

ランギー II：仮想的生物による通信の進化

3P-8

海野敬一

有田隆也

川口喜三男

名古屋工業大学

1. はじめに

「言語」発生のプリミティブモデル・ランギー I^{1),2)}は、相互結合型ネットワークによる連想記憶モデルに基づく仮想的生物2体間で、「言語」を発生するものであった。本稿では、そのような仮想生物を多数棲息させ、遺伝的な処理を用いた世代交替によって通信を進化させるモデル・ランギー II を構成した。これにより「言語」の発生、発展、「方言」形成などの現象の実現メカニズムに関する知見を得ることを目指す。

2. ランギーモデル I^{1),2)}

りんごを見ると赤くて丸い。また、味わったとき甘酸っぱい。それらはすべてりんごの持つ属性である。さらに、「りんご」という言葉が耳から入れば、これも属性の1つとして同様に扱われ、他の属性と共に記憶される。これを人間の脳による「世界像」の自己形成と呼ぶ。同様の情報処理を仮想生物ランギー (LangE) も行なうものとする。

ランギーは事物が提示されると、その事物の名前や抽出した属性を連想して相手に伝える。相手も同様に事物の名前を伝えてくるので他の属性と共に記録する。この操作を「会話」と呼ぶ。

「会話」を繰り返すと相互結合型ネットワークによる連想記憶モデルの1種であるアソシアトロンの性質により、徐々に自分の「言語」と相手の「言語」の中間の「言語」を話すようになり、共通の「言語」を使うようになる。

アソシアトロンの原理は数式的には次のように表現される。 p 番目の記憶事項をベクトル

$$\mathbf{x}^{(p)} = (x_1^{(p)}, x_2^{(p)}, \dots, x_i^{(p)}, \dots, x_n^{(p)})' \quad (1)$$

で表す。ここで $x_i^{(p)}$ は $-1, 0, 1$ の3値をとるものとし、'は転置を意味する。これらのベクトルを自己相関行列の和

$$M = \sum_{p=1}^k \mathbf{x}^{(p)} \mathbf{x}^{(p)'} \quad (2)$$

の形で記録・保持するものとする。想起は \mathbf{x} と同形式のベクトル $\tilde{\mathbf{x}}$ を用いて

$$z = \Phi(M \cdot \tilde{\mathbf{x}}), \quad \Phi(u) = \begin{cases} -1 & (u \leq 0) \\ 1 & (u > 0) \end{cases} \quad (3)$$

として行なう。ここで Φ は量子化関数であり、ベクトルや行列の各要素に適用される。

3. ランギーモデル II の設計方針

ランギーとその「言語」の共進化現象をモデル化するために多数のランギーが世代交替をするようにランギー I を拡張する。

ランギーワールドは図1のように、トラス状の平面で表され、ランギーは各格子点に固定されて棲息している。この平面上で、ランダムに選ばれたランギーとそのまわりの8体のランギーの間でそれぞれ同一の事物を提示し「会話」をする。このとき、「言語」の一致、不一致に応じて各ランギーの持ち点を増減させ、この持ち点と年齢に基づいて自然淘汰による世代交替を行なう。

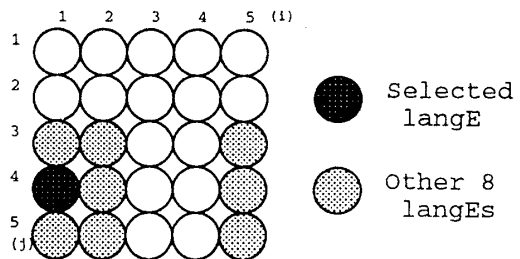


図1. 個体数25のランギーワールド

自然淘汰とは、環境への適応度の低い個体を淘汰して、残った個体に対して交叉・突然変異を行ない次世代の個体を得るものである。この操作によって言語を一致させたという意味で、より優秀な個体が生き延びていくことになる。

ただし、本モデルは「言語」との共進化現象に焦点を当てるために、「言語」を事物と1対1に対応する名前とし、属性に対する名前は考慮していない。

4. ランギーワールドの概要

ランギーワールドに棲息する各ランギーのアソシアトロン M_{ij} に対する入出力は55ビットで、50ビットを事物の言語以外の属性用、5ビットを言語用として6つの事物をそれぞれ提示する。個体数は25、遺伝子は記憶行列の初期値および寿命用の数値であり、これらの値に対して交叉・突然変異等の処理を行なう。

以下、「言語」の統一とは、全体の8割以上のランギーが同一の言語を話す状態とし、 $L_{ij}, P_{ij}, A_{ij}, T_k$ を事物が提示されるランギー、持ち点、年齢、提示される事物、 $G_{M_{ij}}, G_{A_{ij}}$ をそれぞれ記憶行列の遺伝子、寿命の遺伝子とする。

図2にランギー II のアルゴリズムを示す。各手続きの内容は次の通りである。

Initialize $G_{M_{ij}}$ の各要素を $-5 \sim 5$ 、 $G_{A_{ij}}$ を $100 \sim 300$ に乱数によって設定した初期個体群を作る。

Present (L_{ij}, T_k) L_{ij}, T_k を一定確率で選択する。

*LangE II: Evolution of Communication in Artificial Self-Organisms.

Keiichi UNNO Takaya ARITA
Kimio KAWAGUCHI
Nagoya Institute of Technology

Talk(L_{ij}, T_k) T_k について、 L_{ij} とそのまわり 8 体との間で会話を 1 回ずつ行なう。言語が同じならば P_{ij} を 1 点増加、異なっていれば 1 点減点する。

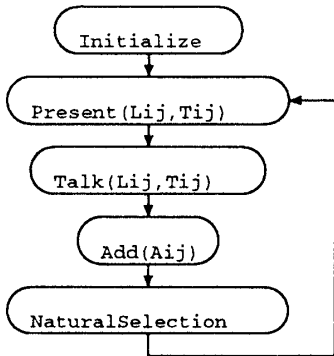


図 2. ランギーワールドアルゴリズム

Add(A_{ij}) 全員の年齢 A_{ij} を 1 増加する。
NaturalSelection 各ランギーを $f(A_{ij}, P_{ij})$ の確率で淘汰する。 f は次式で表される関数である。

$$f(A_{ij}, P_{ij}) = \frac{1}{1 + \exp(-(\frac{A_{ij} - cP_{ij}}{G_{A_{ij}}} \cdot s - s))} \quad (4)$$

(ただし c, s は定数)

さらに、淘汰されたランギーのまわり 8 体の中から次式 $g(P_{ij})$ の確率で 2 体を選び、それらの遺伝子に対して $G_{A_{ij}}$ は一点交叉、 $G_{M_{ij}}$ は行列を列で切断し繋ぎ変える交叉、また突然変異を確率 e で行なう。その新しい遺伝子を与えた子によって穴を埋める。

$$g(P_{ij}) = \frac{\Theta(P_{ij})^2}{\sum \Theta(P_{kl})^2}, \quad \Theta(p) = \begin{cases} p & (p > 0) \\ 1 & (p \leq 0) \end{cases} \quad (5)$$

(k, l は $|i - k| \leq 1, |j - l| \leq 1$)

Present から NaturalSelection までを 1 年とする。

5. ランギーワールドの観測結果

ランギーワールドを計算機上に実現し、「言語」統一の様子を確認した。その結果を次に示す事項を用いて評価する。ただし、すべて 100 年ごとの全個体の平均を取るものとする。

学習終了時間 まわり 8 体のうち 4 体以上と言語が一致した年齢

平均寿命 淘汰されたランギーの平均年齢

遺伝子レベル ランギーが生まれて初めて話す「言語」が、まわりのランギーの話す「言語」と一致する回数。

言語一致度 1 回の会話によって得られた得点

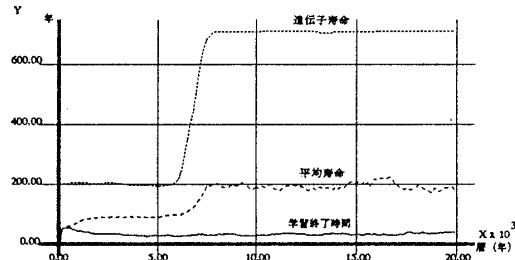
言語変化速度 ひとつの「言語」の統一が崩れてから、別の「言語」に統一された回数。言語変化があったときのみグラフ上に現れる。

学習終了時間は暦 500 年ほどでピークに達して 60 年位になる。この後、30 年前後に下がるがこれは「言語」の統一が進み学習がしやすくなったためである。

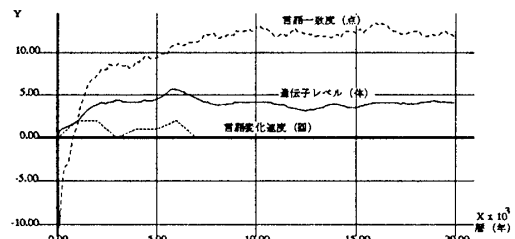
遺伝子レベルは平均寿命が延び始めた暦 6000 年付近から下がっている。これは暦 6000 年頃に、記憶行列の遺伝子は優秀でないが寿命の長い突然変異体が誕生し

たこと、また寿命が長い時の方が言語一致度は上がり得点しやすい状態になっていることから、その突然変異体の遺伝子が全体に広がり遺伝子レベルを下げたと考えられる。

言語変化速度は寿命が低い暦 6000 年付近までしか現れていないことがある。これから、寿命が延びることと統一された「言語」の変化のしにくさには相関があると考えられる。



a) 学習終了時間, 平均寿命, 遺伝子寿命



b) 遺伝子レベル, 言語一致度, 言語変化速度

図 3. $c=1, s=6, e=\frac{1}{10}$ の場合の結果

局所的に一致している言語（「方言」）も観測される。2カ所で同一の「方言」が形成されることもあるが、過去に遡ると 1 つのグループの「方言」が分断されたためであることがわかる（図 4）。

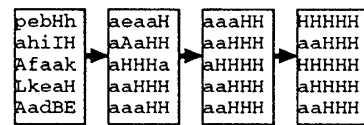


図 4. 「方言」の分断

6. おわりに

ランギーワールド上で「言語」に関する現象における各個体の学習及び進化の持つ役割に関して検討した。その結果、寿命と遺伝子レベルの相関性、言語変化速度や学習終了時間の特性、「方言」パターンの変化などに関するデータが得られた。本モデルは自律分散モデルにおけるエージェント間の通信手段の確立という工学的側面も有していると考えられる。

参考文献

1. 中野馨, 大森隆司, 有田隆也, 武田晋: 情報処理装置間の情報交換機能が自己形成されるシステムについて, 計測自動制御学会知識工学シンポジウム, pp.1-6(1984).
2. 中野馨, 磯谷亮輔, 大森隆司: 情報交換機能を自己組織的に獲得するシステム, 電子情報通信学会論文誌 Vol. J70-A.No.5, pp.806-815(1987).