

# ファジィ理論を用いた都市高速道路転換率モデル

Estimation Model of Diversion Rate on Urban Expressway with Fuzzy Set Theory

秋山 孝正\*, 佐佐木 綱\*\*, 有倉 陽司\*\*\*

By Takamasa AKIYAMA, Tsuna SASAKI and Yoji ARIKURA

Analysis of route choice behavior will help traffic demand forecasting on urban expressway planning, because motorists choose appropriate route to go to destination smoothly. The objective of the study is to describe the structure of preference between expressway and street and build a practical diversion model with fuzzy set theory. First, considering fare term on route choice, Fuzzy Delphi Method (F.D.M.) is proposed to estimate the membership functions of main factors with small sample survey. Second, the diversion model between expressway and streets is designed with fuzzy reasoning. Third, traffic assignment with fuzzy diversion model is applied to demand forecasting on Hanshin Expressway.

keywords: diversion, fuzzy delphi method, fuzzy reasoning.

## 1. はじめに

都市高速道路網計画の各種検討には妥当な将来交通量推計が必要不可欠であるが<sup>1)</sup>、このためには道路利用者の交通行動解明が基礎的な研究課題となる。そして、交通行動のなかでも都市高速道路は構造的に一般道路と分離されていることから、道路利用者の経路選択行動（高速道路利用と一般道路利用の関係）のモデル化が重要な研究対象となっている<sup>2)</sup>。

本研究ではこのような利用者の経路選択現象分析に対して、転換率について方法論の面からも新たなアプローチを提案するとともに、さらに実用的な交

通量配分方法の記述とその適用性を検討する。

具体的には、まず都市高速道路と一般道路間の経路選択の決定要因のうち重要と考えられる「料金」要因について経路選択行動に及ぼす影響をメンバシップ関数表現することによって把握を試みる。実際には、ファジィデルファイ法に基づくアンケート調査を実施し代表的意見の抽出と統合を行う。

つぎに高速道路転換率推計のためのファジィ推論モデルの構築を行った。ここでは人間の判断過程の明示的表現方法を考察し、さらに実用的な交通量配分への推論モデル導入方法について比較検討する。

## 2. 料金要因に関する基礎的調査

### 2-1 調査方法の概要

高速道路の利用料金は経路選択において重要な要因のひとつである<sup>3)</sup>。ここでは「時間評価値」と「単位距離料金」に関する意識をアンケート調査により検討する。具体的にはデルファイ法を拡張した

\* 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)

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

ファジィデルファイ法を用いる。本来デルファイ法は、適格な被験者の意見の一致収束を目指したものであり、当初の互いに情報交換のない単独意見から、全体の統合的意見を認知させることにより、見直しと新たな判断を求める。そしてこの手続きを妥当な安定解に収束するまで繰り返すものである。

つまりデルファイ法は基本的に、主観的データを統計的解析により客観的情報に変換し、ある種の安定点に収束させる手法であることがわかる。この方法は各種予測や意志決定問題に用いられている。

## 2-2 ファジィデルファイ法の手順

ファジィデルファイ法(F.D.M)はKaufmannとGuptaによって紹介された。具体的な方法を略述する<sup>4)</sup>。

[1] 各々の被験者  $i(i=1, n)$  が調査対象項目に三角型ファジィ数 (T.F.N.) を表現する3点の値 (最小値、中央値、最大値) を回答する。

$$(A_1^{(i)}, B_1^{(i)}, C_1^{(i)}) \quad (1)$$

下添字の1は手順の第1段階であることを示す。

[2]  $n$  人の被験者の回答を得ることによって、T.F.N. 群が形成される。すなわち

$$(A_1^{(i)}, B_1^{(i)}, C_1^{(i)}), i=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

T.F.N. 群の平均値は  $A, B, C$  についての平均値  $(A_1^m, B_1^m, C_1^m)$  で計算される。ここで各被験者について偏差を次のように計算する。

$$\{A_1^m - A_1^{(i)}, B_1^m - B_1^{(i)}, C_1^m - C_1^{(i)}\} \quad (3)$$

これらの偏差値は正、零、負のいずれかである。この値は各被験者に標準的意見との差異の情報として伝達される。

[3] 各被験者は先の情報を考慮して、新しいT.F.N. を与える。したがって、

$$(A_2^{(i)}, B_2^{(i)}, C_2^{(i)}) \quad (4)$$

第2段階として上記の手順が繰り返す。

[4] T.F.N. の平均値が十分に安定したと判断できれば、推定手順を終了する。

## 2-3 メンバシップ関数の一致性

前述 [4] ステップのT.F.N. の収束性判断のためには、複数個のメンバシップ関数がある場合の一

致性評価の方法が必要である。これはファジィ数の一致 (不一致度: dissemblance index) という点から各種の定義が紹介されているが<sup>5)</sup>、F.D.M. では2つの三角型メンバシップ関数について非重複部分の大きさを評価するものである。具体的な計算法は次に示すとおりである。

まず  $x=a$  なる点について中央値の左右それぞれについて2つのメンバシップ関数間の値の差を求める。

$$d_l(A, B) = |a_1 - b_1| \quad (5)$$

$$d_r(A, B) = |a_2 - b_2| \quad (6)$$

$d(A, B)$  という距離の概念を次のように定義する。

$$d(A, B) = d_l(A, B) + d_r(A, B) \quad (7)$$

また区間  $[\beta_1, \beta_2]$  における  $\alpha$  カット集合に対して、正規化距離 (normalized distance) を定義する。

$$\delta(A_\alpha, B_\alpha) = \{1/[2(\beta_2 - \beta_1)]\} d(A_\alpha, B_\alpha) \quad (8)$$

ここに  $\beta_1$  と  $\beta_2$  は  $A_\alpha=0, B_\alpha=0$  を満たすように決定される定数である。以上よりメンバシップ関数の一致度 (距離) は  $\alpha$  カット集合を用いて  $\alpha=0 \sim 1$  について積分することにより次のように与えられる。

$$\delta(A, B) = \int_{\alpha=0}^1 \delta(A_\alpha, B_\alpha) d\alpha \quad (9)$$

これが0に近いとき一致程度が高いことになる

## 2-4 調査結果

図-1 に具体的な調査項目の概要を示す。調査実

### 【調査項目】

#### 【調査1】料金の時間価値について

高速道路と一般路路の分担関係を検討する際に、料金を時間価値 (単位時間当りの金額) で除して時間に換算して検討を行うことがよくあります。ここでは、料金の時間価値のメンバシップ関数を作図して下さい。

(参考) 現在阪神高速道路の大阪地区の料金は450円です。また、料金の時間価値が1987年度、5.8円/分・台 (乗用車) と算定されています。

#### 【調査2】単位距離あたりの料金の大小について

[1] 「安い」と考えられる単位距離料金のメンバシップ関数

[2] 「普通である」と考えられる単位距離料金のメンバシップ関数

[3] 「高い」と考えられる単位距離料金のメンバシップ関数

(参考) 現在阪神高速道路の大阪地区の料金は450円です。また、阪神高速道路の大阪地区の平均利用距離は13.4kmです。このことより、1kmあたりの料金は33.58円であることがわかります。

図-1 アンケート調査の概要

施（平成元年2月1日（水））に当たり阪神高速道路の利用経験があり、また都市高速道路の料金問題等にある程度知識を持つ被験者5名を選定した<sup>6)</sup>。

この調査は集合的意志決定であり、同一手順が繰り返して実行される。各個人のメンバシップ関数が集合的意見に収束しているか否かの判定は、前述のメンバシップ関数間の一致度（距離）をもとに随時算出される。各調査結果の概要は次のとおりである。

#### （1）調査1：時間評価値

時間評価値をファジィ数表現する場合の回答である。各回答ステップで、各種の時間評価値の定義方法を各自の知識より検討することが多くみられたが、基本的には個人の平均的所得水準を目安として労働時間、平均乗車人員等から概算する場合が多くみられた。最終的に全員の平均的意見として「時間評価値」を決定したものが図-2である。メンバシップ関数が1となる点の値は47.6円/分・台であり、ファジィ数としての時間評価値は「48円程度」という解釈が可能である。これは実際の調査時に、1987年での時間評価値の公団試算額が58円であることを提示した点に影響された結果であるとも考えられる。

最終回（第4回目）の各回答者相互のメンバシップ関数の一致度指標値を示したものが表-2である。一致度の最小部分（距離最大）は回答者1と4に対する部分であるが、このときも指標値は0.17であり、意見はかなり集約された結果となっている。

#### （2）調査2：単位時間料金

この調査は単位時間当りの料金額を台集合（グラフ上では横軸）にとり、この上で料金抵抗の大、小を問うものである。質問手順は調査1と同様であるがここでは、3種類のメンバシップ関数が存在するため、若干回答に難しさが生じるようであった。

また具体的な検討においては、各自の経験した経路長から考える場合が多くみられ、また都市高速道路ということでランプ間の区間数から距離を概算するという考え方もみられた。さらに各値の意味が捉え難く、設定が困難であるという意見もあった。

調査2の最終的なメンバシップ関数形状とそのパラメータの値は図-3に示す。実績の平均的利用距離の場合（33.58円/km）が「安い」と「普通」との中間的な位置にあること、9 km程度の点で「普通」の関数がピークを持ち阪神高速道路放射線の利用距離に相当する点などから、料金抵抗値の表現結果として比較的妥当なものであると考えられる。

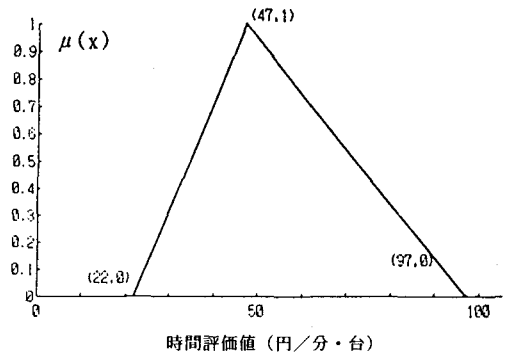


図-2 時間評価値のメンバシップ関数

表-1 調査1の一致度行列（4回目）

|    | 平均   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
|----|------|------|------|------|------|------|
| 平均 | —    | 0.08 | 0.05 | 0.04 | 0.09 | 0.06 |
| 1  | 0.08 | —    | 0.11 | 0.10 | 0.17 | 0.10 |
| 2  | 0.05 | 0.11 | —    | 0.08 | 0.08 | 0.09 |
| 3  | 0.04 | 0.10 | 0.08 | —    | 0.10 | 0.03 |
| 4  | 0.09 | 0.17 | 0.08 | 0.10 | —    | 0.11 |
| 5  | 0.06 | 0.10 | 0.09 | 0.03 | 0.11 | —    |

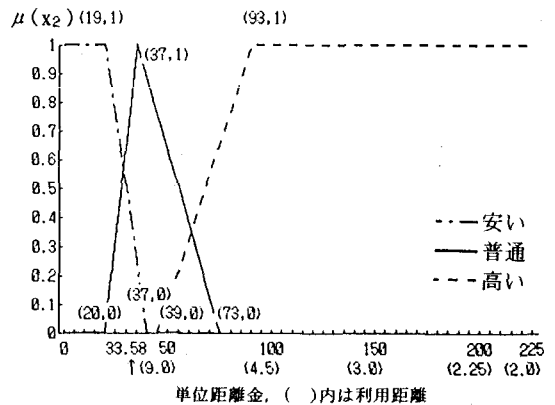


図-3 単位距離料金のメンバシップ関数

この調査も4回繰り返された。この調査においては一致度は、3種類のメンバシップ関数の一致度の平均値で与えられている。一致度の最悪値は0.38であるが、各被験者の値と平均値との一致度の最大値は0.25であり、この調査においても、各被験者の意見はある程度収束していると考えられる。

以上の2種類の調査により、経路選択判断時に重要と考えられる料金要因に関して特定形式の質問に対しては、定量的記述が可能であることがわかった。

### 3. ファジ推論を用いた転換率推計

#### 3-1 ファジ推論による記述

ここでは推論記述に適したファジ推論を用いて高速道路の経路選択問題を定式化する。具体的には、基本的ケースを用いて計算を行い、推計計算を行うとともに転換率モデルの改良を検討する。

ファジ推論は「制御」等の分野で多く用いられているが<sup>7)</sup>、従来型の推論方法と比較して、いくつかの長所が挙げられる。①非線形な変化が比較的容易に記述できる。一般的に非線形な回帰特性を示す変数を一意の関数型で表現することは困難である。ファジ推論では規則を複数個とすることにより入力空間を部分空間に分割し、それぞれの部分空間で入出力関係を見いだすことにより全体の非線形な入出力関係を表すことが可能になる。②クリスプ推論では考えられるすべての場合のルールが必要であるが、ファジ推論では適当な数のルールで実行可能である。③推計上得られる変数がファジ数であっても推論が可能であることが挙げられる。基本的なファジ推論は次の形式である<sup>7),8)</sup>。

$$\begin{array}{ll} \text{(前提1)} & \text{IF } x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B \\ \text{(前提2)} & x \text{ is } A' \\ \hline \text{(結論)} & y \text{ is } B' \end{array} \quad (10)$$

推論の規則が $m$ 個存在する場合の演算法について述べる。まず入力が $x=x^0$ のとき、その入力が規則の前件部にどの程度適合するかを求める。前件、“ $x$  is  $A$ ”に対するクリスプ入力“ $x$  is  $x^0$ ”の適合度は $A(x^0)$ 、すなわちファジ集合 $A$ の $x^0$ におけるメンバシップ値で表される。

$$\omega_j = A_j(x^0); j=1, 2, \dots, m \quad (11)$$

つぎに $j$ 番目の規則による推論結果は次のように表現される。

$$y \text{ is } \omega_j * B_j, \quad (12)$$

ここで用いる演算 $*$ には様々な形式があり、積演算やmin演算(Mamdani法)を用いることが多い。

$$\omega_j * B_j(y) = \min\{\omega_j, B_j(y)\} \quad (13)$$

$m$ 個の規則による全体の推論結果 $y^0$ は $\omega_j * B_j(y)$ より和集合 $B_1 \cup B_2 \cup \dots \cup B_m$ を求め、

$$B^*(y) = \max\{\omega_j * B_j(y)\} \quad (14)$$

さらに確定出力(制御など)が必要な場合には、 $B^*(y)$ のメンバシップ関数の重心として求められる。

$$y^0 = \int B^*(y) \cdot y dy / \int B^*(y) dy \quad (15)$$

#### 3-2 基本モデルの作成

ここではファジ推論を用いた転換率記述のための基本モデルを作成し、以下の各種検討に用いる。

##### (1) 時間比

従来、転換率の記述においては時間比を基本的な説明変数として用いることが多く、本研究でもこれを用いる。時間比はふつう次式のように定義される。

$$x = \frac{T_h + C/R}{T_s} \quad (16)$$

$C$ : 高速道路利用料金,  $R$ : 時間評価値

$T_h$ : 高速道路所要時間,  $T_s$ : 一般街路所要時間

つまり料金に関する経路選択への影響は時間換算して取り扱うものである<sup>2)</sup>。

##### (2) メンバシップ関数

推論に用いるファジ変数を表現するメンバシップ関数について、説明変数 $x$ (時間比)は基本モデルとしての単純化を目指して三角型関数を用いるが、具体的にはPS, PM, PBの3種類の関数を設定する<sup>9)</sup>。これらは「小」「中」「大」のラベルに対応する。また推計値である転換率 $y$ のメンバシップ関数を図-4に示す。ここでもファジ変数を3種類設定しており、S, II, Z関数という標準関数(二次関数を基本とする)を用いて表現する。

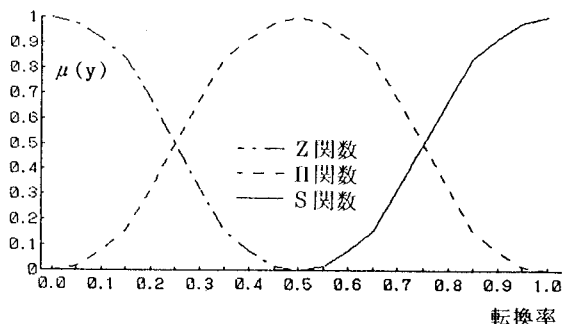


図-4 転換率のメンバシップ関数

### (3) 推論ルール

従来の「時間比」関数、曲線等のパラメトリック形式の転換率表現に対しファジィ推論による記述を試みている。基本モデルでは最も単純なモデル化を考え図-5のようなルール群とした。ファジィ推論ではルールが言語表現されており、モデル妥当性の直接的検討が可能である点が特徴的である。特にこのルールでは個人の行動意志決定において選択要因に対し大、中、小の3種類程度の認知・判断を行っていると考えていることになる。

## 4. 転換率モデルの実用的検討

### 4-1 転換率モデルを用いた交通量配分方法

ファジィ推論による転換率推計モデルの実用性を検討するために実際の阪神高速道路関連道路網を対象とした交通量配分を行う<sup>9)</sup>。

#### (1) ゾーン分割

ゾーンは阪神高速道路沿線で全19ゾーンである(大阪市街：6、周辺部：5、郊外部：5、阪神間：3)。基本的には『昭和60年度全国道路交通センサス』の「Bゾーン」を集約している。また郊外ゾーンの選択範囲は『昭和60年度阪神高速道路基本調査』の代表ランプの影響圏域図を参考として決定した。

#### (2) 配分対象道路網

阪神高速道路と一般街路の各々について配分対象ネットワークを作成した。各ゾーンに1箇所セントロイドを設け発生集中交通量を代表する。高速道路網は各ゾーンに対応したONランプ、OFFランプを各々1箇所選択し各ゾーン「代表ランプ」とする。つまり当該ゾーン発着の高速道路利用交通はすべてこの代表ランプを利用する。また構造上ゾーン内のいずれのランプからも利用不可能な路線がある場合ダミーリンクを設けて利用可能な方向を規定している。

#### (3) 交通量および交通容量

計算実行時の全OD表は『昭和60年度全国道路交通センサス』よりゾーン集約交通量を求めた(大型車は普通車換算した)。また各ゾーン内々交通は配分対象から削除し、モデルが大阪市街域内通過交通を対象とすることから、郊外隣接ゾーン間等の大阪市街に進入しないと考えられるODペア間交通は削除した。さらに自由走行時間を高速道路80km/h、一般街路40km/hとした。また交通容量は基本的に

|                                                                         |              |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------|
| R-1: IF x is PS                                                         | THEN y is PB |
| R-2: IF x is PM                                                         | THEN y is PM |
| R-3: IF x is PB                                                         | THEN y is PS |
| x:時間比, y:転換率, PB:Positive Big,<br>PM:Positive Medium, PS:Positive Small |              |

図-5 基本モデルの推論ルール

『昭和60年度全国道路交通センサス』の乗用車換算24時間交通容量を用いるが、ここで一般道路網には主要幹線道路のみを選択するため、並行する複数道路の交通容量を加算し交通容量を修正した。

#### (4) 高速道路料金

阪神高速道路の配分計算時点(昭和60年度)の料金大阪地区400円、神戸地区300円を用いた(現行では、大阪：450円、神戸：300円)。また時間評価値は昭和59年度を参考とし50円/分・台とした。

#### (5) 転換率を含む交通量配分方法

本研究で用いる配分モデルはいわゆる「分割配分法」であり転換率推計プロセスを内包する。分割配分法はOD表を分割し配分する方法で都市域で広く用いられている。アルゴリズムの概要は、①走行時間関数を用いてリンク所要時間を求め、平面道路・高速道路の各々の最短経路樹を探索する。②経路ごとに各ODペア間の転換率を推計し、各リンクに分割OD表を配分する。③この手順を分割数だけ繰り返す。この手順自体は従来方法とほぼ同一である<sup>2)</sup>。

### 4-2 交通量配分結果とその考察

具体的な交通量配分計算を行なった。交通量配分結果から、対象地域の全OD交通量に対して最終的に都市高速道路の分担交通量を知ることができ、これより転換現象記述の検討が可能である。

ファジィ推論による転換率を用いた場合(ケース1)と、従来の阪神高速道路における転換率式

$$y = \frac{1}{1+3x^3} - 0.03 \quad (17)$$

を用いた場合(ケース2)とについて考えた。

実際に推計転換率を検討するためにODペアのうち高速道路利用経路が一意に決定できると考えられる20ペアを抽出し、阪神高速道路のON-OFF交通量と当該OD交通量から実績転換率の代用値を求めた。

各ケースの推計転換率と実績転換率との相関図を図-6に示す。ケース1(●印)では転換率が0.3

から 0.5 程度の場合に比較的良好な推計値が得られた。しかし大阪市街地内ゾーン相互の交通のように転換率が小さいものについては実績値に対して過大推計されている。また郊外ゾーン相互のように転換率が大きい場合には過小推計されている。モデル 1 の推計値・実績値間の相関係数は 0.748 である。

モデル 2 (■印) の場合も基本的にはモデル 1 と同様の推計特性を示している。転換率が「中」・「大」に関してはケース 1 よりよく推計されているが、特に転換率の小さいものについては過大推計されている。推計値と実績値の相関係数は 0.794 である。この両ケースのように、転換率値が小さいものが過大推計され、転換率値の大きいものが過小推計されることは、推計転換率が時間比に対してあまり敏感でないことを示している。ファジィ推論モデルでは説明変数や転換率のメンバシップ関数を改良することによってある程度解決されると思われる。

#### 4-3 ファジィ推論モデルの改良

ここではさきの結果を踏まえたモデル改良を考える。転換率記述において「費用要因」は「時間要因」とともに重要な要因である。ここでは「料金額」導入方法について新たな検討を試みる。従来モデルでは「料金額」は時間評価値で除し時間変換算した値を用いている。この検討ではこの「料金額」を明示的に表す変数を 1 つの独立した説明変数として取り扱い転換率推計の現況再現性の向上をはかる。

##### (1) 説明変数について

まずモデル変数で時間要因に関する変数として時間差を用いる。これは各 O/D ペア間の高速道路利用による時間短縮効果を表現する変数である。

$$x_1 = T_s - T_h \quad (18)$$

第 2 の変数は高速道路利用距離当り料金で費用要因に関して「料金額」の距離ごとの影響を表現するものである。前章の結果より、転換率に対する料金額の影響を高速道路利用距離を用いたファジィ量としての表現可能であることがわかっている。

$$x_2 = C/l_h \quad (19)$$

$l_h$ : 高速道路利用距離

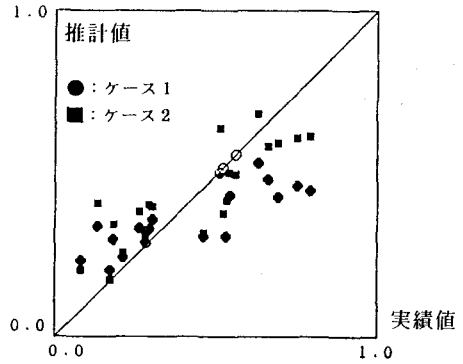


図-6 各モデルの推計結果相関図

##### (2) メンバシップ関数

説明変数のメンバシップ関数は、前章の調査より得られた三角型関数を用いる。OD間時間差 ( $x_1$ )、単位距離料金 ( $x_2$ ) のそれぞれ PS, PM, PB の 3 種類のメンバシップ関数を設定する。推計結果の転換率 ( $y$ ) を表すメンバシップ関数は、前モデルと同様の S・II・Z 関数の 3 種類を用いる。

##### (3) 推論形式

ここでは多変数のルール構成であり一般的には  $n$  入力 1 出力  $m$  個のルールがあるとする場合である。

$$\begin{aligned} \text{IF } & x_1 \text{ is } A_{11}, x_2 \text{ is } A_{12}, \dots, x_n \text{ is } A_{1n}, \\ \text{THEN } & y \text{ is } B_1 \end{aligned} \quad (20)$$

入力が  $x_j = x_j^\circ (j=1, \dots, m)$  のとき前件部の条件にどの程度適合するかは、前件 " $x_j \text{ is } A_{ij}$ " に対する入力 " $x_j \text{ is } x_j^\circ$ " の適合度  $A_{ij}(x^\circ)$  すなわちファジィ集合  $A$  の  $x^\circ$  におけるメンバシップ値で表されるが、前件部が複数項である場合の前件部全体の適合度は  $A_{ij}(x^\circ)$  の共通集合で与えられる。

$$\begin{aligned} \omega_j &= A_{1j}(x_j^\circ) \wedge A_{2j}(x_j^\circ) \wedge \dots \wedge A_{mj}(x_j^\circ) \\ &= \min \{A_{ij}(x_j^\circ)\}; j=1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (21)$$

##### (4) 推論ルール

ここでは 2 変数を用いた判断を記述するため新たなルール群を作成しておりこれを図-7 に示す。両変数に対して 3 種類のカテゴリーを設定しているのでクリスプ推論を前提とする場合には、最低 9 種類のルールが必要となるがファジィ推論により記述したため 7 ルールで表現されている。これはファジィ推論のひとつの有効性を示すものである。

##### (5) 推計結果

このモデルを用いた交通量配分結果の代表的OD間の転換率推計値に関する相関図を図-8に示す。このモデルは基本的な2種のモデルと比較して、良好な推計結果を与えている。推計値・実績値間の相関係数の値も0.874となっており、1変数モデルと比較して改良がなされたといえる。これにはモデル説明変数の見直しによる改善も考えられる。

#### 4-4 ファジィ時間評価値を用いた検討

モデルの現実的改良という点からファジィ時間評価値を用いて検討を行う。さきの調査結果から人間認識では時間評価値そのものが分布をしており、平均的時間評価値をクリスプ数とすることはかならずしも妥当ではないと考えられる。まず第2章で得た結果から時間評価値をファジィ数として設定する(以下これを「ファジィ時間評価値」と呼ぶ)。また具体的検討には基本モデルを用いることにする。

料金額 $C$ をファジィ時間評価値 $R_f$ で除することにより料金相当時間(ファジィ数)を算出するが、具体的には拡張原理を用いてつぎのように計算される。

$$C/R_f = C / \{f\mu_{R_f}(x)/x\} = f\mu_{R_f}(x) / (C/x) \quad (22)$$

ここでは料金450円(=R)というクリスプ数を「50円程度」のファジィ時間評価値で除した場合の料金相当時間を示している。さらに時間比： $(t_1 + C/R)/t_2$ を求めた場合もファジィ数となる。したがって最終的には、ファジィ時間比の値を用いた推論を実行することになる。これは前件部での照合演算を図-9に示すように集合AとA'の一致程度(図中@)として求めることに相当する。この値@を得た後の推論手順は前述のものと全く同様である。このときの転換率の推計結果を図-10に示す。相関係数は0.796となり、基本モデルに比して若干の精度向上がみられる。これからファジィ変数導入による記述の精緻化とモデル改良が行われたといえる。

#### 5. おわりに

本研究は都市高速道路の交通需要推計において、基礎的な課題となる利用者の経路選択現象の記述に関してファジィ理論を用いた分析とモデル化を行った。まずファジィデルファイ法による調査を行い、

|                                            |                |
|--------------------------------------------|----------------|
| R-1 : IF $x_1$ is PS                       | THEN $y$ is PS |
| R-2 : IF $x_1$ is PM AND $x_2$ is PB       | THEN $y$ is PS |
| R-3 : IF $x_1$ is PM AND $x_2$ is PM       | THEN $y$ is PM |
| R-4 : IF $x_1$ is PB AND $x_2$ is PB       | THEN $y$ is PM |
| R-5 : IF $x_1$ is PM AND $x_2$ is PS       | THEN $y$ is PB |
| R-6 : IF $x_1$ is PB AND $x_2$ is PB       | THEN $y$ is PB |
| R-7 : IF $x_1$ is PB AND $x_2$ is PM       | THEN $y$ is PB |
| [note] $x_1$ :時間差, $x_2$ :単位距離料金, $y$ :転換率 |                |

図-7 改良モデルの推論ルール

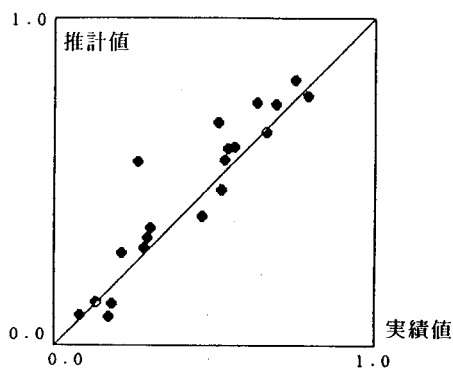


図-8 改良モデルによる推計結果

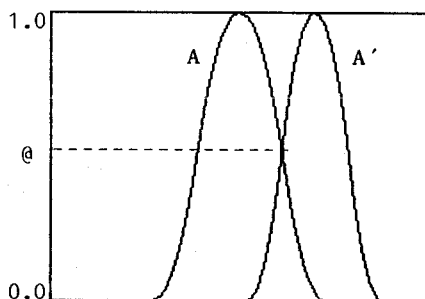


図-9 ファジィ時間評価値を用いた推論

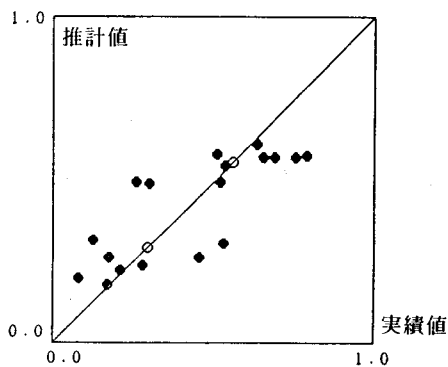


図-10  $R_f$ 値を用いた推計結果

料金要因のメンバシップ関数表現を試みた。

つぎにファジィ推論を用いた転換率推計モデルの構築を行った。ここではさきの調査結果を用いてモデル化を行いさらに阪神高速道路を対象とした交通量配分よりモデルの実用性を検討した。これらの検討より得られた成果を簡単にまとめる。

- ①ファジィ数表現に基づき、交通経路選択時の意識を定量的関数（メンバシップ関数）表現することにより計測・把握できることがわかった。これはその他の各種ファジィ量の抽出にも有効である。
- ②従来の数学モデル型の転換率推計に対して、ファジィ推論による選択行動の明示的記述が可能となった。またこの転換率推計モデルを交通量配分でのサブプログラムとして用いることで、柔軟性のある交通量推計モデルとすることができた。
- ③転換現象の把握という意味では、料金項を単純に時間換算するだけではなく、ファジィ時間価値あるいは単位料金として独立してモデル化した場合には、人間の判断により接近し妥当な推計結果が得られることがわかった。

すでに多くの研究分野で注目されファジィ理論の実用的、工学的な成果をあげている。本研究で示したようなファジィ理論の表現形式と人間認識の有機的関係に関する検討も重要となると考えられる<sup>11)</sup>。

最後に本研究における今後の課題について、2つの視点から述べることにする。

- ①都市高速道路の料金問題への適用面からみると、本研究の検討範囲においては具体的な吟味は不十分であり、たとえば料金圏設定、将来料金の決定などを交通量推計結果から考察を行うには至っていない。ここでを行った料金に関する各側面の基礎分析結果、基本的な交通量推計モデルの実用的検討を試みる必要がある。
- ②本研究では交通行動現象へのファジィ理論応用についての吟味を課題のひとつとしている。なかでも、ファジィ推論は現在のところ人間の推論記述という点から実用性の高い方法である。ここでは具体的に推論で用いる要因の重要性やメンバシップ関数を他に開発されたファジィ理論の各手法で補完している。交通選択行動ばかりでなく、各方面でのファジィ理論の適用を考えれば、ここで示したようなファジィ理論の各種方法の相互関連性と有効性に対して一層検討される必要がある。

最後に、本研究の計算等においては京都大学大学院宇野伸宏氏に御協力いただいた。またデータ収集と具体的な検討には阪神高速道路公団および（社）システム科学研究所に御協力いただいた。ここに記し感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 土木学会編：交通需要予測ハンドブック，2.5.3 都市高速道路計画，pp.315-320，技法堂出版，1981.
- 2) 北川久・太田勝敏：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) 木下栄蔵・佐佐木綱・平田卓：階層分析法による高速道路の交通経路選択特性の評価，高速道路と自動車，Vol.31，No.11，pp.16-24，1988.
- 4) A. Kaufmann & M.M. Gupta：Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science，Chapter 13 Fuzzy Delphi Method (F.D.M.) in Forecasting and Decision Making，pp.151-165，North-Holland，1988.
- 5) A. Kaufmann & M.M. Gupta：Introduction to Fuzzy Arithmetic，Theory and Applications，Van Nostrand Reinhold Company Inc.，1985.
- 6) 秋山孝正・佐佐木綱・宇野伸宏・有倉陽司：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.
- 7) 菅野道夫：ファジィ制御，日刊工業新聞社，1988.
- 8) 秋山孝正・佐佐木綱：ファジィ推論と交通行動の記述，交通工学，Vol.23，No.3，pp.21-27，1988.
- 9) 秋山孝正・佐佐木綱・有倉陽司：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，土木学会年次学術講演会講演概要集4，1989.
- 10) 水本雅晴：ファジィ理論とその応用，サイエンス社，1988.
- 11) 秋山孝正：ファジィ理論の土木計画分野における適用に関する整理と展望，土木学会論文集，第395号/IV-9，pp.23-32，1988.