

まねゲーム

東大教養 物理教室 鈴木淳史
基礎科学科 金子邦彦

1. 動機とモデル

はたして、模倣は、創造の対局にある概念であるかどうかは、さておき、自然界、また、人間社会のなかにおいても、競合する相手の行動を模倣できるというが、有利な事であるのは、間違いない。少なくとも、相手の次の行動を、"読む"ことが、可能になるからである。(それが、どのくらい正しい"読み"であるかは、問題であるが。)

また、ある種の鳥は、他の鳥の鳴き声を、まねすることによって、そのテリトリーに、侵入していくという。(そして、その結果"餌場あらし"を行なうのであろう。)つまり、そこでは、相手をまねできることが、有利であり、逆に、まねされてしまう事は、へたをするとテリトリーの喪失をみちびくこととなる。

そこで、ここでは、相互模倣する Player の集団を考え、どのような、"戦略"をとるものが、生き残っていくのか?ということ、問題にしよう。

Maynard-Smith の"進化とゲーム理論"[1]などでは、いかに単純で discrete な純粋戦略や、それに適当な重みをつけた混合戦略で、いろいろな興味深い結果がえられるか、が記されている。(人それぞれ好みがあるかもしれないが、)ここで、不満な事は、純粋戦略を人が、a priori に与えてしまうことである。それはある行動を説明する minimal なモデルを与えるかもしれないが、思ってもみない戦略への進化の可能性を depress してしまっていることは、いなめない。どんな複雑な戦略でも、系が自発的に欲する以上 取り得る、そんなものを我々はここで求めているわけである。

一方、非線形力学系の研究から、いわば、"実数の複雑さ"をもつ generator として、数々の、map が知られている。

そこで、こう考えてやることにする。Player はそれぞれ map をもっていて、その map のつくりだす time series が、その Player のもつ"戦略"だとする。こうすると、実際の行動との対応は、全くつかなくなるが、a priori に、与えることなしに、map の複雑さを持った"戦略"の集合が、えられる。(戦略だ、なんだかんだとむづかしい事をいわなくても、Time Series=鳥の鳴き声を HyperCard で monitor したものと思ってもよい。)

2. モデルについて、もうすこし

先に述べたようにそれぞれの Player は、map をもつ。ここでは、簡単のため、Logistic map ($x_{n+1} = 1 - a x_n^2$)を考える。ここで、parameter a は、

すべてのplayerが、それぞれ固有な値をもっているとする。さらに、各々のplayerは、他のplayerとcommunicateするための"結合定数" ε を持つとする。

2人(2羽?)の Player 1,2 の"対戦"を次の様に、定義する。

Step1. 1の鳴き声を2がまねする。

1,2のそれぞれのLogistic mapを random seed から適当な回数だけ空回してから、2の入力に、1の出力の情報を混ぜてやる。いわば、1のまねをするため、2は、1の"行動"を"観察"するわけである。このときの結合定数は、1のものをつかう。

この一方向だけに結合させたmapをまた適当な回数まわしてから、decouple させ、1と2の出力が、どの程度"似ているか"を何回かの map の iteration で評価する。

Step2. Step1 でのPlayer 1,2 の、役割を逆転させてやる。

Step3. Step1とStep2の結果から、1のほうが、よく2のまねが、できたなら2のparameter a, ε の値を"ほぼ"1のものに、逆ならば、1のparameter a, ε の値を"ほぼ"2のものにする。ここで、"ほぼ"とかいたのは、mutational error を取り入れる様に単に取り替えるのではなく、乱数をたしてから入れ替えてやるようにしている。

Step3で、単に入れ替えを行なうのではなく、次のようなバージョンも、調べてみた。

Step3'. (スコア方式)

勝敗スコアをつけておき、適当回の対戦後、スコアに応じて"人口"の再分配をおこなう。

さて、ここで当然問題になるのは、一体何をもって似ているとか、似ていないとかの、判断基準にすべきか?ということである。ここでは、単純に、以下の2つの criterion で調べてみた。

criterion 1. Euclid Distance> Player i ($i=1,2$) の map の time series を $(x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_n^{(i)})$ と書いた時の、deviation $\sum_{i=1}^n (x_i^{(1)} - x_i^{(2)})^2$ の大小で比べる。

criterion 2. LR Distance> Player i ($i=1,2$) の map の time series を、 $x \in (0,1)$ によって、2進法で、codeしたものを、 $J_1^{(i)}, J_2^{(i)}, \dots, J_n^{(i)}$ と書いた時の $\sum_{i=1}^n \delta(J_i^{(1)}, J_i^{(2)})$ の大小で比べる。ただし $\delta(i,k)$ は、Kronecker のデルタ記号である。

さらに、Playerの対戦する空間のtopologyをどうするか?という問題もある。全Player対戦での、simulation は、ゆらぎがおさえられる為か(?) わりときれいな結果がでるのであるが、nearest-neighbor同志しか

対戦しない様にする、時空パターンなどの情報がえられ、modeling としては、甲乙つけがたい。今のところ, simulation の結論は、共通点が多い。

3. 結果

容易に想像できるようにmutation-error の割合が大きい時は、色々な Logistic parameter a をもったものが存在しうる。これを適度に小さく調整してやると、興味深い結果が得られる。

30*30 の正方格子上での、nearest-neighbor対戦 criterion=euclid distance versionの結果を例として図1 にしめす。縦軸は、900 Players の Logistic parameter a の平均で、横軸は、900対戦を1単位とした時間である。平均値は、(0.77 $\rightarrow$ 1.77 $\rightarrow$ 1.94) という風にPlateau 間をとび移っている。

(1.77 のところは、1.625 あたりの山とすぐに"共存"してしまっていて、あまり、明瞭ではないが。)

しかも a の分散は、0.77 及び1.94のPlateau状態では、非常に小さくなっている(10^{-4} 程度)。これは、punctuated equilibrium が、達成されているものだと考えてよいだろう。

全Player対戦では、さらに顕著に(1.25, 1.38, 1.40, 1.54, 1.625, 1.77, 1.94)などを飛び移る。これらの値は、まさにLogistic mapにおけるwindowに対応している。(0.77 は、period 2 に変わる値)

すなわち、この系はまさにN.Packardの論文[2]のtitleにあるように"Edge of Chaos" に進化していくものの(多分最初の) explicitな、例となっている。

さらに、スコア方式をとった時の Logistic parameter a v.s. スコア 表(図2)についてコメントを加えておきたい。ここで、スコアは(自由)エネルギーに対応していると考えられるので、これは、エネルギーの

Landscape を表わしている。このようなmultivalley 構造は、スピングラスなどでよく知られている。但しスピングラスの時のように"横軸"の意味が不明確ではない。"横軸"は、Logistic parameter a ! である。

criterion=RLとすると、nearest-neighbor対戦versionでは、mutation-error を同程度に小さくしても、 a の分布は、ひと山にならず、どうも"多様性"が保持されているようである。他方 全Player対戦versionでは分布は、1つのピークをもつようであり、空間的なClustering が、何かの役割を果たしていることは、想像に難くない。

足立 聡, 伊庭 幸人, 時田 恵一郎氏等の有益なコメントに感謝する。

参考文献

- [1] J. Maynard. Smith, 進化とゲーム理論 (産業図書) 寺本 英, 梯 正之 訳
- [2] N. Packard, "Evolution Towards Edge of Chaos", in *Dynamic Patterns in Complex Systems*, eds. J. Kelso, A. J. Mandell, M. F. Shlesinger, World Scientific (1988)

Lattice 30, Euc, mut= $7 \cdot 10^{-5}$,
 $a_{\text{initial}} = (0.4, 0.5)$

