととした。

（ii）交通流サブモデル

交通流サブモデルは、各時間帯幅でODが到達できる距離を考慮した1次配分と、その中で信号交差点における捌け残り交通量（滞留交通量）の処理を行う2次配分からなる。本研究で用いる交通量配分モデルでは、配分を行うたびに信号交差点の容量解析を行うため、2通りの方法を考えた。以下、モデル1、モデル2としてそれぞれについて述べる。

**モデル1：交差点に発生・集中ノードを設定しない**

(a) 1次配分

いま、時間帯nにおけるODペアIJのOD交通量OD(I,J)について考える（図-2）。OD(I,J)が出発してからm番目のリンクを通過するのに要する時間をt(m)とする。ここで、時間帯幅をTとし

$$t(m-1)<T<t(m)$$

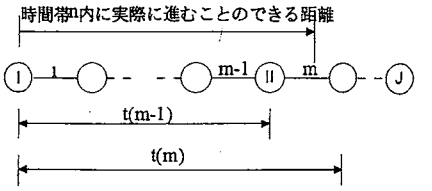



図-2 時間帯n内におけるODペアの考え方（モデル1）

の場合を考える。これは、OD(I,J)が時間帯内（時間帯幅T）にm番目リンクの途中まで到達した場合を示す。このときm番目リンクの起点ノードをIIとすると、OD(I,J)は時間帯n内にノードIIまで到達したものとし、残りのII→Jは次の時間帯に移動するものとする。なお、ノードIIが交差点ノードの場合は、さらにその1つ手前のノードまでしか到達できなかったものとする。ただし、ノードIIが発ノードIと等しくなった場合（時間帯n内に次のノードまで到達できない場合）は、発ノードIの次のノードまで到達したものとする。次のノードが交差点ノードであった場合は、その先の発生・集中ノードまで到達したものとする。

(b) 2次配分

1次配分の結果交差点が過飽和となり、流入リンクにおいて滞留交通量が発生した場合の基本的な考え方について述べる。

図-3に示すように、時間帯nのOD交通量をOD(I,J)＝100台とし、時間帯n内にノードIIまで到達したものとする。このとき経路途中にある信号交差点Kが飽和し、20台が捌けなかった（実際にノードIIに到着できたのは80台）ものとする。

モデル1では、信号交差点ノードでの発生・集中は扱っていないため、信号交差点で捌けなかった交通量は、その交差点の手前のノードより、次の時間帯に改めて配分するものとする（図-4）。したがって、本モデルを適

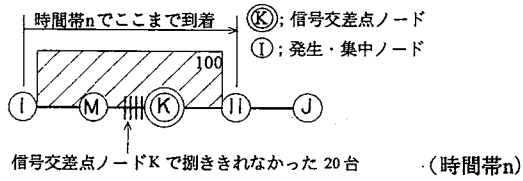



図-3 交通量状況図

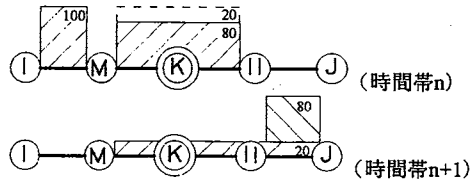



図-4 モデル1の基本的な考え方

用する際に用いるネットワークは、発生・集中ノードをできるだけ密に設置しておく必要がある。

モデル２：交差点にも発生・集中ノードを設定する

(a) １次配分

いま、モデル１と同様に、時間帯nにおけるＯＤペアＩＪの交通量OD(I,J)について考える。

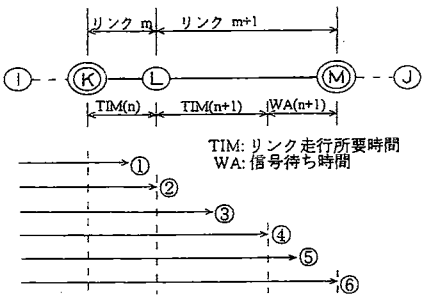



図-5 時間帯n内におけるＯＤペアの考え方（モデル２）

時間帯幅Tに対する到達位置（ノードIを出発したトリップが時間帯幅Tで進むことのできる距離）は図-5の①～⑥の６種類に分類される。①～⑥に示す、時間帯nが終了した瞬間の状況と計算上の扱いは次の通りである。

①交差点ノードKを通過し、次の発生・集中ノードへ向かっている途中：交差点Kは時間帯n内で通過しているので、このＯＤ交通量は時間帯n内でノードLまで到達したものとする（繰り上げ配分）。

②発生・集中ノードLに到着：モデル１と同様に、ノードLまで到達したものとする。

③発生・集中ノードLを通過し交差点ノードへ向かっている途中：モデル１と同様に、ノードLから先のＯＤ交通量を打ち切り、ノードLまで到達したものとする（打ち切り配分）。

④、⑤交差点ノードMで発生した渋滞列の最後尾あるいは途中に到着：交差点の通過は次の時間帯n+1以降になるが、リンクm+1は通過したものとみなせるので、ノードMまで到達したものとする（繰り上げ配分）。

⑥交差点ノードMで発生した渋滞列の先頭になった状態：ノードMまで到達したものとする。

なお、到達ノードと発ノードが一致した場合（時間帯n内に次のノードまで到達できない場合）は、発ノードの次のノード（交差点または発生・集中ノード）まで到達したものとする。

(b) ２次配分

モデル１と同様に、１次配分の結果、信号交差点が飽和した場合の滞留交通量の算出方法の基本的な考え方について述べる。

時間帯nのＯＤ交通量をOD(I,J)=100台とし、時間帯n内にノードⅡまで到達したものとする。このとき経路途中にある信号交差点Kが飽和し、20台が捌けなかったもの（実際にノードⅡに到着できたのは80台）とする（図-3参照）。モデル２では、信号交差点で捌けなかった交通量を交差点ノードまでのＯＤとして扱い、次の時間帯に交差点ノードからのＯＤとして配分する（図-6）。

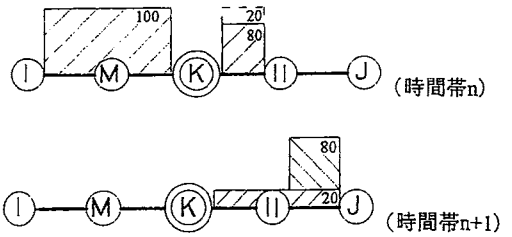



図-6　モデル２の基本的な考え方

したがって、ボトルネック交差点（本例では交差点ノードK）の前後の交通量の変化を表現できる。

モデル１では交差点ノードでの発生・集中を扱わないため、時間帯内に到着できなかったＯＤ交通量を直前の発生・集中ノードまで遡り減じている。したがって信号交差点ノードをはさんでいる発生・集中ノード間で滞留したＯＤ交通量は、信号交差点ノードの通過・未通過に関わらず直前の発生・集中ノードまでのＯＤ交通量として扱われ、この交差点ノードを通過するのは次の時間帯ということになる。同様にボトルネック交差点で滞留した交通量も、直前の発生・集中ノードまでのＯＤとして扱われるため、ボトルネック交差点前後の交通量の差が表現できない。しかし、実際にはボトルネック交差点の前後では交通状況は異なっており、より厳密な解析のためには、ボトルネック交差点の下流のリンクのみフローを減じて、前後の交通量に差をつける必要がある。そこでモデル２では、飽和した交差点の滞留交通量を次の時間帯で信号交差点ノードを起点とするＯＤとして扱うようにした。しかし、モデル２では、交差点での滞留交通量を当該時間帯内において交差点までのＯＤとして扱うため、ボトルネック交差点までの時間的距離が短く、対象交差点と発ノードの間にボトルネックがない場合、配分交通量は交差点での滞留を考えない場合と等しくなる。また、交差点容量解析では前時間帯での滞留交通量を流入部別、目的地方向別で計算し、右左折直進交通量に加算しているが、現時間帯の滞留台数は流入部リンクにおける走行所要時間関数から求めることになり、前時間帯の滞留台数を完全に組み入れているとはいえない。一方モデル１では、時間帯nで交差点ノードに滞留した車群は次の時間帯に改めて当該交差点の容量解析の対象とす

ることができる。このように、各モデルに固有の長所、短所がある。そこで本来は、モデル２のアルゴリズムに、交差点流入部の渋滞列の後尾にノードを追加するなどの処理を加えることが望ましいが、モデルが煩雑になることを防ぐため、本研究では以上に提案した２つのモデルを検討対象とした。本研究で提案した交通流サブモデルの範囲でより厳密な解析を目指すためには、ノードをできるだけ密に配置したネットワークを用いることが望ましい。今後は１次配分にみあった２次配分のアルゴリズムの開発が必要であろう。

## ４．モデルネットワークを対象とした適用例

本研究で提案した動的マクロシミュレーションモデルは、動的ＯＤの取り扱いに際して、信号交差点における滞留とそれに伴う遅れ時間の影響を考慮する点に特徴がある。そこで、本研究では簡単な仮想ネットワークに提案モデルを適用し、動的モデルによる時間変動に伴う渋滞列の延伸状況やボトルネック交差点における交通現象の再現性を確認すると同時に、今回提案した２つのモデルによる解析結果を比較分析する。さらに、本研究で提案したモデルの重要な利用目的である信号交差点の改良による影響評価についても検討する。

今回動的モデルに適用した仮想ネットワーク（図-7）は、信号交差点数4、セントロイド数11、方向別リンク数30である。またＯＤペアは出発ノードを含め、全てのセントロイドに向かって一様に発生するものとし、時間

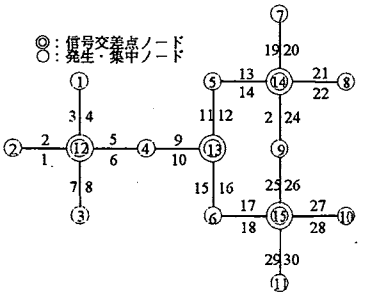



図-7　配分対象ネットワーク

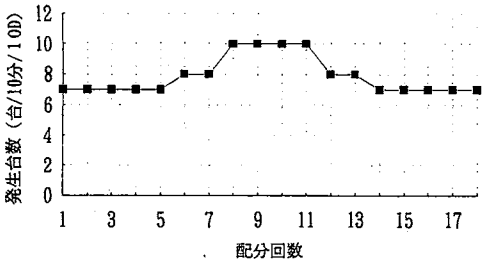



図-8　ＯＤ発生パターン

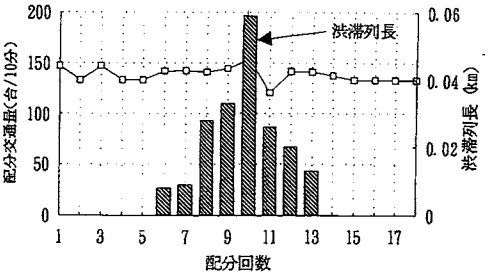



図-9　リンク15渋滞状況の時間的変化（モデル１）

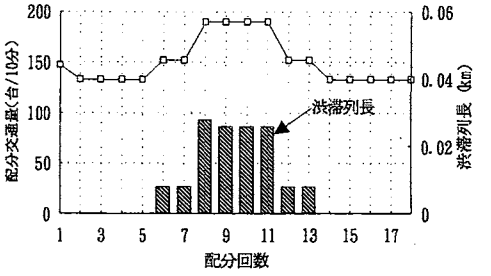



図-10　リンク15渋滞状況の時間的変化（モデル２）

変化に伴い、図-8のように変化させた。

なお、時間帯幅は10分とし、18回配分した。配分計算に際しては富士通FACOM M760/20(128MB)を使用した。

（１）渋滞状況の時間的変化

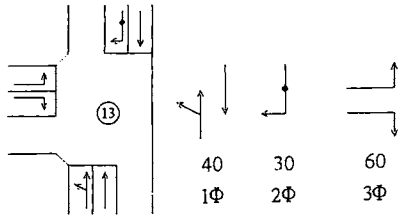
モデル１、並びにモデル２を用いた場合の配分結果を図-9、図-10に示す。

図-9によれば、ＯＤ交通量がピークとなる配分回数10で渋滞列長が最長（59m）になると、次時間帯である配分回数11ではこのリンクの配分交通量が最低になっている。これは前時間帯の影響を表現したものといえる。ところが、モデル１ではボトルネック交差点（交差点ノード13）に滞留した交通量はその手前にある発生・集中ノード（ノード6）までのＯＤとして扱われるため、図-9に示された配分交通量の中には交差点に滞留する交通量が含まれていない。したがってリンク交通量が増加し、それに伴い渋滞列長が増加したという関係はこのグラフからは読み取ることはできない。

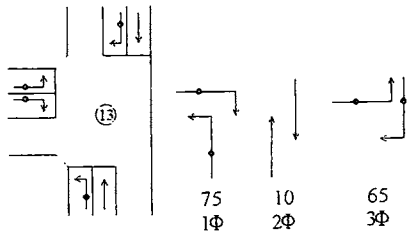
一方モデル２では、交差点に滞留する交通量に対して打ち切り処理（手前の発生・集中ノードまで到達したものとする）を行わず、交差点に滞留する交通に関しては交差点における発生・集中を認めたため、配分交通量増加に伴う渋滞列長の増加がより現実に即した形で再現されている（図-10）。

（２）ボトルネック交差点の改良による影響評価

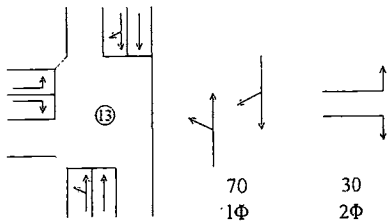
信号交差点の改良によって渋滞緩和を図る場合は、ま




(1) 改良前　サイクル長：140秒　損失時間：10秒




(2) 改良案A　サイクル長：160秒　損失時間：10秒




(3) 改良案B　サイクル長：110秒　損失時間：10秒

図-11　信号交差点13の改良計画案の検討

ず信号制御方式の見直しを行うのが一般的である。そこでここではこの仮想ネットワークにおけるボトルネック交差点（交差点ノード13）の渋滞解消を目的として、図-11に示す信号現示方式を提案することにより計画案の評価を行う。動的配分モデルは前節の結果を考慮してモデル2を用いることにした。

改良前の交差点ノード13ではリンク15（ノード6方向からの流入部）における滞留が多い。そこで改良案として、リンク15からの左折交通及びリンク12（ノード5方向）からの右折交通に対し、より多くの青現示が与えられるように、現示案として改良案A及びBを作成した。まず表-1より、現在の現示よりも改良案Aが、改良案Aよりも改良案Bの方が交差点ノード13での滞留交通量が減少することがわかる。一方交差点ノード13の渋滞列の解消に伴い、ネットワーク全体の時間交通量が増え、他の交差点の交通量及び交差点飽和度が上昇していることがわかる（表-2）。これはボトルネック交差点の解消による他の交差点への波及効果を表現したものといえる。

なお計算時間及び計算容量は、それぞれモデル1で6.85sec.、1576kBであり、モデル2で平均8.78sec.、2260kBであった。

表-1　渋滞列長の変化（モデル2，配分9回目）

| | | 改良前 | 改良案A | 改良案B |
|---|---|---|---|---|
| No. リンク | 9 | 24 | 8 | 0 |
| | 12 | 6 | 2 | 0 |
| | 16 | 26 | 9 | 0 |

（単位：m）

表-2　交差点飽和度の変化（モデル2）

| | | 改良前 | 改良案A | 改良案B |
|---|---|---|---|---|
| No. 交差点 | 12 | 0.583 | 0.61 | 0.61 |
| | 13 | 0.959 | 0.921 | 0.896 |
| | 14 | 0.369 | 0.396 | 0.372 |
| | 15 | 0.428 | 0.429 | 0.382 |

## 5．おわりに

本研究では、交通運用管理計画の立案・評価を行うために、信号交差点を組み込んだ時間交通量配分モデルの動的化を行った。結果をまとめると次のようになる。

（1）仮想ネットワークにおいて適用性を検討したところ、時間経過に伴う渋滞列の延伸と解消を表現できた。

（2）実際にボトルネック交差点の2つの改良案を比較・検討し、ボトルネックを解消することによる影響評価や信号制御の改良がその地域へ及ぼす影響評価などが可能であることがわかった。

なお、今回は適用例として小規模なネットワークを対象としたが、本モデルは分割配分法をベースとしているので、都市圏規模の大規模道路網に対しても十分適用可能である。ただし、その場合には、与件としての動的なOD交通量（10分間OD）をどのようにして与えるかが今後の課題といえる。

最後に、本研究は文部省科学研究費一般研究（C）の研究助成により行われた成果の一部である。また、計算を行うにあたり、中村光生氏（富士設計コンサルタント勤務）ならびに金沢大学工学部土木建設工学科4年木村晃規君（現、福井大学大学院1年）の協力を得た。ここに記して、感謝したい。

【参考文献】

1) 髙山純一、中村光生、飯田恭敬(1990)；信号遅れ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
2)朝倉康夫(1993);動的経路誘導システムにおける交通量配分モデルの役割，平成3年度・平成4年度科学研究費補助金総合研究(A)　研究成果報告書,pp107-116
3)R.D.Coonbe(1989);Review of computer software engineers,Transport reviews,Vol.9
,No.3,pp.218-234
4)飯田恭敬、内田敬、藤井聡、鷹尾享(1991);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，No.14(I)，pp.301-308
5)髙山純一、亀谷靖文、中村光生(1993)；信号交差点を組み込んだ時間交通量配分モデルの改良について，土木計画学研究・講演集No.16(1),pp.981-986
6)髙山純一、亀谷靖文、中村光生(1993)；信号交差点における先づまり現象を考慮した交通量配分モデル，第13回交通工学研究発表会論文集，pp.129-132