

都市高速道路における予見的ファジィ流入制御の導入*

Introduction of Predictive Fuzzy Inflow Control for Urban Expressway *

奥嶋政嗣**・秋山孝正***

By Masashi OKUSHIMA**・Takamasa AKIYAMA***

1. はじめに

都市高速道路における交通制御方法は、各種情報技術の進展に伴って、流入台数の高度な調整方法の適用が可能となりつつある。また、現実の交通制御の局面においては、交通需要量などの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となる。

これまで、都市高速道路における流入制御にファジィ制御が提案され、既存の各種流入制御方式に含まれる知識の実用的利用方法が検討されている¹⁾⁻³⁾。ファジィ制御により、複数の制御目標に対するバランスを考慮した多目的制御が実現可能となっている。

本研究では都市高速道路における流入制御に、交通状況変化の予測過程を内包した予見的ファジィ制御を適用し、その有効性を示す。これより、柔軟性の高い予防的な流入制御が実現可能となる。

2. 予見的ファジィ制御による流入調整の提案

(1) 都市高速道路の流入制御

都市高速道路においては、交通渋滞の緩和のために、入路の料金所での流入制御が実施されている。ここでは、入口ブース数を変更するブース閉鎖制限方式が適用されている。これに対し、信号等により流入台数を調整する流入調整方式が検討されている。

本研究の対象路線(11.7km)を図-1に示す。この路線は大阪市中心部の環状線と堺市とを結ぶ典型的な放射線である。また路線内には、3箇所の入路、2箇所の出路与西大阪線への分流部が含まれている。

*キーワード：ファジィ流入制御，交通シミュレーション

**正員，工修，岐阜大学工学部社会基盤工学科

(岐阜市柳戸1-1, TEL058-293-2446, FAX058-293-2446,

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

***正員，工博，岐阜大学工学部社会基盤工学科

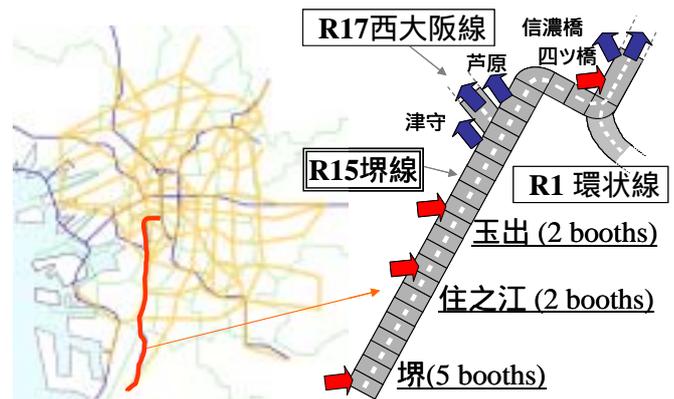


図-1 対象路線（阪神高速道路15号堺線）

本研究では、流入調整方式の適用に関して、交通状況変化の予測過程を内包した予見的ファジィ制御の導入を提案する。このとき、交通状況変化に対する制御判断の柔軟性の面から適用性の検証を行う。

(2) ファジィ流入制御の概要

ここでは、これまでに提案されているファジィ流入制御モデルについて概要を整理する。ファジィ制御モデルでは、複数の制御目標に対する多目的制御の記述が可能である。また、特徴的な状況に対応した制御ルールの追加が比較的容易に実現できる。

既存研究において、交通管制官の主要な制御決定要因となる「渋滞長」，「入路待ち台数」，「流入需要量（5分間到着交通量）」の3要因により、「流入交通量」を決定するファジィ制御モデルが提案されている¹⁾。これらの制御決定要因は、それぞれの状態が3段階の言語変数により記述されている。一方で、制御出力値は流入交通量とし、5段階の言語変数を用いて、制御ルールが規定されている²⁾。

また、一般道路の交通状態に応じて制御強度を調整するファジィ流入制御方式も提案されている³⁾。ここでは、上記の3要因に「迂回交通の所要時間」が制御要因として追加されている。このとき、制御

ルールは 25 ルールとして再構成されている。このように制御目的の追加に対しても柔軟に対応できる。これらのファジィ流入制御モデルは、主に渋滞の発生後に制御を実行する事後的制御である。高速道路本線の交通状態の改善、流入待ち時間短縮および一般道路への影響の抑制の 3 種類の制御目標に対して、そのバランスを考慮した制御が実現されている。

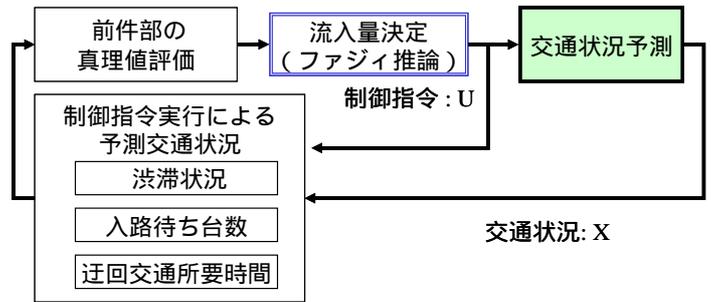


図 - 2 予見的ファジィ流入制御の基本構造

(3) 予見的ファジィ流入制御の提案

ここでは、予見的ファジィ制御を流入制御に導入することを提案する。特に非飽和状態にある交通状況下において予防的な制御が有効に機能する。

予見的ファジィ制御は 多数の制御目的の満足度のファジィ論理を用いた評価、状況に応じた制御知識、制御対象の動的特性を記述した予測システムの有機的結合により実現される。予見的ファジィ制御における制御ルールは次のように記述される。

$$\text{if } (u \text{ is } C_i \rightarrow x \text{ is } A_i \text{ and } y \text{ is } B_i) \text{ then } u \text{ is } C_i \quad (1)$$

ただし、 u は制御指令、 x, y は制御目的に対する評価指標を示す。上記のルールは、「もし制御指令 u を C_i とした場合、評価指標 x は A_i でありかつ評価指標 y は B_i であるならば、制御指令 u を C_i とする。」といった制御則を表す。すなわち、制御目的となる被評価値を予見し、多目的評価のファジィ推論を行い、最適な制御指令を決定する方式である。

ここで、本研究で提案する予見的ファジィ流入制御の基本構造を図 - 2 に示す。前述のファジィ流入制御モデルとの主たる相違は、制御指令 u を C_i とした場合の、渋滞状況・入路待ち台数・迂回交通所要時間の予測する過程を含むことである。

このように、交通状況変化の動的特性をモデルに組み込むことにより、予防的な側面も含めた多目的制御により「流入交通量」の決定が可能となる。

3. 予見的ファジィ流入制御の記述

ここでは、予見的ファジィ流入制御モデルの制御決定要因と制御ルールについて整理し、推論過程で用いる交通状況予測方法について説明する。

(1) 制御決定要因

本研究では制御決定要因として、各制御指令に対

応する流入交通量を流入させた場合における 15 分後の交通状況予測値を用いる。具体的には、以下に示す 3 種類の予測値を制御決定要因とする。

渋滞長の予測値(ECN)：当該路線では 500m ごとに観測値に基づく渋滞判定がなされている。

入路待ち台数の予測値(EQU)：入路待ち台数は、流入待ち時間に対応する。なお、指標としては対象路線の入路(堺・住之江・玉出)の合計値で表す。

迂回交通所要時間の予測値(EDT)：代表区間の所要時間情報の合計として算定する。ここでは、制御対象路線のの代替経路となる国道 26 号線の堺安井町～なんばまでの北向き区間を代表区間とする。

これらの制御決定要因のメンバシップ関数の概形を図 - 3 に示す。ここでは、前章で整理した既存研究の制御決定要因と同様な設定としている。

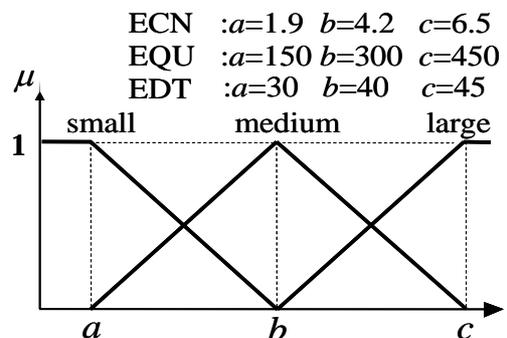


図 - 3 メンバシップ関数 (制御要因)

(2) 制御指令と制御ルールの構成

ここでは予見的ファジィ流入制御の制御指令となる流入交通量(IFW)について言語変数を定義し、予測式を内包した制御ルールの構成について説明する。

流入交通量は 5 段階の言語変数を用いて表す。このとき、メンバシップ関数は等幅で対称な三角形分布を用いた。また、予測式に与える流入交通量は、各段階の三角形分布の頂点に相当するクリスプ値 (180, 230, 280, 330, 380) として設定した。

次に制御ルールの構成について説明する．本研究で提案する予見的ファジィ制御ルール群を図 4 に示す．ここで，制御ルール群は 5 段階の制御指令（流入交通量）に対応して設定されている．例えばルール PR-02 は「流入交通量を多くしたとき，渋滞予測値が大きくないならば，流入交通量を多くする」という制御知識を表現している．各段階において本線の渋滞状況による判断と，流入待ち時間および一般道路への影響の判断の 2 種類を検討した．

(3) 交通状況の予測方法

ここでは，推論過程で用いる15分後の交通状況予測値の算出方法について説明する．本研究では，交通流の特性に基づく渋滞長の予測式を作成した．以下にその算定手順を整理する．

流入車両到達量：入路*i*からの流入車両が予測時間*CT*(=15分)以内に区間*a*へ到達する確率*QE_{ia}*は，本線旅行時間*T_{ia}*と区間*a*を含む経路の選択確率*PE_{ia}*を用いて式(2)のように記述できる．

$$QE_{ia} = PE_{ia} \cdot (CT - T_{ia}) / CT \quad (2)$$

このとき，入路*i*からの流入車両到達量は到達率*QE_{ia}*と流入交通量*U_i*の積で表される．

本線車両到達量：上流側区間*j*からの到達率*QS_{ja}*も同様に定義できる．このとき，区間*j*からの到達量は到達率*QS_{ja}*と存在台数*mk_jl_j*(交通密度*k_j*，区間長*l_j*，車線数*m*)の積で表される．

通過需要量：区間*a*における予測時間*CT*内の通過需要量*A_a*は，本線走行車両と流入車両の到達量を合算し，式(3)のように記述される．

$$A_a = \sum U_i \cdot QE_{ia} + \sum m \cdot k_j \cdot l_j \cdot QS_{ja} \quad (3)$$

通過可能量：区間*a*における予測時間*CT*内の通過可能量*D_a*は，速度 - 密度関係にドレイク式を設定し，式(4)のように記述される．

$$D_a = m \cdot k_a \cdot V_f \cdot e^{\frac{-1(k_a)}{2(k_c)}} \cdot CT / 60 \quad (4)$$

なお $k_a=61.8$ [台/km]として臨界容量を設定する．

渋滞長：隘路区間*a*の通過需要量と通過可能量の差により渋滞長を式(5)のように予測する．

$$ECN = (A_a - D_a) / m \cdot k_a \quad (5)$$

このように，交通状況の予測式を内包した制御モデルを構築し，予防的な側面も含めた多目的制御による流入交通量の決定を可能とした．

PR-01:IF	IFW is very large	→ ECN is small THEN IFW is very large
PR-02:IF	IFW is large	→ ECN is not large THEN IFW is large
PR-03:IF	IFW is large	→ EQU is not large THEN IFW is large
PR-04:IF	IFW is medium	→ ECN is not large THEN IFW is medium
PR-05:IF	IFW is medium	→ EQU is not large and EDT is not large THEN IFW is medium
PR-06:IF	IFW is small	→ ECN is not large THEN IFW is small
PR-07:IF	IFW is small	→ EQU is not large and EDT is not large THEN IFW is small
PR-08:IF	IFW is very small	→ EQU is not large and EDT is not large THEN IFW is very small

ECN: 渋滞長の予測値, EQU: 入路待ち台数の予測値
EDT: 迂回交通所要時間の予測値, IFW: 流入交通量

図 - 4 予見的ファジィ制御ルールの構成

4. 予見的ファジィ流入制御の適用

(1) 交通シミュレーションによる推計過程

予見的ファジィ流入制御モデルにより規定される制御内容を評価するため，交通シミュレーションを利用する⁴⁾．具体的には，高速道路本線上の交通流シミュレーション結果として渋滞長を算定する．その渋滞長に対して経路選択確率を定義し，迂回交通量を算定する．これを一般道路の交通需要とあわせて，時間帯別に一般道路ネットワークに対して配分し，一般道路での旅行時間の変化を算定する．

このように，高速道路だけでなく一般道路を含めた交通状況の推計を行い，制御効果の評価を行う．

(2) 予見的ファジィ流入制御の効果

ここでは，予見的ファジィ流入制御モデルの適用性を検証するために，現行制御と比較し，提案モデルの制御特性を明確にする．交通状況の推計結果を比較して表 - 1 に示す．

予見的ファジィ制御の適用により，本線の走行時間の大幅な短縮が見込まれる．一方，入路での待ち時間が大きく，特に7時台に待ち時間が増大してい

表 - 1 制御効果による制御方式の比較

推計結果 6:00-10:00			現行制御	予見的 ファジィ制御
総所要時間 (Hour)	本線	走行時間	4337	3001
		待ち時間	81	517
		計	4418	3518
	迂回交通	689	820	
流入交通量	Total	veh	14085	13562

る．本線走行時間と流入待ち時間を合算した本線利用車両の総所要時間については，既存の制御方式よりも短縮される．これより，既存の制御方式と比較して本線利用車両に対する制御効果が示された．

(3) 予見的ファジィ制御の時間推移の特徴

制御適用時の渋滞状況の時間変化を図 - 5 に示す．渋滞量は現行制御方式と比較して25%に減少する．この時間帯では，入路での待ち時間は増加するものの，総所要時間に変化は少ない．このように時間帯のバランスを考慮した制御結果を得ることができる．

また，迂回交通の所要時間推移についても，予見的ファジィ制御の特徴がみられる．ピーク時間の7:00-8:00で迂回交通が減少し，そのあとの8:00-9:00に迂回交通が増加する．これより，各時間帯における所要時間の平滑化が図られることが示された．

次に予見的制御の特徴を分析するため，制御結果である流入交通量の時間変化をファジィ制御の結果と比較して図 - 6 に示す．予見的ファジィ制御では，渋滞量が少ない時間帯(6:30-7:00)においても流入交通量を抑制することにより，その後の渋滞延伸を抑制する結果を得ている．また，渋滞延伸状況(7:30-8:10)では制御強度が高まり，渋滞解消状況(8:40-9:10)では早めに制御が抑制されることがわかる．このように，すこし先の交通状況を考慮した制御指令の決定をおこなう予見的制御の特徴が現れている．

5. おわりに

本研究では，都市高速道路の流入制御として予見的ファジィ制御の導入を検討した．これより，予防的な側面も含めた柔軟な多目標制御の達成を意図している．本研究の成果は以下のように整理できる．

- 都市高速道路の流入制御に，交通状況の予測式を内包した予見的ファジィ制御モデルを提案した．これより，交通流動特性に応じた予防的な流入制御を可能とした．
- 少数のファジィルールが相互補完的に機能することで，複数の制御目的のバランスを考慮した制御が可能であることを示した．
- 予見的ファジィ制御では，予見的ルールの効果により，それぞれ時間帯について所要

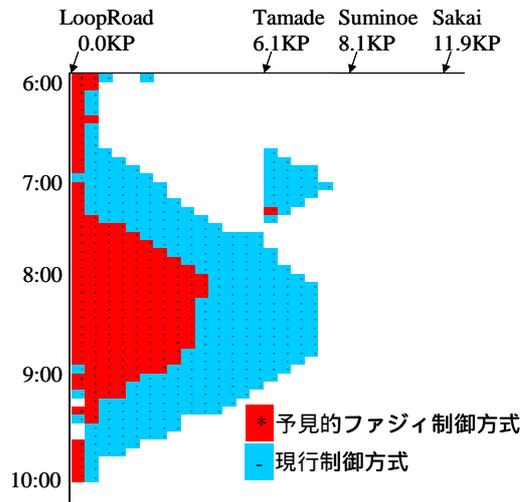


図 - 5 渋滞状況の推移の比較

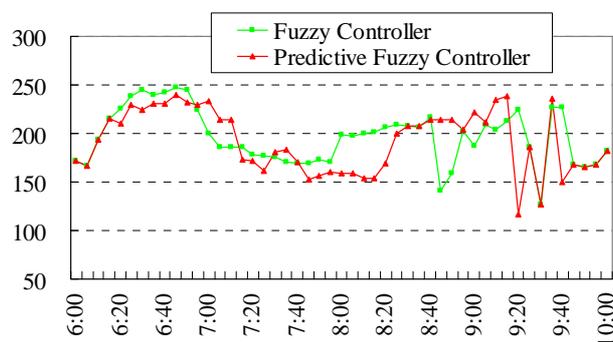


図 - 6 流入交通量の比較

時間の平均化が図られることがわかった．また，今後の課題としては，次の点が指摘される．個々の入路において需要量のバランスの変動に対応するために，各入路への流入交通量の適正な割当を考慮した制御方法の検討が必要である．流入調整による交通制御を実施するための現実的課題として，流入交通量変動の急激な上下を抑制するための調整方法の検討が必要である．

【謝辞】本研究は，平成16年度科学研究費補助金若手研究(B)15760395の研究成果の一部であることを付記する．

参考文献

- 1) 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.
- 2) Masashi Okushima, Yoshiharu Takih, Takamasa Akiyama：Fuzzy Traffic Controller in Ramp Metering of Urban Expressway, Journal of Advanced Computational Intelligence & Intelligent Informatics, Vol.7/No.2, pp.207-214, 2003.
- 3) 奥嶋政嗣, 秋山孝正：一般道路を考慮した都市高速道路交通管理へのファジィ流入制御方法の導入，第2回ITSシンポジウム論文集，pp. 105-110, 2003.
- 4) 奥嶋政嗣, 大窪剛文, 大藤武彦：都市高速道路における交通管理施策評価のための交通シミュレーションシステム開発，土木計画学研究・論文集，Vol. 20, No. 3, pp. 531-538, 2003.