

特徴検出細胞の形成条件に関する考察

大日南 元就* 小林 邦和* 原 肇** 鳥岡 豊士*

*山口大学 工学部

**広島工業大学 工学部

山口県宇部市常盤台 2557

広島市佐伯区三宅 2-1-1

あらまし

本論文では、特徴検出細胞の自己形成モデルに基づいた自己形成理論を提案する。この理論を基に、入力パターン集合に対する特徴検出細胞の形成条件を求める。同一環境下で、各々の入力パターン集合に対する形成条件が重複していることを明らかにする。また、それらの重複が特徴検出細胞の形成に及ぼす影響を考察する。同時に、ノルムや出現確率の異なる入力パターン集合を用いて、特徴検出細胞の形成に及ぼす影響を考察する。また、これらの影響を計算機実験において明らかにする。

和文キーワード 特徴検出細胞, 自己形成, 重複, 定常環境, 相互抑制

Consideration on the Condition Forming Feature Detecting cells

Motonari Oohina* Kunikazu Kobayashi* Hajime Hara** Toyoshi Torioka*

*Faculty of Engineering
Hiroshima Inst. of Tech

**Faculty of Engineering
Yamaguchi University

2557 tokiwada,ube,
yamaguchi

1-1,miyake 2 chome
saeki-ku,hiroshima

Abstract

In this paper, a model of self-formation of feature detecting cells is proposed. A theory of self-formation is given based on the model. Through the theory, conditions that form the feature detecting cells responding each subset consisting of input patterns is derived.

Then it is disclosed that the formation of the feature detecting cells depends on the overlap of their condition. It is also revealed that the formation of the feature detecting cells depends on the norm of input pattern and occurred probability of input pattern. The above-mentioned fact is disclosed through computer simulation.

英文 key words feature detecting cells, self-formation, overlap, stationary environment, lateral-inhibition

1. まえがき

生物の神経系は環境から受ける多くの入力刺激のもとに、ある特定の入力刺激のみに反応する特徴検出細胞を自己組織的に形成していくことが知られている。従って、特徴検出細胞は記憶、認識に何らかの形で関与していると考えられる。特徴検出細胞の自己形成の性質を明らかにすることは脳の情報処理機構を解明する上で重要である。

本論文では、特徴検出細胞の自己形成モデルに基づいた自己形成理論を提案する。この理論を基に、入力パターン集合に対する特徴検出細胞の形成条件を求める。同一環境下で、各々の入力パターン集合に対する形成条件が重複していることを明らかにする。また、それらの重複が特徴検出細胞の形成に与える影響を考察する。同時に、ノルムや出現確率の異なる入力パターン集合を用いて、特徴検出細胞の形成に及ぼす影響を考察する。最後に、上述の影響を計算機実験において明らかにする。

2. 自己形成モデル

図1に自己形成モデルを示す。モデルは第1層（入力パターン層）、第2層（特徴検出細胞層）、非線形特性を持つ抑制性細胞 G からなる。入力パターンはエルゴード的定常環境 E から選ばれ、第1層に与えられる。

$$E = \begin{bmatrix} x_1 & \cdots & x_l & \cdots & x_L \\ p_1 & \cdots & p_l & \cdots & p_L \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、入力パターン $x_l = (x_{l1}, \dots, x_{lj}, \dots, x_{ln})$ 、 p_l は入力パターン x_l の出現確率を示す。細胞 G は第1層のすべての細胞から固定シナプス1を介して入力を受け、それに応じた抑制出力を第2層に送る。第2層のある細胞 i は第1層から修正可能な興奮性シナプス荷重 w_i を介して入力を受ける。

$$w_i = (w_{i1}, \dots, w_{ij}, \dots, w_{in}) \quad (2)$$

同時に、細胞 i は細胞 G から修正可能な抑制性シナプス荷重 w_{iG} を介して入力を受ける。そして、それらの入力に応じて出力 y_i を出す。第1層へ入力パターン x_l が与えられた時、細胞 G の出力 z_G 、及び第2層の細胞 i の出力 y_i は、それぞれ

$$z_G = g(h_{xl}), \quad y_i = f(w_i \cdot x_l - w_{iG} z_G) \quad (3)$$

となる。但し、 $g(u) = \sqrt{u}$, $f(u) = u$, $h_{xl} = \sum_{j=1}^n x_{lj}$ である。 x_{lj} は x_l の第 j 要素、 $w \cdot x$ は w と x の内積を表す。ここで、 x_{lj} は0か1の値をとるものとする。

3. 特徴検出細胞の自己形成理論

3.1 自己形成の基本理論

修正可能な興奮性シナプス荷重 w_i と修正可能な抑制性シナプス荷重 w_{iG} は、環境 E から与えられる入力パターン x_l をもとに学習方程式

$$\tau \dot{w}_i = -w_i + c \gamma_i x_l \quad (4)$$

$$\tau' \dot{w}_{iG} = -w_{iG} + c' \gamma_i z_G \quad (5)$$

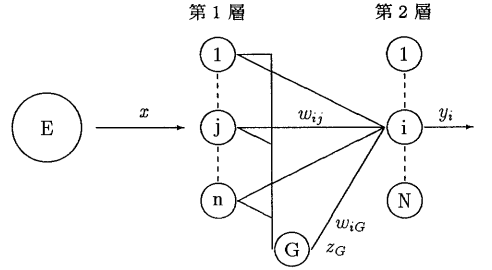


図1: 特徴検出細胞の自己形成モデル

によって修正される。ここで、 $\dot{w}$ は w の時間微分、 c, c' は学習定数を表す。また、 τ, τ' は時定数で十分大きいものとする。学習信号 γ_i は、出力 y_i が正であるか否かに応じて1, 0の値をとるものとする。即ち、

$$\gamma_i = o(y_i) \quad (6)$$

$$o(u) = \begin{cases} 1 & u > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

とする。更に、式(4)、式(5)より、平均学習方程式

$$\tau \dot{\bar{w}}_i = -\bar{w}_i + c \bar{\gamma}_i \bar{x}_l \quad (8)$$

$$\tau' \dot{\bar{w}}_{iG} = -\bar{w}_{iG} + c' \bar{\gamma}_i \bar{z}_G \quad (9)$$

を得る。ここに $\bar{\cdot}$ は環境 E に関する $\cdot$ の平均値である。第2層の細胞 i が、シナプス荷重の学習を通して特定のパターン集合のみに反応するようになる時、この細胞をその集合の特徴検出細胞という。式(8)、式(9)より、学習方程式は多数の平衡状態を持つ。従って、シナプス荷重はそれらの1つにそれぞれ収束する。その平衡状態は $\dot{w}_i = 0, \dot{w}_{iG} = 0$ より、

$$\bar{w}_i = c \bar{\gamma}_i \bar{x}_l = c \sum_{x_l \in A} P_l x_l \quad (10)$$

$$\bar{w}_{iG} = c' \bar{\gamma}_i \bar{z}_G = c' \sum_{x_l \in A} P_l \sqrt{\|x_l\|} \quad (11)$$

となる。安定平衡状態のもとで、入力パターン $x_\beta \in E$ を与えると、細胞 i の膜電位は次のようになる。

$$\begin{aligned} \bar{u}_i &= \bar{w}_i \cdot x_\beta - \bar{w}_{iG} \sqrt{\|x_\beta\|} \\ &= c \sum_{x_l \in A} P_l x_l \cdot x_\beta \\ &\quad - c' \sum_{x_l \in A} P_l \sqrt{\|x_l\|} \sqrt{\|x_\beta\|} \\ &= c \sum_{x_l \in A} P_l \sqrt{\|x_l\|} \sqrt{\|x_\beta\|} (\rho_\beta - \lambda) \end{aligned} \quad (12)$$

但し、 $\rho_\beta = \sum_{x_l \in A} P_l x_l \cdot x_\beta / \sum_{x_l \in A} P_l \sqrt{\|x_l\|} \sqrt{\|x_\beta\|}$, $\lambda = c'/c$ である。ここで、細胞 i がパターン集合 A に対する特徴検出細胞となる条件は、 $x_\beta \in A$ なるすべての入力パターンに対して、

$$\bar{u}_i = c \sum_{x_\beta \in A} P_l \sqrt{\|x_l\|} \sqrt{\|x_\beta\|} (\rho_\beta - \lambda) > 0 \quad (13)$$

$x_\beta \notin A$ なるすべての入力パターンに対して、

$$\bar{u}_i = c \sum_{x_\beta \notin A} R_i \sqrt{\|x_i\|} \sqrt{\|x_\beta\|} (\rho_\beta - \lambda) < 0 \quad (14)$$

を満たす必要がある。故に、膜電位 $\bar{u}_i$ が入力パターン $x_\beta \in A$ に対して正、入力パターン $x_\beta \notin A$ に対して負となる条件は

$$\max_{x_\beta \in A} \rho_\beta < \lambda < \min_{x_\beta \in A} \rho_\beta \quad (15)$$

となる。従って、形成条件を式 (15) の範囲から選ぶとパターン集合 A に対して特徴検出細胞が形成される。しかし、同一環境下で考えられる各パターン集合に対する特徴検出細胞の形成条件の重複は、これまで考慮されていない。3.2 ではこの点を明らかにする。

3.2 特徴検出細胞の形成条件の重複からの影響

「3.1 の理論では、1 つのパターン集合の形成条件しか考慮していないため、3.2 では、同一環境下で、複数のパターン集合の形成条件が存在し、それらの形成条件が重複したとする。」それらの重複からの影響を考慮する。同一環境下で、パターン集合 A と異なるパターン集合 B が存在するとする。パターン集合 B に対してある細胞 i が特徴検出細胞となる条件は以下のようになる。

$$\max_{x_\beta \in B} \rho'_\beta < \lambda' < \min_{x_\beta \in B} \rho'_\beta \quad (16)$$

但し、 $\rho'_\beta = \sum_{x_i \in B} R_i x'_i \cdot x_\beta / \sum_{x_i \in B} R_i \sqrt{\|x_i\|} \sqrt{\|x_\beta\|}$
また、パターン集合 A 、パターン集合 B の形成条件が図 2 に示すように同一環境下で、重複しているものとする。ここに、図 2 の $\lambda_{\min}$ 、 $\lambda_{\max}$ は λ の範囲の下限と上限、 $\lambda'_{\min}$ 、 $\lambda'_{\max}$ は λ' の範囲の下限と上限である。1 つのパターン集合のみを考慮した場合、図 2 の $(\lambda_{\min}, \lambda_{\max})$ から形成条件を選ぶとパターン集合 A に対してのみ特徴検出細胞が形成されることになる。しかし、実際にはパターン集合 B の影響が考えられるため、必ずしもパターン集合 A に対してのみ特徴検出細胞が形成されるわけではなく、パターン集合 B に対しても特徴検出細胞が形成される可能性がある。即ち、形成条件を $(\lambda_{\min}, \lambda'_{\max})$ から選ぶとパターン集合 A とパターン集合 B のいずれに対しても特徴検出細胞が形成される可能性がある。従って、パターン集合 A に対してのみ特徴検出細胞を形成させるためには、形成条件を $(\lambda'_{\max}, \lambda_{\max})$ から、パターン集合 B に対してのみ特徴検出細胞を形成させるためには、形成条件を $(\lambda'_{\min}, \lambda_{\min})$ から、選ばなければならない。このように他のパターン集合からの影響を考慮して形成条件を選ばなければならない。また、細胞がどのパターン集合の特徴検出細胞になるかは、修正可能な興奮性シナプス荷重や修正可能な抑制性シナプス荷重の初期値、パターンの呈示順序等に左右される。

4. 計算機実験

4.1 実験の条件

モデルの第 1 層の細胞数を 25 個とし、第 2 層の細胞数を 100 個とした。また、第 2 層は 2 次元配列とし、各パターンに対する特徴検出細胞の形成が個数において釣りの合いのとれた状態になるために、発火した細胞が近傍 8 個

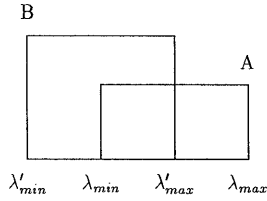


図 2: 他のパターン集合からの影響

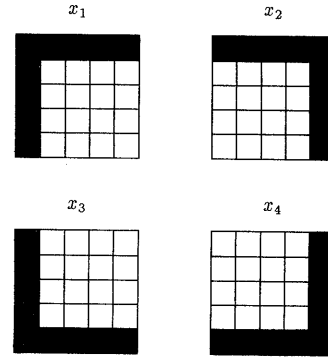


図 3: 入力パターン

の細胞に rap-around 方式で相互抑制 q を送るようにした。

4.2 実験 1

本実験では、環境としてノルムが等しく、出現確率が等しい入力パターンを用いた。環境は

$$E_1 = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 \end{bmatrix} \quad (17)$$

とした。入力パターンを図 3 (図の黒は 1、白は 0 に対応) に示す。興奮性シナプス荷重の初期値は $[0, 1.0]$ 、抑制性シナプス荷重の初期値は $[0, 1.0]$ の範囲から一様乱数で選んだ。 $c = 1.0$ 、 $\tau = \tau' = 1.0$ 、相互抑制 $q = 0.04$ とした。入力パターンの要素数 m 別に形成条件の範囲を分けると次のようである。

(i) $m = 1$

$A = \{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_4\}$ に対して

$$0.5556 < \lambda_1 < 1 \quad (18)$$

(ii) $m = 2$

$A = \{x_1, x_2\}, \{x_1, x_3\}, \{x_2, x_4\}, \{x_3, x_4\}$ に対して

$$0.3889 < \lambda_2 < 0.7778 \quad (19)$$

$A = \{x_1, x_4\}, \{x_2, x_3\}$ に対して

$$0.5556 < \lambda'_2 < 0.6111 \quad (20)$$

(iii) $m = 3$

$A = \{x_1, x_2, x_3\}, \{x_1, x_2, x_4\}, \{x_1, x_3, x_4\}, \{x_2, x_3, x_4\}$ に対して

$$0.4444 < \lambda_3 < 0.5926 \quad (21)$$

(iv) $m = 4$

$A = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ に対して

$$0 < \lambda_4 < 0.5833 \quad (22)$$

また、それぞれの形成条件の範囲を図5に示す。実験結果の一部として、相互抑制がない場合を表1、相互抑制がある場合を表2に示す。理論において、 $0.7778 < \lambda < 1$ の範囲に形成条件を選ぶと、要素数 $m = 1$ のすべてのパターン集合に対してのみ特徴検出細胞が形成される可能性がある。また、要素数 $m = 1$ のパターン集合はそれぞれ、要素数 $m = 1$ の他のパターン集合から影響を受ける。相互抑制がない場合（表1）、 $\lambda = 0.8$ のとき、パターン集合 $\{x_1\}$ 、 $\{x_2\}$ 、 $\{x_3\}$ 、 $\{x_4\}$ に対してそれぞれ18、27、26、29個の特徴検出細胞が形成された。相互抑制がある場合（表2）、 $\lambda = 0.8$ のとき、パターン集合 $\{x_1\}$ 、 $\{x_2\}$ 、 $\{x_3\}$ 、 $\{x_4\}$ に対してそれぞれ27、26、22、25個の特徴検出細胞が形成された。要素数 $m = 1$ のパターン集合はそれぞれ、要素数 $m = 1$ の他のパターン集合からの影響を受けながら特徴検出細胞を形成していることが分かる。また、相互抑制があるときは相互抑制がないときに比べ特徴検出細胞の個数が万遍なく形成されることが分かる。これは一般的に知られている相互抑制の効果を表している。理論において、 $0.6111 < \lambda < 0.7778$ の範囲に形成条件を選ぶと、要素数 $m = 1$ のすべてのパターン集合、要素数 $m = 2$ において $\{x_1, x_4\}$ 、 $\{x_2, x_3\}$ 以外のすべてのパターン集合に対して特徴検出細胞が形成される可能性がある。それらのパターン集合はそれぞれ、他のパターン集合から影響を受ける。表2の $\lambda = 0.7$ のとき、要素数 $m = 1$ のすべてのパターン集合、要素数 $m = 2$ において $\{x_1, x_4\}$ 、 $\{x_2, x_3\}$ 以外のすべてのパターン集合に対して特徴検出細胞が形成されている。他のパターン集合からの影響を受けながら特徴検出細胞が形成されていることが分かる。理論において、 $0.5556 < \lambda < 0.6111$ の範囲に形成条件を選ぶと、要素数 $m = 1$ 、 $m = 2$ のすべてのパターン集合に対して特徴検出細胞が形成される可能性がある。しかし、表1の $\lambda = 0.6$ のとき、パターン集合 $\{x_1\}$ 、 $\{x_2\}$ 、 $\{x_3\}$ 、 $\{x_4\}$ 、 $\{x_1, x_4\}$ 、

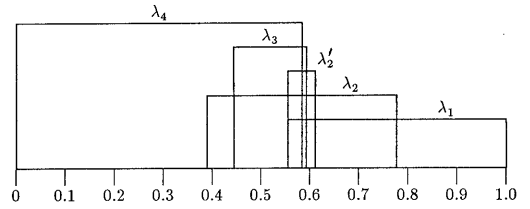


図5 環境 E_1 の下での各パターン集合の形成範囲

表1: 特徴検出細胞の形成個数（相互抑制なし）

λ	0.8	0.7	0.6	0.5	0.35
$\{x_1\}$	18	0	0	0	0
$\{x_2\}$	27	0	0	0	0
$\{x_3\}$	26	0	0	0	0
$\{x_4\}$	29	0	0	0	0
$\{x_1, x_2\}$	0	32	27	0	0
$\{x_1, x_3\}$	0	19	50	0	0
$\{x_1, x_4\}$	0	0	0	0	0
$\{x_2, x_3\}$	0	0	0	0	0
$\{x_2, x_4\}$	0	6	2	0	0
$\{x_3, x_4\}$	0	43	21	0	0
$\{x_2, x_3, x_4\}$	0	0	0	1	0
$\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$	0	0	0	99	100

表2: 特徴検出細胞の形成個数（相互抑制 0.04）

λ	0.8	0.7	0.6	0.5	0.35
$\{x_1\}$	27	17	1	0	0
$\{x_2\}$	26	24	7	0	0
$\{x_3\}$	22	14	3	0	0
$\{x_4\}$	25	9	1	0	0
$\{x_1, x_2\}$	0	8	30	23	0
$\{x_1, x_3\}$	0	6	18	17	0
$\{x_1, x_4\}$	0	0	0	0	0
$\{x_2, x_3\}$	0	0	0	0	0
$\{x_2, x_4\}$	0	2	14	13	0
$\{x_3, x_4\}$	0	9	26	26	0
$\{x_1, x_3, x_4\}$	0	0	0	1	0
$\{x_2, x_3, x_4\}$	0	0	0	1	0
$\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$	0	0	0	17	100

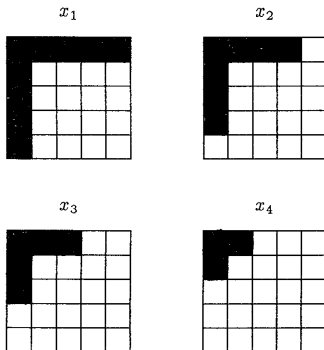


図4: 入力パターン

$\{x_2, x_3\}$ に対して特徴検出細胞が形成されていない。その理由はパターン集合 $\{x_1, x_2\}$ 、 $\{x_1, x_3\}$ 、 $\{x_2, x_4\}$ 、 $\{x_3, x_4\}$ からの影響を受けているためである。また、表1、表2の

0.5556 < λ < 0.6111 の範囲内では、パターン集合 $\{x_1, x_4\}$, $\{x_2, x_3\}$ に対して特徴検出細胞が形成されていない。その理由はパターン集合 $\{x_1, x_4\}$, $\{x_2, x_3\}$ に対する特徴検出細胞の形成範囲が他のパターン集合に対する特徴検出細胞の形成範囲より極めて狭いためであると考えられる。即ち、入力パターン x_1 と x_4 、 x_2 と x_3 の間の類似性が低いとみだと考えられる。以上の結果から、特徴検出細胞の形成は各パターン集合に対する形成条件の重複から大きな影響を受けることが示された。

4.3 実験2

本実験では、環境としてノルムが等しく、出現確率が異なる入力パターンを用いた。

$$E_2 = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ 1/11 & 2/11 & 3/11 & 5/11 \end{bmatrix} \quad (23)$$

入力パターンを図3に示す。興奮性シナプス荷重の初期値は $[0, 0.5)$ 、抑制性シナプスの初期値は $[0, 0.5)$ の範囲から一様乱数で選んだ。 $c = 1.0$, $\tau = \tau' = 1.0$, 相互抑制 $q = 0.026$ とした。また、実験1と同様に、パターン集合の要素数 m 別に形成条件の範囲を分けて実験を行なった。実験結果の一部として、相互抑制がない場合を表3、相互抑制がある場合を表4に示す。実験の結果、相互抑制がない場合（表3）、 $\lambda = 0.85$ のとき、パターン集合 $\{x_1\}$, $\{x_2\}$, $\{x_3\}$, $\{x_4\}$ に対してそれぞれ0、0、0、100個の特徴検出細胞が形成された。かなり不均衡に特徴検出細胞が形成されている。また、相互抑制がある場合（表4）、 $\lambda = 0.85$ のとき、パターン集合 $\{x_1\}$, $\{x_2\}$, $\{x_3\}$, $\{x_4\}$ に対してそれぞれ2、14、28、56個の特徴検出細胞が形成された。相互抑制がある場合でも不均衡に特徴検出細胞が形成されている。出現確率が高い入力パターン x_4 に対しては特徴検出細胞は多く形成され、出現確率が低い入力パターン x_1 に対しては少なく形成されている。この結果から特徴検出細胞の形成は各パターン集合に対する形成条件の重複からの影響の他に、入力パターンの出現確率からも大きな影響を受けていることが明らかである。

表3: 特徴検出細胞の形成個数（相互抑制なし）

λ	0.85	0.7	0.66	0.6	0.3
$\{x_1\}$	0	0	0	0	0
$\{x_2\}$	0	0	0	0	0
$\{x_3\}$	0	0	0	0	0
$\{x_4\}$	100	9	0	0	0
$\{x_1, x_2\}$	0	0	0	0	0
$\{x_1, x_3\}$	0	0	0	0	0
$\{x_1, x_4\}$	0	0	0	0	0
$\{x_2, x_3\}$	0	0	0	0	0
$\{x_2, x_4\}$	0	0	4	0	0
$\{x_3, x_4\}$	0	91	96	100	0
$\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$	0	0	0	0	100

表4: 特徴検出細胞の形成個数（相互抑制0.026）

λ	0.85	0.7	0.66	0.6	0.3
$\{x_1\}$	2	4	2	1	0
$\{x_2\}$	14	1	0	0	0
$\{x_3\}$	28	2	3	0	0
$\{x_4\}$	56	76	29	3	0
$\{x_1, x_2\}$	0	0	2	2	0
$\{x_1, x_3\}$	0	0	0	1	0
$\{x_1, x_4\}$	0	0	0	0	0
$\{x_2, x_3\}$	0	0	0	0	0
$\{x_2, x_4\}$	0	0	19	22	0
$\{x_3, x_4\}$	0	17	45	70	0
$\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$	0	0	0	0	98

4.4 実験3

本実験では、環境としてノルムが異なり、出現確率が等しい入力パターンを用いた。

$$E_3 = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 \end{bmatrix} \quad (24)$$

入力パターンを図4（図の黒は1、白は0に対応）に示す。また、興奮性シナプス荷重の初期値は $[0, 0.1)$ 、抑制性シナプスの初期値は $[0, 0.1)$ の範囲から一様乱数で選んだ。 $c = 3.0$, $\tau = \tau' = 1.0$, 相互抑制 $q = 0.007$ とした。また、実験1と同様に、パターン集合の要素数 m 別に形成条件の範囲を分けて実験を行なった。実験結果の一部として、相互抑制がない場合を表5、相互抑制がある場合を表6に示す。実験の結果、相互抑制がない場合（表5）、 $\lambda = 0.98$ のとき、パターン集合 $\{x_1\}$, $\{x_2\}$, $\{x_3\}$, $\{x_4\}$ に対してそれぞれ69、22、9、0個の特徴検出細胞が形成された。かなり不均衡に特徴検出細胞が形成された。また、相互抑制がある場合（表6）、 $\lambda = 0.98$ のとき、パターン集合 $\{x_1\}$, $\{x_2\}$, $\{x_3\}$, $\{x_4\}$ に対してそれぞれ46、29、22、2個の特徴検出細胞が形成された。相互抑制があるときでも、不均衡に特徴検出細胞が形成されている。ノルムが大きい入力パターン x_1 に対しては特徴検出細胞が多く形成され、ノルムが小さい入力パターン x_4 に対しては少なく形成されている。この結果から特徴検出細胞の形成は形成条件の重複や入力パターンの出現確率からの影響の他に、入力パターンのノルムからも大きな影響を受けることが分かる。

表5: 特徴検出細胞の形成個数（相互抑制なし）

λ	0.98	0.93	0.845	0.7	0.6
$\{x_1\}$	69	1	0	0	0
$\{x_2\}$	22	2	0	0	0
$\{x_3\}$	9	2	0	0	0
$\{x_4\}$	0	0	0	0	0
$\{x_1, x_2\}$	0	95	8	0	0
$\{x_2, x_3\}$	0	0	1	0	0
$\{x_1, x_2, x_3\}$	0	0	91	18	0
$\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$	0	0	0	82	100

表 6: 特徴検出細胞の形成数 (相互抑制 0.007)

λ	0.98	0.93	0.845	0.7	0.6
$\{x_1\}$	46	52	0	0	0
$\{x_2\}$	29	16	0	0	0
$\{x_3\}$	22	7	0	0	0
$\{x_4\}$	2	4	2	0	0
$\{x_1, x_2\}$	0	18	65	0	0
$\{x_1, x_2, x_3\}$	0	0	24	61	0
$\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$	0	0	0	31	90

4.5 実験 4

参考のために、実験 4 において、ノルムと出現確率が異なる環境を用いて実験を行なった。環境は

$$E_4 = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ 1/10 & 2/10 & 3/10 & 4/10 \end{bmatrix} \quad (25)$$

とした。入力パターン集合を図 4 に示す。興奮性シナプス荷重の初期値は $[0, 0.1]$ 、抑制性シナプスの初期値は $[0, 0.1]$ の範囲から一様乱数で選んだ。 $c = 3.0$, $\tau = \tau' = 1.0$, 相互抑制 $q = 0.0025$ とした。また、実験 1 と同様に、パターン集合の要素数 m 別に形成条件の範囲を分けて実験を行なった。実験結果の一部として、相互抑制がない場合を表 7、相互抑制がある場合を表 8 に示す。実験の結果、相互抑制がある場合 (表 8)、 $\lambda = 0.95$ のとき、パターン集合 $\{x_1\}$, $\{x_2\}$, $\{x_3\}$, $\{x_4\}$ に対してそれぞれ 7、45、39、9 個の特徴検出細胞が形成された。実験 3 に比べて出現確率が

表 7: 特徴検出細胞の形成数 (相互抑制なし)

λ	0.95	0.92	0.86	0.83	0.65
$\{x_1\}$	2	1	0	0	0
$\{x_2\}$	33	3	0	0	0
$\{x_3\}$	65	84	0	0	0
$\{x_4\}$	0	2	0	0	0
$\{x_1, x_2\}$	0	0	8	7	0
$\{x_2, x_3\}$	0	0	85	4	0
$\{x_3, x_4\}$	0	0	7	0	0
$\{x_1, x_2, x_3\}$	0	0	0	89	0
$\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$	0	0	0	0	100

表 8: 特徴検出細胞の形成数 (相互抑制 0.0025)

λ	0.95	0.92	0.86	0.83	0.65
$\{x_1\}$	7	6	0	0	0
$\{x_2\}$	45	24	0	0	0
$\{x_3\}$	39	57	2	0	0
$\{x_4\}$	9	6	1	1	0
$\{x_1, x_2\}$	0	6	19	18	0
$\{x_2, x_3\}$	0	0	57	24	0
$\{x_3, x_4\}$	0	0	20	19	0
$\{x_1, x_2, x_3\}$	0	0	0	36	0
$\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$	0	0	0	0	97

高い入力パターン x_4 に対しては多く、出現確率が低い入力パターン x_1 に対しては少なく特徴検出細胞が形成されている。従って、特徴検出細胞の形成は形成条件の重複、入力パターンの出現確率やノルムから影響を受けることが分かる。

5. 結論

本論文では、まず特徴検出細胞の自己形成モデルに基づいた自己形成理論を提案した。次に、この理論を基に、同一環境下で、各パターン集合に対する特徴検出細胞の形成条件を求め、それらの形成条件が重複することを示した。それらの形成条件の重複が特徴検出細胞の形成に影響を与えることを示した。その結果として、ある特定のパターン集合に対してのみ特徴検出細胞を形成させるためには、形成条件を適切に選ぶ必要があることを指摘した。更に、計算機実験を通してこの点を明らかにした。また、入力パターンのノルムや出現確率が特徴検出細胞の形成に影響を与えることを明らかにした。今後の課題、特徴検出細胞をパターン認識、連想記憶等に応用することが残されている。

参考文献

- [1] N.Ikeda & T.Torioka. "A Model of Associative Memory Based on Adaptive Feature-Detecting Cells", IEEE, Vol.20, No.2, 1990.
- [2] N.Ikeda & T.Torioka. "Formation of Segregated Regions of Feature Detecting Cells in Self-Organizing Nerve Field", Biological Cybernetics, Vol.62, pp.29-37, 1989.
- [3] S.Amari & A.Takeuchi. "Mathematical Theory on Formation of Category Detecting Nerve Cells", Biological Cybernetics, Vol.29, pp.127-136, 1978.
- [4] 池田, 鳥岡 "特徴検出細胞に基礎をおく連想記憶モデル", 信学論 (A), Vol.J67-A, pp.519-526, 1984-5.
- [5] 池田, 鳥岡 "ニューラルネットにおける回転パターン表現について", 信学論, Vol.J73-D- II, No.1, pp.100-108, 1990.
- [6] 池田, 鳥岡 "神経場における認識細胞群の自己形成について", 信学論, Vol.J71-D, No.3, pp.587-595, 1988.
- [7] 小林, 鳥岡, 原 "認識細胞の自己形成に与える出力関数の影響", 信学技報, NC92-40, pp.111-117, 1992
- [8] 大日南, 小林, 原, 鳥岡 "特徴検出細胞の形成に関する考察", 中国大会 講演論文集, pp.341, 1992
- [9] 甘利 "神経回路網の数理", 産業図書, 1991.