JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	自己組織化マップを用いた幼児の単語獲得モデルの構築
Author(s)	鈴木，昭吾
Citation	
Issue Date	2000-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/622
Rights	
Description	Supervisor:櫻井 彰人，知識科学研究科，修士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

修 士 論 文

自己組織化マップを用いた幼児の単語獲得モデルの構築

指導教官　櫻井 彰人 教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科 知識システム基礎学専攻

850046　鈴木 昭吾

審査委員：　櫻井 彰人 教授　（主査）
林 幸男　助教授
橋本 敬　助教授

2000年2月

Copyright © 2000 by Shogo Suzuki

目 次

1 はじめに **1**

2 幼児の言語獲得 **4**

2.1 親と乳幼児のコミュニケーション 4

2.1.1 共同注意 4

2.2 乳幼児の認識能力 5

2.3 バイアス(制約) 8

2.3.1 用語について 9

2.3.2 事物全体バイアス 9

2.3.3 事物カテゴリバイアス 10

2.3.4 相互排他性バイアス 11

2.3.5 コントラストバイアス 12

2.3.6 形状類似バイアス 12

2.3.7 過拡張と般化使用 14

2.4 まとめ 15

3 ニューラルネットワークモデル **16**

3.1 ニューラルネットワークモデル 16

3.1.1 ニューラルネットワークモデルとは 16

3.1.2 ニューラルネットワークモデルの歴史 16

3.1.3 ニューロンの構造 17

3.2 ニューロンの情報処理 17

3.2.1 ネットワークモデル 18

3.2.2 ニューラルネットワークの学習 19

3.3 自己組織化マップ(SOM) 21

3.4 学習ベクトル量子化(LVQ) 22
3.5 まとめ 24

4 単語獲得モデル **25**
4.1 幼児がことばを覚えるまでの過程 25
4.2 単語獲得の特徴 25
4.3 モデル 26
4.4 計算機シミュレーションの方法 26

5 計算機シミュレーション **27**
5.1 シミュレーション環境 27
5.2 共通実験条件 27
5.3 実験1:属性を完全に与えた時 28
5.3.1 方法 28
5.3.2 結果 28
5.3.3 考察 28
5.4 実験2:属性に「ことば」を完全に付与した時 28
5.4.1 方法 28
5.4.2 結果 29
5.4.3 考察 29
5.5 実験3:属性に一部の「ことば」を与えた時 29
5.5.1 方法 29
5.5.2 結果 29
5.5.3 考察 29
5.6 まとめ 29

6 まとめ **43**

第 1 章

はじめに

人間の扱う言語（自然言語）は、非常に興味深いものである。それは有限のシンボル（単語）より無限の意味を表現できるからであるからと考えられる。

言語獲得に関する研究は、古くは19 世紀の末より行われており、100 年以上の研究が行なわれて現在の研究につながっている。近年の言語獲得に関する研究は非常に細分化されてきている。井狩 [13] によれば、言語獲得の研究は次の 8 つに分類できる。

- 言語を構成する音声・単語・文・談話に関する言語学的研究
- 意味・概念の発達に関する発達心理学的研究
- 言語の発達と脳の発達に関する神経言語、あるいは、神経心理学的研究
- 言語獲得と言語障害に関する心理言語学的研究
- 劣悪環境に置かれ言語獲得が困難な人々に関する研究
- 手話の獲得に関する研究
- 幼児の言語獲得とコンピュータによる言語学習に関する研究
- ヒトの言語獲得と猿人類の言語学習可能性に関する研究

上のことからわかるように、言語学だけでなく、心理学、発達学、脳科学、コンピュータ科学など学際的に研究が行なわれている。

本研究では乳幼児の言語獲得、特に単語の獲得について記した。

幼児の言語獲得に関する研究は1980 年代後半より特に活発に研究が行なわれている。乳幼児の語彙獲得には、他の言語獲得の研究には見られない興味深い点がいくつかある。

それは、幼児は成人の外国語や脳に障害が起きた際の言語学習とは全く学習アルゴリズムが異なる点、経験や言語・ことばに関する知識がほとんどないにも関わらず非常に高速にことばを習得していく点、などである。

ある事物の名称を考えるとき、ある事物の一部分や属性（色や材質、質感など）といった非常に多くの可能性が考えられる。

哲学者 Quine は、指示対象を確定する際の難しさを次のように説明している。

ある言語学者が言語調査のために未開の地にいき、そこで現地人のことばを観察し、現地語と言語学者の母国語とを対応付ける辞書を作るとする。そのとき、現地語はまったく知らないので推測で、対応づけを行なわなければならない。たとえば、現地人が走っているうさぎを指して「ガヴァガーイ」と言ったときこの語の意味について非常に多くの推測が可能である。多くの場合「うさぎ」と解釈できる。しかしその他の可能性も否定できないし、可能性は無限にある。「ふわふわした毛をもつ動物」かもしれないし「にんじんを食べているうさぎ」かもしれない。あるいは「切り離すことのできないうさぎの体の一部」という可能性もある。

これを Quine の謎という。「Quine の謎」は、子どもがことばを学習していく過程で未知のことばにどのようにことばの意味を付与していくかを説明する際に考えなければならない。

乳幼児が単語を学習を行なう際、「Quine の謎」という問題に突き当たるにもかかわらず乳幼児は、6 歳までに約 1 万 4 千語、1 日に 8 〜 10 語ときわめて急速に単語を獲得していく。

Markman は、非常に早いことばの獲得に「制約(constraint)」が大きく影響している、と主張した。制約（constraint）とは、子どもが新奇な名称を見たり聞いたときに多くの可能性の中から、ものの名称についての仮説や推論の範囲を限定させるものである。提唱された制約（constraint）のうち代表的なものを列挙すると、Markman らによって提唱された、事物全体バイアス・事物カテゴリバイアス・相互排他的バイアス、Landau らによって提唱された形状類似バイアス、Clark によって提唱されているコントラスト原理などが挙げられる。ことばの獲得しはじめたときは、これらのバイアスを利用してことばを獲得していると考えられる。

発達のある時期、個人差はあるが約 1 歳 6 ヶ月から 2 歳なるまえくらいまでに、急速にことばを覚えるようになる。これを語彙爆発(word explosion) という。この語彙爆発にも、バイアス（制約）が影響している [17]。

乳幼児の経験や生得的な知覚能力・制約などにより別の制約や概念が形成され、これが語彙爆発に影響し、急速なことばの獲得を促進させている可能性がある、とを説明する。

本研究では、ニューラルネットモデル、特に自己組織化マップを用いて、生得的な単語概念の獲得をシミュレーションすることを目標とする。このモデルにある事物の属性とことばを入力すると、概念の自己組織化が起こることを計算機シミュレーションによって示した。

本論文では、第 2 章において乳幼児の言語獲得について述べ、第 3 章においてニューラルネットワークについてまとめた。その後、第 4 章において本研究において考えたモデルを説明し、 第 5 章にてシミュレーションの説明を行なった後、第 6 章にてまとめを行なう。

第 2 章

幼児の言語獲得

乳幼児が言語を獲得するには、

- 親と乳幼児のコミュニケーション [11]
- 身振りや手振りなどの能動的な動作 [12]
- 乳幼児の物理的認識能力 [15]
- 制約・原理・バイアス [16] [17]

などが大きく影響していると考えられる。
以下では、これらの説明を行ない、考察を述べる。

2.1 親と乳幼児のコミュニケーション

こどもを言葉が使われている環境においておくだけではことばを獲得できない。

子どもは、言語の獲得を「人のいる環境」で行なう。つまり、子どもは他者と共同して作り上げた場所でことばを習得していくのである [27]。これは、語彙を習得する際にはコミュニケーションのときに用いられる親の視線や動作・行為などから「共同注意」や「三項関係」を獲得する必要がある、と考えられる。

2.1.1 共同注意

言語獲得を行なう際、重要であると思われる要素の 1 つに共同注意がある。

ことばを使ってコミュニケーションを行なうにあたり必要な基本的な枠組みは話し手と聞き手が共通の話題を持つ事である。

これは、第三の事物に対して、親と子の両者が同時に同じ事物に対して注意を向けることである。これは、この「共同注意」というものが、同じ事物について語ることを可能にする前提であると考えられるからである。ことばは、なにかについて語る行為であるので、対話者間において同一物を指していることが成り立たねばならない。また、乳幼児においては、そのなにかは目の前にあって、子どもが注意を向けたものであるはずである。この共同注意が成り立つことは容易ではないと考えられる。というのも、乳幼児にとって相手がなにに注意を払っているかの認知や、相手の注意を自らが注目したいことに向けさせるには相当に複雑な過程だからである。また、この共同注意は、親の言語的な働きかけが有効であるための前提にもなっていることも重要である。欧米や日本では、母親はこどもの視線や指差しの先のものについて出生後のきわめて初期から発話で言及することが多く、このような共同注意においての発話が多い母親の子どもが、語彙の獲得が早いことも見出されている。

また、最近の研究では、共同注意と共同指示を区別するようになってきている。共同指示というのは、発話が同じ物を指していることの了解のことである。共同注意が成り立っていなくても、共同指示が成り立っている可能性がある。親が偶然に子どもが見ているものについて発話下のでなくても、乳児が親の視線や指差しから何をしめしているか理解すればよい。9ヶ月以降の乳児は大人の指差しや視線が指し示すものを理解できることについては多くの実験結果 [39] がある。これらから、乳児は大人の非言語的な手がかりを利用して、発話がなにを指しているかを理解することができるといえる。

2.2 乳幼児の認識能力

乳幼児は、生得的にあるいは生誕後のきわめて早い時期から、物体の落下運動や永続性などの単純な物理的事象を認識することができる。たとえば、動物と人工物・非生物の区別、感情を持つもの(sentient beings)と持たないもの(non-sentient beings)の区別ができる。実験例の報告では、生後間もない乳児が、人間などの生物と非生物の物体では、物理法則の因果関係が異なることを理解していることが報告されている。

Spelke ら [17] は、生後6ヶ月の乳児に2つの事物の運動の事象を見せた。そのうち、あるシーンではシリンダーなどの人工物の運動を、別のシーンでは動作主が人間の運動をみせた。どちらのシーンも、まず、第一の事物が第二の事物に向かって動いていく。次に、第一の事物の運動が第二の事物にたどり着く前に停止し、2つの事物の間に空間的なギャッ

プがあるにもかかわらず、第二の事物が運動をはじめる。動作主が、人間の場合、乳児はそれを正常な出来事として受け止め、注視時間は、第二の事物との接触によって動いた場合と変わらなかった。しかし、事物がシリンダーとの場合には、2つめのシリンダーが1つめのシリンダーの運動の力によらず、自律的に運動をはじめたことに驚き、そのシーンを正常なシーンより、長時間見つめていたと報告されている。これは、生後6ヶ月の乳児でも、動作主が人間の場合には自律的な運動が可能であり、非生物の場合には、他から加えられる力によってのみ運動が開始されることを直感的に知っていることを示すものといえる。

また、Massy & Gelman らは、もう年長の3，4歳の幼児を使い、写真を使い刺激を与えた。そして、被写体に動きの無い状況を見せ、その事物が動作するのかしないのかを判断させる実験を行なった。子どもたちがいままでみたことのない被写体の事物が動物か非生物かを区別し、その区別に応じて適切な推論を行うことを示した。また、子供たちに哺乳類の動物・哺乳類以外の動物・動物の像・車輪のついた人工物・複雑な形をした車輪のない人工物などの写真を見せ、それらの事物が斜面を自力であがれるか、下れるかを聞いた。子どもたちはそれらの事物をはじめて見たにもかかわらず、写真から得られた知覚的情報の中から推論を行なうために必要な情報を取り出し、大筋で正しい推論を行なった。

もうすこし具体的に言うと、哺乳類でもそれ以外の動物については坂を上がるのも下るのも自力でで き、車輪があるものについては下降運動はできるが上方向には自力では登れない、車輪のない人工物は下方向にも上方向にも自力で運動できない、と子どもは回答した。子どもたちは、動物の像は動物に似ているにもかかわらず、全体的な知覚的類似性に頼ること無く、動物の写真とその像の写真でそれぞれ妥当と思える予測を行なった。このことから、動物と非生物の区別は認知発達の非常に初期の段階から、子どもの推論を制約する重要な役割を果たすことを示している。

乳幼児が、単純な物理法則を知っていることはBaillargeon らの実験 [15] によっても示されている。また彼女らは、乳幼児が永続性の概念を持っていることをいくつかの実験 [15] によって示した。

彼女は、生後3ヶ月から4ヶ月の乳児にスクリーンが180 度回転するシーンを見せて馴化した。その後、乳児に見えるように堅固な物体をスクリーンの後ろにおいた。次に、スクリーンが135 度まで回転して止まるシーンと、180 度まで回転するシーンのどちらかをみせた。スクリーンの後ろに物体が置かれているので、前者はごく自然な現象であるが、後者は起こり得ない不自然な現象である。視覚的な入力情報の新奇性から、135 度で回転が止まってしまう自然な事象は馴化のときに見ていないシーンであり、180 度まで回転す

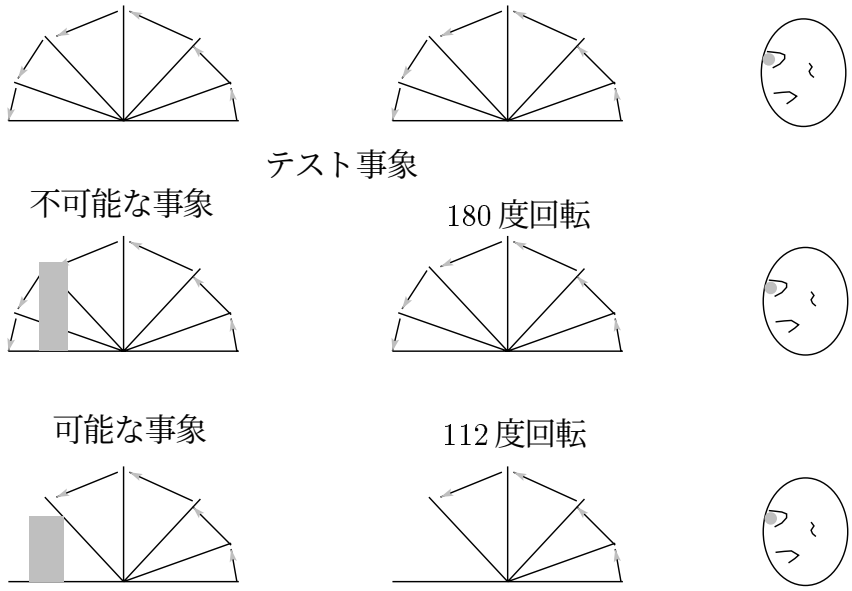

図 2.1: Baillargeon の実験

る不可能な事象は馴化のときに見ているシーンである。もし、乳児が視野のなかには見えなくなった物体のイメージを永続的に保持でき、それに基づいて推論を行なっているなら、そしてさらに2つの物体が同時に同じ場所に存在できないという物理法則を把握しているなら、不自然なシーンを長く注視するはずである。実験結果は、生後3，4ヶ月の乳児は物体がスクリーンの陰で見えなくてもそれが存在しつづけること、したがって、今は自分には見えない物体がスクリーンの回転を止めるはずであることを理解しているようにみえる。さらに、別の実験で、彼女は、乳児におもちゃの電車が斜面にある線路を下っていき、線路の前に置かれた遮蔽物のために一時的に見えなくなるが、また遮蔽物の反対側から現れる、というシーンを繰り返し見せて馴化させる。その後、物体を線路の上あるいは線路の背後においた。前者の場合には、電車の運動は妨害されるはずであり、後者の場合には影響を与えないはずである。その後、遮蔽物（スクリーン）を上から降ろして物体を隠した。どちらの場合にも、乳児は電車が斜面を下っていく運動をはじめ、スクリーンの後ろに入ってみえなくなり、スクリーンの別の端から再び現れるというシーンを見せられた。この実験でも、乳児は、スクリーンの陰で見えないが存在するはずの物体を電車が通りすぎていくシーン、つまり不自然なシーンをを自然なシーンよりも長く注視した。

これらのようなことから、Spelke や Baillargeon らの研究は、以下の物体の基本的特質を理解していることを示した。

- 物体は、それ自身では動かず、外力などの力によって動かされない限り、同じ場所

に存在しつづける

- 物体は、別の物体を通り抜けできない。物体が壁などに突き当たった場合、壁に穴をあけて突き抜けない限りは壁の前で止まってしまう
- 物体は他の力を加えられない限り、自分自身でその形を変化することはない
- 一つの物体は、全体がまとまって同時に動く（物体の一部をつかめば全体がついてくる）

これらの「素朴力学理論(naive theory of physics)」に矛盾するシーンにあうと乳児は驚いてそのシーンを長時間みつめていたという報告がある。

2.3 バイアス(制約)

子どもは極めて曖昧な環境で単語の学習を強いられている。にも関わらず、単語の学習の初期より極めて正確に語意を抽出できるらしいことがわかっている。このような環境の中で、単語の学習を促進させるものとして「制約(constraint)」あるいは「バイアス」というものが提案されている。ある事物の名称について考えたとき、ある事物について無数に考えうる解釈可能性の中からどれが正しいのか知るために子どもは仮説に基づいて語を使っているのだろうか。つまり、子どもは仮説に基づいて語を使ってみて、それに対する相手のフィードバックから仮説が正しいかどうかの判断を行なっているのだろうか。もしそうならば、子どもは語彙獲得の過程で指示対象に対してさんざん誤りを繰り返した後にやっと正しい語を使うことができるようになると考えられる。しかし、実際の子どもが単語を獲得するにはこのようになっていない。2歳児の発話において語意の誤りは5%に満たず、また指示的な意味で使うときにはほとんど見られない[34]。子どものこのような状態を説明するのに「語意に関して考えうる仮説の中で特定の種類のものを優先するよう子どもは制約されている」とか「子どもは、語はこういうものだ」ということに関して何らかの原理を持ち、それにしたがって語意を推論している」という説明がされるようになってきている。Markman [17] は、このような制約として「事物全体原理(whole object principle)」、「事物カテゴリ原理(taxonomic principle)」、「相互排他性原理(mutual exclusivity principle)」を子どもが持つことを主張している。これらの制約によって、語が事物の部分や属性でなく全体を指すと解釈し(事物全体原理)、語をもとの事物と同じカテゴリの他の事物にも拡張できるとみなし(事物カテゴリ原理)、1つの事物には1つの名前しか認められない(相互排他性原理）というようにして新奇な語の指示対象を、まだ

知らない事物の中から探すという。もし、子どもがこのような制約をもつと仮定すると、語彙爆発期の子どもの振る舞いが説明できる。具体例をあげると、「ワンワン」といっていた子どもが猫を「ニャンニャン」と呼ぶことを覚えると猫を「ワンワン」といわなくなる、ということや、ある事物が「バラ」といわれていたり「花」といわれてたりすると混乱する、ということがあげられている。

2.3.1 用語について

子どもの学習を制約するものとして、いろいろな説や理論が提唱されており、それらのなかで「制約(constraint)」「バイアス(bias)」「原理(principle)」「仮定(assumption)」などという用語で説明されている。

一般的には、「制約(constraint)」を使うと、本来の「ことばに対応する概念の可能性を狭める」という意味だけでなく、生得的で絶対的なものという語感を感じることが多い。このために、意識して「バイアス(bias)」を使う研究者が多い。バイアス(bias) ということばは、こどもが語の意味として特定の種類の仮説を優先する場合のように、表に現れた偏りそのものを指し、起源がどのようなものかは含まない。「原理(principle)」ということばは、「制約(constraint)」というニュアンスよりも、ことばの可能な意味や語彙の構成について、「・・・という原則があり、それを知識として保有している」というときに用いられる。ここでは、「バイアス」と統一することにする。

以下のようなバイアスが提唱されている。

2.3.2 事物全体バイアス

事物全体バイアスとは、ある事物の一部分だけを取り出して名前をつけたり、色や材質といった属性の名前だと子どもに想定させないとするバイアスである。

この事物全体バイアスの実験例としては、Markman と Wachte の実験 [17] がある。彼らは3歳児の子どもにとっての氷はさみのような未知物をみせた。そして、この事物をみせながら、"See? It's pewter"といい、この事物に、"pewter"というラベル付けを行なった。"pewter"はスズと鉛の合金という意味の物質名である。彼らは、子供たちは"pewter"をなんと解釈したか調べた。その結果、子どもたちは、「物体」の解釈を示唆する「・・・するもの」のような機能性についてはなすことが多く、色や触感などの物質の属性について話した子どもはわずかだった。さらに、別の物質でできた同種の物体（木製氷はさみ）を子供たちに見せて、「これはピューターか？」と聞いてみると、「そうだ」と回答した。

このことからわかるように、子どもは、未知の物体とことばが対応づけられると、その

ことばが文法的には物質や属性を指し示すことばであっても、そのことばを未知の物体のラベルと解釈してしまう傾向がある。

また、乳幼児は生後16ヶ月から20ヶ月くらいの間に急激に語彙数を増やす時期がある。この時期を語彙爆発の時期、と一般に言われている。Woodward [17] は、この時期に事物全体バイアスが、語彙爆発的増加の時期に使われていることを示している。

また、彼女は、生後18ヶ月の乳児に2つのシーンを2つのビデオモニターから同時にみせた。一方のモニターからは濁流の中を流れる岩石などの、物質のダイナミックな運動を見せた。自由にビデオモニターを見ることを許された場合、乳児はダイナミックな物質の運動のシーンにより興味を示し、注視した。しかし、モニターをみているときにことば（物体の名前とも物質の名前とも解釈可能）が発話されると、ダイナミックな運動のシーンから乳児は静止している物体のほうに注意を移すことを示している。このことから以下の2点の重要な点があることを示している。

- 事物全体バイアスが、子どもが2歳前に急速に語彙を増やしていく時期にすでに機能している
- ことばを事物全体バイアスと結び付けるバイアスは、必ずしも物体が日常生活の中で一番目立つことから生まれるのではなく、他に、こどもの興味をより強く引くものが周りに存在しても、子どもはまず、未知のことばを未知の物体に対応づける。

2.3.3 事物カテゴリバイアス

事物カテゴリバイアスとは、子どもが新しく学んだ未知のラベルが、名づけられた個体だけに限定されるものではなく、他の事物にも拡張されるカテゴリ名であると解釈し、自発的にカテゴリメンバーにラベルを拡張するというものである。物の名前には、物体固有の名前と物体の属する名前（カテゴリ名）がある。後者は、ラベルがもともと名づけられた個体だけでなく、同じ種類の個体に拡張できる。たとえば、「ポチ」や「フィドー」は特定の犬の名前であるが、佐藤さんの家の犬の名前である「ポチ」は隣の加藤さんの家にいる犬には適用できない。しかし、「犬」は「犬の集まり」、つまりカテゴリを指していて、佐藤さんの家にいる「ポチ」にも加藤さんの家にいる「タロウ」にも適用できる。

このバイアスの実験例として、Hall の実験 [17] があげられる。2歳時に、子どもにとって既知の動物（ネコ）のぬいぐるみと未知のぬいぐるみ（モンスター）を見せ、ラベルが固有名詞であることを示す言い方で、ラベル付けした。具体的には、未知のぬいぐるみ（モンスター）を見せたときには、”This is Zav”と話した。標準刺激（モンスターのぬいぐるみ）に対するラベル付けが終わったあと、実験者は、別の洋服を着た同じぬいぐるみ

と2つの別のぬいぐるみ、ラベル付けされた標準刺激のぬいぐるみの計4種類のぬいぐるみを子どもの目の前にならべて、「ザブの椅子のうしろにおいて」「ザブをわたしにわたして」などという、2歳児が「ザブ」を固有名詞として理解していれば、実験者がラベルをつけた特定のぬいぐるみが選ばれるはずである。

子供たちは、この新奇なラベルを解釈するのに、ぬいぐるみによって異なった反応をしめした。ラベルがネコなどの良く知っている動物につけられたときは、固有名詞であると解釈した。しかし、見たことが無い未知のぬいぐるみにラベルがつけられたときは、そのラベルを他のモンスターにも拡張し、ラベルをカテゴリーを指示する普通名詞として解釈していることを示した。ラベルは固有名詞として与えられたが、子どもたちは、新奇な名前をカテゴリーの名前と解釈した。

2.3.4 相互排他性バイアス

相互排他性バイアスとは、ある事物には事物の名称が1つしかつかない、と制約させるものである。この相互排他性バイアスによって、既に名前を知っている事物と未知の事物があったとき、今まで知らなかった名前を聞くと、自分が知っている事物の名前とは思わず、今まで知らなかった事物の名前である、と子どもは想定する [35] 。さらに、Markman [] によると、未知の事物が状況の中にないとき、子どもは、既に知っている事物の名前と重複しないようにそのことばの対象を探す。そのため、子どもは新しいことばは、事物の部分、色、あるいは物質の名前だと解釈する

実験例としては、針生の実験 [35] がある。針生はこのバイアスの存在についていくつかの実験を行なった。

1つめの実験としてラベルの指すものが既知物であることを示唆するような文脈の中で新奇なラベルが提示された場合、年少児はどのような事物選択を行ない、またラベルをどう解釈するのか。さらに、子どもは発達していくにしたがって上位語を獲得し類包摂関係を獲得していく際には、相互排他性バイアスのようなバイアスは乗り越えなければならない。この際の事物選択やラベルの解釈においてどのような年齢的変化があるかという実験を行なっている。この実験において、新奇なラベルが文脈とともに与えられるとき、新奇なラベルの提示によって既知物が選択されにくくなり、文脈の提示によって既知物がより多く選択されるようになった。

この原理の存在は次のようにして検討されてきた。人形の前に、りんご(子どもが既に知っている事物) とリップミラー(未知物) がならべてある。そこで子どもは、「人形はおなかが空いています。ヘク(新奇なラベル) を渡してあげたい」という言語情報を与えられ、

「ヘク」はりんごとリップミラーのどちらを指すかについて判断を求められる。りんごとリップミラーのそれぞれについて「これはヘク？」と子どもにたずねた。この文脈にふさわしいのは、りんごであるので5歳児はヘクはりんごをさすと答えた。しかし、3歳児は、ヘクはリップミラーを指す、というように判断した。

年少（3歳児）の子どもが、相互排他性バイアスに縛られると考えることで、Macnamaraらは「子どもが初期に獲得する語の多くは、相互に排他的な事物カテゴリ名である」と、また、Inhelderら「バラはバラであると同時に花である」というように1つの事物は複数の名称であらわされるが、このことを就学前児に理解させることは困難であると主張してる。

2.3.5 コントラストバイアス

コントラストバイアスとは、Clarkによって提唱された原理で、すでに獲得したことばが未知のことばを制約する、というものである。子どもは完全に意味が重複する同義語というものはない、という信念をもっており、これがことばの学習を制約するとされている。

この原理によって、すでにラベルを知っている概念に対して未知のことばを聞いた場合、子どもは新しいことばにすでに知っていることばと同一の意味を付与するのをさけ、別の意味を与えようとする。こどもは未知のことばの意味を推論する際に、概念の中でまだラベル付けされてない場所（心的語彙辞書の中の空白部分）を探すというバイアスである。

2.3.6 形状類似バイアス

形状類似バイアスとは、Landauらや今井ら [17] によって提唱されている制約である。Landauらは、知覚類似性、その中でも形状の類似性が未知の物体のラベルとカテゴリを決定するもっとも重要な基準になっていることを実験的に示した。つまり、子どもは形が類似していることに基づいて語を般用していくというものである。これが形状類似バイアスである。

この実験で、Landauらは以下の実験を行なった。

未知の物体を2種類を標準刺激として用いて、それぞれダックス、リフとしてラベル付けした。なお、この時ラベルはそれぞれ、”a dax” 、”a rif” のように加算名詞として与えられた。選択刺激は、標準刺激の形状、サイズ、触感の3つの知覚次元をそれぞれ1次元ごとにとりだし、その次元を一定にして構成された。そして、この6個の選択刺激を一つづつランダムな順番で子どもにみせて「これもダックス？」というように聞いた。3歳時

は、形がラベル付けされた標準刺激と同じサイズの場合には、または触感を一定にして形状を変化させたときには、その変化の度合いが小さい場合には、イエスと答えたが、変化の度合いが大きくなるとノーと回答した。つまり、標準刺激と同じ名前のものではない、と答えた。これは、2 歳児でも 3 歳児でも同じような傾向がみられた。

さらに、Landau らは、Markman らのように標準刺激にラベルをあたえるラベル群とラベルを与えないコントロール群での子どもの反応パターンを比較した。この場合は、Markman の実験と同様に標準刺激に対して、形状を変化させた刺激の 2 つの選択刺激のどちらかが標準刺激とマッチするか選択させるパラダイムが用いられた。ラベル群の子どもは 2 歳児も 3 歳児も前の実験と同様に、物体の形に強く注目し、サイズや触感が著しく異なっても、形が標準刺激と同じ選択刺激を「同じラベルで呼ぶことができるもの」として選んだ。これにたいして、ラベルが与えられず、単に「いっしょになるものを選んで」といわれたコントロール群の子どもが形状同一性へ着目した反応の割合は、ラベル群よりもずっとすくなかった。これにくらべて、大人は、ラベル群でもコントロール群でもともに形状の同一性、あるいは類似性に着目して、他の知覚次元を無視してクラス分けを行なった。

DAX

1 2 3

図 2.2: Landau らの実験刺激

このようなことから、大人がカテゴリにわけるときは、形の類似性を基準にすることがわかる。子どもは、ラベルの無い、いわば制約されない文脈でもクラス分けでは大人と同じ基準ではなく、知覚的にもっと目を引く次元に注目することが多いが、ラベルのカテゴリを決定する、という文脈では、大人に近い基準を用いることが考えられる。また、知覚特徴次元と対比した場合でも、ラベル付けの文脈ではラベルなしの文脈よりも大人のカテ

ゴリに近づく、ことを実験によって示している。

2.3.7 過拡張と般化使用

子どものことばの使われ方を調べてみると、大人が繰り返したことをその通りに模倣するというような単純な受動的な学習プロセスでは、説明できない。

ことばの意味範囲が大人のものとずれる過拡張(over-extension)や般化使用般化使用(generalized use)はなぜ起こるのか。

過拡張や般化使用の例については以下の例 [46] が報告されている。

生後9ヶ月21日のときに蝶(蛾)が壁に止まっていたときに「チョーチョ」というと模倣し「トータィ タィタィ」といいはじめ、その後、トンボやハチなど空を飛ぶ虫を見るたびに「チョーチョ」というようになり、羽やがて空を飛ぶもの一般（たとえばコウモリや凧）にも使用された。また「チョーチョ」は金魚などひらひら動くものにも、街路の飾りや月や星やクリスマスツリーなどキラキラしているものにも使用された。

他の例では、1歳3ヶ月の子どもが、月を意味する語を、本当の月をはじめとして、半分に切ったグレープフルーツ、薄切りのレモン、拾い上げた小さい平らな葉、食べようとしたほうれん草の団子、「D」という文字、引っ張り出そうとした壁くぎ、紙束から破りとった半月形など、半月形のものに次々と拡張していった。

さらに、別の1歳6ヶ月の子どもの例では、鍵穴からエストリア語で穴を意味する語を知り、それを鍵にも用いたが、2週間後には,引き出された引き出し、ふたの無い箱、開かれた本のページの間の空間などへ拡張した例があげられている。

このように、語の般化は、どこの国の子どもでも観察することができ、1歳代を中心としてほぼ同じ年齢層に生じ、頻繁に行なう期間は短い。

この般化の例から考えても、子どもは大人からことばを教えられてそのとおりに話しはじめるのではないことが考えられる。ことばは、こどもによって主体的に生成され、子どもなりに外界をまとめて意味付けを行ない、それに名前がつけられるのである、とやまだ [46] は言っている。子どもは、大人の会話の中で育つことによって、ことばを獲得するのではない。子どもは万人向きの一般的なことばではなく、自分の興味や行動にあわせて語られる自分のための密度の高いことばを聞いて育つ。子どもは、親近感のあることば、自分の足りない所を補ってくれる少し先んじたことば、しかも相互性と応答性のあることば、にふんだんに接することになる。ことばは、人と人が体験を共同化し、共に語り合うものである。

2.4　まとめ

この章では、乳幼児の言語獲得問題についてまとめた。乳幼児は初めてことばを話し始める、即ち初語、以前にことばの概念の獲得を行なっている。

乳幼児の単語の獲得においては、知覚的認知能力などが大きく影響すると考えられる。その重要な要素としてあげたのは、親と乳幼児のコミュニケーション・身振りや手振り・乳幼児が生得的または極めて早期に獲得した物理的認識能力があげられる。

さらに、ことばの学習を効率よく行なうために認知的能力に基づいた「バイアス」が非常に重要な役割を果たしていると考えられる。

乳幼児は、極めて初期のころから、単純な物理法則を知っているようである。それは、前述したSpelkeやBaillargeonらの研究によって示されている。

また、提唱されているさまざまバイアスなども、単語の学習を効果的に促進させていると考えられる。

第 3 章

ニューラルネットワークモデル

3.1　ニューラルネットワークモデル

3.1.1　ニューラルネットワークモデルとは

人間はさまざまな情報処理を巧みに行なっている。それは、脳の中に100 億ないし140 億個あるといわれているニューロン（神経細胞）によって構成された巨大なシステムによるものである。このようなシステムを工学的に実現しようとしたものがニューラルネットである。すなわちニューラルネットモデルは、生物の脳神経系をモデル化した単純な素子（ニューロン）を相互に結合した並列分散型の情報処理システムである。

3.1.2　ニューラルネットワークモデルの歴史

ニューラルネットワークの研究は、1943 年にMuculloch と Pittz によって、ニューロンの簡単なモデルが作られて以来、1940 〜1960 年に第1 次隆盛期をむかえた。同時期にD。Hebb の学習モデルが、E。Rosenblatt のパーセプトロンなどが提案された。特に、パーセプトロンは学習能力を持つ機械として注目され、パーセプトロンの基礎とした構造のニューラルネットワークの情報処理能力の研究が盛んになった。

1969 年、Minsky とPapert によりパーセプトロンの学習能力に限界があることを指摘され、1970 年代には研究が下火になる。しかし、こうした状況にあってもパーセプトロンの限界を打破するための研究は続けられていた。この時期にはコホーネンネットやグロスバーグネット・アソシアトロン・コグニトロン・ネオコグニトロンなどが提案された。

1980 年代半ばになると、再び研究が盛んになる。その原因となったのがポップフィールドネットワークである。Hopfield は、古典的連想モデルにエネルギー関数を導入して

TSP(巡回セールスマン問題) を解いた。1983 年には、G。Hinton と T。Sejnowski らにより確率的ダイナミクスを持つボルツマンマシンが提案された。1986 年には、D。Rumelhart らによって、多層パーセプトロンにおけるバックプロパゲーションが提案された。このようにニューラルネットワークは多くの理論的、設計的研究や工学的応用が試みられ現在に至る。

3.1.3　ニューロンの構造

ニューロンの大きさや形はさまざまであるが、その生理的構造はほぼ同じと考えられている。基本的には、全体（細胞体）が一続きの細胞膜で囲まれているという点では変わり無い。しかし、細胞体からは多数の樹状突起と 1 本の長い軸索が出ているのが特徴である。機能的には、信号は樹状突起から入り、細胞体で処理され、軸索から出てくる。つまりニューロンは多入力 1 出力の情報処理素子であるということが言える。

3.2　ニューロンの情報処理

ニューロンの人工的なモデルとして、生物の神経細胞の仕組みを工学的に真似たものをユニットと呼ぶ。ニューロンの生理学的特性に基づいて以下にニューロンのモデルを示す。

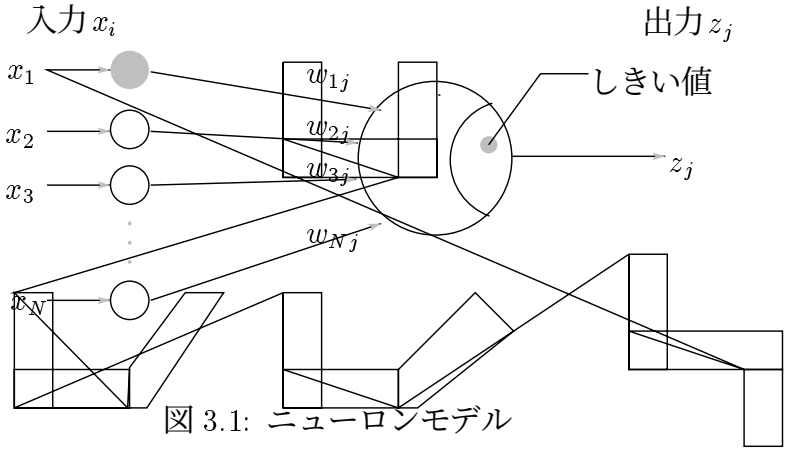

図 3.1: ニューロンモデル

ニューラルネットは多数のユニットの集まりで構成されている。ユニット間は 軸索に対応する線で結ばれているが実際のニューロン間のシナプス結合されたユニットに入力される。この重みによって、ユニット間の結合の強さが表される。

N 入力のユニットに対して、他の細胞からの軸索により与えられら入力を xi とする。この入力信号とシナプス荷重 w_{ij} との積を 1 〜 N まで加算し、ユニットのもつ閾値 θ を加え

たものがユニットの内部状態yになる。この内部状態を入力関数$f()$で変換したものが出力zになる。すなわち

$$y = \sum_{i=1}^{N} w_i x_i + \theta \tag{3.1}$$

$$z = f(y) \tag{3.2}$$

となる。

入力関数にはいろいろな種類があるが代表的なものとして2値関数、シグモイド関数、双曲線正接関数などがある。ここでは最も使われているシグモイド関数を説明する。シグモイド関数は、(3) のような準線形の飽和型の応答特性を持つ関数である。これは2値関数とは異なり微分しても連続な関数となるため数学的に扱いやすいゆえに、最もよく用いられる。

$$f(y) = \frac{1}{1 + \exp(-y)} \tag{3.3}$$

3.2.1 ネットワークモデル

ニューラルネットはいくつかのユニットを組み合わせることにより構成される。ニューラルネットの結合の仕方には2つの方法に分けられる。

階層型ニューラルネットワーク

階層型ニューラルネットワークとは、入力ユニットから出力ユニットまですべての順方向のみに結合されていて、フィードバック結合などの相互結合の形態を持たないようなネットワークである。ユニットがいくつかの層（入力層、中間層、出力層）に分かれていて入力信号は出力層に向かって流れる。

相互結合型ニューラルネットワーク

相互結合型ニューラルネットワークとは、任意の2つのユニット間で相互に結合があるネットワークである。各ユニットは同時に情報を処理する。

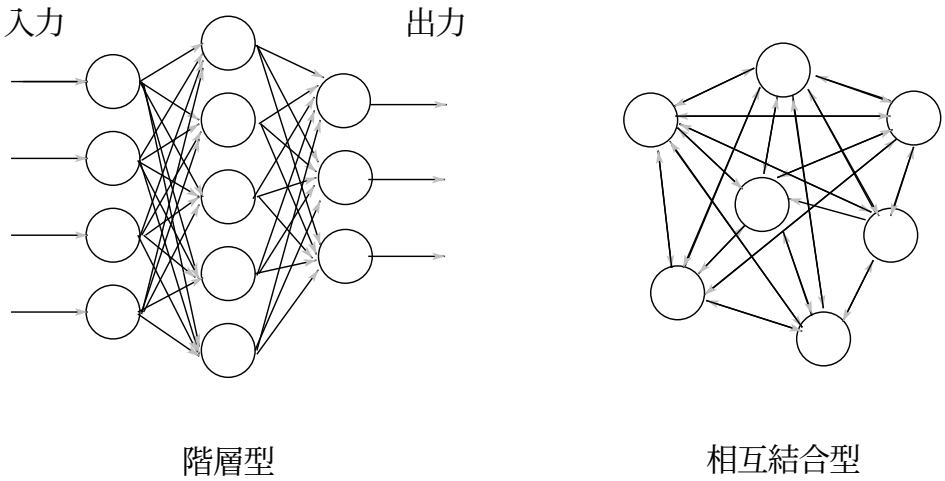

図 3.2: ネットワーク図

3.2.2 ニューラルネットワークの学習

ニューラルネットワークの学習とは、情報システムの目的にあうように、ユニット間の結合荷重を修正していくことである。ニューラルネットワークの学習は、一般には次のようなプロセスによって行われる。まずはじめに、結合荷重の初期値を設定する。次に重みに対して学習データを入力し、評価基準により評価する。次に、その評価結果に基づいて重みの値を修正し、再び評価を行なう。そしてこのようなプロセスを行なうことにより次第に最適な値に近づいていく。

教師あり学習

学習を行なうためには、何らかの評価基準が必要である。教師あり学習の場合、入力データとともにニューロンに所望の値（教師信号）が与えられる。この教師信号は、学習を行なうための評価基準である。この評価基準によって評価した結果をフィードバックしてニューロン間のシナプス過重を調整するアルゴリズムである。

代表的な物として、バックプロパゲーションが挙げられる。

教師なし学習

教師信号を必要としないので、入力データが与えられるとネットワークは定義の明確なアルゴリズムよりその重みを調節する学習アルゴリズムである。代表的な物として、本研究の手法として使っている、Kohonen の自己組織化マップがある。

Hebb 規則

1949 年にD。O。Hebb は教師信号を用いない「シナプス結合強化則」を提案した。これは、「2 つのニューロンを結び付けるシナプスが2 つのニューロンを興奮するたびに強化される」という規則である。

$$w_{ij}^{t} = w_{ij}^{t-1} + \delta w_{ij} \tag{3.4}$$

ここで2 つのニューロンU_i とU_j を考えたとき、そのニューロン間のシナプス過重の修正量はη を定数とするとき、

$$\delta w_{ij} = \eta U_i U_j \tag{3.5}$$

Hebb の考え方は、教師なし学習でいかに学習がすすむかという問題に答えるものになった。

パーセプトロン

パーセプトロンは、1958 年にRosenblatt が提案したパターン認識を行なうための階層型のネットワークモデルである。このモデルは、S(Sensory 層)、A(Association 層)、R(Response 層) とよばれる3 つの層から構成される3 層のネットワークである。S 層は刺激を受け入れる層であり、R 層はパーセプトロンの最終的な反応出力を得る層である。またA 層は、S 層とR 層との間の神経回路を構成する層である。各層は適当な数のニューロンから構成されていて、層内結合はなく、層間の結合はS →A →R の一方向のみである。このうち、S 層-A 層間のシナプス荷重が固定であるのに対して、A 層-R 層間のシナプス荷重は可変である。このシナプス荷重を修正していくことにより、パーセプトロンの学習が行なわれる。

パーセプトロンの欠点は、Minsky らが指摘したように、中間層ニューロンの学習を考慮していないので線形分離可能な問題を学習することができないことである。

バックプロパゲーション

バックプロパゲーションとは、1986 年にRumelhart と McClelland によって提案されたパーセプトロンの欠陥を克服したさまざまな処理に対応する汎用性の高いニューラルネットモデルである。これは非線型のユニットからなる多層のニューラルネットワークモデルである。これは非線型なユニットからなる多層のネットワークに対する学習規則であり、中間層ユニットの学習を可能としている。バックプロパゲーションでは、入力信号は

出力層に向かって流れる。出力層では教師信号によって誤差が求められ、その誤差は入力層へ向かって伝搬して重みの学習が行なわれる。

しかし、バックプロパゲーションは(1)局所的最小値(local minimum)に捕まるとそこから抜け出せなくないため、大域的最小値(global minimum)に収束する保証がない、(2)最小値近傍では修正量がほとんど0なので収束が遅い、などの欠点が指摘されている。また、2つ目の欠点は、慣性項を用いた方法であるのである程度改善することはできるが、十分な解決は与えていない。

3.3 自己組織化マップ (SOM)

SOMは、Kohonenが提案した教師なし学習である。入力信号を分類する能力が自己組織的に獲得されていくからである。SOMは、競合ネットワークの動作と学習を簡略化したアルゴリズムで学習を行なう。入力される信号$x = [x_1, x_2, \cdots, x_t]^T$ は、ネットワークすべてのニューロンに同時に提示され、入力ベクトルの要素x_jはそれぞれニューロンの結合強度w_{ij}につながっているものとする。競合ネットワークでは、xとw_iの内積を求め、ニューロンの状態を求めたり結合強度の変更を行なったが、ここでは内積の操作を規格化された2つのベクトルx, w_iの差に置き換えた以下のアルゴリズムを実行する。以下にSOMのアルゴリズムを記す。

(1)興奮領域の中心cの決定

$$\| x(t) - w_c(t) \| = \arg\min_i \| x(t) - w_i(t) \| \tag{3.6}$$

(2)結合強度ベクトルの修正

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \alpha(t)(x(t) - w_i(t)) \tag{3.7}$$

$$w_i(t+1) = w_i(t) \tag{3.8}$$

ここで、$\arg\min(z_i)$は添え字iに関して最小となるz_iを求める関数である。このアルゴリズムからわかるように、まず入力ベクトルとの差が最小である（よく似た）結合強度ベクトルをもつニューロンをcとし、これを中心とした近傍領域$N_c(t)$を設定する。よって式より、興奮領域$N_c(t)$に含まれるニューロンの結合強度ベクトルのみ、時刻tで提示された入力ベクトルはその大きさが一定になるよう、修正ごとに正規化されるものとする。式の$\alpha(t)$は学習の効率を決定する係数(学習係数)で、時間に関して単調に減少させるの

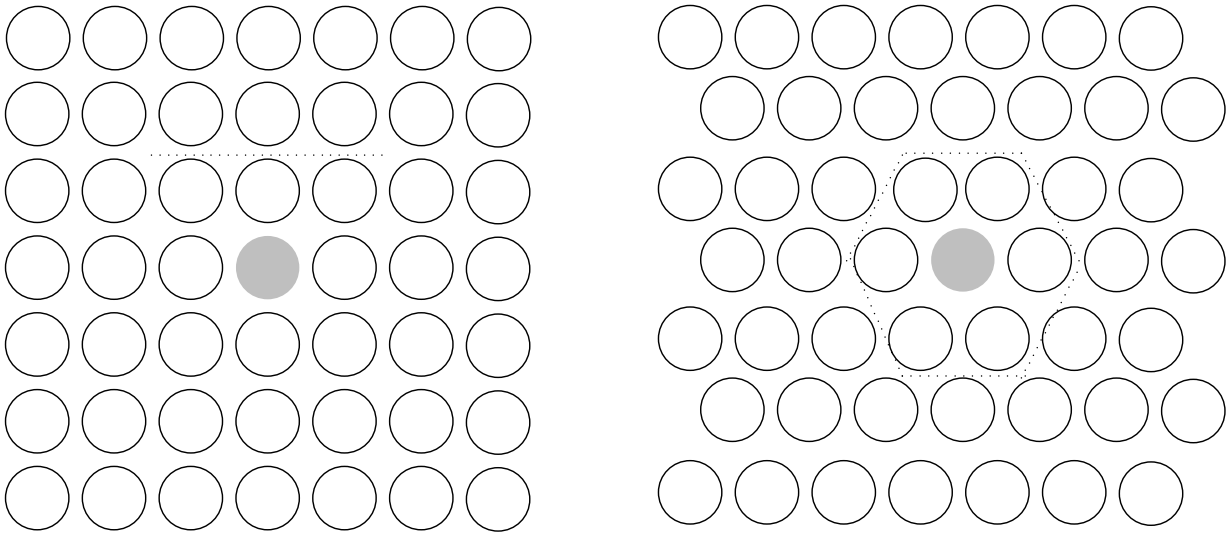

図 3.3: Kohonen ネットにおける近傍領域の取り方

が一般的である。また、興奮領域$N_c(t)$の取り方はニューロンをいかに配置するかによって異なり、その例を図??に示す。

なお、一般的に、$N_c(t)$の範囲を時間とともに狭くする方がパターンの分類能力は向上する。

SOM のアルゴリズムにおいては、興奮領域$N_c(t)$にあるすべてのニューロンに対し、結合強度の修正が行われることは重要である。これにより、類似の特徴をも 2 つの入力に対して、位置的に近いユニット同士が配置されるユニットの距離関係に変換される。これは、トポロジカルマップ (トポロジー保存写像) と呼ばれ、このような写像特性は生体の視覚野や聴覚野などで多く見られる。

このSOM のアルゴリズムによって形成されたコホーネンネットワークは、ニューロンの出力分布が入力の特徴空間の構造に対応するようになることから、Topological Feature Map あるいは Seif-Organizing Map と呼ばれる。

3.4 学習ベクトル量子化 (LVQ)

コホーネンネットでは、入力の特徴に応じて異なるニューロンが興奮するようになる。このことは、学習後のネットワークの結合強度ベクトルが、図3.4に示すような入力の特徴空間を代表する点になっていることを示している。図3.4において、点は結合強度ベクトル、特徴空間を分割する小領域は、その結合強度ベクトルが代表する空間をあらわす。

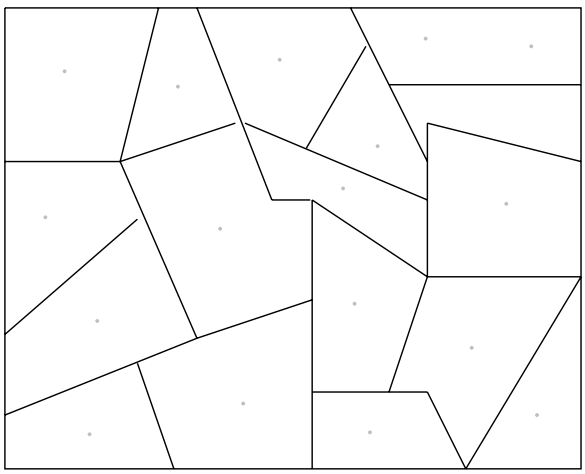

図 3.4: 入力の特徴空間と Kohonen ネットの結合強度ベクトルの関係

このように入力の特徴空間をい有限個の代表点であらわす手法がベクトル量子化法(Vector Quantization:VQ) である。

ある特定の問題（たとえば、パターン認識）などに限って考えると学習させる入力サンプルには、それが属するクラスの情報が与えられるケースが多い。そこで与えられた学習サンプルにクラス情報が付加されている場合、より最適な参照ベクトルを獲得する方法としてコホーネンが提案したのが、学習ベクトル量子化(LVQ) である。

LVQ は、統計的なクラス分け分類または認知の方法として厳密には意味付けられているので、そのたった 1 つの目的は、入力データ空間内でクラス領域を定義することである。同じようにラベル付けされたコードブック・ベクトルの部分集合は、最後まで各クラス領域に配置される。たとえば、入力サンプルのクラス分布が、クラスの境界で重なり合っても、これらのアルゴリズムにおける各クラスのコードブック・ベクトルは、すべての時間にわたって各クラス領域に配置され、そしてそこにとどまるように示される。VQ におけるボロノイ集合のように量子化された領域は、近傍コードブック・ベクトル間の中央平面（超平面）によって定義される。LVQ における付加的な特徴は、クラス境界に関しては、ボロノイ集合を異なったクラスに分けるボロノイ・モザイク分割のような境界だけを考えればよいということであるそれによって定義されたクラス境界は区分的な直線である。

3.5　まとめ

この章では、ニューラルネットの研究の歴史・概略、及びパーセプトロンやバックプロパゲーションや自己組織化マップなどの学習について説明した。

ニューロンは、生物の脳細胞をモデルとしてあらわしたものであり、ニューラルネットワークモデルは、ニューロンの数理モデルを結合させたものである。このことから動物(特に人間)の高度な知的能力をコンピュータ上でシミュレートする際には、ニューラルネットワークが有効であると考えられる。

第 4 章

単語獲得モデル

4.1 幼児がことばを覚えるまでの過程

実際の幼児のことばの獲得の過程を説明する。

形状類似バイアスや事物全体カテゴリバイアスと幼児が実際にことばの獲得のデータと一致している点として以下のことがあげられる。

- 初期のほとんどが名詞であること
- 新しく覚えたことばを、特定の状況や対象に依存せず、他の類似の事物に自発的に適用すること

ことばの誤用として注目するべきなのは、 適用制限と過剰適用である。適応制限とは、ことばの発話を特定の状況に結びつけ、適用を過度に制限するものである。また過剰適用とは、子どもがことばを獲得したときにそのことばを自発的にいろいろな事物に大人が常識的な範囲より広い範囲に拡張して用いることである。

4.2 単語獲得の特徴

ある事物の名称を獲得したとき、その名称は過剰適用される。別の名称を獲得するにつれて、過剰適用の頻度は少なくなって行く。これは事物の名称を獲得するに従って、事物全体バイアスなどのバイアスが形成されていくのではないだろうか。

このことから、ことばを獲得していくにつれて事物全体バイアスや形状類似バイアスが確立していき、このことによってことばの学習が早く行なわれると予想できる。

4.3 モデル

ここでは、以下のようなモデルを考える。

言語以外の入力と言語入力を考える。ここでは言語以外の入力を視覚情報とし、「形・大きさ・色」、とする。また言語による入力は、「ことば」とする。

乳幼児はこれら、すなわち視覚情報と「ことば」を入力されると脳の神経細胞群中において単語に対応したかたまり（クラスタ）が形成されると考えられる。このように単語を獲得していき、大きな概念ができていく。

このようにしていくうちに、同じ種類のことばをいくつか教わると、それらに対するバイアスが形成され、同種類の他のことばの学習が促進されていくのではないか、と考えられる。

4.4 計算機シミュレーションの方法

第2章、および第3章に述べたことを踏まえ、本研究ではニューラルネットワークモデルを用いて幼児の単語獲得（概念獲得）を計算機シミュレーションする。ニューラルネットワークでは、いくつかのアルゴリズムが提案されているが、本研究ではKohonenが提案した自己組織化マップ(SOM)を利用する。SOMは教師なし分類分けを行なうときに用いられる。本研究では、ある事物の属性と「ことば」からある事物をカテゴライズする目的でSOMを利用した。属性と「ことば」を組としてSOMに入力し、その結果出力されたマップは意味マップであるといえる。つまり、SOMを利用することによって概念形成の様子を観察できる。

そこで、Kohonenらが作成したSOM_PAK [6] という自己組織化マップを利用するためのプログラム群を用いて計算機シミュレーションを行なう。

以上のことを考え、次章において計算機シミュレーションを行なう。

第 5 章

計算機シミュレーション

5.1 シミュレーション環境

本研究では、後に説明している SOM_PAK [6] を、Linux 上において、コンパイル及び実行した。

SOM_PAK は、Helsinki 大学の Kohonen らが 1992 年に複雑な実験データの可視化のために自己組織化マップアルゴリズムの応用のために必要なすべてプログラムをまとめたものである。MS-DOS 用のバイナリファイルと各種 UNIX 用にソースファイルで配布されている。

本研究では、このパッケージの UNIX 版 (Linux 版) 使い、必要に応じてこれらのプログラムを改造してシミュレーションを行なうものとする。

5.2 共通実験条件

マップの広さは 60×40、サンプル数600 で実行した。

SOM のアルゴリズムを 2 回にわけて実行した。まずはじめに大雑把に分類を行なうために、学習係数 0.05・興奮領域半径 10 で SOM アルゴリズムを実行し、2 回目で、学習係数 0.02・興奮領域半径 3 で SOM アルゴリズムを実行した。ここでいう興奮領域半径とは、SOM アルゴリズムにおいてトレーニングさせる範囲である。

5.3 実験1:属性を完全に与えた時

5.3.1 方法

まずはじめの実験1として入力データとして3つの属性(形、大きさ、色）をとり、1つめの属性として整数値(0～6)を、2つめの属性として整数値(0～6)、3つめの属性として実数値(0.8,1.8,2.4,3.2,4)から1つをとった。

この3つの属性とり、乱数によってデータを作成し、これをSOMに入力した。この結果が、図5.1、図5.2、図5.3、図5.4である。

5.3.2 結果

実験1の結果は 図5.1、図5.2、図5.3、図??のようになった。

いずれの図ともクラスタが形成されている。

図中の数字は、それぞれの属性値を表している。例えば、1-3-0.5 は1つめの属性値が1で2つめの属性値が3、という意味である。また図の濃淡は、近接したコードブックベクトル間の位置関係を表している。もしコードブックベクトル間の距離が小さいなら薄い色で表示され、また距離が大きいなら濃い色で表示されている。しかし、、図5.1では2つめの属性についてクラスタをなしている。また1つめの属性についてみてみると、分断が起きているところが数箇所ある。

5.3.3 考察

図より、属性のみをSOMに入力してもカテゴリ化が可能である。すなわち、属性のみでも概念の形成が可能であることを示している。

5.4 実験2:属性に「ことば」を完全に付与した時

5.4.1 方法

入力データとして、視覚情報を表す3つの属性値に「ことば」を与えて自己組織化マップを作成した。ここで「ことば」とは、1つめの属性（すなわち「形」）と同じ値をとるものとした。各属性と「ことば」の組をプログラムに入力し、4万ステップ・8万ステップ・12万ステップ・16万ステップの学習を行なった。

5.4.2　結果

実験2の結果は、図5.5、図5.6、図5.7、図5.8のようになった。それぞれの学習回数は、4万回ステップ、8万ステップ、12万ステップ、16万ステップ実行した。

5.4.3　考察

実験2によって、「ことば」を加えることによってより、詳細にカテゴリ化が可能である。また、1つめの属性についてカテゴリかしているために、大きなカテゴリのようになっている。また、このことから事物に名前をつけたほうが、より詳細にカテゴリ化できる。このカテゴリを作らせているのが制約であると考えられる。

5.5　実験3:属性に一部の「ことば」を与えた時

5.5.1　方法

実験2と同様に、属性値と「ことば」の組をプログラムに入力した。ただし、実験3では、「ことば」については、0と4以外の値についてはx(don't care)とした。実験2と同様に、学習は4万ステップ・8万ステップ・12万ステップ・16万ステップ行なった。

5.5.2　結果

実験3の結果を、図5.9、図5.10、図5.11、図5.12に示す。

5.5.3　考察

学習回数がすくないうちは、クラスタをなすべき一部の「ことば」が定まらなくても、カテゴリ形成ができた。これは、属性の一部分がわからなくてもある程度の概念を得ることは可能である、ということを表している。

5.6　まとめ

このシミュレーションにより

- 言語以外の入力（ここでは、形・大きさ・色）のみで概念を形成することが可能である

- 一部の「ことば」(単語)が分からなくても、わからない「ことば」についての概念を形成することは可能である

ということが示された。

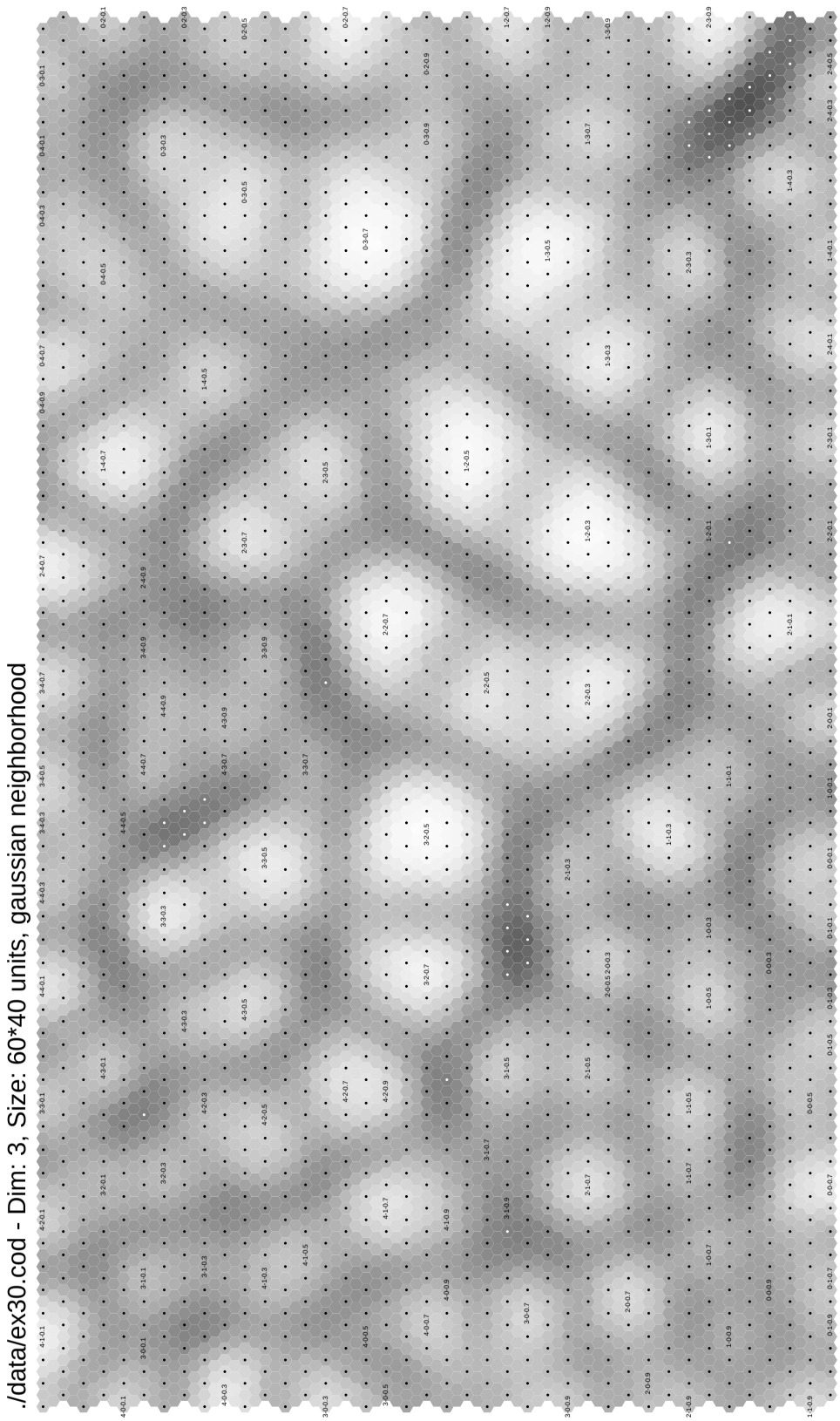

図 5.1: 実験 1(学習 4 万ステップ) の結果

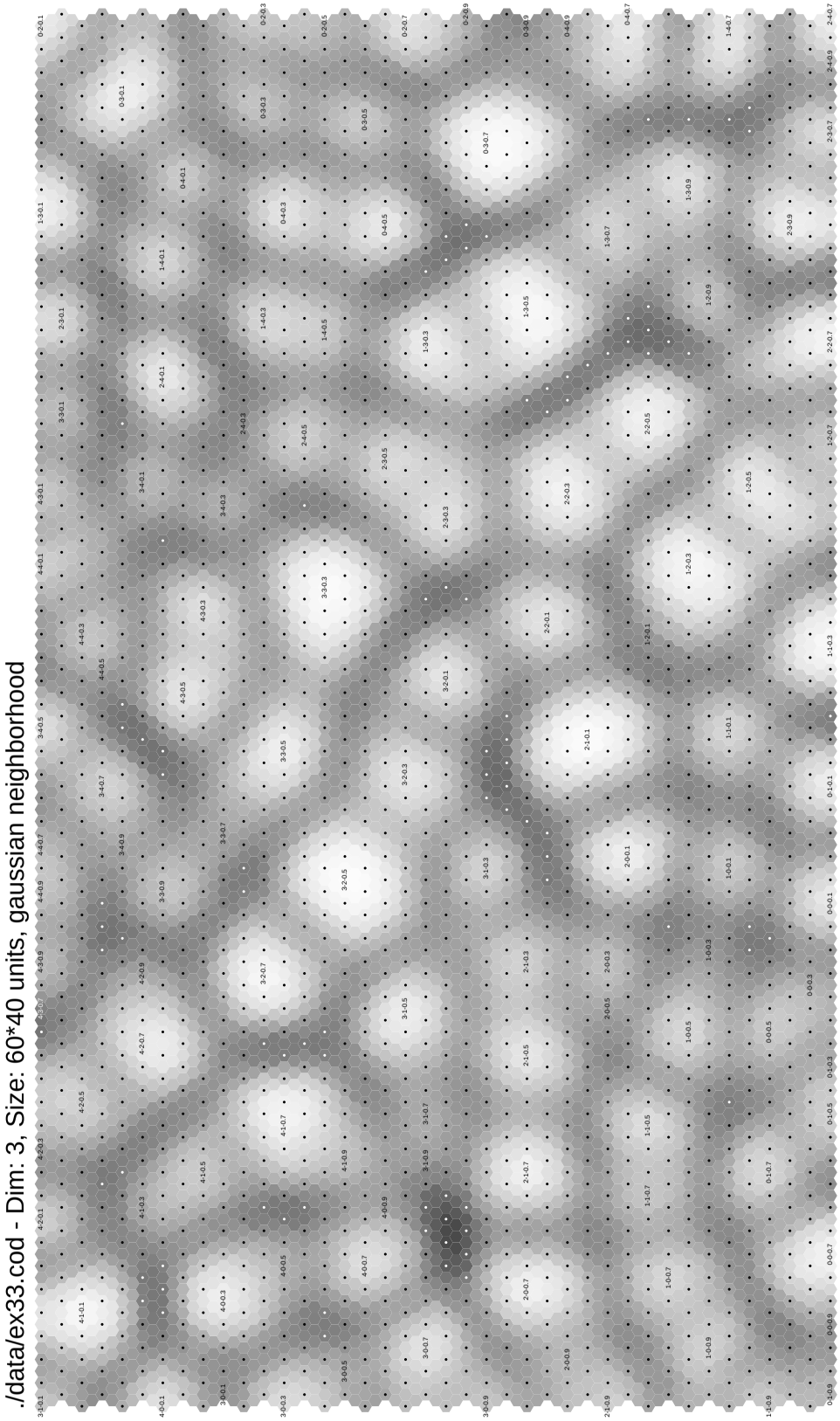

図 5.2: 実験 1(学習 8 万ステップ) の結果

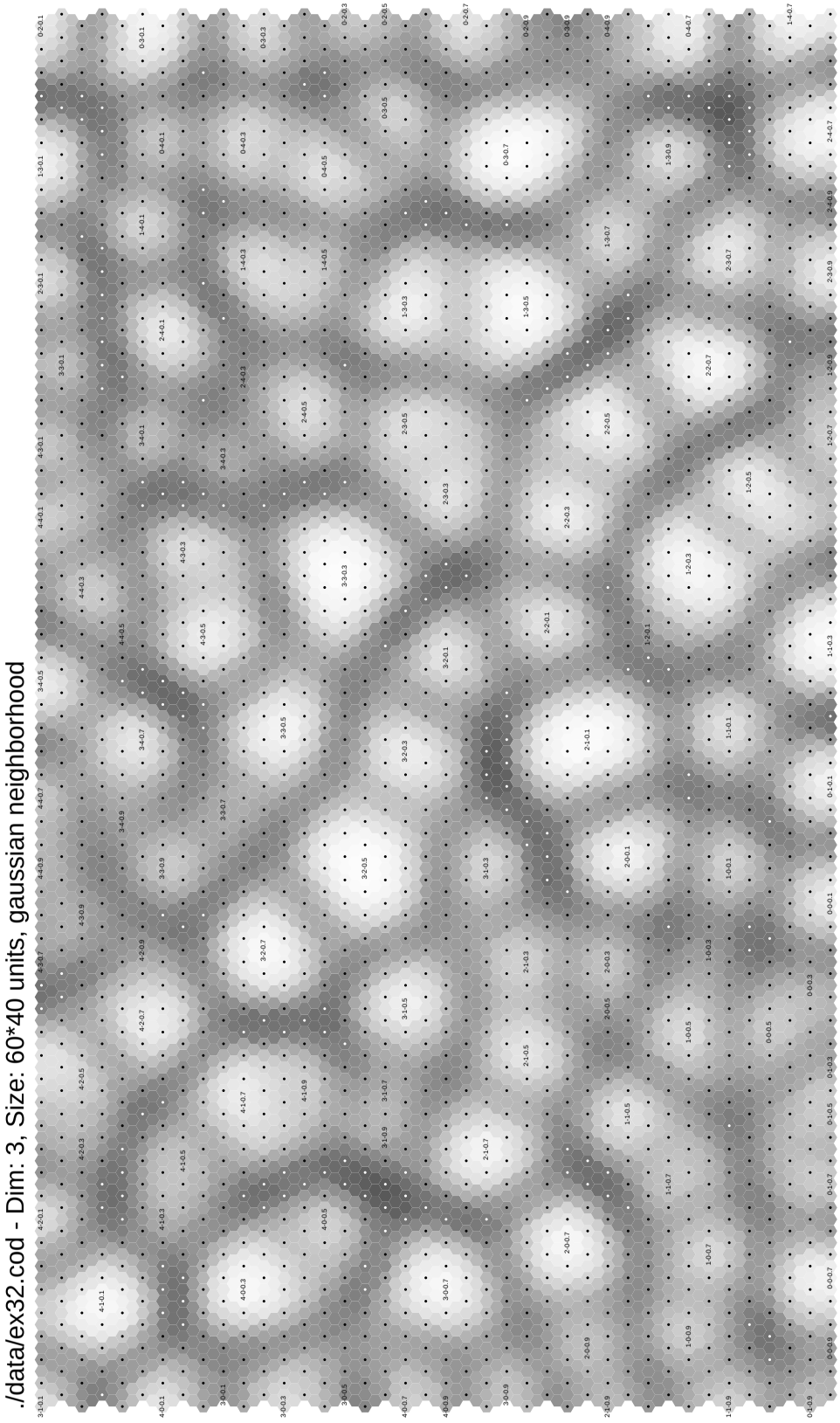

図 5.3: 実験1(学習12万ステップ)の結果

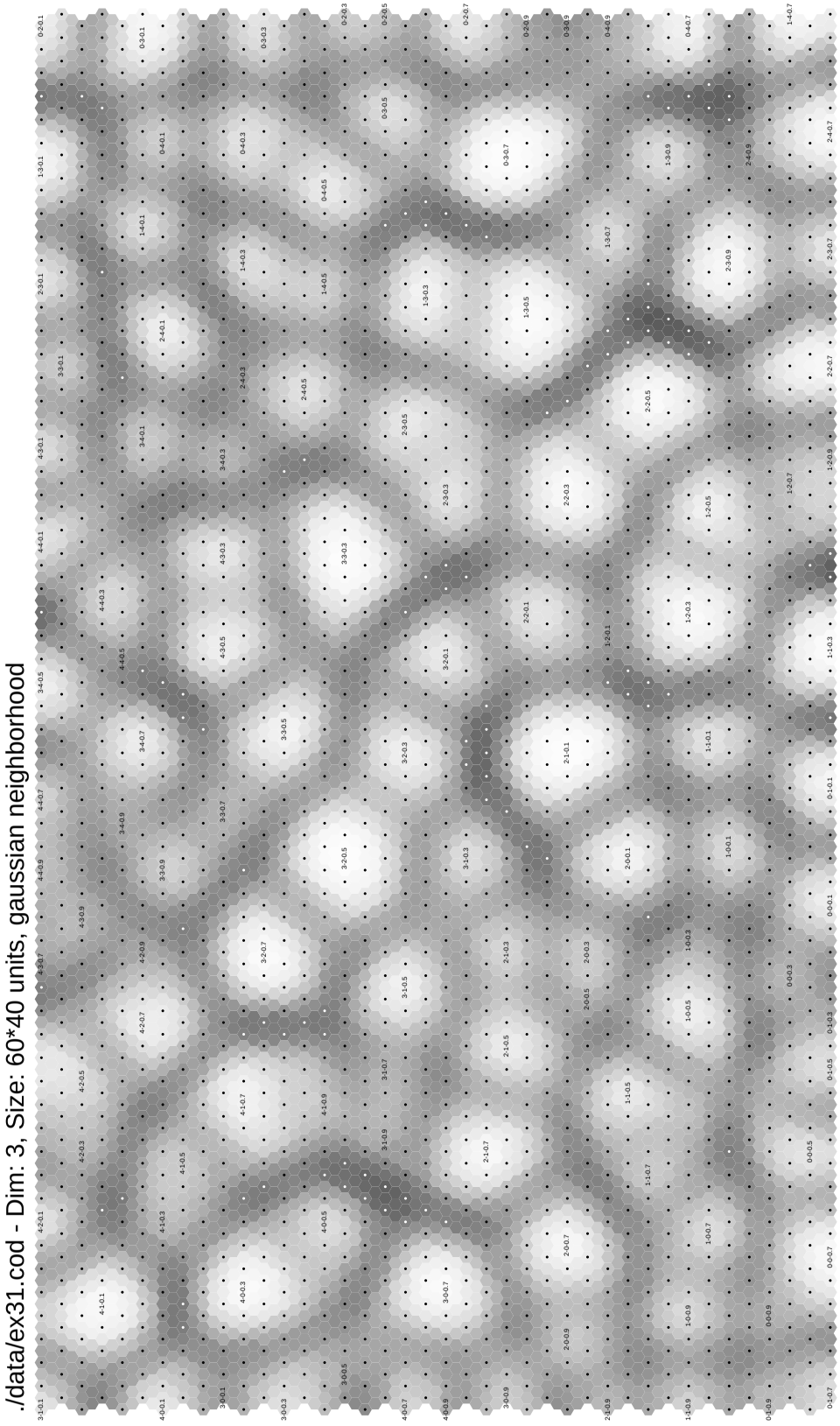

図 5.4: 実験1(学習16万ステップ)の結果

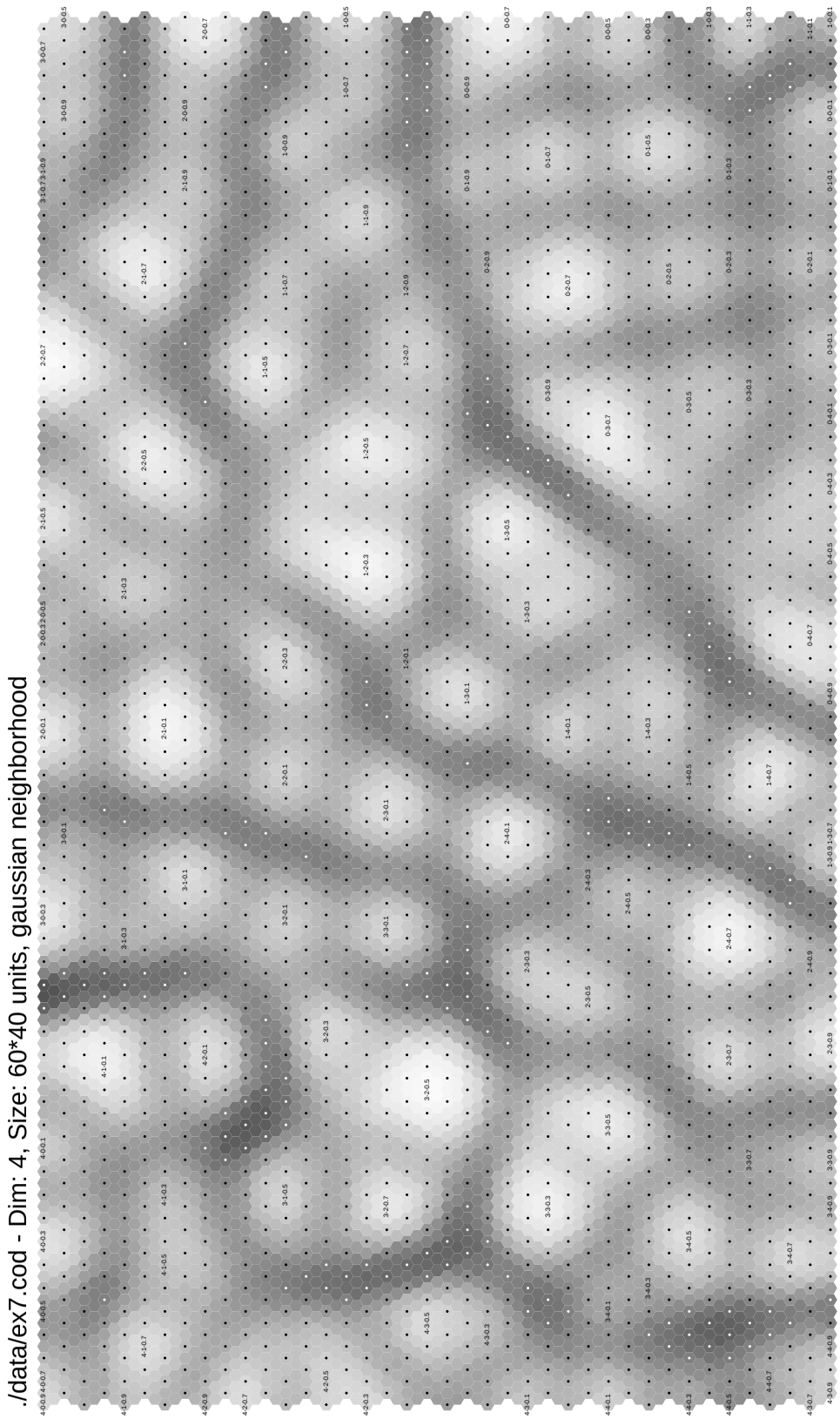

図 5.5: 実験2(学習4万ステップ) の結果

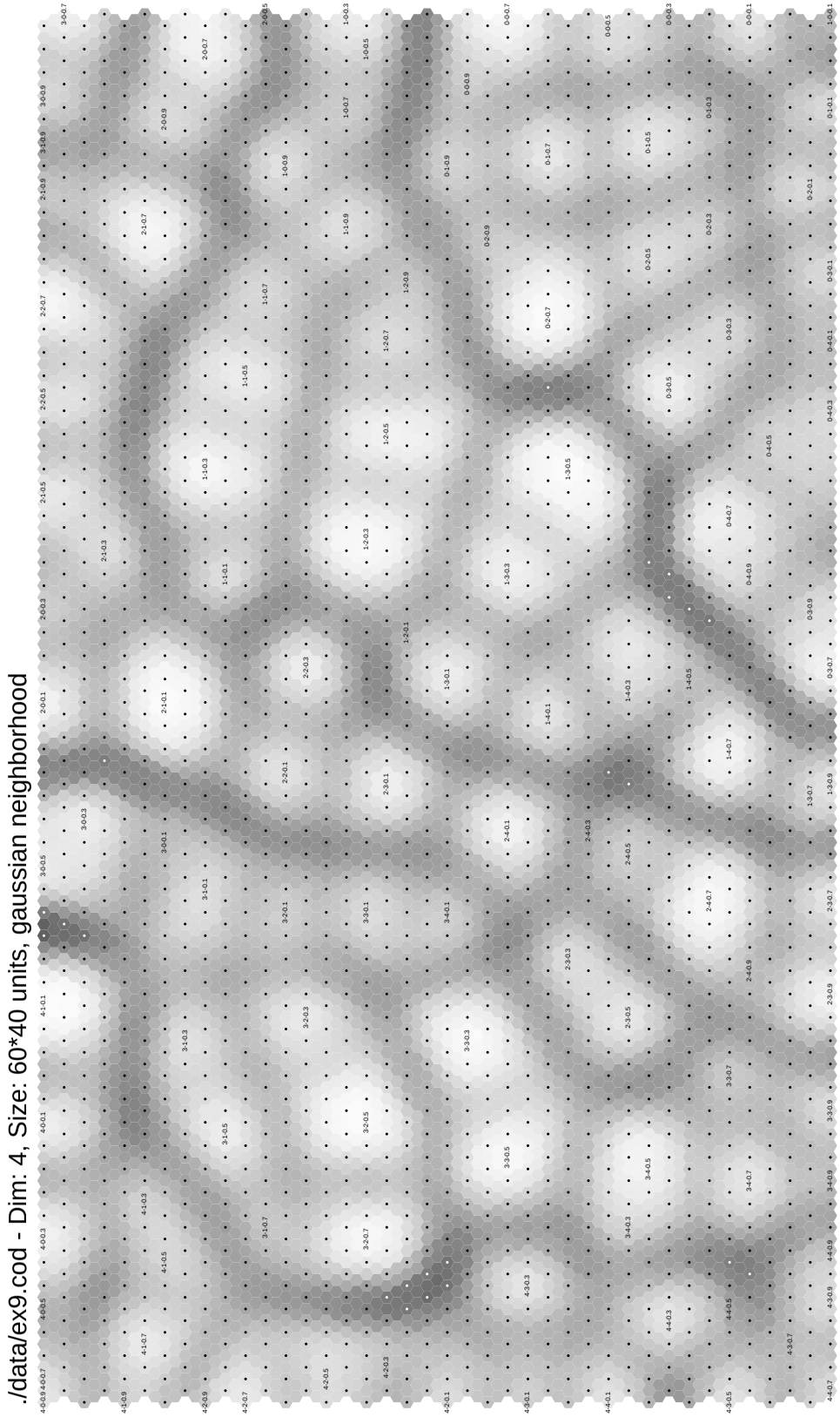

図 5.6: 実験2(学習8万ステップ) の結果

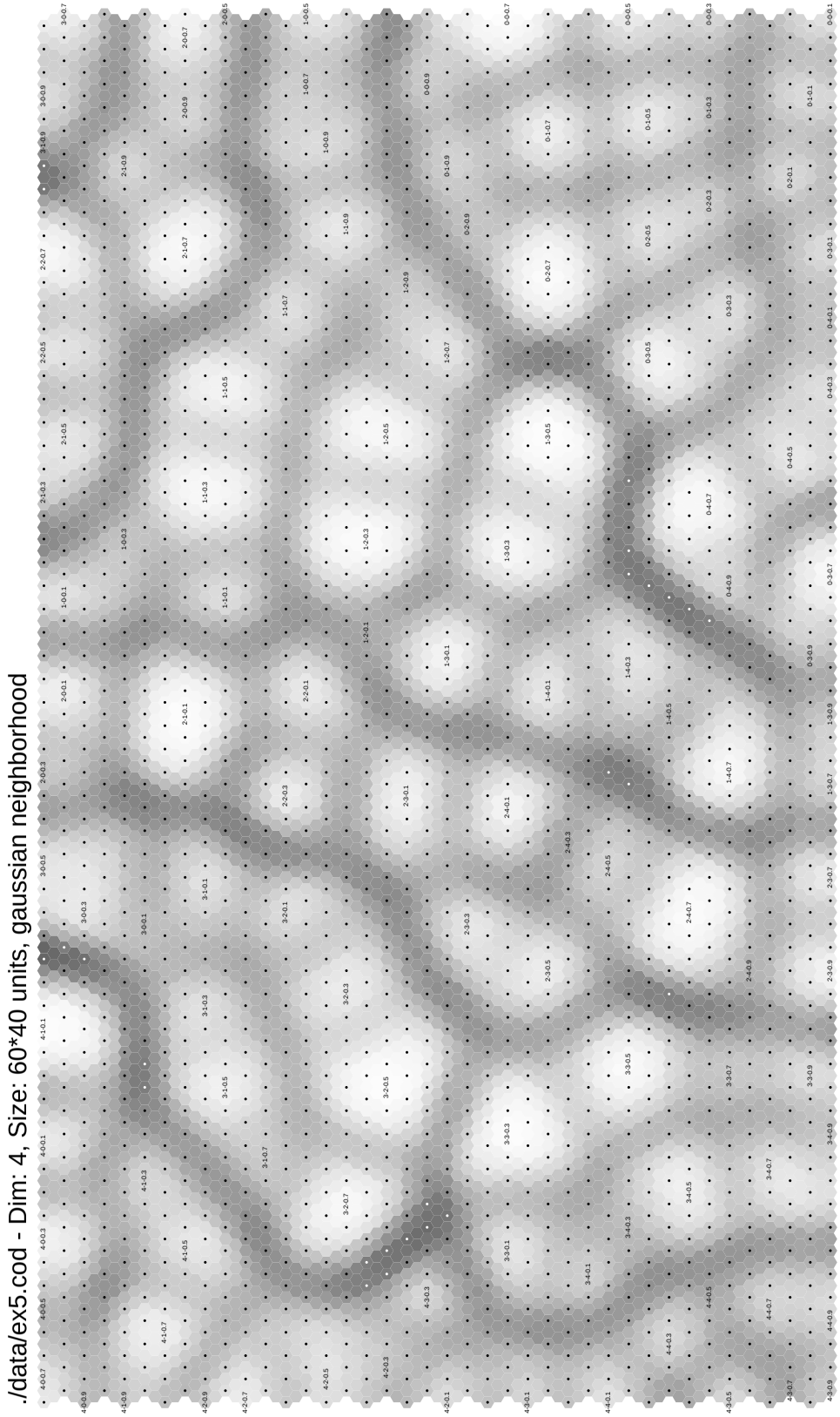

図 5.7: 実験2(学習12万ステップ)の結果

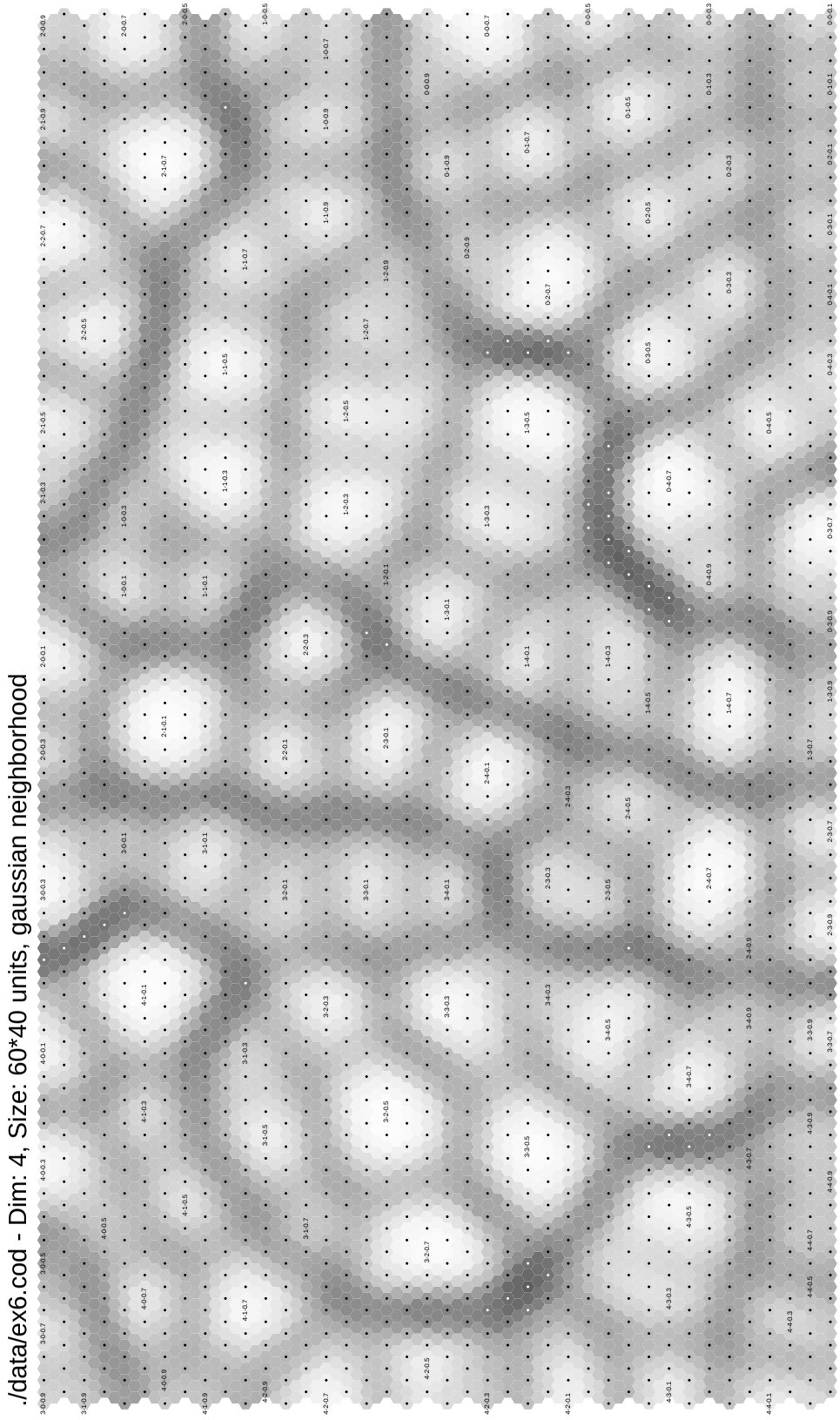

図 5.8: 実験2(学習16万ステップ)の結果

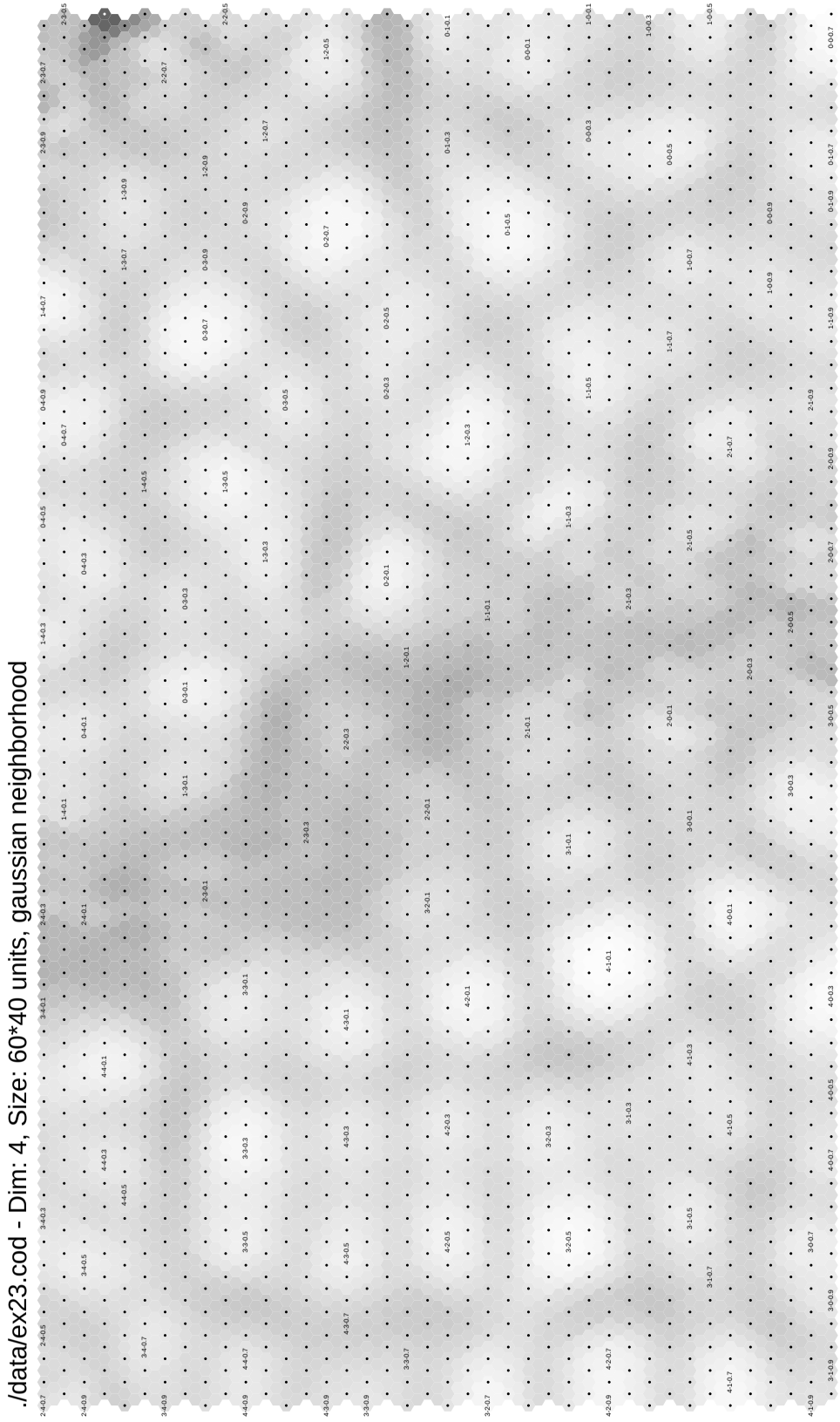

図 5.9: 実験3(学習4万ステップ) の結果

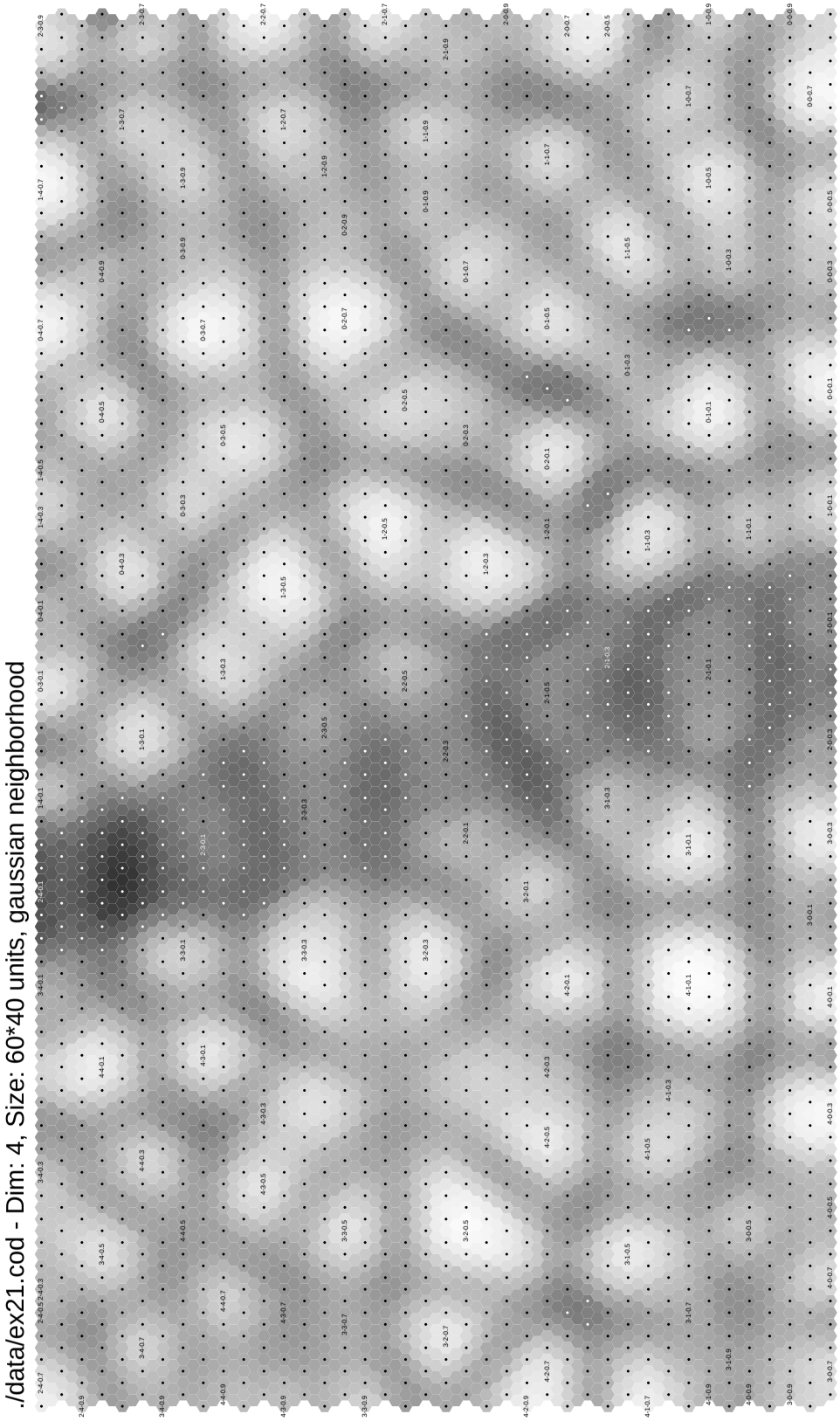

図 5.10: 実験3(学習8万ステップ) の結果

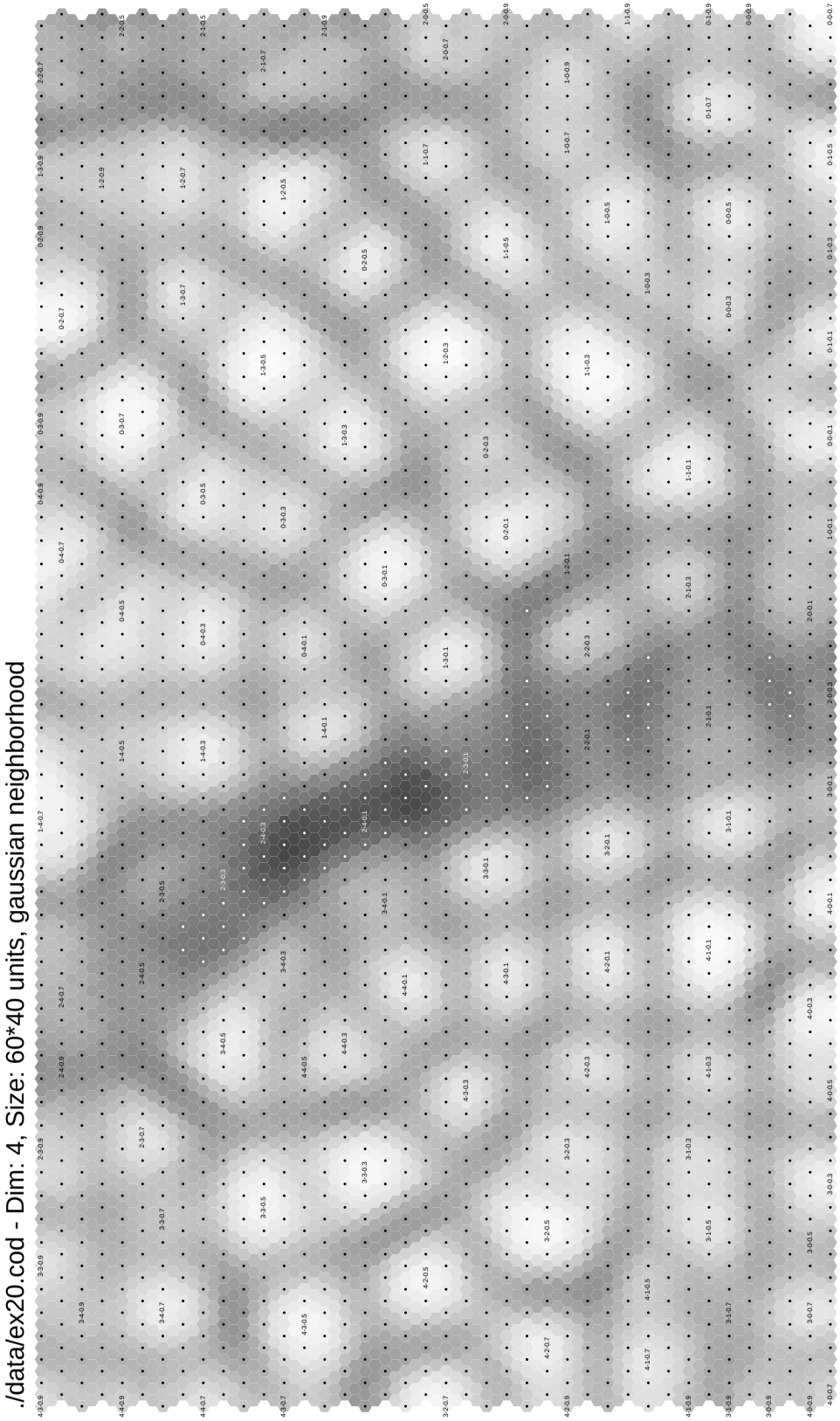

図 5.11: 実験3(学習12万ステップ)の結果

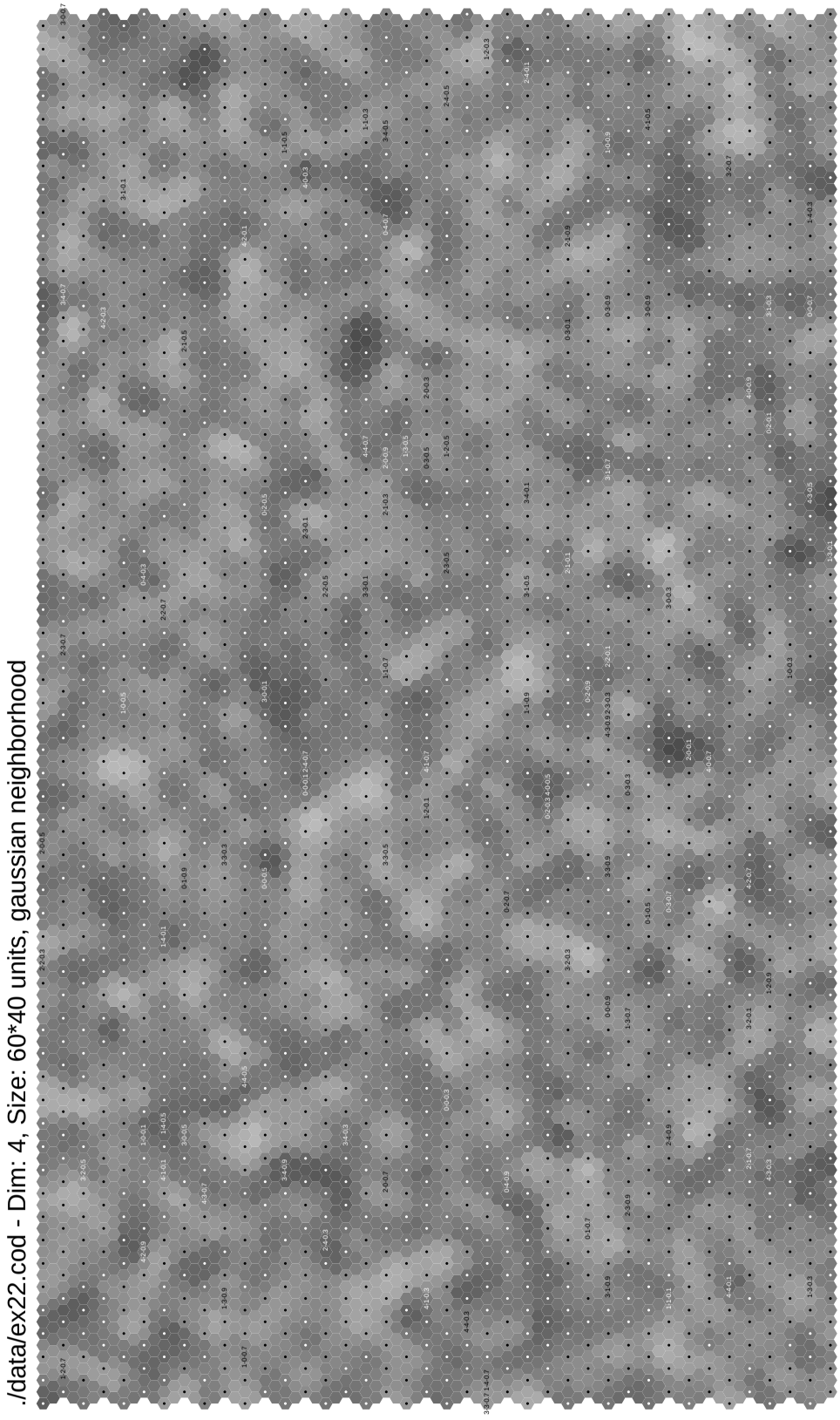

図 5.12: 実験3(学習16万ステップ)の結果

第 6 章

まとめ

本研究により以下のような結果が得られた。

- 属性と「ことば」を与えることによって概念形成が可能になる
- 「ことば」の一部を与えることによって同じような「ことば」について概念を形成すること可能である

これらの特徴は、乳幼児が出生後、親などからの働きかけにより単語の概念とことばを獲得していく時の特徴と似ている。

本研究により、属性と「ことば」を概念化することによって単語を獲得し、さらに獲得した概念によりバイアスも促進されていると考えることが可能である、ということが考えられる。

今後の課題としては以下のことが考えられる。実際に幼児が単語を獲得する際は、もっと多くの要素を含んでいるといえる。近年の研究により、幼児の認識や身振りや指差しなども言語獲得に大きく影響している事が示されつつある。このような要素を数理モデルに組み込み、シミュレーションを行なう事によってさらに大きな知見が得られると思われる。

謝辞

修士論文をまとめるにあたり、指導してくださった櫻井彰人教授に、また修士論文について多くのアドバイスをいただいた荒木修助手に感謝いたします。さらに、本研究を進めるにあたり助言をくださった先生方に感謝いたします。最後に協力していただいた櫻井研究室のみなさまに感謝いたします。

参考文献

[1] Bernard H. Bichakjian, Language Evolution And The Complesity Criterion, http://www.cogsci.soton.ac.uk/psyc-bin/newpsy?10.033,1999.

G. F. Marcus, S. Vijayan, S.Bandi Rao, P.M.Vishton, Rule learning by Seven-month-Old Infants, science, 283, 77-80, 1999.

[2] Harumi Kobayashi, The role of action in making inference about the shape and material of solid objects amang Japanese 2 year-old children, cognition, Vol. 64, pp251-269, 1997.

[3] Mallory Selfridge, A Computer model of Child language Learning, Artificial Intelligence, 29, 171-216, 1986.

[4] Simon Kirby and James Hurford, Learning, Culture and Evolution in the Origin of LinguisticConstraints, Fouth European Conference on Artifical Life, The MIT Press, 493-502

[5] Teuvo Kohonen, Learning Vector Quantizaton, The Handbook of Brain Theory and Neural Networks, 537-540.

[6] Teuvo Kohonen, Jussi Hynninen, Jari Kangas, and Jorma Laaksonen, SOM_PAK: The Self-Organizing Map Program Package

[7] Teuvo Kohonen, Jussi Hynninen, Jari Kangas, Jorma Laaksonen, and Kari Torkkola, LVQ_PAK: The Learning Vector Quantization Program Package

[8] Rick kazman, Simulating the Child's Acquision of the Lexicon and Syntax – Experinces with Babel, Machine Learning, 16, 87-120, 1994.

[9] Risto Miikkulainen, Subsymbolic Natural Language Processing –An Integrated Model of Scripts, Lexicon, and Memory– The MIT Press, 163-191

[10] Robbins burling, The Cognitive Prerequisites For Language Target Article on Language-Prerequestes, http://www.cogsci.soton.ac.uk/psyc-bin/newpsy?10.032, 1999.

[11] 麻生 武, 身振りからことばへ–赤ちゃんにみる私たちの起源–, 新曜社.

[12] 麻生 武, 「手差し」と「指差し」, 月刊言語, 22, 4, 1993.

[13] 井狩 幸男, 第一言語獲得, ことばとコミュニケーション, No.1, 78-79, 1998.

[14] 石崎 俊, 橋田 浩一, 松原 仁, 認知科学のキーワード, 言語,16, 4, 62-66, 1987.

[15] 乾 敏郎, 今井 むつみ, 山下 博志, 認知発達と生得性–心はどこから来るのか–, 共立出版,1998.

[16] 今井 むつみ, ことばの学習の制約の起源, 認知科学, 4，1，75 ー97,1997.

[17] 今井むつみ, ことばの学習のパラドックス, 共立出版,1997.

[18] 池原悟, 宮崎正弘, 横尾昭男, 言語獲得 - ことばはどこからくるか？, 遺伝, NL–84–13, pp95–102, 1991.

[19] 岩田 純一, 意味の発達, 新・児童心理学講座(6) –言語機能の発達, 73-109

[20] 岩田 純一, メタファーの獲得 –「意味」の光と影, 月刊言語, 21, 4, 1992.

[21] 岩立 志津夫, 発達段階における初期幼児言語, 月刊言語, 24, 2, 1995.

[22] 内田 伸子, 今井 むつみ, 幼児期における助数詞の獲得過程 –生物カテゴリーの形成と助数詞付与ルールの獲得, 教育心理学, 44,2,126-13, 1996.

[23] 内田 伸子, 子どもの語意についての理論 –語意獲得初期における知覚的類似性の役割–, お茶の水女子大学人文科学紀要第49巻,131-156,

[24] 岡本 夏木, 子どもとことば岩波新書, 1982.

[25] 小林 晴美, 佐々木正人(編), 子どもたちの言語獲得大修館書店

[26] 小林 晴美, アフォーダンスが支える語彙獲得月刊言語, 21, 4, 1992.

[27] 佐々木 正人, 「学習」の分析単位 –エコロジカル・アプローチ–, 教育学研究, 60, 3, 228-236, 1993.

[28] 佐々木 正人, 話すことと身振り月刊言語, 21, 4, 1992.

[29] 坂和 正敏, 田中 雅博, ニューロコンピューティング入門, 森北出版

[30] 佐藤 敦, 山田 敬嗣, ニューラルネットによるパターン認識( ) 電子情報通信学会誌, 82, 12, 1999.

[31] 滝沢 武久, 子どもの思考と認知発達, 大日本図書.

[32] 橋田 浩一, 言語能力と一般認知機構, 月刊言語, 22, 4, 1993.

[33] 橋田 浩一, 言語生得説 –チョムスキーをめぐって– 人工知能学会誌, 3, 2, 139-148, 1988.

[34] 針生 悦子, 語の学習の 語の学習における制約(原理)：どこまで生得でどこまで学習か, 認知科学, Vol. 4, No. 1, pp99–111, 1997.

[35] 針生 悦子, 幼児における事物名解釈方略の発達的検討 –相互排他性と文脈の利用をめぐって–, 教育心理学研究, 39, 1, 11-20, 1991.

[36] 錦見 美貴子, 中島 秀之, 橋田 浩一, 言語学習のモデル, 言語, 16, 4, 31-37, 1987.

[37] 錦見 美貴子, 松原 仁, 中島 秀之, 複数の領域間の関係に基づいて概念を獲得するシステム Rhea 人工知能学会誌, 7, 6, 1096-1107, 1992.

[38] 錦見 美貴子, 中島 秀之, 松原 仁, 一般学習機構を用いた言語獲得の計算機モデル 認知科学の発展 –Vol.5 インタフェース,143-185

[39] 錦見 美貴子, 言語を獲得するコンピュータ共立出版, 1998.

[40] 野田 雅子, 乳幼児のことば–その発達と障害の指導–, 大日本図書,1981.

[41] 正高 信夫, 身ふりの行動発達学, 科学,63,8,499-507,1993.

[42] 正高 信夫, くちびるは赤ちゃんの窓である, 月刊言語, 22，4, 1993.

[43] 正高 信男, 声が言葉に変わるとき, 月刊言語, 21, 4, 1992.

[44] 正高 信男(編), 赤ちゃんの認識世界, ミネルヴァ書房,1999

[45] やまだ ようこ, ことばの前のことば–ことばがうまれるみちすじ 1–, 新曜社, 1992.

[46] やまだ ようこ, ことばの始まり, 月刊言語, 22, 4, 1993.

[47] 無藤 隆, ことばを準備するもの, 月刊言語, 22, 4, 1993.

[48] 池上 貴美子, 顔の模倣, 月刊言語, 22, 4, 1993.

[49] 川村 久美子, 知覚からことばへ, 月刊言語, 22, 4, 1993.

[50] 山下 清美, 場所・場面の認識, 月刊言語, 22, 4, 1993.

[51] 茂呂 雄二, 書きことばの使用と言語の発達月刊言語, 21, 4, 1992.

[52] 藤永 保, 養育を受けなかった子どもの言語獲得 –回復した能力と育たなかった能力, 月刊言語, 21, 4, 1992.

[53] 土屋 俊, 認知科学の全体像, 月刊言語, 16, 4, 20-30, 1987.

[54] スティーブン・ピンカー, 原田 かづ子（訳）, 言語への認知的接近, 産業図書, 201-253

[55] スティーブン・ピンカー, 椋田 直子(訳), 言語を生み出す本能(上)(下), NHK ブックス.

[56] Teuvo Kohonen, 徳高 平蔵・岸田 悟・藤村 喜久郎(訳), 自己組織化マップ, シュプリンガー・フェアラーク東京, 1996.

[57] 馬場 則夫, 小島 史男, 小澤 誠一, ニューラルネットの基礎と応用共立出版, 1994.

[58] 中野 馨(監修), 飯沼 一元(編), ニューロンネットグループ+桐谷 滋(著), 入門と実習ニューロコンピュータ, 技術評論社, 1988.

[59] 桐谷 滋(編), ことばの獲得, ミネルヴァ書房, 1999.