

## カオスニューラルネットワーク

東京電機大・工 豊田雅嗣, 合原一幸, 清水和彦, 小谷 誠

本研究は、生体のニューロンの非線形応答特性に関する従来の解析結果<sup>1)</sup>に基づいて、カオスダイナミクスを有するカオスニューロンモデルをプロセッシングエレメントとするカオスニューラルネットワーク(Chaotic Neural Networks)の数学モデルを提案し、そのダイナミクスについて解析するものである。

我々は、Caianiello-Nagumo-Sato の離散時間モデル<sup>2,3)</sup>を修正したカオスニューロンモデルを用いて、ネットワーク (m個の外部入力を持つ n 個のニューロンモデルが相互結合した一般的なネットワーク) を構成した。

今、i 番目のニューロン i を仮定すると、そのダイナミクスは次式で与えられる。

$$x_i(t+1) = f \left[ \sum_{j=1}^m V_{ij} \sum_{r=0}^t k^r A_j(t-r) + \sum_{k=1}^n W_{ik} \sum_{r=0}^t k^r h \{x_k(t-r)\} - \alpha \sum_{r=0}^t k^r g \{x_i(t-r)\} - \theta_i \right] \quad (1)$$

ここで、各変数及び定数は、

$x_i(t)$  : 時刻 t における神経膜の出力 (活動電位のピーク値に対応) ( $0 \leq x(t) \leq 1$ )

$V_{ij}$  : 外部入力  $A_j(t)$  からニューロン i への結合の強さ

$W_{ik}$  : ニューロン j からニューロン i への結合の強さ

$A_j(t)$  : 時刻 t における入力刺激の大きさ

$\alpha$  : 定数パラメータ ( $\alpha \geq 0$ )

$k$  : 不応性の時間的減衰定数 ( $0 \leq k < 1$ )

$\theta_i$  : しきい値

関数  $f$  は神経細胞の内部状態  $y(t)$  と出力  $x(t)$  との関係を与える関数、関数  $g$  は出力と、次の刺激に対する不応性との関係を与える関数である。さらに、ニューロン i の内部状態  $y_i(t+1)$  を定義すれば、上式を(2)~(4)式のように単純化することができる。

$$y_i(t+1) = k^r y_i(t) + \sum_{j=1}^n W_{ij} h[f\{y_j(t)\}] + a_i(t) - \alpha g[f\{y_i(t)\}] - \theta_i \quad (2)$$

$$x_i(t+1) = f\{y_i(t+1)\} \quad (3)$$

但し、

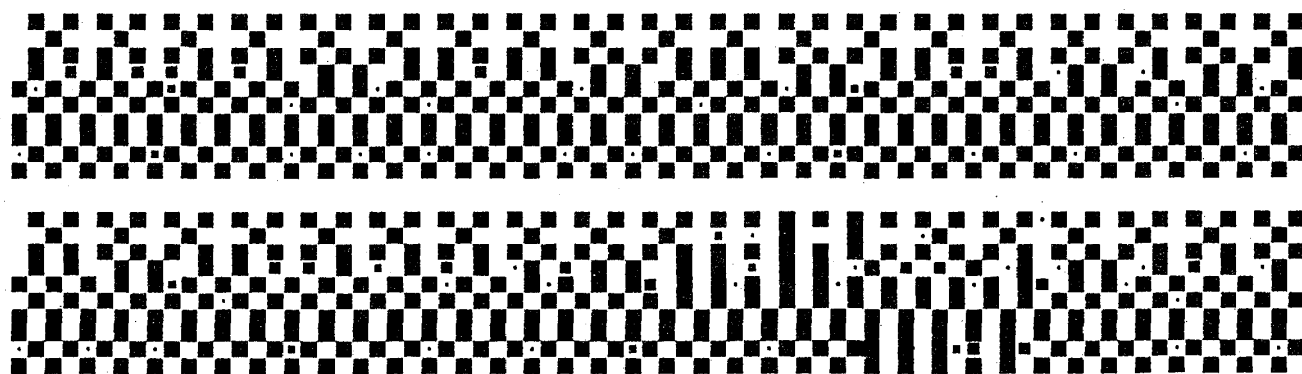
$$a_i(t) = \sum_{j=1}^m V_{ij} A_j(t) + \theta_i (k^r - 1) \quad (4)$$

(2)~(4)式は、神経の持つ空間的加算、時間的加算、連続的しきい値作用及び不

応性をすべて併せ持つニューロンモデルとなっている。

次に、我々はニューロン間の結合がランダムな状態でのネットワークとしてのカオス応答について検討した。シミュレーションでは、簡単のため、 $a_i(t) - \theta_i = a_i$  (時間に無関係に一定)、 $\alpha = 1$  と置き、関数  $f$  はロジスティック関数  $f(y) = 1 / \{1 + \exp(-y/\varepsilon)\}$ 、関数  $h$  及び関数  $g$  は恒等関数  $h(x) = x$ ,  $g(x) = x$  として取り扱った。

シミュレーション結果の一例を図に示す。図は時間  $t$  を横軸にとり、縦に10個分のニューロンの出力  $x_i(t)$  の時系列パターンを正方形の大きさで表したものである。リアプノフスペクトルを同時に示す。図の場合では、 $\lambda_0 > \lambda_1 > 0$  より、個々のニューロンでは、ほぼ周期応答をしているものもあるが、ネットワークレベルでは、カオス応答を生じていることが示されている。



|               |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| $\lambda_0 =$ | 2.69322e-001  | $\lambda_5 =$ | -2.46599e-001 |
| $\lambda_1 =$ | 4.20452e-002  | $\lambda_6 =$ | -2.64192e-001 |
| $\lambda_2 =$ | -7.89741e-002 | $\lambda_7 =$ | -3.22626e-001 |
| $\lambda_3 =$ | -1.96394e-001 | $\lambda_8 =$ | -4.07109e-001 |
| $\lambda_4 =$ | -2.40227e-001 | $\lambda_9 =$ | -5.36104e-001 |

図. カオスニューラルネットワークの時系列パターンとリアプノフスペクトル ( $W_{ij} = [-0.1 \sim 0.1]$  の一様乱数,  $k = 0.78$ ,  $\varepsilon = 0.02$ ,  $a_i = 0.5$  for all neuron.)

## 参考文献

- 1) K. Aihara and G. Mastumoto : in "Chaos in Biological Systems" (eds. Degn, Hoiden & Olsen), 121, Plenum Press, N.Y. (1987)
- 2) E.R. Caianiello : "Outline of a Theory of Thought-Processes and Thinking Machines", J. Theor. Biol., 2 (1961)
- 3) J. Nagumo and S. Sato : "On a Response Characteristic of a Mathematical Neuron Model", Kybernetik, 10 (1988)