

IV-60

高速道路交通流におけるカオス特性に関する研究

北海道大学 学生員 石川 貴康  
 北海道大学 正員 藤原 隆  
 北海道大学 正員 中辻 隆

1. はじめに

高速道路、一般道路のいずれにおいても、その交通流は、ほんの小さな出来事の影響を受けて大きく変化するということが多々発生する。特に交通状態が渋滞している時には、非常に不安定な状態となることが知られている。

一般的に交通流現象を解析するためにマイクロモデルやマクロモデルに立脚したシミュレーション手法が用いられているが、シミュレーション結果を評価するためには、交通流が持つ不安定特性を理解する必要がある。

近年、初期値やパラメータのわずかな違いによって後の挙動が大きく異なるという現象がカオスとして注目されている。本研究ではマイクロ交通流シミュレーションモデルを用いて、モデルパラメータの相違による車両の運動挙動の影響を分析することを目的としている。まず、車両運動の状態を視覚的に理解しやすいようにするために、VB(Visual Basic)を用いて分析プログラムの作成を行い、つぎに作成したプログラムを用いてマイクロ交通流モデルの感度パラメータや追従パラメータを変化させた時の影響について分析した

2. カオス

カオス(Chaos)とは文字通り「混沌」のことであって、秩序のない、規則性を持たないものをそのように呼ぶ。ただし、これはそのまま「ランダム」を意味してはいない。いわば「簡単な規則によって支配された不規則振動」なのである。

本研究のなかでカオス的であるという意味は、1つは現在の状態から将来の状態を推測することが困難であること、わずかなパラメータ値の変化に対しても敏感であること意味している。交通流において

も、マイクロモデルの追従式、あるいはマクロモデルの動的方程式は顕著な非線形性を有することから、カオス特性が含まれるものと予想される。

3. ミクロの交通流シミュレーションモデル

マイクロモデルの基本的な概念は、個々の車両の相互影響であり、追従理論に基づいて構成されている。この理論は、互いに追走している1組の車両の走行条件を式に表している。後ろを走る車両の加速度は2台の走行速度の差に比例することを定式化したものに加え、2台の車両間隔に反比例する感度係数を仮定したのが以下の式である。

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) = \alpha \frac{\dot{x}_{n+1}(t+T)^m}{\{x_n(t) - x_{n+1}(t)\}^l} \{x_n(t) - x_{n+1}(t)\} \quad (1)$$

ただし

$\ddot{x}_n(t)$ :時刻 $t$ における $n$ 台目の車の加速度 ( $m/s^2$ )

$\dot{x}_n(t)$ :時刻 $t$ における $n$ 台目の車の速度 ( $m/s$ )

$x_n(t)$ :時刻 $t$ における $n$ 台目の車の位置 ( $m$ )

$\alpha$ :感度係数

$T$ :反応遅れ( $s$ )

$l, m$ :追従定数( $0 \leq l \leq 3, 0 \leq m \leq 1$ )

ここで $n=0$ は先頭車を表す。本研究では速度を任意に設定するものとする。(1)式における定数 $l$ と $m$ はドライバーの挙動、交通流の様子によってさまざまな値が考えられ、これらを与えることで、それぞれ異なった道路の種類にも対応しうるモデルを構築することができる。 $l$ と $m$ の組み合わせは、Gazisらによると、ある整数形の数同士の組み合わせが観測によって確認されているが、非整数形のモデルも存在することが報告されている。また、 $\alpha$ は加速、減速など車の挙動全般に影響を及ぼすものである。

#### 4. カオス特性分析プログラムについて

追従モデルに従って車両が運動する時の追従車の加速度、速度、及び相対座標を、VBによって分析するプログラムを作成した。図1は、プログラムのプラットフォームを表している。フォームの左側上部は、モデルパラメータ及び、先行車の速度パターンを設定するためのダイアログボックスであり、選択された走行速度をその右側に表示する。そして、結果を画面中央においてアニメーション表示させる。ここでは、任意の車両数を追従させることができる。フォーム下側のボタンによってアニメーション動作、結果表示、数値解析などを行う。

シミュレーションされた車両運動の結果は図2のように分析して表示される。右側の折れ線グラフはそれぞれ上から加速度、速度、相対距離の時刻歴を示している。また、左上の数字は下の右から2つ目のボックス内の番号、ここでは時刻  $t=150$  番目の車間距離の値で、右上、右下のボックス内の数字は、折れ線グラフの縦方向の増幅率を表している。左側の図はそれぞれの運動量に関して、横軸に時刻  $t$  のときの値、縦軸に時刻  $t+1$  のときの値を。このようなプロットすることによって非線形性を確かめ、ひいてはカオス性を持つかどうかの判断をすることができる。

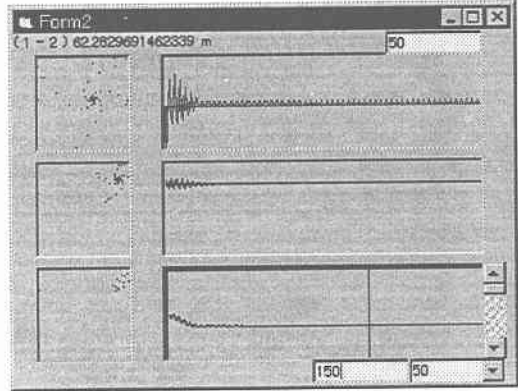


図2 分析結果表示画面

#### 5. 数値解析

4節で述べたプログラムで以下の条件に従ってシミュレーションした。

- ① 先行車は  $60 \text{ km/h}$  で一定走行する (加速度  $=0$ )
- ② 走行台数は先頭車を含めて3台
- ③ 追従する車の初期速度はそれぞれ  $50 \text{ km/h}$
- ④ 車間距離の初期値はそれぞれ  $50 \text{ m}$
- ⑤  $\alpha$ 、 $l$ 、 $m$  をそれぞれ  $0.1$  刻みで変化させる

以上の条件で2台目と3台目の車の追従関係について、特徴がもっともよく現れている加速度  $a$  について解析した

##### 1) 感度パラメータ $\alpha$ による分類

図3は加速度  $a$  の最大値  $a_{\max}$  の  $l$  による変化を  $\alpha$  の値によって分類したものである。それぞれ、 $a_{\max}$  を縦軸、モデルパラメータ  $l$  を横軸にとり、 $m$  を  $0.1$  から  $2.0$  まで  $0.1$  刻みに20通り計算した値をグラフに表したものである。この結果  $\alpha$  のどのような値においても  $m < 1.0$  のとき、 $a_{\max}$  は不安定な変化を示した。 $a_{\max}$  の最大値を与えるようなモデルパラメータ  $l$  は単調増加せず、 $a_{\max}$  の最大値も増減が小刻みに起こっている。また、 $\alpha$  が増大すると増減の幅が広がる。これは、感度パラメータと呼ばれる  $\alpha$  の変化が挙動全般に影響を及ぼすということを証明する結果となっている。一方、 $m \geq 1.0$  の状態では  $a_{\max}$  の最大値や、最大値を与える  $l$  は、 $m$  とともに増大する傾向にある

##### 2) モデルパラメータ $m$ による分類

図4は加速度  $a_{\max}$  を縦軸に、モデルパラメータ  $l$

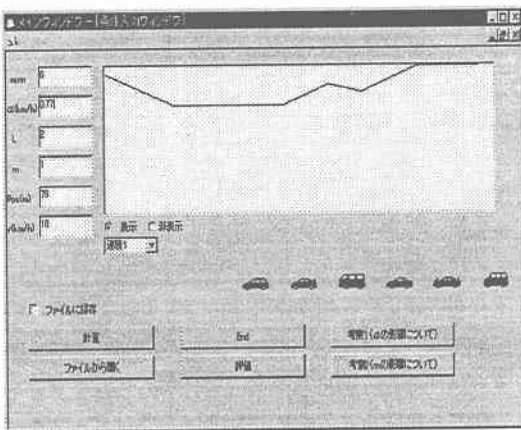


図1 カオス特性分析プログラム操作画面

を横軸にとるところまでは同じだが、 $m$ について0.1から1.9まで0.1刻みに19通りに分類し、それぞれ加速度 $a_{\max}$ の値を $\alpha$ の値が0.1から1まで0.1刻みで10種類ずつにまとめて表示したものである。 $\alpha$ が変化する際の加速度の最大値を与える $l$ は、 $m$ が0.4から1.3の間で振動が起こっている。そして $m=0.5$ の付近で $a_{\max}$ は最大値をとる。 $m$ が大きくなるにつれて、徐々に $a_{\max}$ は小さくなっていく。

#### 6. まとめと今後の課題

数値解析において、 $m < 1$ 、もしくはその付近で、 $a_{\max}$ の動きが複雑になるという結果が得られた。 $l$ 、 $m$ については、さらに細かい計算を行う予定である。そして $\alpha$ については、大きくすればその分敏感に結果に反映される。実際、 $\alpha > 1$ のモデルも報告されており、そのしくみを理解することで、交通流をより忠実に再現することを可能にするものと期待している。今回の結果は、ただ複雑であるということを示す作業が先行してしまい、だからカオス的であると単純に結びつけるには材料不足で、必ずしも適当とはいえない。カオスの特徴は、複雑系のなかにある規則が視覚的に容易に確かめることができるところにあるため、今後の解析の予定としては、カオス判定手法の発展と、結果を分かりやすく表示す方法の重点を置いて進めていきたい。

#### 参考文献

- 1) 佐藤幸悦著:C言語によるフラクタル/カオス,ラッセル社,1991
- 2) Paul S. Addison and David J. Low:Order and chaos in the dynamics of vehicle platoons, Traffic Engineering Control, pp. 456~459, July/August 1996

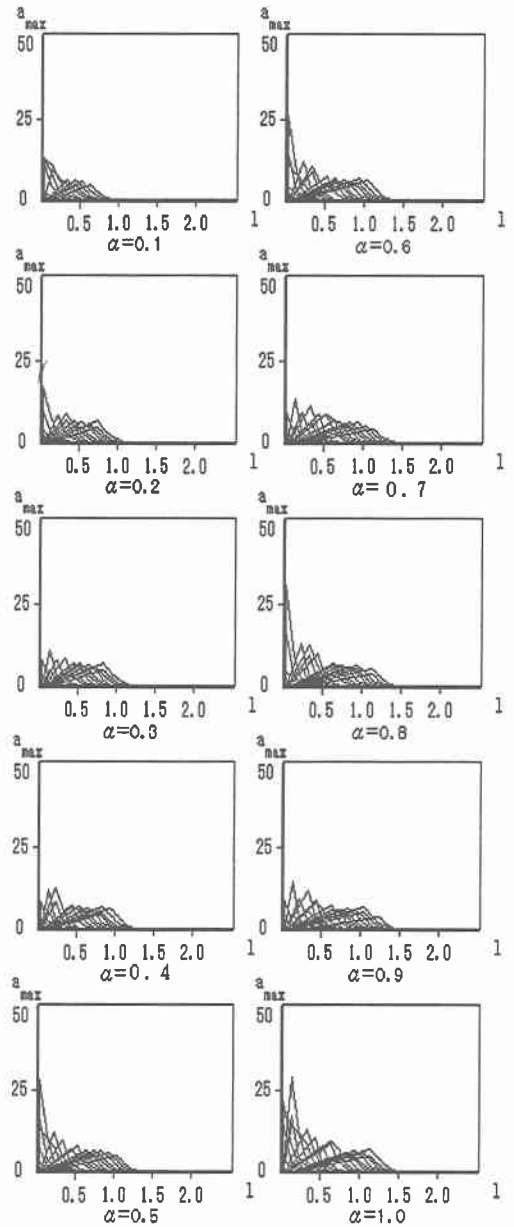


図3 解析結果の $\alpha$ による分類

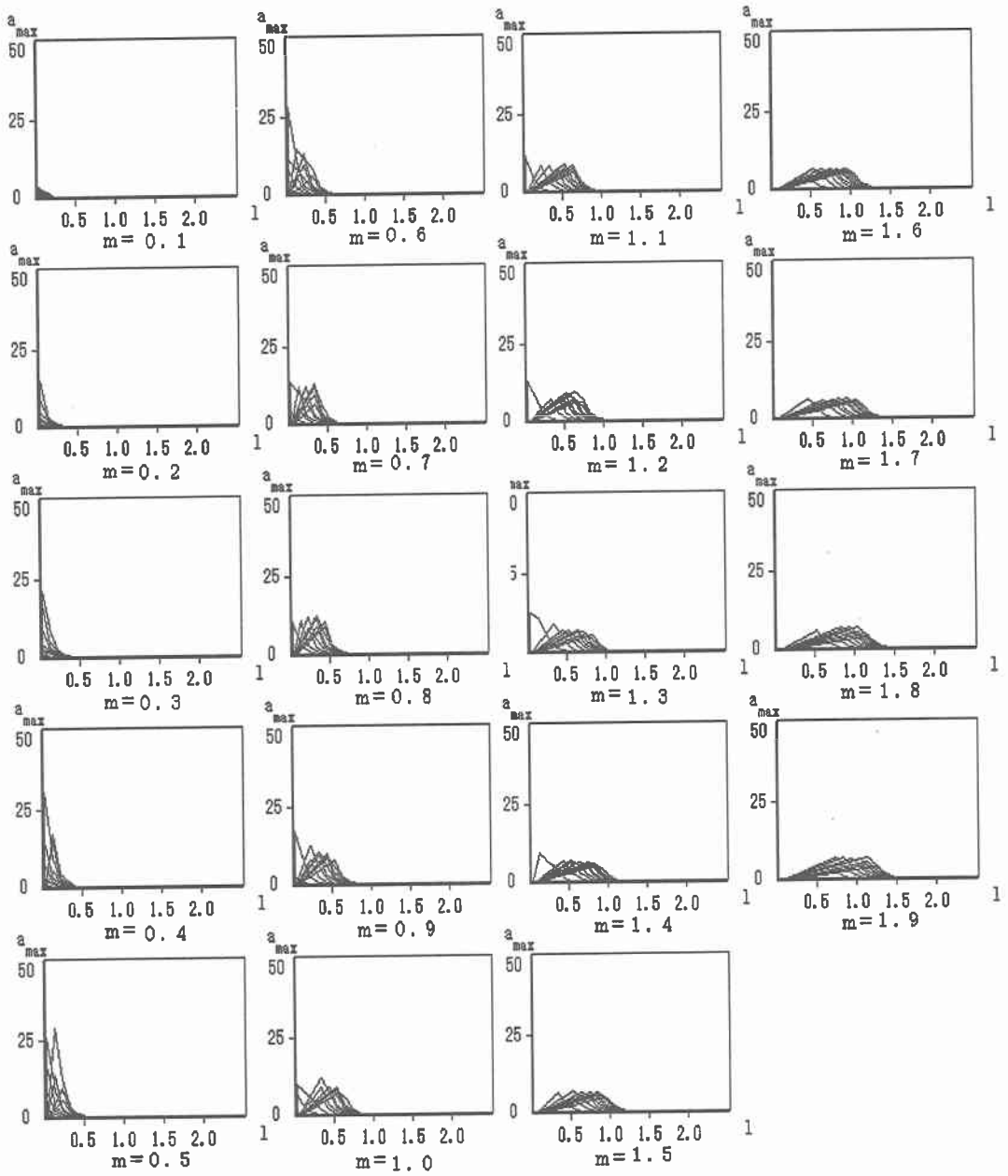


図4 解析結果の $m$ による分類