

学 位 論 文 題 名

Development and Application of a  
Neuro-Fuzzy-Based Modeling for Transport Modal  
Choice toward the Improvement of Urban Mobility

(都市モビリティ改善のための交通機関選択

ニューロファジィモデリングの開発と適用に関する研究)

学位論文内容の要旨

The development of adequate transportation systems is amongst the most important issues for planners of contemporary urban areas in both developed and developing nations. This importance becomes clear when considering that people need to move so as to participate in daily activities and to access goods, which are spatially distributed. Consequently, transportation systems influence strongly the social and economical development of a region. Moreover, the solution of common problems faced by the population of several cities, such as traffic accidents, congestion, pollution, and inefficient transportation services, depends on designing and planning adequate transportation plans. Furthermore, these plans have to be sustainable throughout cities, regions, and nations toward attending the strategic viewpoint of the modern society. Accordingly, the challenge of improving urban mobility patterns relies on developing efficient transportation systems.

The clear understanding of the demand for the transportation services, i. e. travel demand analysis, is the starting point for developing appropriate transportation plans. However, it has to be highlighted that people's movements in urban centers have increased and have become more complex over the years as a result of factors such as the contemporary trend of shifting from agricultural to urban centers' development, and the economical decentralization of urban spaces. As a consequence, travel demand analysis studies urge the use of efficient models that have the ability of accurately representing the current complicated travel behavior patterns. Furthermore, these models have to be flexible so as to adapt to the changing aspects of the urban transportation. Thus, the present research focuses on developing a model to estimate and to forecast transport modal choices in order to assist transportation planners during the development of transportation studies. The model called Neuro-Fuzzy Multinomial Logit (NFMNL) model is based on the combination of the efficient Multinomial Logit (MNL) model with the flexible and adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems.

As a requirement for the model development, a comprehensive study on modal choice behavior and the factors affecting those choices was undertaken during the initial stage of this research. From this behavioral analysis, it was possible to understand which features of the trip, the transportation system,

and the trip maker, as well as their interactions, have strong influence on transport modal choices. Furthermore, the study investigated transport modal preferences during different periods of the year so as to provide information on travel patterns' variations under the influence of environmental condition changes, which has rarely been addressed in the transportation literature. The knowledge obtained in this first stage of the research was fundamental to the NFMNL model development.

During the model development, three major issues were taken into consideration. Firstly, there is the need of developing alternative methods which can deal adequately with the uncertainties related to the transport modal choice problem. Traditionally, statistical models have been applied to solve transportation problems. Even though these models are well able to represent the random aspects of the transport modal choice problem, they overcome the fact that travelers are mostly subjective and uncertain in their decision making process. This uncertain behavior should also be represented by the travel behavior model. In this research, the Fuzzy Logic (FL) approach was suggested to deal with the subjective human behavior. The FL provided the explicit description of the human subjectivity in the transport modal choice decision making. This was possible because the FL allowed the adequate representation of the degree of fuzziness regarding the investigated problem. Secondly, there is the need of representing non-linear effects of the real-world problems, which are often ignored in classical approaches. In this research, the Neural Networks (NN) was used to represent non-linear relations. The NN is well recognized by its capability of representing non-linear relations between aspects of the investigated problem. Thirdly, there is the need of developing methods that are practical under the viewpoint of applicability so as to address the strategic viewpoint of transportation planners toward developing sustainable transportation systems. Under this viewpoint, the basic structure of the proposed model was based on the structurally simple MNL model, which is well known among transportation planners and scholars.

The development of a model also requires its validation, and this was carefully addressed in this research. Initially, the estimation capability of the NFMNL model was evaluated through the development of two case studies. These case studies included cities with distinct social and economical environments. Then, the transferability capability of the model was verified through investigating its modal choice forecasting results. Model transferability results the practical benefit of reducing data collection and model processing requirements in the application context. Accordingly, it is advantageous to transportation studies where there is always lack of data and resources. A final approach of this research attempted to explore the use of Geographical Information Systems (GIS) as a tool for providing data to be used in the modal choice forecasting process. GIS has become very popular as tool to support decision making, because of its capability of representing spatial features. GIS data were used to forecast modal choices by using the NFMNL model, which demonstrated to be a promising field for future research.

Investigating modal choice in different environmental conditions, developing and validating a hybrid NFMNL model, and exploring the use of GIS as a data source for modal choice modeling were the main contributions of this research. From the obtained results and its analysis, it is aimed to contribute to the development of efficient transportation systems, and consequently to the improvement of urban mobility.

# 学位論文審査の要旨

主査	教授	加賀屋	誠一
副査	教授	佐藤	馨一
副査	教授	中辻	隆
副査	准教授	萩原	亨

## 学位論文題名

# Development and Application of a Neuro-Fuzzy-Based Modeling for Transport Modal Choice toward the Improvement of Urban Mobility

(都市モビリティ改善のための交通機関選択  
ニューロファジィモデリングの開発と適用に関する研究)

近年、都市モビリティ改善のために人間の交通行動に対するモデル化に関わる研究が盛んに行われている。しかしながら、それらのモデル開発における調査の段階で、様々な不確定要素が存在し、モデリングの信頼性に課題を残している。特に、モデル予測に必要な地域住民の意識調査では、ランダム性から生ずる不確かさのみではなく、主観的あいまい性から発生する不確かさも存在し、モデルの精度を落としているのが現状であり、その分野での方法論の改善および新しい分析方法の発展が今後待たれている状況にある。

ここでは、交通需要分析の中で特に、交通機関選択を行う際のモデルに着目し、それらの課題を解決すべく、ニューロファジィモデリングという新しい方法論を従来のロジットモデルに導入することを提案した。得られたモデリング方法をニューロファジィ多項ロジットモデル (NFMNL モデル) と定義し、実証的データによってそのモデルの有効性及び妥当性について検証した。これらの方法論の開発は、極めて独創性が高いものであり、交通行動を表現するモデリングに新しい情報を提供している。

論文は、7章からなり、第1章は序論で、研究の背景および動機、研究の目的、それを行うための仮説、さらに研究全体のフレームワーク、論文構成などがまとめられている。第2章は、関連する研究周辺の文献についてまとめられている。それらは都市モビリティ、都市交通計画、交通需要分析、機関選択モデリングの新手法などの項目に整理されて展開されている。第3章は、寒冷地における交通機関選択問題について特に季節的な変化に着目してその調査方法を論じている。そして、寒冷地都市札幌市における夏冬の季節変動に着目し交通機関選択の違いを明らかにし、従来

型の機関選択モデルによって、交通機関分担変化の予測を行っている。第4章ではニューロファジシステムを用いた新たな交通機関選択の考え方を提案し、ニューロファジ多項ロジットモデル(NFMNL)として方法論を展開している。具体的な検討として、3章の事例を基に、従来型の多項ロジットモデルで得られた結果と提案されたモデルでの分析結果の比較を行い、より精度の高い結果が得られたことを検証している。第5章は、開発されたNFMNLモデルの適用可能性について、ニュージーランド・クライストチャーチ市における事例を検討している。ここでは、主として、経年的予測を行うため、2000年における調査を基に、交通機関選択行動をモデル化し、2004年の交通機関選択行動を予測し、調査データによってその妥当性を検討している。その結果、ここでもNFMNLモデルの従来型モデルに比較して良好な結論を見いだしており、時間経過によるダイナミックな変化に対しても適用可能性があることを示している。さらに第6章は、予測を行うための説明変数としての距離データを、地理情報システム(GIS)によって獲得する手法を組み込んだ交通機関選択行動モデルを提案している。GISデータを用いることによって、さらに制度が改善され、より良好なモデル適合が可能になり、信頼性向上に寄与することを明らかにしている。第7章は結論であり、次のようにまとめられている。

寒冷地都市での、季節変化による交通行動、特に機関選択について利用者属性及び交通機関特性から予測可能なモデルを提案した。人間の主観的行動やその複雑性を反映したニューロファジシステムを組み込んだ多項ロジットモデルを新たに開発し、その弾力的活用の優れた点、信頼性向上の得られた点などを実証的な検討を通して証明した。より信頼性をあげるため、地域の地理情報データを用い、距離等のデータの精度向上を行った。その結果、その導入の妥当性が確かめられた。

これを要するに、著者は、複雑で多様な交通行動による交通機関選択について人間の主観を重視した弾力的かつ有効なモデル開発において新知見を得たものであり、新たな方法論を確立することによって、交通計画学、交通システム工学の分野において貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。