

オンランプ開口ブース数を変数としたオンライン流入制御モデル

An Online Inflow Control Model to Determine Suitable Number of Toll Booths Operated

熊野哲也*・宇野伸宏**・飯田恭敬***・高野 明****

by Tetsuya KUMANO, Nobuhiro UNO, Yasunori IIDA and Akira TAKANO

1. はじめに

都市高速道路は都市交通ネットワークの基幹施設であり、都市内・都市間に発生する大量の交通を迅速に処理し、街路の交通混雑の緩和や都市間交通を円滑化する役割を担っている。しかし、現状の都市高速道路では、交通需要量が交通処理能力に接近しているため、自然渋滞が頻繁に生じている。一旦渋滞が生じると、大量の交通需要があるがゆえに、その影響は非常に大きく、利用者の時間的損失の増大、安全性・快適性の阻害を引き起こし、著しく機能が低下する。そこで、大量の交通需要を処理し、高速道路の効率的な運営を確保するためには、渋滞の生じない円滑な交通状態を確保することを目的とした交通制御手法を開発・導入することが必要である。近年、情報通信技術や観測システムの発達に伴って、動的交通データの収集やオンライン利用が可能になりつつある。次世代の交通管制手法では、高度化したリアルタイムデータを基にして、時々刻々の交通状態の変動を把握しつつ、さらには交通状態の近未来予測を加味して、適切な交通管理ができると期待される。

以上の背景を踏まえて、本研究では交通制御手法の一つである流入制御について、渋滞の緩和・解消により効果のあるモデルを構築する。現在においても、入路閉鎖ブース数制限による流入制御が行われている。しかし、これは渋滞発生後に事後対処として、過去のフローパターン分析に基づいて策定された一定のルールの下で、制御方策が選定・実施されている。そこで

本研究では、渋滞を予防するという観点から、入路閉鎖ブース数制限による流入制御モデルを構築することを目的とする。その際、LP制御モデルを基礎とし、時々刻々得られる観測データを用いて、流入需要及びネットワーク上の交通状態の変動を加味したオンライン動的流入制御モデルを構築する。また、このモデルとオフライン動的流入制御モデルを比較することによって、その基本特性、有用性等について検討する。

2. オンライン流入制御モデルの構築

(1) モデルの概要

本研究では、入路閉鎖ブース制限による流入制御の高度化を目指して、流入需要に応じた適切な開口ブース数を、タイムステップ毎に求められる最適化問題を構築する。その際、車両検知器から得られるリンク観測交通データを利用する。制御モデルを構築する際、開口ブース数を操作変数とすると、離散的な整数型最適化問題となり、厳密解を求めることが難しくなる。そこで本研究では、整数型最適化問題において、効率的に近似解が求まるGA（遺伝的アルゴリズム）を用いる。今後制御モデルが実ネットワークに適用されることを考えると、GAは効率的かつ迅速に解が求まる最善な手法であると考えられる。

(2) 前提条件

流入需要の時間的変化を明示的に考慮できるモデルとする。流入需要とは、オンランプの流入需要量及び流出オフランプの選択状況を意味する。ネットワーク上の交通状態（速度・密度）の時間変化を考慮可能なモデルとする。

5分間の単位制御時間を「タイムステップ」と呼び、各タイムステップ内では、流入需要・交通状態の

Keywords: 交通制御・ITS・交通量計測

* 学生員 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

** 正員 博士(工) 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel: 075-753-5126, FAX: 075-753-5907)

*** フェロ- 工博 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

**** 正員 修士(工) 国土交通省中部地方整備局

定常性を仮定する．

(3) リンク観測交通データの取り扱い方

本研究では，リンク観測交通データ(交通量・密度・速度)は，リンク下流端上に設置された車両検知器より得たものとする．制御対象タイムステップ r の流入制御解を求める場合，直前のタイムステップ $r-1$ の観測データは，収集・処理に要する時間を考慮して利用不可能とし，タイムステップ $r-1$ の制御解を予測値として利用する．利用可能な最新の検知器データは，タイムステップ $r-2$ のデータとする．

(4) 定式化

本研究では，流入制御モデルの目的関数として，総走行距離最大化の目的関数(式(1))を用いる．また，制約条件として，流入交通量の上・下限に関する条件(式(2))と渋滞予防のためのリンク容量制約条件(式(3))を用いる．

$$\max \sum_i \overline{d_i^r U_i^r} \dots\dots\dots (1)$$

$$U_i^L \leq U_i^r \leq U_i^H \quad \text{for } \forall i \in I \dots\dots\dots (2)$$

$$Y_{1l}^r + Y_{2l}^r \leq Ca_l^r \quad \text{for } \forall l \in L \dots\dots\dots (3)$$

$$U_i^r = \min(U_i^H, \gamma B_i^r) \dots\dots\dots (4)$$

r : 制御対象タイムステップ

d_i^r : タイムステップ r ・オンランプ i の流入交通1台当りの平均トリップ長

U_i^r : タイムステップ r ・オンランプ i の流入交通量

U_i^L : オンランプ i からの流入交通の下限値

U_i^H : オンランプ i からの流入交通の上限値(予測流入需要)

Y_{1l}^r : タイムステップ r ,リンク l の流出交通量のうち，リンク l の上流部オンランプから流入した交通量
 Y_{2l}^r : タイムステップ r ,リンク l の流出交通量のうち，タイムステップ $r-1$ 冒頭時点で本線上に残存していた交通量

Ca_l^r : タイムステップ r におけるリンク l の流出量の上限値

γ : 1 ブースあたりの最大処理台数(台/5分)

B_i^r : タイムステップ r のオンランプ i の開口ブース

オンライン制御モデルでは，タイムステップ $r-1$ のオンランプ流入量に，タイムステップ $r-1$ での最適化計算で求めた制御解を用いる． $r-1$ よりも前のタイムステップに流入した交通については，タイムステップ $r-1$ 冒頭時点で各リンク上に残存している交通量として扱い，これは観

測可能と考える．

(5) GA を用いた解法アルゴリズム

以下に動的流入制御モデルのアルゴリズムを述べる．また図1はこのアルゴリズムの流れを示す．

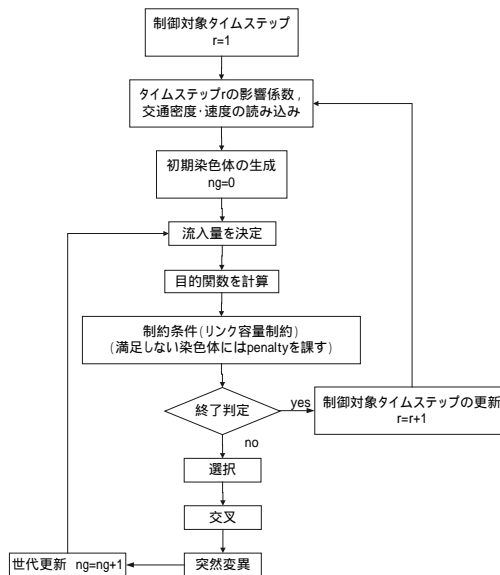


図1 GA を用いた解法アルゴリズム

初期設定

制御対象タイムステップ $r=1$ を設定する．

初期染色体の設定

染色体の遺伝子は，オンランプのブースの開口状況を表現している．乱数を発生させて初期染色体を30個作り出す．

各オンランプからの流入量を決定

染色体から操作変数であるオンランプの開口ブース数を読み取り，式(4)により流入交通量に変換する．本研究では， $\gamma=60$ (台/5分)とする．

目的関数の計算

本研究では，目的関数が非負であり最大化問題であるので，目的関数値そのものを適応度とする．

制約条件の処理

リンク容量制約条件を満たさない染色体(解)に，ペナルティを課し，非常に低い適応度を与える．

選択

本研究では，次世代に継承する染色体の選択方法として，ルーレット方式を採用する．

交叉

染色体の多様性を確保し，局所的最適解に陥ることを防ぐため，本研究では一点交叉を実施し，交叉確率

オンライン流入制御モデルでは、予測される流入需要量とリンク観測交通データに基づいてリンクの空き容量を算出し、容量を越えないように制御が行われている。そのため、予測に誤りがある場合でも、直後の観測値で補足され、適切な制御が行われるため、渋滞の拡大を抑制することができる。

次に、オフライン流入制御モデルを適用した場合の計算結果を示す。タイムステップ毎、ブロック毎の交通密度を表3に示す。表3を見ると、ボトルネックであるリンク2,4のブロック1において、密度の増加を十分に抑制することができず、渋滞が伝播していることが分かる。オフライン流入制御モデルでは、リンク観測交通データを利用することなく、予測される流入需要量から制御解を算出している。そのため、渋滞の発生など時々刻々変化する交通状態を認知することができず、流入需要に見合った制御が行われなかったと考えられる。

表3 タイムステップ毎、ブロック毎の交通密度(オフライン制御)

TIME step	リンク1					リンク2					リンク3					リンク4					リンク5				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
2	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
3	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
4	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
5	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
6	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
7	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
8	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
9	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
10	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
11	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
12	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
13	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
14	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
15	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
16	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
17	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
18	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
19	27	27	27	27	27	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	
20	28	28	28	28	28	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	
21	28	28	28	28	28	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	
22	28	28	28	28	28	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	
23	28	28	28	28	28	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	
24	28	28	28	28	28	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	
25	28	28	28	28	28	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	
26	28	28	28	28	28	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	
27	28	28	28	28	28	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	
28	28	28	28	28	28	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	
29	28	28	28	28	28	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	
30	28	28	28	28	28	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	
31	28	28	28	28	28	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	
32	28	28	28	28	28	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	
33	28	28	28	28	28	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	
34	28	28	28	28	28	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	
35	28	28	28	28	28	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	
36	28	28	28	28	28	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	
37	28	28	28	28	28	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	
38	28	28	28	28	28	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	
39	28	28	28	28	28	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	
40	28	28	28	28	28	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	

(3)総所要時間

ここでは、走行時間と待ち時間についての比較を行う。これらの比較は道路利用者側にとっての便益を考えることにもなる。走行時間と待ち時間の和である所要時間を全流入交通について加算した総所要時間を図5に示す。まず、総走行時間を見てみると、オンライン動的制御、オフライン動的制御ともに制御を行わない場合に比べて、減少していることが分かる。これは渋滞が抑制され、速度の低下を防げたためで、より抑制効果のあったオンライン動的制御を行った場合の方が、減少率が大きい。ところが、総待ち時間を加えた総所要時間を見てみると、オンライン動的制御を行った場合、制御を行わなかった場合に比べて、増加していることが分かる。これは、開口ブース数を変数とすると、制御が必要と判断した時、ブースの開閉でしか対応できないため、過剰に制御したことが原因である

と考えられる。

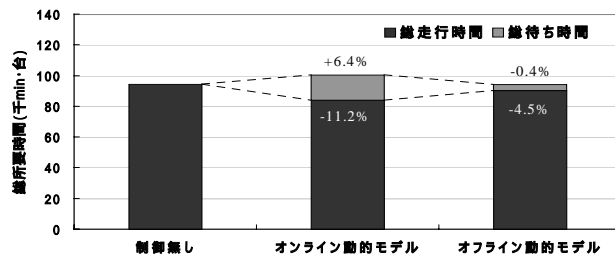


図5 総所要時間の比較

4. まとめ

本研究では、現行の入路閉鎖・ブース制限に倣って、渋滞を予防するという観点から、リンク観測交通データを加味したオンライン動的流入制御モデルを構築し、交通シミュレーションモデルを用いて、その有用性を確認した。予測と実流入需要に誤差がある場合でも、リンク観測交通データを用いれば、流入需要に見合った適切な制御を行うことができ、渋滞を予防し拡大を抑制することができた。現実の都市高速道路においては、流入需要量を正確に予測することは困難であると考えられる。よって、予測に誤りが生じた場合でも適切な制御を行えるオンライン流入制御モデルは、実用性が高いと言える。

一方、道路利用者にとっての便益と言える総所要時間は、オンライン動的制御モデルを適用すると、制御を行わない場合に比べて、増大した。開口ブース数を変数とした場合、ブースの開閉でしか流入量を調整できないため、制御が必要と判断した時、過剰な制御を行う傾向があると考えられる。しかし、本研究で用いた仮想ネットワークは、総延長が短く、待ち時間が相対的に大きくなるので、ネットワーク条件や流入需要を変化させて、さらなる数値計算を行う必要がある。

謝辞: 本研究の遂行にあたり、阪神高速道路公団より多大なご支援を賜った。数値計算の実施に際しては、京都大学大学院工学研究科の永廣瀬悠介氏より全面的なご協力を頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐佐木綱, 明神証: 都市高速道路網における流入制御理論, 交通工学, Vol.3.No.3, pp.8-16, 1968.
- 2) 楊曉光, 飯田恭敬, 宇野伸宏: 走行速度の時間変化を考慮した動的 LP 制御モデル, 土木学会論文集, No.597/ -40, 113-126, 1998.7