

## 神経ネットワークの自己組織化

東大・理 池 上 高 志

(1) 脳が外界からどう情報を自分の内部状態に反映させ、状態を変化させて思考を行なうのか、という問題へのアプローチとして、神経系ネットワーク・モデルを用いたシミュレーションを行なっている。ここではそのネットワーク・システムのダイナミクスの様子と、外場に対するレスポンスについて、分かった事を報告する。

(2) モデル……神経ネットワークは、1 か -1 の値をとるニューロンと、それらを結ぐ可変性のシナプスで構成されたネットワークで、現モデルでは、ニューロンは正方格子を成し、各々4つの最近接ニューロンと相互作用する。図1で矢印の向きは信号が送られる方向を示し、ニューロン  $S_x$  が、他のニューロンから受ける信号は

$$E_x = \beta J_x \sum_{i=1,4} (S_{yi} + 1)/2$$

で表わされる。ここで  $J_x$  は、シナプスを表わし、今、受けとり側の位置にのみ依るとする。 $J_x$  は連続変数で、全ニューロン数を  $N$  とすれば、時間  $t$  のネットワークの状態は

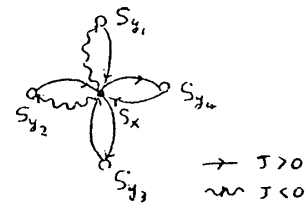


図 1

$$\phi(t) = \left[ \begin{pmatrix} S_1(t) \\ J_1(t) \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} S_2(t) \\ J_2(t) \end{pmatrix}, \dots, \begin{pmatrix} S_N(t) \\ J_N(t) \end{pmatrix} \right]$$

で特徴づけられる。 $\phi(t+\tau)$  の各成分の値は、

$$S_x(t+\tau) = 2 \cdot \theta(E_x - V_x) - 1$$

$$\text{ここで } \theta(x) = \begin{cases} 1 & (x > 0) \\ 0 & (x \leq 0) \end{cases}$$

しきい値  $V(x) = \mu J_x(t)$  と選ぶ。

$J_x(t+\tau)$  は、微分方程式

$$\dot{J}_x = -r J_x + \alpha_1 \sigma_x \sum_{i=1,4} \sigma_{y_i} - \alpha_2 \left( \frac{1}{N} \sum_x \sum_{i=1,4} S_x S_{y_i} \right)^3$$

で  $\phi(t)$  を与えた時の  $t+\tau$  の解として決める。すべての成分が同時に値を変化させるアゴリズムではなく、ここでは順番にスキャンしていくため、上の表示及び  $E_x = \beta J_x(t) \sum_{i=1,4} (\sigma_{y_i} + 1)/2$  で

$$\sigma_{y_1} = S_{y_1}(t+\tau), \quad \sigma_{y_2} = S_{y_2}(t+\tau)$$

$$\sigma_{y_3} = S_{y_3}(t), \quad \sigma_{y_4} = S_{y_4}(t), \quad \sigma_x = S_x(t)$$

となる。但し以下で示す結果は、スキャンの仕方によらないものである。

(3) 実験結果 ミクロなメカニズムを与えただけでは、ネットワーク全体のふるまいは予想がつかない。そういう意味でこれは「実験」である。初期状態  $\phi(0)$  を与えてやると、この系は 1) 初期ゆらぎ、2) トランジェント、3) アトラクターという 3 つの時間発展域を示す（これは  $\{J_x\}$  の分布の時間発展で区別できる）。図 2 ( $N=100, r=5, \alpha_1=0.5, \alpha_2=0.03 \sim 0.5, \beta/\mu=3.5$ ) というネットワーク・パラメータの範囲で、ほとんどが同期アトラクタ

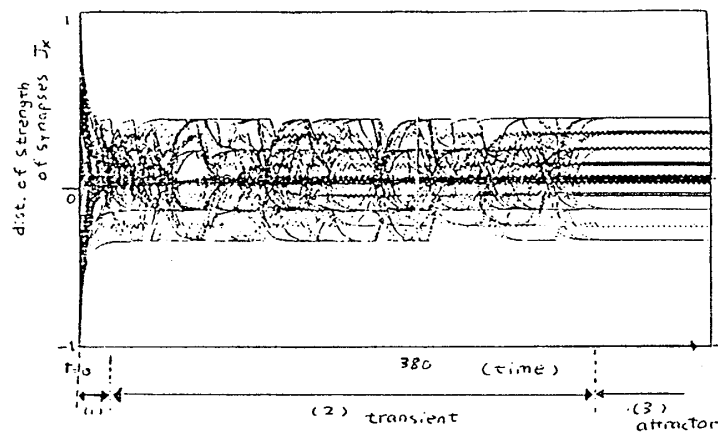


図 2

ーに落ち込む。それらの同期は、6 が基本となり（6 状態でもとに戻る。）、その倍周期（12, 18, 36, 114, ……）が現われやすい。ここで系に次の操作をほどこす；系を

$$S_x(0) = \begin{cases} 1 & (V_x < 0) \\ -1 & (V_x \geq 0) \end{cases} \quad J_x(0) \text{ は } [-1, 1] \text{ の一様乱数をあてる。}$$

という条件で時間発展させ、ある time step をえらんで強制的に  $\{S_x\}$  の状態のみ初期値に戻す。これは系に「初期のパターンをみせる」事に対応している。(i)トランジェント領域…パターンをみせる事に対し非常に敏感で、わずかに異なった time step でみせても、いきつくアトラクターは非常に異なってしまふ。 $S_x$  をイジング・スピンと見た場合、このふるまいは、スピングラスの磁場に依存した磁化の振るまいを思い出させる。—  $\{J_x\}$  の分布が系の準安定状態を規定している。(ii)アトラクター領域…ランダムな時間間隔でパターンをみせると(但し一の間隔内に系はアトラクターに入る)系はいくつかのアトラクターを飛び移る。図3では、24回パターンをみせる事によってリンクされた5つのアトラクター(A, B, C, D, E)を示している。(数字は何回移ったかを表わす。)

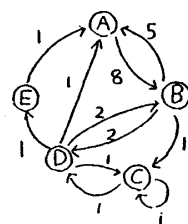


図 3

このモデルでは、1つの初期パターンを「学習」または「記憶」とするとは、単にそれを一つのアトラクターに対応させる事ではなく、いくつかのアトラクターのネットワークとして対応させる事だと考えている。このリンクされる事によるメリットとして、パターンを一定の時間間隔で見せる事は、リンクされたうちの数個のアトラクターのサイクルとして表現できる。(例えば、 $A \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow A \dots$ ) さらに異なるパターンでつくられるアトラクターの組みが、共通のアトラクターを持つ事により、異なるパターン同志を結ぶ(連想記憶的)な事が可能になる。こういった振るまいが、 $\{J_x\}$  の時間変化に帰因していて、 $\{J_x\}$  を固定してしまう現在のコンピューターには見られないものである事は興味深い。

参考文献：T. Ikegami, Master Thesis, (Tokyo Univ. 1986)

## 神経力学系のカオス

東京電大 合原一幸, 小谷 誠  
電総研 松 本 元

本研究は、神経発振子の正弦波応答に関して、Hodgkin-Huxley 常微分方程式を用いた数値計算及びヤリイカ (*Doryteuthis bleekeri*) 巨大軸索膜を用いた電気生理実験により、解析