

生態系のセル・オートマトン・モデル

電気通信大学電子物性工学科

佐藤和弘・相原隆

生態系の振舞いは、共存する生物の種内及び種間の相互作用と物理化学的環境とにより決まるが、普通それは複雑なものである。しかし、一見複雑な振舞いの背景に、簡単な法則性が潜んでいる可能性がある。そこで生態系のセル・オートマトンモデルを考案し、パーソナル計算機により生物の個体数密度の時間空間的変動を調べた。これはいわば「たとえ話」であるが、複雑な現象の本質を理解する上で何等かの助けになると思う。

自然界の生態系は内に多数の生物種を含むが、生態系全体の振舞いを決めていているのは、普通重要な2、3種の生物である。今回は植物、草食動物、肉食動物の3種類を想定し、食物連鎖により種間の相互作用を、またセル上の密度の最大値及び近傍セルの平均密度の制限により種内の相関を取り入れた。一方物理環境は夏と冬の周期的繰り返しとし、それが植物の生長に影響を与えると仮定した。2次元正方セル上の個体数密度はセルオートマトンの決定論的ルールに従い、離散的な時間ステップとともに同時に更新(増減)する。ルール自体はパソコンゲームの分野でよく知られた「ライフゲーム」(8近傍モデル、図1 a)を拡張したものである(なお詳細はK.Satoh:J.Phys.Soc. Jpn.58(1989)3842.を参照)。

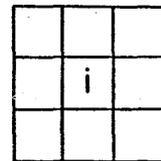
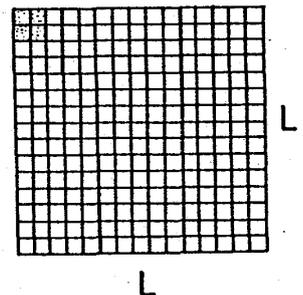


図1 a セル・オートマトンの8近傍



b 島の左上隅のランダムな初期分布

生物の住むのは正方形の島とし、植物が最大密

度で島を覆っている時に、動物は島の左上隅にランダムな初期分布を取るとした（図1b）。島のサイズは（50x50）で、その後の空間分布変動はモニター画面に適時表示されるカラーパターンから知ることが出来る。まず変動パターンを分類し、次に代表的な場合をカラースライドと8ミリ映画に撮影した。特に映画の上でパターンを繰り返し観察すると、空間変動の様子が良く分かる。それは静止画のイメージをはるかに越えるものであり、場合によっては変動の「本質」の理解にかかわる。今後同種の研究に「動画」の果たす役割は大きくなるであろう（なお研究会当日は予定した映画の上映が出来ませんでした。私達を訪ねて頂ければ何時でもご覧になれます）。

（1）季節変動がなく、植物は定常的に生長する場合。

肉食動物が無視できる時、草食動物は島全体に広がって、分布パターンはアメーバ状の動きを示す（図2a）。植物は殆ど動物を維持できる限界値に近く、生態系全体は環境汚染や自然災害に対して不安定である。一方、肉食動物が共存する時は、動物は多くの局在集団に分離して、膨張収縮、融合離散を繰り返す（図2b）。植物は至る所に十分な密度を残しており、生態系は肉食・草食動物間の捕食者・エジキ相互作用により、むしろ安定化されている。

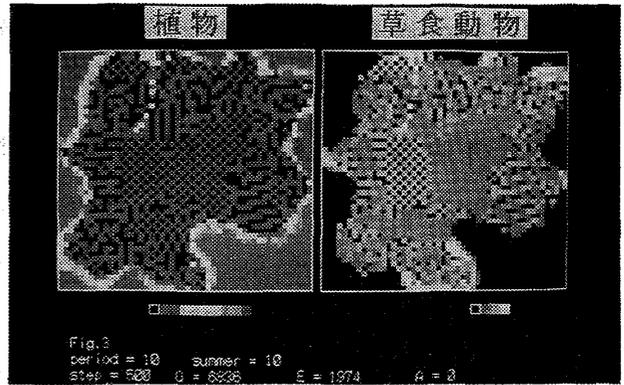
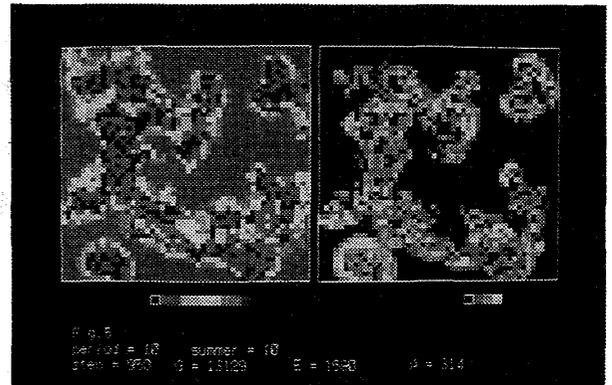
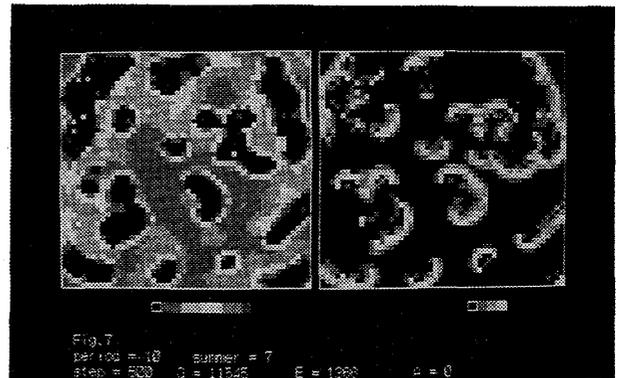


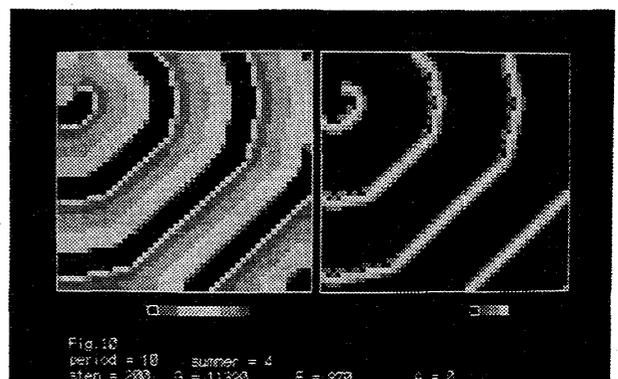
図2 a アメーバ状の動き



b 局在集団に分離



c 帯状分布



d 回転渦パターン

(2) 冬が周期的に訪れる場合（植物は冬の間生長が止まる）。

肉食動物は冬の期間が特に短い時を除いて、遅かれ早かれ死滅する。残った草食動物は帯状の分布をし、これらの帯同士は衝突を繰り返す。帯の移動した後では一時植物密度がゼロになるので、二つの帯が衝突すると接触部分は消滅するし、また帯が境界で反射する事もない（図2c）。冬が夏より長くなると、草食動物の分布の帯はますます狭くなり、多くの場合境界で消える。しかし1~2割の初期条件に対しては、回転渦パターン（図2d）や標的パターン（反対方向に回転する2つの渦からなる）を自己秩序形成する。

(3) 初期条件として対称分布を仮定すると、草食動物は図3aに示した様なペルシャ絨毯模様を長い時間で1万ステップ程続けた後、突如消滅する。これは互いに

正面衝突を繰り返すための必然的な結果である。また、人工的な初期分布を与えると図3bのように2本腕の渦パターンを作ることが可能である。

このように、セル・オートマトン・モデルは実に多様な空間分布を生み出す。これは、複雑な生態系の振舞いの背後に潜む簡単な法則性を暗示させるばかりでなく、多数の生物種を含む生態系や、より複雑な生物間の相互作用で特徴づけられる生態系の数理解析に、セル・オートマトンが有効であることを示唆している。

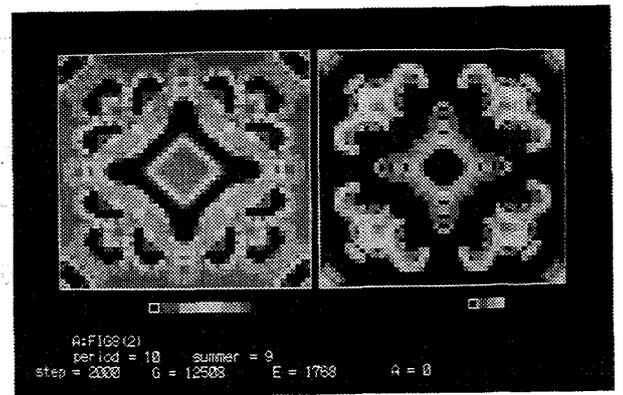
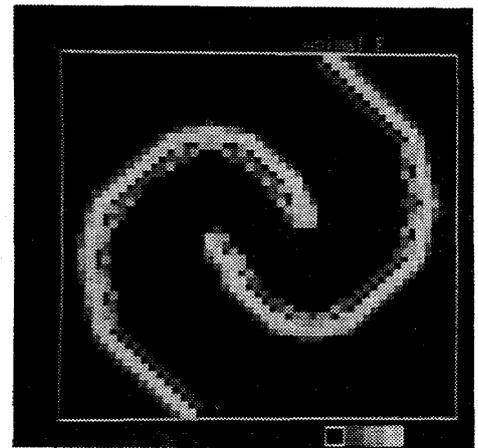


図3 a ペルシャ絨毯模様



b 2本腕渦パターン