

# 生物学特論A

## 分類系統学II

### 第3回

先週とは別の人とペアを組んで座ってください。出席をとる間ライフゲームで遊んでてちょ

1

## この授業のルール

- ・飲食禁止, PETボトルはカバンの中に
- ・ケータイはサイレントモードに
- ・授業開始のチャイムの前に着席していること, 開始のチャイムと同時に授業を始めます
- ・欠席をしないこと。全授業に出席すること
- ・分からないときは, 分からないとハッキリ言うこと
- ・欠席する場合には, あらかじめ申告しておくこと
- ・その他必要とされるもの: お昼ご飯を食べたあとなので, 眠くなります。だから絶対に寝ないぞという強い決意(^^)

2

2

## 原初の海より生命は生み出せるのか

- 1970年の流行以来、ライフゲームには興味深い挙動を示す、様々なパターンが見つかってきた
- では、初期値をまったくのデタラメにした場合に、どのようなことが起こるのでだろうか？
- この場合、ライフゲームがシミュレートしていることは、原初の混沌とした海から生命は誕生するだろうか？

3

3

## 容易に予想できること

- 初期値を乱数によって決めたとしても、もしオンのセルが多すぎたら、過密によってセルは瞬く間に減少してしまうだろう
- 反対に、オンのセルが少なすぎたら、過疎によって絶滅してしまうだろう
- このことを確かめてみよう

4

4

# 乱数発生プログラム

- 乱数を用いて初期値を生成するプログラムは、配布した教材の中に入っている (GenRandLife)
- このプログラムを起動するには、引数 (ひきすう) が 2 必要
- 1 つめの引数は「しきい値」つまり何パーセントの割合で生きているセルがあるようにするのかを指定する
- 2 つめの引数は「乱数の種 seed」。一般に、コンピュータに組み込まれている乱数発生器は、適当に「種」を与えなければならない。種が同じならば、発生する乱数系列は同じになる。
- GenRandLifeは、次のように実行する

5

5

例えば、しきい値を 0.5, 乱数の種を 4 にしたければ

```
cd 20110429
```

```
java GenRandLife 0.5 4
```

などと指定する。第 2 引数である乱数の種を 0 にすれば、現在の UNIX ミリ秒で乱数系列が初期化される。すなわち、プログラムを実行する度に違う結果が得られるようになる

6

6

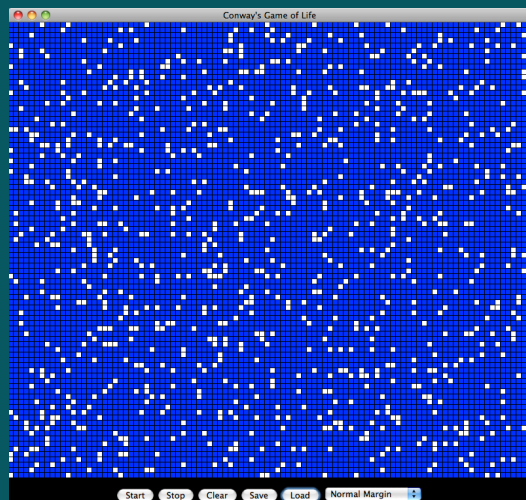
```
java GenRandLife 0.5 0 > ./data/rand0.5.csv
```

などとすれば、しきい値が 0.5（すなわちセルの生存率がちょうど半分、画面上では青のセルと白載せるとの比率がおおよそ 1:1）のランダムな初期値のファイル rand0.5.csv が data というフォルダの下に保存される

7

7

あとはライフゲームを起動し、このファイルを load して start ボタンを押すだけ。下の図は、しきい値を 0.9 にしてみた時の例である

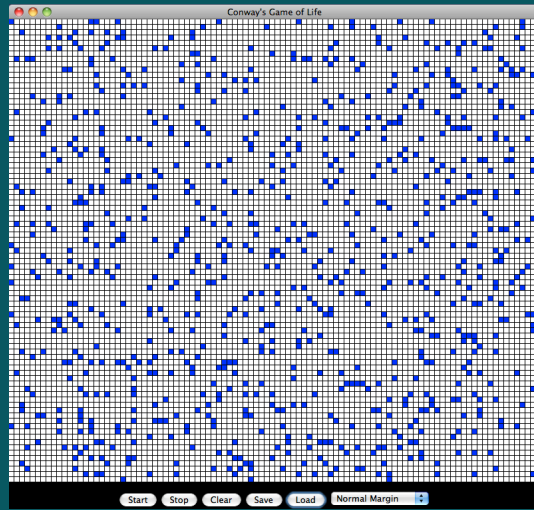


このパターンは開始直後に絶滅する

8

8

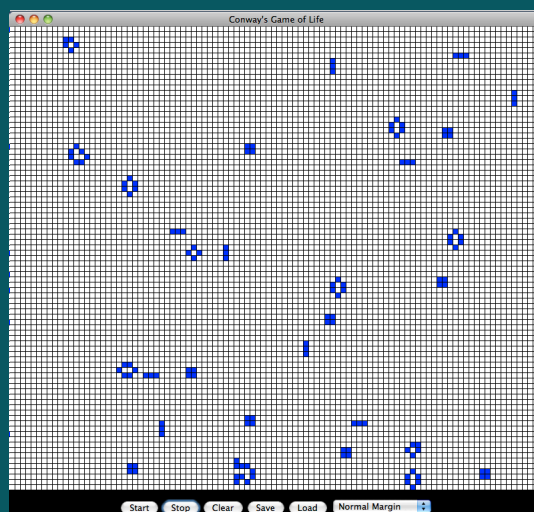
下図は、しきい値を 0.1 した時の例である



このパターンは長い時間をかけて次のようなパターンに落ち着いた

9

9



10

10

- しきい値と乱数の種を様々に変化させて、生成されるパターンを観察して楽しんでほしい。
- この観察から、すべてのランダムなパターンは最終的に安定するのか？ という重要な問いに答えるのは容易ではないことがわかるだろう。
- 先週、ライフゲームには、無限に増殖するパターンを作ることができることを示した（グライダーを発射し続けるグライダーガンなど）
- 原初の混沌から我々の住むこの宇宙が始まったとしたら、行き着く先はすべての状態が変化しない「熱的死」なのだろうか。

- 宇宙論の描き出す未来は、やがてすべての恒星が燃え尽き、星がすべてブラックホールへと流入し、やがて長い時間をかけてブラックホールが消滅してゆくというシナリオがある。
- 明らかに、生命現象はこの熱力学の法則に逆らうようにみかけえる（進化によって次第に複雑になっていく）
- ここに矛盾は無いのだろうか？ 宇宙論的な時間の流れに比べて、生命に流れる時間ははるかに短いので、部分的にこのようなことは起こりうるとする考え方が一般的である。
- また、すべての生物は究極的には、太陽からのエネルギーを得て生活しているので、生命現象を、熱力学的な閉じた系で考える必要はないとも言われている。

# ペアワーク

- **生物はなぜ進化するのだろうか？**

13

13

## 自己複製する機械

ライフゲームの創始者コンウェイは、

1. 自己複製する生命のようにふるまうライフゲームのパターンが存在する
2. 十分に大きなライフゲームの空間に、ランダムな初期値を与えてやれば、自己複製できる生命が、どこかに出現して繁殖していく

という 2 点を証明しようとした

14

14

# コンピュータと生物の狭間で

- 彼は、グライダーガンを用いて無限に生成されるグライダーを衝突させて物体が生成できることから、グライダーガンとイーターを配置しておき、タイミングよくグライダーを衝突させることで、元の配置の複製を作ることが可能であることを実証した。
- コンウェイはフォン・ノイマンの自己複製する機械についての理論を用いた

15

15

# 生命の進化と機械の進化

- 地球上に最初に現れた前細胞は生命を持たない物質から現れたのか？(生命とは自己複製の能力を有する)
- その前細胞は自己複製に関する必要最小限の組織しか持たなかったものと考えられている。
- 環境条件により、より適合しやすい前細胞が生き残り、自己複製と突然変異によって獲得した情報をDNAに保存して、次世代へと伝えることができたのだらう。
- このような過程が約 30 億年蓄積され今の我々があると言える

16

16



- フォン・ノイマンは、自己複製する機械の中には、万能建設機と自分自身の設計図という2つの要素が必要だと考えた
- 自分自身の設計図を与えたとき、万能建設機は自分自身を再製する
- フォン・ノイマンの自己複製する機械には「生气」や「生命力」や「神の力」といった魔法じみた、神秘的な概念は登場しない。
- 彼は、自己複製の過程を正確に記述し、一定の最小限度の複雑さしか持たない機械が自己複製を可能なこと示した。生物と機械（特にコンピュータ）との同型性

17

17

- このようにして、繰り返される実際の生命の自己複製は、本質的にフォン・ノイマンの考えた自己複製する機械と同等であることが明らかになった。
- この考えを具現化したのがライフゲーム
- これまで見てきたように、ライフゲームは単純なルールからなりたっている
- しかし、そこから生成されるパターンは複雑である。

18

18

現代生物学においては、現実の生物も、フォン・ノイマンが考えた自己複製する機械と似た方法によって増殖していると考えられている。すなわち、

1. DNA という設計図が存在する。
2. リボゾームという万能建設機が存在する。
3. DNA に含まれている遺伝情報は RNA というメッセンジャーを介してリボゾームに伝達される。
4. リボゾームはこの情報を用いてタンパク質を合成する。
5. リボゾームを万能建設機と呼ぶのは、正しい設計命令さえあれば、ほとんど何でも作ることができる機械だという意味である。
6. すなわち DNA と RNA がコード化できる 20 種類あまりのアミノ酸を結合して作ることができるタンパク質分子すべてのことを指す。タンパク質は地球上の生物に固有の物質である。タンパク質の合成は生きた細胞の中で行われ、合成されたタンパク質は生物の構造そのものとなる。

## 複雑さの障壁

- フォン・ノイマンは複雑さの障壁という考え方を考案した。
- 機械には（自然界にも）単純な系と複雑な系とがあり、その境目を障壁と表現した。
- 単純な系は自分自身よりも単純な系しか生成できない。十分に複雑な系は、自分自身よりも複雑な系を生成できる。
- このようにして、複雑な系は際限なく複雑になっていく。フォン・ノイマンは機械は自分自身より複雑な機械を作ることができるかと述べている。これは、生物の進化に相当する（？）。
- 地球上の生命はフォン・ノイマンのいう複雑さの障壁を飛び越えて、複雑な系へと進化してきた。

# 脱線ジョン・フォン・ノイマン

- ハンガリーの数学者。20世紀科学史における最重要人物の一人
- 数学・物理学・工学・経済学・計算機科学・気象学・心理学・政治学に影響を与えた。第二次世界大戦中の原子爆弾開発や、その後の核政策への関与でも知られる。
- EDVAC開発に参加した際、ストアードプログラム方式に関する論文を自分名義で発表したため、ストアードプログラム方式の考案者であると言われていた。その方式は「ノイマン型コンピュータ」とも言われ、現在のコンピュータの動作原理である。アラン・チューリング、クロード・シャノンらとともに、現在のコンピュータの基礎を築いた功績者とされている。
- セル・オートマトンの分野を自ら創出し、方眼紙とペンだけで、自己増殖の事例を構築した。ユニバーサル・コンストラクタの概念は彼の死後、「自己増殖オートマトンの理論」として肉付けされることになった。「フォン・ノイマン・マシン」という表現が使われることがあるが、この表現は「ノイマン型コンピュータ」のアーキテクチャのことを指すだけでなく、この「自己増殖マシン」のことも指すことがある。

21

21

# ペアワーク

- **生物とコンピュータの同型性について自分の考えを述べよ**
- **ジョン・フォン・ノイマンの考え方は正しいのだろうか？**

22

22

# 万物の理論へ向けて

- ここにおいて、進化する機械という概念が生まれる。人間の心には、心が宿る。
- 機械が進化し続けることが可能であるとすれば、究極的には、人間の心をコンピュータ上で再現することが可能となるのだろうか？
- 物理学者は、長い間 万物の理論 (Theory of Everything)を探し求めてきた。

23

23

## 万物の理論へ向けて (2)

- これは自然界に存在する 4 つの力 (電磁気力, 弱い力, 強い力, 重力) を統一的に記述する理論である。
- 哲学者の中には、万物の理論 (の拡大解釈しすぎの気がするけど) の中には、当然「心の理論」も含まれていなければならないはずであり、現在の物理学には含まれていない、として批判する者もいる。
- 心の問題が取り残されているので、万物の理論は **ゾンビ・ワールド** だというわけである。

24

24

# ペアワーク

機械（万能コンピュータ）の未来は、フォン・ノイマンが考えていたように明るいのだろうか？すなわち、

- 進化したコンピュータは心の問題を取り扱うことができるだろうか？
- それとも、哲学者たちが考えるようにゾンビ・ワールドで悲観的なのだろうか？

25

25

# どっちが正しいの？

心の問題は、複雑過ぎてどこから手を付けてよいか、その糸口さえわからないようにも見える。なぜ、人間の脳には心が宿るのか、そもそも心とは何か、精神や感情や理性は心と同じものなのか、心の問題に科学的に迫ることはできるのか、心理学者に尋ねても満足な答えは返ってこない。

26

26

# 脱線

映画「ブレードランナー」（原作「アンドロイドは電気羊の夢を見るか？」）では、アンドロイドであるレプリカントは、人間とまったく見分けがつかないという設定がなされる。そして、奴隷として過酷な労働から逃れて地球に潜伏する。それを見つけ出すのがハリソン・フォード扮するブレードランナー

また、映画「ターミネーター」では、アンドロイドが反乱をおこした人類の抵抗を終わらせるために、最終兵器アーノルド・シュワルツェネッガー（元カリフォルニア州知事）扮するターミネーターが送り込まれる。

27

27

## 万物の理論へ向けて（3）

私は、

- ・機械はどこまで人間に迫れるのか？
- ・人間はどこまで機械なのか？

を科学的に考えたいと思っている。

コンピュータが万能な機械であるのなら、適切なプログラムを選べば、限りなく心の問題に近づいていけるだろうと思う。

哲学的議論や宗教的な議論に巻き込まれること無く、科学的に心の問題にどこまで迫るのか、に興味がある。

28

28

Thank you for joining me.

All the contents of these  
slides ~~to be reserved by~~ Shin  
Asakawa.