

ファジィ・ニューラルネットワークを用いた経路選択行動のモデル化

Route Choice Modelling by using Fuzzy Neural Network

坪井 兵太* 秋山 孝正**

By Hyota TSUBOI and Takamasa AKIYAMA

1. はじめに

昨今、都市内道路網の交通管理において、交通情報の利用は重要な課題である。特に広域的な道路網において、情報サービス・交通円滑化のための情報提供は有効である。このため、交通情報に対する利用者の交通行動の分析が重要となる。

こうした道路利用者の経路選択現象をモデル化する方法に、ファジィ推論やニューラルネットワーク(NN)の利用が検討されている^{1),2)}。これらは、計算機工学分野の考え方を用い、人間の知識に基づく主観的判断過程をモデル化しようとする手法である。

ここで、ファジィ推論は人間の近似的推論判断を表現でき、NNでは誤差最小化原理に基づく学習過程によって高度なパラメータ調整が実現できる。これら各々の特徴を相互補完的に結合させたものがファジィ・ニューロ(FN)モデルである。

本研究では、都市内道路網の多経路選択行動のモデル化について考える。ここで、経路選択モデルの作成には、ファジィ性を考慮した経路選択現象に関する基礎調査例を用いる。ここでは特に、FNモデルによる経路選択行動の記述を行う。そして、作成されたモデルを用い、経路誘導や交通情報提供を前提とした交通行動変化分析を行う。

2. ファジィ・ニューロモデル

ファジィ・ニューロモデルでは、基本とするモデルをファジィ推論とするか、NNとするかによって

組合わせ形態が各種提案されている。特に両者の融合度という点から、11種類に分類した研究がある^{3),4)}。

これまでに、交通行動を記述するモデルとして、その分類から様々なモデルが適用された。「ファジィのニューロ」⁵⁾は交通行動の例題に用いられ、モデル方法論的展開に止まっているが、「ファジィニューロ」「ニューロ的ファジィ」「ニューロ化ファジィ」については、経路選択行動の分析においても適用された^{6),7),8),9)}。その際、上記の3モデルを用いて簡単な経路情報による経路選択現象の分析を行った研究もある¹⁰⁾。

本研究では、11分類の中で比較的融合度も高く、モデルとしての論理的関係も明確にできる「ニューロ的ファジィ」と「ニューロ化ファジィ」を紹介する。

(2) ニューロ的ファジィ

ニューロ的ファジィモデルの構成方法には、多数の手法が存在する。その中でも、図1のモデル概念図のように、「前件部メンバシップ関数にガウス基底を用いたファジィ推論」がある。ここで、このモデル構造に関する詳しい説明については、文献11)を参考にされたい。

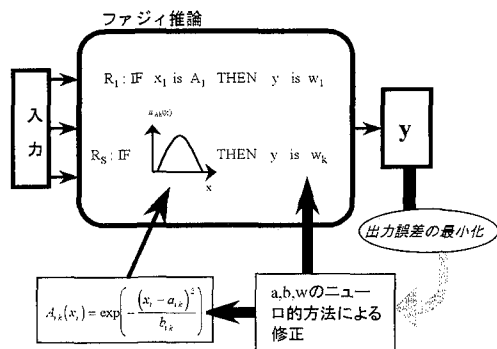


図1 ニューロ的ファジィモデルの概念図

キーワード：交通行動分析、経路選択、交通情報

* 学生会員、岐阜大学大学院工学研究科土木工学専攻

** 正会員、工博、岐阜大学工学部土木工学科

(〒501-11 岐阜市柳戸 1-1)

TEL 058-293-2443 FAX 058-230-1528)

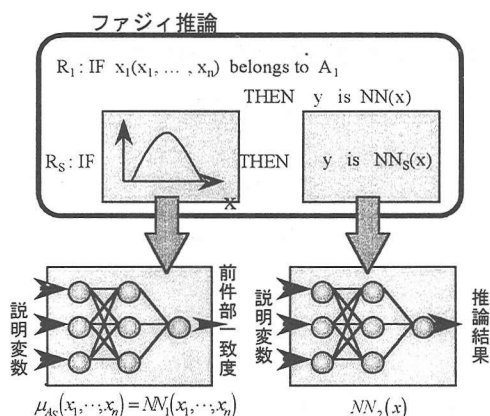


図2 ニューロ化ファジモデルの概念図

(3) ニューロ化ファジ

ニューロ化ファジモデルは、「基本的にファジィルールを用いるが、その構造およびファジィ推論の計算過程の一部にNNを用いるモデル」である。

具体的な「ニューロ化ファジィ」として多数のモデルが提案されている。本研究では、そのなかでも「ニューラルネット駆動型ファジィ推論」を用いる。これは、図2に示す形式で、前件部にファジィ集合を表すNNモデルをもち、各ルールの後件部に入力データと出力データとの入出力関係を表すNNモデルをもつファジィ推論法である。このモデルの詳細については、文献12)を参考にされたい。

3. 経路選択モデルの作成

これまでに、ファジィ推論やファジィ・ニューロを用いて経路選択行動を記述するモデルが提案されている^{2),8),9),10),13)}。本研究では、主にファジィ・ニューロを用いて経路選択モデルを作成する。

(1) モデル作成のための基礎調査

ここでは、経路選択行動の例として岐阜市内の道路網を取り挙げた。とくに、図3に示す「岐阜大学からJR岐阜駅」の起終点交通を考えた。

簡単な調査として、主要な利用経路3種類と、各経路の認知所要時間、認知混雑度、認知安全度と各経路の利用頻度を質問した。これら認知特性値はファジィ数で表すように指示している。



図3 岐阜大学からJR岐阜駅間の道路網

経路選択モデル作成にあたり、抽出された27経路を大縄場大橋・鏡島大橋経由、忠節橋経由、金華橋経由、長良橋経由の4経路に集約した。そして、認知所要時間(x_1)、認知混雑度(x_2)、認知安全度(x_3)の説明変数をファジィ入力値として、3経路の経路利用割合を推計する。サンプル数は93である。

(2) ロジットモデル(ML)の作成

ロジットモデルは、交通行動を記述するモデルとして一般的によく用いられている。そこで本研究では、経路選択モデルを作成するにあたり、この従来型モデルを適用した。

今回作成する経路選択モデルでは、3経路の利用選択割合を出力値として求める。そのため、モデル構造は多肢選択型のロジットモデルとなる¹⁴⁾。

まず、各経路の効用関数から指数関数を用いた関数で経路選択利用割合が以下のように表現される。

$$V_{1i} = \theta_1 + \theta_3 x_{1i1} + \theta_4 x_{1i2} + \theta_5 x_{1i3} \quad \cdots (1)$$

$$V_{2i} = \theta_2 + \theta_3 x_{2i1} + \theta_4 x_{2i2} + \theta_5 x_{2i3} \quad \cdots (2)$$

$$V_{3i} = \theta_3 x_{3i1} + \theta_4 x_{3i2} + \theta_5 x_{3i3} \quad \cdots (3)$$

$$P_{ki} = \frac{\exp(V_{ki})}{\sum_{j=1}^3 \exp(V_{ji})} \quad \cdots (4)$$

i : サンプル数($i=1, 2, \dots, 93$) k : 経路番号(1, 2, 3)

V_{ki} : 各経路の効用 P_{ki} : 各経路の選択利用割合

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$: パラメータ

このとき、統計的に関数型を決定するには、通常最尤推定法を用いた推計が行われる。その結果、 $\theta_1 = 1.3191$ (1.2527), $\theta_2 = 0.9372$ (2.2185), $\theta_3 = 0.0086$ (-0.1777), $\theta_4 = 0.0231$ (0.5549), $\theta_5 = 0.0102$ (0.2993), $\rho^2 = 0.7193$, $\bar{\rho}^2 = 0.7116$ となった。ここで () 内は t 値を表す。そして、実績データとモデル推計値との誤差をサンプル毎に加算した推計誤差は 23.1 であった。

(3) ニューロ的ファジィモデル(FN1)の作成

ここでは 2 層構造とし、各層にファジィ推論モデルを 3 個配置する。各ファジィ推論モデルは 3 入力 1 出力となり、各出力ごとに 3 種類のメンバシップ関数を設定した。したがって、各モデルのルール数は $27(3 \times 3 \times 3)$ ルールとなる。このモデルでは、モデル全体のパラメータを誤差最小化原理に基づくニューロ的学習によって調整できる。2000 回の学習の結果、サンプル全体の推計誤差は 24.3 となった。

ここで、作成されたモデルでは簡略ファジィ推論を実現しているため、意思決定判断を明確にできる。また、モデル全体の調整が可能なため、設定条件に変化が生じた時でも頑健なモデルを作成できる。

(4) ニューロ化ファジィモデル(FN2)の作成

まずモデル作成にあたり、ファジィクラスター分析を用い、サンプルデータを 3 グループに分割した。ファジィクラスター分析では、入力値の各グループへの一緻度をメンバシップ値で算出できる。

次に、各ルールの後件部実数値を求める。ここでは 1 サンプルにつき、9 個のファジィ数が設定されているので、NN の入力値は $27(9 \text{ ファジィ数} \times 3 \text{ グループ})$ 個となる。そして、この NN の出力が各ルールの後件部実数値となる。

また、前件部 NN の出力は入力値の各ルールとの一緻度 μ_k となる。ここでは 93 サンプルで学習を行った。4000 回の学習の結果、教師データとモデル出力値との推計誤差は 14.8 となった。

そして前件部一緻度と後件部実数値との荷重平均からモデル全体の出力が算出される。これらの手順の後、93 サンプル全体の推計誤差は 22.6 となった。

以上のようにこのモデルでは、ファジィ推論の演算過程の一部が NN で表現されている。そのため、

モデル構築が容易となる。また、人間の行動原理をグループ分割に対応させているので、推論条件によるグループが存在する時にモデル構築が可能となる。

4. 経路選択行動の分析

(1) 経路別交通量の作成

岐阜大学から J R 岐阜駅までの OD 交通量を、鏡島大橋・大縄場大橋経由、忠節橋経由、金華橋経由、長良橋経由の 4 経路別に算出する。

ここでは、全交通量を回答者数 93 と考えて、各モデルで推計された経路選択利用割合から経路別交通量を求める。この推計結果を表 1 に示す。各モデルの推計値は、実績値に対して大きな誤差はない。また、ロジットモデルとファジィ・ニューロモデル、いずれも似通った推計結果となっている。

(2) 交通情報の提供による交通量の動向

ここでは、経路情報の提供を想定する。つまり、作成された経路選択モデルを用いて、情報提供による各経路の交通量変化を予測する。

今回の推計では作成された 2 種類のファジィ・ニューロのうち、モデル構築が比較的容易であり、推計精度の良好なニューロ化ファジィモデルを用いる。

(a) 「所要時間」情報

所要時間は、道路利用者の意思決定の中心的要因と考えられ、道路利用者の行動に直接的な影響を与えられると考えられる。そこで、ある経路の所要時間について情報が提供された場合、当該経路の各個人の認知所要時間は、同一になると考える。

ここでは忠節橋経路に相当する各個人の認知所要時間を確定値に置き換える。またこの場合の各経路

表 1 経路別の OD 交通量

	鏡島大橋 大縄場大橋	忠節橋	金華橋	長良橋
実績値	31.54 33.9%	51.19 55.0%	6.37 6.8%	3.90 4.2%
ML	31.36 33.7%	49.58 53.3%	7.43 8.0%	4.62 5.0%
FN1	32.34 35.0%	48.77 51.6%	7.36 7.9%	4.53 5.6%
FN2	32.24 34.7%	49.71 53.5%	6.83 7.3%	4.22 4.5%

上段：トリップ数

下段：トリップ割合(%)

における交通量変化の予測には、ロジットモデルによる推計も行う。この結果を図4に示す。

この図では、両モデルによる推計結果が、ともに同じような経路交通量変化の現象を表している。つまり、この両モデルによって、忠節橋経路の所要時間情報が增加するにつれ、他の経路を利用するという道路利用者の交通行動を表現できたことになる。

(b)交通規制情報

次に、突発的に引き起こされる交通事態を想定する。つまり、道路利用者にはその情報を事前に知らせていないという前提に基づき、「通行止め」経路情報を想定した。これまでも多段ファジィ推論を用いて、交通規制情報による経路選択現象を分析した研究がある¹³⁾。

ここでは、忠節橋が通行止めになった場合を考えた。そのため、今まで忠節橋を経由していた道路利用者は、経路の変更を余儀なくされる。

ここで、アンケートでは3経路について質問している。そのため、3経路のうち忠節橋経路を1経路選択している場合は、他の2経路を選択することになる。また、3経路すべて忠節橋経路を選択している場合は、忠節橋経路以外で最短経路の「金華橋経路」を選択するという判断ルールを与える。

以上より、推計された各経路の交通量変化の結果を表2に示す。この表から、交通量の変化率が高いのは長良橋経路であるが、忠節経路からの迂回割合の最も高いのは、鏡島・大縄場大橋経路であった。

5. おわりに

本研究では、交通管理方策の中でもナビゲーションなどの経路誘導方策を検討するため、道路利用者の行動原理をあらかじめ明確にした。そして、交通情報に対する道路利用者の行動変化の把握を行った。

今回は、都市内道路網の経路選択問題に対し、F Nモデルを用いて取り組んだ。その際、経路選択現象に対するモデルの有効性を示すことができた。

このように詳細な交通行動記述モデルの構築を試みるとともに、現実的交通情報処理面から検討した。

しかしながら、今回の推計では、ニューロ化ファジィモデルのみしか適用していない。そのため本研

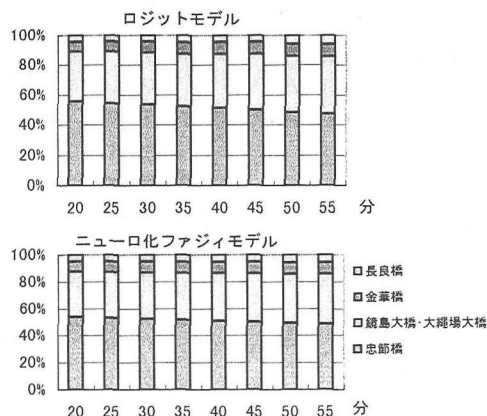


図4 忠節橋経路の所要時間情報による交通量変化

表2 忠節橋経路の通行止め情報による交通量変化

	忠節橋	鏡島大橋 大縄場大橋	金華橋	長良橋
情報提供前 (トリップ)	49.71	32.24	6.83	4.22
情報提供後 (トリップ)	0	57.17	19.64	16.19
交通量変化率	—	+1.77	+2.88	+3.84
迂回割合(%)	—	50.2	25.8	24.1

究の主旨とは遠くかけ離れた論文となった。そこで、今後はいくつかのファジィ・ニューロを適用することで、経路誘導方策に対する各モデルとの相互性を関連付けることが急務である。

【参考文献】

- 1) 秋山孝正:知識利用型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.
- 2) 坪井兵太, 秋山孝正:ファジィ推論モデルによる多経路選択行動の分析, 第3回ファジィ建築土木応用シンポジウム講演論文集, pp. 31-38, 1996.
- 3) 林勲, 馬野元秀:ファジィ・ニューラルネットワークの現状と展望, 日本ファジィ学会誌, Vol. 5, No. 2, pp. 178-190, 1993.
- 4) 坂和正敏, 馬野元秀, 大里有生:ソフトコンピューティング用語集, 朝倉書店, 1996.
- 5) 坪井兵太, 秋山孝正:交通行動の記述のためのファジィ・ニューロモデル, 土木計画学研究・論文集, No. 19 (2), pp. 253-256, 1996.
- 6) 坪井兵太, 秋山孝正:ファジィ・ニューロモデルによる多経路選択行動の分析, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集, pp. 490-491, 1996.
- 7) 秋山孝正:ソフトコンピューティングを用いた交通行動モデルの作成, 京都大学100周年記念ワークショップ論文集, 1997.
- 8) 松浦貴宏, 秋山孝正:ファジィ・ニューロモデルを用いた交通行動記述について, 第4回ファジィ建築土木応用シンポジウム講演論文集, pp. 39-46, 1997.
- 9) 坪井兵太, 秋山孝正, 松浦貴宏:ファジィ・ニューロモデルによる経路選択行動の分析, 第13回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 219-220, 1997.
- 10) 秋山孝正:ファジィ推論を用いた経路選択行動分析に関する研究, 平成7年度・平成8年度科学研究費補助金基礎研究(C)(2)研究成果報告書, 1997.
- 11) 市橋秀友:ニューロ・ファジィによる一対比較の数量化法, 日本ファジィ学会誌, Vol. 4, No. 5, pp. 958-967, 1992.
- 12) 林勲, 野村尊義, 若見昇:ニューラルネットワーク型ファジィ推論による推論規則の獲得, 日本ファジィ学会誌, Vol. 2, No. 4, pp. 385-397, 1990.
- 13) 秋山孝正, 安藤輝紀: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.
- 14) 土木学会:非集計行動モデルの理論と実践, 1995.