

1. 研究の背景及び目的

都市交通の要となる都市高速道路では、大量の交通を迅速に処理し、平面街路を含めた都市交通網の交通円滑化の役割を担っている。しかしながら現状では、交通需要の増加による自然渋滞などに由来する都市高速機能の低下が著しく、新規インフラ構築に頼る改善が困難な昨今、交通管制手法の高度化が望まれている。一方、今日では ITS の進展に伴って、動的かつ詳細な交通データが入手可能になりつつある。今後は動的交通データを基にして、時々刻々と変動する交通状態に即応した交通のコントロール方策が一般化するであろう。交通管制手法の主たるものに流入制御が挙げられるが、以上の背景を踏まえて本研究では、LP タイプの動的流入制御モデルを基礎として、常時観測される交通データを明示的に考慮したオンラインモデル活用し、あらかじめ渋滞を予防するという観点から効果分析を実施する。

2. オンラインモデルの概要

2.1 前提条件

数値計算に関する前提条件について説明する。初期設定条件について表-1 に、数値計算用ネットワークを図-1 に示す。数値計算において制御効果の検証及び観測データ入手のために、ブロック密度法による交通流マクロシミュレーションモデルを制御モデルと連動させている。

表-1 各リンクの交通処理能力に関する設定

項目	内容	備考
1 タイムステップ	1(分)	流入制御モデルの更新時間間隔
1 サイクル	10.0(秒)	シミュレーションモデルの更新時間間隔
自由走行速度 v_{free}	1.52(km/分)	=91.2(km/h)
臨界速度 v_0	0.76(km/分)	
臨界密度 k_0	111.8(台/km)	=85(台/分)/0.76(km/分)
ブロック長 dL_j	0.30(km)	>1.52(km/分) × 10.0(秒)(高速道路)
車両検知器	全ブロックに設置	およそ 300m 間隔
オンランプ i の最大処理能力 $UMax_i$	48(台/分)	1 ブースあたり 12(台/分) × 4 ブース

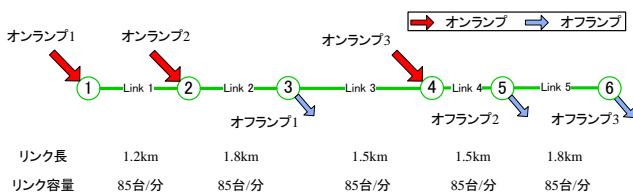


図-1 数値計算用ネットワーク

なお、制御更新時間間隔であるタイムステップは 1 分として、全解析時間帯は 200 分と設定している。

2.2 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の最大化を適用する(式(1))。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走行速度制約(式(3))を設ける。

$$\max \sum_i \bar{d}_i^r Uo_i^r \quad (1)$$

$$UL_i^r \leq Uo_i^r \leq \min(UMax_i, Uhf_i^r) \quad for \forall i \in I \quad (2)$$

$$V_i^{r+1} = \frac{K_{jam} - \{K_i^r + (X_i^r - Y_i^r)/L_i\}}{K_{jam}} v_{free} \geq V_i^{min} \quad \forall l \quad (3)$$

r : 制御対象タイムステップを表す添え字

i : オンランプ番号を表す添え字

\bar{d}_i^r : 流入交通 1 台あたりの平均トリップ長

Uo_i^r : 流入制御解(最適解)

UL_i^r : 流入交通量 Uo_i^r の最低値

$UMax_i$: 最大処理能力(台/min)

Uhf_i^r : 流入待ち交通を考慮した予測流入需要量

X_l^r : リンク l への流入交通量

Y_l^r : リンク l からの流出交通量

L_l : リンク l の長さ(km)

K_l^r : リンク l の交通密度(台/km)

K_{jam} : 飽和密度, v_{fr} : 自由走行速度

V_l^{min} : リンク l の許容速度(臨界速度)

V_l^r : リンク l の速度(km/分)

2.3 制御モデル内の交通状態推定の方法

制御モデルでは制御解を算出する際、式(3)に必要なリンクの交通状態(X_l^r, Y_l^r)推定を行っている。その際に観測交通データを利用し、実際の交通状態との乖離を防止することがオンラインモデルの大きな特徴である。ここでは代表的にリンク流出交通量の推定方法について述べる。

$$Y_l^r = \sum_i E_{il}^{(r-1)r} Uo_i^{r-1} + \sum_m E_{2ml}^{(r-1)r} W_m^{r-1} \quad (4)$$

$E_{il}^{(r-1)r}$: タイムステップ $r-1$ にオンランプ i から流入した交通のうち、タイムステップ r にリンク l へ流出する割合(リンク流出影響係数 1)

$E_{2ml}^{(r-1)r}$: タイムステップ $r-1$ 冒頭にリンク m 上に存在し

ている交通のうち、タイムステップ r にリンク l へ流出する割合（リンク流出影響係数2）

W_m^{r-1} : タイムステップ $r-1$ 冒頭時点にリンク m に残存している交通量（観測交通データ）

なお、式(4)第2項において観測交通データ（速度・交通量）を利用しており、データ収集・計算処理に要する時間を考慮して、2タイムステップ前のものを利用可能な最新データとする。

3. オンラインモデルの頑健性の検証

既往のLP制御モデルでは、予測流入需要を決定変数として最適制御解を算出していた。よって実際の交通状況では、事後に判明する実流入需要と予測値が必ずしも一致しないため、交通管制への適用が困難であった。本研究では実流入需要量を加味した上で、実流入需要に基づいた観測交通データを利用することによって、オンラインLP制御モデルの予測誤差に対する頑健性を検証し、実際の交通管制への実現可能性を問うた。予測誤差の与え方として、タイムステップ毎に平均1、標準偏差0.05、0.1、0.15、0.2、0.25、計5ケースの正規乱数を乗じて表現し、誤差の大小によるオンラインモデルの頑健性を検証する。図-2にはオンランプ1~3の合計予測流入需要を示し、図-3には標準偏差と予測誤差の出現確率の関係を示す。

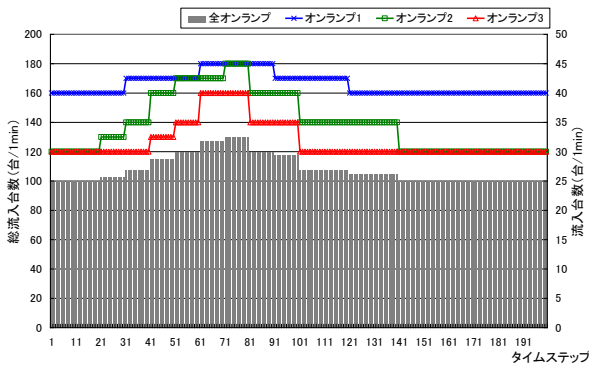


図-2 各タイムステップの予測流入需要

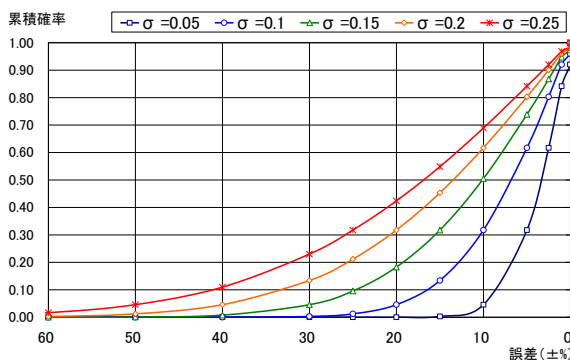


図-3 各ケースの予測誤差の累積分布図

図-3の通り、標準偏差が $\sigma = 0.05$ のときは、予測誤差がほぼ $\pm 10\%$ の範囲内に収まるが、 $\sigma = 0.25$ の場合には予測

誤差が $\pm 50\%$ の範囲で出現することが分かる。

なお、評価指標として流入待ち交通の待ち時間を加味した総所要時間を用いる。また誤差による個々の結果の偏りを無くすために、各ケースに対して10パターン異なる乱数を与え、それぞれ数値計算を行った際の平均値として示すこととする。図-4には各ケースの総所要時間の平均を示し、その内訳を表-2に示す。

表-2 総所要時間の内訳

制御なしの場合			単位(千min・台)
種類	総所要時間	総走行時間	平均待ち時間
誤差なし	119.72	119.72	0.00
$\sigma = 0.05$	122.84	122.84	0.00
$\sigma = 0.1$	123.98	123.98	0.00
$\sigma = 0.15$	126.57	126.57	0.00
$\sigma = 0.2$	128.61	128.61	0.00
$\sigma = 0.25$	127.42	127.42	0.00

制御ありの場合			単位(千min・台)
種類	総所要時間	総走行時間	平均待ち時間
誤差なし	113.70	86.95	26.75
$\sigma = 0.05$	114.75	87.27	27.48
$\sigma = 0.1$	117.70	87.93	29.77
$\sigma = 0.15$	122.19	88.76	33.44
$\sigma = 0.2$	125.56	89.27	36.29
$\sigma = 0.25$	129.18	90.23	38.95

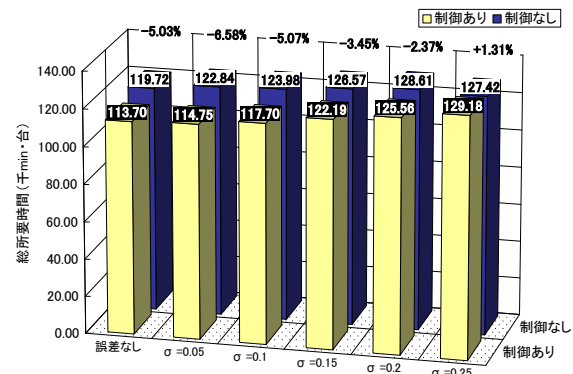


図-4 各ケースにおける総所要時間の比較

制御を実施した場合、標準偏差 $\sigma = 0.05$ から $\sigma = 0.2$ までのケースでは、総所要時間の短縮が確認され、誤差のばらつきが大きくなるにつれてその効果は漸減している。また $\sigma = 0.25$ のケースでは、制御なしに比べてかえって所要時間が增大している。ゆえに誤差に対しては $\sigma = 0.2$ 付近のばらつきまでは、オンラインモデルによる流入制御の所要時間短縮効果が示された。

4. まとめ

予測誤差が常に一致しないケーススタディを通じて、制御時の流入待ち交通の時間的損失を考慮しても総所要時間の短縮が確認された。また、全時間帯に対して約7割のタイムステップで最大 $\pm 20\%$ の予測誤差を与えた場合でも、総所要時間の短縮効果が認められた。以上の結果からオンラインモデルの頑健性が示され、実際の交通管制への適用可能性が期待できる結果を得た。今後は実規模ネットワークへの適用を試み、オンラインモデルの頑健性について更なる検証を行うことが肝要である。