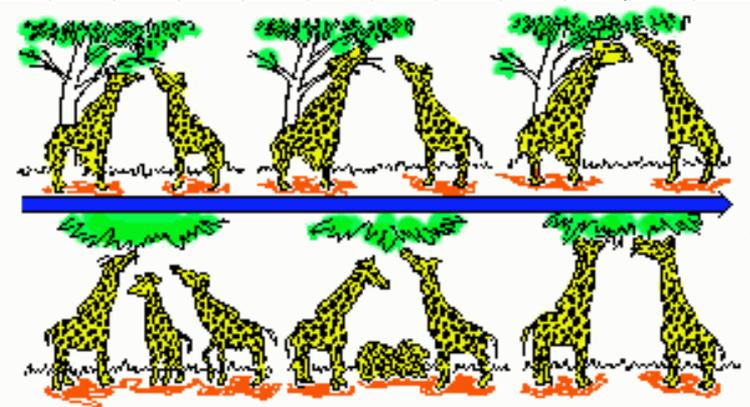


共進化と協調行動

東京大学大学院
新領域創成科学研究科
基盤情報学専攻
伊庭齐志

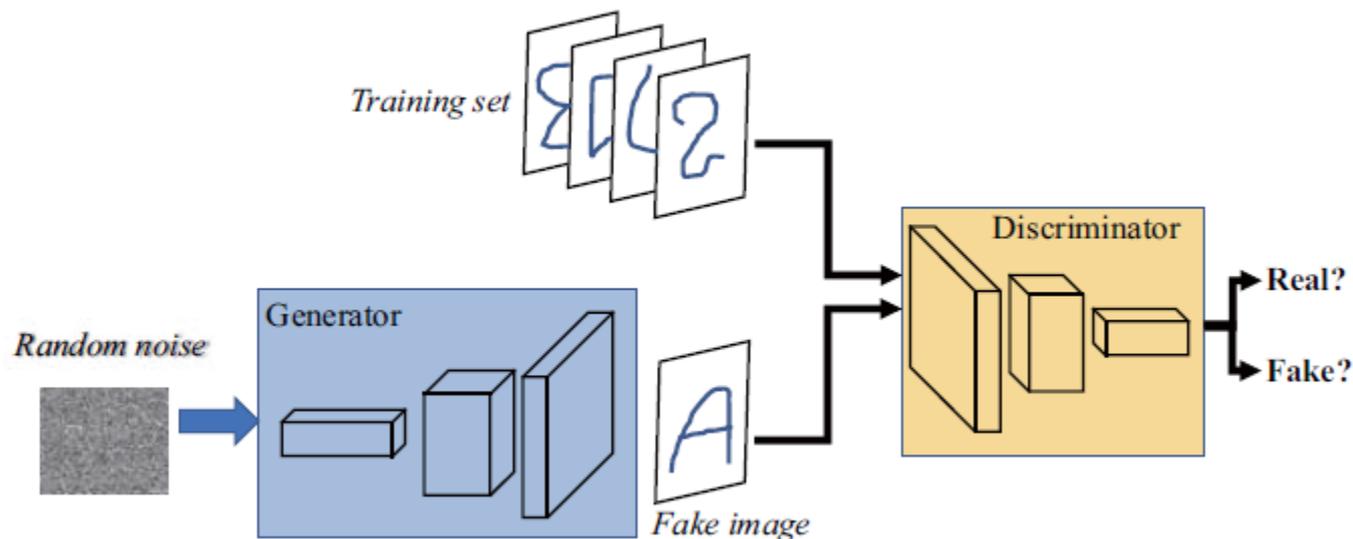


共進化 (Co-evolution)

- ◆ 異種の生物が互いに作用を及ぼしながら共に進化すること
- ◆ 共進化の結果
 - 競争 (両者が害を与える)
 - 片利共生 (一方だけ利益を受けるが他方は受けない)
 - 協調・共生 (両者ともに利益を受ける)

GAN: Generative adversary network

◆ Generator v.s. Discriminator

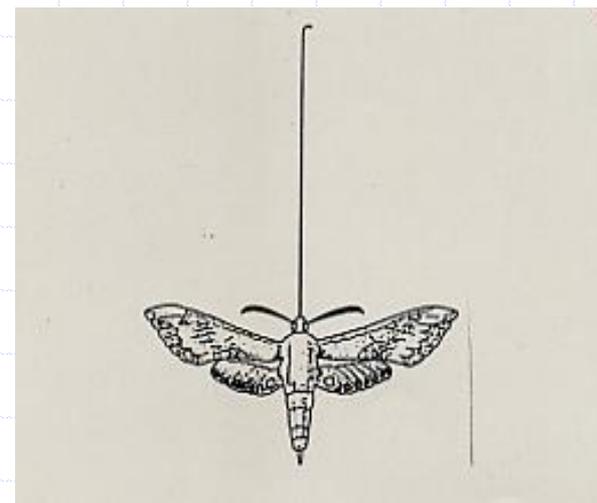
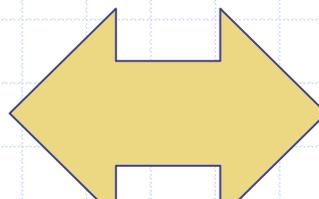


共進化の代表的な例

ダーウィンの予言



花と送粉昆虫の関係に関心を持っていたダーウィンは、この花に大きな蛾がやってきて、ストロー状の長い口吻で花筒の中の蜜を吸うと予想した

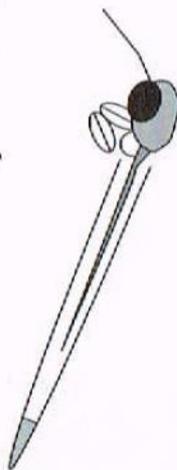


(a)

口吻長 < 花筒長

昆虫：蜜を吸えない

花：送受粉成功

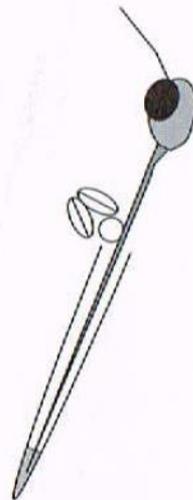


(b)

口吻長 > 花筒長

昆虫：蜜を吸える

花：送受粉失敗



長い口吻を持つ
キサントバンスズ
メガ

40年後に発見

ヒトと病原体の共進化



- ◆ 石川統 (いしかわはじめ・東京大学)
- ◆ 病原体 = 「今日の敵は明日の友」
- ◆ 共進化の結果
 - 競争 (両者が害を与える)
 - 片利共生 (一方だけ利益を受けるが他方は受けない)
 - 協調・共生 (両者ともに利益を受ける)
- ◆ 初めのうちは猛威をふるっていた伝染性の病毒性が、時間とともに弱毒化していく
- ◆ ヒトを殺してしまうと、病原体そのものも棲む家を失い、結果的に排除される

赤の女王仮説



Elizabeth



Red queen effect

◆ 共進化

◆ 軍拡競争

◆ 赤の女王：鏡の国のアリス

◆ 「赤の女王」マット・リドレー、翔泳選書



Cleopatra

ウチワサボテン vs. ガラパゴスゾウガメ



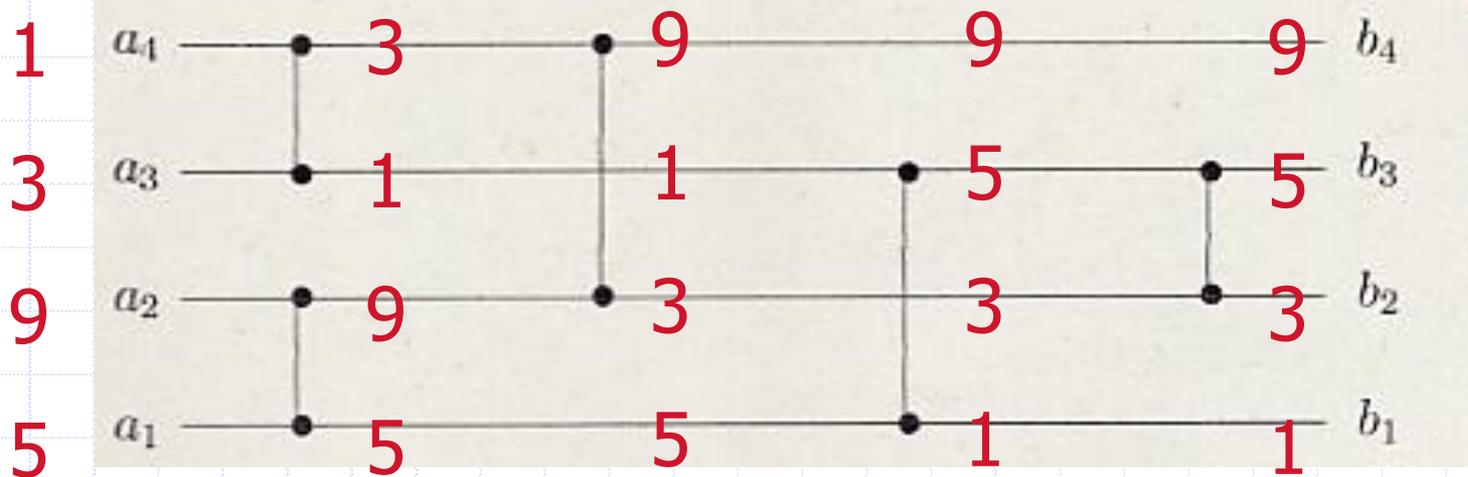
Lonesome George



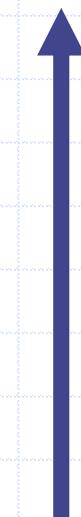
ソーティングの共進化

- ◆ Hillis, W.D. :”Co-Evolving Parasites Improves Simulated Evolution as an Optimization Procedure”, in Artificial Life II, Langton,C.G., Taylor,C., Farmer,J.D., and Rasmussen,S. (eds.), Addison-Wesley, 1991

ソーティング・ネットワーク



大



小

01原理 (Zero-one principle)

- ◆ n 入力のソーティングネットワークが 2^n 個のあらゆる $\{0,1\}$ 上の入力列を正しくソート出来るのなら、**任意の数**からなるすべての入力列を正しくソートできる
- ◆ **任意の数** → 整数, 実数, 任意の全順序集合
- ◆ 検証に必要な数は $n!$ から 2^n となる

$$n! \simeq \sqrt{2\pi n} n^n e^{-n}, \quad n \gg 1$$

01原理: How to prove

Lemma: f を任意の単調増加関数とする。このとき、ソーティングネットワーク M が入力列 $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ を出力列 $\langle b_1, b_2, \dots, b_n \rangle$ に変換するならば、 $\langle f(a_1), f(a_2), \dots, f(a_n) \rangle$ を出力列 $\langle f(b_1), f(b_2), \dots, f(b_n) \rangle$ に変換する。

証明: 先のLemmaをもちいて、ネットワークの深さに関する帰納法による。

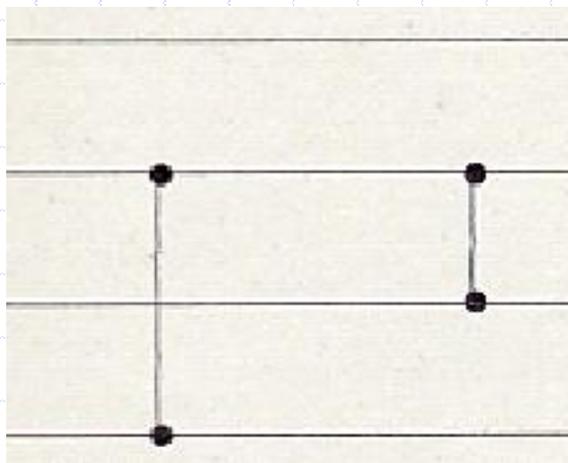
01原理: How to prove

0,1列での違反

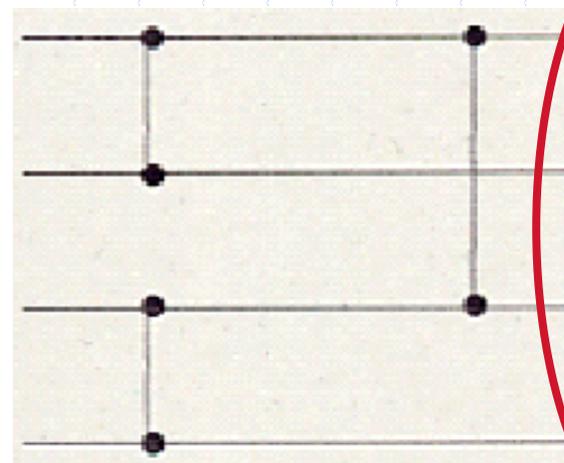
Proof:

$a_i > a_j$, but fail!!

$f(a_i)$



⋮



$f(a_j)=0$

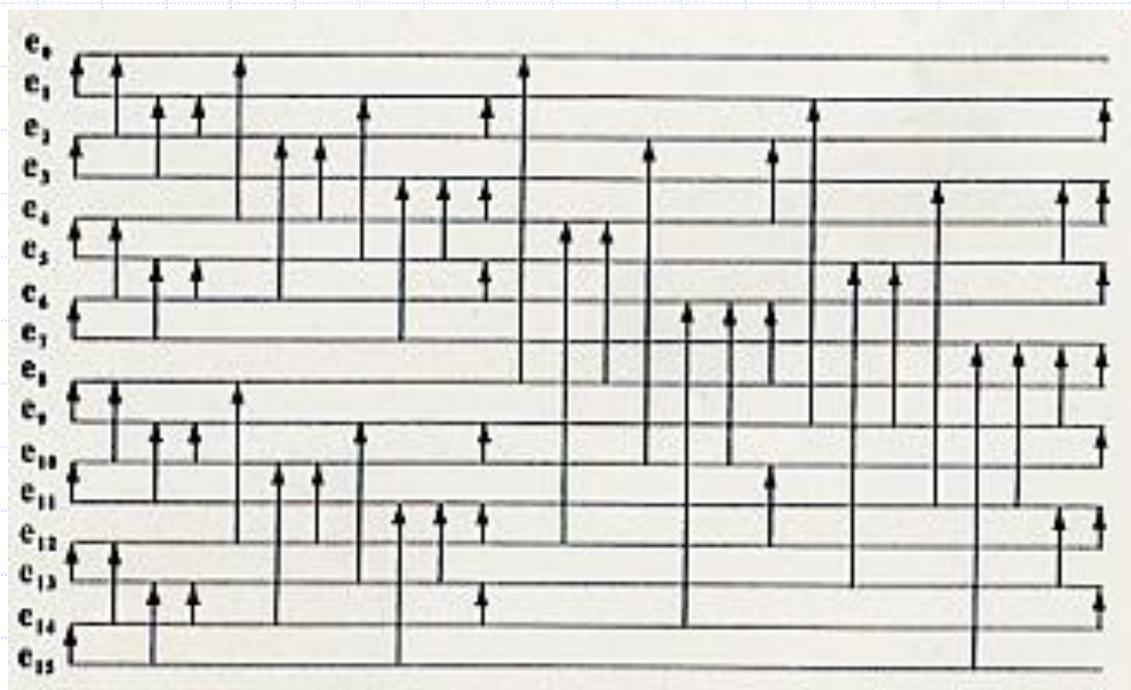
$f(a_i)=1$

ここで次のような単調
増加関数を考える

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < a_i \text{ のとき} \\ 1 & x \geq a_i \text{ のとき} \end{cases}$$

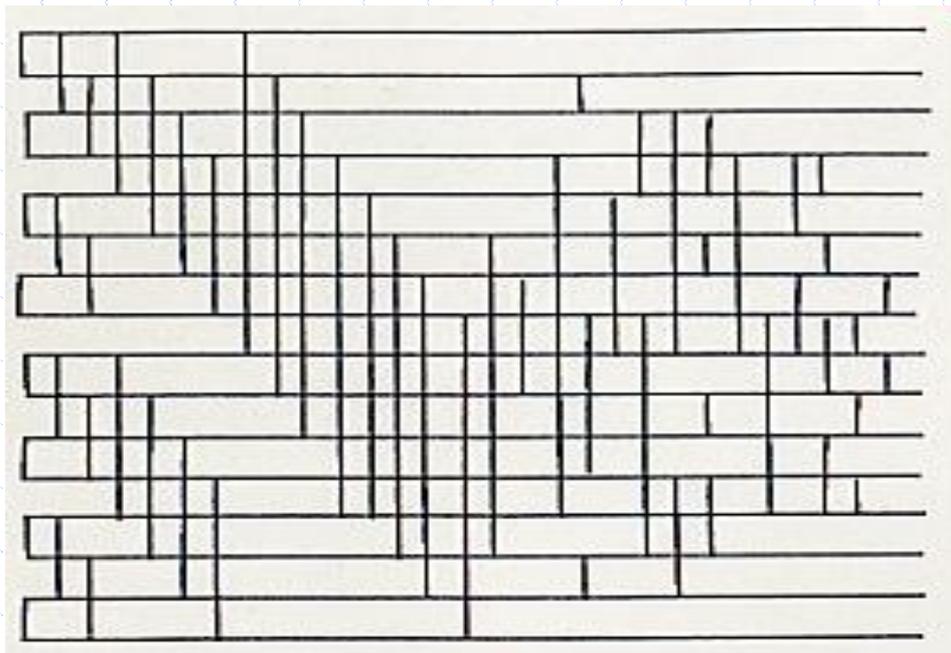
16個のソート

- ◆ Batcher ソート
- ◆ 63個の比較器 (1964)



16個のソート(2)

- ◆ Green ソート
- ◆ 60個の比較器 (1969)



GAによるソーティングの進化

◆ GTYPEとPTYPE

- リストペアでの表現:(2,5),(4,2),(7,14),...
- GTYPE長: $2 \times n$ $n = 32 \times 15$ bits
- PTYPE: 60から120のペアを表現

- 2倍体の遺伝子
- 最初の8つの染色体は固定

二倍体の遺伝子

```

10110101011110011110010010101001 01001100101101001111010001100011 0110011110000001101001101000111
10110101001001110011110010101001 01010101011101001100011111001100 01101011011110011000000110100100
11010100111101010011110111011110 00011101001011110000101010110111 01100111101100110111100111001111
10111011010001010000000100010010 11000110100001010010111111111100 11100000101101011000011100101111
01011000101000110001110110111001 11011011001110101001001101010110 11010011011101001011000000010010
11111000111001001110010101001001 0011000011001100101011110000110 00011111101111100100110110111001
11010100111101010011110111011110 10111001100010010010101011011000 01010111001011011001110101101000
10111011010001010000000100010010 00010000011101011101010101100011 0101000100000110000110101111111
10100010110111100011101001010011 0110011110000001101001101000111 0101110100100000001011111111111
00010111111100001100000001010010 01101011011110011000000110100100 00101100000110100000000110010110
    
```

(a)

コドン： 1011 0101 0111 1001 1110 0100 1010 1001

↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

整数： 11 5 7 9 14 4 10 9

↓

表現型に挿入
される比較：

(11, 5) (7, 9) (14, 4) (10, 9)

(b)

染色体A：	1011 0101	0111 1001	1110 0100	1010 1001
染色体B：	1011 0101	0010 0111	0011 1100	1010 1001

(11, 5) (7, 9), (2, 7) (14, 4), (3, 12) (10, 9)

(c)

GAによるソーティングの進化

◆ GTYPEとPTYPE

- PTYPE: 60(全てホモ)から120(全てヘテロ)

◆ 初期集団

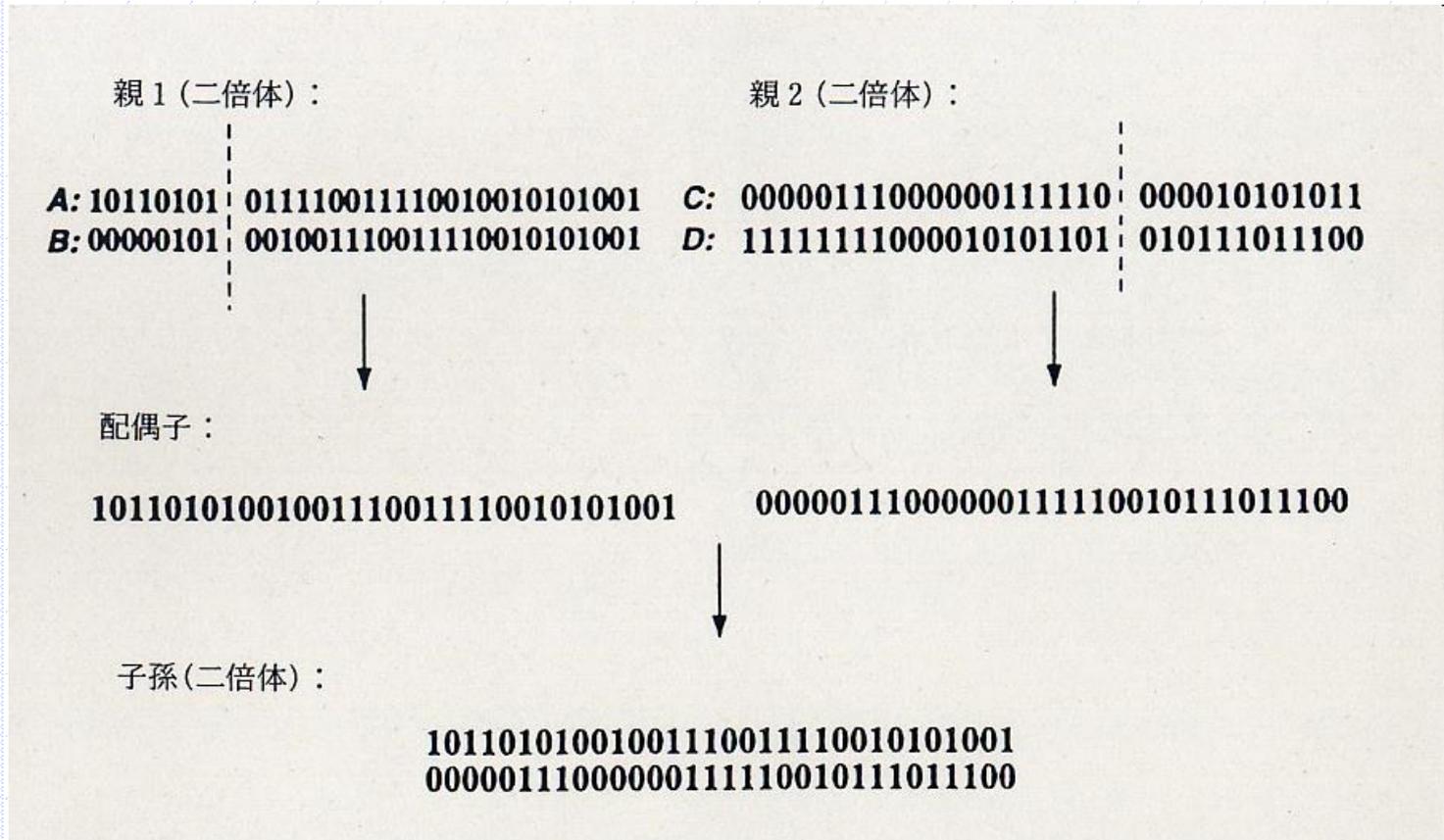
- ランダムに生成
- 知られているヒューリスティックス
 - ◆ 同じ32個の比較パターンから始まる
 - ◆ 最初の8つの染色体のペアを固定する

GAによるソーティングの進化

◆ 適合度

- 正しくソートした割合
- 入力事例は各世代においてランダムに生成

二倍体の遺伝子の生殖



16個のソート: 人 vs. GA

知られている最良ソート

年	考案者	比較数
1962	Bose, Nelson	65
1964	Batcher, Knuth	63
1969	Shapiro	62
1969	Green	60

GAによりみいだされたソート

共進化なし	65
共進化あり	61

共進化の導入

- ◆ データも進化させる
- ◆ ソーティングネットワーク $\{S_1, S_2, \dots, S_m\}$
- ◆ ソートされるデータ $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$
 - D_i : 16個の整数値
 - 10から20のテスト例
- ◆ D_i の適合度 = どれくらいの S_i をだませたか？

共進化の意味

- ◆ データの進化はネットワークの進化を促進する
- ◆ ネットワークが正しくソートすればするほどデータは困難になり、ネットワークの弱点を突くように特殊化する
- ◆ これによりネットワーク集団の変化も促す
- ◆ 同じ局所解に落ち着くことなく、つねに新たな戦略を求めて進化し続ける
- ◆ → 「赤の女王」の誕生！！

共進化の応用例

- ◆ ゲームのプログラムの進化
- ◆ ロボットの行動生成
- ◆ マルチエージェント(協調)学習

- ◆ 評価関数
 - 適合度 = 自分の駒数 - 相手の駒数 + 角にある自分の駒数 - ... ????

- ◆ たがいに対戦させる

共進化:定義re-visited

- ◆ 異種の生物が互いに作用を及ぼしながら共に進化すること
- ◆ 共進化の結果
 - 競争(両者が害を与える)
 - 片利共生(一方だけ利益を受けるが他方は受けない)
 - 協調・共生(両者ともに利益を受ける)

マルチエージェントと協調計算

- エージェント＝知的なソフトウェア
- 分散人工知能(DAI)
- マルチエージェント集団によってのみ解くことができるような問題が存在する
 - Soccer
- エージェント間の**協調行動を創発**させることによってより良い解法を獲得できるようにする

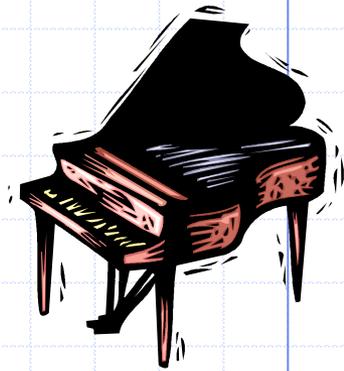
協調行動

- エージェント達がチームとしてより良い結果を得るために互いのタスク遂行を助ける行動をいう
- 従来はこの様な行動を**創発**させるために人手による(Heuristics的な)方法が採られてきた

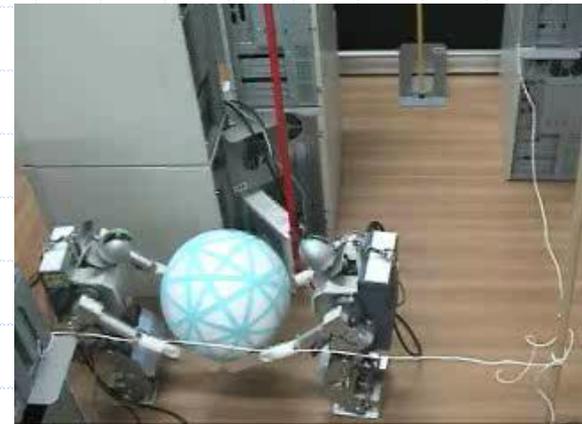
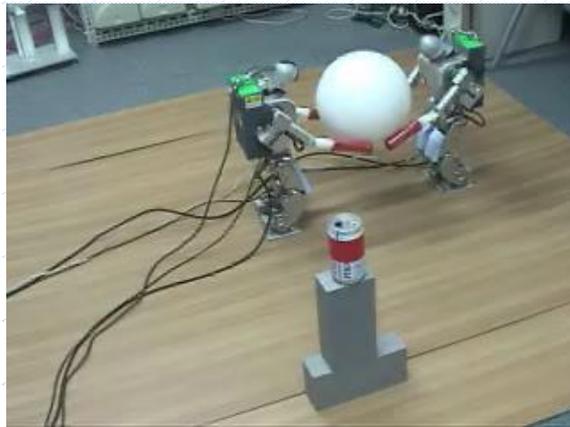
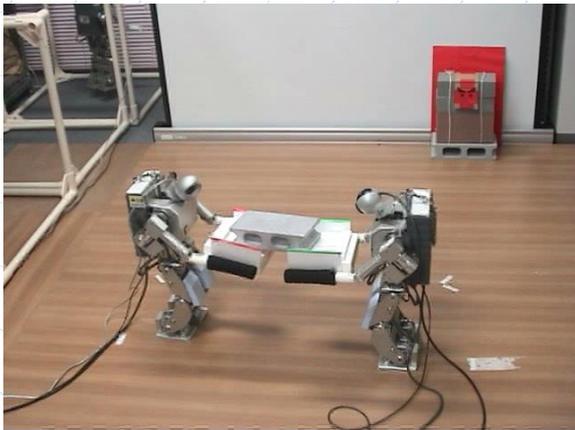
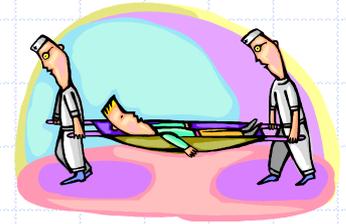
マルチエージェント学習

- マルチエージェント学習における協調戦略を人手で実装することは非常に大変である
- 人手での実装では予め分かっている事象にしか対応できない
- 自動的にプログラムを生成させて、複雑な環境下でも有効な**協調戦略を創発**させる
- **メタヒューリスティクス**
 - 遺伝的プログラミング
 - ニューラルネットワーク
 - 強化学習

マルチエージェント学習の例



- ◆ Real humanoid robots: Multi-agent cooperation
 - Piano moving task
 - Cooperative transportation



共進化は万能か？

- ◆ 相手に応じて進化する
- ◆ 相手が本当に強力か？
- ◆ たがいに妥協することもある
- ◆ 他からの進入を許すことになる
 - ESS (進化的安定戦略) ではない

より詳しく知りたい人のための本

◆伊庭斉志：進化論的計算手法、東大出版会

- 第1章 進化論的計算手法とは？
- 第2章 可変長遺伝子とイントロン
- 第3章 **二倍体の遺伝子**
- 第4章 遺伝子重複
- 第5章 免疫系
- 第6章 種の分化と棲みわけ
- 第7章 集団遺伝学
- 第8章 **共進化**

