

ファジィ流入制御モデルの作成と検討

Development of Fuzzy Inflow Control Model and Its Investigation

秋山孝正*、佐佐木 綱**、奥村 透***、広川誠一****

By Takamasa AKIYAMA, Tsuna SASAKI,
Toru OKUMURA, Seiichi HIROKAWA

Fuzzy control method is utilized in many fields. Fuzzy inflow control model on urban expressway is one of the applications of fuzzy control. The actual traffic control is performed by human operators who are always making decisions with many environmental condition around the urban expressway. The objective of the study is to investigate the establishment of fuzzy inflow control model and to study its ability to make alternative judgement. Firstly, the fundamental method of fuzzy reasoning is introduced. Secondly, the simple model for on-ramp control on Hanshin expressway is built and investigated outputs' variation by the change of the model's structure. Lastly, some problems of the model establishment and ways of their solutions are also reported.

1. はじめに

人間の行う知的な判断を計算機に実行させようとする知識工学的な動きが近年多くの分野で注目されている¹⁾。本研究で検討する「ファジィ制御」の方法もこの具体的な方法の一つであるといえる。

「ファジィ制御」は、一般にはファジィ集合理論を制御に適用したものを示すが、普通はファジィ推論を用いて、制御オペレータの判断を記述し、これによって実際の制御を行う方法を指している²⁾。

すなわち、エキスパートシステムなどの実用的意志決定システムを研究する知識工学の一分野（制御への適用）とファジィ集合論の推論分野への適用であ

るファジィ推論とが融合したものであるといえる。

具体的には、いわゆるプロダクションシステムともいえるルールベース（いくつかのルールの集合によってモデル内の判断を記述するもの）を用いてモデルが構築されるが、その各ルールの推論プロセスにおいて「ファジィ数」を取り扱う推論、すなわち「ファジィ推論」が用いられることが特長である。

この種の実用的な研究は、Mamdani らがスチームエンジンの制御に用いたのが最初であり³⁾、その後多くの研究成果が各国において紹介されている⁴⁾。

わが国においてもいくつかの成果があり、柳下らによる浄水場の薬品注入制御は⁵⁾、浄水場において混入すべき化学薬品の量を水質データより決定するというオペレータの判断を記述し、フィールドテストにより学習するという過程を持つファジィ制御を試みている。また安信らによる列車の自動制御では⁶⁾、従来の方法を改良した「予見ファジィ制御方式」を作成し、列車を運転士に代わって駅の所定の目標

* 正会員 工修 京都大学助手 工学部交通土木工学教室
(〒606 京都市左京区吉田本町)

** 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室
(〒606 京都市左京区吉田本町)

*** 正会員 南海電鉄 開発事業本部開発建設課
(〒542 河内長野市片添町17の2)

**** 学生員 京都大学大学院工学研究科 土木工学専攻
(〒606 京都市左京区吉田本町)

停止位置に停止させる列車定位置停止制御へ適用しその有効性を示している。この研究成果は、実際に仙台市の地下鉄において実用化されている¹⁾。

また道路交通制御の分野では、*Pappis & Mamdani* が単独交差点の制御をファジィ制御手法で定式化したものが著名である⁹⁾。これは車両感应式の信号機を想定し、交差点への流入交通量、待ち行列長などの交通状況データからファジィ推論によって信号の現示時間(秒数)を決定するものである。このなかでは、交差点のシミュレーションモデルを作成し、従来の方法を用いた制御との比較を行ってファジィ制御を用いることの有効性を示している。

以上のような、ファジィ制御の実際的な適用は都市高速道路の流入制御にも提案され、佐佐木、秋山らによって、モデル化の方法⁷⁾、モデルの概要⁸⁾、適用性の検討⁹⁾などの報告がなされている。そしてファジィ制御の特長である表現の容易性などから効率的運用に用いることを目指して、モデルの開発がなされている。本研究では、ファジィ流入制御モデル構築のための基本的な方法の整理を行い、さらに実用的な適用とモデルの改良を念頭においたモデル構造についての検討を行うことが目的である。

まず第2章では、従来のいくつかの工学的適用に対して用いられているファジィ推論方法の基本事項を紹介する。第3章では実際のデータより流入制御の記述モデルを作成する手順を示し、さらにモデルの挙動に関する検討を行う。さらに第4章では実用性の面からモデルの構造に関するいくつかの検討項目を整理し今後のモデル改良のための資料とする。

2. ファジィ推論の方法¹⁰⁾

2.1 ファジィ集合について

ファジィ集合(Fuzzy Sets)の概念は1965年にL. A. Zadehによって提唱された。従来の集合論の拡張であり、これまでの既存集合を内包した形で議論が進められている。実際には人間のファジィな認識を取り扱う方法として知られている。

まず X を全体集合とし、 x を X の要素とする。 X 上のファジィ集合 A はメンバシップ関数 $\mu_A(x)$ によって表現される。

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

この関数 $\mu_A(x)$ は、 x が集合 A に属する程度を示す。たとえば $\mu_A(x)$ の値が0のとき x は A に全く属さず、逆に $\mu_A(x)$ の値が1のときは x は完全に A に属している。たとえば $\mu_A(x)$ の値が0.6といった場合には要素 x が集合 A にそれなりに属することを示している。このファジィ集合は一般に以下のような表記法を用いて表現されることが多い。

$$A = \int_X \mu_A(x)/x \quad (x \text{ が連続量}) \quad (2)$$

あるいは

$$A = \sum_{i=1}^N \mu_A(x_i)/x_i \quad (x_i \text{ が離散量}) \quad (3)$$

すなわち x の定義範囲内の各値についての集合 A に対する帰属の程度を示すものであり、具体的にはたとえば「5ぐらい」の集合はこの表記法によれば

$$\begin{aligned} \{x: 5 \text{ ぐらい}\} &= \cdots + 0.0/3 + 0.5/4 + 1.0/5 \\ &\quad + 0.5/6 + 0.0/7 + \cdots \\ &= 0.5/4 + 1.0/5 + 0.5/6 \end{aligned} \quad (4)$$

(メンバシップ値0の要素は省略可)と表現される。この表記法によれば、従来の数も同様に示すことができ、 $\{x: 5\}$ を例にすれば、

$$\begin{aligned} \{x: 5\} &= \cdots + 0.0/3 + 0.0/4 + 1.0/5 + 0.0/6 \\ &\quad + 0.0/7 + \cdots \\ &= 1.0/5 (=5) \end{aligned} \quad (5)$$

これはファジィ集合が従来の集合を包含した形で定義されていることを示すものである。また上記の表記法で示される $\{x: 5 \text{ ぐらい}\} (= \sum \mu_A(x)/x)$ のような数を「ファジィ数」とよぶ。

2.2 ファジィ関係と推論

ファジィ集合 A と B のファジィ関係 R とは、たとえば「 A と B は良く似ている。」などの両者の関係を表現するファジィ集合である。具体的には、

$$R = \int_{x,y} \mu_R(x,y)/(x,y) \quad (6)$$

のように表現されるが、このメンバシップ関数 $\mu_R(x,y)$ は、 $\mu_A(x)$ 、 $\mu_B(y)$ の二項関係によって決定される。先の $\{x: 5 \text{ ぐらい}\}$ に対して、 $\{y: 4 \text{ ぐらい}\}$ を示す $\mu_B(y)$ を

$$\sum \mu_B(y)/y = 0.4/3 + 1.0/4 + 0.4/5 \quad (7)$$

のように定義すれば、この $\mu_A(x)$ と $\mu_B(y)$ を用い

て、ファジィ関係を示す $\mu_R(x, y)$ は、たとえば

$$\mu_R(x, y) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) \quad (8)$$

のように示すことができ、ここで「 x : 5 ぐらいのとき y : 4 ぐらい」という関係が保存される。したがってファジィ集合 B は以下の計算で得られる。

$$B = A \circ R = \int_y \sup_x [\mu_A(x) \wedge \mu_R(x, y)] / y \quad (9)$$

ここで $\circ$: max-min 計算

この演算は論理的な関係「If x is A then y is B 」(もし x が A ならば y を B とする。)を表現するものである。この演算形式によって推論を表現することができ、さらに先に定義したファジィ関係 R を用いるとすれば、「 x is A 」とは異なる別の入力「 x is A' 」によって得られる推論結果「 y is B' 」を次のようにして求めることができる。

$$B' = \int_y \sup_x [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_R(x, y)] / y \quad (10)$$

これはファジィ関係を表現するメンバシップ関数 $\mu_R(x, y)$ を $A \rightarrow B$ の関係として決定しておけば、「 x is A' 」の状態を示すメンバシップ関数 $\mu_{A'}(x)$ から推論結果として y の状態を示すファジィ集合 B' が求められることを示している。このような手順を踏むことで最終的にファジィな推論を表現することができる。実際には図-1に示すようにメンバシップ関数の分布形として表現されるファジィな入力変数 (fuzzy variables) によって出力側にもひとつの分布を持つファジィな変数が得られるものである。

またファジィ集合が従来の集合も包含していることから A' に「 $x=5$ 」などの普通の数の入力も可能であり、ファジィ制御等への適用ではこの形を用いている。

3. ファジィ流入制御モデルの作成

3.1 ファジィ流入制御モデルの概要

都市高速道路においては、現在時々刻々変化する周囲の状況に対して管制担当者が判断を下す「入路閉鎖・ブース制限」が行われており、制御内容の判断が人間に任されていることは、一部の管制担当者の労力が増大し判断のおくれや錯誤を生じること、また管制担当者ごとの判断の差異があることなどから収集された情報を処理し適切な交通管制を実施す

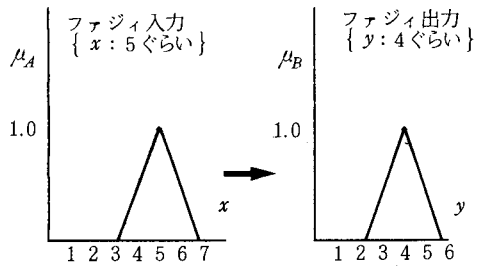


図-1 ファジィ推論の例

る場合の効率性を妨げる一因となっている¹⁾。

そこで、現状の交通制御機構を記述するモデルを作成し、これを交通管制時に収集される各種情報の総合化と効率の利用を図るためにファジィ流入制御が提案された^{7)~9)}。具体的な都市高速道路の交通管制における問題点、またそこに内在するファジィ性については、参考文献9)に詳述されている。

3.2 各種変数の設定

つぎに実際のモデル作成のための検討についての検討を行う。ここではまず実際の交通管制状況をファジィ推論によって表現する際の全体構成について述べる。ファジィ推論においては、入力、出力ともに「ファジィ数」でありそれぞれがメンバシップ関数としての分布を持つ。したがってモデル作成上問題となるのは次の2点である。

- ①実際の判断材料となる計測変数、あるいは経験的変数をファジィ推論への入力として表現すること。

- ②推論結果のファジィな数量値 (ファジィ分布) を実際の制御の実施内容に対応させること。

これらの点に留意しモデルの全体構造を考えたものが図-2である⁷⁾。具体的には入力情報として渋滞長などの交通状況を表す変数をそれぞれ妥当な形の入力変数に置き直し、ルールの集合を用いたファ

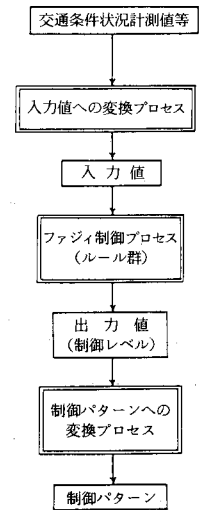


図-2 モデルの概要

ジィ推論の演算を行う。さらに交通制御の必要性あるいは制御の程度が一定の数値として出力されるがこれを実際に交通制御に対応したブース制限、入路の閉鎖といった形に変換するプロセスを取る。このような手順で実際の交通管制担当者の判断を近似的に表現することができると考えた。これらの各ステップの具体的な内容については以下に示す。

(1) 対象路線

本研究のモデルでは、都市高速道路の制御の一部として、阪神高速道路の環状線において渋滞が発生した場合に、堺線上りの入路において行われる制御を対象としている。したがって具体的な路線は、図-3に示すようであり(斜線部)、モデルでの制御対象ランプは実際の現場での運用に合わせて堺、玉出、住之江の3つのオンランプとする。

(2) 制御パターンについて

前述の通り環状線からの渋滞の延伸によって制御の詳細な判断がなされるが、実際の運用上行われる制御パターンはいくつかに限定することができる。過去の各入路の開口数を集計した結果⁹⁾、(堺, 玉出, 住之江)の各ブース数が、(5,2,2), (5,1,1), (4,1,1), (3,1,1)となる4つのパターンを実際の制御パターンとして限定してよいことがわかる。

(この4種類で99%)この点については交通管制担当者に取材を行い検討したが、やはりこの4つのパターンを通常考慮していることが確かめられた。

(3) 入力変数

モデルへの入力変数としては、実際の管制担当者が制御パターン決定における判断材料としているものを用いる必要がある。判断には数多くの要因が関係しているがこれらすべてを取り込むことはモデルを複雑にし操作性も悪い。ここでは重要と考えられる2要因を取り上げることとした。以下にこれらについての説明を行う。

(a) 渋滞長

渋滞の程度を知る基本となる量であり、ここでは環状線四ッ橋を先頭とした渋滞が堺方向に延伸した場合を考えることにする。実際の交通管制状況をみても渋滞長は5分ごとに計測されまたディスプレイパネルに表示されており、判断の中の最も中心的な資料となっているといえよう。本研究では5分間ごとに実測される記録データを3断面取りまとめ15

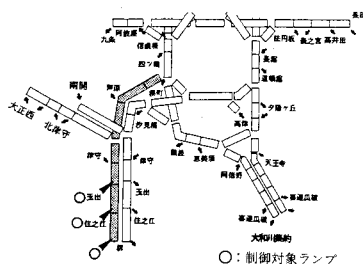


図-3 モデルの対象路線

分ごとに判断するものとしてデータを作成した。

(b) 交通需要量

交通管制担当者は順次計測される諸指標による判断に加えて経験的な状況判断を行っているということは、十分に考えられることである。たとえばある程度渋滞長が延伸してしまっても平素の経験から需要が減少傾向にありその結果ブースの制限をする必要はないと判断するといった場合である。このような一日の変動は恒常的なパターンとして管制担当者に認識されたと考えた。そして実際には昭和55年京阪神パーソントリップ調査より車利用トリップの大阪市集中交通量の時間帯分布にもとづきこれを15分単位ごとに分割してデータとした。

(4) 対象日時の設定

モデルではある特定の日のデータを用いる必要がある。ここで作成するモデルは検討の基本となるものであり、平均的な交通状況の変化をした日のデータを用いる必要がある。特に堺線においては午前中および午後にそれぞれ四ッ橋付近を先頭にした渋滞がそれぞれ一度ずつ発生するという平日の最も一般的な傾向である。実際に用いたものは昭和60年1月8日における渋滞の延伸状況とそれに対する入路閉鎖、ブース制限の記録をデータとして用いた。

3.3 ファジィ推論による制御プロセスの作成

(1) ルールの作成

ファジィ推論では推論内容をいくつかのルール群によって表現するものであり、ルール構成はモデルの挙動そのものを規定することになる。

モデルでは比較的単純なルール構成で推論時の判断がされるように次のような構成とした。

- ① 渋滞長に関しては長い、中程度、短いという3つの区別を行いこれがそれぞれ制御レベルの大、中、

小の認識に対応するであろうと考えた。

- ②渋滞長が長い場合や逆に短い場合には交通状態に対する認識が明らかであり、予想される交通需要の変動とは無関係に制御の程度が決定される。これに対し渋滞長が中程度の場合には今後渋滞が増大するか否かが判断材料になると考えた。

以上のような検討に基づいて実際のモデル内で用いられるルールの構成を示したものが表-1である。ここで表中の変数はそれぞれ、CON：渋滞長、DEM：交通需要量、LEVEL：制御レベルを示している。こうしたルール群による記述方法は明示的に判断内容を示すことができるので有効である。

(2) メンバシップ関数の設定

さきのルールにしたがって演算を行うためには、long, small といった概念をメンバシップ関数として示さねばならない。メンバシップ関数の設定は、こうしたファジィ変数の定義に等しく、これまでの研究によりいくつかの形の長所、短所が整理されている。本研究では一般に操作性の良さからよく用いられる次の関数形を用いた。

$$\mu_A(x) = \exp\{-1/2(x-m/\sigma)^2\} \quad (7)$$

この関数は [0,1] で定義されるもので、その概形は図-4 に示すような鐘状に分布する形状であり、2つのパラメータ m, σ により関数形を設定できる。

(3) 出力形式

実際の制御においては制御はいくつかのパターンによって記述される。現実には先にあげた4つのパターンによって生起するパターンが分類される。そこで本研究ではファジィ推論の出力として得られる制御レベルをそれぞれの制御パターンに変換してモデルからの出力とした。

(4) パラメータの決定

本研究においてはメンバシップ関数の形は決定されているので実際に決定すべきパラメータはメンバシップ関数のパラメータである。ファジィ推論の方法においては現在のところ実績に対して最適な解を求める方法が一般には存在しない。そこで本研究においてはパラメータの存在範囲を定めその範囲内においてこの間の数値を総当たりに探索し、モデルの判断結果が実際の判断と最も適合性のある値を持ったものをパラメータの推定値とした。

表-1 制御ルール構成表

R-1: IF	CON = short	THEN	LEVEL = low
R-2: IF	CON = medium AND DEM = small	THEN	LEVEL = low
R-3: IF	CON = medium AND DEM = medium	THEN	LEVEL = medium
R-4: IF	CON = medium AND DEM = big	THEN	LEVEL = high
R-5: IF	CON = long	THEN	LEVEL = high

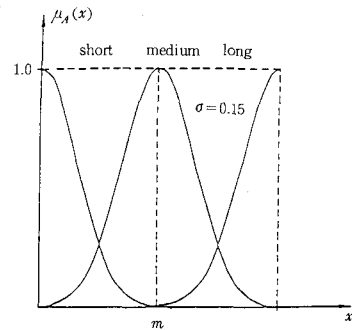


図-4 メンバシップ関数

(5) モデルの挙動と考察

以上の手順によりモデルが決定される。この結果、入力変数として渋滞長と流入需要量が与えられると推論が行われ、これにより制御パターンが決定されるという構造をとる。ここで実際の現象に対する説明程度を見るために、モデルでの出力値と実際の制御結果とを比較した。適合度（制御パターンが計算と実績の一致した断面の数を全断面の数で除した値）は0.818であり、全体的に実際の制御パターンとよく一致しておりモデルによる説明程度は高いと考えられる。

3.4 ケーススタディ

さらにこのモデルの妥当性については、当該路線の他の日のデータについても説明可能であることを調べる必要がある。ここでは、表-2に示すような交通制御状況の異なるケースを設定した。ケース1は通常よく生じるパターン2とパターン4の生起した状態、ケース2はパターン4がなく、午前中に2度の制御の行われたケースである。

実際の計算にあたっては、モデルの構造を規定す

るパタメータなどは一定とし、入力データを当該日時のものとし計算を実施した。この計算結果を管制パターンの変化として示したものが図-5および図-6である。ケース1では制御パターンの変化時に判断の差異を生じている。また、ケース2では、全体として実際の判断よりも若干レベルの高い制御パターンを出力している。これらの結果からモデルの性質として以下のことがわかる。

- ①ファジィ制御モデルによる判断結果は全体的に実際のオペレータの判断に追従しており、代替的に判断を行いうることがわかる。
 - ②両ケースのモデルが判断を誤った時点についてみると制御パターンの変更時に多少のずれが現れている。ただこの場合にもパターンとしての誤りは最大1段階であり、それほど大きくはない。
 - ③ケース2のような通常のパターンと比較的異なった交通状況が出現した場合には判断を誤ることが多い。これは主として「ある制御パターンを2度以内の短時間で変更することはない。」といった現実的なルールの欠如が原因であると考えられる。
- 以上のことから、当初に設定した単純な5つのルール群を用いて、実際の交通制御時の判断を比較的良好に表現できることがわかった。

4. ファジィ流入制御モデルの検討

これまで示したようにファジィ制御モデルの挙動についてを行ったが、ここでは、さらにモデル作成上の課題となるいくつかの点について検討した。実際には、前章で作成したモデルを基本的な考え方は同じくし、若干の改良を加え「基本モデル」としそれぞれの点の変更を行い比較を行うことにした。

(1) メンバシップ関数の比較

さきのメンバシップ関数の設定は、個々の変数に対して設定されるものであり、この正確な設定は難しい。本研究においては、これまでの正規型の関数に加えて、台形型の分布を検討した。ここでは両者の分布形状が同様なものとなるように、ファジィ変数のメンバシップ関数に対して、以下のような条件を考えた。

①重心の位置が等しい。すなわち

$$\begin{aligned} x_G = x_D \quad x_G: \text{正規型関数の重心} \\ x_D: \text{台形型関数の重心} \end{aligned} \quad (8)$$

表-2 ケーススタディのデータ

No.	月日	時刻	制御パターン変化
1	11.21	8:00~12:45	1→2→4→1
2	1.23	8:00~12:00	1→2→1→3→1

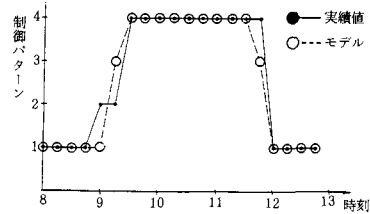


図-5 ケース1の計算結果

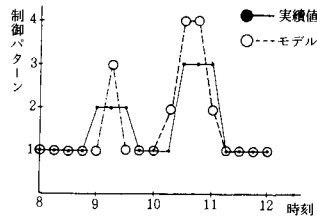


図-6 ケース2の計算結果

- ②判断の変化程度が等しい。すなわち、変曲点における関数の傾きが等しい。

$$\left[\frac{d\mu_A(x)}{dx} \right]_{x=x_0} = \left[\frac{d\mu_D(x)}{dx} \right] = \text{const.} \quad (9)$$

x_0 : 正規型関数の変曲点

$d\mu_D(x)/dx$: 台形型分布の脚部の傾き

このように設定することで、分布形状の類似した関数とすることができ、実際のモデルの判断結果にはほとんど影響を与えず、新しいモデルを作成することができる。この台形分布は正規型の関数に比較して関数の設定が容易であり操作性が高いといえる。これは今後のモデル改良の可能性を示すものである。

(2) 推論合成方法の比較^(11), 12)

ファジィ推論の演算方法にはいくつかの方法がありこれまでにも制御に用いた場合の検討がなされている。なかでも一般的によく用いられているものは基本モデルで用いられている *min* (Mamdaniの方法) と積 (Larsenの方法) がある。具体的には、

$$\begin{aligned} \mu_{A-B}(x_0, y) &= \mu_A(x_0) \wedge \mu_B(y) \quad \cdots \text{Mamdani} \\ &= \mu_A(x_0) \cdot \mu_B(y) \quad \cdots \text{Larsen} \end{aligned} \quad (10)$$

と記すことができる。この場合もモデルの各設定値

は同一とし出力結果を比較したが、パターンの判断に大きな差異は見られなかった。これらはその演算方法を比較すればわかるように、前者は各ルールの成立の可能性 $\mu_A(x_0)$ を結論 $\mu_B(y)$ の上限として用いることに対し、後者はこれを積の形で用いており一種の重みと考えていることがわかる。

(3) パラメータの決定方法について

モデルのパラメータ決定にあたっては、今回のようにパラメータの範囲を限定し総当たりの求める方法とその範囲内に乱数を発生し探索する方法が考えられる。後者については、前章と同一のモデルについて検討した例があり、判断の適合性からみて若干の改良となることが報告されている⁹⁾。(適合率が 0.848) 一般に乱数を用いた方法によればパラメータの詳細な部分の検討が可能であるが、解の探索の偏りなくするためには十分な繰り返し回数が必要となるため、多大な計算時間を要するという欠点がある。

(4) 関数のファジィ度について¹³⁾

本モデルはファジィ推論といった知識工学的方法を用いて、人間の判断を記述するものであるが、ここでは、モデルに内在するファジィ性を検討することで実際の判断に含まれるファジィ性を知ることができる。普通メンバシップ関数のファジィ度を計算する方法がいくつか知られているが、ここでは実用的な方法として、*Kaufmann* による定義を用いる。

この定義によればまず集合間の“近さ”を測るものとして、相対的ハミングの距離を導入している。全体集合 $S = \{x_1, \dots, x_n\}$ としてこれを

$$h(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)| \quad (11)$$

のように定義する。

ここであるファジィ集合 A に対して、相対的ハミングの距離の意味で最も近いようなふつうの集合を定義し A^* とするとこのメンバシップ関数は

$$\mu_{A^*}(x) = \begin{cases} 0 & \mu_A(x) < 1/2 \\ 1 & \mu_A(x) \geq 1/2 \end{cases} \quad (12)$$

となる。(この集合 A^* を 1/2 カット集合という) ファジィ度は相対的ハミングの距離および A^* を用いて

$$\begin{aligned} d(A) &= 2h(A, A^*) \\ &= \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n |\mu_A(x_i) - \mu_{A^*}(x_i)| \end{aligned} \quad (13)$$

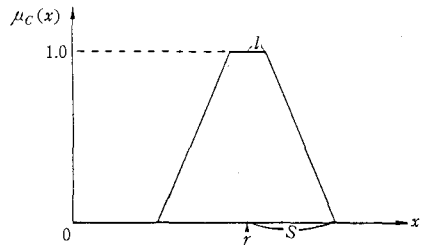


図-7 メンバシップ関数(台形型)

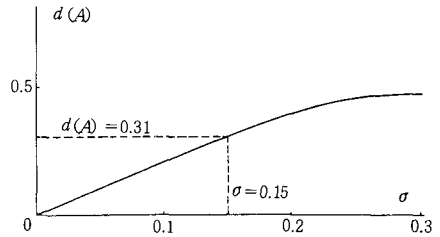


図-8 σ とファジィ度との関係

として求めることができる。先のモデルで用いたメンバシップ関数に対してファジィ度を計算することができる。この関数では σ の値によってファジィ度は変化する。これを示したものが図-8である。これより、この関数では $\sigma \doteq 0.3$ のとき $d \doteq 0.5$ でピークをむかえることがわかる。今回の基本モデルでは、 $\sigma = 0.15$ でありこのとき $d(A) = 0.31$ であることからファジィ度としてはかなり大きい値となっていることがわかる。このようにモデルを通じて判断のファジィ性の程度を知ることができることがわかった。

本章ではファジィ制御モデル改良のためのいくつかの検討を行った。これらの他に、ルール群の構成の変更の影響¹⁴⁾、ファジィ分布から確定値への解釈変換法など検討¹⁵⁾等があるがここでは省略する。

5. おわりに

本研究では流入制御の方法に知識工学的なアプローチを試みたファジィ流入制御モデルを紹介し、これについての各種の具体的検討を行った。都市高速道路における交通制御は現在、入路閉鎖ブース制限という形であり、現実の交通状態によって管制担当者の判断に任されている。こうした現状にあっては判断は熟練した管制担当者にしか行えず、これまでこうしたことが交通管制的効率化を妨げる一因となっ

ていた。本研究では管制担当者による判断を明示的に言語ルールとして表示しモデルを作成し、さらに実際のデータによって検討を行った。この結果人間の判断過程をわかりやすい形で表現することが可能となり、管制担当者の判断を代替的に行いうるシステムの構築の可能性が示された。また関数形、演算方法、ファジィ度、などモデルに関する各種の検討を行いそれぞれの性質を明らかにした。詳細な検討はなお十分とはいえないが、今後これらの検討結果を踏まえたモデルの改良が期待されよう。

ここで特にモデルの実用性の向上という点からみた今後の課題としては以下のことが挙げられる。

- ①このモデルで実際の交通制御の運営上の効率化を図ることは可能であるが、交通流の円滑な流れを生じる効率的な制御をもたらすとはいえない。そこで制御結果を評価できる新たな方法を導入し効率的な制御方法を探索する必要がある。
- ②今回の研究では問題の単純化のために単一の路線について検討したが、実際の制御行動は複数路線のオンランプを同時に制御対象として運営されており、今後一路線だけでなくいくつかの入路の関係も考慮したモデルとする必要がある。

これらの問題点のうち、①は具体的にファジィ流入制御モデルと渋滞シミュレーションモデルを結合した評価を包含した結合型のモデルを作成することで、対処することを試みている。また②については、ファジィ推論方法と同じくルール群により制御内容を記述できるプロダクションシステムの方法¹⁵⁾を用いたモデルについての検討を行っている¹⁶⁾。

最後に本研究の遂行にあたり、データの収集等でご協力いただいた阪神高速道路公団、ならびに具体的な検討をいただいた地域交通計画研究所に感謝の意を表する次第である。また本研究は文部省科学研究助成奨励研究(A)の一部であることを付記する。

参考文献

- 1) 稲葉則夫、実用化が始まったファジィ理論●2 日本では電車の自動運転、浄水場の制御などに利用日経エレクトロニクス '84.12月号, pp. 183~192, 1984.
- 2) 山崎東、菅野道夫、ファジィ制御、システムと制御 vol.28, No.7, pp.442~446, 1984.
- 3) E.A.Mamdani, Application of fuzzy algorithm for control of a simple dynamic plant, Proc.IEE, vol.121, No.12, pp.1585~1588, 1974.
- 4) 柳下修、伊藤修、菅野道夫、ファジィ理論の浄水場薬品流入制御への応用、システムと制御、vol.28, No.10, pp.597~604, 1984.
- 5) 安信誠二、宮本捷二、井原廣一、予見 Fuzzy 制御方式による列車自動運転、システムと制御、vol.28, No.10, pp.605~613, 1984.
- 6) C.P.Pappis and E.H.Mamdani, A fuzzy logic controller for a traffic junction, IEEE Trans SMC-7-10, pp.707~712, 1977.
- 7) 秋山孝正、奥村透、ファジィ制御手法による高速道路交通制御のモデル化 第29回システムと制御研究発表講演会講演論文集 pp.215~216, 1985.
- 8) 佐佐木綱、秋山孝正、奥村透、交通管制の効率化をめざした流入制御記述モデル 土木学会第40回年次学術講演会講演概要集 4 pp.463~464, 1985.
- 9) 秋山孝正、佐佐木綱、奥村透、都市高速道路交通管制の効率化に関する検討、土木計画学研究発表会講演集、vol.8, pp.129~135, 1986.
- 10) 菅野道夫、あいまい集合と論理の制御への応用、計測と制御、vol.18, No.2, pp.8~17, 1979.
- 11) 阪神高速道路公団、(財)高速道路調査会、阪神高速道路の交通管制に関する研究報告書、1983.
- 12) 水本雅晴、T-ノルムと Fuzzy 制御、第1回ファジィシステムシンポジウム講演論文集、pp.125~132, 1985.
- 13) 西田俊夫、竹田英二、ファジィ集合とその応用 森北出版、pp.51~58, 1978.
- 14) 佐佐木綱、秋山孝正、奥村透、広川誠一、高速道路におけるファジィ交通制御モデルについて、第2回ファジィシステムシンポジウム講演論文集、pp.50~55, 1986, 6.
- 15) 馬野元秀、あいまい知識の表現と利用、大阪大学計算機センタニュース、vol.15, No.2, 1985.
- 16) 佐佐木綱、秋山孝正、プロダクションシステムによる交通制御の記述についての検討、土木学会第41回年次学術講演会講演概要集 4, 1986.