

1. はじめに

道路網の交通渋滞を表現し、交通現象を記述するために多数の渋滞シミュレーションモデルが構築されている。現行の交通管制のプロセスでは、旅行時間情報提供のためオンライン予測が可能な渋滞シミュレーションモデルが知られているが、一方で交通管制の上で代替的な交通管制案の効果をオフライン作業として、容易に算定できるモデルの必要性も高い。そこで、本研究では、既存研究の成果を参考に交通管理における意思決定の情報支援を目的として、交通流シミュレーションシステムを開発する^{1), 2)}。これは、既存データから知られる各種交通現象をオフライン的に予測するものである。具体的にはいくつかの交通制御パターンを設定し、交通状況変化を推定する。さらに試行をおこない、この演算結果を比較することで適切な交通制御を提案するものである。

このような、交通管理支援を念頭においた交通流シミュレーションモデルを構築するためには、交通現象を高精度で予測可能なことに加えて、各種の情報処理機能が必要である。このためには、モデルの操作性に優れ、各種条件設定が容易であり、さらに演算結果が視覚的に理解可能な形で表示されることが必要である。本研究では、パソコン上でこれらの機能を実現することを目指し、交通管理に有効に機能する交通管理支援システムが構築される。

2. 交通流シミュレーションシステムの概要

2.1 交通管理支援システムとしての構成

本研究で構築する交通管理支援システムの構成を図-1に示す。このシステムは、交通管制者が短期的な交通管理施策を評価するための各種の指標を算定し、さらにこれを有効利用可能な形式で表示するものである。全体は相互に関連する3種類の部門に分類される。以下にそれぞれについての説明をする。

ここで「データベース」では、外部の情報収集機器から与えられる各種データやシミュレーション計算によって得た演算結果を保存する。ここで「データベース」を接続している「外部システム」とは、現実の交通管制システムなどの既存処理装置に対応する。つぎに「シミュレーションモデル」では、交通流シミュレーションモデルによる演算をおこなう各種評価指標を算出する演算の中心的部分である。さらに「データ処理」では、データの加工として外生変数の予測計算をおこなう。データの表示としては、モデルによる各種演算結果の効果的な表示をおこなう。

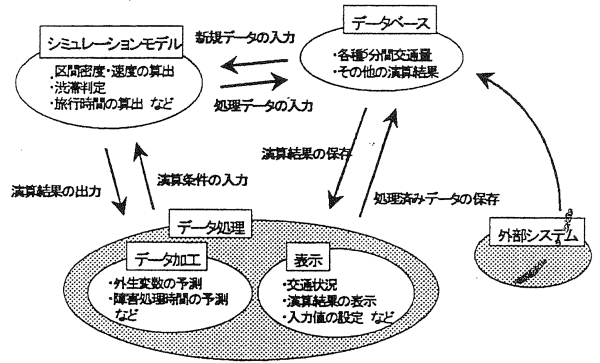


図-1 交通管理支援システムの構成図

2.2 交通流シミュレーションモデルの基本構造

本研究では、阪神高速道路を対象とした既存のシミュレーションモデルを参考としている。これまでに交通管制方式の検討を主目的とした全線を対象とした既存モデルが提案されている¹⁾。このモデルは、流体近似を模した形式で、流入制御方式の検討に用いられ、関連モデルの基本となっている。つぎに放射線を単位とした旅行時間予測のためのオンライン渋滞シミュレーションモデルが導入されている²⁾。これは情報提供を目的としたモデルで、さらにPC上に同様モデルを構築した研究がある^{3) 4) 5)}。本研究は、これらの研究成果を踏まえ、現行の計算機技術を有効に利用したモデル構築を目指す。

本研究の交通流シミュレーションモデルの対象路線は、阪神高速道路の堺線上り(全長11.9km)である。具体的なモデルでは、対象路線を500mごとの区間に分割する(全24区間)。なお、具体的なモデル構造は、既存の研究を参考としている。モデル内では区間の接続状態ごとに、「単路部」「オンランプ合流部」「オフランプ分流部」をそれぞれ定式化する^{2), 3)}。この概念を図-2に示す。本図に示す主要な計算概念は、単位時間ごとの上流区間の流出需要量 $I(i_0)$ と、下流区間の流入可能交通量 $QM(i_1)$ との関係から区間存在台数を算出するものである。これらの関係は以下の式で表現される。

(a) 単路部

まず、 $I(i_0)$ は非渋滞状態の場合、「交通密度-交通量特性」に従い、渋滞状態では交通容量 $C(i_0)$ で与えられる。

$$I(i_0) = \begin{cases} K(i_0) \times V(i_0) \times N(i_0) & \text{(非渋滞時)} \\ C(i_0) & \text{(渋滞時)} \end{cases}$$

つぎに $QM(i_1)$ の値は非渋滞状態の場合、交通容量 $C(i_1)$ に対応する。渋滞状態の場合は、「交通密度-交通量特性」にしたがう。

$$QM(i_1) = \begin{cases} C(i_1) & \text{(非渋滞時)} \\ K(i_1) \times V(i_1) \times N(i_1) & \text{(渋滞時)} \end{cases}$$

時刻 t から $t+1$ の間に上流区間 i_0 から下流区間 i_1 へ進行する流出交通量 $Q(i_0)$ は、上流区間の流出需要交通量 $I(i_0)$ と下流区間の流入可能交通量 $QM(i_1)$ の最小値となる。すなわち、

$$Q(i_0) = \text{Min}(I(i_0), QM(i_1))$$

(b) オンランプ合流部

オンランプは区間の分割点に接続すると考える。上流区間の流出需要量 $I(i_0)$ と下流区間の流入可能交通量 $QM(i_1)$ は、単路部と同様である。

オンランプ j からの流出需要交通量 $IN(j)$ は、時刻 t における「料金所-合流部」間の待ち台数 $X(j)$ と時刻 t から $t+1$ の間に料金所を通過しようとする台数の和で算出される。

$$IN(j) = \text{Min}(X(j) + CN(j), X(j) + W(j) + D(j))$$

- $CN(j)$: 料金所交通容量
- $X(j)$: 本線-料金所間での流入待ち台数
- $W(j)$: 料金所で流入待ちする車両台数
- $D(j)$: オンランプ j に到着する到着交通量

料金所を通過しようとする台数は、需要交通量と料金所交通容量との関係によって、2種類の場合が考えられる。 $IN(j)$ は、場合ごとの算出値の最小値をとる。

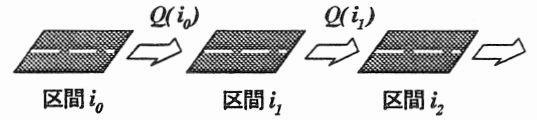
時刻 t から $t+1$ の間に上流区間 i_0 およびオンランプ j から、下流区間 i_1 への流出交通量 $Q(i_0)$ は、

$$Q(i_0) = \text{Min}(I(i_0), QM(i_1))$$

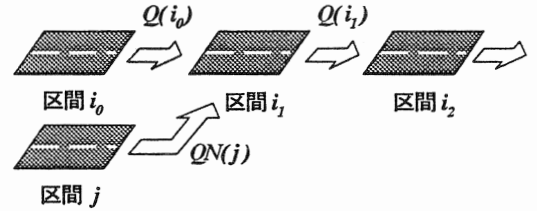
$$QN(j) = \text{Min}(IN(j), CX(j), QM(i_1))$$

から算出される。この計算の結果、区間 i_0 およびオンランプ j からの流出交通量の和が、区間 i_1 の流入可能交通量を超えた場合は、次式に示すようにオンランプ j と上流区間の交通容量の比率を用いて流出交通量の修正をおこなう。これまでに合流状態に関する研究がおこなわれている。しかしながら、このモデルでは比較的単純な構造を想定している。さらに本モデルでは、実際の合流状態と一致するようなオンランプの交通容量を実証的データより妥当な値を定義しモデルに適用した。

< 単路部 >



< オンランプ合流部 >



< オフランプ合流部 >

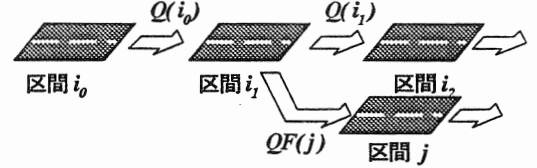


図-2 対象路線のモデル図

$Q(i_0) + QN(j) > QM(i_1)$ ならば

$$QM_{i_0 i_1} = QM(i_1) \times \frac{C(i_0)}{C(i_0) + CX(j)}$$

$$QM_{j i_1} = QM(i_1) \times \frac{CX(j)}{C(i_0) + CX(j)}$$

- $CX(j)$: オンランプ j の交通容量
- $QM_{i_0 i_1}$: 修正後の上流区間の流出可能交通量
- $QM_{j i_1}$: 修正後のオンランプ j の流出可能交通量

(c) オフランプ分流部

オフランプは区間の分割点に接続すると考える。このモデルでは OD 別交通量を用いないので、オフランプ j からの流出交通量は、分岐率 $P(j)$ を用いて流出させる。ここで分岐率 $P(j)$ は、本線走行車が分流部においてオフランプ j へ流出しない比率である。これは、オフランプ接続部の直前と直後の車両検知機により測定された区間交通量より算出している。

上流区間 i_0 から下流区間 i_1 およびオフランプ j への流出需要交通量 $I(i_0)$ 、 $IF(j)$ は

$$I(i_0) = \begin{cases} K(i_0) \times V(i_0) \times N(i_0) \times P(j) & \text{(非渋滞時)} \\ C(i_0) \times P(j) & \text{(渋滞時)} \end{cases}$$

$$IF(j) = \begin{cases} K(i_0) \times V(i_0) \times N(i_0) \times (1 - P(j)) & \text{(非渋滞時)} \\ C(i_0) \times (1 - P(j)) & \text{(渋滞時)} \end{cases}$$

下流区間 i_1 の流入可能交通量 $QM(i_1)$ および流出交通量

$Q(i_0)$ は、単路部と同様である。

ここで本来、オフランプ j の流出可能交通量はオフランプ j の交通容量となるべきである。しかし、実際の交通状況では放射線の的上におけるオフランプ j での流出交通量は本線を走行する交通量に対して微少である。そのため、オフランプ j の交通容量にまで達する現象は見られない。そこで、オフランプ j への流出需要交通量は、流出可能交通量に制約される事はないと仮定している。ここで制約条件を残しても問題はないが、計算効率の向上を目指したものである。今後、オフランプへの流出需要交通量が急激に増大する場合にはモデル構造を再検討する必要がある。

オフランプ j への流出交通量 $QF(j)$ は、 $Q(i_0)$ と $P(j)$ を用いて以下の式より算出される。

$$QF(j) = Q(i_0) \times \frac{1 - P(j)}{P(j)}$$

このように、本研究では従来モデルの基本概念を参考として構成している¹²⁰⁾。従来モデルとの比較において、本モデルの特徴を以下に整理する。

- ①既存モデルは N88 Basic で記述されていたが、現行の PC 機能を活用した高度情報処理を可能とするために Visual Basic で記述した。
- ②環状線と放射線の合流部分の記述を精緻化することで、放射線単独で推計可能なモデルを構築した。
- ③都市高速道路で特徴的な入口料金所の交通現象を合流部モデルとして表現した。これより、料金所での待ち行列長などの局所的な交通状況が表現できるようになった。
- ④従来、全線を対象に単一の K-V 特性が用いられていたが、最新の現況再現をおこなうためにデータを更新し、区間特性に関する検証をおこない、3 種類の K-V 特性を作成した。
- ⑤従来より問題となっている交通状況予測精度向上のための確かな需要交通量予測に対して、「カオス理論」に基づく予測法を提案した。

2.3 交通流シミュレーションの要素技術

本研究では実用化に向けて操作機能、表示機能の高度化を目指している。そこで、プログラム言語に Visual Basic を用いている⁶⁾⁷⁾。したがって具体的には、プログラム作成手順として、まず GUI 開発ツールで、フォーム(画面)にマウス操作によって各種のオブジェクト(コントロール)を配置する。つぎにそれに関連するイベントプロシージャを Basic 言語で記述していく。このツールを用いたことによる改良点がいくつか挙げられる。

(a) プログラミング作業の容易性

入力情報あるいは演算結果を表示するための画面構成に関して、マウス操作によるオブジェクト構成が可能になったことでデザイン作業が容易となった。これによって、アイコン操作やメニュー操作などを組み込んだプログラムを、

容易に構築する事が可能となった。

(b) 演算結果の視覚的表示

シミュレーション計算によってモデルから算出された指標値を、グラフィック機能を用いてグラフ化することができる。この演算結果の視覚的表示により、交通管制担当者は演算結果を瞬時に把握する事ができる。交通管制を行う際の判断時に対する演算結果の有効性が向上したといえる。

(c) 操作性の向上

ユーザーは交通管理支援システムを利用する際に、マウス操作によって計算を進めることができる。利用時には、入力値の設定、画面の移行、計算の実行を命令するだけでよい。従って、コンピュータに関する専門知識がなくとも計算が可能である。

2.4 ユーザーインターフェイスの構成

交通管理支援システムは、モデルから計算された各種演算結果を図-3 は平常時、図-4 は混雑時の演算結果の表示画面である。すなわち、演算が開始されると交通管理の支援情報として旅行時間と渋滞長、渋滞状況、開口ブース数、待ち行列長の各指標が画面上に出力される。これらは、シミュレーション対象時刻から 5 分ごとに刻々と表示される。さらに当該画面のほかに、各種演算結果を時間変化を表示する画面を用意している。ここでは、堺入路から環状合流部までの「旅行時間」および「渋滞区間」が時系列的にグラフ化される(選択画面)。また算出された区間速度一覧表も表示可能である。さらに、対象時刻内において任意時刻の路線状況を再表示する事が可能である。ここでは各種の指標値が、図-3 と同様の画面に表示される。これにより、渋滞の延伸・解消の状況をより具体的に確認する事ができる。

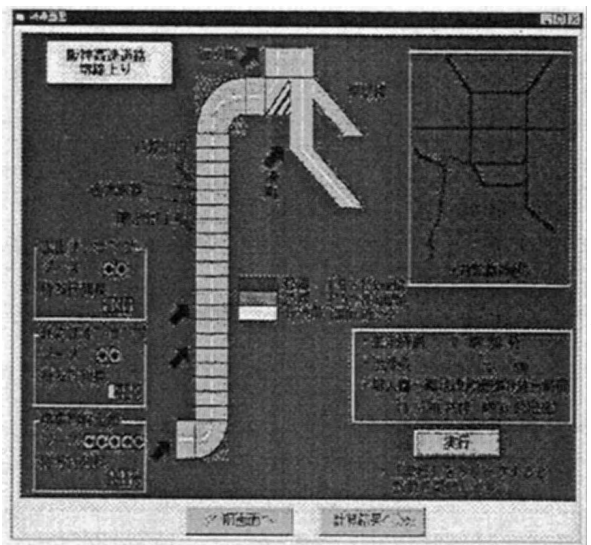


図-3 交通状況表示画面(平常時)

以上に述べた本システムの機能を表-1 に整理した。ここで現況再現とは、既存データに基づいて現時点に観測された交通状況の再現計算をおこなうものである。また予測機能は、シミュレーション計算に必要な予測値を与えて将来の交通状況を推計するものである。また、各出力値は一覧表やグラフのように視覚的に有効な形式で表示され、交通状況の傾向を具体的かつ容易に把握することができる。

さらに本研究では、交通制御方式の検討が可能とした(選択画面)。具体的には、特定時間に対する流入制御パターンを(堺, 住之江, 玉出)の開口ブース数の時間変化を30分ごとの外生的に与える事が可能である。また、最大開口数は(5, 2, 2)である。この設定条件下で、算出される交通状況や演算結果も同様に表示でき、交通制御による影響の比較評価が可能である。

2.5 現況再現性の検証

交通管理に有効な支援情報を提供するために、シミュレーション結果が現実の交通状況の再現可能性を確認する必要がある。

ここで用いたデータは、平成9年10月14日(火)、6:00~11:00の渋滞状況の時間的変化と、同日5分ごとの入口・出口交通量および区間交通量である。(西大阪線分岐点直下の5分間交通量が観測されていないため、本線上の分岐点直前と直後の5分間交通量の差を西大阪線分流部の流出交通量とした。)西大阪線の分岐位置の上流区間が円滑流で当該区間が混雑流の場合に誤差が大きくなる。しかしながら、実測データからこのような場合は極めて希であり、また本モデルは区間の交通状況を平均的に記述するもので、この誤差は推計精度に大きく影響しないと考えた。しかし、車両一台ごとの走行軌跡を表現するマイクロモデルを構築するような場合には再検討が必要である。

また、オンラインでは、到着交通量を前述のデータを用いて次式より算定している。

$$D(t) = DW(t) + W(t) - W(t-1)$$

$D(t)$: オンライン到着交通量

$DW(t)$: オンライン流入交通量

$W(t)$: 料金所の待ち台数

ここで、待ち台数を算出するためには待ち行列データが必要である。しかし、観測が容易でないため各種5分間交通量に対応した待ち行列データが得られなかった。そのためここでは、待ち行列データを昭和60年2月18日の観測データで代用している。また、料金所までの待ち時間などは考慮していないため、ここでの現況再現性は本線上の交通状況のみを対象としている。

ここでは、交通流を記述する上で最も重要なK-V関係を線形関数としている。これを堺~芦原を例として図-5に示す。ここで図示されているものは、走行速度および密

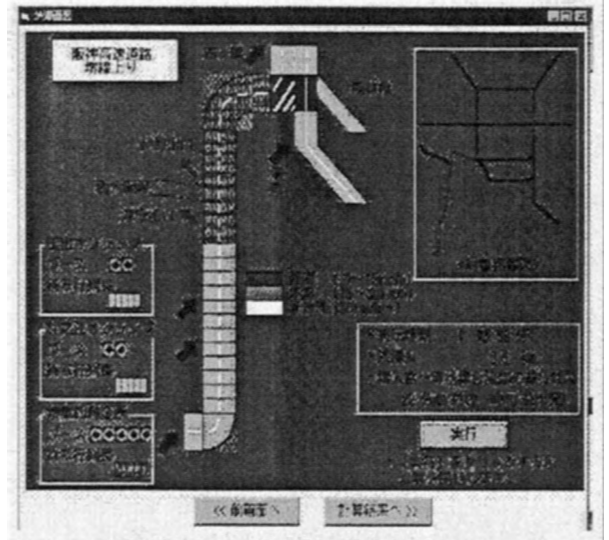


図-4 交通状況表示画面(混雑時)

表-1 システム機能一覧

機能区分	設定値	所与変量	出力値
現況	現況再現	対象時刻 各種5分間交通量	渋滞状況 旅行時間
予測	交通状況予測	制御パターン	渋滞長
	旅行時間予測	対象時刻	ブース開口状況
	流入制御の評価	各種5分間交通量予測値	待ち行列長
	障害時の交通状況予測	障害発生箇所	

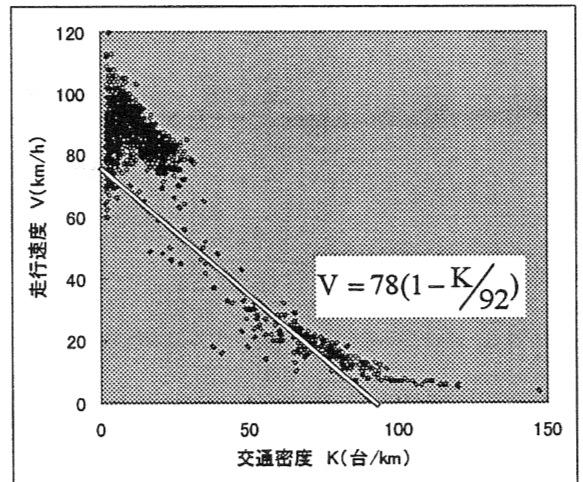


図-5 K-V特性の線形近似

度の実測値である。これから線形近似曲線を導き、モデルに適用している。この図を見ると、切片に大きなばらつきが見られる。しかしながら、モデルの仮定において車両群は最小シミュレーションタイム(20秒)の間に、区間を2つ以上移動しないとされている。そのため、この仮定に適さない自由速度を異常値として扱っている。

また、区間別の路線形状の相異を考慮して、3種類のK-V特性を与えた。堺~芦原では自由速度を78(km/h)、

飽和密度 92 (台/km・車線)。芦原～環状線合流部では、自由速度を 59 (km/h)、飽和密度 92 (台/km・車線)。環状線部では、自由速度を 83 (km/h)、飽和密度 92 (台/km・車線) に設定している。

さらに区間別の渋滞判定には、区間平均速度が 30km/h を下回る場合を渋滞としている。阪神高速道路公団では渋滞判定の際、Q-K 関係を示しその特定領域に属する場合を渋滞としている。本研究の判定基準は、公団の渋滞判定が区間平均速度 30km/h 以下で必ず渋滞とされていることに基づいている。

算定結果から得られる対象路線の渋滞状況の時間的変化が図-6である(ただし6:30~10:00を図示)。渋滞状況の実測値と計算値を比較すると、7:10~8:00の玉出先頭の渋滞が表現されていない。これは、玉出合流部付近の路線特性に関する設定が不十分であったためと考えられる。具体的には、合流部直下の流出交通量が若干過大であった事。あるいはオンランプからの流入交通量が若干過小であったものと思われる。今後、合流部の設定について再検討が必要である。しかしながら、全体的には渋滞状況の増減傾向を表現できている。

現況再現性を定量的に検討する指標として、適合率(時間数×区間数=61×24のうち渋滞判定が正しく一致した割合)を用いる。ここでは、シミュレーション対象時間は6:00~11:00である。本モデルでは5分毎に路線状況を表示するので、時点数は61である。また、対象路線を仮想的に500mの区間に分割しているため、区間数は24である。従って、このとき本モデルによる適合率は

$$\begin{aligned} \text{適合率} &= \frac{(\text{渋滞判定一致数})}{(\text{時間数} \times \text{区間数})} \\ &= \frac{1297}{61 \times 24} = 0.886 \end{aligned}$$

であった。既存研究においても同様の検討がおこなわれており、昭和58年11月20、21日および12月23日の再現における適合率の平均は0.844であった。これらの結果を比較することによって、本モデルの現況再現性が従来モデルよりも若干向上していることが確認された。

しかしながら、従来研究では実用的な推計精度は確保されている事が報告されている²³⁾。さらに高精度の推計が必要となる場合にはモデル構造の再検討が必要である。例えば妥当なパラメータ値の設定などがある。現時点で挙げられる解決策として、この問題を組み合わせ最適化問題として定式化し、GA(Genetic Algorithm)を用いる方法がある。

3. カオス理論による外生変数予測

3.1 外生変数の予測方法

交通流シミュレーションモデルを内包した予測システムでは、モデルの精緻化に加えて、妥当な外生変数の設定が重要である。これは、外生変数の予測精度が最終的な交通

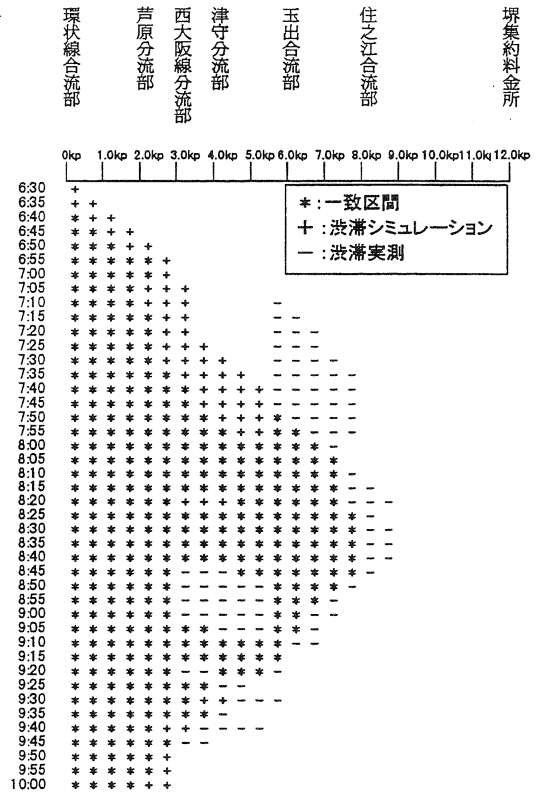


図-6 現況再現結果

状況予測値の信頼性に大きく影響を与えるからである。既存の渋滞シミュレーションでは、ランプ到着交通量(流入需要量)を外生変数としている。従来システムでは、外生変数予測の標準的方法として指数平滑法を用いている。この方法は直線的な傾向変化を基本とするため、時間的変動の大きい5分間交通量の予測精度には問題があることが指摘されている。

そこで本研究では、複雑系の予測に適したカオス理論を用いて、予測精度の向上を図る。カオス理論による予測手法は、従来ノイズと考えられてきた事象の変動に規則性を見出し、その近未来の状態を予測するものである。

3.2 外生変数の設定

本研究では、各ランプの流入需要量に相当する「ランプ到着交通量」を外生変数とする。ここでは、検知器で観測される流入交通量と街路上の待ち行列長観測値(1985.2.28の実測)を用いて、実績値を次のように設定した。

$$D(t) = DW(t) + W(t) - W(t-1)$$

$D(t)$: オンランプ到着交通量

$DW(t)$: オンランプ流入交通量

$W(t)$: 料金所の待ち台数

ここで、流入交通量データは、平成9年10月13日~19

日の5分間交通量とした。両データの時間的不整合については、流入交通量の実績値を比較することにより修正している。このように、外生変数実績値の設定においても問題が残されている（待ち行列データの蓄積）。

本研究では、ランプ到着交通量（外生変数）の変動傾向が流入交通量に反映すると考え、実際にはカオス理論によって時系列的な流入交通量予測を行い有効性を検討する。

3.3 カオス理論を用いた予測手法

ここでは、カオス理論を用いた短期予測手法における局所再構成法について具体的な説明をする。

カオス理論による予測は、「1本の観測時系列データから、もとの力学系の状態空間とアトラクタを構成する」というタケンスの埋め込み定理に基づいている^{8) 5)}。ここで埋め込みとは、時系列データを状態空間に再構成する事である。

①観測されたある時系列データ $y(t)$ をタケンスの埋め込み定理を用いて、 n 次元の状態空間に時系列データを埋め込む。この状況を図-7の上部に示す。これから次のベクトルが得られる。

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

n : 埋め込み次元, τ : 遅れ時間

②状態空間にプロットされたベクトル $x(t)$ に対して t を変化させる。これより、有限個のデータベクトルが作成され、 n 次元再構成状態空間に軌道が描かれる。この操作を多数のデータに対し繰り返すと、状態空間に滑らかな多様体が形成される。この様子を図-7下部に示す。

③状態空間上に最新の観測で得られたデータベクトル $z(T)$ をプロットする。ここで $z(T)$ から距離の近いものを「近傍データベクトル」と呼ぶ。これは、過去の観測データベクトルである。

また、最新の時系列データ $z(T)$ の近傍データベクトル $x(i)$ から s ステップ先ベクトル $x(i+s)$ への軌道は既知である。時系列データの変動に規則性を仮定すると、状態 $z(T)$ から $z(T+s)$ の軌道は、状態 $x(i)$ から $x(i+s)$ の軌道と近似的に等価である。この関係を図-7下部右に示す。

この時、 $z(T)$ から $z(T+s)$ の軌道は、 $z(T)$ と $x(i)$ の距離に影響される。すなわち $z(T)$ から近い $x(i)$ の軌道ほど、 $z(T)$ から $z(T+s)$ の軌道に及ぼす影響が大きい。

④この $z(T)$ から近未来 (s ステップ先) の予測値 $\hat{z}(T+s)$ への軌道は、先に選出した近傍データベクトルを用いて算出する。

局所再構成法の中には、様々な具体的方法が存在する。そのひとつに、グラム・シュミットの直交系法⁹⁾がある。この方法は、まず状態空間内に近傍データを含む直交系を構成する。次に、データベクトルの構成した直交系の各軸

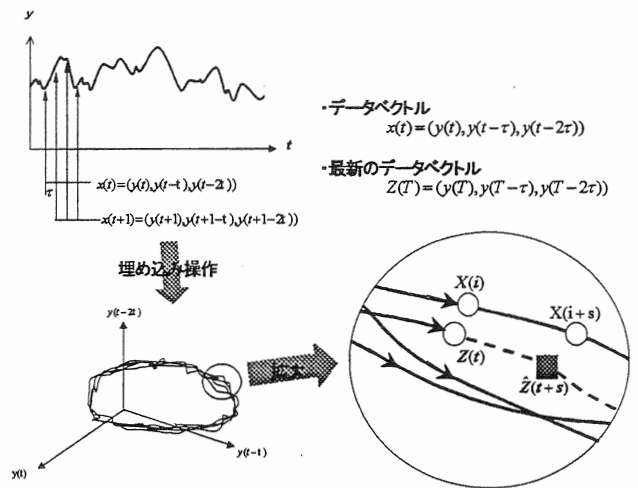


図-7 埋め込み操作の概念図

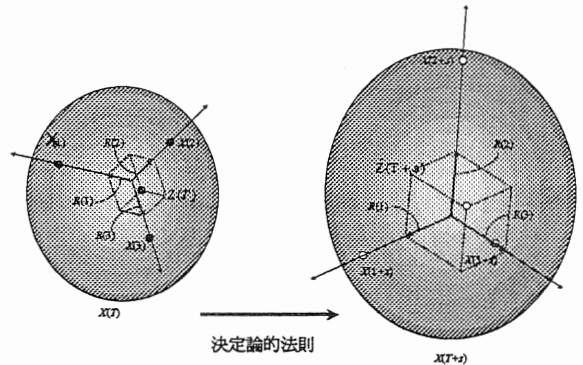


図-8 グラム・シュミットの直交系法の概念図

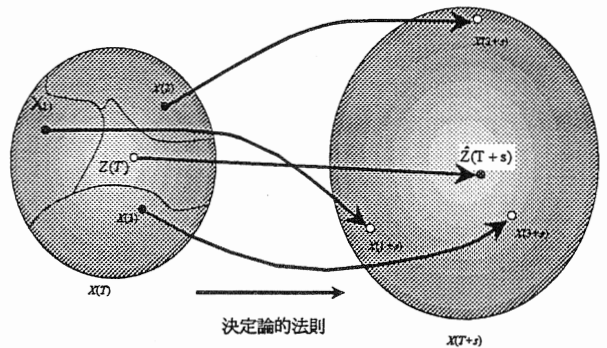


図-9 局所ファジィ再構成法の概念図

への写像と近傍データとの割合を算出する。そして、その比率と s ステップ先の近傍データから予測値を算出するものである。その概念を図-8に示す。

本研究では「局所ファジィ再構成法」を利用した。この概念図を図-9に示す。局所再構成法では、過去の蓄積データが多いほど推計精度は向上する。そのため、多数の蓄積データを速やかに処理する必要がある。この計算時間は、他の方法に比べ迅速であり、急激に増加しないためである。

表-2 予測精度の比較

予測手法	指数平滑法	カオスによる方法
相関係数	0.673	0.827
RMSE	82.020	20.924

3.4 カオス理論による予測精度の検討

つぎにカオス予測法を用いた時系列交通量の推計結果について述べる。先に述べたように、ここでは5分単位の流入交通量を時系列的に12時点(1時間)先まで予測するものである。また対象となるのは、シミュレーション外生変数値が必要となる入路、出路、断面の全11地点である。これらの地点について、蓄積されたデータとして2016時点(平成9年10月13~19日)の交通量を収集している。

ここでは、堺集約入口に対する予測結果(午前8:00~9:00対象)について述べる。予測にあたっては、従来法である指数平滑とカオス理論の両方で検討している。指数平滑ではこのとき3次指数平滑とし、平滑化定数は $\alpha=0.1$ である。

また、カオス理論による方法では、いくつかの試行を踏まえて遅れ時間 $\tau=2$ 、埋め込み次元 $n=3$ とした。これらの時系列的な予測結果を示したものが図-10である。

指数平滑に比べ、あきらかにカオス理論による予測法は実測値の変動に追従している。指数平滑法では、固定的な変化傾向を前提とするため、直線的な変化となったものと考えられる。

つぎに、定量的予測精度を検討するため、相関係数とRMSEを算出した。これを表-2に示す。これより、カオス理論による方法は全般的に良好であり、平均的には10%程度の誤差で推計していることがわかる(指数平滑は40%程度)。他の対象地点についても同様の分析を行った。いずれも類似した結果が得られカオス理論の外生変数予測への適用可能性が示された。

3.5 カオスによる予測結果を用いた交通状況予測

交通管制担当者への高度な情報を予測するためには、モデル構造の精緻化に加えて、時系列的な外生変数の高精度な推計が必要である。これまでの研究で、外生変数の予測精度がシミュレーションの精度に大きく影響することが明らかにされている。そこで本研究では、「カオス理論」による外生変数の予測手順を提案し、予測精度の向上を確認した。さらに、外生変数の予測値をシミュレーションモデルに入力し、交通管理支援システム全体の交通状況の再現程度を検討する。

まず、カオス理論を用いた手法によって得られた外生変数の予測値を、さらにシミュレーションモデルに入力し渋滞状況の予測値を算出した。このときの渋滞状況予測値と実測値の比較を図-11に示す。また、ここで比較した値は、平成9年10月13日、8:00~9:00のみを図示している。図より、渋滞の規模は同等であるといえるが、8:40以降の渋滞を過小に算出している。これは、実測値より過小な予測値が算出されたためである。この問題を解決する方法として、時間帯別交通量を用いることが挙げられる。すなわち、実測値の時間帯別交通量との比率を用いて予測値を調整する。これによって、渋滞延伸の時間的誤差を減少させ

堺集約料金所

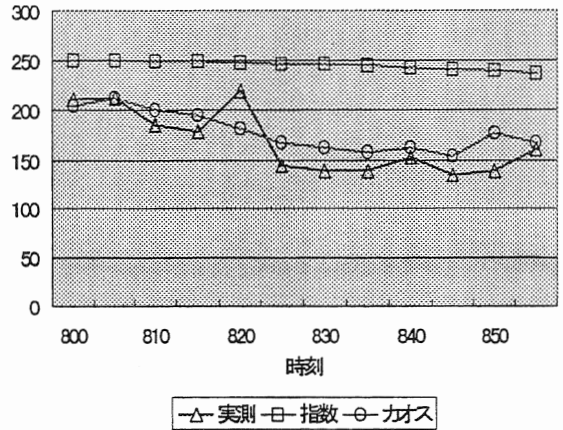


図-10 実測値と予測値の比較

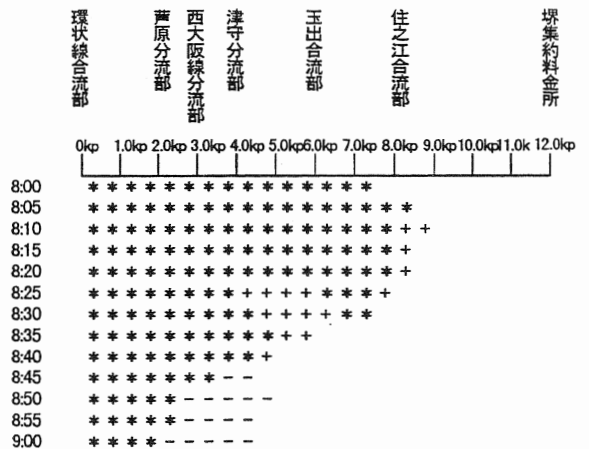


図-11 カオス理論を用いた渋滞状況予測値

ることが可能である。

また、ここで得られた適合率は、0.892であった。また、従来法として用いられている指数平滑法では、0.807である。このことより、若干ではあるもののカオス理論を用いた予測手法では、従来法以上の精度が得られたといえる。

また、交通管制担当者が交通管制施策を検討するとき、最も具体的な情報は旅行時間である。そこで堺入路から環状線合流部に至る旅行時間の予測をおこなった。旅行時間の算出方法として、上流地点X(堺入路)と下流地点Y(環状線合流部)の累積交通量が一致する時間差を旅行時間とする方法を用いた。

ここでシミュレーション計算に用いたのは、カオス理論に基づく予測プロセスによって算出された各種 5 分間交通量の予測値である。この予測値の算出に用いたデータは平成 9 年 10 月 14 日、6:00~11:00 のものである。また、この際の交通制御状況は現況と同一の制御がおこなわれているとした。この旅行時間予測値の変化を図-12 に示す。なお、比較のために、阪神高速道路時刻表の値を参考として併記している¹⁰⁾。

4. おわりに

本研究では、交通流シミュレーションモデルを用いた都市高速道路の交通管理のための交通管理支援システムを構築した。まず、プログラム言語に Visual Basic を用いることでシステム利用者に対する操作性が向上した。つぎに、効果的な制御施策を抽出するための制御パターンの評価手順を示した。さらに、外生変数の予測手法において、カオス理論を用いた予測手法を適用し、予測精度の向上を確認した。また、この予測値をシミュレーション計算に用いて、交通情報の信頼性も確認した。今後、さらに効果的な交通管理支援システムをめざして今後の研究課題について以下に整理する。

① 交通管理のための演算項目の充実

本研究では、交通制御の有効性評価の際、管制担当者の判断に有効な指標項目を検討したが、さらに有効な指標を充実させる必要がある。また、それらの算出された演算結果を、より視覚的に高い効果を得られる表示形式についてさらに検討の余地がある。

② 広域ネットワークへの適用

本研究で用いたモデルの対象路線は、阪神高速道路の放射線にとどまっている。しかし、都市高速道路のネットワークの延伸に対応する必要がある。そこで、主要路線である環状線を含んだ、広域ネットワークを対象とした広域モデルへの拡張が必要である。

③ 一般道路の交通状況も考慮した関連情報の検討

都市高速道路の交通管理においては、本線上の交通状況に加え一般街路への影響も考慮する必要がある。本研究のモデルでは、料金所における待ち行列長が考慮されている。この他に料金所での待ち時間や、オンランプ迂回交通量などの指標をモデルに組み込み、高速道路と一般街路を総合的に評価できるモデルへの拡張が必要である。

④ 局所ファジィ再構成法の改良

カオス理論を用いた予測手法において、外生変数の予測値を算出する際にメンバーシップ関数を用いている⁹⁾。この関数の与え方は、予測値の算出に直接関係しており、予測結果に大きく影響すると思われる。この影響を整理したうえでここには改善の余地があると思われる。

⑤ 他の局所再構成法の特徴の整理

本研究では、流入交通量予測にカオス理論を用いた予測

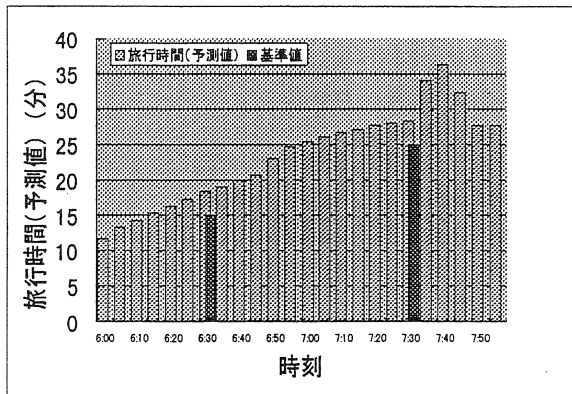


図-12 旅行時間予測値の変化

手法を適用した。しかし、局所再構成法にはここで採用した方法以外にもテセレーション法など幾つかが提案されている。これらの手法の特徴を把握し、実際に予測値を算出しそれぞれの手法の予測結果を整理する必要がある。

また最後に、データ収集に関して、ご協力頂いた阪神高速道路公団および(株)都市交通計画研究所に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団(社)交通工学研究所: 阪神高速道路の渋滞対策に関する調査研究報告書, pp.80-106, 1981
- 2) 井上矩之, 秋山孝正, 山西弘剛: 都市高速道路の渋滞, 旅行時間予測オンラインシミュレーションモデル, 昭和 60 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, IV-26, 1985
- 3) 井上矩之, 秋山孝正, 辻本賀一: 情報提供のための渋滞シミュレーションシステム, 昭和 61 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, IV-8-1, 1986
- 4) 佐佐木綱: 都市高速道路の旅行時間予測システムによる情報提供に関する研究, 平成 3 年度科学研究費補助金試験研究(B)(1)研究成果報告書, 1993
- 5) 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
- 6) 土田貴義・秋山孝正: 交通管理情報提案のための渋滞シミュレーションシステムの開発, 土木学会全国大会平成 10 年度研究発表会講演概要集, pp.688~689, 1998
- 7) 土田貴義, 横山剛士, 秋山孝正: 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
- 8) 秋山孝正: 高速度交通計画におけるファジィ理論と知識工学手法の応用に関する研究, pp.47-62, 1989
- 9) 合原一幸, 五百旗頭正: カオス応用システム, 朝倉書店, pp.117-137, 1995
- 10) 五百旗頭正: カオスと予測, 日本ファジィ学会誌 Vol.7, No.3, pp.486-494, 1995
- 11) 阪神高速道路公団: 阪神高速道路時刻表(平日用), 1996