土木学会第50回年次学術講演会（平成７年９月）

Ⅳ－31

観測データの利用による都市高速道路のＬＰ型流入制御モデル

愛媛大学工学部　学生員　○山内敏通
愛媛大学工学部　正会員　　朝倉康夫

１．はじめに

これまでに提案された都市高速道路のＬＰ（線形計画法）による流入制御モデルは定常な交通流を対象としたものであり，車両が時間帯を越えてネットワーク上を移動することについて，明示的には考慮されていない．一方最近では，交通流の観測機器・システムから時々刻々と変化する交通量や走行速度などの観測データが容易に得られるようになってきている．そこで，本研究では高速道路網上で得られる観測データを用いて，交通流の時間的な変動を推計するとともに，その結果を従来のＬＰ型の流入制御モデルと組み合わせる方法を提案する．

２．制御モデル

(1) モデルの枠組み：　このモデルでは，時間を離散的に扱う．モデルの特徴は①現時刻までに得られる観測データを用い，現在リンク上を走行中の車が将来の時間帯にどのようにネットワーク上を移動するかを予測する．②新たに高速道路へ流入する車が将来の時間帯にどのように挙動するかを予測する．③現時間帯から将来のある時間帯までの全時間帯にわたってリンク交通量が容量以下であるという条件の下に，流入台数の総和を最大化する各ランプからの許容流入台数を求める．

モデルの枠組を図-１に示す．このモデルでは将来のいずれの時間帯における許容流入量も同時に求められるが，制御に用いるのは現時間帯の許容流入量のみである．次の時間帯になれば再び同様の最適化を行い，時々刻々と許容流入量を求めていく．このモデルでは将来の時間帯も考慮することにより効率的流入が行われ，積み残しが発生した場合でも車両の総待ち時間が結果として減少することが考えられる．なお，モデルで使用する外生変数も，観測により時々刻々と得られるものとする．

用いる変数は以下の通りである．

i	：流入（発）ランプ
j	：流出（着）ランプ
a	：リンク番号
t	：現時間帯　（$\tau=0$）
$t+s$	：流入時間帯（$s=-t,\cdot,-1,0,1,2\cdot\cdot$）
$t+\tau$	：将来時間帯　（$\tau=0,1,2,3\cdot\cdot$）
$\alpha_i(t+s)$	：流入需要量の予測値
$\alpha'_i(t+s)$	：積み残しにより修正された流入需要の予値値
$O_i(t+s)$	：流入交通量
$\hat{X}_i(t+s)$	：許容流入量（制御変数）
C_a	：リンク交通容量
$\hat{V}_a(t+\tau)$	：現在走行中の車両による将来リンク交通量の予測値
$Q^{ia}_{(t+s,t+\tau)}$	：影響係数
$q^{iak}_{(t+s,t+\tau)}$	：経路別の影響係数

(2) 時間帯影響係数：　モデル定式化に先立ち，将来のリンク交通量を制御変数である流入交通量の関数として表現するために，時間帯影響係数を定義する．交通流が定常でない場合は，複数の時間帯にまたがる影響係数(時間帯影響係数）$Q^{ia}_{(t+s,t+\tau)}$を用いる必要がある．時間帯影響係数は，時間帯ｔ＋ｓにランプｉから流入した１単位のトリップが将来の時間帯ｔ＋τにリンクａに生じる交通量を意味する．この影響係数は過去のデータより得られる出発時間帯別の目的地選択率と経路選択率，現時間帯の観測速度から推計されるリンク走行時間などから得ることができるものとする．

図-２を用いて影響係数について説明する．単一経路のネットワークを想定し，最上流ランプから単位制御時間内に流入する車群（パケット）を考える．パケットは分散しないで移動するとする．その形態を長方形で表し，その面積を１とする．この長方形は時間とともにその大きさのまま図上では右方向に移動する．パケットがリンクに存在している確率は，この長方形を横軸の旅行時間軸上に投影すれば求められる．パケットの位置は，流入後の旅行時間によって決まる．もしリンク走行時間が１単位制御時間より大きければ次の時間帯にもパケットの後部は上流側のリンク上に投影され，逆にリンクの走行時間が制御時間帯の幅より小さいとすれば同じ時間帯内で複数のリンク上に投影される．実際には同じ時間帯に流入した車両がすべて同様に移動するとは限らないので，長方形（パケット）の形も時間とともに変形するとする．

このような考え方をもとに，単一経路のネットワークを１つの経路とみたて，パケットのリンク存在確率と各経路別の目的地選択確率を組み合わせれば経路別の時間

帯影響係数 $q^{iak}_{(t+s,\,t+\tau)}$ が求められる．時間帯影響係数はこの各経路の時間帯影響係数の和として次式のように求められる．

$$Q^{ia}_{(t+s,\,t+\tau)}=\sum_{k\in K} q^{iak}_{(t+s,\,t+\tau)}$$

(3) リンク容量制約：　リンクに関する制約条件は，各時間帯の新たな流入によるリンク交通量が残存リンク容量を上まわらないことである．ここに残存リンク容量とはリンク容量 C_a とリンク交通量の差をいう．現時間帯のリンク交通量は，観測値から得られる．しかし，将来の時間帯のリンク交通量は未知である．そこで，現在ネットワーク上を走行中の車両について将来の挙動を予測するとともに，将来時点で流入した車両についてもその挙動を予測して将来リンク交通量を求める．この値とリンク容量との差を将来時間帯の残存リンク容量とする．

(4) 需要の積み残し：　過去のデータより将来の各時間帯の流入需要の予測値 $\alpha_i(t+s)$ が与えられるとすれば，この値は各時間帯における流入制約の上限値となる．しかしモデルを解いた場合にある時間帯における許容流入量 $\hat{X}_i(t+s)$ が流入需要量の予測値以下であれば積み残しが発生する．積み残しを次の時間帯の需要に加算しなければならない．

$$\alpha'_i(t+s)=\alpha_i(t+s)+\alpha'_i(t+s-1)-\hat{X}_i(t+s-1)$$

ここで α' は積み残しにより修正された流入需要量の予測値である．

(5) モデルの定式化：　関数は，現時点から将来のある時間帯までの許容流入量の総和の最大化である．

$$z=\sum_{i\in I}\sum_{s\in T}\hat{X}_i(t+s)\quad\rightarrow\quad \max \qquad (1)$$

第１の制約条件はリンク容量制約であり，将来のいずれの時間帯でも新規の流入によるリンク交通量が残存容量以下でなければならないという条件である．

$$\sum_{i\in I}\sum_{s\in T} Q^{ia}_{(t+s,t+\tau)}\hat{X}_i(t+s)\le C_a-\hat{V}_a(t+\tau) \qquad (2)$$

第２の条件は，許容流入量は積み残しにより修正された流入需要量以下なければならないという条件および非負条件である．

$$0\le \hat{X}_i(t+s)\le \alpha'_i(t+s) \qquad (3)$$

３．簡単な数値計算例

５ノード４リンクの回廊ネットワークで数値計算を行う．便宜的に，目的地選択率は一様かつ定常で，観測リンク走行時間も定常であるとする．各流入地点からの流入需要は，ピークを持つとする．時間帯ごとに５時間帯先まで予測して現時間帯の流入制御を行う．図-３は時間帯ごとの新たな総流入需要量（所与）と総許容流入量，および総積み残し台数を示す．許容流入量がピーク時間帯に低く押さえられていることや，流入需要のピークと積み残し台数のピークにずれが生じていることが確認できた．

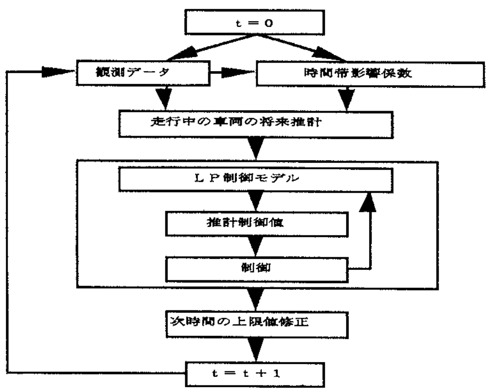

図-１　制御モデルのフローチャート

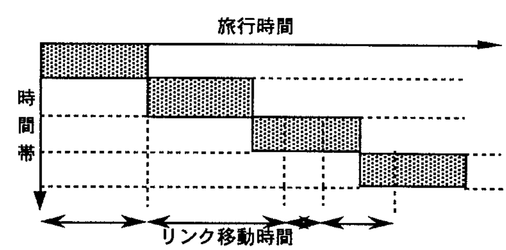

図-２　影響係数のイメージ

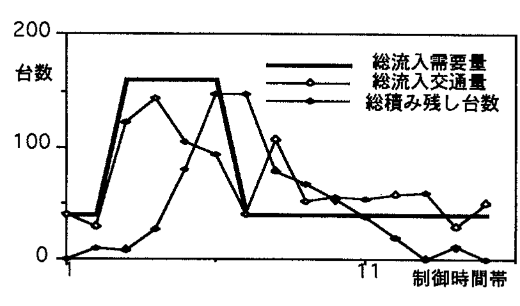

図-３　制御計算結果