

カオス理論に基づく都市高速道路の時系列流入交通量予測手法の比較分析

岐阜大学 学生員 ○森野 友彦
岐阜大学 正会員 秋山 孝正

1. はじめに

現在、都市高速道路では交通状況を予測し、時間的な交通管理が行なわれている。そこで本研究では、正確な本線上の交通状況を把握するために、一般道路網から都市高速道路網への流入交通量を予測する。すなわち流入交通量予測値にもとづき、都市高速道路本線上の車両台数を把握することができ、渋滞シミュレーション等を用いて交通状況の予測が可能となるからである。

2. 時系列交通量の予測手法

時系列交通量の予測手法として、交通量の不規則な時系列変化に対応できる手法を導入する。また時間的な交通管理のためには数時間（例えば2時間）先の予測結果が同時に算出されることが必要である。

2.1 カオス理論による時系列交通量の予測手法

カオス理論を用いた予測手法について簡単にまとめる¹⁾²⁾。①蓄積された時系列交通量からデータベクトル $x(t)$ を作成し、タケンスの埋め込み定理を用いて変動傾向に規則性を見出す（図-1、式-1）。

$$x(t) = (y(t), y(t-\tau), \dots, y(t-(n-1)\tau)) \quad (1)$$

n : 埋め込み次元, τ : 遅れ時間

②データベクトル $x(t)$ と最新のデータベクトル $Z(T)$ とのユークリッド距離を算出し、近傍データベクトル $X(t)$ を抽出する。③近傍データベクトル $X(t)$ 以降の挙動は既知であり、データベクトル $x(t)$ に規則性が認められるのならば将来の挙動も近似的に等価である。このことを用いて将来の予測値を算出する（この操作を「局所再構成法」と呼ぶ）。

④局所再構成法として様々な方法が考えられているが本研究では、(1)非線形的解法である「局所ファジィ再構成法」、(2)線形的解法である「グラム-シュミット (G-S) の直交系法」を用いる。

(1) 局所ファジィ再構成法

IF~THEN~形式のファジィルールに従い、ファジィ推論を行う。まず、メンバーシップ関数を作成し、各近傍データベクトル $X(t)$ に対してグレードを算出する。グレードを基に以降の値を予測する。

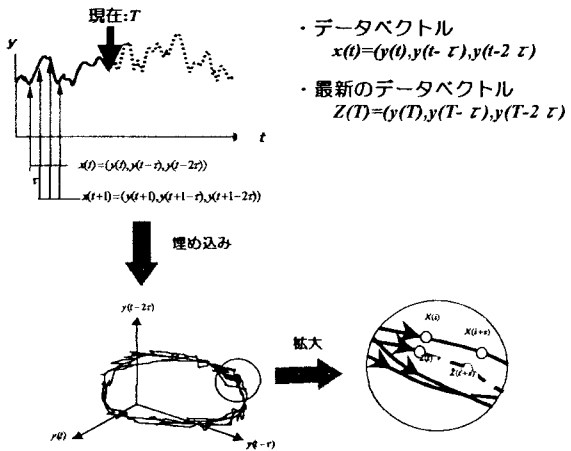


図-1 時系列データの多次元空間への埋め込み

(2) G-S の直交系法

まず、近傍データベクトルを用いて直交系を構成する。最新のデータベクトルをこの直交系の各軸へ射影し比率成分を算出する。さらに近傍データベクトルの次時点のデータベクトルから直交系を構成し、先に算出した比率成分から将来の予測値を算出する。

2.2 その他の時系列交通量の予測手法

カオス理論による予測手法の適用性を比較検討するため、その他の予測手法として指数平滑法、ニューラルネットワーク（以下、NN）モデルを用いる。指数平滑法（3次）による予測手法は現在、実際の交通管理に用いられている。また NN モデルによる予測手法は、カオス理論と同様に複雑系の予測に適した手法ではあるが、モデル構造が異なる。

(1) 指数平滑法による予測手法

過去の交通量と蓄積データの平均値との差に基づいて、予測対象時点の蓄積データの平均値をシフトし、将来の予測値を算出する（式-2）。

$$s_t = \alpha x + \alpha(1-\alpha)x_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 x_{t-2} + \dots \quad (2)$$

(2) NN モデルによる予測手法

モデルの構造として「階層型 NN モデル」を用いる。設定されるニューロン数は入力層 24、中間層 16、出力層 12 とする。入力値は予測開始時点までの2時間分の交通量、出力値は1時間先までの交通量とする。過去の交通量のデータ（教師データ）から結合荷重を算出し、モデル構造を決定する。

3. 都市高速道路の時系列流入交通量

3.1 対象路線の概要

ここでの予測対象路線は都市高速道路の一つである阪神高速道路の15号堺線上りとする。現在、阪神高速道路では流入交通量を車両検知器により5分単位で計測し、交通管理を行っている。対象路線における流入箇所は、堺集約料金所を始めとし、3.8km先に住之江入口、5.9km先に玉出入口の3箇所である。そこで本研究では、堺集約料金所、住之江入口、玉出入口の5分間流入交通量を12時点（1時間）先までを予測するものとした。

予測に用いた検証データは、平成8年6月19日の阪神高速道路15号堺線上りの予測対象箇所で車両検知器により測定された5分間交通量である。また、過去の蓄積データとして平成9年10月13日から19日までの同交通量（2016時点）を用いた。

3.2 各手法による予測結果の検証

各手法とも過去の蓄積データからモデルを確定し、検証データを現在のものと考え予測を行う。実際には予測開始以降の値は未知であるが、ここでは予測精度の検証を行うため実測値を予測結果のグラフに記す。各手法で導かれた予測値（午前10:05～11:00）を図-2に示す。また予測精度を検討のために表-1にRMSEと相関係数の値を示す。

カオス理論を用いた予測では、実測値からの数値の誤差は生じているものの時系列変化の変動には比較的追従しているといえる。2つの再構成法を試みたが非線形的解法である「局所ファジィ再構成」を用いる方が「G-Sの直交系法」を用いるより結果は良好となる。NNモデルを用いた予測手法も従来の予測手法よりは時系列変化に対応できることが分かる。また、同時間における住之江入口の予測でRMSEが9.30（指数平滑法）→8.80（カオス）、玉出入口の予測で3.48→5.98となった。住之江入口・玉出入口では時系列の変動が少なくカオス理論の「不規則な変動に対応できる」特徴が活かされないことから、予測精度が低下することが分かる。

3.3 時間交通量による予測値の補正

時間交通量の変動は比較的安定した挙動を示す。時間交通量の予測開始時点までの累積値と平均値の累積値との割合から、それ以降の時間交通量を別途に予測する。予測された時間交通量をコントロール

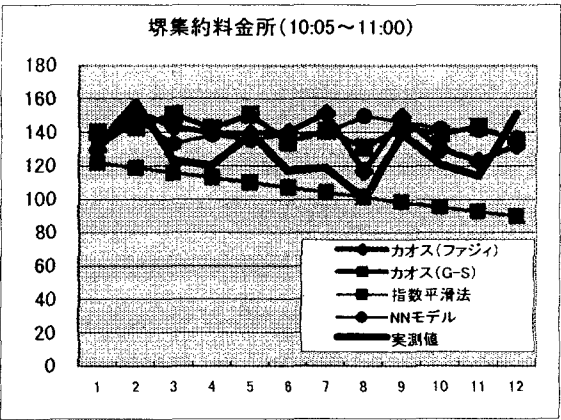


図-2 予測結果と実測値の比較

表-1 予測精度の比較

予測手法	RMSE	相関係数
カオス（ファジィ）	16.56	0.524
カオス（G-S）	19.96	0.298
指数平滑法	28.23	0.123
NNモデル	21.24	0.169

トータルとしてあらかじめ予測した5分間流入交通量を補正する。3.2において予測した堺線上りの予測値（午前10:05～11:00）を補正した結果、RMSEが13.75、相関係数0.524となり予測精度は向上した。他の予測対象箇所・時間においては、時間交通量の予測が正確である場合には予測精度は向上し、有効な方法であると考えられる。

4. おわりに

今回の結論として、不規則な時系列変化を行う流入交通量の予測にカオス理論を用いることは有効であることが確認できた。また、別途に予測した時間交通量を使い、流入交通量を補正することで予測精度を向上させることができることが分った。

今後の課題として、①カオス理論による予測では大量の蓄積データが必要であり、さらに十分なデータ収集が必要である。②ここで取り上げた各手法に加え、ARMAモデルを用いる予測手法などを予測対象箇所・時間帯別に比較する。③実際の交通管制のためには流入需要交通量の予測が必要である。予測された流入交通量を基に流入需要交通量の予測手法を検討する、といった諸点があげられる。

【参考文献】

- 1) 土田貴義：都市高速道路の交通流シミュレーションの高度化に関する研究、平成11年度岐阜大学学位論文
- 2) 合原一幸・五百旗頭正：カオス応用システム、朝倉書店、1995