

道路ネットワークにおける交通量の配分のための動的モデル

東京大学 正員 内山又雄

東京大学 正員 中村英夫

1. はじめに

近年、都市内交通の円滑化や環境改善を旨として種々の交通規制策が検討され、現実にも例えばある時間帯での大型車走行規制など、既存道路の交通量の量的、時間的な規制策が一部実施されている。

しかしながらこういった交通規制策のもたらす影響は規制対象地域及び規制対象時間帯のみならず、それに重なる他の時間帯や他の地域での交通量に変化を促かし、これらの地域や時間帯にも波及する。したがってこれら規制策のもたらす影響を予じめ計測しない限り、交通規制策の実施効果を議論することは意味がない。

このような場合、一般に用いられているのは従来交通量の配分モデルを模したる予測モデルである。しかしながら従来の配分モデルは主としてネットワーク上の各区画における一日平均の断面交通量を見出すことを目的に作成されたもので、時々刻々変化する交通状況を再現することはできない。本研究で扱おうとする規制策の実施効果をみる場合、その効果はその時間帯のみで静的に考え得るのではなく、上述のように他の時間帯にも他の地域へも影響を波及するものであり、したがって動的に扱いかねるモデルを用いることが必要となる。

本研究ではこのような目的のため、各種交通規制策が及ぼす影響を追跡することが可能な時変変動を考慮に入れた配分モデル(Dynamic Assignment Model)を考案し、動的に変化するネットワーク内の各地点の通過自動車台数、走行速度などの交通状況の時動的な変化を求めることによって交通規制策実施の効果を表現する方法を作り上げることを試みるものである。

このため本研究では、まずはじめに動的配分モデル(DAM)作成のための準備として従来より開発され提案されてきた配分モデルによる規制策実施の効果を予測する場合の困難点とその限界について簡単にふれる。そしてDAMの基本的な考え方、及びその内容について述べ、首都圏道路を適用例としてDAMの再現能力を検討し、一般道路への適用に際しての困難点などについて言及する。

2. 既往の配分モデルによる規制策の実施効果の検討方法とその限界

既往の配分モデルは基本的にはネットワークの変更による断面交通量の変化をみようとするものであるが、リンクデータの操作によっては交通規制策の及ぼす影響もある程度知ることが可能である。従来の配分モデルの適用例からどのような交通規制策に対してどのような方法でそのもたらす影響を見い出すのかを表-1にまとめおくことにする。

このような操作によって既往の配分モデルを用いてもさまざまな規制策の実施効果はある程度は表現することができると言えるが、配分結果として得られるリンクの特性値が表現できる内容にはおのずと限界がある。

例えば時間的な規制を検討する場合には、通常時間帯別に分割したOD表を用いるが、時間帯を細分すればする程距離の近いODも距離の遠いODもその時間帯内には全てのトリップが完了したことになり現実的ではなくなる。また反対に、時間帯の分割を細かくしなければ朝夕のピーク時などの短時間交通量の増減を知

表-1 既往の配分モデルにより扱うことのできる規制策とその計算方法

規制策	方 法
一方通行	リンクの流れと一方向ずつ別々に考え、規制対象道路を含むリンクに対しては一方向ずつ別々の交通容量を与える。
流入規制	面的な進入規制に対しては、その地域内に存在する道路を配分対象リンクに含めない。一方向のみの流入規制に対しては一方通行と同様に考える。
車種別走行規制	車種別にネットワークを設定して、他車種の交通量を考慮して配分する。
走行時間規制	規制対象道路を規制時間内のみネットワークから除外し、時間帯別に分割したOD表を配分する。
バイパスの建設	建設対象道路をネットワークに加えて配分する。
車道拡幅	拡幅対象道路を含むリンクの交通量を増す。容量制限式を用いる場合はそれを新たに作成する。
時差通勤	時間帯別に分割したOD表を作成しなおして配分する。

ることはできず、変態や遅延を平均化した結果しか得ることができない。

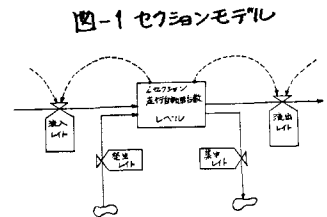
すなわち定常的な走行状態を仮定できるような場合には既述の配分モデルに基づいて各種指標の及ぼす影響をかなりのところまで表現できると考えるが、どこで交通混雑が発生し、変態が発生し伝播しているのかといった時刻刻々変化する交通状態を追跡しなければ各種指標の実施効果を十分に表現することができないようなピーク時などの分析には既述のモデルを適用することはできない。このため本研究では時刻刻々変化する交通状態を追跡することを念頭においた配分モデルとしてDAMを提案する。

3. 動的配分モデル, Dynamic Assignment Model (DAM)

3-1 モデルの基本的な考え方

対象地域を道路網や橋を加えるべき交通制約等を考慮して適当な大きさに分割し、この分割された区画をセクションと呼ぶことにする。

いま、時刻 (t) と $(t+\Delta t)$ の交通状態を考えて、時刻 (t) において各セクション内に滞留している(各セクション内を走行している)自動車台数をストックとみれば、 (Δt) の間に他のセクションに移動する自動車台数(断面交通量)をフローとみることができる。このときセクションから j セクションへ移動する交通量は、 i セクションの滞留台数で表現される状態状態に依存し、さらに j セクションの混雑状態にも影響されると考えられる。



フローとストックのこれらの関係を表現するのに、システムダイナミクスで用いられる表記法を用いると、図-1に示されるように格略に表現される。時刻 (t) における各セクション内の滞留自動車台数はレベル変数で表わされ、これらのレベル変数はレイト変数を介して隣接するセクション間で連絡しており、レイト変数の値は時刻 (t) から $(t+\Delta t)$ までの Δt 間にセクション間で移動する交通量を示している。このレイト変数は、レベルからの情報と他の情報とから決定されることになる。こうして各時刻におけるあるセクション内に滞留する自動車台数とそのセクションへ流入する自動車台数は、セクションごとに定まるレベル変数とレイト変数と考えることによって表現することができる。これをセクションモデルと呼ぶことにし、このようなモデルを対象地域全域の道路網全体について連絡させ、シミュレーションを行なうことによって全てのセクションの交通状態の時間変動を追跡することができる。

3-2 セクションモデル

時刻 $(t, t+\Delta t)$ にセクション j 内において走行する自動車の台数 $P_j^{t, t+\Delta t}$ は式で表現することができる。

$$P_j^{t, t+\Delta t} = P_j^t + S_j^{t, t+\Delta t} + R_{ij}^{t, t+\Delta t} - R_{jk}^{t, t+\Delta t} - W_j^{t, t+\Delta t} \quad (1)$$

ここに、 P_j^t : 時刻 (t) においてセクション j 内を走行している自動車台数

$S_j^{t, t+\Delta t}$: 時刻 (t) から $(t+\Delta t)$ の間に j 内において新たに発生する交通量

$R_{ij}^{t, t+\Delta t}$: 時刻 (t) から $(t+\Delta t)$ の間に j と隣接するセクション i より j に流入する交通量

$R_{jk}^{t, t+\Delta t}$: 時刻 (t) から $(t+\Delta t)$ の間に j より j に連なるセクション k に流出する交通量

$W_j^{t, t+\Delta t}$: 時刻 (t) から $(t+\Delta t)$ の間に j に到着してトリップを完了する交通量

セクション j から流出する交通量 $R_{jk}^{t, t+\Delta t}$ は次の2つの条件により規定されると考える。

i) セクション j の走行密度 k_j^t 及び断面交通量 Q_j^t

これはセクション j 内を走行する自動車台数 P_j^t と j の道路面積 r_j の積により表わされる j の自動車の走行密度 k_j^t 、及び j 内の線形や信号機の数等の道路条件とに依存して表現される。道路の線形や信号機等の道路条件はセクションごとに一定であるのでこの Q_j^t は

$$Q_j^t = f_j(P_j^t/r_j) \quad (2)$$

と表現できる。この状態形 f_j はセクション j の道路条件と既存道路の交通量、走行速度、走行密度の観測結果から見出す。なお上記 K_j^t は j セクションでの混雑の程度を表わしている。

ii) セクション k の自動車走行密度 K_k^t

これもセクション j の場合と同様セクション k を走行する自動車の台数と道路面積により表わされ、 j と同様セクションでの混雑の程度を示す。

したがって

$$R_{jk}^{t+\Delta t} = g(Q_j^t, K_j^t, K_k^t) \quad (3)$$

と表現される。これは K_j^t で表わされる j セクションでの混雑の状態に依存して求まる流出乗数と、 K_k^t で表わされるセクションでの混雑の状態に依存して求まる流入乗数と Q_j^t の積で与えられ、それぞれの乗数はテーブル関数から設定される。

セクション j から流出する自動車の進行するセクション k は一般に1つとは限らず、 $k_1, k_2, \dots, k_m$ と複数であり、したがって断面交通量 Q_j^t はそれら各セクションに

$$Q_j^t = Q_{jk_1}^t + Q_{jk_2}^t + \dots + Q_{jk_m}^t = (\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_m) Q_j^t \quad (4)$$

と配分される。この配分率 α_i ($i=1, 2, \dots, m$) は j より目的地 D に向うとき、セクション $k_1, k_2, \dots, k_m$ を経由したときの期待される所要時間と、進行先の各セクションにおける自動車密度 $K_{k_1}^t, K_{k_2}^t, \dots, K_{k_m}^t$ によって表わされる進行先の各セクションの通過のしにくさによって決定されるとする。期待所要時間として定常走行時における平均値を用いるとすればこれは定数となるので、配分率はたとえば

$$\alpha_{ki} = h_i(K_{k_1}^t, K_{k_2}^t, \dots, K_{k_m}^t) \quad (5)$$

と表現され、従来より用いられている経路選択モデルを用いて計算される。

このように表わされるセクション j における交通状態のパラメータはそれぞれの目的地ごとに表わされ、これを集めたものとして、例えば j 内を走行する全自動車台数は P_{0j}^t と表示され、

$$P_{0j}^t = P_{0j1}^t + P_{0j2}^t + \dots + P_{0jm}^t \quad (6)$$

となる。なお添字の0は目的地全てについて合計するということを示す添字であり、このような意味から(2),(4),(5)式の P, Q, R, K には添字0が付される。

これらの関係を図示したものが図-2である。

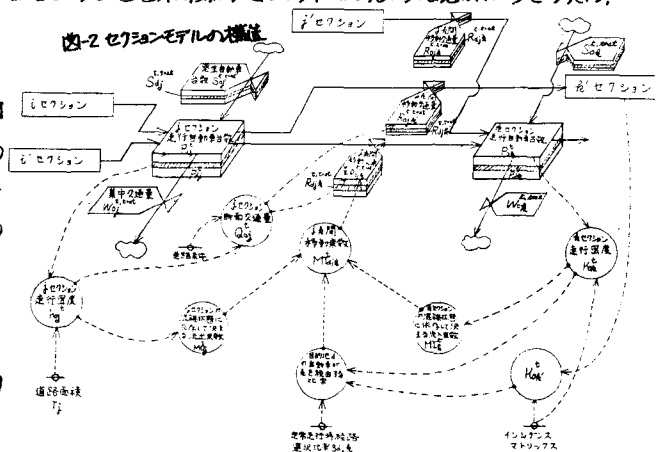
ネットワークにおける各セクションの結合状態はインシデンスマトリックスの形で表現され、このように構成されたネットワーク全体をシミュレーションすることによって、対象地域の交通状態の時間的な変動を追跡することができる。

4. 首都高速道路における適用

4.1 適用するネットワーク

前節でその基本的な考え方を提示したDAIを具体的にモデル化し、現実のネットワークに対してどの程度時間的に変動する交通状況を再現することができるのかを検討するため、首都高速道路のネットワークを対象として配分計算を行なうことにする。

用いたデータは首都高速道路公団が昭和52年10月13日(木)から14日(金)にかけて行った起終点調査結果に基づいている。ODデータは首都高速道路の全料金所で配布した簡直票を回収(回収率22.6%)して得られたものであり、入路一出路間の1日OD交通量としてまとめられている。また同時に各入路及び料金所で交通量観測を行ない時間帯別(7:00~21:00は30分ごと、21:00~7:00は1時間ごと)及び車種別の通過台数を求めて



いる。さらに再現性の検証のためのデータとして首都高速道路公団が毎日定点で観測している車線別の30分当断面交通量, オキュパンシーあるいは平均走行速度を用いている。首都高速道路の道路網は概略図-3に示される

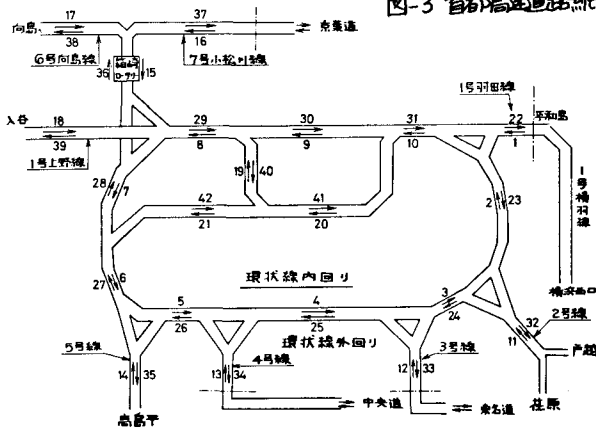


図-3 首都高速道路網

通りであり、この図に示されるように、このネットワークを基本的には入出路を含まない分岐点から合流点までを1つのセクションとして合計42のセクションから構成されるように分割している。

4.2 モデルの定式化

首都高速道路におけるモデルの具体的な構成を前掲図-2を用いて説明することにする。この図は j 、 k セクション間を時刻 t から $t+\Delta t$ の間に移動する交通量を中心に描かれたフロー図であり、図中に記されている番号順にその定式化を行なうことにする。

(1) 時刻 t におけるセクション j の走行自動車台数 P_{0j}^t

これは目的地別の走行自動車台数 P_{dj}^t ($d=d_1, d_2, \dots, d_m$)を合計したものであり、これがこのシミュレーションモデルの入力変数となる。

(2) j セクション走行密度 K_{0j}^t

$$K_{0j}^t = P_{0j}^t / r_j$$

(6)

ただし、 r_j は j セクションの道路長

(3) j セクション断面交通量 Q_{0j}^t

例えば図-4に示されるような首都高速道路の交通量、走行密度、走行速度の観測値に基づいてこの関係をBell Curve式に近似して用いている。

$$Q_{0j}^t = V_{mj} \times K_{0j}^t \times \exp\left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{K_{0j}^t}{K_{mj}} \right\}^2\right] \quad (7)$$

ただし、 V_{mj} ; j セクションでの最高速度、 K_{mj} ; 最大断面交通量を与えるときの走行密度

また、目的地別断面交通量 Q_{dj}^t は

$$Q_{dj}^t = \frac{P_{dj}^t}{P_{0j}^t} \times Q_{0j}^t \quad (8)$$

として得られる。

(4) 定常走行時目的地別セクション経路比率

$$\beta_{djk}$$

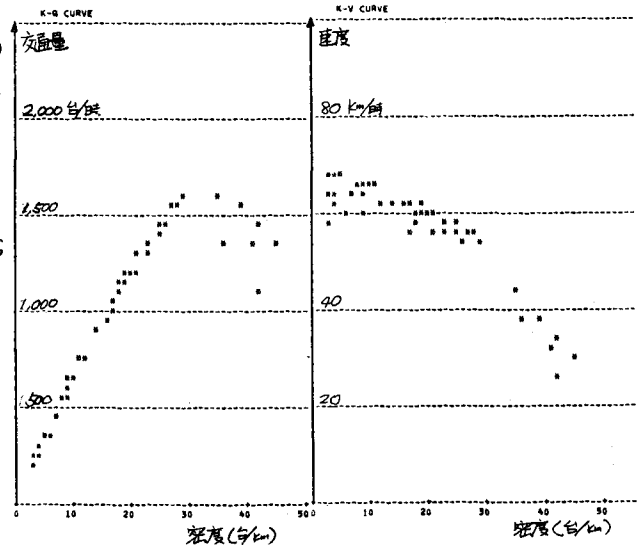
j セクションに連なるセクションが k と l と

すると、これはインシデンスマトリックスにより与えられる。目的地 d に到着するのに k を経由する場合と l を経由する場合の距離の比で β_{djk} を求めており、定数として扱っている。すなわち、

$$\beta_{djk} = \frac{ld_{jk}}{ld_{jk} + ld_{jl}} \quad (9)$$

ただし、 ld_{jk} ; j から k を経由し d に至る最短距離、 ld_{jl} ; j から l を経由し d に至る最短距離

図-4 交通量、密度、速度図



と表わされる。

(5) 目的地別セフション選択比率 α_{dj}^t

時刻 (t) における各セフションと各セフションの走行速度 $V_{dj}^t (= Q_{dj}^t / K_{dj}^t)$ 、 V_{dj}^t の逆数として表わせる
 通過所要時間によって β_{dj}^t が次のように修正される。

$$\alpha_{dj}^t = \frac{\beta_{dj}^t \cdot V_{dj}^t}{\beta_{dj}^t \cdot V_{dj}^t + \beta_{dj'}^t \cdot V_{dj'}^t} \quad (10)$$

(6) 流出果数 MO_j^t

これは走行速度 K_{oj}^t を変数としたテーブル関数として与えられ、 K_{oj}^t が K_{cj} より小さい時、すなわち定常走行
 状態では $MO_j^t = 1.0$ 、 $K_{oj}^t > K_{cj}$ のとき、すなわち混雑状態では $MO_j^t = Q_{mj} / Q_{oj}$ (Q_{mj} ; j セフシ
 ョンの最大断面交通量) となるように設定され、定常走行状態では Q_{oj} がそのままへ流出し、混雑状態では Q_{oj}
 ではなく Q_{mj} で流出しようとすることを意味する果数である。

(7) 流入果数 MI_k^t

これも流出果数と同様 K_{ok}^t を変数としたテーブル関数として与えられ、 $K_{ok}^t \leq K_{cj}$ のとき $MI_k^t = 1.0$ 、
 $K_{ok}^t > K_{ok}$ のとき $MI_k^t = Q_{ok} / Q_{mk}$ となるように設定されるもので、セフション k 内で定常走行してはいけ
 ば流入しようとする交通量がそのまま j から流入し、混雑状態では流入交通量が削減されることを意味する果数で
 ある。

(8) 移動交通量 $R_{oj}^{t, stat}$

移動果数 MT_{dj}^t は

$$MT_{dj}^t = \alpha_{dj}^t \times MO_j^t \times MI_k^t \quad (11)$$

で示され、したがって目的地別の j 内移動交通量 $R_{dj}^{t, stat}$ 及び $R_{oj}^{t, stat}$ は

$$R_{dj}^{t, stat} = MT_{dj}^t \times Q_{dj}^t \quad (12)$$

$$R_{ok}^{t, stat} = \sum R_{dj}^{t, stat} \quad (13)$$

と表わされる。

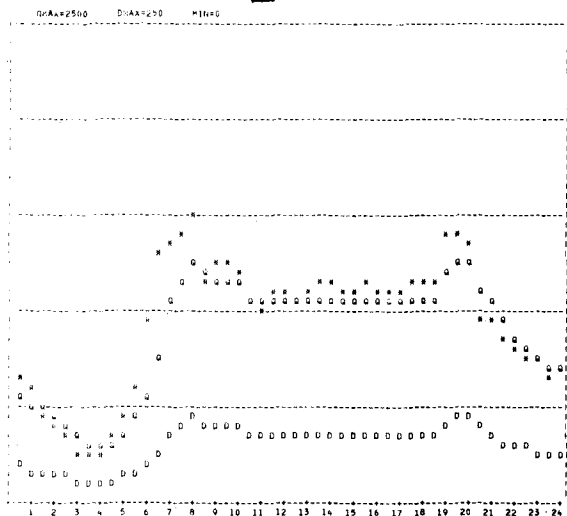
以上のような時刻 (t) における各セフションの走行自動車台数に基づいて時刻 (t) から $(t+1)$ の間に発生
 するセフション間を移動する交通量を求め、それにより時刻 $(t+1)$ の各セフションの走行自動車台数を見
 出すという手順を繰り返すことによって時刻刻に変化する交通状態を知ることが出来る。

4.3 計算結果と再現性の検討

図-5、図-6は計算結果の例として時間毎
 隔15分としてシミュレーションし、それ
 を30分ごとに出力させた30分間の断面交通量の
 計算値及び観測値と走行密度の計算値を、放射
 線上的の16セフションと環状線外回りの25セフ
 ションについてプロットしたものである。途中
 のO、Dはそれぞれ交通量、走行密度の計算値
 *は交通量の観測値を示している。これによれ
 ば30分間の断面交通量の時間的な推移をかなり
 のところまで追跡していると言え、この意味が
 らその再現性はあると考えられる。

たゞ走行密度に関しては全体的に若干のばら
 つきが見られる。これは主として各セフション

図-5



での交通量、走行速度、走行密度の関係を前述のように Bell Curve で表現しており、その際に交通量と走行密度の関係が適合するように近似し、走行速度と走行密度の関係が必ずしもよく適合していなかったこと、また走行速度の観測結果がオキュパンスの測定値から車速表を仮定して計算により求めている場合がよめられ多く、その際の誤差も多分に含まれていることなどはその理由として挙げられよう。

以上のようなことを考慮すると、ここでの DAM による計算結果は一応ある程度の再現性を持って交通量の時間的な変動を追跡していると言える。

5. 一般道路への適用上の留意点とその考察

一般道路への DAM の適用に際しては、必ずしも首都高速道路の場合のように時間帯別の OD 交通量に關しての観測データが十分に揃っているわけではない。さらに一般道路では各セクションの交通の挙動をリンク（線交通）としてではなく面交通として捉えねばならぬ。したがって DAM を一般道路へ適用し、各種の交通規制策の効果を見るに際しては、既存のデータから DAM で必要とするデータとしかにして作成するか、及びセクションモデルを具体的にどのように構成するかがよめられ重要な留意点となる。そのためここではこのような一般道路への適用上の留意点について検討し、どのようにしてシミュレーションを行えばよいかについて考察することにする。

OD 交通量が単位時間ごとに測定されていることは比較的にまれであり、したがってこれを得るためにはセクションごとの発生交通量の時間分布パターンが必要となる。この時間分布パターンについては例えば高速道路における各インテグレーション間の時間別交通量調査結果⁽³⁾では 24 時間の

表-2 発生時間分布のパターンの例

時間変動のパターン	タイプ	土地利用形態
7~8 時の 1 山ピーク	通勤型	住宅密集地
7~8, 10~12, 17~18 時の 3 山ピーク	通勤・業務・帰宅型	住宅・業務存在地
10~12, 17~18 時の 2 山ピーク	業務・帰宅型	業務地区
17~23 時にわたる 1 山ピーク	夜間発生型	商業娯楽地区
10~12, 17~18, 23 時の 3 山ピーク	業務・夜間発生型	業務商業存在地
昼間にわたる 1 山	昼間発生型	商業地区

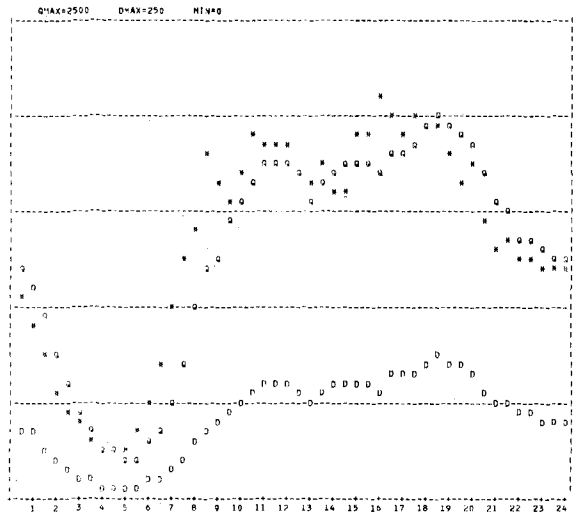
変動パターンがおよそ 6 つのタイプに分類できるとしている。このような調査結果と、各セクションの土地利用形態及び各セクションと都心部地域との地理的な関係から、表-2 に示されるようにいくつかに分類された時間分布パターンのどこに属するのかを検討し、これによって各セクションの時間帯別発生交通量とある程度推定することができると考える。

また一般道路でのセクションモデルを構成するに際しては次のような点を配慮する必要があると考える。一般道路では既存の道路網を考慮してセクションに分割することになるが、このとき可能な限り南北に向かうような形で断面のセクションとなるようにする。そしてこの中で環状方向、放射方向の道路に 2 分し、ある程度以上の交通量を持つ道路をこの 2 分された道路に 1 まじめにし、車線数を求めておく。さらに進行方向を環状案内回り、外回り、放射線上下、下りの 4 方向とし、インシデンスマトリックスにこの進行方向を表現する要素を付け加えておく。セクション中央部に位置する交差点に關しては環状方向と放射方向の道路の左折自動車がいかにそこを直進したり右左折する行為に影響を及ぼし、この影響をテール後数の形で進行方向別に表現できるようにしておく。このような形にセクションモデルを構成しはあすることによって、一般道路での交通状況の時間変動を知ることができると考える。

6. おわりに

--- SEC. NO. 25 ---

図-6



DAMでは各セクションにおける走行自動車台数やセクション間を移動する交通量の時間的な変動を知ることができ、これを追跡することによって交通混雑や交通支障の発生、及びその伝播を地域的、時間的に知ることができる。このような特徴を持つDAMは、既往の配分モデルでは構造が静的であるために、その影響を十分に表現することのできなかった主に時間に変化する交通現象の効果と表現できる点に価値が認められる。このDAMが扱っている現象は、基本的には従来の配分モデルにより検討されるものとはかなりの部分重複するが、その表現される効果の内容については全く異なるものである。

また首都高速道路ではDAMによる再現性がある程度保証されると考えられるものの、一般道路への適用に際しての留意点に関して十分に検討し得たとは言えず、またモデルがでまたとしてもそれを検証することがむずかしいなど、まだまだ解決すべき点が残っている。したがって今後は実際の道路でのデータの蓄積とともに、こういった考え方に基づくモデルの検証を試みる。

参考文献

- 1) 首都高速道路公団計画部調査課：第14回首都高速道路交通起終点調査報告書、昭和53年3月。
- 2) 首都高速道路公団計画部調査課：任意観測、昭和53年10月13日0:00～昭和53年10月14日24:00。
- 3) 日本道路公団審議室：昭和52年度全国道路交通情勢調査報告書、昭和53年9月。