

思考過程のシミュレーション

—討論学習他2,3の例について—

中 所 武 司

斉 藤 正 男

(東京大学・工学部)

1970年12月22日

社団法人 電子通信学会

思考過程のシミュレーション

- 討論学習他2, 3の例について

Simulation of Thinking Process
— in case of Learning by Discussion, etc.

中所武司・齊藤正男

Takeshi Chusho & Masaο Saito

東京大学工学部

Faculty of Engineering, the Univ. of Tokyo

§ 1. はじめに

思考に関する問題は古くから研究されているが、未だ暗中模索の状態である。心理学では、連合主義の立場から、記憶や学習における連想の問題を扱ったものは多いが、思考の本質に迫る研究は少なく、哲学・精神医学の分野でも同様である。その理由の一つは、「考えることを考える」という一人二役的困難さの為に、一方の役を熟演しすぎると、他方が疎かになるからであろう。一方、工学的分野では、人間の思考の中でも論理性の強い、ゲームを行うシステム等の研究がなされている。

本論文では、思考言語に注目し、それを意識の面からとらえ、大脳におけるエネルギー分布の集中化作用とし、他方、集中したエネルギーの拡散化作用を連想機能として、これら両作用の交互反復過程を思考過程と考えた。そして、その観点から、思考のモデルを作成し、討論学習、思考の発達段階及びパターン類別の決定機構にも似たデルファイ法の計算機シミュレーションを行なった。

§ 2. 拡散と集中による思考のモデル

思考の基盤には、意識と連想があり、前者を集中関数 g 、後者を拡散

関数 f で表現して、図1のような系を考えた。系は n 個の言語表現可能な概念を持ち、入力、状態、出力は n 次元ベクトル I, Q, O とし、 q_i は概念 i の想起度で、 $\sum q_i = 1$ とする。 i_j, O_k は0か1で、1のときはその概念の言語表現を意味する。拡散関数には線形を用い、

$$S = f(Q, I) = (M + N(\alpha)) \cdot (Q + \beta \cdot I).$$

n 次正方行列 M は、過去の経験学習で決まり、概念間の連想度を表わし n 次正方行列 $N(\alpha)$ は、その元がすべて α とし、 α の符号及び値により連想の性質を表わす。 β は入力への注意度を示す。 $g: Q = g(S)$ は、 S の各元のうち、相対的に大きな値をより大きく、小さい値をより小さくするもので、 g の選択が覚醒度を表わす。 $h: O = h(Q)$ は言語化関数で、 $q_i > T$ の時、 $O_i = 1$ 、他は $O_j = 0$ とし、 f, g サイクルの中で十分に概念化されたものだけが出力になる。更に、 $O_i = 1$ なら $q_i = 1$ とする。これは、思考言語は明確には言語化されないが、音声言語化されるときは明確だからである。

§ 3. 討論学習のシミュレーション

このモデルを用いて、図2のように討論させることができる。討論時の学習は、次の三種を考え、学習効果は、 M の元の変化による。

L1型：時刻 t に O_k 、 $t+1$ に O_j が1ならば、 $m_{jk} \rightarrow m_{jk} + \delta_1$ 。

L2型：時刻 t に O_k 、 $t+1$ に i_j が1ならば、 $m_{jk} \rightarrow m_{jk} + \delta_2$ 。

L3型：時刻 t に i_k 、 $t+1$ に i_j が1ならば、 $m_{jk} \rightarrow m_{jk} + \delta_3$ 。

まず、自己主張意欲の強い論争のような場合を考え、自分が発言して相手が答えないときはL1型、相手が発言して、自分が答えなかった時

はL3型の学習を行うことにした。討論の評価関数としては、2個のモデルを1, 2として、次のようなものを用いた。

$$L_{12} = \sqrt{\sum \sum (m_{ij}^1 - m_{ij}^2)^2}$$

$$\text{学習エントロピー} - E_s = \sum_{i \neq j} m_{ij} \log_2 m_{ij}^{-1}; S = 1, 2$$

及び、 n 個の問題 $\{ \Pi \} = \{ i_j = 1, \text{他は} 0; j = 1, \dots, n \}$ を入力として、応答出力をみるテストを行い、その結果に基く評価として、

$$\begin{aligned} \text{説得度 } X_s = & (\text{自分の, 初期応答から変化していない答の数}) \\ & + (\text{自分の初期応答に転じた, 相手の答の数}); S = 1, 2 \end{aligned}$$

$$\text{共通応答数 } Y = \text{両者の同じ答の数}$$

$$\text{平均応答速度 } z_s = \text{応答までの } f/g \text{ サイクル数の平均}$$

従って、 L_{12} 、 Y は討論の有効性、 E_s 、 z_s は学習効果、 X_s は説得力を表わす。モデルは、 $n = 10$ 、 $\beta = 1$ 、 $\delta = 0.02$ 、 g は二乗正規化関数 $\alpha = 0$ 、 $T = 0.5$ を用い、討論は先の問題入力10問について、10サイクルずつ行わせれたものを1回分とした。図3では、 E と Y は1/10に縮小している。(a)は両者の価値観の相反の場合で、 Y が0から6になり、討論は有効で、 $X_1 = 12$ 、 $X_2 = 3$ という結果は、モデル1が2を、説得した形になっているが、これは、 E が1の方が小さく、それだけ、自分の考えが整理されている為である。(b)の方は、 L_{12} の初期値が非常に少なく、両者が類似した価値観を持つ場合で、 E_1 、 E_2 共に大きい為、テストで無応答が目立ち、 $z_1 = 6.6$ 、 $z_2 = 6.4$ であった。しかし、10回の討論後には、 $z_1 = 1.9$ 、 $z_2 = 2.2$ で、 $Y = 8$ となり、非常に討論は有効であった。なお、 $X_1 = 4$ 、 $X_2 = 6$ で、(a)のよ

うな一方的な説得はなかった。

次に、少年時代のように、学習意欲の大なる場合を考え、自分の発言に対する相手の応答を学習するL2型を用い、特にここでは、種々のパラメータ変化による性格面の表現を試みる為、討論相手は学習しないことにした（例えば、少年と大人の場合）。結果を図4及び表1に示す。(a)は、各変数が前述と同じモデルを用い、これを正常の場合と考え、(b)以下では、この変数を1つだけ変化した。即ち、(b)では $\beta = 3$ 、(c)では $\alpha = -0.2$ 、(d)では、 g として1.5乗、(e)では $T = 0.7$ 、(f)では $\delta = 0.01$ 、(g)では $\beta = 1/3$ 、(h)では g として2.5乗、(i)では $T = 0.6$ 。グラフ $\sim \theta$ を示し、表1は各場合の1回目と10回目のテストの結果である。なお、討論相手は、常に正常モデルで、 $L = 24.66$ 、 $z = 1.9$ 、テストの答は、問1から順に[25tt709365]。但し、 $t = 10$ で、0は無応答。

(a)と他を比べると、(b)では入力の影響が大きいので、初めのうち、考えの整理ができず、 L は減少しない。(c)は、 α に負の値を用いたので、 M の、小さな値の元は0になるので、連想の可能性が減少し、思考が単純になる為、学習効果は大きい。最初から、平均応答速度 z が1で、条件反射的思考である。(d)は、集中関数を弱くしたので、十分な概念想起が困難になり、学習効果は悪い。従って、討論後も、 $z = 3.1$ で遅い。(e)は、言語化をむつかしくしたため、自らの発言が少なくなり、L2型学習はあまり行わない。(b)、(c)で、 L_{12} が、一度、減少した後、再び増加しているのは、討論相手の価値観から遠ざかっている為ではなく、 L の急速な減少と対応していることから、わかるように、討論が、相手か

らの学習期間を過ぎ、自分自身の再構成期間に移ったことによると思われる。

§ 4 思考の発達段階のシミュレーション

人間は誕生以来、周囲の人々との種々の型の対話の中で、学習しながら成長していくのであるが、その様子を、特に以下のように、各時代の特徴的対話形式に代表させて、シミュレートした。

幼年期；具体的概念を個々に形成しつつ、相互の関係を学習していくが、それはニューロン学習に近いL1型で、〔親〕との対話

少年期Ⅰ；学校で教えることを無批判に学ぶL3型で〔先生〕の講義

少年期Ⅱ；放課後等に、興味あることを周囲の人達に積極的に話しかけて学ぶ。L2型で、〔大人〕との対話。

青年期；自己主張意欲が強い。L1, 3型で、〔友人〕との論争。

青年期以後；独り内省により考えを整理する。L1型でランダム入力各時期の対話の相手は、図5のような価値観を想定し、各概念間の連想度が、その距離の2乗に反比例する理想的な M^0 を乱数で乱したものを用いた。即ち、 λ を1以下の一様乱数、 c を正規化定数とすると、〔大人〕、〔友人〕では、 $m_{ij} = m_{ij}^0 \cdot \lambda \cdot c$ 、〔親〕、〔先生〕はあまり乱さず、 $m_{ij} = m_{ij}^0 (1 + \lambda) \cdot c$ 。結果の一例が図6であるが、このグラフで、

$$\text{学習度 } L = \sqrt{\sum_{i \neq j} m_{ij}^2}$$

なる評価関数は、学習エントロピー $-L$ が、出力の可能性（思考の柔軟性）の度合を示すのに対し、学習の蓄積度（思考の固定性）を示す。例えば、

決定オートマトンのように1対1対応の場合は $D=0$, $D=\sqrt{\pi}$ 。但し n は状態の数。図6では、幼年期の初期行列は単位行列を用いたが、3, 5, 8の各行、各列はすべて0とした。結果を見ると、少年期Ⅰでは、先生から一方的に知識を得る為に、 D の増加は大きい、頭の中で整理されないので D の変化は小さい。その逆に少年期Ⅱでは、既に得た知識を基に、自分の考えを発言しながら学習するので、 D の変化は小さいが、 D は大きく増加している。青年期では、討論の相手が同じ価値観を持つ為に、 D , D 共に大きな変化はないが、異った価値観の相手を選んだ場合は、自分の考えの弱い部分が補われ、自信のある所は強化される為、 D は大きく減少し、 D は増加した。最後の期間は、散発的(10回に1回)な乱入力をきっかけにした内省で、自分の考えを整理、強化していくので、 D は次第に減少し、入出力は1対1対応に近づき、 D はある程度増加して飽和する。図6の下表は、各段階で行ったテストのうち、問1, 2, 3の答と応答時間(応答までのfgサイクル回数)である。問1, 2の答は、図5からわかるように、最終的には「3」になるべきだが、少年期Ⅱの討論相手の、問1に対する答が所用時間9で「5」であり、問1に対して殆んど発言しなかった為に、問1の答は、「3」にならなかった。問2の場合は順当である。問3の答は「1, 2, 4」で、順当である。応答時間は、 D の大きな所では、やはり長くなっており、青年期以後、 D の減少した所では応答時間は1が多い。

§ 5. デルファイ法のシミュレーション

デルファイ法は、技術予測の有効な手法の一つであり、従来のように

何人かの識者を集めて、自由に討論させると、個々の参加者の性格等に影響され、時間を経るほど不正確な結果に終るという欠点を除く為に、参加者の意見は、アンケートで提出し、その集計結果を参加者に知らせ再び意見を聞くという方法で結論を導くのである。参加者が2回目以降の解答において、前回の集計結果をどのように反映させていくかがかぎになるのである。本文では、思考モデルを10個使い、図7のように、シミュレートした。問題入力を1、各モデル P の解答出力を O_p 、集計結果を $R = \sum O_p$ とする。k回目の集計結果による各モデルの学習は、次のように、自分の考えと全体の考えの横に比例させて行った。

$$a_{ij}^{k+1} = a_{ij}^k + \delta \cdot q_i^k \cdot r_i \cdot \frac{i_j \cdot a_{ij}^k}{\sum i_i \cdot a_{ii}^k}$$

モデルには、§4で作成した〔大人〕を用いた。入力〔0100010010〕の場合を表に示す。表2は、この入力に対する出力の期待値で表3上は $T = 30$ 、 $\delta = 0.4$ の場合で、結論が徐々に「3」に集まっている。表3下は、 T の変化により、かなり結論が異なることを示し、特に、 T の値をある程度大きくする方が、期待値の最も大きな所に収束する傾向にあり、これは、モデルが十分に概念想起した時だけ、答える場合で、解答者の慎重な態度の重要性を示している。

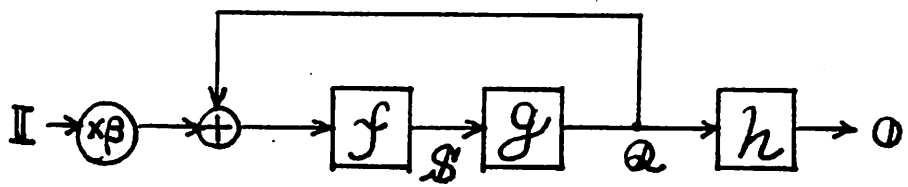
§ 6. おわりに

拡散と集中による思考のモデルを用いて、3つの応用例を示したが、だいたい妥当な結果を得た。この他にも、種々の型、及び程度を有する失語症（特に超皮質性失語）のモデル解析等を試みている。一方、この

モデルの質的向上の為には、ここで考えた、思考の下部構造としての、意識、連想の他に、上部構造としての、判断機能の導入が必要である。一方法としては、思考過程の中で、次々と想起される概念が付帯している、快、不快の度合の蓄積されたものとして考えることができる。

参考文献

- 1) 中所, 齊藤 “簡単な思考モデルによる討論学習効果について”
昭45信学全大, 231
- 2) ヴイゴツキー “思考と言語” 柴田訳, 明治図書, 1962
- 3) アンリ・エー “意識” 大橋訳, みすず, 1969



$$S = f(Q + \beta \cdot I), Q = g(S), O = h(Q)$$

図-1 思考のモデル

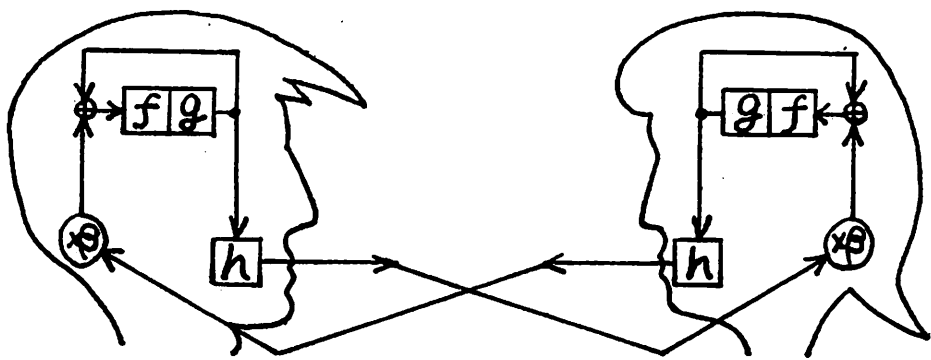


図-2 討論学習

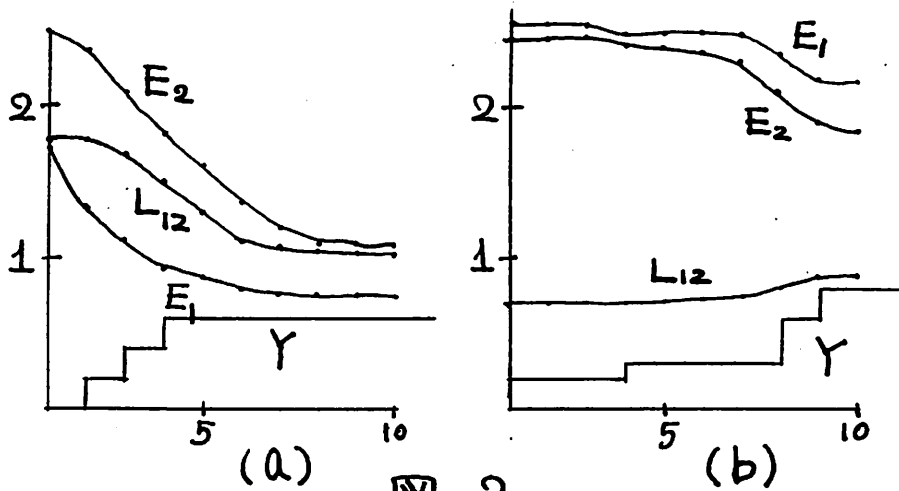
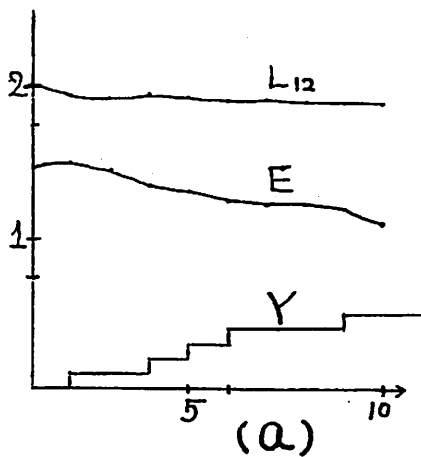


図-3



1回目の答 10回目の答

	$\bar{x}' - \bar{x}^{10}$	123456789t	123456789t
a	3.2-1.5	8t73t1t4t.	8373739365
b	3.2-1.1	8t73t1t4t.	2373719365
c	1.0-1.0	887311t463	25t3799365
d	4.7-3.1	8.73.8t4..	8773789.75
e	4.3-2.7	8t73ttttt.	8573755555
f	3.2-1.4	8t73t1t4t.	837371t475
g	3.2-1.6	8t73t1t4t.	23t3739365
h	1.4-1.0	887311t477	28t3799365
i	3.3-1.6	8t73t8t4t.	8373789665

表-1 $t=10$
印は黒答

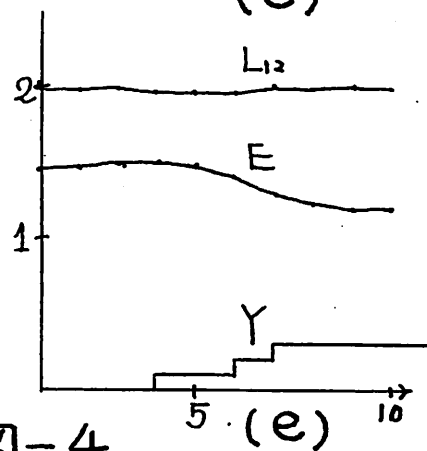
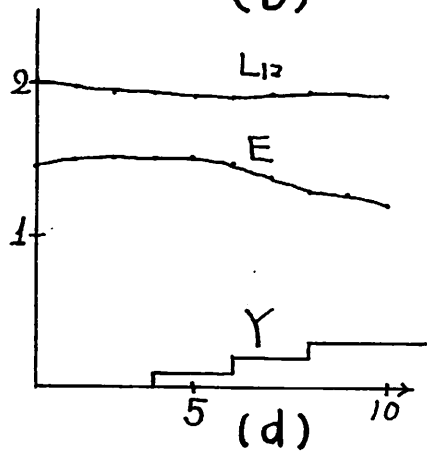
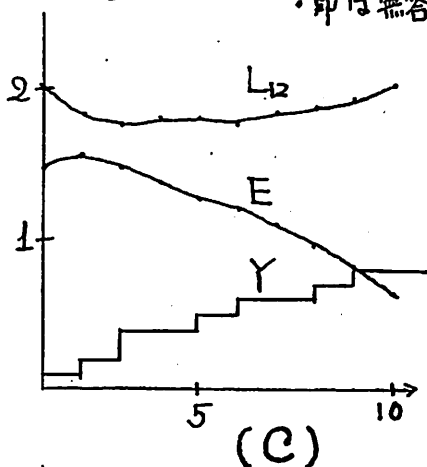
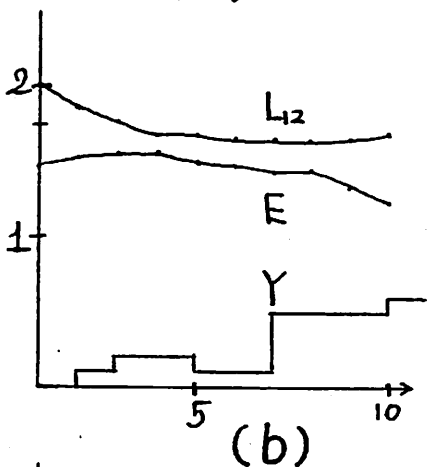


図-4

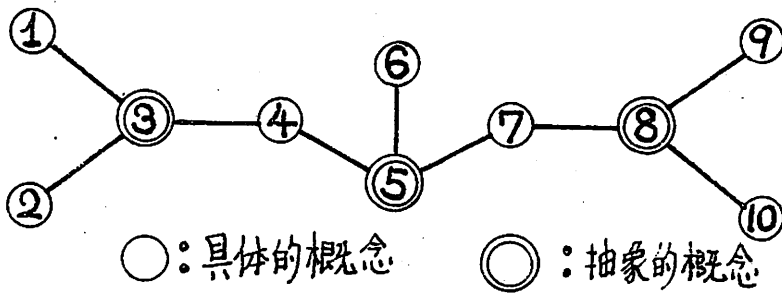
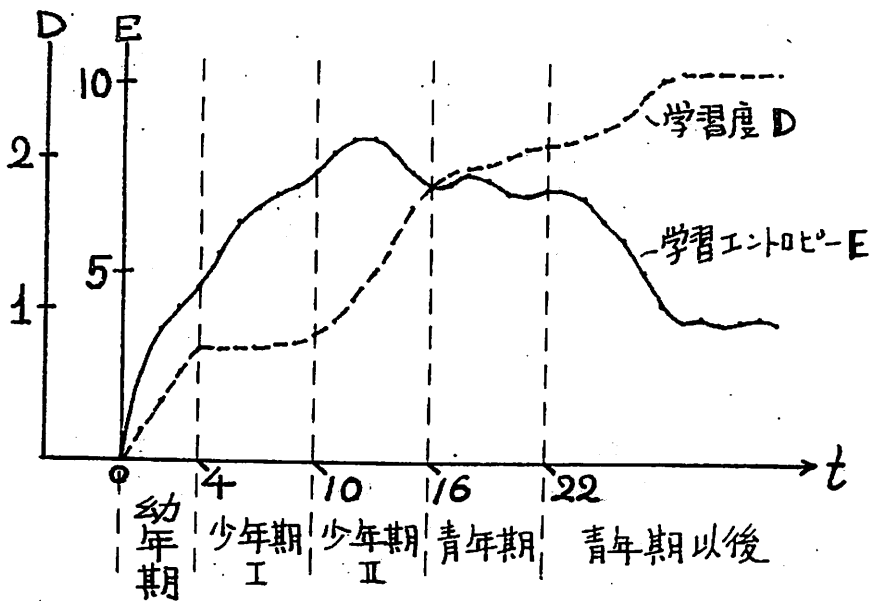


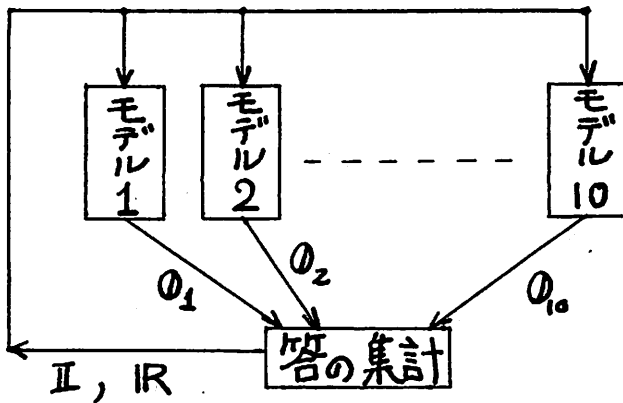
図-5 価値観



問1の答	.24444444444422232334222222222222
応答時間	22222222222233342486222222222222
問2の答	.111.111111.3333333333333333333333
応答時間	222 222222 741111111111111111111111
問3の答	.....444444411111111112211111111
応答時間	22222222222211111112211111111111

・印は無応答

図-6 思考の発達段階



1	0.060
2	0.040
3	0.167
4	0.111
5	0.197
6	0.049
7	0.111
8	0.167
9	0.040
10	0.060

図-7 デルファイ法

表-2 期待値

回数	各モデルの答										集計結果									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5	7	5	3	4	7	8	3	5	3	.	.	3	1	3	.	2	1	.	.
3	5	7	5	3	4	7	3	3	5	3	.	.	4	1	3	.	2	.	.	.
5	5	7	5	3	4	7	3	3	5	3	.	.	4	1	3	.	2	.	.	.
7	5	7	5	3	3	7	3	3	5	3	.	.	5	.	3	.	2	.	.	.
9	5	7	5	3	3	7	3	3	5	3	.	.	5	.	3	.	2	.	.	.
11	5	.	5	3	3	7	3	3	3	3	.	.	6	.	2	.	1	.	.	.
13	5	3	5	3	3	3	3	3	3	3	.	.	8	.	2	.	.	.	.	.
15	5	3	5	3	3	3	3	3	3	3	.	.	8	.	2	.	.	.	.	.

Tの値	10回集計									20回集計									20回集計											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
0.30	.	.	3	1	3	.	2	1	.	.	.	6	.	2	.	2	.	.	.	.	.	.	8	.	2	.	.	.	.
0.35	.	.	2	1	2	.	2	1	.	.	.	5	.	2	.	2	.	.	.	.	.	.	8	.	2	.	.	.	.
0.40	.	.	1	1	2	.	1	1	.	.	.	3	.	1	.	4	.	1	.	.	.	.	3	.	1	.	.	.	.
0.45	.	.	1	.	1	.	1	1	1	.	2	.	7	2
0.50	1	6

表-3 入力 [0100010010], $\delta=0.4$ の場合で, 上表は $T=0.30$ の結果, 下表は T の値を変化したときの様子