

都市高速道路における動的なLP型流入制御モデル

愛媛大学大学院 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

最近、車両感知器などの交通流の観測機器・システムの充実により、時々刻々と変化する道路上の交通量や走行速度などの観測データを得ることが容易になってきた。このような観測データを活用することにより、ネットワーク全体の動的な交通流の挙動が推計でき、新たな交通情報や交通制御に利用できればきわめて有用である。

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1日のある一定の時間帯の定常な交通流を対象としたものであり、以下のように定式化されている。

$$z = \sum_{i \in I} X_i^* \rightarrow \max \quad \dots \text{総流入台数の最大化}$$

sub. to

$$\sum_{i \in I} Q^{ia} X_i \leq C_a \quad \dots \text{リンク容量制約}$$

$$0 \leq X_i \leq O_i \quad \dots \text{許容流入量の上下限制約}$$

ここに、 X_i はランプ*i*からの許容流入量、 O_i は流入需要、 C_a はリンク*a*の容量、 Q^{ia} は影響係数でランプ*i*から流入した1台の車がリンク*a*を利用する割合である。

従来のモデルでは、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は考慮されていない。本研究では高速道路ネットワーク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ことによって、高速道路の流入制御モデルを開発する。

2. 制御モデル

当日の現時刻までに得られる様々な観測データを用いて、動的な流入制御を行うことができる制御モデルを提案する。

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。求められた将来の許容流入量については、将来の制御情報として提供することが考えられる。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。このような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も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についても、観測データ等により時々刻々と修正されるものとする。

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 ($s = \cdot, \cdot, \cdot, 1, 0, 1, 2, \cdot \cdot$)
$t+\tau$	: 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量の予測値
$O_i(t+s)$	: 流入交通量
$X_i^*(t+s)$	: 許容流入量 (制御変数)
C_a	: リンク交通容量
$V_a^*(t+\tau)$	: 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

モデル定式化に先立ち将来のネットワーク上の交通を考慮するために時間帯影響係数と、制約条件として将来の流入に対するリンク容量を求める必要がある。まず、影響係数について説明する。

従来の影響係数は交通流が定常である場合には有効であるが、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） $Q_{(t+s, t+\tau)}^{ia}$ 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 $t+\tau$ 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（発時間帯OD, 着時間帯OD）、経路選択率と現時間帯の観測速度から推計されるリンク移動時間などから得ることができるものとする。なお観測速度は時々刻々と変化するものであり、将来のリンク移動時間の変動も考慮されている。

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。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である。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今後どのような挙動をするか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残存リンク容量とする。

過去の流入値と影響係数はわかっているのので、これを用いれば将来のリンク交通量を推計できる。しかし、あらかじめ与えた目的地選択確率、経路選択率が変化しないとは限らないので、予測誤差が大きくなる可能性がある。そこで観測リンク交通量に推計リンク交通量ができるだけ一致するように流入交通量の値を修正し、その後のリンク交通量の予測には修正値を用いるものとする。具体的には、以下の手順により修正する。

現時間帯までの流入値と時間帯影響係数を用いて現時間帯のリンク交通量を表すと、

$$V_a^{\wedge}(t) = \sum_{i \in I} \sum_{s \in T} Q_{(t+s, t)}^{ia} O_i(t+s)$$

である。この値と観測値には差が生じるので、影響係数によってリンクに対応している流入値 $O_i(t+s)$ を定数倍する。単純に定数倍できない場合には、最小自乗法等を用いればよい。

過去のデータより将来の各時間帯の流入需要の予測値 $\alpha_i(t+s)$ が与えられるとする。この値は各時間帯における流入制約の上限値となるが、モデルを解いた場合に

ある時間帯における許容流入量 $X_i^{\wedge}(t+s)$ が流入需要量の予測値以下であるならばそこには積み残しが発生していることになる。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。これを式で表すと次のようになる。

$$\alpha'_i(t+s) = \alpha_i(t+s) + \alpha'_i(t+s-1) - X_i^{\wedge}(t+s-1)$$

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。この値は各時間帯の流入の上限となるが推計される各時間帯の許容流入量によって連鎖的に変動することになる。

以上によりモデルは次のように定式化できる。目的関数は、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。

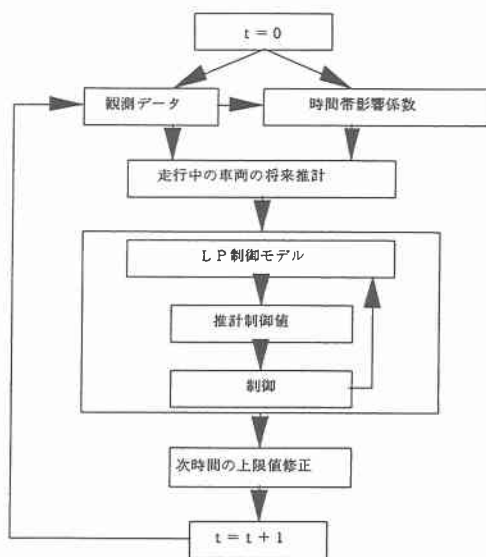
$$z = \sum_{i \in I} \sum_{s \in T} X_i^{\wedge}(t+s) \rightarrow \max \quad (1)$$

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。

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in T} Q_{(t+s, t+\tau)}^{ia} X_i^{\wedge}(t+s) \leq C_a - V_a^{\wedge}(t+\tau) \quad (2)$$

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でなければならないという条件および非負条件である。

$$0 \leq X_i^{\wedge}(t+s) \leq \alpha'_i(t+s) \quad (3)$$



図・1 制御モデルのフローチャート