

Inflow control methods for urban expressway with fuzzy logic

瀧日良治**・秋山孝正***

By Yoshiharu TAKIHI** · Takamasa AKIYAMA***

1. はじめに

近年の各種情報技術の進展に伴って、都市高速道路の交通制御方法は、流入交通量の高度な調整方法の適用が可能となってきた。また一方で、現実の交通制御の局面においては、理論的な演算結果に加えて、交通需要量など不確实现象を前提とした、経験的な実用的知識の導入が必要である。このため本研究においては、都市高速道路における流入制御にファジィ制御の考え方を導入し、既存の各種流入制御方式に含まれる知識を実用的に利用する方法を検討するものである。具体的には、既存研究の成果を踏まえ、基本的なファジィ制御の記述方法を示すとともに、方法論的な面からの、モデルの拡張を検討する。さらに、阪神高速道路を対象道路網として適用を行い、経験的な知識の利用を可能とする交通制御手順の提案を行うものである。

2. 都市高速道路における交通制御と現状

(1) 都市高速道路における交通制御

都市高速道路において問題となっている渋滞対策として、交通制御は有効な方法である。都市高速道路においては、「均一料金制」という点より、オンランプ部において交通制御を行う流入制御が行われている。代表的な流入制御としては、「LP 制御」を挙げることが出来る。この制御は、都市高速道路における予防的な交通制御手法である。この制御は、対象道路区間の交通容量・流入交通量・待ち行列、といった3つの制約条件のもとで、総利用台数最大、総所要時間最小などを目的関数としている¹⁾。

キーワード：交通制御、交通管理、ファジィ推論

****学生員、 岐阜大学工学研究科土木工学専攻**

(〒503-0837 岐阜市柳戸 1 - 1 工学研究科土木工学専攻

Tel:058-293-2446,Fax:058-230-1528

E-mail:g31001021@uedu.cc.gifu-u.ac.jp)

***正員、工博、岐阜大学工学部社会基盤工学科

(〒503-0837 岐阜市柳戸1-1 工学部社会基盤工学科)

Tel:058-293-2446,Fax:058-230-1528)

(2) 都市高速道路における交通制御の現状

本研究で取り上げる阪神高速道路では、交通の現状を踏まえ、基本方針として環状線の円滑な交通を確保することに重点をおき交通制御を行っている。そこで本研究においては、環状線の上流部である阪神高速道路堺線(11.9 km)を対象路線(図 - 1)とする。

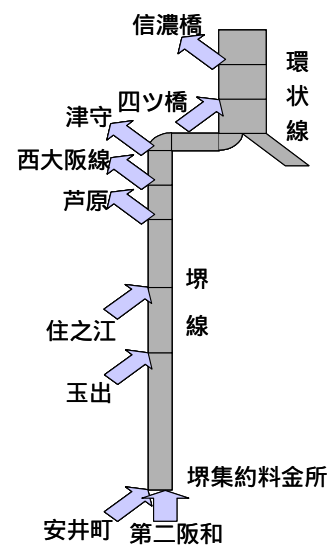


図 - 1 対象路線(阪神高速道路堺線上り)

現在、阪神高速道路においては、「入路閉鎖ブース制限方式」が行われている。この方式は、交通管制担当官が LP 制御の結果を参考とし、静的なランプ遷移確率に基づき作成された「交通管制要領」を基準として、一部の料金所の閉鎖と通行可能ブースの制限を組み合わせ、制御を行う。そして、最近の交通管制システムの高度化、ITS の進展などにより、高度な流入方式が行えるようになってきた。そこで、「流入調整方式」といった、オンランプブースはすべて開口し、制御率に応じてランプメタリングなどにより、リアルタイムに流入間隔を調整し流入交通量を調整しようという流入制御が提案されている。

3. ファジィ流入制御モデルの構築

(1) LP 制御

前節で述べたように代表的な流入制御理論としてL
P制御がある。この制御方法は定常状態における予防

的な制御方法とされている。具体的には区間利用交通量が区間交通容量を超えないように保ちながら道路利用車台数が最大となるように制御を行う方法である。数理計画問題としては次のように表わすことができる。

$$\text{目的関数：} \sum_i U_i \bar{L}_i \text{ or } \sum_i U_i \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\text{制約条件：} U \cdot Q + \varepsilon \leq C \quad (2)$$

$$0 \leq U \leq L_t + U_{\Delta t}^d \quad (3)$$

$$L_t + U_{\Delta t}^d - U_i \leq N \quad (4)$$

U_t : 許容流入交通量 Q : 影響係数行列 ε : 予測誤差

C : 本線各区間の交通容量 $U_{\Delta t}^d$: 時刻 $t \sim t + \Delta t$ 間の到着台数

L_t : 時刻 t における待ち行列長 N : 許容待ち行列 (台数)

U_i : 流入ランプ i からの許容流入量

$\bar{L}_i$: 流入ランプ i からの流入車の高速道路上のトリップの平均

LP 制御の問題点としては、次のような点が挙げることができる。LP 制御は予防的な制御であるので都市高速道路上に渋滞が起こらない。しかし、一般道路に対する影響が考慮されていない。都市道路網は一体として考えられるべきであり現実的な制御ではない。影響係数行列は時刻にかかわらず決まった値となっているが、現実的には時刻により変化し得る。そこで、動的な LP 制御の提案がなされている^{2) 3)}。

(2) ファジィ制御の方法

ファジィ制御は、ファジィ推論の制御への応用であり対象を制御とすることから、入出力値はクリスプな値である。制御判断はファジィ推論で表すことができ入出力値には確定値を用いることができる。入力値 A' に対して出力値 B の分布は次のようになる。

$$\begin{aligned} \mu_B(y_j) &= \max[\min\{\mu_{A_s}(x_s), \mu_{A_i}(x_i) \wedge \mu_{B_j}(y_j)\}] \\ &= \mu_{A_s}(x_s) \wedge \mu_{B_j}(y_j) \end{aligned} \quad (5)$$

ここで $\mu_{A_s}(x_s)$ は確定値であり、分布を持つメンバシップ関数 $\mu_{B_j}(y_j)$ を一定値以下としたものに相当する。また、この出力値を制御値として利用するためには、確定値への変換が必要である。今回は重心をとる方法を用いる。

$$z^0 = \frac{\int z \cdot \mu_B(z) dz}{\int \mu_B(z) dz} \quad (7)$$

そして、このようにして求められた確定値 z^0 を制御量とする。また、ファジィ制御の特徴としては、ルー

ル変更の容易性があげられることができる。そして、既存研究では現実的な制御のためのさまざまなルールが提案されている^{4) 5)}。

(3) ファジィ制御の導入

2章で述べたように、阪神高速道路においては交通管制パターンが決められており、交通管制担当者が様々な交通状況や、過去の経験などをもとに運用を行っている。交通管制担当者による判断の特徴として、入力情報が複雑であったり、計測が困難なものであったりしても、判断ができる点を挙げることができる。交通の専門的な知識と経験・勘に基づく判断をアルゴリズムで表現するの容易ではない。そこで、本研究においては、ファジィ制御を用い既存研究において提案されているファジィ制御ルール群(図-2)を基本として、ファジィ制御ルール群の改良・拡張を試みる。ここでは、交通管制担当官の重要な判断材料となっている渋滞長(km)、交通需要量(台/5分)を入力値とした。そして出力値は、5分間流入交通量(台)とした。

R-1:If con = short	then level = big
R-2:If con = medium and dem = small	then level = big
R-3:If con = medium and dem = medium	then level = medium
R-4:If con = medium and dem = big	then level = small
R-5:If con = long	then level = small

図-2 ファジィ制御ルール群

(4) メンバシップ関数

交通管制担当官の重要な判断材料となっている渋滞長・交通需要量においてはファジィ性が存在している。渋滞長は、道路区間において車両検知器が500mごと設置されており、実際の渋滞状況が3.3kmであっても現実的には3km位として扱われている。交通需要量(5分間到着交通量)もまた、クリスプな値ではなく、交通管制担当官が今後発生するであろう交通需要の予測を行っている。そこで、前節でも述べたように、この2つをファジィ制御において入力値として用いる。また、図-2に示すファジィ制御ルールにおいて用いられている渋滞長、交通需要量、各メンバシップ関数を表したものが図-3である。渋滞長・交通需要量の各メンバシップ関数については、実測データより平均値がbになるようにした。また、出力値である5分間流入交通量においても入力値と同様に、mediumのメンバシップ関数が1となる時、平均値となるようにした。そして実測データと同様に、流入交通量の範囲(135台~400台)において出力値が変動するよう、仮想的にvery small、very largeといったメンバシップ関数を導入した。

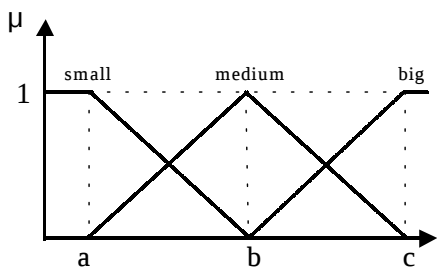


図 - 3 メンバシップ関数（渋滞長・交通需要量）

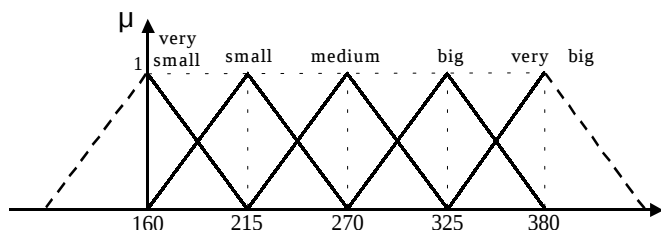


図 - 4 メンバシップ関数（流入交通量）

（５）制御評価方法の手順

阪神高速道路堺線を対象として、ファジィ流入制御により現定される制御内容を評価するため、渋滞シミュレーションを利用する⁶⁾。このとき、ファジィ流入制御は実際の交通制御と同様に、５分ごとに意思決定を行い、流入交通量の決定を行う。また、各交通制御による効果の評価指標としては、渋滞長・所要時間・待ち行列長・平均旅行時間を用い表すこととする。

４．各流入制御の阪神高速道路への適用

（１）検討方法

本研究では、平成 9 年 10 月 14 日の車両検知器計測データを用いて LP 制御、ファジィ流入制御について、それぞれの渋滞状況の推計をおこなった。なお、当日の交通状況は平日の一般的な交通状況となっていた。LP 制御における堺、住之江、玉出の各料金所における入路待ち許容台数は実際のデータより 404 台、50 台、87 台とそれぞれした。また、ファジィ流入制御時における出力値は、３入路の合計値しているため、今回は実績値より割り当て比率を定めた。

（２）制御効果の検討

本研究においては、既存の LP 制御型流入制御についての検討についても行った。ここでは、制約条件（交通容量の制約・流入交通量の制約・待ち行列長の制約）という三つの条件のもとにおいて、目的関数として流入交通量を最大にすることとした。このような LP 制御を、図 - 5 のような手順で渋滞シミュレーションに

用いた結果、当然のことながら渋滞の発生はなかった。

また、ファジィ流入制御については前章において作成したモデル、メンバシップ関数をそれぞれ用い、モデルの制御内容の検討を行った。次に渋滞シミュレーションにより予測した渋滞状況図（図 - 5）を示す。また、通常制御時における渋滞状況は、図 - 5 の * と - を足し合わせた部分となる。色の付いているところは、本線上においてファジィ流入制御時において渋滞が発生している部分である。なお本研究においては、区間速度が時速 30 km 以下を「渋滞」と定義した。

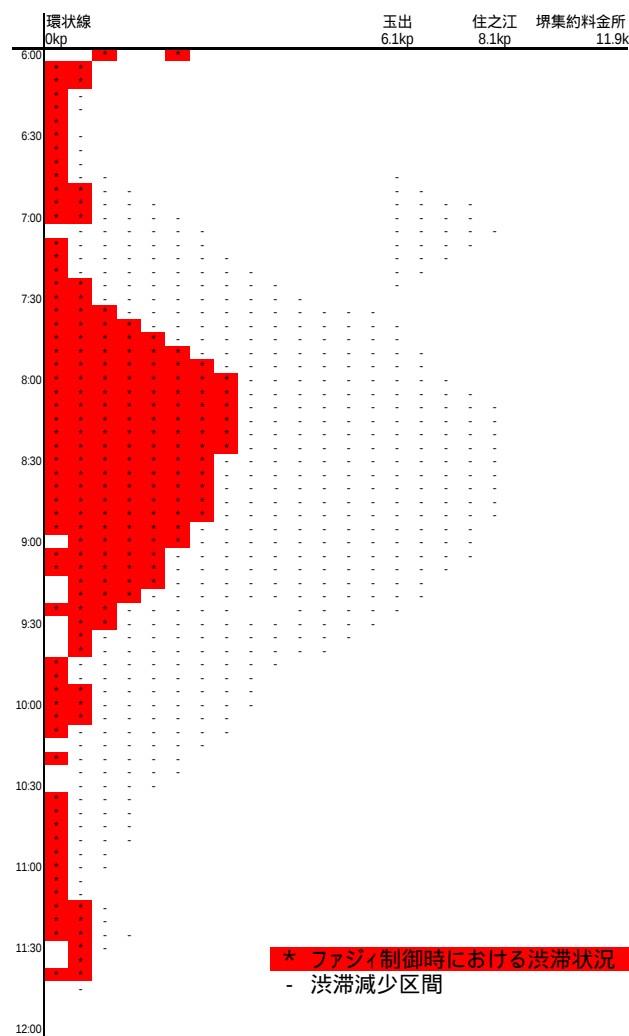


図 - 5 渋滞状況比較図

これらの渋滞状況図をより分析を行うと、ファジィ制御時はある程度の渋滞を許容しながら、渋滞の解消がなされている。しかしながら、LP 制御時には渋滞を許容していないので渋滞が発生することはないが、待ち行列長の制約超過が頻発し制御を行った 6 時間において、2274 台が影響を受け一般道路に迂回した。また、LP 制御とファジィ制御の流入交通量の比較した図 - 6 より、LP 制御においては制御毎に変化の割合が大きいことがわかる。それに対し、ファジィ制御にお

いては、LP 制御に比べ制御毎の流入交通量の変化が少ないため、実用的であるといえる。また、今回行ったファジィ制御のように流入需要交通量が減少する 9 時において渋滞が発生していないならば、9 時以降に実際に流入需要交通量以上の台数を流入させることができる。

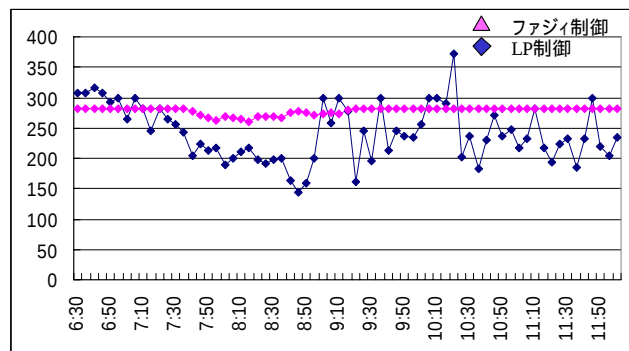


図 - 6 流入交通量の比較

つぎに、交通量の多い時間帯である午前 6:30～9:00 における通常制御、ファジィ制御、の各制御時における、流入交通量、渋滞長、平均旅行速度、迂回交通量の比較を行った(表 - 1)。ファジィ制御によって、渋滞量は約 10% にまで削減することができた。また、最大渋滞量については 4.5km 減少し、平均旅行速度については約 10 km/h 向上した。しかしながら、流入交通量においては堺についてのみ取り上げても、約 1400 台に影響が及んでいる。そのため、今後の課題として平面街路への迂回交通量を考慮したファジィルール群の作成などをあげることができる。

表 - 1 各制御比較表

	流入交通量(堺) (台/2.5h)	渋滞量 (km時/2.5h)	平均旅行速度 (km/h)
通常制御	7380	12.8	38.6
ファジィ制御	5778	1.425	48.2
LP制御	5333	0	59.4

注) 午前 6:30～9:00 のシミュレーションの結果

また、ファジィ制御における流入交通量の各入路への割り当て比率を 14 : 3 : 3 (堺 : 住之江 : 玉出) としていた (ケース 1)。しかしながら、表 - 2 のように 12:00 において、玉出における待ち行列が 453 台となった。そのため、ケース 2 として玉出における割り当て比率を変化させた。これにより総待ち台数としては、123 台減らすことができた。また、割り当て変化による渋滞状況はほぼケース 1 と同様であった。

表 - 2 待ち行列台数の比較

	通常制御時	ケース1	ケース2
堺	434	0	0
住之江	0	0	319
玉出	1	453	11
合計	434	453	330

注) 12:00 におけるシミュレーション結果

5. おわりに

本研究では、交通管制官の制御判断の曖昧性に着目したファジィ流入制御モデルの導入検討を行った。また、ファジィ制御と LP 制御の導入比較分析を行った。本研究の成果は次のように整理できる。ファジィ制御では、LP 制御よりも流入交通量の変動が緩やかであるという点において、現実問題への適応において優れていることが分かった。また、ファジィ制御の適用により、現況再現時と比較した際に総旅行時間の減少を見ることができた。

今後の課題としては、以下の 3 点が挙げられる。

迂回交通量をルール群に加えるといった、ファジィ制御ルール群の改良。

都市高速道路だけでなく一般街路を取り入れた、渋滞シミュレーションモデルの構築。

各オンランプへの流入可能台数の適切な割り当て方法の検討。

【参考文献】

- 1) 明神 証、坂本破魔雄、岩本俊輔：待ち行列を考慮した LP 制御、交通工学、Vol10 No4、pp 15-23、1975。
- 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、第 597 号 / - 40、pp 113-126、1998。
- 3) 二反地 祐貴、朝倉 康夫、柏谷 増男：都市高速道路の動的な LP 制御型流入制御モデルの効果分析、土木学会第 53 回年次学術講演会、pp 430-431、平成 10 年 10 月
- 4) 秋山 孝正、佐佐木 綱：ファジィ流入制御モデルを用いた交通制御方法の評価と検討、土木学会論文集、第 413 号 / - 12、pp 77-86、1990。
- 5) 井上 博司、宇野 巧：予見ファジィ制御理論を用いた都市高速道路の流入制御、土木計画学研究・講演集、No21(1)、pp 419-422、1998.11 月。
- 6) 土田貴義、横山剛士、秋山孝正：渋滞シミュレーションを用いた交通管理支援システムの構築、土木計画学研究・論文集、No.16、pp 879-886、1999。