

# 連想記憶モデルを用いた学習法とその効果の一考察

西 正明

降矢 順治

A Study of a Learning Method and it's Effect  
using a Model of Associative Memory

Masaaki Nishi

Jyunji Furuya

キーワード：連想記憶、CAI、学習

## 1. 緒 言

計算機の発達、普及には目ざましいものがあり、教育の場からはCAI、特に知的CAIの実用化が大いに期待されるようになってきている。本論文ではCAIを用いて学習を効率的に行なうための基礎的研究として、学習時の挙動を連想記憶モデルを用いて検討した結果を述べる。連想記憶モデルとしては一種の脳のモデルであるアソシアトロンを取り上げその特性を評価した。学習の対象として0から9までの数字を用いて幼児(3才)とアソシアトロンを比較検討した。

## 2. 連想記憶モデルと学習法

連想記憶モデルの概要を述べてから、この連想記憶モデルの記憶特性の評価結果を述べる。次に、この連想記憶モデルから得られた学習に関する知見を述べる。

### 2.1 連想記憶モデルの概要

連想記憶モデルは幾つか考案されているが、その中で動作の仕組みが比較的単純なアソシアトロン<sup>(1)</sup>を選んだ。

アソシアトロンでは記憶事項をベクトル $x = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N)^T$ で表す。ここで、 $(\cdot)^T$ は $(\cdot)$ の転置ベクトルであることを示し、 $x_i$ は $-1, 0, +1$ の3値をとるものとする。本論文では、図1に示すように、 $n \times n$ の格子上にパターンを描き、これをベクトル表示したものを $x$  ( $N = n^2$ )とした。記憶事項を記憶するには以下の相関行列 $M$ を求める。

$$M = x^{(1)} x^{(1)T} + x^{(2)} x^{(2)T} + \dots + x^{(k)} x^{(k)T} \quad (2.1)$$

ここで、 $k$ は記憶事項の数である。相関行列 $M$ は $N \times N$ の行列となり、アソシアトロンではこの相関行列 $M$ だけを保持する。図1の格子上に描いたなんらかの事項 $y$ から記憶事項を想起するには次の演算を行う。

$$z = \phi_i (My) \quad (2.2)$$

ここで、 $\phi_i(u)$ は量子化関数で、しきい値 $t$ に対して $u > t$ なら $+1$ 、 $-t \leq u \leq t$ なら $0$ 、

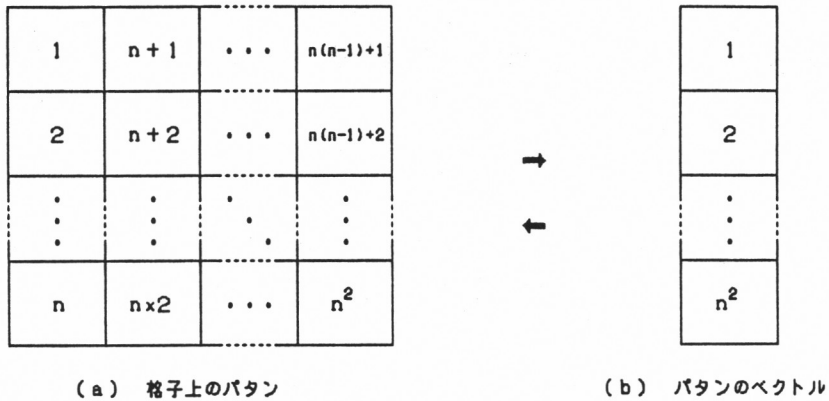


図1 格子上のパタンとベクトル

$u < -t$ なら  $-1$  を与える。 $z$  は  $N$  次元のベクトルとなり、その要素は  $+1, 0, -1$  の3値であり、図1に示した格子上のパタンに置き換えれば  $y$  の想起結果がパタンとして表示される。

## 2.2 連想記憶モデルの評価

実験に用いたアソシアトロンでは、上式 (2.2) におけるしきい値  $t$  を0に設定した。これは、 $t$  を0以外の値にすると想起結果に0の含まれる確率が高くなり、正しい想起とは記銘事項に対する想起結果がその記銘事項と全ての要素で一致する事であると定義した場合、正しい想起が行われるまでに必要な学習事項の記銘回数が増えたためである。アソシアトロンではさらに連鎖的に想起させるために不応期を設定したり、トータルアクティビティを制限することが考えられているが、本論文ではこれらの機能は含めないことにした。また、実験では図2に示すような  $7 \times 7$  の格子上のパタンを用いた。要素の値は  $+1$  と  $-1$  である。図2でパタン番号0~9の10個は学習パタンであり、パタン番号10~24は学習が完了した後の実験用の変形パタンである。アソシアトロンでは式 (2.1) に示した相関行列だけを保持するので学習事項が互いに直交してないと相互に影響し合う。そこで、図2に示した各パタンについてどの程度直交しているのかを調べた。直交の度合いの指標としては、ユークリッドのノルムまたはハミング距離をよく用いるが、ここでは次の内積値  $P$  を用いた。

$$P = x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_N y_N \quad (2.3)$$

図2の場合  $N = n^2 = 49$  なので内積値は  $-49 \sim 49$  の値をとる。同じパタン間では49、反転パタン間なら  $-49$ 、相関の少ないパタン間では0に近い値になる。表1に各パタン間の相関を示す。表1で○で囲んであるのは各実験パタンの中で内積値が最も大きい箇所を示す。この○印の位置にある学習パタンは、図2の各パタンについて我々が思い浮かべる数字と良く一致している。但し、表1でパタン番号21のように内積値の最大が2箇所等しくなる場合もある。この場合アソシアトロンでは後述するように入力パタンが判別できないという問題が生じる。

次にアソシアトロンを用いて記銘、想起させた結果について述べる。アソシアトロンはベクトル長が十分大きく記銘パタンがランダムならば、通常ベクトル長の15%程度の種類の事項を記銘で

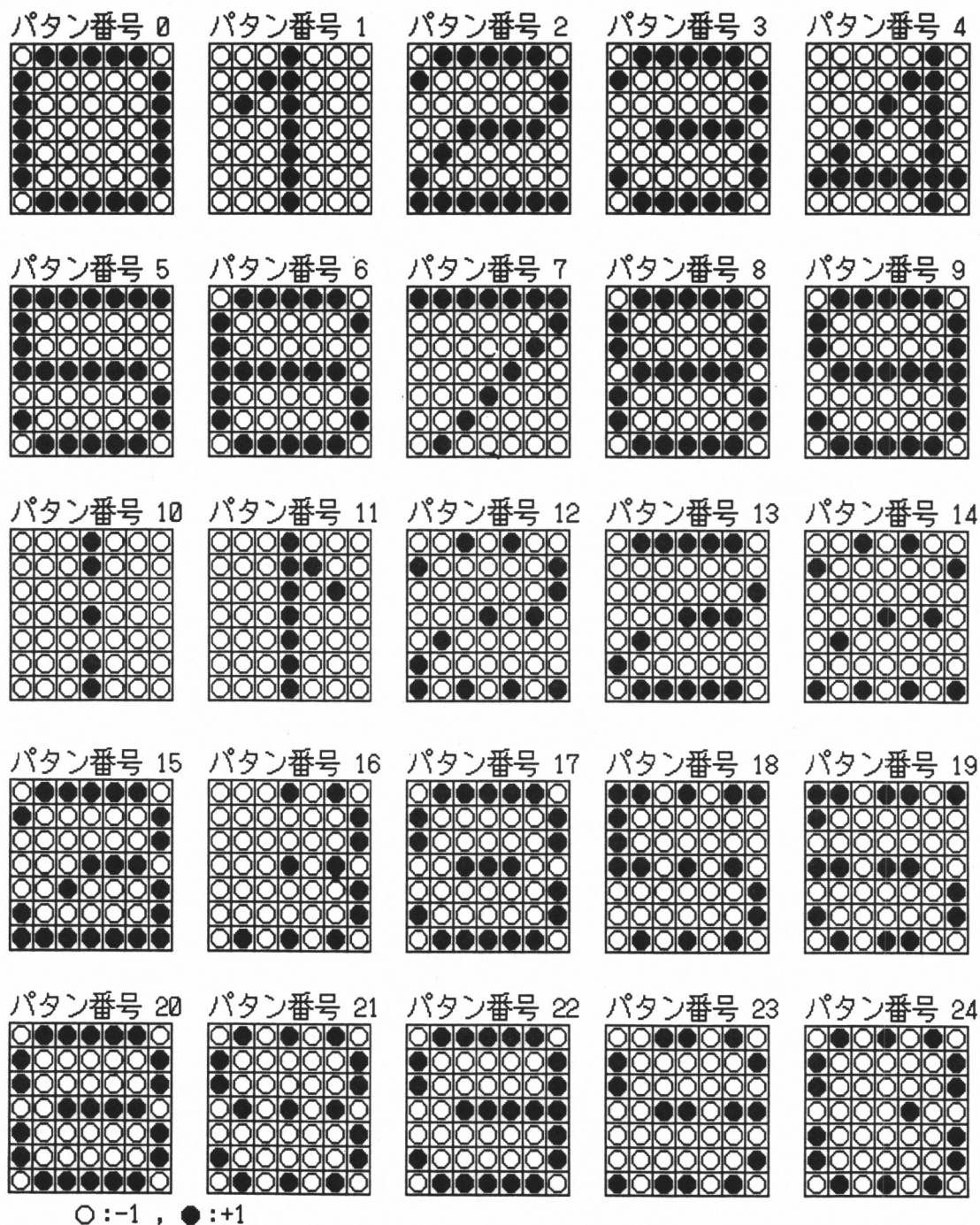


図2 パタン番号とパタン

きると言われているが<sup>(2), (3)</sup>、今回用いた記銘パターンは十分ランダムなパターンではないため0~9の10個を同時に記憶することはできなかった。そこで、記銘に用いたパターンを最大内積値毎に幾つかのグループに分けて実験した。表2にその結果を示す。表2からアソシアトロンは入力パターンを記銘パターのいずれかに分類する能力を持つことがわかる。このとき、入力パターンに最も近い記銘パターンを想起することが期待され、アソシアトロンはまさにそのように動作する。但し、記銘パターン1、2に対して入力パターン7の場合は、表1からわかるように入力パターンと記銘パターの内積値が同じ値になり、想起結果はどれとも判断できないパターンになる。このような事は記銘パターンを増やしていくにつれて増加していく。例えば、表2で内積値25の場合について示せば、記銘パターンが2と5の2個では判別できなかった入力パターン（表2の中で\*で示した箇所）が8個、記銘パターン3個では9個、4個では14個、5個では17個と増えている。これは記銘パターンを増やすにつれて各記銘パターン間の距離が小さくなり、同一視できるパターの範囲が狭くなったためである。

一方、表2には幼児が各入力パターンをどう判断したかをも示す。アソシアトロンは10個のパターンの同時に記憶することはできなかったが、幼児は繰り返し学習すれば全てを記憶するようになった。変形パターン10~24についてほとんど迷うことなく即座に何であるかを答えた。この回答結果は、表1、表2からわかるように一部を除いてほとんど内積値が最大のものと一致している。入力パターン15で期待回答3に対して2、入力パターン17で期待回答3に対して9、入力パターン20で期待回答8に対して3、入力パターン22、23では期待回答9に対して3と答えている。これらは内積値が2番目に大きいパターンに相当しており誤った判断と言いきれるものではない。また、入力パターン21については学習パターン8なのか9なのか少なくともアソシアトロンでは判断することはできなかったが、幼児は一瞬ためらったもののはっきり8と答えた。

表1 パターンの間の相関（内積値）

実験 学習 パターン	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	(49)	-1	23	33	-9	27	35	11	35	35	7	-1	15	25	11	29	23	37	21	21	37	29	37	23	(35)
1	-1	(49)	1	3	5	-3	-3	13	-3	-3	(41)	(41)	9	11	13	-1	21	3	11	11	-1	11	-1	13	9
2	23	1	(49)	39	-3	25	29	13	33	33	9	1	(33)	(39)	(29)	39	21	35	11	15	35	23	35	25	21
3	33	3	39	(49)	-1	35	39	15	43	43	11	3	23	37	19	(41)	(31)	(45)	21	25	45	33	45	27	31
4	-9	5	-3	-1	(49)	-7	-7	1	-7	-7	9	13	1	3	1	-9	9	-5	-1	-9	-5	3	-5	5	1
5	27	-3	25	35	-7	(49)	41	13	37	37	5	-3	9	27	9	27	17	35	(35)	(35)	35	27	35	21	21
6	35	-3	29	39	-7	41	(49)	9	45	41	5	-3	13	27	13	31	21	39	27	27	43	31	39	25	29
7	11	13	13	15	1	13	9	(49)	9	9	17	17	9	19	13	11	17	15	15	19	11	11	11	9	17
8	35	-3	33	43	-7	37	45	9	(49)	45	5	-3	17	31	13	35	25	43	23	23	(47)	(35)	43	25	33
9	35	-3	33	43	-7	37	41	9	45	(49)	5	-3	17	31	13	35	25	43	23	23	43	(35)	(47)	(29)	29

(注) ○は各実験パターンにおける内積値の最大値を示す。

表2 入力パターンと想起結果

内 値	入力 記録 パター ン	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		1	1,2	2	1	2	2	1	2	2	*	2	2	1	1	2	2	2	2	*	2	*	2	2	2	2
5	1,4	*	1	*	1	4	*	*	1	*	*	1	1	1	1	1	*	1	*	1	1	*	1	*	1	1
	1,2,4	2	1	2	2	4	2	2	*	2	2	1	1	2	2	2	2	*	2	*	*	2	2	2	2	2
11	0,7	0	7	0	0	*	0	0	7	0	0	7	7	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4,7,0	0	7	0	0	4	0	0	7	0	0	7	7	0	0	7	0	*	0	0	*	0	0	0	0	0
15	3,7	3	7	3	3	*	3	3	7	3	3	7	7	3	3	3	7	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	1,3,7	3	1	3	3	1	3	3	7	3	3	1	1	3	3	*	3	*	3	*	*	3	3	3	3	3
	1,3,4,7	3	1	3	3	4	3	3	7	3	3	1	1	3	3	*	3	*	3	*	*	3	3	3	*	3
25	2,5	5	*	2	2	*	5	5	*	5	5	2	*	2	2	2	2	2	*	5	5	*	5	*	2	*
	1,2,5	5	1	2	2	*	5	5	*	5	5	1	1	2	2	2	2	*	*	5	5	*	*	*	*	*
	1,2,4,5	*	1	2	*	4	5	5	*	*	*	1	1	2	*	2	2	*	*	5	*	*	*	*	*	*
	1,2,4,5,7	*	1	2	*	4	5	*	7	*	*	1	1	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
27	0,5	0	*	5	5	*	5	5	5	5	5	0	*	0	5	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0
	0,1,5	0	1	5	*	*	5	5	*	*	*	1	1	*	*	*	0	*	*	5	5	0	*	0	*	0
	0,1,5,7	0	1	*	*	*	5	*	7	7	*	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	R0,1,4,5,7	0	1	*	*	4	5	*	7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
29	2,6	6	*	2	*	*	6	6	2	6	6	2	*	2	2	2	2	*	6	6	6	6	6	6	*	6
	1,2,6	6	1	2	*	*	6	6	*	6	6	1	1	2	2	2	2	*	6	6	6	6	*	6	*	*
	1,2,4,6	6	1	2	*	4	6	6	*	6	*	1	1	2	*	2	*	*	6	*	6	*	*	*	*	*
	1,2,4,6,7	*	1	2	*	4	*	6	7	*	*	1	1	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
35	3,5	3	*	3	3	*	5	5	3	3	3	3	*	3	3	3	3	3	3	5	5	3	3	3	3	3
	1,3,5	3	1	3	3	*	5	*	*	3	3	1	1	3	*	*	3	*	3	5	*	3	*	3	*	3
	R 1,3,5,7	*	1	3	3	*	5	*	7	*	*	1	1	*	*	*	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	R1,3,4,5,7	*	1	3	3	4	5	*	7	*	*	*	*	3	*	*	3	*	*	5	*	3	*	3	*	*
39	2,3	3	0	2	3	*	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	1,2,3	3	1	2	3	1	3	3	*	3	3	1	1	2	*	*	3	*	3	*	*	3	*	3	*	3
	1,2,3,4	*	1	2	3	4	*	*	*	*	*	1	1	*	*	*	*	*	3	*	*	3	*	3	*	*
	R1,2,3,4,5	3	1	2	3	4	5	3	3	3	3	*	1	2	*	2	3	*	3	5	5	3	3	3	3	3
45	6,8	*	*	8	8	*	6	6	*	8	8	*	*	8	8	*	8	8	8	6	6	8	8	8	*	8
	1,6,8	*	1	8	8	*	6	6	*	8	8	1	1	*	*	*	8	*	8	*	*	8	*	8	*	*
	R 1,5,6,8	*	1	8	*	*	5	6	*	8	6	*	1	8	*	*	8	*	*	5	5	8	*	6	*	8
幼 児		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	2	2	2	2	3	9	5	5	3	8	3	3	0

(注1) \*は想起パターンが学習パターン以外であったことを示す。  
(注2) Rは学習パターンを複数回繰り返し記録した場合を示す。

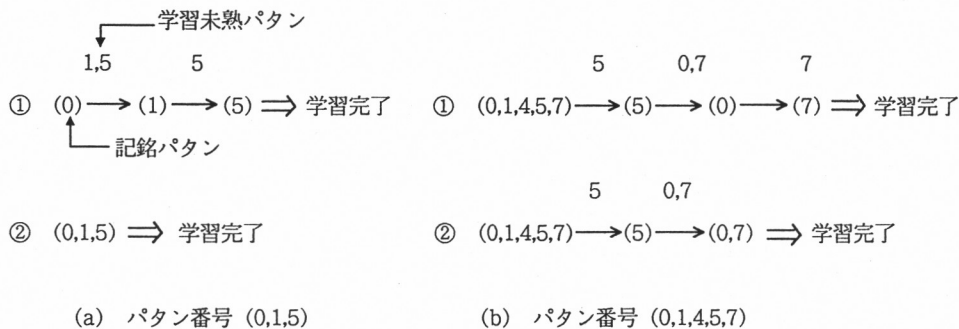


図3 記銘パタンの学習手順

### 2.3 学習法とその効果

図3は学習の一例を示す。(a)はパターン番号0、1、5について、①は一つずつ記銘する場合、②は三個連続記銘する場合であり、両者は記銘回数では結局同じであることがわかる。(b)はパターン番号0、1、4、5、7について、まず全てのパターンを連続記銘し、①は学習未熟パターンをさらに一つずつ記銘する場合、②はできるだけまとめて記銘する場合を示す。①と②では各パタンの記銘回数は等しいが、問題はどのパターンを繰り返し記銘する必要があるかである。そこで記銘パターン間の相関を表1で調べてみると最も相関の強いのが0と5、次に5と7、1と7であることがわかる。即ち、最も相関の強い事項を重点的に学習するのが効率的な学習法であると言える。

## 3. 結 言

脳のモデルの一種であるアソシアトロンを用いて0～9の10個の数字を例にした学習法について評価検討した。その結果、学習事項の相関は内積値を指標にして評価できる事、相関の強い事項を重点的に学習するのが効果的である事、幼児の変形パターンに対する判断はアソシアトロンの判断に比べてより柔軟である事が確認された。なお、本研究はさらに本質的かつ実践的に進めていかなければならないと考える。

## 参 考 文 献

- (1) 中野馨：“アソシアトロン”，昭晃堂（昭54）。
- (2) 甘利俊一：“神経回路網の数理”，産業図書（昭53）。
- (3) 特集“ニューロコンピュータのインパクトと戦略”，エレクトロニクス 昭和63年8月号。