

逆問題とその周辺
2000年9月28日

人工生命とセルオートマトン

日本原子力研究所
将来型炉研究グループ
鈴木 知明

1. イントロダクション
2. CAの結晶化
3. 集団生物学のCA
4. エントロピー軌道（複雑性の指標）

生命が一般的に有する属性

- ・ 自己複製機能がある
- ・ 遺伝子をもつ
- ・ 進化する
- ・ 環境に適応する
- ・ 生き残ろうとする
- ・ 代謝機能がある

人工生命研究：上記属性を計算機上で実現

人工生命が解決したいもの

- ・無生物（部分）からどのようにして生物（全体）が構成されるか
- ・最初の生命はどのようにして生まれうるか
- ・生命の意志や目的はどのように形成されるのか
- ・生命はどのように環境に適応するのか



自発的知能（Spontaneous Intelligence）の研究

複雑系研究との関わり：カオスの縁

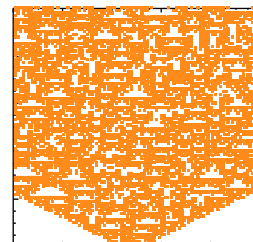
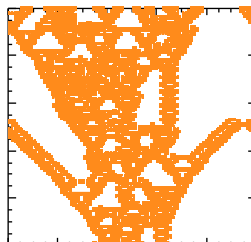
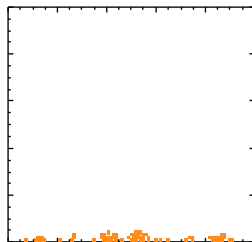
静止、定常

カオスの縁

カオス
ランダム

→制御パラメータ（パラメータ）の変化→

時刻



系が知能を持つ
可能性がある

複雑系研究との関わり：複雑性

複雑性の定義：構成要素の微視的相互作用から明示的に帰結できない巨視的性質があること（自己組織化）

経験的に複雑性は以下の性質を伴う

- 1) ダイナミクスが予測不可能
- 2) 長期のトランジェントを有する

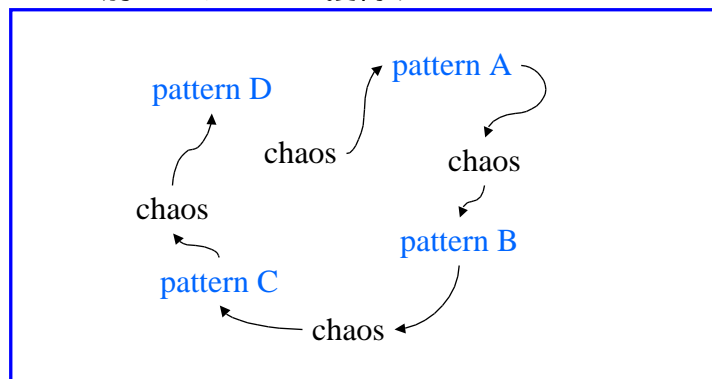
代表的な例:

- 気象学や海洋学的ダイナミクス
- 株式市場などの経済ダイナミクス
- 動物の個体群などの生態学的ダイナミクス

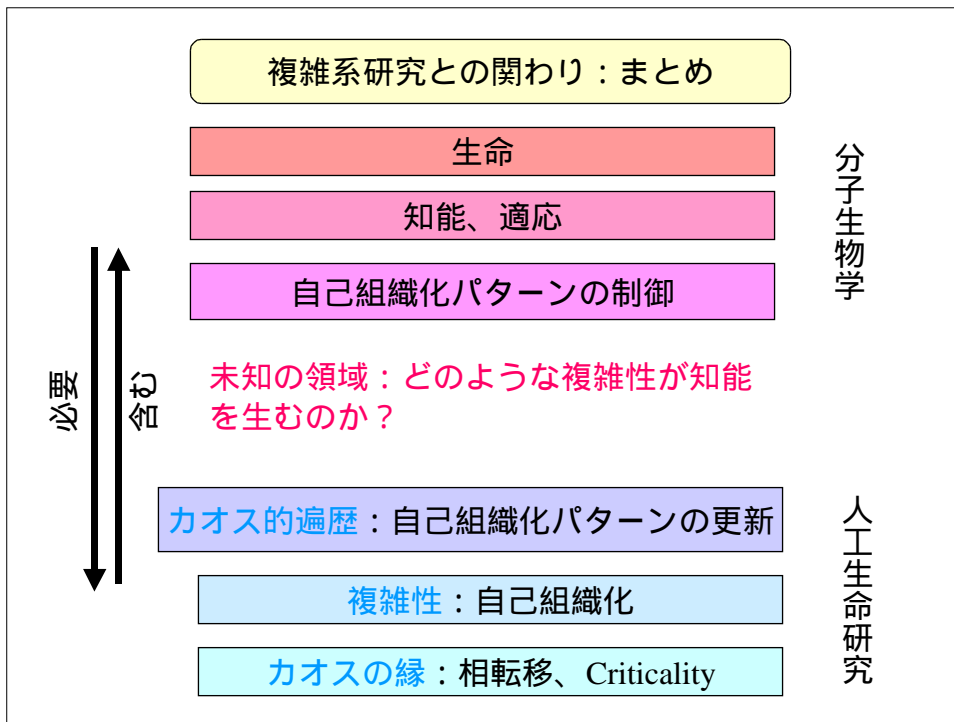
生命体は複雑系の例、しかし複雑系が必ずしも知的ではない

複雑系研究との関わり：カオスの遍歴

システムがある自己組織化パターンを捨ててまた別のパターンを獲得する：



生命ではこれが**適応的**に行われる



セルオートマトン (CA) と何か？

- CAとは離散的空間（セル空間）上に定義された動的システム
- それぞれのセルは単位離散時間ごとに更新される整数状態を持つ
- セルの次状態はセルの近傍の状態で決まり、空間全体で同じルールが適用される

CAの例
 von Neumann近傍（自分自身と上下左右の5セル）
 セル状態の取り得る値 0, 1, 2 or 3.
 近傍の取り得る状態数 = 4^5 （総エントリー数）

0	1	2	Next state is maximum of 4 outer neighbors (periodic boundary condition)	2	3	2
0	3	0		3	1	3
2	1	2		2	3	2
time t				time t+1		

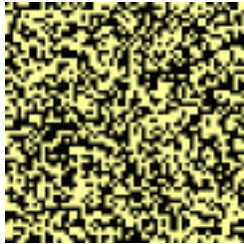
2Dセルオートマトン (CA) の結晶化

結晶化

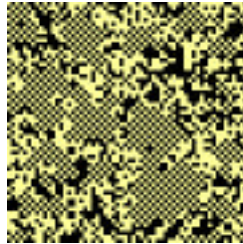
自己組織化の典型的な例

生命の外殻や高分子生成に結晶化が必要

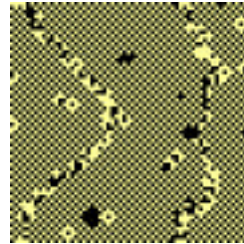
t = 0



t = 50



t = 500

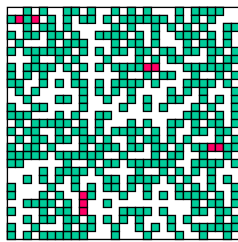


どのようなルールで結晶化が起きるか？

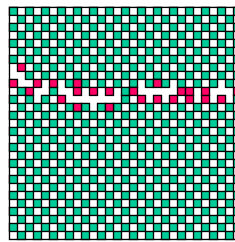
2D CAの結晶化：CAの3つのクラス

▪ Newly born non-zero cell

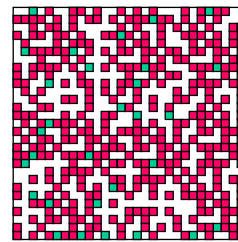
▪ Other non-zero cell



アモルファス：
短いトランジェント
不規則

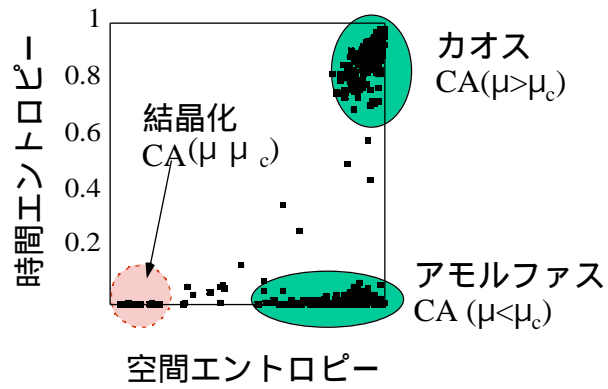


結晶：
長いトランジェント
規則的



カオス：
ランダムな
ダイナミクス

2D CAの結晶化：統計的解析



$$\mu = \frac{N-m}{N}$$

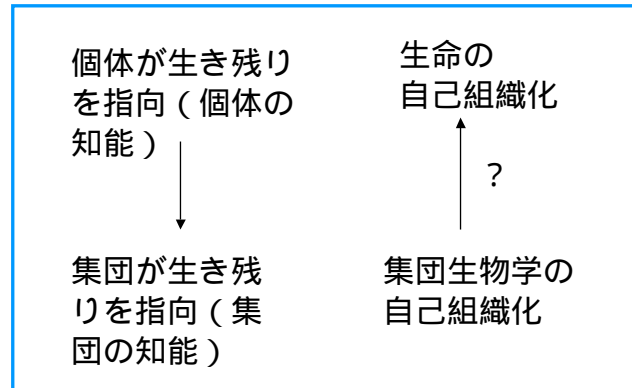
N : 総ルールエントリー数
 m : 状態が変化しないエントリー数

2D CAの結晶化：まとめ

結晶化はセルの変化率が臨界値でおきる。
カオスの縁の仮説を支持。

生命体内の結晶化では化学反応率が臨界値に自発的に調節されていることになる。(自己組織化臨界)

集団生物学のCA：生命系のフラクタル性



集団生物学や社会学のモデルから
生命らしい自己組織化は得られるか？

集団生物学のCA：モデルの定義と結果

捕食－被捕食者モデル

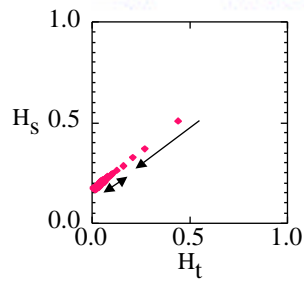
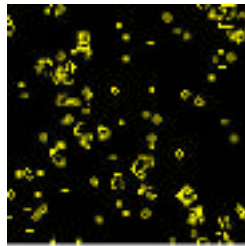
1. 状態：空、被捕食者、捕食者の3状態を持つ
2. 捕食者は被捕食者が近傍にいないとき空状態
3. 被捕食者は捕食者が近傍にいるとき、捕食者にとって変わられることがある
4. 近傍に被捕食者がいないと空状態から被捕食者は生まれない
5. 近傍に捕食者と被捕食者の両方がないと空状態から捕食者が生まれない

実行結果

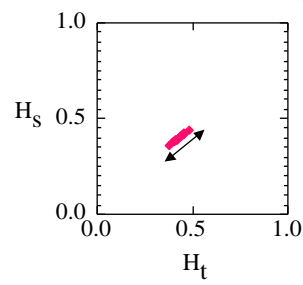
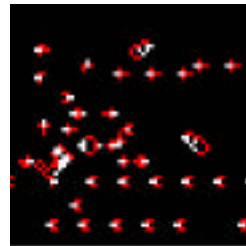
- 1．ライフライクな遊泳パターン
- 2．カオスと規則的パターンの共存
- 3．規則的パターンの生成と崩壊

エントロピー軌道：臨界拡大CA

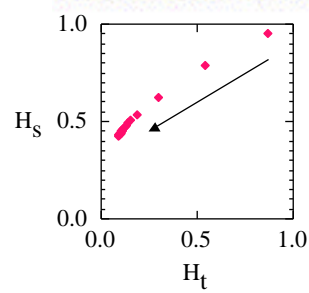
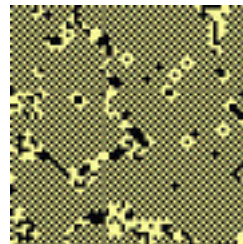
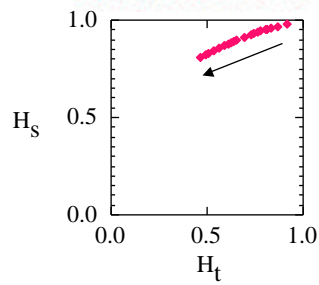
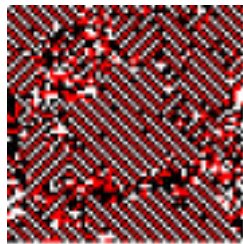
GOL



POND

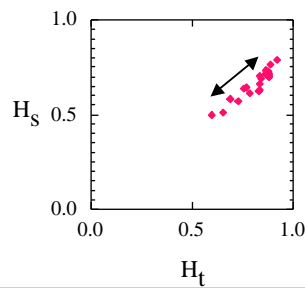
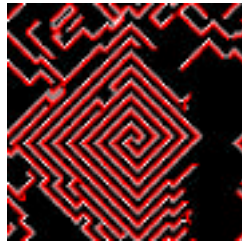


エントロピー軌道：結晶化CA

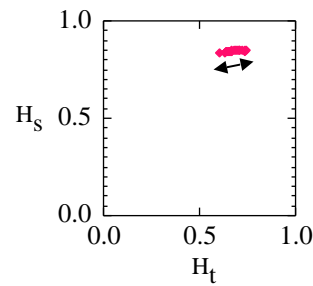
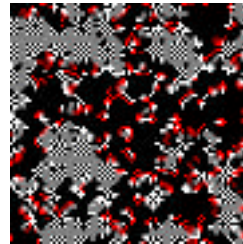


エントロピーの軌道: 自己組織化の更新

Wave



Honeycomb



今後の研究

多数の自己組織化パターンを有するCAが見つからない。

複数のルールのマージ

自己組織化パターンを自ら制御するCAに向けて

ルール自体の更新
(進化)機能

研究者間の情報交換の活性化

- ・ルールフォーマットや実行環境の共有
- ・プログラムの公開性、拡張性
- ・Java言語 (any machine、O-O)