非確定要因を考慮した通勤・通学交通手段選択ロジットモデル*

李 永†・田村 坦之†

Commute Travel Mode Choice Logit Model with Imprecision Explanatory Variable*

Bing Li† and Hiroyuki TAMURA†

This paper develops a commute travel mode choice logit model with imprecision explanatory variables to forecast commute travel demand. In traditional travel mode choice logit models, all variables are used in utility function as precision variables. Others, in many fuzzy travel mode choice models, only imprecision variables are used. They will decrease the accuracy of models estimated. In this paper, we deal with imprecision variables using fuzzy reasoning method, then use them and precision variables in utility function of logit model. Excellent correspondence was achieved between the results obtained from using the model and the real data. We also predict the impact of the policy change.

1. はじめに

交通は、衣・食・住と並んで日常生活と密接な関係を持っているものである。交通需要分析と予測は、交通計画の一つの大きな課題である。交通需要予測の一部分として、交通手段選択予測に関する研究も多数行われている。また、都市圏の交通に関する政策において、人々を自家用車から公共交通へシフトさせることは、大気汚染対策と交通渋滞対策という観点から常に重要な命題である [1]。高精度な交通手段選択予測モデルはこういう対策の策定には必要である。

既存の交通需要推計法は、大きく四段階推定法等の集計モデルと非集計モデルに分けられる。とくに、非集計モデルとして、ロジットモデル (Disaggregate Logit Model) やファジィ推論モデル (Fuzzy Reasoning Model) が多数研究されている。

四段階推定法は、理論的に明確であり、段階により順次予測し、前段階の予測値をコントロールトータルとして次段階に進むため、予測値が安定的に求まることなどの利点があり、60年代中期から日本の都市交通計画手法

のプロトタイプとなった。しかし、作業が大規模になり、集計化したデータでは個々の交通行動者の意思が明示的に現れにくく、政策変数が導入しにくいなどの欠点を持っている [2,3]。

非集計ロジットモデルは、個人の選択行動をランダム効用理論から導き出せる。この理論では、個人の行動主体が、最大効用を持つ選択肢を選ぶ。非集計ロジットモデルは、理論の背景が明確であるだけでなく、政策変化の影響分析もでき、予測作業が小規模になるなどの利点もある [4,5]。70年代から、非集計ロジットモデル (Disaggregate Logit Model) による交通需要と交通手段選択予測分析に関する研究が進められてきた [6-11]。

ファジィ集合理論 (Fuzzy Set Theory) は、主観性と不確実性を持つ問題を有効に処理できる方法であると考えられる [12]。この理論は、1965年にカリフォルニア大学のザデー (L. A. Zadeh) 教授 [13] が人間の主観的な思考や判断の過程をモデル化し、これを定量的に取り扱う表現手段として提唱したことに端を発する。80年代末期から、ファジィ集合理論とその技法の発展に伴って、多くの分野への応用研究を行っている [14,15]。日本の土木計画・交通計画の分野では、秋山ら [16-22] は、ファジィ推論による交通機関選択、経路選択などに関する研究も数多く行っている。

既存の非集計ロジットモデルによる交通手段選択に関

* 原稿受付 1999年11月16日

† 大阪大学 大学院 基礎工学研究科 Graduate School of Engineering Science, Osaka University; 1-3 Machikaneyama, Toyonaka, Osaka 560-8531, JAPAN

Key Words: logit model, commute travel mode choice, imprecision explanatory variable, fuzzy reasoning method.

する研究では、選択に影響を与える要因がすべて確定要因として、直接効用関数に用いられることがほとんどであった。また、既存のファジィ推論モデルによる交通手段選択に関する研究では、言語変数を持つ要因と非確定要因だけを採用し、確定要因を考えていないことも少なくない。

本研究では、従来の研究成果を踏まえ、非確定要因をファジィ推論法で処理し、確定要因と共に考慮し、非確定要因を考慮した通勤・通学交通手段選択ロジットモデルを構築する。そのモデルを使って、政策変化の通勤・通学交通手段選択への影響を量的に予測する。

2. モデルの説明変数の採択

モデルの説明変数は、個人の選択行動に影響を与えるおもな要因である。従来の交通手段選択に関する研究では、一般的に乗車時間、アクセス時間、運賃などのトリップ属性と勤務先の無料駐車場の有無（以下、駐車場の有無）、免許の有無などの個人社会経済属性を採用する。しかし、これらの要因は、確定要因と非確定要因に分けられる。確定要因は、説明変数として直接効用関数に用いられることができる。非確定要因は、言語変数値と非確定値を持つ要因で、説明変数として直接効用関数に用いると、モデルの予測精度が下がるようになる。また、確定要因を考えなく、言語変数値と非確定値を持つ要因だけを採用すると、モデルの予測精度も低くなる。モデルの予測精度を向上させるために、非確定要因を有効な方法で処理し、確定要因と共に考慮すべきである。また、自家用車で通勤・通学する人の利用する道路の混雑度（以下、道路の混雑度）は、自家用車で通勤・通学する人に精神や心理的な影響を与え、通勤・通学者の交通手段選択に影響を与えると考えられる。

従来の研究成果を参考にして、本研究では、通勤・通学者の交通手段選択に影響を与えるおもな要因として、下記のものを採用する。

公共交通：乗車時間、アクセス時間、運賃

自家用車：乗車時間、道路の混雑度、駐車場の有無

以上の要因については、公共交通運賃の値は、定期券から換算するもので、もちろん確定要因である。駐車場の有無も確実な値を持ち、確定要因であると考えられる。乗車時間とアクセス時間が、一般的に確定値ではなく、近似的な値を持っている要因であるので、非確定要因であると考えられる。たとえば、点AからBまでの実際乗車時間は27分であるが、通勤者は通常“約30分である”と答える。道路の混雑度は、混雑、空くなどの言語変数値を持っているので、非確定要因であることが分かった。選択肢別の非確定要因と確定要因をTable 1に示す。

モデルをより正確に構築するために、本研究では、モ

Table 1 Imprecision and precision factors of alternatives

Factor \ Alt.	Transit	Private car
Imprecision factors	1.Travel time 2.Access time	1.Travel time 2.Congestion of route
Precision factors	1.Fare 2.Constant	1.Park

デルの説明変数として、下記の要因を採用する。

公共交通：

1. 乗車時間とアクセス時間のダミー変数
2. 運賃
3. 選択肢固有定数

自家用車：

1. 乗車時間と道路の混雑度のダミー変数
2. 駐車場の有無

3. 非確定要因の処理

非確定要因を処理できる方法がいくつかある、ファジィ推論法は、論理構成を言語表現することで、比較的容易に非線形現象を記述し、非確定要因を有効に処理できる方法であり、各分野で多くの応用例が見られる。したがって、本研究では、公共交通乗車時間とアクセス時間のダミー変数および自家用車乗車時間と道路の混雑度のダミー変数は、3.1と3.2に紹介するファジィ推論法で求める。

3.1 公共交通乗車時間とアクセス時間の処理

ここでは、公共交通乗車時間 t_T とアクセス時間 t_W をファジィ推論の前件部変数、公共交通乗車時間とアクセス時間のダミー変数 d_T をファジィ推論の後件部変数として採用する。 t_T と t_W に対して、5種類と3種類の言語変数、 d_T に対して、7種類の言語変数を定義する。

t_T 、 t_W と d_T のファジィ集合は、下記のように定義する。

- TTVS $-t_T$ は非常に短い
- TTS $-t_T$ は短い
- TTM $-t_T$ は中くらい
- TTL $-t_T$ は長い
- TTVL $-t_T$ は非常に長い
- TWS $-t_W$ は短い
- TWM $-t_W$ は中くらい
- TWL $-t_W$ は長い
- DTVS $-d_T$ は非常に小さい
- DTS $-d_T$ は小さい
- DTMS $-d_T$ はやや小さい

DTM — d_T は中くらい
 DTML — d_T はやや大きい
 DTL — d_T は大きい
 DTVL — d_T は非常に大きい

各ファジィ集合のメンバーシップ関数は、Fig. 1, Fig. 2
 と Fig. 3 に示す。

Fig. 1 Membership function of the travel time for transit

Fig. 2 Membership function of the access time for transit

Fig. 3 Membership function of the dummy of travel time and access time for transit

ファジィルールは、ファジィ推論の前件部変数と後件部変数のファジィ関係を表すものである。本研究では、 t_T , t_W と d_T の関係を表すファジィルールが下記のように設定する。

R1:IF t_T =TTVS AND t_W =ANY

THEN d_T =DTVL

R2:IF t_T =TTS AND t_W =TWS

THEN d_T =DTL

R3:IF t_T =TTS AND t_W =TWM

THEN d_T =DTL

R4:IF t_T =TTS AND t_W =TWL

THEN d_T =DTML

R5:IF t_T =TTM AND t_W =TWS

THEN d_T =DTML

R6:IF t_T =TTM AND t_W =TWM

THEN d_T =DTM

R7:IF t_T =TTM AND t_W =TWL

THEN d_T =DTMS

R8:IF t_T =TTL AND t_W =TWS

THEN d_T =DTMS

R9:IF t_T =TTL AND t_W =TWM

THEN d_T =DTS

R10:IF t_T =TTL AND t_W =TWL

THEN d_T =DTS

R11:IF t_T =TTVL AND t_W =ANY

THEN d_T =DTVS

このファジィルールは、 t_T と t_W が短くなると、公共交通を利用する通勤・通学者の効用が増加し、 d_T は大きくなることを表す。

t_T と t_W の値は t_{T0} と t_{W0} に仮定すると、それぞれのメンバーシップ関数の適合度を得て、ファジィルールにより、後件部変数 d_T の適合度が計算できる。

たとえば、2 番目のファジィルールに対して、 t_{T0} と t_{W0} の適合度は、 $\mu_{TTS}(t_{T0})$, $\mu_{TWS}(t_{W0})$ になる。

複数の前件部変数の適合度は

$$\text{Min}\{\mu_{TTS}(t_{T0}), \mu_{TWS}(t_{W0})\} \quad (1)$$

である。

その後件部変数の適合度は次のようになる。

$$\mu_2(d_T) = \text{Min}\{\mu_{TTS}(t_{T0}), \mu_{TWS}(t_{W0}), \text{DTL}\} \quad (2)$$

すべてのファジィルールに対して、後件部変数 d_T の適合度の和が、(3) 式で求められる。

$$\mu(d_T) = \text{Max}\{\mu_1(d_T), \mu_2(d_T), \dots, \mu_{11}(d_T)\} \quad (3)$$

3.2 自家用車乗車時間と道路混雑度の処理

自家用車乗車時間 t_C 、道路の混雑度 c_R を、ファジィ推論の前件部として、自家用車乗車時間と道路の混雑度のダミー変数 d_C を、ファジィ推論の後件部として採用する。

t_C , c_R と d_C のファジィ集合は, 3.1と同じ, 5種類, 3種類と7種類の言語変数を定義し, 下記の通りである.

- TCVS $-t_C$ は非常に短い
 TCS $-t_C$ は短い
 TCM $-t_C$ は中くらい
 TCL $-t_C$ は長い
 TCVL $-t_C$ は非常に長い
 CRS $-c_R$ は非常に低い
 CRM $-c_R$ は普通
 CRL $-c_R$ は非常に高い
 DCVS $-d_C$ は非常に小さい
 DCS $-d_C$ は小さい
 DCMS $-d_C$ はやや小さい
 DCM $-d_C$ は中くらい
 DCML $-d_C$ はやや大きい
 DCL $-d_C$ は大きい
 DCVL $-d_C$ は非常に大きい

各ファジィ集合のメンバーシップ関数は, Fig. 4, Fig. 5とFig. 6に示す.

t_C , c_R と d_C の関係を表すファジィルールは, 下記の通りである.

- R1:IF $t_C=TCVS$ AND $c_R=ANY$
 THEN $d_C=DCVL$
 R2:IF $t_C=TCS$ AND $c_R=CRS$
 THEN $d_C=DCL$
 R3:IF $t_C=TCS$ AND $c_R=CRM$
 THEN $d_C=DCL$
 R4:IF $t_C=TCS$ AND $c_R=CRL$
 THEN $d_C=DCML$
 R5:IF $t_C=TCM$ AND $c_R=CRS$
 THEN $d_C=DCML$
 R6:IF $t_C=TCM$ AND $c_R=CRM$
 THEN $d_C=DCM$
 R7:IF $t_C=TCM$ AND $c_R=CRL$
 THEN $d_C=DCMS$
 R8:IF $t_C=TCL$ AND $c_R=CRS$
 THEN $d_C=DCMS$
 R9:IF $t_C=TCL$ AND $c_R=CRM$
 THEN $d_C=DCS$
 R10:IF $t_C=TCL$ AND $c_R=CRL$
 THEN $d_C=DCS$
 R11:IF $t_C=TCVL$ AND $c_R=ANY$
 THEN $d_C=DCVS$

後件部変数 d_C の適合度の和も (1)~(3) 式のように求められる. モデルの説明変数として, d_T と d_C の代表値 (非ファジィ値) を求める必要がある. 求める方法は, Min-

Fig. 4 Membership function of the travel time for car

Fig. 5 Membership function of the congestion of route

Fig. 6 Membership function of the dummy of travel time for car and congestion of route

Max-重心法, Product-Sum-重心法, 簡略推論法などいくつかの方法が提案され, どちらが望ましいかは一概にはいえない. 本研究では, 演算が単純で実用性に富むことから, ファジィ推論で最も広く使われている Min-Max-重心法を使って, 通勤・通学者の d_T と d_C を求める.

また, 計算しやすいために, 3.1と3.2に述べた各ファジィ集合のメンバーシップ関数の形状は, 三角形で設定される. ファジィルールの構成やメンバーシップ関数のパラメータ値は, 試行錯誤により決定する.

4. 非確定要因を考慮した通勤・通学交通手段選択ロジットモデル

3.で得られた二つのダミー変数 d_T と d_C および Table 1

に示した確定要因を使って、非確定要因を考慮した通勤・通学交通手段選択ロジットモデル (FL model) を構築する。このモデルは (4)~(8) 式に示される。

$$P_{T,n} = \frac{e^{V_T}}{e^{V_C} + e^{V_T}} \quad (4)$$

$$P_{C,n} = 1 - P_{T,n} \quad (5)$$

$$V_T = \beta_1 * d_T + \beta_2 * f_T + \beta_5 * Con \quad (6)$$

$$V_C = \beta_3 * d_C + \beta_4 * Park \quad (7)$$

$$S_i = \frac{1}{N_s} \left(\sum_{n=1}^{N_s} P_{i,n} \right) \quad (8)$$

ただし、

$P_{T,n}$ —個人 n の公共交通選択肢の選択確率

$P_{C,n}$ —個人 n の自家用車選択肢の選択確率

V_T —公共交通選択肢の効用関数

V_C —自家用車選択肢の効用関数

d_T —公共交通乗車時間とアクセス時間のダミー変数

d_C —自家用車乗車時間と道路の混雑度のダミー変数

f_T —公共交通選択肢の運賃

$Park$ —駐車場の有無

Con —選択肢の固有定数 ($Con=1$)

S_i —選択肢 i の分担率

N_s —サンプル数

$\beta_1 \sim \beta_5$ —パラメータ

5. アンケート調査とデータ

調査目的：交通需要予測に関する研究では、パーソントリップ調査 (PT 調査) データを用いるものが多いが、PT 調査には運賃、道路の混雑度などの項目が含まれていない。この二つの要因も通勤・通学者の選択に大きな影響を与えると考えられる。各要因が、通勤・通学者の交通手段選択に与える影響を調べるために、筆者らの研究室が 1994 年に公共交通と自家用車の通勤・通学交通手段選択に関するアンケート調査を行った。

調査対象と地域：調査対象地域は大阪府全域で、調査対象は府下に住んでいて、府内に通勤・通学する人である。

調査日時：調査日時は 1994 年 5 月である。

調査方法：調査票に返信用封筒を同封し郵送で配布・回収する。

調査項目：通勤・通学者の住所、通勤・通学地、自家用車の保有など通勤・通学者の属性のほか、実際利用した交通手段、公共交通運賃、乗換回数、駐車場の有無などを質問した。また、公共交通乗車時間、アクセス時間、自家用車乗車時間 (最大、中間、最小の 3 点の値)、道路の

混雑度 (非常に混雑、混雑、普通、空く、非常に空くの 5 点の値) も質問した。また、サンプル数は 287 である。本研究で提案したモデルの推定にこの調査のデータが利用された。

6. モデルの推定結果

前述のデータを基に、最尤推定法を用いて、各変数ごとのパラメータとその t 値を推定した。また、(8) 式を使って、各選択肢の分担率も計算した。FL モデルの推定結果は Table 2 に示す。

Table 2 Results of FL model

Explanatory variables	Parameter	t-statistic
d_T	1.5418	3.19
f_T	-0.0035	-1.96
d_C	2.1512	3.86
$Park$	1.6409	2.14
Con	5.3402	2.06

まず、パラメータの正当性を検討する。前に述べたように、公共交通乗車時間とアクセス時間が短くなると、そのダミー変数 d_T は大きくなり、公共交通を利用する通勤・通学者にとって、効用が増加するので、パラメータは正数であることは、正当性があると考えられる。

自家用車乗車時間が短くなり、道路の混雑度が低くなると、そのダミー変数 d_C の値は大きくなり、自家用車で通勤・通学する人にとって、効用が増えるので、パラメータの符号はプラスであるのは、正当性がある。

駐車場の有無については、駐車場があれば、自家用車での通勤・通学者の効用が増えるので、パラメータは正数であり、また公共交通の運賃が増加すると、公共交通を利用する通勤・通学者の効用を減らすので、パラメータの符号はマイナスであるのは、理論的に妥当である。

次にパラメータの安定性を考察する。公共交通運賃、駐車場の有無と選択肢固有定数の t 値がすべて 1.96 を超えているので、95 % 以上の信頼度で選択確率に影響を与え、公共交通乗車時間とアクセス時間のダミー変数および自家用車乗車時間と道路の混雑度のダミー変数の t 値は 2.58 を超えているので、99 % 以上の信頼度で選択確率に影響を与えると見なせる。

FL モデルと同じデータ (中間値を用いる) で構築した非集計ロジットモデル (BL model) で推定した選択肢別の分担率と的中率および国勢調査 (N.census) [23] の大阪府の実績データを Table 3 に示す。

非集計ロジットモデル (BL model) の推定結果を Table 4 に示す。

Table 3 Estimated share and real share

Share	FL model	BL model	N.census
transit	66.27%	72.13%	67.22%
private car	33.73%	27.87%	32.78%
Hit-ratio	86.75%	86.75%	

FL モデルで推定した公共交通と自家用車二つの交通手段の分担率は、それぞれ66.27%と33.73%であり、国勢調査の大阪府の結果とはほぼ同じである。的中率は、二つのモデルとも86.75%である。

Table 4 Results of BL model

Explanatory variables	Parameter	t-statistic
Transit travel time	- 0.135	- 3.34
Private car travel time	- 0.135	- 3.34
Transit fare	- 0.001	- 0.42
Access time	- 0.053	- 1.21
Congestion of route	1.312	2.11
Park	1.318	1.70
Constant	4.102	1.76

非集計モデルの評価については、一般的にパラメータの正当性、t 値および現況再現性を表す的中率で総合的に評価する。本研究では、パラメータの正当性、t 値、的中率と交通手段別の分担率から見て、BL モデルの結果および国勢調査の大阪府の実際の結果と比べて、FL モデルの予測精度が高いといえる。

7. 政策変化の影響分析

非確定要因を考慮した通勤・通学交通手段選択ロジットモデルは、政策変化の通勤・通学交通手段選択への影響を定性的に分析するだけでなく、量的に予測と分析することもできる。ここで、例として、下記の政策変化を仮想して、その通勤・通学交通手段選択への影響を予測する。

Case 1:ガソリン税の徴収による収入は、公共交通の運賃を下げるために使って、公共交通の運賃を5%下げる。

Case 2:ガソリン税の徴収による収入は、公共交通の運賃を下げるために使って、公共交通の運賃を10%下げる。

Case 3:ガソリン税の徴収による収入は、公共交通の運賃を下げるために使って、公共交通の運賃を15%下げる。

Case 4:新しい公共交通方式あるいは新技術の応用による公共交通の乗車時間を5%短縮する。

Case 5:新しい公共交通方式あるいは新技術の応用による公共交通の乗車時間を10%短縮する。

Case 6:新しい公共交通方式あるいは新技術の応用による公共交通の乗車時間を15%短縮する。

推定したモデルを用いて、Case 1~Case 6の各政策変化の通勤・通学交通手段選択への影響を予測した。予測した選択肢別の分担率および現状のまま (Case 0) の分担率を Table 5 に示す。

Table 5 Impact of policy change

	Share of transit	Share of private car
Case 0	66.27%	33.73%
Case 1	66.55%	33.45%
Case 2	66.76%	33.24%
Case 3	66.93%	33.07%
Case 4	67.00%	33.00%
Case 5	67.58%	32.42%
Case 6	67.95%	32.05%

予測の結果を見ると、Case 0 に比べて、いずれの政策変化によっても、公共交通選択肢の分担率が増加し、自家用車選択肢の分担率が減少することが分かった。運賃を下げる政策の効果より、乗車時間を短縮する政策の効果が良い。また、非確定要因を考慮した通勤・通学交通手段選択ロジットモデルを用いて、政策変化の交通手段選択への影響を量的に予測分析することができることも分かった。

8. おわりに

本研究では、従来の研究成果に基づき非確定要因を考慮した通勤・通学交通手段選択ロジットモデルを構築した。基本的な考え方は通勤時間、アクセス時間と道路の混雑度などの非確定要因をファジィ推論法で処理し、確定要因と共に考慮し、経済学のランダム効用理論により、非集計ロジットモデルを用いて、個人単位の通勤・通学交通行動をモデル化し、通勤・通学者の交通手段別の効用から個人単位の通勤・通学交通手段の選択確率を求める。推定したモデルにより、政策変化の交通手段選択への影響を分析することもできる。

この手法は、これまでよく使われるように非確定要因を直接効用関数に用いる方法と異なり、非確定要因をファジィ推論法で処理し、得られたダミー変数と確定要因を共に採用して、非確定要因を考慮した通勤・通学交通手

段選択ロジットモデルを構築する。構築したモデルを用いて、個人単位の選択肢別選択確率と選択肢別の分担率を計算する。非集計ロジットモデルの結果および国勢調査の大阪府の実際の結果と比べて、非確定要因を考慮した通勤・通学交通手段選択ロジットモデルの予測精度が高いといえる。この手法は他の選択問題に転用することも可能である。

参考文献

- [1] 吉田, 原田: 鉄道の路線・駅・結節交通手段選択を含む総合的な交通手段選択モデルの研究; 土木学会論文集, No. 542/IV-32, pp. 19 - 31 (1996)
- [2] 山形, 森地: 新体系土木工学 60 交通計画, 土木学会 (編) (1993)
- [3] 北村: 交通需要予測の課題: 次世代手法の構築にむけて; 土木学会論文集, No. 530/IV-30, pp. 17 - 30 (1996)
- [4] 内山: やさしい非集計分析, 交通工学研究会 (編) (1993)
- [5] J. S. Cramer: The logit model: an introduction for economists; *Routledge*, Chapman and Hall Inc. (1991)
- [6] 秋山, 佐々木: 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 (1989)
- [7] B. D. Spear: Application of new travel demand forecasting techniques to transportation planning — A study of individual choice models; U. S. DOT (1977)
- [8] 佐野, 三島, 越正, 家田: 都市内物流における貨物車選択モデルの構築とその応用; 土木計画学研究・論文集, No. 12, pp. 501 - 509 (1995)
- [9] 森川, 佐々木: 主観的要因を考慮した非集計離散型選択モデル; 土木学会論文集, No. 470/IV-20, pp. 115 - 124 (1993)
- [10] 伊藤, 池之上, 安井: 都市内トリップにおける経路選択行動のモデル化について; 土木計画学研究・論文集, No. 12, pp. 485 - 491 (1995)
- [11] 杉恵, 藤原, 小笹: 選好意識パネルデータを用いた交通機関選択モデルの予測精度; 土木学会論文集, No. 576/IV-37, pp. 11 - 22 (1997)
- [12] 中島, 竹田, 石井: 社会科学の数理 ファジィ理論入門, 裳華房 (1994)
- [13] 木下: 意思決定論入門—基礎からファジィ理論まで, 近代科学社 (1993)
- [14] D. Teodorovic and M. kalic: A fuzzy route choice model for air transportation networks; *Transportation Planning and Technology*, Vol. 19, pp. 109 - 119 (1995)
- [15] T. Lotan and H. N. Koutsopoulos: Model for route choice behavior in the presence of information using concepts from fuzzy set theory and approximate reasoning; *Transportation*, Vol. 20, pp. 129 - 155 (1993)
- [16] 秋山, 召口, 佐々木: 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; 土木計画学研究・論文集, No. 8, pp. 185 - 192 (1990)
- [17] 秋山: ファジィ理論を用いた道路交通流解析; 土木計画学研究・論文集, No. 11, pp. 13 - 28 (1993)
- [18] 秋山: 知識利用型の経路選択モデル化手法; 土木計画学研究・論文集, No. 11, pp. 65 - 72 (1993)
- [19] 秋山, 安藤: 多段ファジィ推論を用いた経路選択モデルの作成; 第11回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 551 - 554 (1995)
- [20] 秋山, 坪井: ファジィ推論による経路選択モデルを利用した交通流動の解析; 第12回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 697 - 698 (1996)
- [21] 水谷, 秋山: ファジィ推論の時空間制約下の交通行動記述への応用; 第14回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 831 - 832 (1998)
- [22] 秋山, 高羽, 水谷: ナビゲーションのためのファジィ交通行動分析; 日本ファジィ学会誌, Vol. 11, No. 2, pp. 205 - 214 (1999)
- [23] 平成二年 国勢調査報告, 第六巻, その2, 27. 大阪府, 総務庁統計局 (1990)