

京都大学工学部 学生員 ○野見山 祥吾
 京都大学経営管理大学院 正会員 宇野 伸宏
 京都大学大学院工学研究科 正会員 嶋本 寛

1. はじめに

都市高速道路では近年、ETC レーンの増加などのため、従来型の入路閉鎖・ブース制限方式による効率的な流入制御が難しくなっている。

一方、ETC の普及によって、技術的には柔軟な料金設定が可能となることから、本研究では“料金調整”によるドライバーの行動変化を期待した、流入制御の可能性に着目した。料金調整による流入制御には、全ドライバーに対して高速道路の利用可能性を残した上で、渋滞の予防・緩和に資する制御が可能という利点がある。その一方で、制御効果が、設定金額に対する利用者の反応に左右されるという課題もある。そこで本研究では、料金調整による流入制御の可能性を模索する第一段階として、オンランプでの課金・割引額を操作変数とした動的流入制御モデルを提案する。

2. モデルの概要

2.1. 定式化

本研究では、例えば 5 分間を単位時間とし、単位時間内での交通状態・流入需要の定常性を仮定し、渋滞を予防可能な各時間帯での料金調整額を決定する流入制御モデルを提案する。この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し、一括最適化計算を行う (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、リンク走行速度に関する条件 (式(3)) を設ける。各変数については表 1 に示す。

$$\max \sum_{s=t_s}^{t_L} \sum_{i \in I} \bar{d}_i^s U_i^s \quad (\text{for all } s) \quad (1)$$

s.t.

$$UL_i^s \leq U_i^s \leq U_i^{max} \quad (t_s \leq s \leq t_L) \quad (2)$$

$$v_a^{s+1} = \alpha - \beta \left\{ K_a^s + \frac{(Y_a^s - X_a^s)}{L_a} \right\} \geq v_a^{min} \quad (\text{for } \forall a, t_s \leq s \leq t_L) \quad (3)$$

進藤ら¹⁾が構築した料金調整を考慮した経路選択モデルにより、流入制御モデル中の U_i^s 、迂回交通量 Z_i^s 、一般道路利用量 A_i^s を次のように表す。

$$U_i^s = P_{Ei}^s(cf_i^s, df_i^s, lj_i^s)UD_i^s + z_{(i)}^{(s)}$$

$$Z_i^s = P_{Di}^s(cf_i^s, df_i^s, lj_i^s)UD_i^s \quad (\text{for } \forall i \in I)$$

$$A_i^s = P_{Ai}^s(cf_i^s, df_i^s, lj_i^s)UD_i^s$$

表 1 変数の説明

s	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
I	オンランプの集合
t_s	制御対象のタイムステップ
t_L	一括最適化の最終タイムステップ
\bar{d}_i^s	流入交通 1 台あたりの平均トリップ長
U_i^s	流入交通量 (制御交通量)
UL_i^s	流入可能交通量の最低保証値
U_i^{max}	オンランプ i の最大処理能力 (台/5min)
v_a^s	リンク a の走行速度
v_a^{min}	リンク a の許容速度 (臨界速度)
K_a^s	リンク a の交通密度
X_a^s	リンク a からの流出交通量 (U_i^s の関数)
Y_a^s	リンク a への流入交通量 (U_i^s の関数)
L_a	リンク a の長さ (km)
α, β	定数パラメータ
Z_i^s	UD_i^s のうち、入口を変更しての高速道路利用に切り替える量
$z_{(i)}^{(s)}$	タイムステップ s にオンランプ i に迂回してくる交通量
A_i^s	UD_i^s のうち、一般道路の利用に切り替える量
UD_i^s	予測流入需要量
$P_{Ei}^s(cf_i^s, df_i^s, lj_i^s)$	高速道路利用選択率
$P_{Di}^s(cf_i^s, df_i^s, lj_i^s)$	迂回経路選択率
$P_{Ai}^s(cf_i^s, df_i^s, lj_i^s)$	一般道路選択率
cf_i^s	課金額
df_i^s	割引額
lj_i^s	表示渋滞長 (km)

2.2. 数値計算の前提条件

数値計算の初期設定条件を表 2 に、数値計算用ネットワークを図 1 に示す。本研究では、課金・割引額を離散的に (今回は 3 種類ずつ) 設定し、GA (遺伝的アルゴリズム) を用いた解法を適用することで流入制御モデルの近似解を求める。その際、課金のみの実施、割引のみの実施、課金と割引の両方の実施の 3 ケースを設定する。

表2 各リンクの交通処理能力に関する設定

項目	内容	
1 タイムステップ	5(min)	
自由走行速度 v^{free}	88.11(km/h)	
臨界速度 v_d^{min}	44.0(km/h)	
流入交通量の最低保証値 UL_i^l	0(台/5min)	
オンランプ <i>i</i> の最大処理能力 U_i^{max}	60(台/5min) × ブース数	
各オンランプのブース数	on1	4
	on2	2
	on3	6
	on4	2
	on5	2
設定金額	課金	150 円, 300 円, 450 円
	割引	-350 円, -750 円, -1000 円
	両方	100 円, 200 円, 300 円 -50 円, -100 円, -150 円
GA に関する条件	初期染色体数	100 個
	停止条件	100 世代に到達 or 20 世代同じ最適解が続く ランキング選択
	再生	+ エリート保存選択
	交叉	交叉確率 0.50 の一点交叉
	突然変異	突然変異確率 0.02

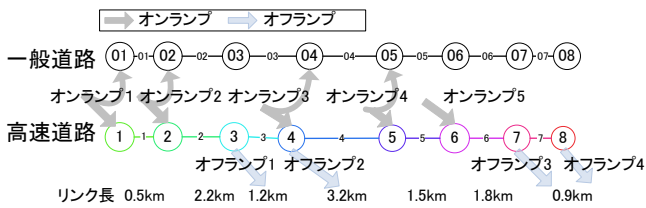


図1 数値計算用ネットワーク

3. 数値計算結果

3.1. GA を用いた解法の妥当性

図2は、課金を実施したケースのタイムステップ17における解の収束状況を示す。最適値を下げることなく世代更新が行われ、最適値以外の解についても全体として値が高い方に集中していく傾向が読み取れる。また、29世代目で最適値に収束するまでは解の多様性が保たれていることがわかる。

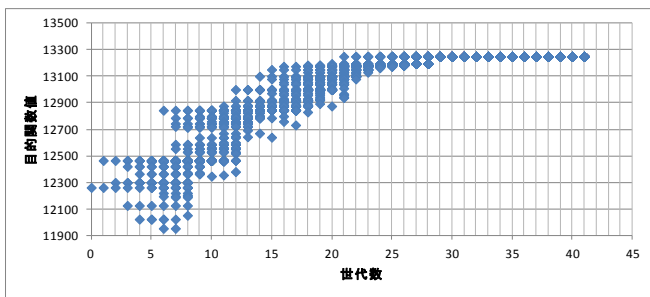


図2 解の収束状況

3.2. 制御解の傾向

得られた制御率を図3に示す。3 ケースとも流入需要の増加に反応して流入制御を実施し、その強度を高めていくことが分かる。また、課金と割引の両方を実施した場合は制御率の時間変化は比較的穏やかな変動になり、逆に割引を実施した場合、制御率

が大きく変化することを読み取れる。

次に、課金を実施した場合の、各リンク内の平均速度と課金額を図4に示す。リンク内平均速度が低下していくのに応じて料金調整が実施され、制御の強度（課金額）が高まることを読み取れる。また、リンク内平均速度は常に許容速度の44km/h以上（非渋滞領域）となっており、本研究の流入制御モデルによってリンク内の交通密度が常に非渋滞領域に保たれていると考えられる。しかし、許容速度へのリンク平均速度の接近が小さく、過剰制御である可能性も否定できない。これらの傾向は、割引の実施、課金と割引の両方実施の場合からも読み取れた。

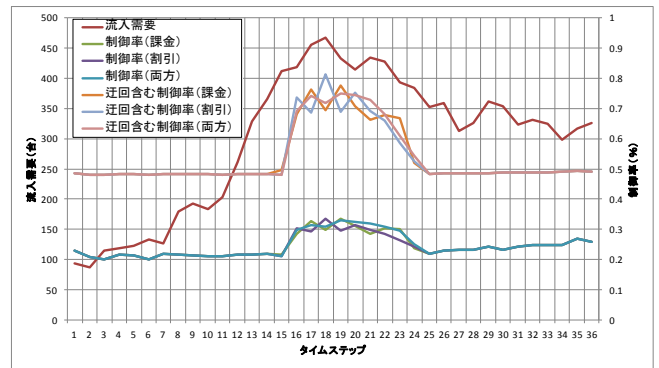


図3 各タイムステップの制御率

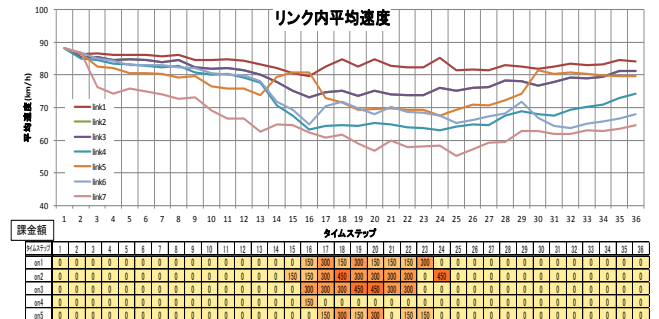


図4 リンク内平均速度と料金の関係（課金）

4. まとめ

本研究ではETCの普及を踏まえて、都市高速道路の利用可能性をできるだけ保障した形で、渋滞を予防・緩和するため、料金調整による流入制御という考えに着目し、料金調整額を決定するモデルを提案した。需要の増加に伴い制御強度（課金・割引額）が高まるという制御モデルとしての基本特性は、簡単な数値計算より確認されている。

謝辞：本研究の実施に際して阪神高速道路(株)および(財)阪神高速道路管理技術センターよりご支援を頂戴した。記して謝意を表します。

【参考文献】 1) 進藤隆弘, 宇野伸宏, 塩見康博: プロパーソン調査による都市高速道路の料金調整実験時の対応行動分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.41, CD-ROM, 2010