

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*

Inflow Control for Urban Expressway through Predictive Fuzzy Logic

井上 博司**・宇野 巧***

By Hiroshi INOUE and Takumi UNO

1. はじめに

現在、都市高速道路における交通流制御の中心は、入口ランプにおける流入制御にあるが、制御手法は必ずしもダイナミックに変化する交通流に対応したものではないので、本線上の渋滞を適切にコントロールすることが困難である。本研究では、新しい流入制御手法として、予見ファジィ制御とトラフィック・シミュレーションを融合させる方法を試みる。そして多数のランプを持つネットワークを対象に、その制御効果を検証する。

都市高速道路における交通需要や、交通状態を考慮した制御法、いわゆる動的制御手法としては、①コンプレックス法を用いた手法¹⁾、②遺伝的アルゴリズムを適用させたもの²⁾、③観測データを利用したもの³⁾等が研究、開発されてきた。いずれも、目的関数を満足させる最適解を求めるプロセスを含んでいるのが特徴である。また、ファジィ制御を高速道路の流入制御に取り入れたもの⁴⁾も提案されてきた。

本研究においては、これらを踏まえて、新たに予見ファジィ制御とトラフィックシミュレーションを結合させたモデルを開発し、その効果を実験的に検証することにした。この手法は以下に示す特徴をもつ。

- 1) シミュレーションによって将来の状況を予測し、判断するので、状況の変化にも適切に対処できる。
- 2) 制御ルールとして、熟練管理者の思考過程を取り入れているので、それに沿った制御が可能でありなおかつ変更が容易。
- 3) シミュレーションモデルにシンプルかつ明解なものを選べば、演算速度を高速化することができ、また最適解を求める計算を行わないので演算所要時間を予測できる。

2. 予見ファジィ制御

2.1 予見ファジィ制御とは

ファジィ制御では、あいまいな交通状態を表現するファジィ集合群を、主観的な制御ルール、たとえば「道路が激しく混雑し、なおかつ待ち台数が少ないときには、流入制限を厳しくする」といった論理演算式に置きかえて、結果を導出する。出力された結果はファジィ集合となるので、ある確定した値に置きかえる操作（非ファジィ化）が必要となる。

ファジィ制御方式は、下の表-1 に示すように2種類に大別される。

表-1 ファジィ制御の分類

制御方式	ルール
状態評価	If(x is A_i & y is B_i) then u is C_i
予見ファジィ	If(u is C_i' → x is A_i & y is B_i) then u is C_i
ここにuは制御指令、 C_i' は制御仮定値、 C_i は制御値であり、 A_i 、 B_i は評価指標 x, y の評価値（予見ファジィ制御の場合はシミュレーションの結果求めるもの）である。	

*キーワード：交通流・交通制御・交通管理

** 正会員 工博 岡山大学助教授

環境理工学部環境デザイン工学科
(〒700-8530 岡山市津島中2-1-1,

TEL 086-251-8162, FAX 086-251-8257)

*** 学生員 岡山大学 大学院 工学研究科

土木工学専攻

これら二つの方式の大きな違いは、現在のシステムの状態をファジィ評価し制御値を求めるところと、制御仮定値に基づいたシステムの状態をシミュレーションし、この結果をファジィ評価した上で制御仮定値の評価を行うところにある。よって、今回採用した予見ファジィ制御方式においては、シミュレーションの結果が直接制御値に関わることになるので、シミュレーションに、非常に精度の高い状況再現性が要求される。また、最適解を求める計算を行わない反面、多数の制御仮定値に対してシミュレーションを行う必要があるため、瞬時に結果を求めることができる演算スピードが要求される。

2. 2 予見ファジィ制御を用いた流入制御

予見ファジィ制御を用いた交通制御は、流入交通量を制御するルールと、交通の状態を表現、評価するファジィ集合群から成り立っている。

今回は、4つの予見ファジィ制御ルールと、混雑が激しい場合には、将来の状況によらず流入を制限するという状態評価ファジィ制御ルールを併用することとした（表2）。今回用いたこれらのファジィ制御ルールは、対象路線の持つ特徴を勘案して設定したこの路線独自のルールであり、路線に応じて制御ルールは個別に設定が可能である。したがって、路線によって異なる交通特性を持つ都市高速道路では、路線毎に違った制御ルールを用いることで、より効率の高い制御を実現することができる。

また、表2に示す制御ルールで用いられている流入制御値、評価の対象となっている混雑度合と待ち台数をファジィ集合としてあらわしたものが図1である。

シミュレーションの結果導き出されるこれらの評価指標のファジィ評価値をもとに、制御ルールに

則って制御仮定値の評価を行い、その結果をファジィ集合として表現する。最終的に他の仮定値ごとに計算されるファジィ集合と重ねあわせて制御指令のファジィ集合を形成する。またこの集合から確定値を得る必要があるが本研究では重み付き平均値をもって確定値とすることにした。

また、本研究ではネットワークを対象に約5時間分の計算を行うが、15分ごとに予見ファジィ制御による流入制限値の更新を行う。このとき、シミュレーションを40分先までを行い、その時点での状況の評価することにした。これにより、工事や事故等で路線に障害が起こる場合、障害が発生、除去される時刻がわかっているならば、それらをシミュレーションに取り込むことにより、よりの確に対応することができる。

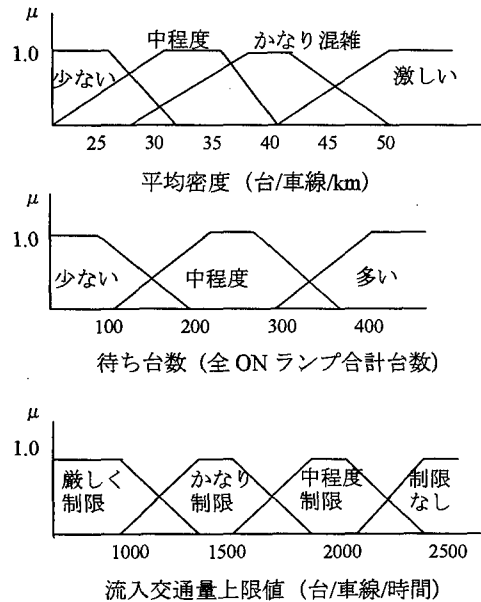


図-1 各指標を表現するファジィ集合

表-2 ファジィ制御ルール

ルール	制御側
1	もし、制限を行わない場合、混雑が少なく、待ち台数も少なければ、制限は行わない。
2	もし、中程度制限した場合、混雑は中程度で、待ち台数も中程度あれば、中程度制限する。
3	もし、かなり制限した場合、かなり混雑していて、待ち台数也多ければ、かなり制限する。
4	もし、厳しく制限した場合、かなり混雑していて、待ち台数也多ければ、厳しく制限する。
5	もし、激しく混雑している場合には、かなり制限する。(状態評価ファジィ制御)

3. トラフィックシミュレーションモデル

予見ファジィ制御理論においては、制御仮定値に基づいたシステムの将来の状況予測を正確に行えるシミュレーションモデルの存在が欠かせない。トラフィック・シミュレーションモデルは従来から様々な手法が提案されてきたが、本研究では、「連続流体モデルによるネットワーク交通流のシミュレーション手法⁽⁴⁾」を採用することとした。

このモデルにおいては、対象路線を小区間（セグメント）に区切り、各微小時間（スキャンタイム）を単位として、セグメントの流出交通量を隣接する2つのセグメントの交通状況から規定する。

このシミュレーションモデルには以下に示す長所がある。

- 1) 瞬時にシミュレーション計算が行えるシンプルなモデルである。
- 2) 並列的な演算が可能であることから、上下流の区別が困難な環状ルートを持つ路線で有効である。

4. 制御効果の検証

4.1 対象路線の概要

今回対象とした路線は、下の図-2に示すとおり、

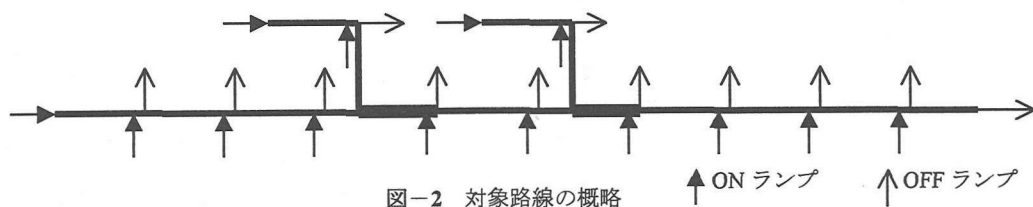


図-2 対象路線の概略

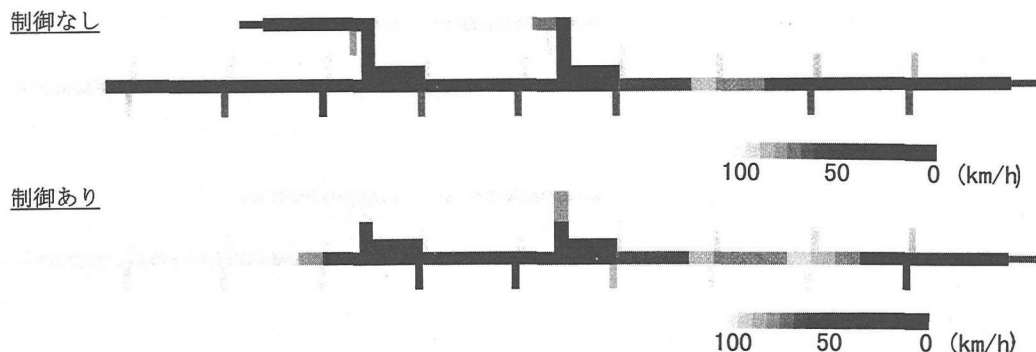


図-3 ファジィ制御の有無による道路状況の違い（時刻=3:20）

14 個所の入口と 12 個所の出口を持ち、3 本の本線が合流する全長 28km の路線である。出入口は 1 車線、また本線同士が合流するところから最初の入口までは 4 車線とし、他の部分は 2 車線である。臨界密度を 1 車線 1km あたり 50 台に設定し、速度-密度曲線については線形形式をとることとする。OD 交通量は既知とし、流入交通量は、グラフ 2 にあるように、2 つのピークを持つものとした。

なお、実際の制御では、道路状況はセンサー等で読み取ることになるが、本研究では、予見ファジィ制御の際に用いるシミュレーションを、対象路線の実際の道路状況を求める場合にも適用した。

4.2 制御効果の検討

4.1 節に示す路線を対象に、本制御手法を用いて交通制御を行うシミュレーションを行った。

図-3 に示すように道路状況を比較すると、制御を行った場合は、明らかにその渋滞長を短縮できる。また、この経過を連続的に追うと、渋滞距離を一定に保ちながら、流入交通量を最大限確保するような流入制御を行えることがわかった。

無制御時の所要時間とファジィ制御を適用した場合の平均所要時間を示す。次頁の図-4 からわかるように大きく所要時間の短縮が図られている。ファジィ制御を行った場合に、車 1 台あたりの待ち

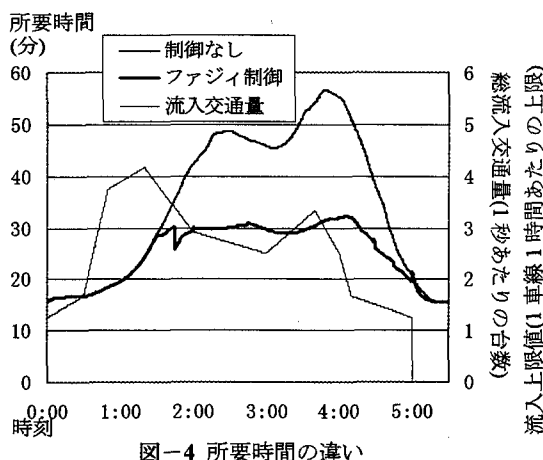


図-4 所要時間の違い

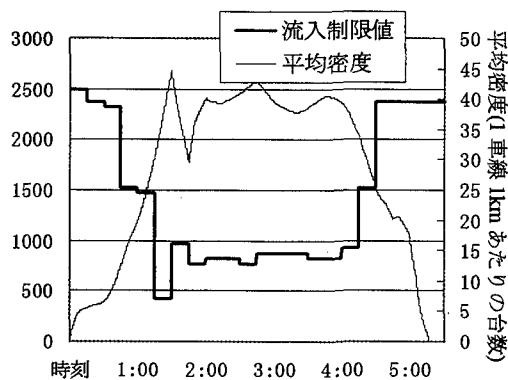


図-5 制御指令の変化

時間と走行時間の合計である所要時間に関して約25%の短縮を実現している。ピーク時の所要時間に着目すると、制御がない場合には最大56分かかっているが、ファジィ制御を行うことにより32分に低下している。しかも、ファジィ制御を行うと、流入需要に関わらず所要時間をほぼ一定に保つという結果も現れた。制御を行う場合に、所要時間が急変するのは制御指令によって流入上限値が変化するためである。

また、さらに、予見ファジィ制御によって求められた制御指令値を検討すると、図-5に示すように特徴的な結果を得ることができる。すなわち、将来の状況を予測する制御方式では、需要の増加に先行して流入制限を厳しくしたり、需要の減少を先読みして制限をいち早く緩和したりと現在の状況によらない制御指令が発せられて、その結果として制御指令に飛躍が見られた。この結果は現在のシステムの状況に着目した制御では得ることが困難なものと考えられる。しかしながら、所要時間は無制御時に比べて滑らかに推移することから、コンピュータのもとで人間の勘により近い制御を行うことが可能であることを示している。

5. おわりに

本研究では、15分毎に各制御仮定値のもとに40分先までの状況を評価したため、計算量の増大による演算所要時間の長さが心配されたが、5時間分の計算を数十秒で終了した。これは、実用的に見ても

十分短い所要時間である。

ただ、本研究ではすべての流入部で同一の制限値をもつもの仮定したが、実際の都市高速道路では、各流入部ごとに異なった制御を行っているのが現状であって、それだけ制御パターン数は多くなる。その場合に、すべてのパターンでシミュレーションを行っていくと計算量が膨大になるので、あらかじめシミュレーションを行う制御パターンを絞り込むための技術が今後への検討課題となる。また、経路選択のファジィルールへの取り込み手法に関しても課題として残っている。

(参考文献)

- 1) 飯田 恭敬・内田 敬・金 周頼・吉岡 優：都市高速道路におけるBP流入制御の実用的解法，土木計画学研究・講演集，No.15 (1)，pp.331 - 337，1992. 11
- 2) 森地 茂・清水 哲夫：都市高速道路における新たなリアルタイム流入制御手法，土木計画学研究・論文集，No.13，pp.915 - 922，1996. 8
- 3) 朝倉 康夫・柏谷 増男・山内 敏道：観測データの利用による都市高速道路の動的なLP型流入制御モデル，土木計画学研究・講演集，No.13，pp.923 - 931，1996. 8
- 4) 秋山 孝正：高速道路交通計画におけるファジィ理論と知識工学手法の応用に関する研究，第2章および第3章，pp.13 - 106，1989. 4
- 5) 井上博司：連続流体モデルによる混雑したネットワーク交通流の動的シミュレーション手法，土木学会論文集，No.569/IV - 36，pp.85-94，1997