

# ニューラルネットワークを用いた都市高速道路における時系列流入交通量予測の適用性の検討 Application of Neural Network to Time Series Estimation of Inflow Traffic on Urban Expressway

奥嶋 政嗣<sup>\*</sup>・大窪 剛文<sup>\*\*</sup>・大藤 武彦<sup>\*\*\*</sup>・土田 貴義<sup>\*\*\*\*</sup>・秋山 孝正<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Masashi OKUSHIMA<sup>\*</sup>, Takefumi OHKUBO<sup>\*\*</sup>, Takehiko DAITO<sup>\*\*\*</sup>, Takayoshi Tsuchida<sup>\*\*\*\*</sup>, Takamasa AKIYAMA<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## 1. はじめに

都市高速道路において、時々刻々と変化する交通状況に対して、より適切な情報提供・交通制御を行なうためには、提供効果・制御効果が想定される短期的な未来に至る交通状況の推移を、よりの確に把握する必要がある。このような動的な交通状況の変化を予測するための手法の1つとして、交通流シミュレーションによるアプローチが考えられる。

これまで阪神高速道路公団では、交通管制システムにおける、交通流シミュレーションによる交通状況の予測モデルについて検討をおこなってきた。ここで、リアルタイム運用において、本線上の短期的な交通状況推移を交通流シミュレーションによって表現するためには、流入交通量を予測して与える必要がある。このとき、流入交通量の予測値を精度が、交通流シミュレーションの出力値に大きな影響を及ぼすことは、既存研究<sup>1)2)</sup>においても明らかにされている。

既存の交通管制システムでは、指数平滑法を用いた線形的な流入交通量の予測が用いられているが、数時点前の観測値の変動と現時点の観測値からのみ予測値を算定するため、増減の遷移部分では予測値が観測値の変動より遅れる場合や大きく異なる場合がある<sup>3)4)</sup>。

このように、流入交通量の時系列の変動は複雑で、一見、規則性がないように見えるため、線形的な予測は困難である。ここで既存の方法では規則性が無いと判断される事象から、決定論的法則を導き出せる方法として、カオス理論を用いた予測手法が提案されている<sup>2)</sup>。しかしながら、カオス理論を用いた予測方法では、予測計算時に蓄積されたデータの検索計算時間が必要となり、リアルタイム運用では応答時間の点で課題がある。

キーワード：交通流，交通制御，交通管理

<sup>\*</sup> 正会員，工修，岐阜大学 工学部社会基盤工学科  
(〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1, TEL:058-293-2446,  
E-mail:okushima@cc.gifu-u.ac.jp)

<sup>\*\*</sup> 正会員，阪神高速道路公団 業務部交通管制課

<sup>\*\*\*</sup> 正会員，(株)交通システム研究所

<sup>\*\*\*\*</sup> 正会員，工修，(株)日本総合研究所

<sup>\*\*\*\*\*</sup> 正会員，工博，岐阜大学 工学部社会基盤工学科

交通管制でのリアルタイム運用への適用性を考慮すると、流入交通量の時系列予測をおこなう上では、複雑で規則性がないように見える流入交通量の変化に対応できること、1本の時系列データだけを用いてその将来変動を予測できること、2時間程度先までの予測値が一度に算定できることの3つの条件に加えて、計算時間の制約要件を満たす必要がある。そこで本研究では、非線形の予測に適した方法であり、計算時間についても適用条件を満足させることが期待できる構造を有するモデルとして、ニューラルネットワークを用いた流入交通量の時系列予測方法を提案する。

## 2. 交通流シミュレーションにおける流入交通量予測

まず、本研究で提案する流入交通量の時系列予測方法を適用する交通流シミュレーションモデル(HEROINE)について概説する。図1に示すように、需要予測サブモデル、交通行動サブモデル、フローサブモデル、交通管制サブモデル、データ蓄積サブモデルの5つのサブモデルにより構成され、交通管制システム他系より収集されたリアルタイムの交通状況を入力とし、高速道路本線上におけるおよそ2時間後までの短期的な交通状況の推移を予測するものである。ここで、高速道路利用交通のみを対象とし、各車両はそれぞれの入口より出発し、出口にて到着することとする。

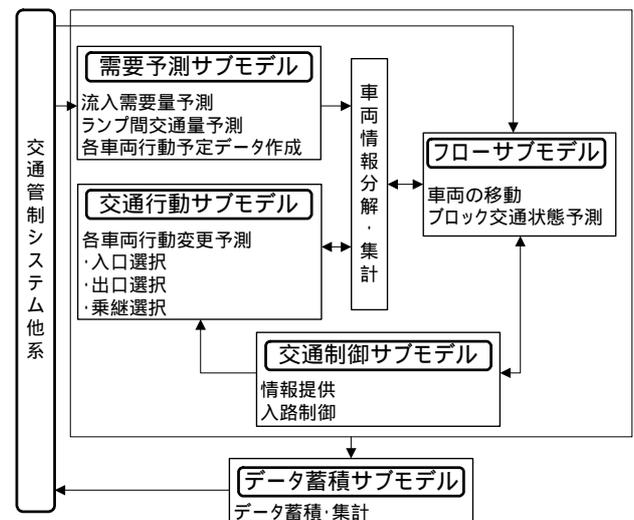


図-1 交通流シミュレーションモデルの概要

需要予測サブモデルでは、高速道路の各入口において、5分間流入交通量を予測し、それぞれを既定のランプ間遷移確率によりランプ間交通量に分布させ、各車両の出発時刻をポアソン分布に従うとしてフローサブモデルのスキャンインターバルである10秒単位に振り分ける。

そのなかで、流入交通量の予測では、リアルタイムでの5分間流入交通量の時系列と、データ蓄積サブモデルにて蓄積された流入交通量データベースを用いて、予測範囲であるおよそ2時間後までの流入交通量予測値を推計する。

### 3. ニューラルネットワークを用いた予測モデルの構築

#### (1) 流入交通量分析対象データ

流入交通量の分析のための実績データとして、平成13年9月の平日(19日間)において、車両検知器によって観測された5分間入口交通量を対象とした。また、放射線端末入路として池田入口、放射線途中の入路として塚本入口、環状線の入路として湊町入口をそれぞれ分析対象入路とした。ここで9月25日~28日の4日間の実績データについては、予測結果との比較のために使用し、残りの15日間のデータを予測モデルパラメータの推定のために使用した。

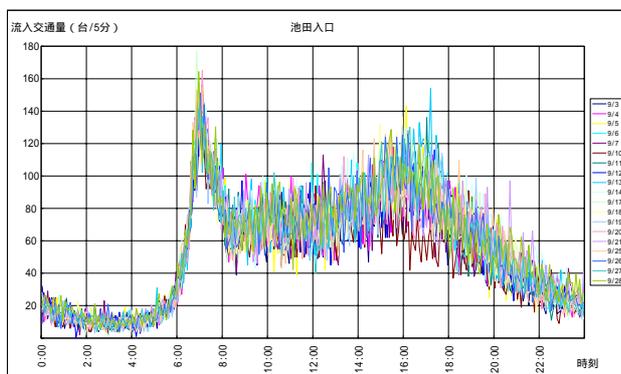


図-2 分析対象流入交通量データの時系列変動の例

分析対象とした池田入口における流入交通量の時系列変動を図-2に示す。ここでは、指数平滑法などでは予測するのが困難となる6:00-8:00の朝ピークにおける流入交通量の急激な増減が見られる。また、流入交通量の時系列変動が、複雑で非線形な動きを示していることが見てとれる。

#### (2) ニューラルネットワークモデルの構造

ニューラルネットワーク(NN)モデルは、人間の脳神経細胞(ニューロン)の情報処理の過程をモデル化したものである<sup>5)6)</sup>。したがって、複雑な非線形関係を表現することが可能となり、論理的構成は容易に規定できないが、変動の影響要因が明確であるときには、高度な

予測精度をもつモデルを作成することができる。また、NNモデルを用いた予測方法では、学習と予測をアルゴリズムによって分離できるため、予測時においては計算時間を非常に短くすることが可能であり、システムの応答時間が重要となるリアルタイムでの運用上で利点がある。本研究では24時点(2時間)先までの予測値が一度に求められる多出力のNNモデルを提案する。これは、図-3のような入力層24、中間層32、出力層24の階層型NNモデルである。入力値は過去24時点の流入交通量 $DW_{t-i}$ である。出力層を多出力にすることにより、出力誤差の伝播が防止できると考えられる。

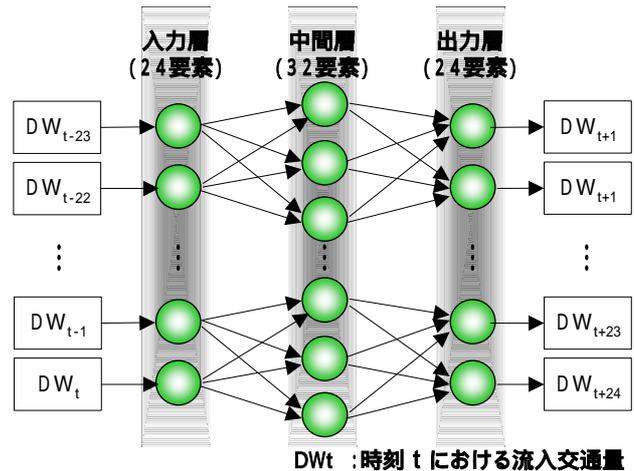


図-3 ニューラルネットワークを用いた予測モデルの構造

NNモデルパラメータの推定においては、最大の学習回数を5000回とし、出力値誤差が最小となる学習回における結合加重を採用した。また、教師データについては、15日間すべてのデータを使用した場合と、1週間(5日間)のデータを使用した場合の両方について試行したところ、推計精度が大きく異なることは無いことが確認できたため、1週間(9月3日~7日)の実績値を教師データとした。

#### (3) NNモデルにおける時間帯区分の検討

流入交通量の時系列変動要因として、時間帯区分による時系列のダイナミクスの変化が考えられる。そのため、時間帯を区分したモデル構造としたほうが推計精度が向上することが考えられる。ただし、区分を細かくすると、データ蓄積の計算コストが大きくなるため、ここでは区分なし、6時間区分、2時間区分の3ケースについてパラメータ推定を行い、9月26日の流入交通量を予測して、実績値と各ケースの予測値を比較した。

ピークが顕著にみられる池田入口における6:00-8:00(朝ピーク)と16:00-18:00(夕ピーク)における予測値と実績値の比較を図-4に示す。時間帯区分が細かいほうが、推計精度が比較的向上し、少なくとも2時間区分でのモデル構造とする必要があると推察される。

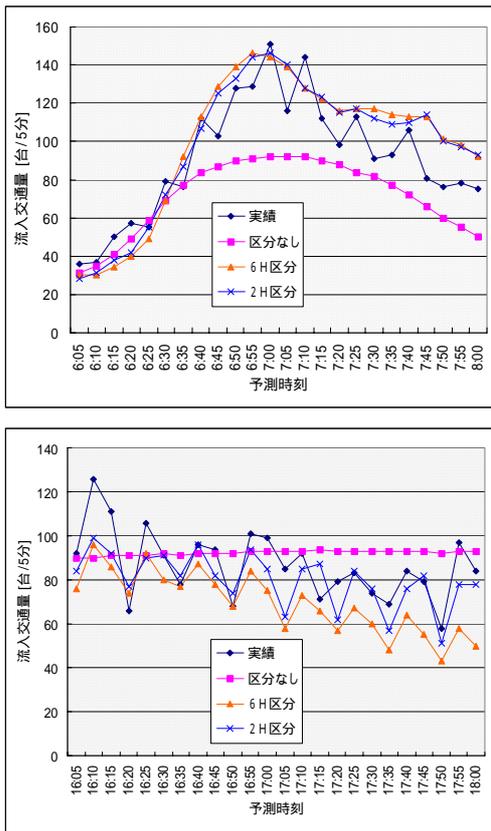


図-4 各時間区分モデルの時系列予測結果の比較

#### 4. 流入交通量予測モデルの予測精度と適用方法

##### (1) 予測精度の検証

表-1 予測値と実績値の推計誤差(池田入口)

予測開始時間帯	平均流入量 実績(台/5分)	RMSE	平均流入量 予測(台/5分)	誤差 (台/5分)
0:00-5:55	24.6	10.360	24.2	0.4
6:00-7:55	84.2	13.804	90.1	-5.9
8:00-9:55	71.3	11.744	69.2	2.1
10:00-11:55	71.7	16.142	68.6	3.1
12:00-13:55	81.6	24.026	83.7	-2.1
14:00-15:55	91.9	34.384	77.5	14.4
16:00-17:55	74.7	20.863	65.3	9.4
18:00-19:55	53.0	12.688	49.3	3.7
20:00-21:55	32.1	9.824	33.2	-1.1
22:00-23:55	20.3	5.649	21.8	-1.5

9月25日~28日の4日間について、毎5分の予測開始時刻(288時点/日)にて、2時間後まで(24時点)の流入交通量の予測を行った。予測開始時間帯ごとに実績値との推計誤差を整理した結果(池田入口)を表-1に示す。夜間やピーク時については比較的よい予測精度が確保されている一方で、増減傾向が小さいオフピークの時間帯では、予測精度があまりよくない時間帯も存在する。このような時間帯では時系列変動の中心を貫くように予測

される傾向にあり、30分単位で比較してみると、予測値と実績値の整合性をおおむね確認することができた。

##### (2) カオス理論を用いた予測結果との比較

NNモデルによる流入交通量の予測結果が、カオス理論による予測結果と比較して、遜色ないことを確認するため、9月26日の流入交通量をカオス理論を用いた予測方法にて推計し、実績値とNNモデル予測値、カオス理論予測値を比較した。池田入口における6:00-8:00(朝ピーク)と16:00-18:00(夕ピーク)における時系列流入交通量の比較を図-5に示す。これらの比較から、NNモデルとカオス理論による予測結果は、カオス理論のほうが若干複雑な変動にも追従できているようではあるが、実用上、大きな相違はないものと判断できる。

ここで2つの予測手法による演算時間を比較すると、カオス理論を用いた予測方法では、1入路だけでも約1.00[SEC]の演算時間が必要となり、一方、NNモデルを用いた予測方法については、1入路あたり0.04[SEC]、150入路ではおおよそ6.00[SEC]の演算時間で計算できると推測される。NNモデルでの演算時間については、リアルタイム運用での適用について問題のない範囲であるといえる。

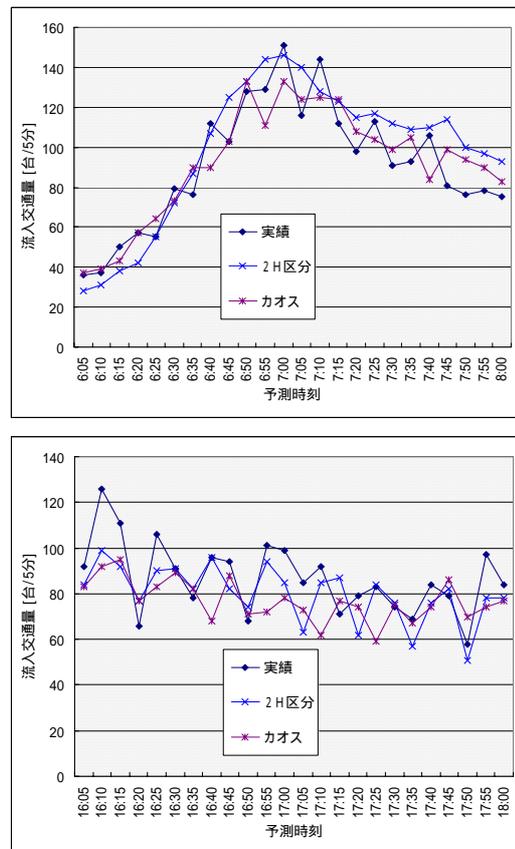


図-5 流入交通量の時系列予測結果の比較

##### (3) 予測時刻経過による推計誤差の推移

予測開始時間帯ごとの、予測時刻経過による推計誤

差 (RMSE) の変化を図-6 に示す。予測経過時刻が1時間先ぐらいまではあまり誤差拡大の傾向は無く、その後も拡大傾向が見られる時間帯も存在するものの、多くの時間帯で拡大傾向はみられない。NNモデルを多出力型の構造としたことにより、予測時刻経過による推計誤差が拡大していく傾向はある程度抑止されたと考えられる。

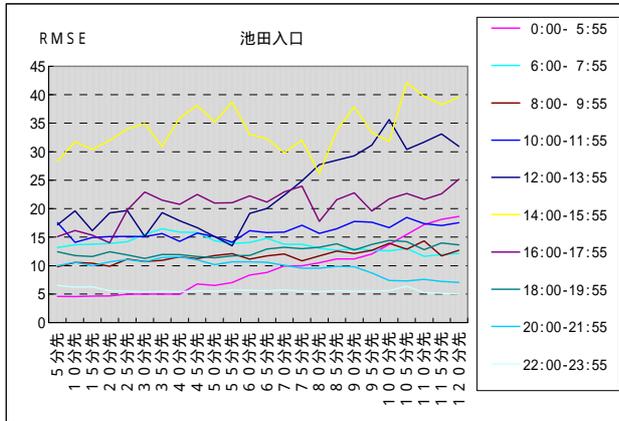


図-6 予測時刻経過による推計誤差の推移

#### (4) リアルタイム運用における適用方法の検討

NNモデルによる流入交通量予測方法をリアルタイム運用での交通流シミュレーションモデルに適用する場合のシステム構成を図-7 に示すように検討した。ここでは、一定の期間で蓄積データに基づいて、NNモデルパラメータを推定しておき、リアルタイムで入力される直前24時点(2時間前)の流入交通量からNNモデルを適用して24時点後(2時間後)までの流入交通量を予測する。

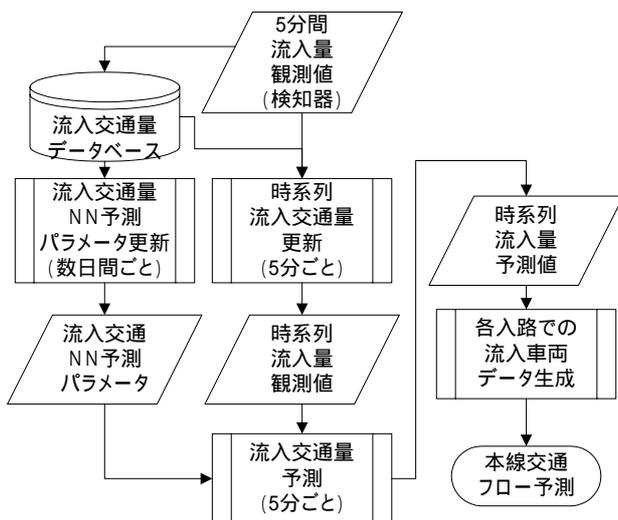


図-7 リアルタイム運用での交通状況の予測手順

## 5. おわりに

本研究では、都市高速道路での交通管制システムにおける交通流シミュレーションモデルの適用のため、そ

のサブモデルの1つである流入交通量の時系列予測方法を検討した。リアルタイム運用への適用性を考慮して、流入交通量の時系列データだけを用いて、2時間後までの複雑で非線形的な短期的変動を、計算時間の制約の範囲内で予測できるニューラルネットワークを用いた流入交通量の時系列予測方法を提案した。またその予測精度についても問題ない範囲であることを確認し、予測時刻経過による誤差の拡大についても解消されており、カオス理論による予測方法と比較しても大きな相違は見られなかった。また、リアルタイム運用での交通状況の予測手順についても検討した。

今後の課題としては、以下の点が挙げられる。

平日データのみでモデルを検証したが、休日などについても検証を行っておく必要がある。また、季節変動の影響や年較差などについても確認する必要がある。さらに、入路制御により流入交通量が制限されている場合について、詳細に確認する必要がある。

NNモデル、カオス理論以外の代表的な複雑系の予測方法として、自己回帰移動平均 (ARMA) モデル<sup>3)7)</sup> などがある。このような他の予測方法との比較をおこなう必要がある。

実際に交通流シミュレーションモデルに適用し、交通状況の予測結果と、交通状況の実績および、流入交通量のみ実績値を使用した場合の交通状況予測結果と比較し、その相違を把握しておく必要がある。

交通流シミュレーションモデルにおいて、入路選択を適用した場合の流入交通量の変動について、その現況再現性を確認しておく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 土田貴義, 秋山孝正, 横山剛士: 渋滞シミュレーションを用いた交通管理支援システムの構築, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp.879-886, 1999.
- 2) 土田貴義, 秋山孝正: カオス理論による予測手順を有する渋滞シミュレーションシステム, 第18回交通工学研究発表会論文報告集, pp.17-20, 1998.
- 3) 廣松毅, 浪花貞夫: 経済時系列分析, 朝倉書店, 1990.
- 4) 山下智志: 経営科学とコンピュータ, 共立出版, 1995.
- 5) E. Kreyszig著, 堀泰夫 訳: 線形代数とベクトル解析, 培風館, pp.1-34, 1987.
- 6) 中野馨: 入門と学習 ニューロコンピュータ, 技術評論社, 1989.
- 7) T. Uchida, S. Yanashita: Vector ARMA Time Series Model for Short-Term Prediction of Traffic Demand, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.2, No.4, pp.1247-1261, 1997.