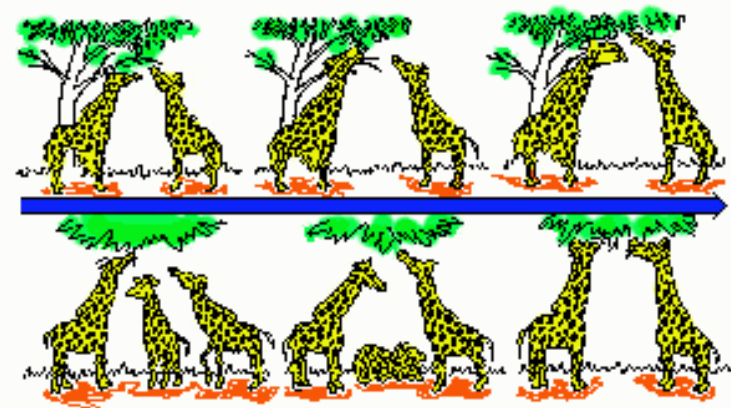


# ランダムネットと進化の理論

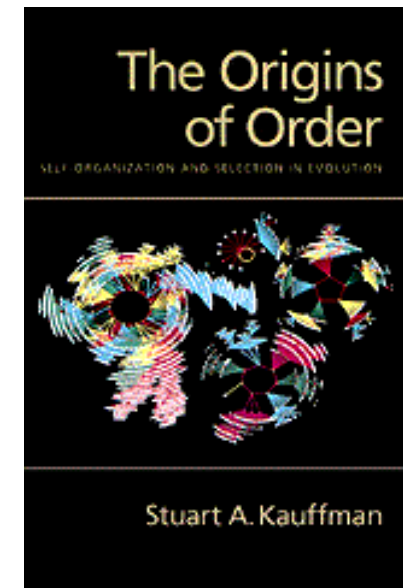
東京大学大学院  
情報理工学系科学研究科  
電気情報学専攻  
伊庭齊志



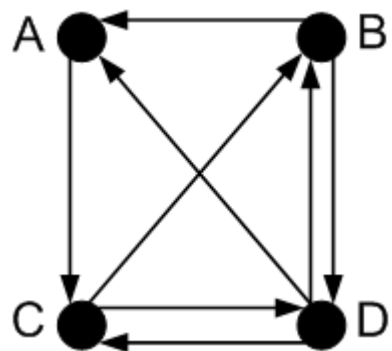


# ブーリンアンネットワーク

1. どのくらいこのようなモデルは現実性があるのか？
2. これらのモデルを推測するための「正しい」データがあるか？
3. これらから何を学べるか？

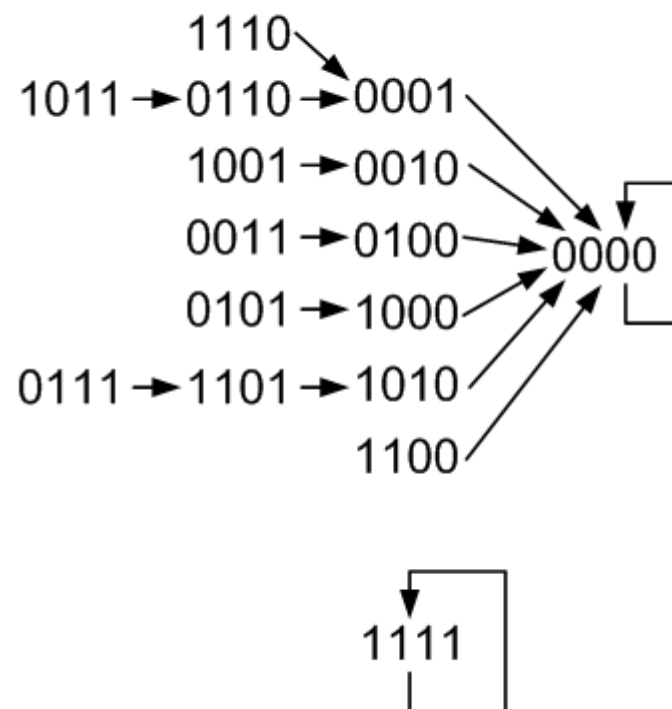


# ブーリアンネットワーク

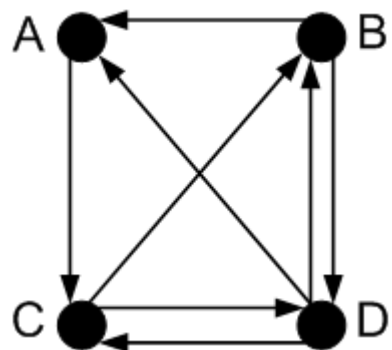


t					t+1			
A	B	C	D		A	B	C	D
0	0	0	0		0	0	0	0
0	0	0	1		0	0	0	0
0	0	1	0		0	0	0	0
0	0	1	1		0	1	0	0
0	1	0	0		0	0	0	0
0	1	0	1		1	0	0	0
0	1	1	0		0	0	0	1
0	1	1	1		1	1	0	1
1	0	0	0		0	0	0	0
1	0	0	1		0	0	1	0
1	0	1	0		0	0	0	0
1	0	1	1		0	1	1	0
1	1	0	0		0	0	0	0
1	1	0	1		1	0	1	0
1	1	1	0		0	0	0	1
1	1	1	1		1	1	1	1

AND at each node

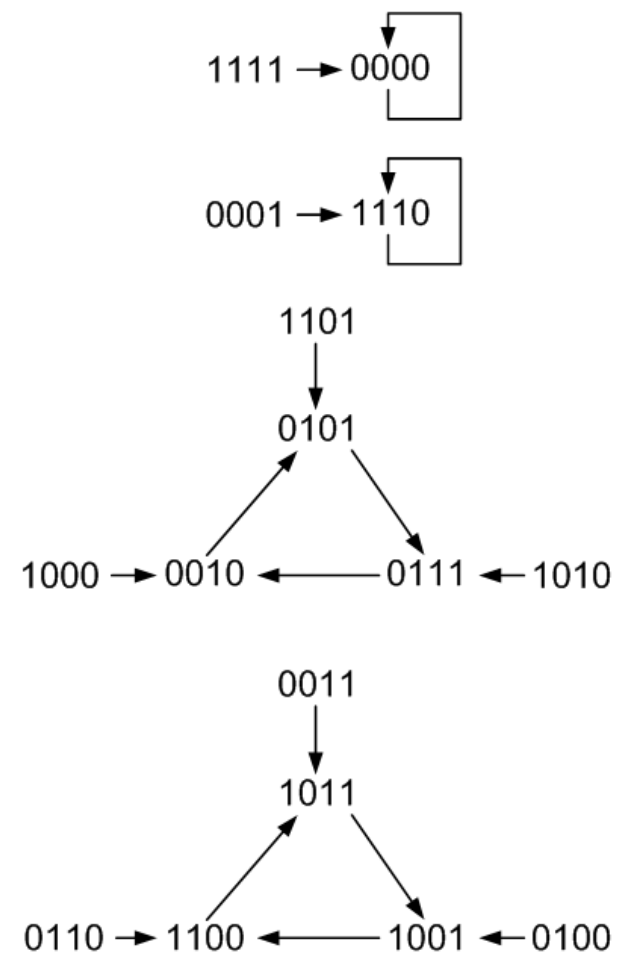


# ブーリアンネットワーク

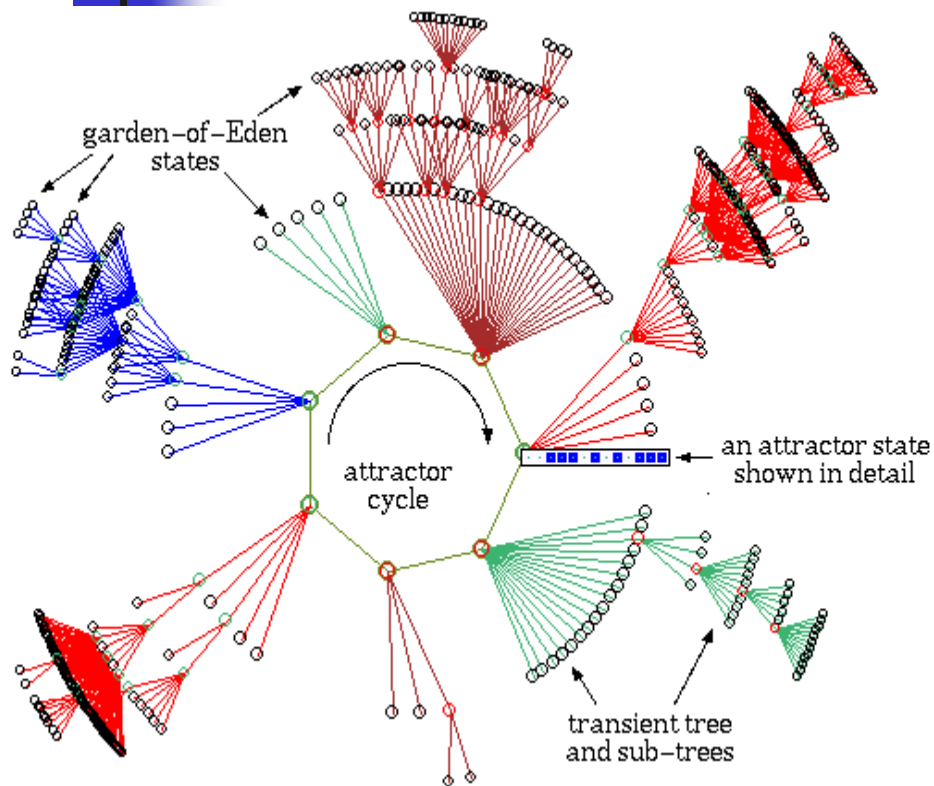


t					t+1			
A	B	C	D		A	B	C	D
0	0	0	0		0	0	0	0
0	0	0	1		1	1	1	0
0	0	1	0		0	1	0	1
0	0	1	1		1	0	1	1
0	1	0	0		1	0	0	1
0	1	0	1		0	1	1	1
0	1	1	0		1	1	0	0
0	1	1	1		0	0	1	0
1	0	0	0		0	0	1	0
1	0	0	1		1	1	0	0
1	0	1	0		0	1	1	1
1	0	1	1		1	0	0	1
1	1	0	0		1	0	1	1
1	1	0	1		0	1	0	1
1	1	1	0		1	1	1	0
1	1	1	1		0	0	0	0

XOR at each node



# RBNの状態空間



Picture generated using the program DDLab.

- 細胞の運命(状態)をアトラクタをみなす.
- アトラクタ状態は小さな外乱で**安定**である.
  - 多くの外乱はネットワークをアトラクタに引き戻すことになる.
  - より重要な遺伝子もあり、それらの活動を変えるとシステムは別のアトラクタに移行する.



## カウフマンの実験:

### ランダム $(k, n)$ ネットワーク

---

$k$  = 各ゲート(ノード)への入力数

$n$  = ゲート(ノード)の数

各ゲートに対して以下を実行:

1.  $k$  個の引数を有する  $2^{2^k}$  個のブール関数から関数を一様ランダムに選ぶ (u.a.r.)
2.  $k$  個の入力を選ぶ u.a.r.
3. 初期状態を選ぶ u.a.r.

ネットワークを決定的に実行する



# 動作の分類


---

## 秩序的:

1. ほとんどのゲートは素早く安定化する(状態変化が止む).
2. ほとんどのゲートをリミットサイクルへの影響を与えずに摂動できる.
3. リミットサイクルは小さい.

## カオス的:

1. 多くの不安定なゲート.
2. 初期条件に敏感.
3. 大きなリミットサイクル.

- 
- 弱いゲート(リミットサイクルを変えずに摂動できるゲート)の数
  - ついには固定するゲート(状態を変えないゲート)の数
  - リミットサイクルのサイズ

- $k \geq 3$  のとき、ネットワークは**カオス的に**振る舞う.
- $k \leq 3$  のとき、ネットワークは**安定的に**振る舞う.
- $k \geq 3$  のとき、リミットサイクルのサイズは  $2^n$  となる.
- $k = 2$  のとき、リミットサイクルのサイズは  $\sqrt{n}$  となる.
- これは動的システムにおける相転移現象に似ている.



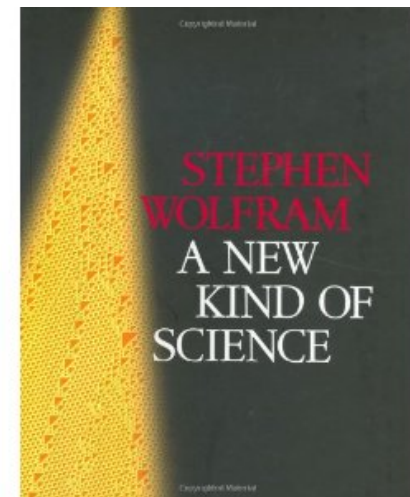
# カウフマンの結果

これらの結果は以下のことの証拠となるのだろうか？

- 生命システムはカオスのエッジに存在する？
- 自己組織化は生きているシステムに自発的に起こる？
- 同じような主張を行っている他の研究者もいる：
  - Bak (self-organized criticality)
  - Langton
  - Packard
  - **Wolfram**



1197ページ ,  
Wolfram Media Inc.





# “カオスの縁”

- カオスと秩序の境界はcomplex regimeや臨界相(critical phase)と呼ばれている
  - システムは一種の相転移を示す.
  - ネットワークは「カオスの縁」においてもっとも進化する.
- 生命システムは可変の環境にある:
  - 順応性 vs 安定性の間の妥協点を見出す
  - 安定であるべきだが、永遠に静止するほど安定ではない.
  - 順応性があるべきだが、外乱変動に面しても軟弱であるほど順応性があってはならない.

**生命はカオスの縁に存在する**



## もつともで、長続きする仮説

実際の細胞は秩序的な領域にあるか、  
もしくは臨界にある.

“カオスの縁の生命”

ただしこの仮説を支持する実験的なデータはまだほとんどない.

But カウフマンがこの計算を行った当時にはヒトゲノムの遺伝子が10万程度と考えられていた。しかし現時点ではヒトのゲノムがおよそ25000個の遺伝子しか含まないとされている。そのため、カウフマンのモデルに従えばヒトの細胞型の数はおおよそ158だとなってしまう！！

これまでに実際に特定されているヒトの細胞型の数は  
およそ256

しかし、 $n=2$ では平方根が約300なので、約300ステップくらいを過ぎるとシステムがほんの300かそこらの長さのアトラクタに落ち着く。

これは偶然の一致か？

カウフマンの発言：「だいたい300かそこらの異なるヒトの細胞型があるだろう」