【土木計画学研究・論文集 No.10 1992年11月】

交通量の空間的分布を考慮したファジィLP制御

Fuzzy LP On-Ramp Control Considering Transitional Distribution of Flows

松井 寛* 藤田素弘** 堀尾朋宏***
By Hiroshi MATSUI, Motohiro FUJITA and Tomohiro HORIO

On-ramp control has been considered as the most effective and practicable means for reducing traffic congestion when demands exceed capacities. More research has been directed to the application of Linear Programming techniques for the problem of on-ramp control. The greatest advantage of this technique is its simplicity in formulation and its extremely short computation time. However, this LP on-ramp control still has some essential problems due to the steady state assumption of flows. In this paper we try to improve the previous LP on-ramp control model from two points of view. One is that in the new model we take account of the transitional distribution of flows in time and space in order to release from the unrealistic steady state assumption. Another one is that we consider an application of fuzzy reasoning for representing both linquistic knowledge and unexactly modeled systems.

1 はじめに

都市高速道路本線上の交通容量の不足に起因する自然渋滞を防止し、交通流の円滑化を図るには、オンランプでの流入量を調整する流入制御が最も実用的かつ効果的な方策と考えられ、従来から多くの研究がなされてきた。J.A.Wattleworth[1]や佐佐木・明神ら[2]は、本線上の交通量が交通容量以下という制約のもとで、高速道路利用台数が最大となるような制御理論を提案した。この理論は線形計画法の問題として定式化されるため、わが国では一般にLP制御と呼ばれている。さらに明神・坂本・岩本ら[3]は、実用上の観点から、オンランプの流入待ち行列制約を考慮したLP制御を提案するとともに、目的関数として利用台数最大化を採用した場合は、解の唯一性が保証されないことを明らかにし、また長距離トリップ優先の本来的機能をもつべき都市高速道路の流入制御にあっては、目的関数として総走行台キロ最大化が好ましいことを述べている。このほかLP制御に関してはL.S.Yuanら[4]、J.J.Wangら[5]、およびC.I.Chen[6]によっていくつかの改良型が提案されている。

一方，オンランプでの実際の流入調整は入路閉鎖、ブース制限方式が一般的であることから、井上ら[7]は入路の許容開口ブース数の決定は本来整数計画問題となるとして、整数LPによる定式化を行っている。また時間的に変動する交通需要や走行速度の交通量依存性を考慮すべく動的流入制御問題として扱った研究(C.F.Wang[8],L.Isaksenら[9],M.Cremer[10], M,Papageorgiouら[11]，松井ら[12]）や、複数経路間の経路選択を取り入れて2レベル最適化問題として

キーワード：ランプ流入制御、ファジィ推論

* 正会員 工博 名古屋工業大学教授 社会開発工学科
(〒466 名古屋市昭和区御器所町)
**正会員 工博 名古屋工業大学助手 社会開発工学科
***正会員 愛知県土木部

定式化した研究[13]もあるが、これらは従来のＬＰ制御に比べてモデル構造の複雑化と計算量の膨大化は避けられず、モデルの信頼性、操作性、実用性という面でなお問題を残している。

高速道路の流入制御に関するもう一つのアプローチとして、実際の交通管制の現場では、管制担当者が種々の交通状況や過去の経験に基づいて総合的な判断を下すことが多いことから、ファジィ推論を用いて知識工学的に流入制御ルールをモデル化する研究[14)15]がある。しかしながらこれらの研究はいまのところある種の目的関数を最適化するものではなく、あくまでも経験則に基づくものであるから、制御運営上の効率化を図ることはできても、制御内容自体の効率性、妥当性を評価する点において問題が残されている。

結局のところ、ＬＰ制御は本線上の走行速度を一定と仮定している非現実性をもつものの、自然渋滞防止のため、とにかく本線交通量を交通容量以下におさえることを第一義的に考える制御である点で論理性が単純明快で、また比較的大規模なネットワークにあっても十分に適用可能であることから、現在のところ最も実用化の進んだ制御理論といえる。

しかしながら従来のＬＰ制御理論は本線交通量の定常性を仮定しているため、時々刻々と変動する現実の交通需要に対応すべく制御パターンを順次更新していくような流入制御に適用する場合は、モデル構造上問題がある。そこで本研究では本線交通量の空間的分布と残留交通量の概念を新たに導入して、従来のＬＰ制御モデルの改良を図るとともに、観測変数や制御プロセスにみられるいくつかのファジィ性[16]に留意して、ファジィ推論と最適化理論の融合化を図ったより実用的で効率的な制御モデルの構築をめざす。

2　交通量の空間的分布を考慮したＬＰ制御モデル

流入制御が必要となるピーク時などでは、オンランプから流入する交通量は時間変動が著しく、このような交通需要の変動に対応するには、制御の対象となる全時間帯（以下全制御時間と呼ぶ）を短時間（本研究では５分間）に区分し、それぞれの小時間帯（以下単位制御時間と呼ぶ）ごとに流入制御パターンを求め、これを次々と更新するような方法をとるのが一般的である。しかしながら従来のＬＰ制御では以下のようなモデル構造上の基本的な問題点がある。

①本線交通流の定常性を仮定しているため、ある単位制御時間に流入した各ランプ間ＯＤ交通量は経路上に常に一様に分布しているものとみなされ、オンランプからオフランプまでの到達経過時間が無視されている。

②前単位制御時間中にオフランプから流出できなかった交通量は本線上に残留しているはずであるが、この残留交通量の影響が次の時間帯では全く無視されている。

そこで本文ではＬＰ問題としての数学的枠組を維持しつつ、上記の非現実性を改良すべく交通量の空間的分布を考慮したモデル（以下改良ＬＰ制御モデルと呼ぶ）を提案する。

まず問題の定式化にあたり次の前提条件を設ける。

１）本線上の交通量が交通容量以下のもとでは、車の速度は一定とする

２）ランプ需要量は予測可能とする

３）ランプ間ＯＤ確率は予測可能とする

次の英文字ならびに記号を定義する。

Δt：単位制御時間

i：本線上の区間番号（$i=1,2,\cdots,m$）

j：オンランプ番号（$j=1,2,\cdots,n$）

k：単位制御時間帯番号

q_j^k：オンランプ j に k 時間帯内に到着する新規需要台数

Q_j^k：オンランプ j の k 時間帯終了時までの累積需要台数

x_j^k：オンランプ j の k 時間帯における許容流入台数（制御変数）

X_j^k：オンランプ j の k 時間帯終了時までの累積流入台数

w_j^k：オンランプ j における k 時間帯終了時の流入待ち台数

さらに q，Q，x，X，w には次の関係式が成立する。

$$Q_j^k = Q_j^{k-1} + q_j^k \qquad (1)$$

$$X_j^k = X_j^{k-1} + x_j^k \qquad (2)$$

$$w_j^k = Q_j^k - X_j^k \qquad (3)$$

a 目的関数について

都市高速道路の果すべき機能、および従来の研究成果を踏襲して、本研究では目的関数として総走行台キロ最大化を採用する。総走行台キロはランプ間ＯＤ確率とランプ間距離、および流入台数から計算される。

オンランプ j から流入した車がオフランプ r へ流出する確率をランプ間ＯＤ確率といい、α_{jr} で表す。またオンランプ j とオフランプ r との距離を L_{jr} とおく。ここで、オンランプ j についての流入１台あたりの平均トリップ長を a_j とすると、a_j は次のように表せる。

$$a_j = \sum_r \alpha_{jr} L_{jr} \qquad (4)$$

よって総走行台キロの関数 f は次のように定式化される。

$$f = \sum_j a_j X_j^k \qquad (5)$$

b 制約条件について

①本線上の交通容量制約

この制約条件は本線上の区間交通量が交通容量を超えないというもので、ＬＰ制御の基本制約条件である。まず k 時間帯においてオンランプ j から流入した交通量 x_j^k が本線上の区間 i を通過する確率を影響係数といい、これを b_{ij} で表す。これを用いるとオンランプ j から流入した交通量のうち本線上の区間 i を通過する交通量は $b_{ij} x_j^k$ で表せる。これを全てのオンランプについて足し合わせると、次のような区間 i についての交通容量制約条件式を得る。

$$\sum_j b_{ij} x_j^k \leqq c_i \qquad (6)$$

ここに c_i は区間 i の交通容量である。

仮に区間数が m 個とすると、上式は m 個の連立一次不等式となる。この連立一次不等式の左辺の係数を行列で表したものを影響係数行列［b_{ij}］と呼び、**B**で表す。

ここで、交通量の空間的分布を把握するため、影響係数行列を流入時刻から流出時刻まで Δt 分ごとに区切って表現することを考える。すなわち、流入後０～Δt 分の影響係数行列［$b_{ij}{}^0$］を $\mathbf{B}^0$，Δt～$2\Delta t$ 分の影響係数行列［$b_{ij}{}^1$］を $\mathbf{B}^1$，$2\Delta t$～$3\Delta t$ 分の影響係数行列［$b_{ij}{}^2$］を $\mathbf{B}^2$‥‥と定義する。なお本線上の車の走行速度は一定と仮定しているため、影響係数行列の区切り方は Δt 分間の走行距離に依存する。この影響係数行列を用いると、交通容量の制約条件式は次のように書き改められる。

$$\sum_j b_{ij}^0 x_j^k + \sum_j b_{ij}^1 x_j^{k-1} + \sum_j b_{ij}^2 x_j^{k-2} + \cdots \leqq c_i \qquad (7)$$

上式の左辺第１項は現時間帯の流入量のうち区間 i を通過する交通量を表し、第２項以降は前時間帯までに流入した交通量のうち区間 i にのこっている残留交通量を表している。また上式で x_j^k は制御変数であるが、x_j^{k-1}，x_j^{k-2} 等は過去の時間帯における制御により決定済の既知の流入台数である。

②オンランプの待ち台数制約

オンランプでの待ち行列が平面街路にまで影響を及ぼさないよう、各オンランプにおける待ち台数に上限値を設け、上限値を超えたものについては強制的に流入させることとする。待ち台数の上限値を W_j とすれば、次の関係式が成立する。

$$0 \leqq w_j^k = Q_j^k - X_j^k \leqq W_j \qquad (8)$$

上式を式(２)を用いて制御変数 x_j^k で整理すると

$$Q_j^k - W_j - X_j^{k-1} \leqq x_j^k \qquad (9)$$

となる。なお、W_j は各ランプの導入路の長さ、車線数などに応じて設定される。

③許容流入量の非負条件と最大可能流入量制約

最大可能流入量はブース数などにより物理的に処理できる限界値を与えるもので、いまこれを x_j^{max} で表すと

$$0 \leqq x_j^k \leqq x_j^{max} \qquad (10)$$

④累積流入量が累積需要量を超えないという制約

制御上からは許容流入量は現制御時間帯の待ち台数に新規需要量を加えた量を超えないはずである。これは次のような累積流入量が累積需要量を超えないという関係と同等である。

$$X_j^k \leqq Q_j^k \qquad (11)$$

これに式(２)を用いて制御変数 x_j^k で整理すると

$$x_j^k \leqq Q_j^k - X_j^{k-1} \qquad (12)$$

以上の問題をまとめると次のように定式化できる。

$$\left.\begin{array}{ll} \max & f = \sum_j a_j x_j^k \\ \mathrm{s.t.} & \sum_j b_{ij}^0 x_j^k + \sum_j b_{ij}^1 x_j^{k-1} \\ & \qquad + \sum_j b_{ij}^2 x_j^{k-2} + \cdots \leqq c_i \\ & Q_j^k - W_j - X_j^{k-1} \leqq x_j^k \leqq Q_j^k - X_j^{k-1} \\ & 0 \leqq x_j^k \leqq x_j^{max} \end{array}\right\} \qquad (13)$$

以上の問題はＬＰ問題であり、x_j^k, Q_j^kを毎時間帯ごとに更新して繰り返し計算を行うことによって解を得ることができる。

3 ファジィ推論を用いたＬＰ制御モデル

ファジィ推論は境界のはっきりしないあいまいな事柄を積極的に数値化し、これを厳密に議論しようとする理論で、以下のような特徴がある[17]。

a）人間の主観のようなあいまいな事柄を取扱うことができる。

b）大規模で複雑なシステムを大雑把にかつ大局的に把握して取扱うことができる。

c）定性的な性質は分かっているが、厳密な数学的モデルが構築できないようなシステムを取扱うことができる。

さて、前節で提案した改良ＬＰ制御モデルは、未来時点の本線上の混雑を予測できず、現時点で可能な最大流入量を許すため、ピーク時において制約条件を満たす制御解が存在しなくなる可能性がある。これを回避するには、たとえば数分後のボトルネックにおける区間交通量を予測して制御を行う必要があるが、それには次のような問題点がある。

①各時間帯ごとに制御を行う方法では未来時点の流入量を決定できないため、未来時点のボトルネックの区間交通量を厳密に計算することはできない。

②現在までの各オンランプの流入量からボトルネック区間における残留交通量を把握することはできるが、残留交通量がどれくらいになったらどれくらい流入を制御したらよいかの正確な関係が分かっていない。

このような不確実な要素が存在する場合には、前述の特徴を持ったファジィ理論が有効となる。本節で提案するファジィ推論を用いたモデル（以下ファジィＬＰ制御モデルと呼ぶ）では、次の単位制御時間帯にボトルネック区間に影響を及ぼすであろう流入量を、「ボトルネック区間の残留交通量が大きいならば、流入制御を強める」というようなルールを用いて制御する。ただし、本モデルではＬＰ制御によって許容流入量を最適化計算により決定することを基本としており、ファジィ推論はその推論結果によって制約条件の一部を変更するという形で適用する。これにより、間接的に次の時間帯におけるボトルネック区間の混雑を予測した制御が可能となる。

さて、ファジィ推論はファジィ集合ＡとＢに関するルール「ＡならばＢ」をファジィ関係Ｒに変換し、新しい事実Ａ′が入力されたときにこの新事実Ａ′とファジィ関係Ｒとから結論Ｂ′を導き出すという推論法である。ファジィ制御においてよく利用される「頭切り法」と呼ばれる推論法では、「ＡならばＢ」という関係をＡとＢの積集合をとることでファジィ関係に変換する。本モデルでは次のようなルールを用いる。ここでは簡単のためルール数を２とする。

（ルール１）ボトルネック区間の残留交通量がだいたいa_1ならば、許容流入量の上限値をだいたいb_1とする。

（ルール２）ボトルネック区間の残留交通量がだいたいa_2ならば、許容流入量の上限値をだいたいb_2とする。

いまボトルネック区間の残留交通量に関する新しい事実a'が入力されたとする。新事実a'をルール１に照らし合わせて頭切り法を用い、結論b_1'をを得る。同様に新事実a'とルール２から結論b_2'を得る。そして結論b_1'とb_2'の和集合として最終結論である許容流入量b'を得る。ファジィ推論では一般にルールがｎ個ある場合でも同様にｎ個の結論を別々に並列して求めておき、最終段階でこれらの和集合をもって結論とすればよい。

本モデルのようにコンピュータの計算にファジィ推論を適用する場合には、与えられた新事実や得られた結論はクリスプな数である必要がある。入力される新事実がクリスプな数である場合はファジィ数の場合と同様に扱えばよいが、結論として得られたファジィ集合からクリスプな結論を得るには何らかの方法によって代表値を決めなければならない。本モデルでは一般的に用いられている重心法を用いることにする。

さて、ファジィＬＰ制御モデルの基本式は前節の式(13)で表されるのと同じである。ただしファジィＬＰ制御モデルでは最大可能流入量x_j^{max}を固定的に考えず、特定のオンランプについてはファジィ推論を用いて可変的に考える。以下、その計算手順について説明する。

(Step1) 改良ＬＰ制御モデルと同様に式(13)の最適化問題を解き、k時間帯の全オンランプの許容流入量を計算する。

(Step2) (Step１)の結果から次の時間帯にボトルネック区間に残留する交通量を計算する。これは、流入量と影響係数行列から求めることができる。

(Step3) (Step２)で計算した残留交通量の大小により、ファジィ推論を用いて特定のオンランプにおける最大可能流入量を決定する。

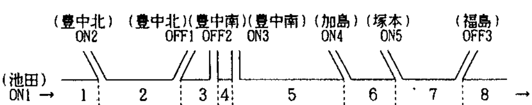
(Step4) この最大可能流入量を用いた制約条件式でもう一度式(13)を解き、k時間帯の制御を行う。

(Step5) 以上の計算をすべての単位制御時間帯について行う。

この方法では、単位制御時間帯ごとに２回の最適化計算を行うことになるが、１回目の計算はファジィ推論を行うための初期値を与える役割を持ち、２回目の計算によってk時間帯の許容流入量を決定することになる。

４　阪神高速道路への適用例

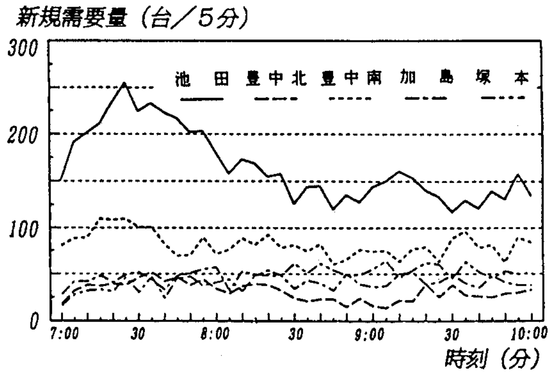
ここでは改良ＬＰ制御モデル（以下モデル１と呼ぶ）、ファジィＬＰ制御モデル（以下モデル２と呼ぶ）をそれぞれ阪神高速道路に適用し、それぞれ比較検討を行った。対象路線は阪神高速道路池田線上り方向とし、その路線図を図－１に示す。図に示すようにオンランプ数が５、オフランプ数が３であり、対象路線を８区間に分割する。なお、オンランプ３（豊中南ランプ）は島田口と名神口を合わせたものとして取扱う。本線上の交通容量はいづれも３８０台／５分とする。また各オンランプにおける最大可能流入量および待ち台数制約値を表－１に示す。ここで、オンランプ１（池田ランプ）については需要量がもっとも多いことや路線の形状から本線の上部部分とみなし、流入制御は行わない（すなわち、待ち台数制約値は０）ものとする。需要交通量には昭和５９年５月２４日 7:00～10:00の朝のピーク時間帯を含む３時間の実績データを用いた。この需要交通量の５分ごとの時間変動を図－２に示す。ランプ間ＯＤ確率は区間交通量とオフランプ流出台数の実測値より平均推移確率を求め、これよりランプ間ＯＤ確率を求め、この値を制御時間中一定とした。本線上の走行速度は阪神高速道路本線上の臨界速度の観測値および規制速度を参考にして６０㎞／時とした。対象路線の総延長は約１２㎞なので、流入から流出までは１５分以内である。よって影響係数行列は０～５分、５～１０分、１０～１５分の３つに区分したものを用いた。表－２～表－４はこの３つの影響係数行列を示したものである。たとえば、表－２の最左列の数字は、池田ランプから流入した車は最初の５分間に区間４まで達するが、区間３および



図－１　対象高速道路路線図

表－１　各オンランプの最大可能流入量および待ち台数制約値

オンランプ	最大可能流入量（台/５分）	待ち台数制約値（台）
池　田	３８０	０
豊中北	１００	６６
豊中南	２００	４１６
加　島	１００	１８０
塚　本	１００	２５０



図－２　需要交通量の時間的変動

表－２　影響係数行列（０～５分）

		オンランプ				
		池　田	豊中北	豊中南	加　島	塚　本
区間	1	1	0	0	0	0
	2	1	1	0	0	0
	3	0.966	0.966	0	0	0
	4	0.931	0.931	0	0	0
	5	0	0	1	0	0
	6	0	0	1	1	0
	7	0	0	0	1	1
	8	0	0	0	0.864	0.864

表－３　影響係数行列（５～10分）

		オンランプ				
		池　田	豊中北	豊中南	加　島	塚　本
区間	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
	5	0.931	0.931	0	0	0
	6	0.931	0.931	0	0	0
	7	0	0.931	1	0	0
	8	0	0	0.864	0	0

表－４　影響係数行列（10～15分）

		オンランプ				
		池　田	豊中北	豊中南	加　島	塚　本
区間	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0
	7	0.931	0	0	0	0
	8	0.805	0.805	0	0	0

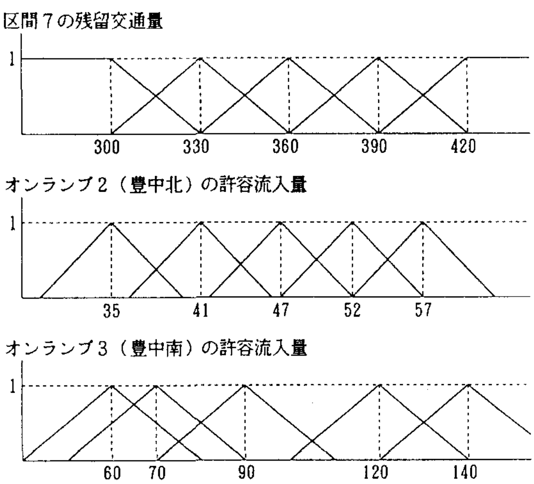
４にはその直前の豊中北および豊中南の各オフランプからの流出分が差し引かれ、影響係数がそれぞれ0.966，0.931であることを示している。

次にファジィＬＰ制御モデルにおけるファジィ推論に関する設定について説明する。表－２、表－３、表－４を合わせた全制御時間の影響係数行列からボトルネック部は区間７であることが分かる。また、表－３より次の時間帯に区間７に影響を及ぼすのはオンランプ２（豊中北ランプ）とオンランプ３（豊中南）からの流入量である。よってファジィ推論のルールを次のようにする。

「区間７の残留交通量がだいたいＡならば、オンランプ２の許容流入量の上限値をだいたいＢに、オンランプ３の許容流入量の上限値をだいたいＣにする」上のＡ、Ｂ、Ｃの値を表－５にまとめ、区間７

表－５　ファジィ推論のルールにおけるパラメータ値

Ａ（台／５分）	Ｂ（台／５分）	Ｃ（台／５分）
３００	５７	１４０
３３０	５２	１２０
３６０	４７	９０
３９０	４１	７０
４２０	３５	６０



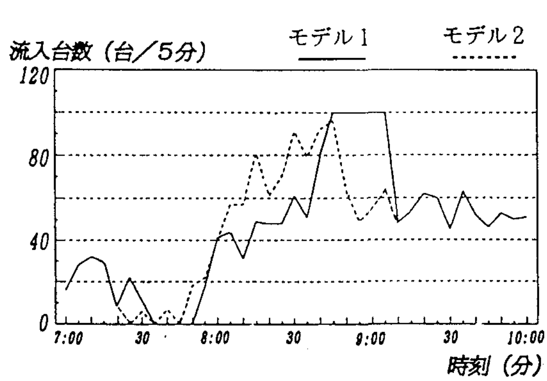
図－３　ファジィ推論におけるメンバーシップ関数

の残留交通量、オンランプ２および３における許容流入量の上限値のメンバーシップ関数を図－３に示す。なお全制御時間は上記の３時間であるが、初めの１５分間については本線上の初期状態を作るため流入制御をおこなわないものとした。

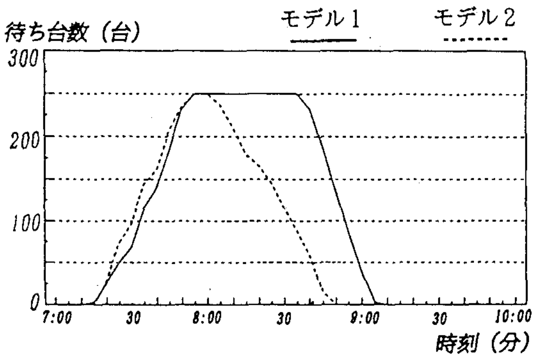
計算結果の総括表を表－６に示す。ここには全制御時間（３時間）中の総走行台キロ、総待ち時間、およびオンランプ別総待ち時間が示されている。結果的に３時間中にすべての需要交通量が捌けているため総走行台キロはモデル１、モデル２とも同じ値となっている。総待ち時間はモデル２の方がわずかではあるが改善されている。これをオンランプ別にみるとモデル１では下流側の特定ランプに集中し、とくにオンランプ５（塚本ランプ）に大きな負担がかかっている。一方モデル２では待ち時間の分散化が図られている。また図－４と図－５は一例として

表－６　主な計算結果の比較

		モデル１	モデル２
３時間の総走行台キロ		117568	117568
３時間の総待ち時間(分)		27358	27128
オンランプ別総待ち時間（分）	ＯＮ１	0	0
	ＯＮ２	0	1175
	ＯＮ３	0	12218
	ＯＮ４	8635	466
	ＯＮ５	18722	13269



図－４　流入台数の変動（塚本ランプ）



図－5　待ち台数の変動（塚本ランプ）

オンランプ5における流入台数、待ち台数の時間変動を示したものである。モデル1においてはピーク時間帯前半で流入量を抑え、その後急激に流入させる傾向がみられ、流入量の変動が大きい。また7:55～8:35にわたり待ち台数が制約値に達している。一方モデル2においては、流入量の変動は比較的滑らかであり、流入制御が早目に行われることによって待ち台数が大幅に減少しており、ファジィ推論による次の時間帯の予測の効果が現れている。

図－6および図－7は全オンランプの総待ち台数のうち、各オンランプの待ち台数の占める割合を表したものである。モデル1ではオンランプ5に待ち行列が集中しているが、モデル2では他のオンランプにも分散していることが分かる。

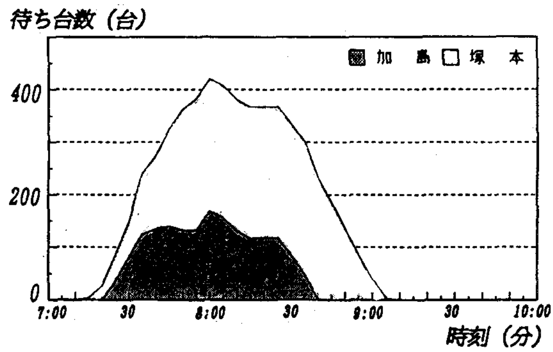
図－8は各オンランプでのブースの開閉パターンを示したものである。図において

モード1：ブースの閉鎖は行わず、需要量はすべて流入させる

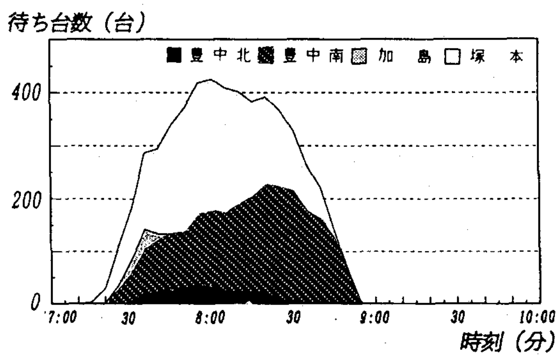
モード2：完全閉鎖、または待ち台数が制約値を超える場合、その超過分だけを流入させる

モード3：モード1，2の中間で、需要量の一部を流入させる部分閉鎖

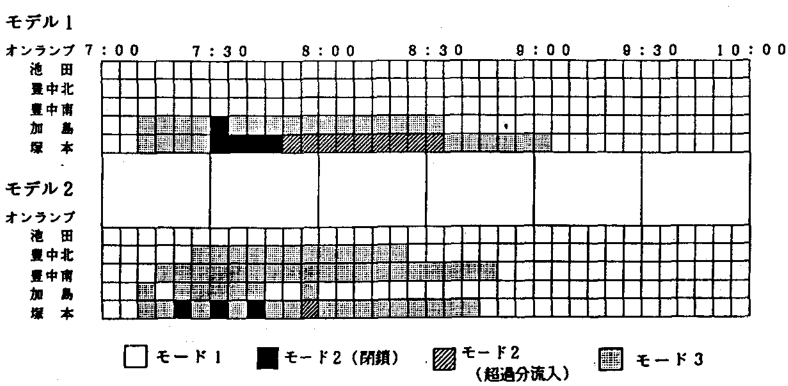
の意味である。モデル1では、オンランプ5において20分間にわたって完全閉鎖され、最大待ち時間が30分に達している。一方モデル2ではモード3のパターンが多いことが特徴である。



図－6　待ち台数の変動におけるオンランプ別内訳（モデル1）



図－7　待ち台数の変動におけるオンランプ別内訳（モデル2）



図－8　各モデルにおける制御パターンの変化

5　結論

本研究では従来のＬＰ制御モデルを改良、発展させた２つの制御モデルを提案した。１つは従来のＬＰ制御モデルに交通量の空間的分布と残留交通量の概念を新たに導いた改良ＬＰ制御モデルであり、他の１つは、さらにファジィ推論を導入し、これとＬＰ最適化理論を融合化したファジィＬＰ制御モデルである。これらのモデルを阪神高速道路に適用計算した結果、得られた結論は次のとおりである。

①改良ＬＰ制御モデルは単位制御時間帯ごとに最適化を行うことにより、交通需要変動に対応した滑らかな制御解を得ることができた。しかし目的関数として総走行台キロ最大化を採用することによって、最下流の特定のオンランプに待ち行列が集中し、平均待ち時間も大きくなる傾向がみられた。また需要量が特定時間帯に集中する場合、ボトルネック区間の容量制約とオンランプの待ち台数制約を同時に満足できず、制御不可能に陥ることもある。実際に本研究で適用した計算例でもこのような事態が発生し、オンランプ４，５における制約条件を緩めて計算を行った。

②一方ファジィＬＰ制御モデルは、改良ＬＰ制御モデルと同様に交通需要変動に対応した滑らかな制御を得ることができ、またファジィ推論によってオンランプ２，３の流入量を制御することにより、オンランプ５に待ち行列が集中することを防いでいる。また総待ち時間もやや改善されている。さらにこの適用例では制御不可能となることもなかった。ただ、このモデルによる結果は、ファジィ推論におけるメンバーシップ関数に大きく左右されるので、制御目標に応じたメンバーシップ関数形のより合理的な決定方法についてさらに検討する必要がある。

参考文献

1）Wattleworth J.A.：Park Period analysis and control of a freeway system, Highw.Res.Rec., No.157, pp.1～10, 1967

2）佐佐木綱・明神　証：都市高速道路網における流入車制御理論，交通工学，Vol.3, No.3, pp.8～16, 1968

3）明神・坂本・岩本：流入待ち行列を考慮したＬＰ制御，交通工学，Vol.10, No.4, pp.15～23, 1975

4）Yuan L.S. and J.B.Kreer：Adjustment of freeway ramp metering rates to balance entrance ramp queues, Transpn Res., No.5, pp.127～133, 1971

5）Wang J.J. and A.D.May：Computer model for optimal freeway on-ramp control, Higyw.Res.Rec. No.469, pp.16～25, 1973

6）Chen C.I., J.B.Gruz Jr. and J.G.Paquet：Entrance ramp control for Travel-rate maximization in expressways, Transpn Res., Vol.8,pp.503～508, 1974

7）井上・辻本・多和：整数ＬＰを用いた高速道路ブース数制御，土木計画学研究・講演集，No.11, pp.133～140, 1988

8）Wang C.F.：On a ramp-flow assignment problem, Transpn Sci., Vol.6, No.2, pp.114～130, 1972

9）Isaksen L. and H.J.Payne：Suboptimal control of Linear system by augmentation with application to freeway traffic regulation, IEEE, Trans.Automat. Contr., Vol.AC-18, No.3, pp.210～219, 1973

10）Cremer M.：A state feedback approach to freeway traffic control, Preprints 7th IFAC World Congress, Helsinki, pp.1575～1582, 1978

11）Papageorgiou M.：A new approach to time-of-day control based on a dynamic freeway traffic model, Transpn Res., Vol.14B, pp.349～360, 1980

12）松井　寛・佐藤佳朗：都市高速道路の動的流入制御理論に関する研究，土木学会論文報告集，第326号，pp.103～114, 1982

13）飯田・朝倉・田中：複数経路を持つ都市高速道路の最適流入制御方法，土木計画研究・講演集，No.12, pp.305～312, 1989

14）秋山・佐佐木・奥村・広川：ファジィ流入制御モデルの作成と検討，土木計画学研究・論文集，No.4, pp.93～100, 1986

15）Chen L.L., A.D.May and D.M.Auslander：Freeway ramp control using fuzzy set theory for inexact reasoning, Transpn Res.-A, Vol.24A, No.1, pp.15～25, 1990

16）秋山・佐佐木・奥村：都市高速道路交通管制の効率化に関する検討，土木計画学・講演集，No.8, pp.129～135, 1986

17）向殿政男：ファジィのはなし，1989