【土木計画学研究・論文集 No.8 1990年11月】

ファジィ理論を用いた転換率推計モデルについての比較研究

A Comparative Study on Estimation Models of Diversion Rate with Fuzzy Set Theory

秋山 孝正*，邵 春福**，佐佐木 綱***

By Takamasa Akiyama, Chun-Fu Shao and Tsuna Sasaki

Estimation model of diversion rate has been proposed for traffic demand forecasting on urban expressway. Fuzzy reasoning model was already proved to be useful to describe human behavior. The major objective of the study is to introduce some kinds of methods with fuzzy reasoning and to make their feature obvious. First, diversion model is developed with actual survey data considering the reality in traffic assignment stage. Second, implication methods on t-norms for reasoning are compared to know their merits of description and limitation of estimation. Third, the product-sum composition is investigated as a newly idea to modify conventional fuzzy reasoning methods from logical and practical point of view.
Keywords : diversion rate, fuzzy reasoning, t-norms

1．はじめに

都市高速道路転換率推計モデルはこれまで多くのものが提案されている。特に従来から関数式を用いた転換率推計モデルが主要な研究であったといえる[1),2)]。これらは実用的な交通量配分におけるサブモデルとして用いられ、いくつかの転換率式が提案されてきた。一方言語的表現を利用した定性的な推論モデルを用いて記述するための研究も提案されファジィ推論によるモデルの基本構造が示されている。

本研究では従来の成果を踏まえ、より詳細に交通転換現象を記述するための推論モデル構築を目的とし方法論の比較検討を行う。これはファジィ推論の応用に対して一般的示唆を与えるばかりでなく、現象記述と推論形式の関係が明確となり実用的交通量配分へ利用する際の留意点が整理される。

ここでは、まず実際の配分計算に利用できる形のデータを用いて、基本的な転換率記述のためのファジィ推論モデルを作成する。つぎに推論形式に関して代表的な4種類の演算方法に対して、その記述される判断形式の比較と推論結果の適合性の差異について検討する。この比較結果に加えて、近年提案されている新たなファジィ推論法（product-sum法）について実証面から検討する。

最終的には、各方法の有効性と実用性を整理し実用的配分法へ導入するための考察を行う。

*正会員 工博 京都大学講師 工学部交通土木工学教室(〒606京都市左京区吉田本町)
**学生員 工修 京都大学大学院工学研究科博士課程(同上)
***正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室(同上)

2．ファジィ推論モデルの構成

2－1 従来の研究と課題

ファジィ推論を用いて都市高速道路転換率を推計する基本的なモデルはすでに紹介されており[3),4)]、い

くつかの研究成果が得られている。

従来の推論モデルでは「時間差」と「単位距離料金」の2要因を用いて基本的推論ルールを作成している。またこれを簡単な道路網の交通量配分問題へ適用し実用性を検討している。これらの研究から、ファジィ推論モデルは交通選択時の判断を記述でき交通量配分サブモデルとして利用可能とされている。

こうしたファジィ推論による転換率モデルのさらに検討すべき点として、推論モデルの方法論的整理と現実的交通量配分レベルとの整合が挙げられる。この点から本研究ではファジィ推論の基本的な方法だけではなく、いくつかの提案される推論法を検討し、さらにその実用的な利用可能性を検討する。

2－2　ファジィ推論モデルの構成

ここでは最終的に現実的交通量配分のサブモデルとして利用することを考慮して、実際的なゾーンレベルでのファジィ推論モデル構築について検討する。

（1）対象地域

本研究の対象は近畿地区の主要道路網である。具体的には近畿地区を交通量配分のために121にゾーン分割したものである。また配分対象ODは、OD全交通量と都市高速道路転換交通量を「第17回阪神高速道路起終点調査」「昭和60年度全国道路交通センサスOD調査」に基づいて作成したものである。

以下の検討においては、モデルの方法論的比較を中心とするので、モデル構造の明確化を目指して上記のデータベースよりランダムサンプル法で100個のODペアを抽出している。これにより全対象道路網交通現象を完全に説明できるかどうかは検討を要するが、ファジィ推論モデル構築においては、データ数の制約はなく、この点特に問題は生じない。

（2）モデルの基本構造

（a）説明変数

説明変数として、①時間差、②単位距離料金、③OD距離を考えた。①、②は基本的に従来モデルの構成を踏襲したものであり、転換率の関数的表現を行う際にも多く用いられる変数である。③のOD距離については「短トリップの場合には高速道路利用は考慮せず一般道路を利用する」という固定層に相当する選択を考慮したものである。

（b）メンバシップ関数

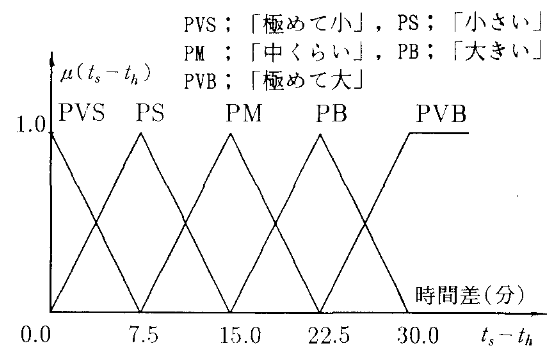
ここでは、ファジィ推論を構成するためのメンバシップ関数を定義した。①「時間差」については、以下のように定義される。

$$x_1 = t_s - t_h \qquad (1)$$

ここで、　t_s；一般道路の所要時間

t_h；都市高速道路の所要時間

「時間差」は交通転換判断時における基本的な変数と考えることができる。したがって、交通利用者の意識面でも比較的詳細に考慮されていると思われる。もちろん特定の時間差値を「大」「中」「小」などの言語的変数として何段階に認識しているかを一意に規定することは難しいが、ここでは従来モデルの3段階から、若干詳細な判断を加える意味から図－1に示すような5段階の時間差メンバシップ関数を用いる。②「単位距離料金」については、①とは逆に、多段階の判断が難しい要因であるといえる。この点については、すでに調査結果が報告されており[5)]、ここでも具体的なメンバシップ関数の形状として調査結果として得られた「大」「中」「小」の3関数を利用する。③OD距離に関しては、さきにも述べたように、交通利用者が短距離であると判断する場合を規定することになる。ここでは図－2に示すように7kmから徐々にOD距離が「短い」と認識されるものと定義した。この値は阪神高速道路の平均利用距離のおよそ1/2を基準としている。



図－1　時間差に対するメンバシップ関数

さらに「転換率」について検討した。ルールの後件部に相当する転換率関数は従来3個の標準関数が用いられている。この点も「時間差」同様、本来選択がいくつの段階として考慮されるかという問題があるが、本研究ではより詳細な交通選択行動を記述

するため転換率関数を図－３に示す５個の標準関数に表現する。当然この設定により推論ルール数は増加するが、より多くの現象を記述することができる。

（ｃ）推論ルールの構成

推論ルールは図－４のように構成されている。Ｒ－１はＯＤ距離が「短い」場合の判断を記述するルールである。このルールでは道路利用者が高速道路を考慮しないことから、後件部の「PVS：極めて小」に対応する。つぎにＲ－２～Ｒ－10は、時間差（５種）と単位距離料金（３種）による判断を記述したものである。仮にクリスプ推論を導入すれば、転換現象記述には15個のルールが必要となる。ここではファジィ推論で記述するため、いくつかの判断が統合され結局９個のルールで記述することができる。

最終的に合計10個のルールで交通転換現象の記述を行う。このようにクリスプ推論と比べて、少数のルールで記述できることはファジィ推論の特徴の一つである。

２－３　ファジィ推論モデルの作成手順

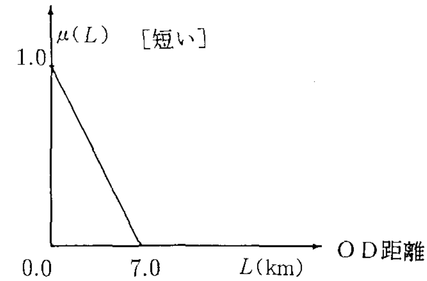
ファジィ推論はプロダクションシステム等で用いられる「IF～THEN…」形式の推論を基本とするものである。そして、このクリスプ推論をファジィ理論を用いて一般的な記述とするものである[6]。ここではファジィ推論過程の最も基本的な「論理積」による演算法（Mamdani法）を用いて検討を行う。この方法は式（２）のように表現される。

$$\int \mu_B(y)=\int \sup\left[\mu_{A'}(x) \wedge \mu_R(x,y)\right]/y \qquad (2)$$

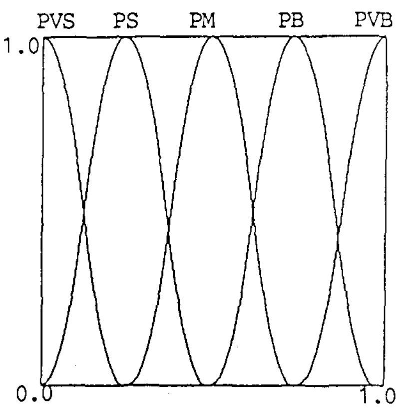
ファジィ推論モデルの作成手順の概略は、複数条件を持つ一般的な形式の場合、図－５に示すように以下の６点に集約することが可能である。すなわち①ファジィ数の決定（$\mu_{A'}(x)$，$\mu_B(y)$）、②ルール構成の決定（「IF～THEN…」構成）、③演算方法（含意公式）の決定（$\mu_R(x,y)$）、④前件部の“and”の計算、⑤合成規則の決定（sup－∧）、⑥ルール統合・非ファジィ化の方法（$\int \mu_B(y)/y \rightarrow y^*$）である[7]。

これまで述べたように、本研究で基本モデルとして作成したファジィ推論モデルは上記手順に対応して以下のように整理される。①時間差（５種）、単位距離料金（３種）、ＯＤ距離（１種）を説明変数とし転換率（５種）を被説明変数とする。②10種の推論ルールを用いる。③基本モデルとしてmin（$\mu_R(x,y)=\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)$）を用いる。④前件部の各条件はmin（論理積）により統合する。⑤構成演算はMamdani法に従いsup-min演算を行う。⑥後件部の非ファジィ化は一般的なファジィ数の和集合の重心（max-gravity）で代表させる。

すなわち、ここで得られたファジィ推論モデルは、



図－２　OD距離に関するメンバシップ関数



図－３　転換率のメンバシップ関数

R-1：IF L IS PS,		THEN Y IS PVS
R-2：IF X_1 IS PVS,		THEN Y IS PVS
R-3：IF X_1 IS PS	and X_2 IS PS,	THEN Y IS PM
R-4：IF X_1 IS PS	and X_2 IS PM,	THEN Y IS PS
R-5：IF X_1 IS PS	and X_2 IS PB,	THEN Y IS PS
R-6：IF X_1 IS PM,		THEN Y IS PM
R-7：IF X_1 IS PB	and X_2 IS PS,	THEN Y IS PB
R-8：IF X_1 IS PB	and X_2 IS PM,	THEN Y IS PB
R-9：IF X_1 IS PB	and X_2 IS PB,	THEN Y IS PM
R-10：IF X_1 IS PVB,		THEN Y IS PVB

注）L；ＯＤ距離，X_1；時間差，X_2；単位距離料金
Y；転換率

図－４　転換率モデルの推論ルール

従来から最も基本的な形式とされるMamdani法であり演算形式からは、結局「min-max-gravity」型と呼ぶことができる。以下ではこのモデルに基づいて各種の検討を行う。後にも述べるが、この基本モデルによる転換率推計では相関係数0.844となっている。

3．各種演算方法とその比較

3－1　ファジィ推論の演算方法

ファジィ推論モデルを構築するとき、人間判断の記述形式で最も重要となるのは演算方法である。したがって、各種の演算方法の特徴を検討する必要がある。前述の推論モデル作成手順のうち③について中心的に比較検討することになる。また実際のデータを用いた場合の各方法での推計結果の比較も行う。

一般に推論におけるファジィ関係($\mu_R(x,y)$)はt-norm（triangular norm）Tにより定義できる[8]。

ここで、t-normTはT:$[0,1]\times[0,1]\rightarrow[0,1]$なる関数で、次の条件を満たすものである。

(1) $T(x,1)=x$, $T(0,x)=0$　（境界条件）

(2) $x_1\leq x_2$, $y_1\leq y_2$

$\rightarrow T(x_1,y_1)\leq T(x_2,y_2)$　（単調性）

(3) $T(x,y)=T(y,x)$　（交換性）

(4) $T(x,T(y,z))=T(T(x,y),z)$　（結合性）

したがって、t-normに相当する演算（積演算と呼ぶ）は多数のものが存在する。ここでは典型的なt-normとして以下のものを示す。

1）論理積：$x\wedge y=\min\{x,y\}$ (Mamdani法)　(3)

2）代数積：$x\bullet y=x\times y$　(Lersen法)　(4)

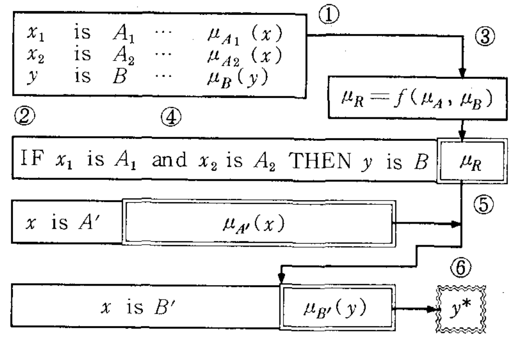
3）限界積：$x\odot y=0\vee(x+y-1)$　(5)

$$4)\ 激烈積：x \mathbin{\hat{\wedge}} y=\begin{cases} x \cdots y=1 \\ y \cdots x=1 \\ 0 \cdots x,\ y<1 \end{cases} \qquad (6)$$

ここで、あらかじめ知ることができるこれらの演算結果の大小関係は次のようになる。

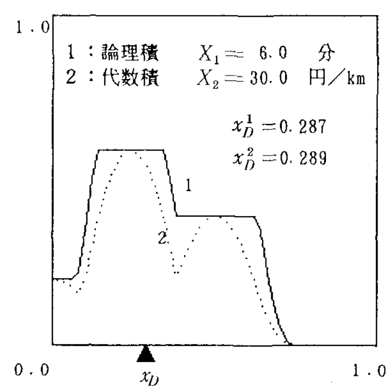
$$\hat{\wedge}\leq\odot\leq\bullet\leq\wedge \qquad (7)$$

その他のt-normも多く定義できるが、上式より知られるように、一般的なt-norm演算は論理積（∧）と激烈積（$\hat{\wedge}$）の中間となる。このことから、以上の4種の演算を代表的と考えることができる。



図－5　ファジィ推論モデルの概念図

ファジィ推論は、前件部の条件適合度と後件部との関係から推論を行うものであるが、この結果、推論形式の相違は、推論結果を示すファジィ数の形状の相違で与えられる。まず図－6に「論理積」「代数積」を用いた場合の推計転換率の出力例を示す。



図－6　出力ファジィ数（論理積・代数積）

「論理積」では出力変数の値が一定値以上の部分では同一の高さとなる。これは判断の上限を考える場合に相当する。演算が単純で実用性に富むことからファジィ制御等で一般的に利用される方法である。一方、判断の上限が規定され程度の大小が考慮されない部分があるという批判も考えられる。

また「代数積」は「論理積」のように上限値を規定せず、相似的に後件部の全情報を考慮する。したがって転換率関数の高さは同じ割合で評価されるので、お互いに選好順序は保たれる。この点論理的合

理性がよい記述ができる。しかし転換率モデルでは、利用者がファジィ数全体を意識して、同一レベルで情報を考慮するという状況には疑問が残されよう。

つぎに「限界積」「激烈積」の場合を図－７に示す。「限界積」は前件部と後件部で式（５）で示す演算を行う。分布形状からみて、さきの２方法と比べ、比較的クリスプ判断に近い方法である。人間判断のファジィ性が少ない場合にはこの形状の判断も考えうるであろう。しかし人間が実際に（５）式に示す形で演算を行っているという点は考えにくい。

最後に「激烈積」では式（６）に示すように、前件部、後件部のいずれかが１になる場合のみ推論結果を与える。つまり特定条件件が成立した場合に転換率が得られることになる。図－７に示すように転換率は点分布として得られ、クリスプ判断に最も近い演算である。ただ「限界積」と同様、人間が計算式に示すような判断を行うとは考えにくい[9]。

以上の検討より、演算の大小関係に従って、クリスプに近い判断となっていくことがわかった。また人間判断の記述という点では「限界積」「激烈積」の演算解釈は難しいといえる。

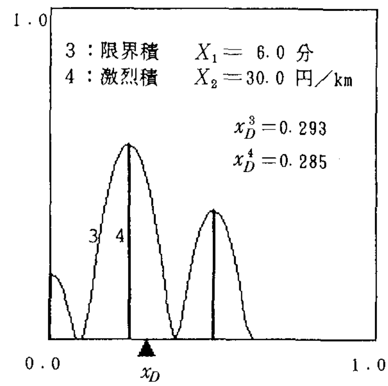
３－２　転換率推計上の比較検討

ファジィ推論モデルを用いて、実用的視点より推計転換率の分布形状から比較を行う。具体的には、「時間差」を３分間隔、「単位距離料金」を10円/km間隔に変化させた。（ＯＤ距離：７km一定）

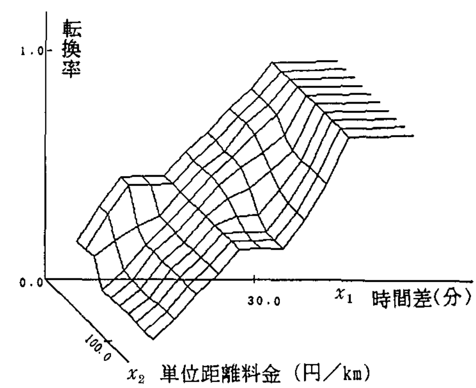
４種の演算で得られた転換率値を三次元表現した。全体的傾向に注目すると「論理積」と「代数積」の分布形状は非常に類似している。これは図－８に示すが、基本的には３つ変化領域を知ることができる。

まず「時間差」が30分以上では転換率値は「単位距離料金」と無関係に１である。全交通量が高速道路に転換する場合である。つぎに「時間差」15分、「単位距離料金」40円/kmの箇所を境界として転換率値の変化傾向がわかる。とくに転換率値はこの点から「時間差」の増加に伴いほぼ一定的に増加し「単位距離料金」の影響が小さくなることがわかる。

また転換率増加が小刻みに変化する部分がある。これは推論ルールの構成に起因するものといえるが（特に、R−3，R−4，R−8，R−9など）、これが最も関数による転換率表現とは異なる点である。



図－７　出力ファジィ数（限界積・激烈積）



図－８　転換率値の変化（論理積）

また「激烈積」と「限界積」の転換率値の変化形状も同一の種類に分類することができる。図－９は「限界積」の場合を示している。この場合も変化形状が３種の領域に分類される点は同様である。「時間差」30分以上の部分の相違はあまりないが、他の部分での変化傾向は若干異なる。特に「時間差」に対する変化勾配は前述の図－８に比べて、山形が微細に変化することがわかった。これはクリスプに近い判断を行った場合、転換率の推計値が敏感に変化することによるものと考えられる。

３－３　推計結果とその考察

前項では転換率表現に関する比較を行った。ここでは各演算方法による推計値と実際のデータとの適合性より考察する。各推論モデルは「時間差」のメンバシップ関数の形状により、転換率推計の適合性を変化させうることから３ケースを設定した。ケー

ス1は各三角型の底辺を15分とした場合（図－1の基本モデルの設定参照）、ケース2、ケース3では三角型の底辺を12分、9分とした。（つまり「論理積」・ケース1が基本モデルに相当する。）

各ケースについて適合性を推計値と実績値の相関係数として示したものが表－1である。本表から、相関係数からみた場合、各方法の差異は微小であることがわかる。またいずれの演算方法においてもケース1の相関係数が最も高い。この結果からファジィ推論モデルは、少なくともこの3ケースにおいて、「時間差」ファジィ数の共通集合が大きいほど推計値が実績値と適合することがわかる。

また各方法の相関最大の場合（ケース1）をそれぞれ抽出し、推計値と実績値との関係を示したものが図－10である。「論理積」を用いた場合、各点は対角線よりやや下部に多く分布している。つまりこの方法では若干過小推計となる。これに対し、比較的分布が対角線に対し均等であるのは「限界積」（c）と「激烈積」（d）である。

以上のように、相関程度、解釈の容易性などからいえば「論理積」（あるいは「代数積」）（基本モデル）の有効性は示されたといえる。しかしながら、推計値の過大・過小評価の可能性も考慮すれば「限界積」（あるいは「限界積」）の利用も考えられる。

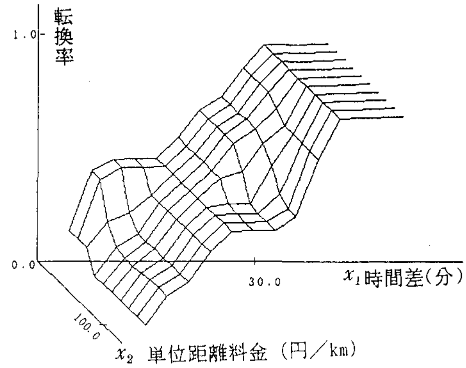
4．代数積－加算法の導入と検討

4－1　代数積－加算法の手順

これまで4種類の典型的なファジィ推論の演算方法について検討した。判断解釈・実用的利用の点からその長所・短所を示した。

ここでは人間の認知判断の記述として合理的であるとされる「代数積－加算法」について検討する。これは近年、水本[10]により提案されている推論方法である。基本モデルとの具体的相違点を説明する。

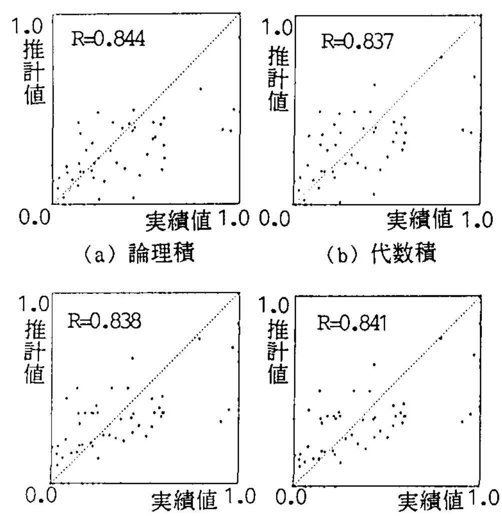
（a）前件部のファジィ数の積演算を「代数積」とする。（b）ルールを規定する演算（含意公式）を「代数積」とする。さらに（c）確定値への非ファジィ化を「後件部ファジィ数の分布の和」とする。第2章の「一般的ファジィ推論モデルの手順」に対応させれば③、④、⑥の部分の変更である。特に⑥の変更に対応して「加算法」としたが、一般には各



図－9　転換率値の変化（限界積）

表－1　各推論方法による推計結果（相関係数）

	論理積	代数積	限界積	激烈積
ケース1	0.844	0.837	0.838	0.841
ケース2	0.830	0.831	0.820	0.822
ケース3	0.825	0.830	0.818	0.820



（a）論理積　（b）代数積

（c）限界積　（d）激烈積

図－10　各方法の転換率推計結果

ステップに対応し「product-sum-gravity」と呼ぶ。

各ステップにおける演算の意味は（a）まず前件部の合成では各条件の適合程度を等ウェイトで考慮する。（b）演算は全情報を考慮し代数積を用い後件部と相似形とする。（c）統合・非ファジィ化で

は後件部の全情報の加算的表現を利用するものである。

図－11は「代数積－加算法」と「代数積－max法」（前章の「代数積」に対応）の演算過程を示したものである。すなわち、実線部分は破線部の関数値を加算して求められる。したがって両者は複数のメンバシップ関数の重複部分において差異が生じる。複数の関数は複数の推論が成立した部分に相当しこれを和集合（max）として処理するより、すべて加算（sum）することはより合理的推論であるといえる。

この場合解釈上問題となるのは、後件部の加算によりファジィ数分布が正規でなくなる（1を越える）ことがある点である。しかし後件部の非ファジィ化では重心値を用いるので、大小関係は保存され正規条件は推論結果に影響がない。

4－2　代数積－加算法の実用性の検討

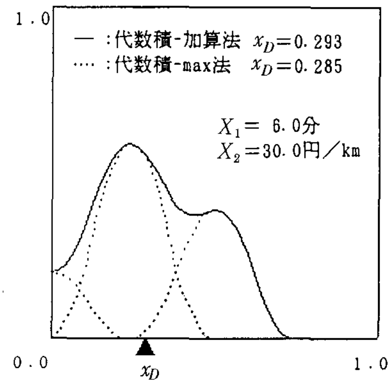
ここでも、具体的な検討を行うため「時間差」と「単位距離料金」を変化させ転換率値の変化を考察した。これを図－12に示す。この場合、前章のように「時間差」と「単位距離料金」を変化させたときの全体的な変化形状は他方法の場合と同様である。

詳細部分について、転換率値が一定変化をする部分は図－8の場合と類似しているが、全体的にゆるやかな変化を持つといえる。この傾向は前述の各方法に比べて、推論ルール重複部の関数値が若干大きく評価されることによると考えられる。

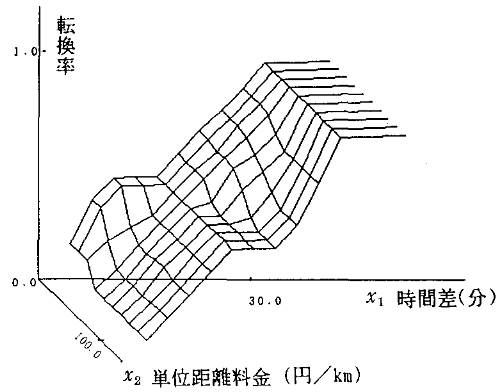
また転換率推計値に関して、前章同様「時間差」関数により推計精度を検討したが、相関係数が最も大きいのはやはりメンバシップ関数の重複程度の大きいケース1で0.849となった。これは、わずかではあるが前述の各方法と比べて推計精度が向上したことを示すものである。この推計値と実績値との相関分布を図－13に示す。推計値の散布形状では前述図－10の各方法と比較して、過大・過小評価とも同程度となっており推計のバランスもよいといえる。

このようなことから「代数積－加算法」は他の方法と比べて、直観に合致した演算であるといえ、また適合性も若干向上することがわかった。またこの方法は「ファジィ制御」においても良好な安定性が得られるとの報告もある[10]。

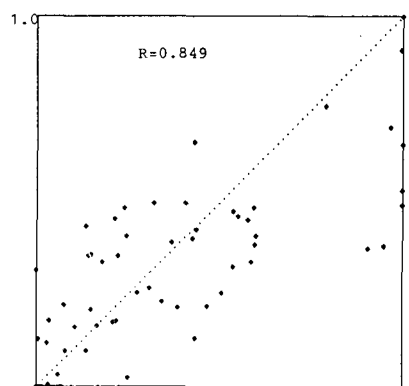
このようなことから、「代数積－加算法」は今後のファジィ推論の転換率推計への実用的利用を考える上で有効な方法であるといえる。



図－11　出力ファジィ数（代数積－加算法）



図－12　転換率値の変化（代数積－加算法）



図－13　代数積－加算法による推計結果

5．おわりに

本研究では、従来の研究成果に基づき都市高速道

路の交通転換現象を記述するモデルを新たに提案した。つぎに推論モデルに関して、演算方法の実用的・理論的整理と推計結果の傾向を検討した。また以上の基本的演算の他に、近年提案されている「代数積－加算法」を用いて新たな推論モデル構築に関する検討を行った。

この結果以下のような結論が得られた。

①ファジィ推論モデルの一般的構築手順として、各種の検討すべき事項があり、都市高速道路転換率モデルに関してもこれらの考察を行い、基本的モデルを作成することができる。また、本研究で行ったように推論プロセスを図形的表現し検討できる点がファジィ推論の長所である。

②ファジィ推論演算の基本的な4種類の演算は、基本モデルの含意の変更により容易に検討可能であり、いずれも理論的・実用的な特徴を持つことがわかった。推計上は全般的に各方法の大きな相違はみられなかったが、判断モデルの解釈の容易性からは、「論理積」「代数積」などの利用は有効であるといえる。

③「代数積－加算法」は含意に従来の「代数積」を用いる点は同様であるが、ルール統合方法などの点で新しい提案となっている。この方法は人間の直観にあうとされ、本研究のモデルへの適用においても良好な結果を与えており、今後の有効利用が期待される方法である。

またファジィ推論を用いた都市高速道路転換率モデルに関して今後の研究課題として以下の点が挙げられる。

①ここでは実用的配分レベルに対応した転換率推計モデルを構築した。すでに簡単なモデルの交通量配分サブモデルとしての利用は検討されており[4]、今後はここで示したモデルを用いて、現実的な大規模道路網の交通量配分への適用が必要である。

②ファジィ推論による転換率推計とその方法論の比較を行った。今後ファジィ推論法の有効性を議論するためには、さらに従来型の関数式を用いた転換率推計モデルの研究と併せて、相互の関連性を考慮しモデルの整理を行うことが必要である。

③推論モデルの現実道路網への適用では、交通転換現象を良好に記述することが重要である。ファジィ推論ではメンバシップ関数決定時にこれを考慮できる点から、今後ニューラルネットワーク等との結合により推計精度向上への検討が必要である。

最後に本研究の遂行にあたり、京都大学学生横野正憲氏（現・博報堂）に御尽力いただいた。またデータ収集に関して（株）地域・交通研究所にご協力いただいた。ここに記し感謝の意を表す次第である。

参考文献

1）土木学会編：交通需要推計ハンドブック，2.5.3.都市高速道路計画，pp.315-320，技法堂出版，1981.

2）北川・太田：都市高速道路転換率式に関する研究，高速道路と自動車，Vol.29，No.10，pp.16-24，1986.

3）秋山・佐佐木・有倉：ファジィ推論を用いた都市高速道路転換率についての検討，土木学会第44回年次学術講演会概要集，pp.180-181，1989.

4）佐佐木・秋山・有倉：ファジィ推論を用いた都市高速道路転換率モデル，土木計画学研究・論文集，No.7，pp.259-266，1989.

5）秋山・佐佐木・宇野・有倉：ファジィ理論を用いた交通経路選択に関する分析，第5回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，pp.325-330，1989.

6）秋山・佐佐木：ファジィ推論と交通行動の記述，交通工学，Vol.23，No.3，pp.21-27.

7）秋山：ファジィ推論を用いるモデル構築手順とその応用的意義について，土木学会第45回年次学術講演会，1990.

8）水本：最近のファジィ推論，日本機械学会第665回講習会教材，人工知能とファジィ理論（その基礎と応用），1988.

9）佐佐木・秋山・邵・横野：ファジイ推論を用いた転換率推計モデルの比較分析，土木学会関西支部平成2年度年次学術講演会，Ⅳ-30-1～Ⅳ-30-2，1990.

10）水本：わかりやすいファジィ理論Ⅲ－ファジィ推論とファジィ制御，コンピュートロール，No.28，pp.32-45，1989.