論文

都市通勤・通学交通のモーダルシフト政策による CO₂排出量削減効果の推定[†]

李 氷*・田村 坦之**

本論文では、都市通勤・通学交通のモーダルシフト政策による CO₂排出量予測モデルを構築する。このモデルは、「通勤・通学者数予測モデル」、「ファジィ推論を用いた通勤・通学交通手段選択モデル」と「CO₂排出量推計式」の三つのモデルから構成する。このモデルを用いて、交通に伴う CO₂排出量を削減する政策の一つとして、通勤・通学者の交通手段を自家用車から公共交通にシフトさせる政策による CO₂排出量の削減効果を予測した。

キーワード：通勤・通学交通，ニューラルネットワーク，交通手段選択，ファジィ推論，CO₂排出量予測

1. はじめに

近年自動車の急増に伴い、大都市における交通渋滞と温暖化などの問題は、ますます深刻になってきた。大都市において、自動車交通における交通渋滞は慢性化し、温室効果ガス発生の大きな要因となっている。日本の CO₂全体排出量に対して、自動車による CO₂の排出量が約18%を占め、交通渋滞と温暖化問題に大きな影響を与えている。交通渋滞緩和と温暖化問題軽減のために、新たな道路を建設する対策や最適な道路網を構築するなどの対策が数多く提案されているが、絶対的な自動車の需要量が多いので、現実的には、これらの対策はあまり功を奏さない。長期的の観点から見て、交通手段選択予測によって、個人の交通手段選択を自家用車から公共交通に誘導するような政策を策定することは、交通渋滞緩和と温暖化問題軽減のための一つの実用的な方法である。

本論文では、都市通勤・通学交通のモーダルシフト政策による CO₂排出量の削減効果を評価するために、都市通勤・通学交通のモーダルシフト政策による CO₂排出量予測モデル(以下 CO₂排出量予測モデル)を構築する。更にこのモデルを用いて、通勤・通学者の交通手段を自家用車から公共交通にシフトさせる政策による CO₂排出量の削減効果予測を評価する。

本論文の構成については、まず1.で研究の背景と必要性および既存の研究の現状を簡潔的に述べる。2.で既存の CO₂排出量予測に関する研究を考慮し、CO₂排出量予測モデルを構築する。3.では、2.で構築した CO₂排出量予測モデルを用いて、通勤・通学者の交通手段を自家用車から公共交通にシフトさせる政策による CO₂排出量の削減効果をシミュレーションする。4.では得られた成果と今後の課題について述べる。

2. CO₂排出量予測モデルの構築

都市通勤・通学交通による CO₂排出量は、主に通勤・通学者数と自家用車の分担率に関連するものである。本節では、既存の CO₂排出量予測に関する研究を考慮し、CO₂排出量予測モデルを構築する。このモデルは、「通勤・通学者数予測モデル」、「ファジィ推論を用いた通勤・通学交通手段選択モデル」と「CO₂排出量推計式」の三つの部分から構成する。モデルの構成を図1.に示す。

図1. 都市通勤・通学交通のモーダルシフト政策による CO₂排出量予測モデルの構成

[†] Estimation of Reduction in CO₂ Emission by Modal Shift Policy in Urban Commute Travel
Bing LI・Hiroyuki TAMURA

* 龍高ネットワーク株式会社システム開発部
Department of system development, Dragon Network Corporation

** 大阪大学 大学院基礎工学研究科
Graduate School of Engineering Science, Osaka University

2.1 通勤・通学者数予測モデル

都市における通勤・通学者数は、都市の総人口と経済発展水準を代表する総生産で説明できると考える。本節では、モデルの説明変数と被説明変数として、総人口、総生産と通勤・通学者数を採用し、大阪府の時系列データを用いて、通勤・通学者数予測モデルを構築する。このモデルを用いて、2010年まで大阪府下各年度の通勤・通学者数を予測する。

通勤・通学者数の予測手法については、一般的に月間、年間など時系列変動の長期傾向予測に関する研究では、線形重回帰分析手法を用いる例が多い。しかし、実際には通勤・通学者数が、総人口および総生産と線形の関係ではなく、非線形の関係を持つと考えられる。

一方、ニューラルネットワーク(Neural Network)は、人間の脳神経細胞を模擬して、入力と出力の非線形関係を良く表現できる情報処理モデルである。1986年に D. E. Rumelhart ら⁸⁾が提案した誤差逆伝播(Error Back Propagation, BP)学習型のニューラルネットワークに始まり、数多くの分野への応用研究^{9)~11)}が行われている。

本節では、図2.に示すような入力層ニューロン数2、中間層ニューロン数4、出力層ニューロン数1の三層ニューラルネットワーク構造を用いて、通勤・通学者数予測モデルを構築する。

入力層の各ニューロンは、外部からの入力信号を受け取って、そのまま出力する。中間層と出力層各ニューロンの入力の総和は、結合しているすべての入力層あるいは中間層の出力ベクトル $\mathbf{x}$ とその結合荷重ベクトル $\mathbf{w}$ の積和 $\sum \mathbf{w} \mathbf{x}$ で与える。 $\sum \mathbf{w} \mathbf{x}$ がニューロンのしきい値 θ を超えると、ニューロンの出力信号は、式(1)に表すようなロジスティック関数(Logistic function)により出力する。

$$f(\sum \mathbf{w} \mathbf{x} - \theta) = 1 / (1 + e^{-(\sum \mathbf{w} \mathbf{x} - \theta)}) \quad (1)$$

図2. 通勤・通学者数予測モデルの構造

結合荷重は、誤差逆伝播法を用いて、2乗誤差の総和を減少させるように学習する。学習率は0.5で設定する。また、入力層と出力層のニューロン数は、それぞれ説明変数と被説明変数の数によって決定し、中間層数とそのニューロンの数は、試行錯誤により決定する。

モデルの推定については、1975年から1994年まで大阪府の時系列データ^{12)~16)}を用いた。学習回数は600回、2乗誤差の総和は0.001、平均相対誤差は0.02となっており、十分な予測精度が得られたと言える。

このモデルを用いて、2010年までの大阪府下通勤・通学者数を予測した。通勤・通学者数の予測値と実測値を図3.に示す。

2.2 ファジィ推論を用いた通勤・通学交通手段選択モデル

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数多く行われていた。また、都市間の交通に関する政策において、個人を自家用車から公共交通へシフトさせることは、CO₂削減対策という観点から常に重要な命題である。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。

従来の交通需要推定法は、大きく四段階推定法という集計モデルと非集計モデルに分けられる。特に、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)に関する研究が数多く行われている。

四段階推定法は、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、交通行動の背後にある複雑な意思決定メカニズムを、最も重要と思われる要因・関係のみを抽出することにより簡略に表現し、実用的な需要予測システムを作り上げてい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

図3. 通勤・通学者数の予測値と実測値

法のプロトタイプとなった。同時に、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^{17),18)}。

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り、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がある^{19),20)}。70年代から、非集計ロジットモデルによる交通需要と交通手段選択予測に関する研究が進められてきた^{21)~24)}。

実際は選択という行為が一種の意思決定プロセスである。意思決定プロセスには、主観性と不確実性を含むことが多い。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²⁵⁾。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²⁶⁾。1970年代中期から、ファジィ集合理論は各方面に影響を及ぼしていった。1980年代から、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^{27),28)}。日本の土木計画・交通計画の分野では、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^{29)~35)}も数多く行っている。

本節では、従来の研究成果を踏まえ、著者らの研究室が1994年に行った公共交通と自家用車の二肢通勤・通学交通手段選択に関するアンケート調査データに基づいて、ファジィ推論を用いた通勤・通学交通手段選択モデルを構築する。公共交通機関として、鉄道とバス二つの交通手段が考えられ、乗車時間と運賃は、それぞれ合計したものである。通勤・通学者の交通手段選択に影響を与える主な要因として、公共交通と自家用車の乗車時間差、公共交通運賃と道路の混雑度を採用する。公共交通と自家用車の乗車時間は、実際はクリスプな値であるが、アンケート結果に記述された値には調査を受ける者のあいまい性が作用しているため、ファジィ性のある要因として考えられる。例えば、点AからBまでの実際乗車時間は28分であるが、通勤者は通常“30分くらい”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ため、主観的要因であることが分かった。公共交通の運賃が、一般的に定期券から換算するもので、確実な値を持つ要因であるが、同じ運賃に対して、通勤・通学者によりそれに対する評価は違うわけである。例えば、通勤・通学者*i*に対して、ある運賃は高いが、通勤・通学者*j*に

対して、それは安いかもしれない²⁷⁾。

ここで、公共交通と自家用車の乗車時間差 t 、公共交通運賃 f_T 、道路の混雑度 c_R をファジィ推論の前件部変数、通勤・通学者の公共交通選択確率 P_T をファジィ推論の後件部変数として採用する。 t 、 f_T 、と c_R に対して3種類、 P_T に対して5種類のファジィ集合を定義する。それぞれのファジィ集合は、下記のように定義する。

TNB- t はマイナスで大きい

TZ - t はゼロ

TPB- t はプラスで大きい

FTS - f_T は安い

FTM- f_T は中くらい

FTB - f_T は高い

CRS - c_R は小さい

CRM- c_R は中くらい

CRB - c_R は大きい

VS - P_T は非常に小さい

S - P_T は小さい

M - P_T は中くらい

B - P_T は大きい

VB - P_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を、図4.~図7.に示す。

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。本論文に用いたファジィルールは、 t 、 f_T 、 c_R と P_T のファジィ関係を表現し、下記のように設定する。

R1 : IF t =TNB AND f_T =FTS AND c_R =ANY
THEN P_T =VB

R2 : IF t =TNB AND f_T =FTM AND c_R =ANY
THEN P_T =VB

R3 : IF t =TNB AND f_T =FTB AND c_R =CRB
THEN P_T =B

R4 : IF t =TNB AND f_T =FTB AND c_R =CRM
THEN P_T =M

R5 : IF t =TNB AND f_T =FTB AND c_R =CRS
THEN P_T =M

R6 : IF t =TZ AND f_T =FTS AND c_R =CRB
THEN P_T =B

R7 : IF t =TZ AND f_T =FTS AND c_R =CRM
THEN P_T =B

R8 : IF t =TZ AND f_T =FTS AND c_R =CRS
THEN P_T =M

R9 : IF t =TZ AND f_T =FTM AND c_R =CRB
THEN P_T =B

R10 : IF t =TZ AND f_T =FTM AND c_R =CRM

THEN $P_T = M$

R11: IF $t = TZ$ AND $f_T = FTM$ AND $c_R = CRS$
THEN $P_T = S$

R12: IF $t = TZ$ AND $f_T = FTB$ AND $c_R = CRB$
THEN $P_T = M$

R13: IF $t = TZ$ AND $f_T = FTB$ AND $c_R = CRM$
THEN $P_T = S$

R14: IF $t = TZ$ AND $f_T = FTB$ AND $c_R = CRS$
THEN $P_T = S$

R15: IF $t = TPB$ AND $f_T = FTS$ AND $c_R = CRB$
THEN $P_T = M$

R16: IF $t = TPB$ AND $f_T = FTS$ AND $c_R = CRM$
THEN $P_T = M$

R17: IF $t = TPB$ AND $f_T = FTS$ AND $c_R = CRS$
THEN $P_T = S$

R18: IF $t = TPB$ AND $f_T = FTM$ AND $c_R = ANY$
THEN $P_T = VS$

R19: IF $t = TPB$ AND $f_T = FTB$ AND $c_R = ANY$
THEN $P_T = VS$

計算を容易にするために、図4.～図7.に示す各ファジィ集合のメンバーシップ関数は三角型で設定され、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。

t , f_T と c_R の入力値は t_0 , f_{T0} と c_{R0} で仮定すると、それぞれのメンバーシップ関数のグレードを得て、前述したファジィルールにより、公共交通の選択確率 P_T が計算できる。

例えば、4番目のファジィルールに対して、 t_0 , f_{T0} と c_{R0} のメンバーシップ関数のグレードは、 $\mu_{TNB}(t_0)$, $\mu_{FTB}(f_{T0})$ と $\mu_{CRM}(c_{R0})$ になる。

複数の前件部のグレードは

$$\text{Min}\{\mu_{TNB}(t_0), \mu_{FTB}(f_{T0}), \mu_{CRM}(c_{R0})\} \quad (2)$$

である。

その後件部のグレードは、式(3)になる。

$$\mu_1(P_T) = \text{Min}\{\mu_{TNB}(t_0), \mu_{FTB}(f_{T0}), \mu_{CRM}(c_{R0}), M\} \quad (3)$$

すべてのファジィルールに対して、後件部のグレードの和 $\mu(P_T)$ が、式(4)で求められる。

$$\mu(P_T) = \text{Max}\{\mu_1(P_T), \mu_2(P_T), \dots, \mu_{19}(P_T)\} \quad (4)$$

公共交通選択確率 P_{T0} を求める方法は、Min-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言えない。本論文では、演算が単純で実用性に富むこと

図4. 通勤時間差のファジィ集合

図5. 公共交通運賃のファジィ集合

図6. 道路混雑度のファジィ集合

図7. 公共交通選択確率のファジィ集合

表 1 各モデルの平均相対誤差と的中率

	FR モデル	BL モデル
平均相対誤差	0.108	0.229
的中率	89.16%	86.75%

表 2 予測した分担率と実際の分担率

	FR モデル	BL モデル	実際分担率
公共交通	65.01%	72.13%	67.22%
自家用車	34.99%	27.87%	32.78%

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・通学者の公共交通選択確率 P_{T0} を求める。計算式は、式 (5) である。

$$P_{T0} = \int \mu(P_T) \cdot P_T \cdot d(P_T) / \int \mu(P_T) \cdot d(P_T) \quad (5)$$

通勤・通学者の自家用車選択確率 P_{C0} は、式 (6) で計算できる。

$$P_{C0} = 1 - P_{T0} \quad (6)$$

モデルの推定には、前述した公共交通と自家用車二肢通勤・通学交通手段に関する調査データを用いる。調査対象地域は大阪府全域であり、調査対象は府下に住んでいて、自家用車を保有し、府内に通勤・通学する人々であり、調査日時は1994年である。調査の方法は、代表的な調査方法の一つのアンケート郵送調査を用いる。調査の項目は、通勤・通学者の性別、自家用車の保有など通勤・通学者の属性のほか、公共交通乗車時間、運賃、徒歩時間、自家用車乗車時間、勤務先の駐車場有無、自家用車を利用する時道路の混雑度及び実際利用した交通手段なども質問した。有効なサンプル数は287である。

推定結果については、ファジィ推論を用いた通勤・通学交通手段選択モデル(以下 FR モデル)の平均相対誤差と的中率を表 1 に示す。また、同じ説明変数の数とデータで推定した二肢ロジットモデル(以下 BL モデル)の平均相対誤差と的中率も表 1 に含む。

各モデルで予測した通勤・通学交通手段別の分担率と国勢調査報告³⁶⁾において大阪府の実際の分担率を表 2 に示す。

表 1 と表 2 に示した結果を見ると、FR モデルは、交通需要予測によく使われる BL モデルより、予測誤差が小さくなることが分かった。

2.3 CO₂排出量推計式

自動車交通によるエネルギー消費量は、自動車の走

行距離と自動車のエネルギー原単位によって決定される。本節では、大阪府下の平均通勤・通学時間³⁶⁾と平均車速³⁷⁾を用いて、通勤・通学の平均走行距離を計算する。また、年間の通勤・通学日は250日を仮定すると、自家用車のエネルギー原単位は557kcal/人・km³⁸⁾であることによって、一人一年通勤・通学交通エネルギー消費量は、式 (7) で計算できる。

$$E = 250 \cdot 557 \cdot t \cdot v = 139250 \cdot t \cdot v \quad (7)$$

ここで、

E : 一人一年あたり通勤・通学交通エネルギー消費量(kcal/人・年)

t : 一人一日の平均通勤・通学時間(h)

v : 自家用車の平均車速(km/h)

一方、自動車の燃料はガソリン、軽油、LGP(液化石油ガス)等があるが、自家用車の燃料は主にガソリンであると考えられる。ガソリン 1 kg の発熱量は10531kcal に相当し、1 kg のガソリン燃焼は約0.8kg の炭素を排出する。それにより、CO₂排出量の推計は、式 (8) のようになる。

$$C = 0.076 \cdot E \quad (8)$$

ここで、

C : 一人一年あたり通勤・通学交通による炭素排出量(g/人・年)

公共交通の CO₂排出量については、鉄道とバスが大量輸送機関であり、自家用車に比べて、輸送人数の増加により、一人あたりの CO₂排出量の変化量は少ないと考えられるため、本論文で、公共交通の CO₂排出量の変化が考慮されない。

3. 政策の影響分析

2. で構築したモデルを用いて、下記の仮想政策により、大阪府下通勤・通学交通による一人一年あたり CO₂ 排出量の削減効果をシミュレーションする。

政策 1 : ガソリン税の徴収による収入の一部は、公共交通運賃を下げるために使って、公共交通運賃を下げる。

政策 2 : 公共交通の増設(鉄道新線建設または延長、一台あたりの輸送能力の増加)または新技術応用による公共交通の所要時間を短縮させる。

3.1 公共交通運賃の値引き

ガソリン税は、ガソリンに発熱量当たりの CO₂ 排出量に比例する税をかけることによって、CO₂ の排出量を削減することが期待でき、西欧の一部の国で採用して

図8. 公共交通運賃値引きの効果

図9. 公共交通乗車時間短縮の効果

いる³⁹⁾。ガソリン税導入の目的は、主に価格メカニズムによって、個人の交通手段をCO₂の発生の少ない交通機関に転換させることによる排出削減と汚染者負担原則(Pollution Pays Principle)に基づく環境改善目的財源の調達である。

ガソリン税の徴収による収入は、公共交通運賃を下げるために使用して、公共交通運賃を下げることを、自家用車利用を公共輸送機関に誘導する施策の一つとして考える。ここで、ガソリン税の徴収により公共交通運賃を下げる場合のCO₂排出量の削減効果を調べる。

図8.は、ガソリン税の徴収による収入を、公共交通運賃を下げるために使って、公共交通運賃を35%まで下げることに伴い、通勤・通学交通の一人一年あたりCO₂排出量の変化を表現する。公共交通運賃を下げると、通勤・通学交通によるCO₂排出量が軽減できることが分かった。また、現状のままの場合に比べて、公共交通運賃を15%と25%下げる時、一人一年あたりCO₂排出量は、それぞれ4.88%と7.31%減少することが分かった。

3.2 公共交通乗車時間の短縮

公共交通の増設と新技術応用により、公共交通通勤・通学所要時間を短縮することも、個人の通勤・通学交通手段選択を自家用車から公共交通にシフトさせ、CO₂排出量を削減する一つの対策となる。次に、公共交通の増設または新技術応用により公共交通乗車時間を25%まで短縮する効果をシミュレーションした。

図9.により、現状のままに対して、公共交通乗車時間を短縮することによって、通勤・通学交通による一人一年あたりCO₂排出量を減少させることが分かった。

また、政策1の場合、公共交通運賃を35%まで5%ごとで下げると、自家用車利用者の公共交通への転換率は、それぞれ1.9%, 3.67%, 5.0%, 6.21%, 7.31%, 8.2%, 8.97%である。政策2の場合、公共交通乗車時間を25%まで5%ごとで短縮すると、自家用車利用者がそれぞれ2.0%, 3.8%, 5.4%, 6.4%, 7.4%公共交通に変更する。二つの政策のCO₂排出量削減効果はほぼ同じであるといえる。

4. おわりに

本論文の目的は、要因のあいまい性を考慮した通勤・通学交通手段選択モデリング手法を導入することにより、通勤・通学交通手段選択モデルを構築することとそのCO₂排出量の削減効果予測への応用においての予測精度を向上することにあった。

本論文では、「通勤・通学者数予測モデル」、「ファジィ推論を用いた通勤・通学交通手段選択モデル」と「CO₂排出量推計式」の三つの部分から構成する都市通勤・通学交通のモーダルシフト政策によるCO₂排出量予測モデルを構築した。さらに、構築したモデルを用いて、都市通勤・通学交通によるCO₂排出量の削減効果予測を行った。

本論文で得られた成果を以下に述べる。

- (1) 2乗誤差総和と平均相対誤差から見て、通勤・通学者数予測モデルの予測精度が高いことが言える。
- (2) モデルの評価指標(平均相対誤差, 的中率と分担率)および国勢調査の大阪府のデータから見て、従来の通勤・通学交通手段選択ロジットモデルより、同じ説明変数とデータで推定したファジィ推論を用いた通勤・通学交通手段選択モデルの予測精度が高いことが分かった。
- (3) 通勤・通学者数予測モデルとファジィ推論を用いた通勤・通学交通手段選択モデルの評価指標によって、都市通勤・通学交通のモーダルシフト政策によるCO₂排出量予測モデルは、十分な現況再現性を持つことが確認された。
- (4) ファジィ推論を用いた通勤・通学交通手段選択モ

デルは、交通に関する政策変化の通勤・通学交通手段選択への影響を量的に予測することができることが分かった。

- (5) 現状のままに対して、ガソリン税の徴収による公共交通運賃の値下げと公共交通の増設/新技術の応用による公共交通乗車時間の短縮、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、CO₂排出量を減少させることが分かった。
- (6) ガソリン税の徴収による公共交通運賃の値下げおよび公共交通増設/新技術応用による公共交通所要時間の短縮という交通に関する政策は、個人の通勤・通学交通手段選択を自家用車から公共交通にシフトさせ、CO₂排出量を削減する有効な対策であることも分かった。

今後の課題としては、

- (1) 通勤・通学者数予測モデルにおいては、予測される都市の長期的な通勤・通学者数実績データを用いて、モデルの予測精度を上げること
 - (2) メンバシップ関数のパラメータ値の決定およびファジィルールの構成方法を検討し、ファジィ推論を用いた通勤・通学交通手段選択モデルを評価すること
- などが挙げられる。

参 考 文 献

- 1) 森口祐一, 西岡秀三, 清水浩: 広域的な道路交通公害対策による環境改善効果の予測システムの開発, 土木計画学研究・論文集, No.11, pp.279-286, 1993
- 2) T. Sterner, C. Dahl, M. Franzen: Gasoline Tax Policy, Carbon Emission and the Global Environment, Journal of Transport Economics and Policy, pp.109-119, May 1992
- 3) 松岡譲, 森田恒幸, 甲斐沼美紀子, 水野健太: わが国における二酸化炭素排出量の見通しとその抑制対策の効果について, 土木学会論文集, No.580/VII-5, pp.27-36, 1997
- 4) 林良嗣, 加藤博和, 木本仁, 菅原敏文: 都市旅客交通のモーダルシフト政策に伴う CO₂排出量削減効果の推計, 土木計画学研究・論文集, No.12, pp.277-282, 1995
- 5) 大野栄治, 森杉壽芳, 高木真志, 鈴木慎治: ディーゼル車抑制策による大気汚染物質の削減効果, 環境科学会誌10(1), pp.29-37, 1997
- 6) G. J. Koopman: Policy to reduce CO₂ Emissions from Cars in Europe, Journal of Transport Economics and Policy, pp.53-70, January 1995
- 7) 吉田朗, 原田昇: 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
- 8) D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, R. J. Williams: Learning Representations by Backpropagating Errors, Nature, 323(9), pp.533-536, 1986
- 9) M. D. Carvalho, M. Dougherty, A. Fowkes and M. Wardman: Forecasting Travel Demand: A Comparison of Logit and Artificial Neural Network Methods, Journal of the Operational Research Society, pp.717-722, 1998
- 10) 秋山孝正, 高羽俊光, 水谷香織: 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. 49, No.2, pp.205-214, 1999
- 11) 麻生英樹: ニューラルネットワーク情報処理, 産業図書, 1988
- 12) 大阪府企画調整部統計科: 大阪府統計年鑑, 大阪府統計協会, 1995
- 13) 大阪府企画調整部統計科: 平成7年度大阪府民経済計算, 大阪府統計協会, 1995
- 14) 市町村の将来人口, (財)日本統計協会, 1998
- 15) 第24回中期経済予測, 日本統計研究センター, 1999
- 16) 長期経済予測, 日本統計研究センター, 1999
- 17) 山形耕一, 森地茂: 新体系土木工学60交通計画, 土木学会編, 1993
- 18) 北村隆一: 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
- 19) 内山久雄: やさしい非集計分析, 交通工学会, 1993
- 20) J. S. Cramer: The Logit Model: An Introduction For Routledge, Chapman and Hall Inc., 1991
- 21) 佐野可寸志, 三島大輔, 越正毅, 家田仁: 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
- 22) 森川高行, 佐々木邦明: 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
- 23) 伊藤融, 池之上慶一郎, 安井一彦: 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
- 24) 杉恵頼寧, 藤原章正, 小笹俊成: 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
- 25) 中島信之: ファジィ理論入門, 株式会社裳華房, 1994
- 26) 木下栄蔵: 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
- 27) D. Teodorovic, M.Kalic: A Fuzzy Route Choice Model for Air Transportation Networks, Transportation Planning and Technology, Vol.91, pp.109-124, 1995
- 28) 秋山孝正: ファジィ理論による経路選択行動のモデル化, 10th Fuzzy System Symposium, pp.723-726, 1994
- 29) 秋山孝正, 邵春福, 佐々木綱: 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
- 30) 秋山孝正: 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
- 31) 秋山孝正: 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
- 32) 秋山孝正, 安藤彰記: 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

- 33) 秋山孝正, 坪井兵太: 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
- 34) 水谷香織, 秋山孝正: 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
- 35) 秋山孝正, 高羽俊光, 水谷香織: 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, No2, pp.205-214, 1999
- 36) 平成七年 国勢調査報告, 第六巻, その2, 27, 大阪府, 総務庁統計局, 1995
- 37) 斎藤武雄: 地球と都市の温暖化人類は地球の危機を救える?, 森北出版株式会社, 1996
- 38) 日本エネルギー経済研究所計量分析部編: エネルギー経

済統計要覧, 財団法人省エネルギーセンター
39) 地球温暖化日本はどうなる?, 環境庁地球環境部, 1997

(2000年1月20日 受付)
(2001年10月16日 採録)

[連絡先]

263 Congressional Lane, Apt. 207 Rockville, MD 20852 USA

Bing Li

TEL: +1-240-221-0849

FAX: +1-240-221-0849

E-mail: Bingli1961@hotmail.com

—— 著 者 紹 介 ——

李 氷 り ひょう [非会員]

1982年9月 中国沈陽工業大学電気系学士課程卒業。同年9月～1986年8月 中国国营第321工場勤務。1986年9月～1988年8月 中国沈陽化学工業大学自動制御系助手。1988年9月 中国東北大学大学院自動制御系システム工学科修士課程入学。1991年3月 同大学修士課程卒業。同年4月 同大学自動制御系講師。1996年4月 大阪大学基礎工学部システム科学科研究生。1997年4月 大阪大学大学院基礎工学研究科システム人間系専攻博士課程入学。2000年3月 博士課程単位取得。2000年4月 龍高ネットワーク株式会社勤務。現在に至る。2001年3月 工学博士(大阪大学)。交通需要予測とその公共交通政策評価への応用に従事。

田村 坦之 たむら ひろゆき [正会員]

1940年3月生。1964年3月 大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。同年4月から1971年9月まで三菱電機(中央研究所勤務。同年10月 大阪大学工学部助教授, 1987年8月 同教授, 1993年4月 基礎工学部教授, 1997年4月 大学院基礎工学研究科教授, 現在に至る。その間1966年～1968年 米国スタンフォード大学大学院 Engineering-Economic Systems 学科に留学, 1972年～1973年 英国ケンブリッジ大学客員研究員。システム計画論とその生産システム・公共システムへの応用に関する研究に従事。工学博士。日本OR学会, 計測自動制御学会, システム制御情報学会, 環境経済・政策学会, IEEE, INFORMS, SRAなどの会員。

Estimation of Reduction in CO₂ Emission by Modal Shift Policy in Urban Commute Travel

by

Bing LI · Hiroyuki TAMURA

Abstract :

In this paper, we develop a model for forecasting the amount of carbon dioxide emission due to the traffic of urban commuters and students. The model consists of three sub-models: a sub-model for estimating the number of commuters and students, commuter modal choice sub-model with fuzzy reasoning and a sub-model for estimating the amount of carbon dioxide emission. Using this model, we analyze and predict the effect of policies to shift the commuters' travel mode from private car to public transportation for decreasing amount of carbon dioxide emission.

Keyword : Commute travel, Neural network, Modal choice, Fuzzy reasoning, CO₂ emission forecasting

Contact Address : **Bing Li**

263 Congressional Lane, Apt. 207, Rockville, MD 20852, USA

TEL : +1-240-221-0849

FAX : +1-240-221-0849

E-mail : Bingli1961@hotmail.com