

2005 年 1 月 19 日

# 知能型システム論：自己組織化マップ

喜多 一

## 演習

表 1 は

石田編：～若きエンジニア必読のブックガイド～『コンピュータの名著・古典  
100 冊』，インプレス，(2003)

に紹介されている 100 冊の書籍の一覧である．ただし，順序はランダムにシャッフルしてある．この書籍の一覧をより分かりやすくなるように書籍を分類する方法を考えよ．ただし

- 人間が直接書籍を分類するのではなく，機械的に分類を行う方法を考えること．
- 書籍の内容を示す付加的な情報として，表に示したタイトル，著者のほか，例えば本の内容の概要（アブストラクト），本の内容を表すキーワード集，本の目次，などが電子的に可読な形で与えられると想定してよい．

表 1 (その 1)

書名	著者	書名	著者
コンピュータには何ができないか 哲学的 人工知能批判	H.L. ドレイファス	計算機屋かく戦えり	遠藤 諭
詳説正規表現	J.E.F. フリードル	ブルーマジック : IBM ニューマシ ン開発チームの奇跡	J. クポスキー, T. レオンシス
UNIX 原典 AT&T ベル研の UNIX 開発者自身による UNIX 公式解説書	AT&T Bell 研究所 編	構造化プログラミング	E.W. ダイクストラ / C・A・ R・ホーア / O・J・ダール
プログラミング Windows	C. ベゾルド	計算機の歴史 パスカルからノイマン まで	ゴールドスタイン
パソコン創世記	富田倫生	エージェントアプローチ人工知能	S. ラッセル / P. ノーヴィグ
オブジェクト指向スクリプト言語 Ruby	まつもとゆきひろ、石塚圭樹	未来をつくった人々 ゼロックス・パ ロアルト研究所とコンピュータエイジ の黎明	M. ヒルツィック
マッキントッシュ物語 僕らを変えた コンピュータ	S. レヴィー	文芸的プログラミング	D.E. クヌース
ソフトウェア工学 理論と実践	S.L. プリーガー	COMMON LISP	G. L. Jr. スティール
心の社会	M. ミンスキー	プログラミング Perl	L. ウォール / J. オーワント / T. クリティアンセン
プログラミング言語 Java	K. アーノルド / D. ホームズ / J. ゴスリン,	コンパイラ 原理・技法・ツール	A・V・エイホ / R・セシィ / J・D・ウルマン

表 1 (その 2)

書名	著者	書名	著者
わが友 石頭計算機	安野光雅	データベース・システム概論	C. デート
ハッカーズ大辞典	E.S. レイモンド	コンピュータの数学	グラハム / クヌース / パタ シュニック
情報の歴史 象形文字から人工知能ま で	松岡正剛 / 編集工学研究所	デザインパターン改訂版	E. ガンマ / R. ジョンソン / R. ヘルム / J. プリシディーズ
認識と学習	安西祐一郎	UNIX プログラミング環境	B.W. カーニハン / R. バイク
Web の創成 World Wide Web はい かにして生まれどこに向かうのか	T. バーナーズ＝リー	はじめて読むマシン語	村瀬康治
コンパイラの構成と最適化	中田育男	アルゴリズムとデータ構造	N. ヴィルト
欺術 史上最強のハッカーが明かす禁 断の技法	k. ミトニック / W. サイモン	スーパーエンジニアへの道	J.M. ワインバーグ
IBM の息子 トーマス・J・ワトソン・ ジュニア自伝	T・J・ワトソン・ジュニア	コンピュータ史	小田徹
それがぼくには楽しかったから 全世 界を巻き込んだリナックス革命の真実	L. トーバルズ	ハッカーズ	S. レヴィー
CJKV 日中韓越情報処理	K. ランディ	コンピュータ・アーキテクチャ 設計・ 実現・評価の定量的アプローチ	D.A. パターソン / J.L. ヘネ シー
サイバネティックス 動物と機械にお ける制御と通信	N. ウィーナー	アラン・ケイ	A.C. ケイ
ゲーデル、エッシャー、バッハ	D.R. ホフスタッター	UNIX の 1 / 4 世紀	P.H. サリユース
プログラミング原論 いかにしてプロ グラムをつくるか	E.W. ダイクストラ	プログラミング言語 C	B.W. カーニハン / D.M. リッ チャー
プログラミング言語 C++	B・ストラウストラップ	Effective C++	S. メイヤーズ
カッコウはコンピュータに卵を産む	C. ストール	TCP / IP によるネットワーク構築	D.E. コマー

表 1 (その 3)

書名	著者	書名	著者
誰のためのデザイン?	D.A. ノーマン	準数値算法 算術演算	D.E. クヌース
スーパーコンピュータを創った男 世界最速のマシンに賭けたシーモア・クレイの生涯	C.J. マーレイ	珠玉のプログラミング	J. ベントレー
自己増殖オートマトンの理論	J. フォン・ノイマン	ワークステーション原典	Association for Computing Machinery
ピーニング・デジタル	N. ネグロポンテ	誰がコンピュータを発明したか	A.R. パークス / A.W. パークス
実録!天才プログラマー	S. メイヤーズ	TEX ブック コンピュータによる組版システム	D.E. クヌース
思考する機械コンピュータ	D. ヒリス	データベース・システムの原理	J・D・ウルマン
PGP - 暗号メールと電子署名	S. ガーフィンケル	インターネットの起源	K. ハフナー / M. ライアン
メディア論	M. マクルーハン	インサイドインテル	T. ジャクソン
MINIX オペレーティング・システム	A.S. タネンバウム	メディアの興亡	杉山隆男
マイクロソフト ソフトウェア帝国誕生の奇跡	D. イクビア / S.L. ネッパー	オブジェクト指向に強くなる	青山幹雄 / 中谷多哉子
XML と Java による Web アプリケーション開発	丸山 宏 / 浦本直彦 / A. クラーク / 田村健人 / 村田 真	マイクロコンピュータの誕生 わが青春の 4004	嶋 正利
コンピュータグラフィックス 理論と実践	J.D. フォーリーほか	暗号化 プライバシーを救った反乱者たち	S. レヴィー
”OS の基礎と応用 設計から実装,DOS から分散 OS Amoeba まで”	A.S. タネンバウム	コンピュータの構成と設計 ハードウェアとソフトウェアのインタフェース	J.L. ヘネシー / D.A. パターソン
詳説イーサネット	C.E. スパージェン	アルゴリズムの設計と解析	A.V. エイホ
C 言語による最新アルゴリズム事典	奥村晴彦	コンピュータ犯罪	D. パーカー

表 1 (その 4)

書名	著者	書名	著者
UNIX4.3BSD の設計と実装	S.J. リーファー / J.S. クォーターマン / M.J. カレルズ / M.K. マクシック	憂鬱なプログラマのためのオブジェクト指向開発講座	Tucker!
TRON を創る	坂村 健	データ構造とアルゴリズム	大野義夫
コンピュータ・ネットワーク	A.S. タネンバウム	プログラミング作法	B.W. カーニハン / R. パイク
人月の神話 - 狼人間を撃つ銀の弾はない	F. フィリップス-ジュニア・ブルックス	Java 言語で学ぶデザインパターン入門	結城 浩
やさしいコンピュータ科学	A.W. バイアーマン	コンピュータと認知を理解する	T. ウィノグラード
ピープルウェア	T. デマルコ / T. リスター	自然言語処理	長尾 真編
Lions' Commentary on UNIX	J. ライオンズ	計算機プログラムの構造と解釈	J.J. サスマン / J. サスマン / H. アベルソン
情報と符号の理論	宮川 洋, 原島 博, 今井 秀樹	トランザクション処理 概念と技法	J. グレイ / A. ロイター
生きのびるためのデザイン	V. パパネック	フリーソフトウェアと自由な社会	R.S. ストールマン
いかにして問題をとくか	G・ポリヤ	UNIX ネットワークプログラミング	W.R. スティーブンス

# 1 自己組織化マップの構成と動作

T. Kohonen により提案された自己組織化マップ (Self-Organizing Map, SOM) は図 1 のような 2 層構造をもつニューラルネットワークである．出力ユニットは通常，図 2 のように 1 次元あるいは 2 次元格子に配列される．

入力  $x$  が与えられた場合，SOM は以下のように動作する：

1. 入力層には入力信号  $x$  がそのまま出力される．
2. 出力層の各ユニット  $i$  には入力信号と同じ次元の結合重み  $w_i$  をもち，入力信号との差のノルム  $\|x - w_i\|$  が計算される．
3. すべての出力層ユニットのうち，入力信号に最も近い結合重みを持つユニット  $c$  のみが出力 1 を，他のユニットは 0 を出力する．すなわち

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{if } i = c = \arg \min_j \|x - w_j\| \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

このような動作は出力層内の各ユニットが入力への適合度を巡って競合し，その勝者  $c$  のみが出力を出すものであることから Winner-Take-All 動作と呼ばれる．

すなわち，SOM は入力信号の各ユニットの重みへの近さを基準に入力信号をユニット数だけの種類に分類するネットワークである．

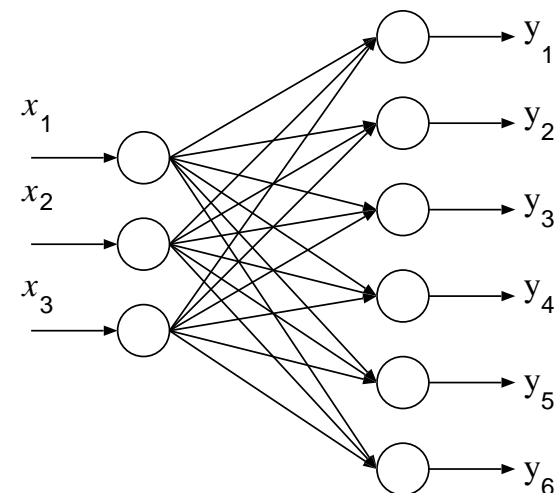


図 1 自己組織化マップの構成

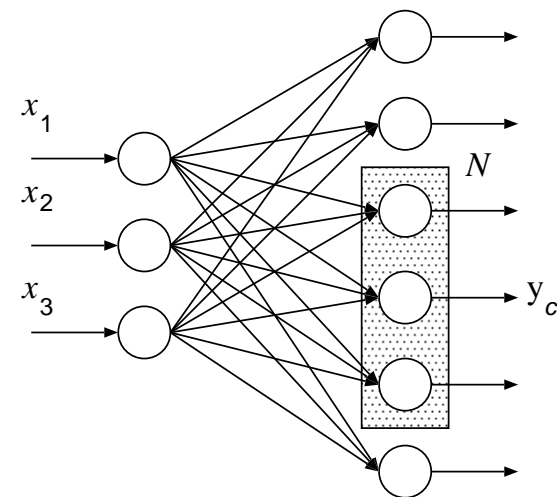


図 2 SOM のユニット配列と近傍系 (1 次元)

## 2 自己組織化マップの学習

Kohonen は SOM が入力信号間の相互の類似関係を格子状に配列したユニット間の近接関係に反映しつつ，入力信号の分類を自律的に学習する教師無し学習法を提案している．

### 2.1 ユニットの近傍系

SOM の学習では入力信号間の相互の類似関係を格子状に配列したユニット間の近接関係に反映するために，あるユニットに対して，その近傍にあるユニットというものを考える．すなわち，ユニットの格子状の配列を反映してユニット  $i$  に対してその近傍のユニット  $N(i, t)$  を定義する．ただし， $t$  は学習回数であり，近傍の大きさは学習初期には出力層の半分程度を覆う大きなものとし，学習の進展に伴って徐々に小さくしてゆく．

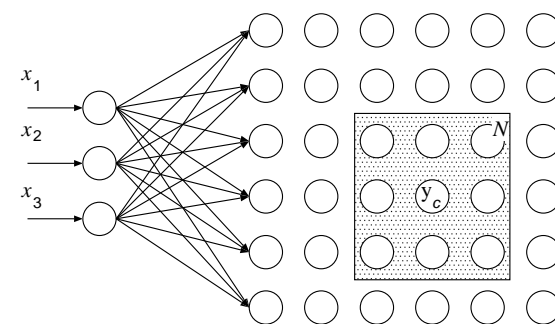


図3 SOMのユニット配列と近傍系(2次元)

## 2.2 学習の基本的考え方

SOM の学習の基本的な考え方は

競合の勝者となったユニットについて，その結合重みを入力信号に近づける

というものである．図 3 参照．すなわち

$$\mathbf{w}_c^{\text{NEW}} = \alpha(t)\mathbf{x} + (1 - \alpha)\mathbf{w}_c^{\text{OLD}} \quad \text{for } c = \arg \min_j \|\mathbf{x} - \mathbf{w}_j\|$$

とする．ここで  $\alpha(t)$  は学習係数と呼ばれる正数であり，学習回数に従い徐々に小さくする（例えば  $1/t$  に比例させる）．

しかしながら，これだけでは勝者ユニットが学習するだけで，入力類似性が出力の近傍構造に反映されない．そこで，SOM では学習を勝者ユニットの近傍に拡張し，

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_i^{\text{NEW}} &= \alpha(t)\mathbf{x} + (1 - \alpha(t))\mathbf{w}_i^{\text{OLD}} \quad \text{for } i \in N(c, t) \\ &= \mathbf{w}_i^{\text{OLD}} \quad \text{otherwise} \end{aligned} \quad (1)$$

とする．

## 2.3 学習アルゴリズム

SOM の学習アルゴリズムのプロトタイプは以下のようなものである

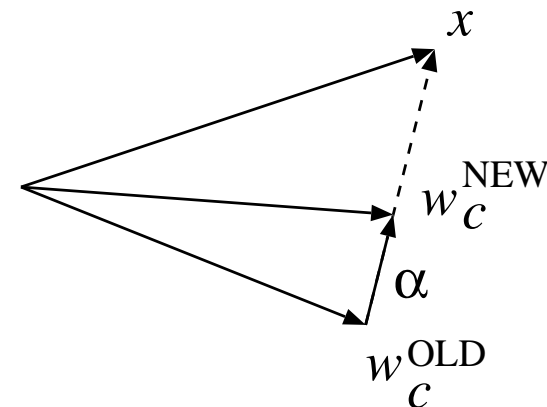


図 4 勝者ユニットの学習



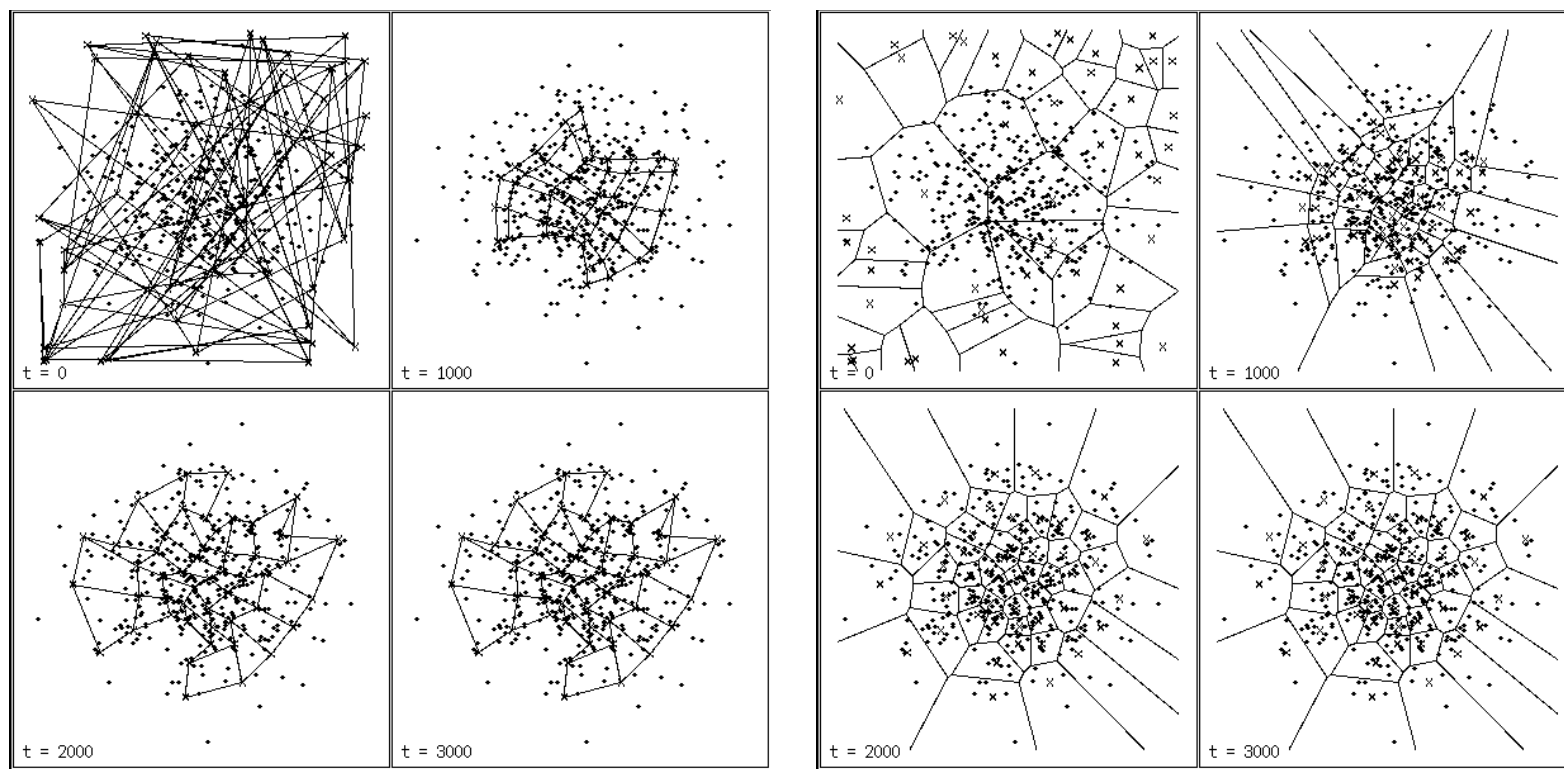
1. 結合重みをランダムなものに初期化する .
2.  $t = 0$  とする .
3. 入力パターン群から一つパターン  $x_1^p$  を取り出し , 入力層に設定する . (パターン群から順次走査する , あるいはランダムに取り出す .)
4. 勝者ユニット  $c = \arg \min_j \|x^p - w_j\|$  を求める .
5. 勝者ユニットの近傍ユニットに対して重みの更新を行う :

$$w_i^{\text{NEW}} = \alpha(t)x + (1 - \alpha(t))w_i^{\text{OLD}} \quad \text{for } i \in N(c, t)$$

6.  $t = t + 1$  とする .
7. ステップ 3. にもどる .

## 2.4 学習例

データ：2次元の正規分布に従う．SOM: 2次元配列



ユニットの配列

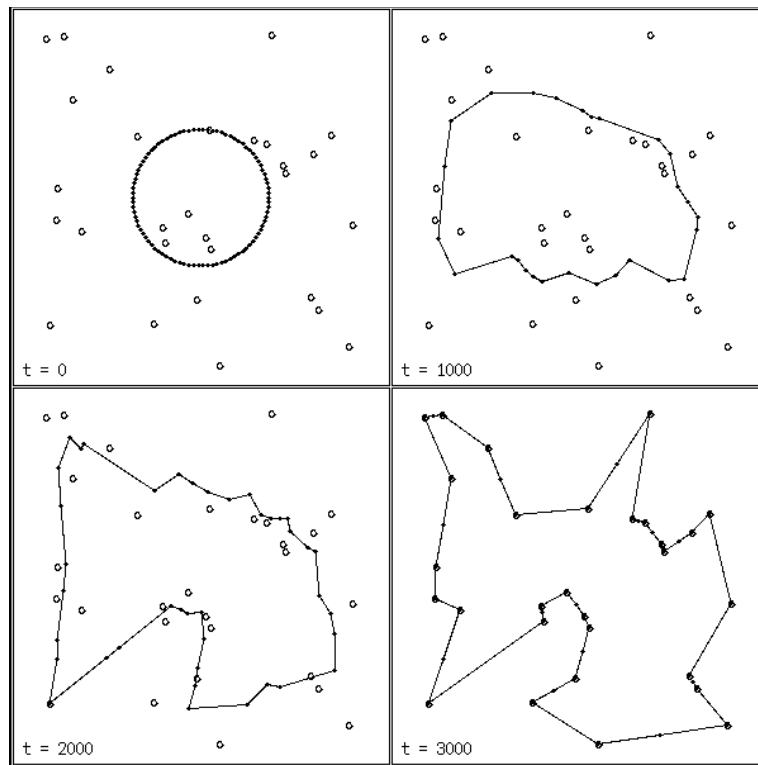
ユニットの発火域

西川・北村：ニューラルネットと計測制御，朝倉書店，1995 より引用

### 3 SOM の応用

#### 3.1 巡回セールスマン問題への応用例

- データ：各都市の位置
- SOM: 1次元円環状



西川・北村：ニューラルネットと計測制御，朝倉書店，1995 より引用

## 3.2 その他の応用

SOM は多次元のデータの可視化などに用いられる．例えば，では Yin は SOM に可視化のための改良を施した ViSOM を用いて英国の大学について教育や研究など 7 種類の指標データの可視化を行っている．また Ritter と Kohonen は言語的な情報処理の例として文脈情報から単語を位置付けるセマンティックマップの例を示しており，Honkela らは，これを利用して電子ニュースなど，電子化された文書群の可視化を行う WEBSOM を提案している．

## 参考文献

- [1] T. Kohonen: Self-organization and Associative Memory, 3rd ed., Springer (1989)
- [2] H.Ritter and T. Kohonen: Self-organizing Semantic Map, *Biological Cybernetics*, Vol 61, pp. 241-254 (1989)
- [3] T. Honkela et al.: WEBSOM—self-organizing maps of document collection, *Proc. WSOM'97*, pp. 310-315 (1997)
- [4] H. Yin: Data visualization and manifold mapping using the ViSOM, *Neural Networks*, Vol. 15, pp. 1005-1016 (2002).