ファジィ推論を用いた転換率推計モデルの比較分析

京都大学工学部　正　員　佐佐木　綱
京都大学工学部　正　員　秋山　孝正
京都大学大学院　学生員　邵　春福
京都大学工学部　学生員　○横野　正憲

1．はじめに

ファジィ推論は、いくつかのファジィ命題から演繹的に別のファジィ命題を導くことを基本としており、ファジィ制御、エキスパートシステム、意志決定などの分野で大きな役割を果たしている。人間が行っている推論はこの種の方法であることから大いに関心がもたれている。本研究では高速道路交通需要推計における転換率をファジィ推論により記述し、その方法論的側面から検討を行う。

2．ファジィ推論の方法

ファジィ推論は、①集合ＡからＢを推論するための関係Ｒ：Ａ→Ｂを作成し、②新たな情報Ａ’が与えられたとき、Ａ’ ＠ Ｒ（＠：適当な演算）から推論結果Ｂ’を知ることである。

最も簡単なファジィ推論形式は

関係：　If x is A then y is B
事実：　　x is A’
結論：　　y is B’

結論Ｂ’は、Ａ’とＡ→Ｂとの合成（max-min合成）を行うことにより得られる。一般的な Mamdaniの方法を用いると、Ａ＝Ａ’である場合、Ａが正規であるかぎりＢ’＝Ｂなる結果が得られる。

3．ファジィ推論モデルの作成手順

さきに示したファジィ推論は、人間の思考過程のモデル化であるといえるが、これを実用的モデルとして用いる場合の手順を示すと以下のようである。

(1)与条件Ａ’と前件部Ａとの一致程度を求める。
(2)前件部内での一致度を合成することによって、前件部全体の一致度を求める。
(3)前件部の一致度を用いて後件部のファジィ量の分布を得る（演算方法）。
(4)後件部のファジィ数分布の代表値を決定する。

以上の手順（ファジィ制御型）は上記のファジィ推論に以下の点を付加したものである。すなわち、

① 確定値が入力されること（singleton）。
② 最終的な値をひとつにする（defuzzification）。

さらに、これを踏まえて、ファジィ推論モデルを作成する場合の主な留意点は以下のとおりである。

(1)説明変数のファジィ量としての表現：モデルの入力変数をファジィ量として表現する。言語変数と考えてもよい。このときの考慮点は、メンバシップ関数の形式、言語変数の種類（PB,PMなど）である。
(2)推論方法の検討：ファジィ推論の過程において重要であるのは、Ａ→Ｂのルール表現と関係の合成方法である。i)Mamdani法では、Ａ→Ｂとして直積を利用している。実際には種々の「含意」が考えられ、適当なものの選択が必要である。 ii)ファジィ関係の合成演算に関して最も代表的な演算はmax-min合成である。水本の研究によれば、限界積を用いた合成も考えることができる。
(3)非ファジィ化の方法：非ファジィ化の方法で最もよく用いられるものは、出力関数の重心法である。この他に面積法、和による方法などがある。
(4)含意公式について：ファジィ関係（Ａ→Ｂ）を作成するのために、いくつかの含意公式が挙げられる。

4．転換率モデルと推論方法の比較

［転換率モデルの基本構造］

これまでに、都市高速道路の利用料金等の問題を検討する上で重要となる経路選択及び交通需要推計時に用いる転換率について、ファジィ推論を用いた検討が行われている。高速道路の転換現象を考察するための転換率は、一般に数式表現されたものである。しかし、非線形な回帰特性を示す変数を一関数で表現することは困難である場合が多い。ファジィ推論では規則を複数個とし入力空間を分割し、それぞれの入出力関係を見いだすことによって全体の関係を表すことが可能になる。またクリスプ理論では、考えられる全ての場合のルールが必要であるが、ファジィ推論では適当な数のルールで実行可能である。

Tsuna SASAKI, Takamasa AKIYAMA
Chunfu SHAO and Masanori YOKONO

このような特徴を利用して転換率推計モデルにファジィ推論を導入し検討を行う。モデルに用いる説明変数は、「時間差」及び「高速道路利用距離当り料金」の２種類である 。これらの変数についてメンバシップ関数を設定した（３種類の標準関数）。またこれらに基づき７つのルールを構成する(表－１)。

［推論方法の比較］

上記の転換率モデルでの推論結果は図－１に示すように転換率の値をファジィ数の分布として表現される。したがって、推論結果をこのような分布図として把握することで検討が容易となる。

ここではt-normとしてつぎのものを用いた。

1）論理積：$x \wedge y = \min\{x, y\}$ （Mamdani法）

2）代数積：$x \cdot y = x \times y$ （Lersen法）

3）限界積：$x \odot y = 0 \vee (x + y - 1)$

4）激烈積：$x \,\dot{\wedge}\, y = \begin{cases} x \cdots y = 1 \\ y \cdots x = 1 \\ 0 \cdots x, y < 1 \end{cases}$

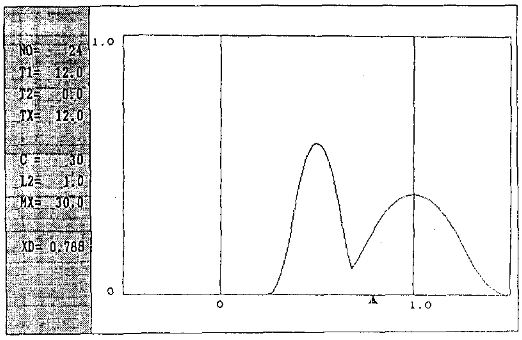
代数積，論理積は比較的広範囲に分布した多くの情報を残した形の分布形状を示しており、また激烈積，限界積の場合は、０，１形のクリスプ理論に近づいた、判断の大きく分離した形式であることがわかる。特に激烈積の場合には、クリスプ分布に近い形状を示すことがわかる。

さらに実際の判断のアナロジーとしてどの含意公式が適当であるかは、この分布型を対照し、判断結果を整理することで得られるものである。４種類の演算について求められた転換率推論結果の分布を三次元に表現した。これによると Mamdani法、Lersen法の分布は非常に似かよっており、ともにゆるやかな変化を与える（図－２）。とくに Lersen法では、Mamdani法より各交点での折れ線の変化が緩慢である。限界積法では、図の平坦部分（転換率の小さい範囲）に多く分布することがわかる。また他の三種類に比べて、中間部分の変化は緩慢である。「激烈積」では、転換率が「大きい」または「小さい」範囲からの変化がかなり急激であるのは「限界積」の場合と同じであるが、転換率が中ぐらいの範囲では、Mamdani法の分布形状に近いことがわかる（図－３）。

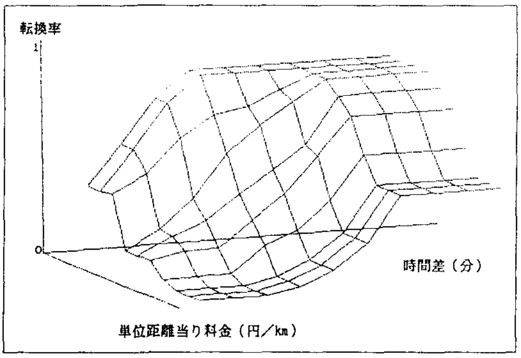
さらに本研究では３．で述べた推論手順に関連した検討を行ったが、ここでは省略する。

表－１　推論ルール

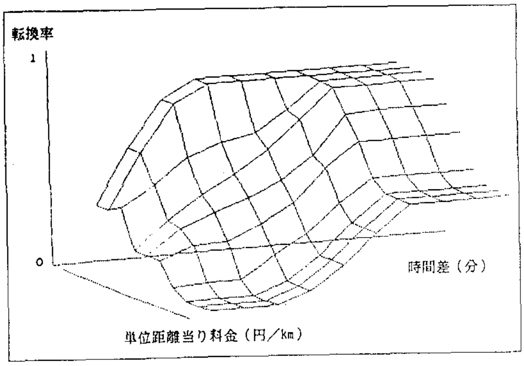
R-1:	If X1 is PS ,		Then Y is PS
R-2:	If X1 is PM	and X2 is PB ,	Then Y is PS
R-3:	If X1 is PM	and X2 is PM ,	Then Y is PM
R-4:	If X1 is PB	and X2 is PB ,	Then Y is PM
R-5:	If X1 is PM	and X2 is PS ,	Then Y is PB
R-6:	If X1 is PB	and X2 is PM ,	Then Y is PB
R-7:	If X1 is PB	and X2 is PS ,	Then Y is PB



図－１　出力分布（Lersen法）



図－２　転換率分布（Mamdani法）



図－３　転換率分布（激烈積）