

# 拡張バーガスCA交通流モデルにおける準安定状態と局所交通流

中日本自動車短大 福井 稔 龍谷大・理工学部 西成活裕  
愛知淑徳大 石橋 善弘

## 1. はじめに

西成・高橋は、超離散の手法を使って、バーガス方程式をセルオートマトン(CA)のルール184に変換できることを示し、連続運動方程式を離散形へ変換する道を示した[1,2]。さらに、この離散形のバーガスCA(BCA)を多近傍に拡張し、交通流に対応したいくつかのモデルを提案した[3]。前の研究会では、その中で拡張BCA(EBCA1)と名付けているモデルを取り上げて、そのモデルが表す交通流を調べた。EBCA1モデルでは、多車線道路を表すことができ、高速度( $V=2$ )の車を扱うことができるようになった。そして特に、このモデルで準安定分枝が得られていることが注目される。[4]

最近交通流の実測データから、Kernerらは、交通流には、自由流、渋滞流という2つの状態の他に、同調流(synchronized Phase)相という中間的相があると指摘している[5,6]。この同調流では、車線間で車の相互作用によって、同期的な流れの状態が発生していて、準安定的、局所的であるといっている。Kernerらの提唱している同調流については、まだ異論のあるところであり、日本の高速度道路の交通流とは異なっている可能性がある。そのためもあり、只木らは、東名高速の交通流のデータ解析を行っている[7]。

本研究では、EBCA1モデルが表す交通流、特に準安定状態にある交通流がどのような状態であるか、このモデルがどんな交通流を表すことができるかを調べた。その1つとして、道路上の固定点において、車両密度、速度、流量を計測した結果を示す。

## 2. EBCA1モデルと等価な二車線交通流モデル

EBCA1モデルでは、格子上的車数 $U_j^t$ は

$$U_j^{t+1} = U_j^t + b_{j-1}^t - b_j^t \\ + \min(b_{j-2}^t, L - U_j^t - b_{j-1}^t + b_j^t) - \min(b_{j-1}^t, L - U_{j+1}^t - b_j^t + b_{j+1}^t) \\ b_j^t \equiv \min(U_j^t, L - U_{j+1}^t)$$

と表わされる[3]。ここで、セルの多値数 $L$ を車線数と解釈し、各セルが含む車数を1とすれば、 $L=2$ の場合を二車線交通流モデルに構成できる。EBCA1のルールと等価な二車線交通流モデルにおける車の前進ルールは、第1ステップとして、

(a)全車は、もし前の格子が空いておれば、一格子前進する。(b)塞がれているとき、斜め前の隣のレーンの格子が空いておれば、その格子へ移動する。すなわち車線変更する。

(c)そこも塞がれていれば、その格子にとどまる。直進は車線変更に優先するとし、二つのレーン、Aレーン、Bレーンについて同等に前進する。第2ステップとして、(d)第1ステップで停止した車はそのまま停止して、移動した車についてのみ第一ステップのルールに

従って前進する。(図1) この二つのステップでもって、1単位時間とする。すると単位時間に二格子進むことができるので、速度を2まで拡張したモデルとなる。

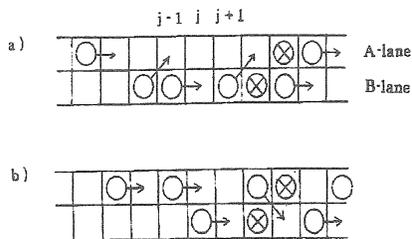


図1 進行ルール例

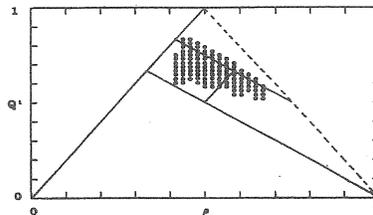


図2 交通流基本図

### 3. 交通流基本図と流れのゆらぎ

二車線道路のサーキット上を上ルのルールにしたがって車を動かすシミュレーションを行った。得られた交通流の基本図を図2 (格子長:K=24 の場合) に示す。流量は2車線の平均流量をとった。人字型の準安定分枝 (自由流領域=直線OAと渋滞領域DE) と同調流が存在すると指摘されている領域に、多数の準安定状態が存在することがわかった。即ち1) 1つの直線 (線分BC) と2) 平行四辺形の内部で平行な多数の直線 (直線DEに平行で、線分DBをK/6に等分割するような(K/6-1)本の平行線) 上に分布する点とそれらの直線から外れて分布する点とがある。2) 直線上の点は、時間的に変動しなくて安定であるのに対して、この点は、時間的に変動している。図3にK=240のときの、Aレーンの流量、Bレーンの流量、両車線平均流量の時間変化を示した。これらの流れの変動は、車の絶え間ない車線変更によって、速度がゆらぎ、流れに変動を与えている。

図で注目すべき点は、両車線の平均流量は、永い周期をもつ変動を示し、その周期は車線長Kの無関係に、濃度とともに変化する (図4)。Flow=Density・Velocityであるので、平均速度のゆらぎの周期も流量の周期と同じである。また、Aレーン、Bレーンの各レーンの流れもゆらぎ、その変動の周期は、両車線の周期より長く、より長周期の変化をする。Aレーン、Bレーンの変動の周期は同じで、平均流量の周期の整数倍になっている。また、Aレーン、Bレーンそれぞれの車両密度、平均速度もゆらぎを示し、その周期は流量のゆらぎの周期と等しい。形式的には、Aレーン、Bレーン、両レーンの流量は、次のように書けば、

$$Q_A = a_1 \cdot g(\omega t) + a_2 \cdot g(2\omega t) + \dots + a_n \cdot g(n\omega t) + a_{n+1} \cdot g((n+1)\omega t) + \dots, \quad (1)$$

$$Q_B = b_1 \cdot g(\omega t) + b_2 \cdot g(2\omega t) + \dots + b_n \cdot g(n\omega t) + b_{n+1} \cdot g((n+1)\omega t) + \dots, \quad (2)$$

$$Q = a'_n \cdot g(n\omega t) + a'_{2n} \cdot g(2n\omega t) + \dots, \quad (3)$$

式(1),(2)の $g(n\omega t)$ より低周波項は、互いに打ち消しあっている。図3の $\rho=0.5395$ 場合、Qの周期は、 $T(Q)=110$ 、 $T(Q_A)=2090$ で $n=19$ より下は、打ち消しあっている。

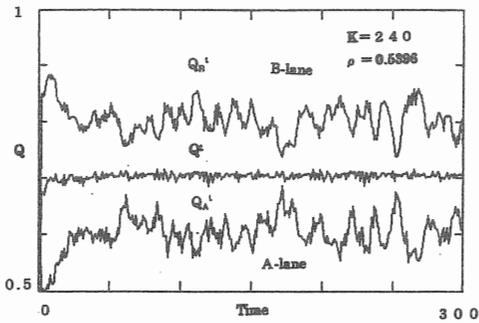


図3 A,Bレーンのflowの時間変化

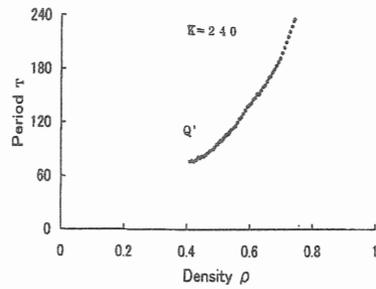


図4 両レーンのflowの時間変化の周期

これらの流量の時間変化のパワースペクトラムを図5（両レーンの流量）、図6（Aレーンの流量）に示した。両レーンの平均流量はホワイトノイズ的であるのに対し、Aレーンの流量は低周波成分が多く、 $f \cdot \tau$  則を示すように思われる。

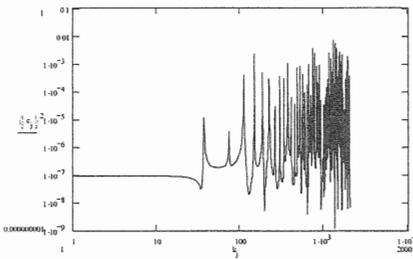


図5 両レーンの流量

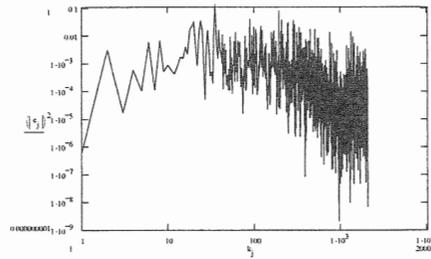


図6 Aレーンの流量

#### 4. 局所車両密度、速度、流量

つぎに、車線上の車の流れのマイクロな状態を知るために、高速度道路で実測されているように、EBCA1モデルで、車線上の固定点における車両密度、平均速度、流量を計測した。2車線道路（格子長  $K=240$ ）上に12格子を選び、そこにおける車両密度、速度、流量の時系列データを計測した。この場合は、2車線の平均、Aレーン、Bレーン個別の車両密度、速度、流量すべてに大きい変動が計測された。ただし、その変動周期は道路全体についてのデータとは異なってくる。両車線の平均密度の周期、平均速度の周期、平均流量の周期は皆等しく、個別のAレーン、Bレーンの変動周期はそれぞれ互いに等しいが、両レーンの平均とは異なり、非常に長い。例として  $K=240$ ,  $\rho=0.625$  のときの周期を示すと、

道路全長については、Density:  $T_{dA}=T_{dB}=5928$  Velocity:  $T_v=152$ ,  $T_{vA}=T_{vB}=5928$

Flow:  $T_f=152$ ,  $T_{fA}=T_{fB}=5928$ .

固定点データ  $T_d=T_v=T_f=6080$ ,

$T_{dA}=T_{dB}=T_{vA}=T_{vB}=T_{fA}=T_{fB}=?(>70000)$ .

図7, 図8, 図9に、Aレーンの車両密度、速度、流量のパワースペクトラムを示す。この場

合も、両レーン平均のデータは低周波成分は打ち消しあい、ホワイトノイズ的であるのに対し、各個別のレーンのデータは  $f \cdot \sigma$  則を示すように思われる。これらのことから、各レーンには、長距離の相関があり、低周波ゆらぎがある。そのゆらぎは、車線変更によるものであるので、A-レーンと B-レーンは負の相関を持ち、両レーン合わせると打ち消されると思われる。一方短周期のものは、何らかの渋滞構造が発生し、それがこの周期になるような速度で道路上を進行していると思われる。ここで、車両密度の時系列データの自己相関関数を求めると (図 10)、それは周期構造 ( $T=210$ ) を持っている。局所自己相関関数から、道路上の車両の局所渋滞 (クラスター) の構造とそれらの相互の相対進行速度を解明することができると思われる。

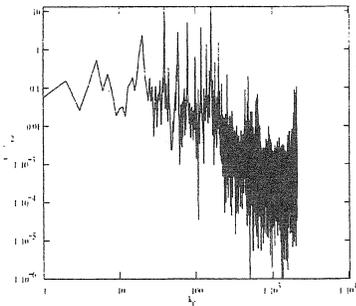


図7 Aレーンの局所車両密度

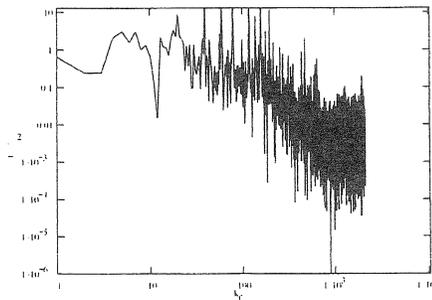


図8 Aレーンの局所車両速度

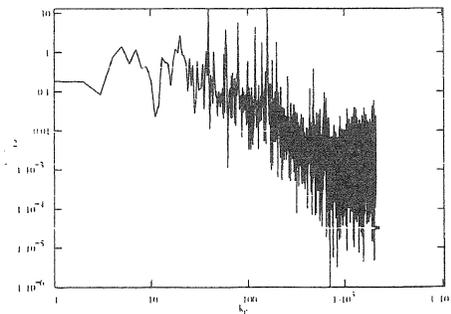


図9 Aレーンの局所車両流量

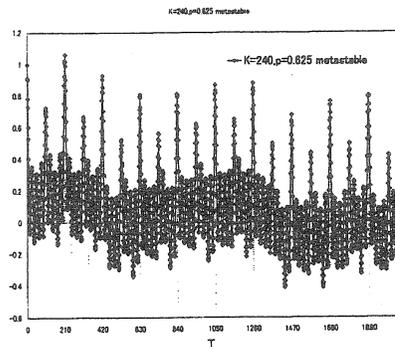


図10 Aレーンの局所車両密度の自己相関関数

- [1] K. Nishinari and D. Takahashi : J. Phys. A, 31 (1998) 5439
- [2] K. Nishinari and D. Takahashi : J. Phys. A, 32 (1999) 93
- [3] K. Nishinari and D. Takahashi : J. Phys. A, 33 (2000) 7709
- [4] M. Fukui, K. Nishinari, D. Takahashi Y. Ishibashi : Physica A 303 (2002) 226
- [5] B. S. Kerner and H. Rehborn : Phys. Rev.E, 53 (1996) R4275
- [6] B. S. Kerner : J. Phys. A, 33 (2000) L221
- [7] S. Tadaki, K. Nishinari, M.Kikuchi, Y. Sugiyama and S. Yukawa : J. Phys. Soc. Jpn. 71 (2002) 2326.