神経回路システム特論

総合理工学研究科　小杉幸夫

講義内容

- Introduction
- 神経生理学的背景
- 生体内の情報処理モデル
- 教師付学習モデル
- 教師ナシ学習モデルと自己組織化
- ニューラルネットワークの医用応用
- ニューラルネットワークの実現と Neuroethology

Chap.1
Introduction

理解

・適応・学習能力
・(超) 並列性
・積和を主体とした
(準) アナログ演算
・処理方式が結線
構造に依存

ニューラル
ネットワーク

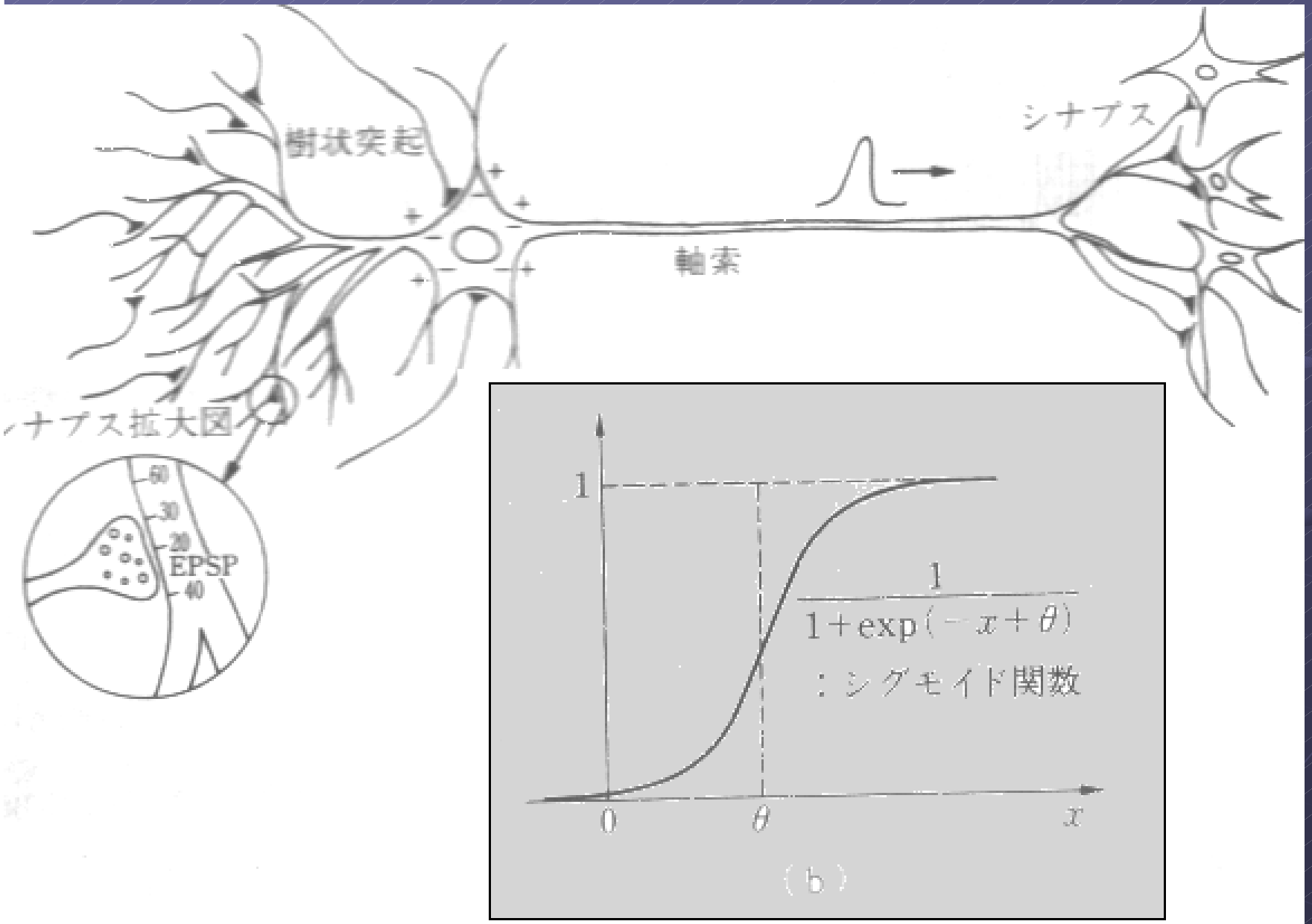
・新しいアーキテクチャ
・学習方式
などのアイディア

計算機
(ノイマン型)

ヒトの脳とコンピュータ

非ノイマン処理の原動力は？

- 日常我々が使っているパソコンなど、いわゆる「ノイマン型コンピュータ」では、次に何をするかという指示はプログラムで与えられる．
- ヒトの脳が司る本能的行動では、生物学的に有利な行動に対して扁桃体を中心とした大脳辺縁系が自己報酬を与える．
- ヒトの高次処理では、自発的に処理を進めていくための原動力、情報処理の基本原理が必要である．その原理は生体内で実現可能なシンプルなものある．


樹状突起
シナプス
軸索
シナプス拡大図
60
30
20
EPSP
40
1
$\frac{1}{1+\exp(-x+\theta)}$
：シグモイド関数
0
θ
x
（b）

ニューラルネットワークの特徴

- Parallel processing
- Calculation of the summation of weighted inputs
- (Non-linear operation with threshold operation)
- Weight plasticity
- Knowledge stored in distributed memory
- Parameter update based on energy function

Table　ニューラルネットワークの主要な機能

Mapping

Sorting (mapping to discrete space) ; to be applied for pattern recognition

supervised: perceptron, BP on multi-layer perceptron, LVQ

unsupervised: feature map, ART, neocognitron

Transformation (mapping to continuous space) ／function approximation

forward transformation : BP, feature map

inverse transform. :network inversion, bidirectional feature map

Optimization: Hopfield net, elastic network

Pattern Retrieval/ Compensation: associative memory, deconvolution

(biological model) : motion pattern generation, sensor fusion, recognition

表1．4　ニュートラルネット研究の歴史

年代	素子レベル	層状ネット	相互結合型ネット
1940	MPモデル： McCulloch－Pitts (1943) Hebb学習(1949)		
1950		パーセプトロン： Rosenblatt(1957)	
1960	Caianiello モデル (1961)		学習行列：Steinbuch(1961)
		最急降下による多層ネットの学習：Amari(1967)	Neural Holography：
		パーセプトロン批判 Minsky(1969)	Longuet－Higgins(1968)、Westlake(1970)
1970		小脳皮質モデル： Marr (1969)， Albus (1971)	
			アソシアトロン：Nakano(1972) Correlation Matrix Memories：Kohonen(1972)
		競合学習：Arbib, Amari(1975－1977) ネオコグニトロン： Fukushima(1979)	
1980			Hopfieldモデル(1982)
		Feature map：Kohonen(1984) シミュレーテッド・アニーリング， ボルツマンマシン： Kirkpatrick(1984)， Hinton(1984) ART： Grossberg(1976－1986)	
		PDP／誤差逆伝搬法(BP ： Rumelhart(1986)	

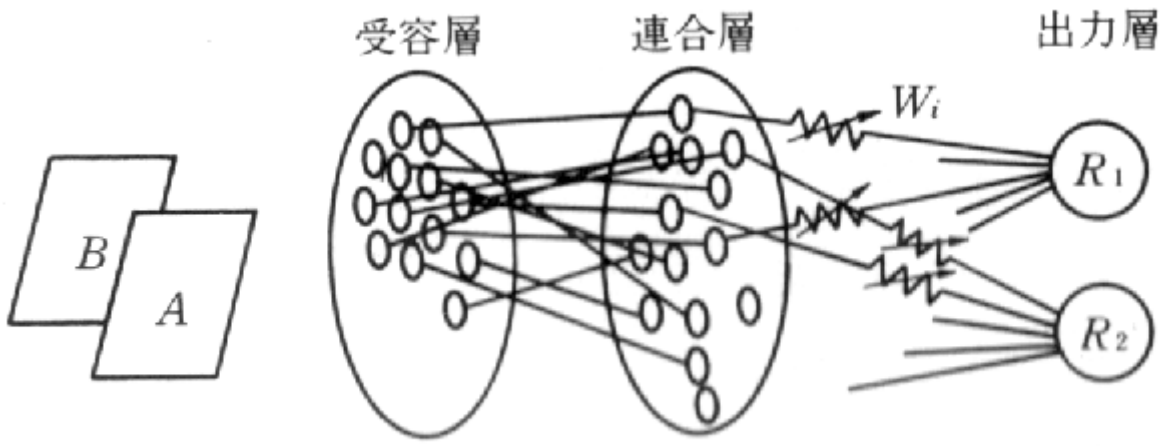


図 1-2　パーセプトロンの模式図

7)

単純パーセプトロンの学習則（固定増分法）

$\mathbf{Y}_k \cdot \mathbf{W}_k > 0$ then $\mathbf{W}_{k+1} = \mathbf{W}_k$

$\mathbf{Y}_k \cdot \mathbf{W}_k < 0$ then $\mathbf{W}_{k+1} = \mathbf{W}_k + c\mathbf{Y}_k$

単純パーセプトロンの限界

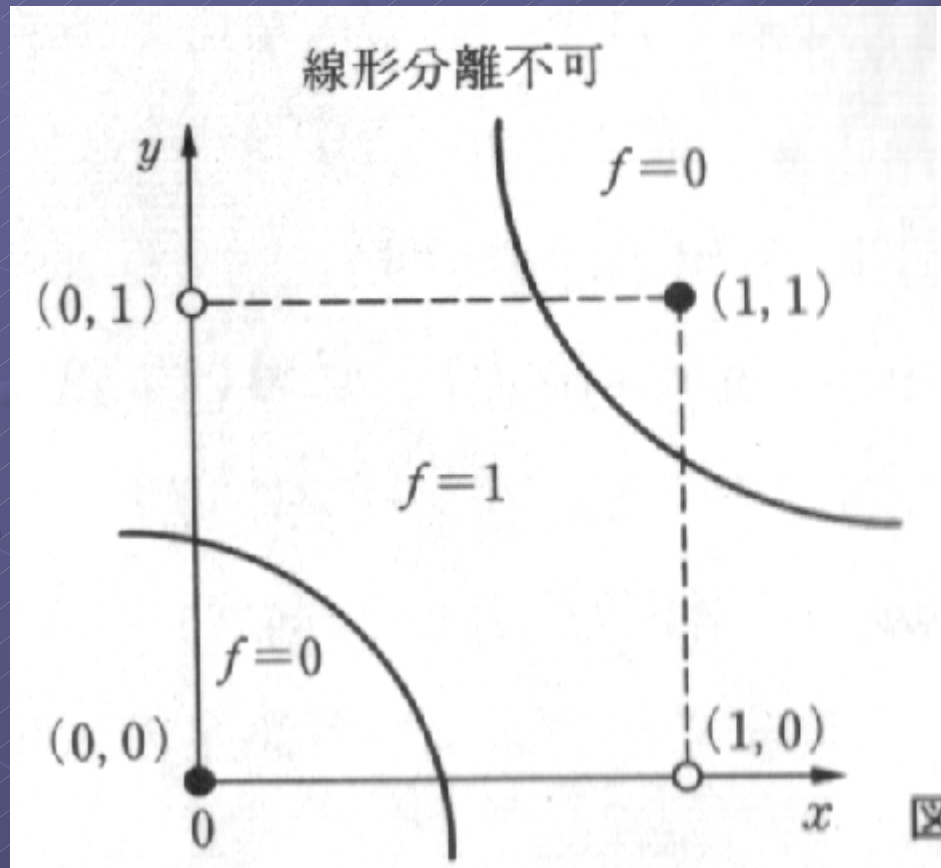
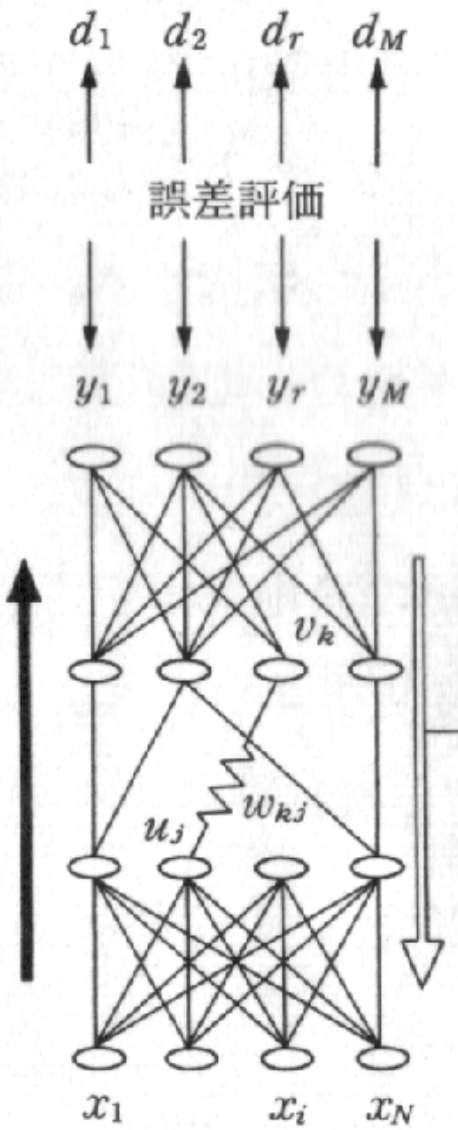


図 4.4　XOR 問題のパターン空間

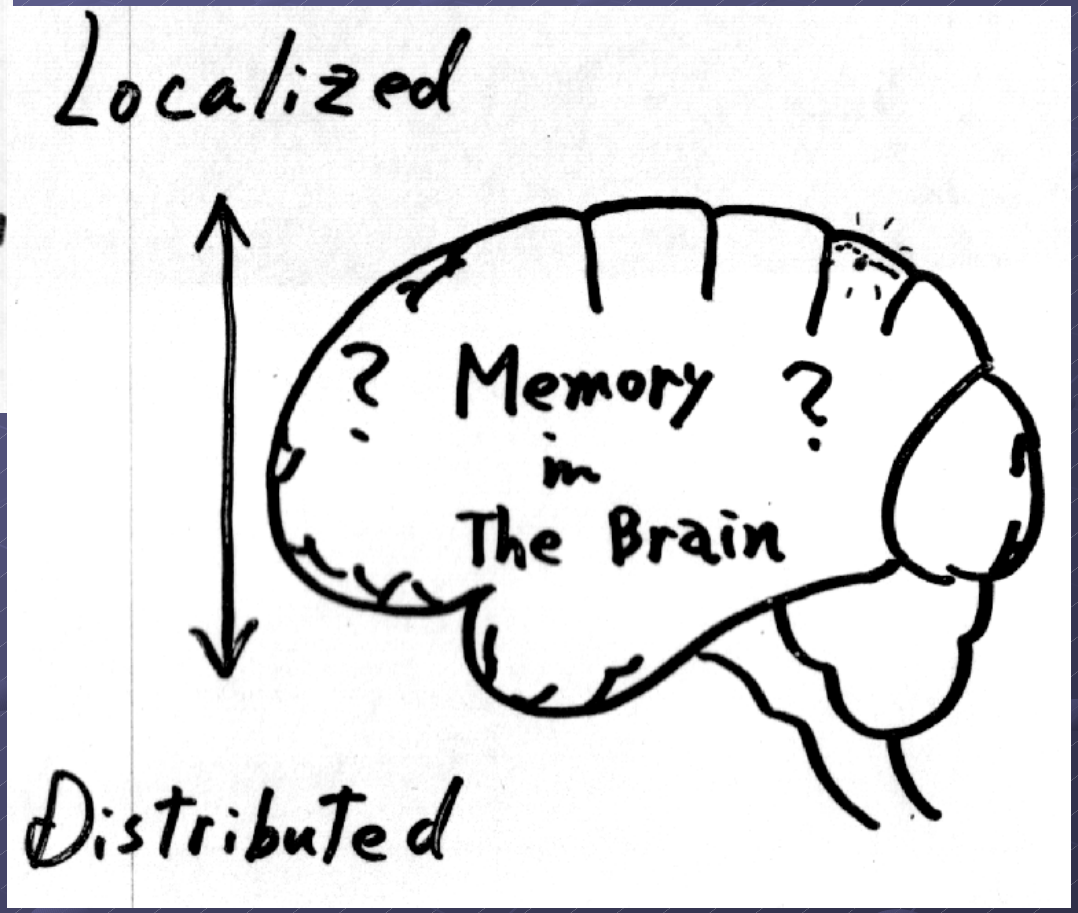


$$w_{rk}(t+1)=w_{rk}(t)+\eta\delta_r v_k;\ \delta_r=y_r(1-y_r)(d_r-y_r)$$

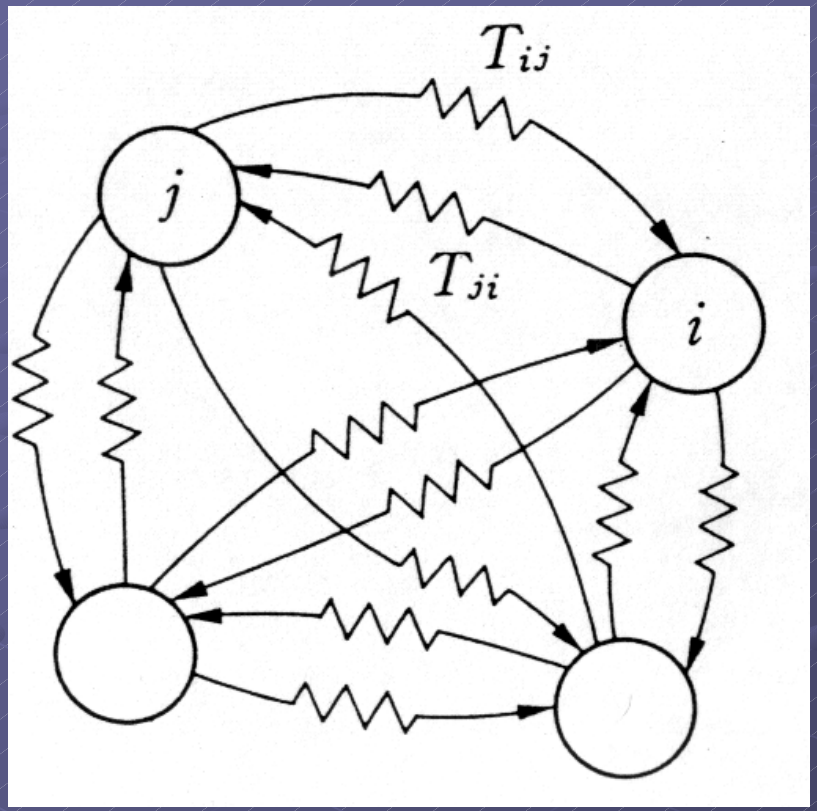
$$w_{kj}(t+1)=w_{kj}(t)+\eta\delta_k u_j;\ \delta_k=v_k(1-v_k)\Sigma\,\delta_r w_{rk}$$

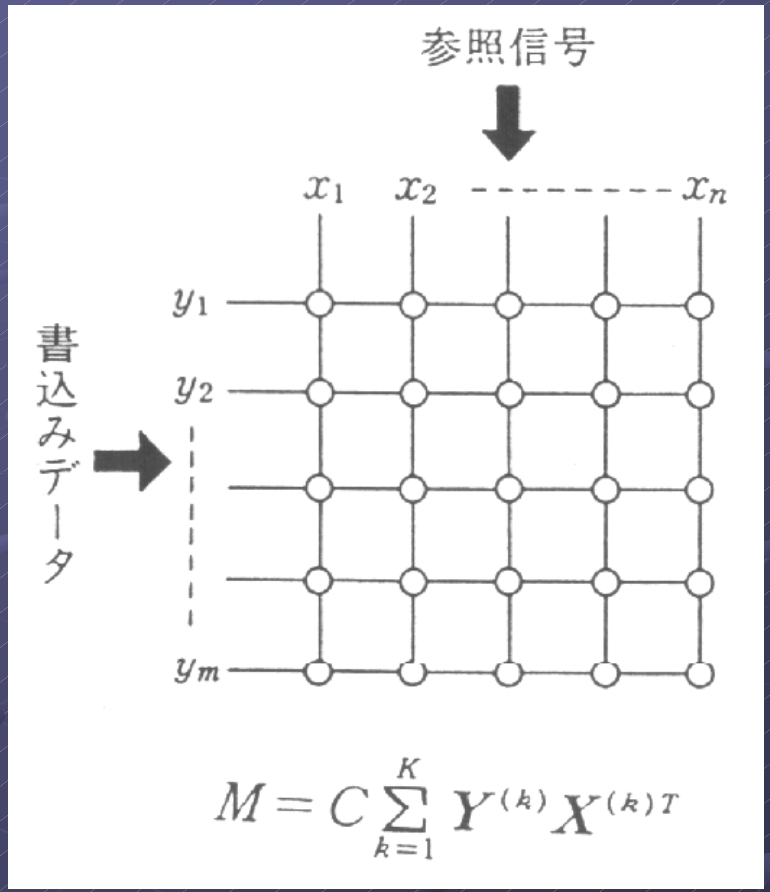
$$w_{ji}(t+1)=w_{ji}(t)+\eta\delta_j x_i;\ \delta_j=u_j(1-u_j)\Sigma\,\delta_k w_{kj}$$

図 4.5　誤差逆伝搬法による荷重修正


Localized
? Memory ?
in
The Brain
Distributed

$$E = -(1/2)\sum_i\sum_j T_{ij}V_iV_j + \theta\sum_i T_iV_i$$





Hopfield の全結合型ネットワーク
(1982)
・・・動的連想記憶モデル

Steinbuchの学習行列
(1961)
・・・静的連想記憶モデル

表1 生体と人工の対応

	生体の神経回路システム	人工の神経回路システム
細胞レベル	神経細胞	neuron
機能ブロック	神経節（核）	neural net
	皮質内column／領野	
個体	人間，ネズミ，ゴキブリ	(AI)
社会システム	村落，会社，政党，国家，経済圏， 地球	

表1.1　　両システムの差異

	生体内の神経ｼｽﾃﾑ	人工ニューラルネット
信号の表現	主としてパルス頻度	{0,1}, {±1}, アナログ値
シナプス表現	excitatory transmitter	正の荷重
	inhibitory transmitter	負の荷重
シナプス遅延	ms オーダ	μsオーダ（平均的なWS）
ネットに含まれる素子の種類	少なくとも数種類	通常1種類
素子間接続の対称性	ない	Hopfieldモデルでは必須
回路の冗長性	大	associative memory 以外では小
ロバスト性	大	同上
存在の原理	合目的性 [zweckmassig]	効率 / cost
主たる研究方法	analytic	synthetic
具体的手法	微小電極法、 HRP法 etc.	modeling, simulation, mathematical

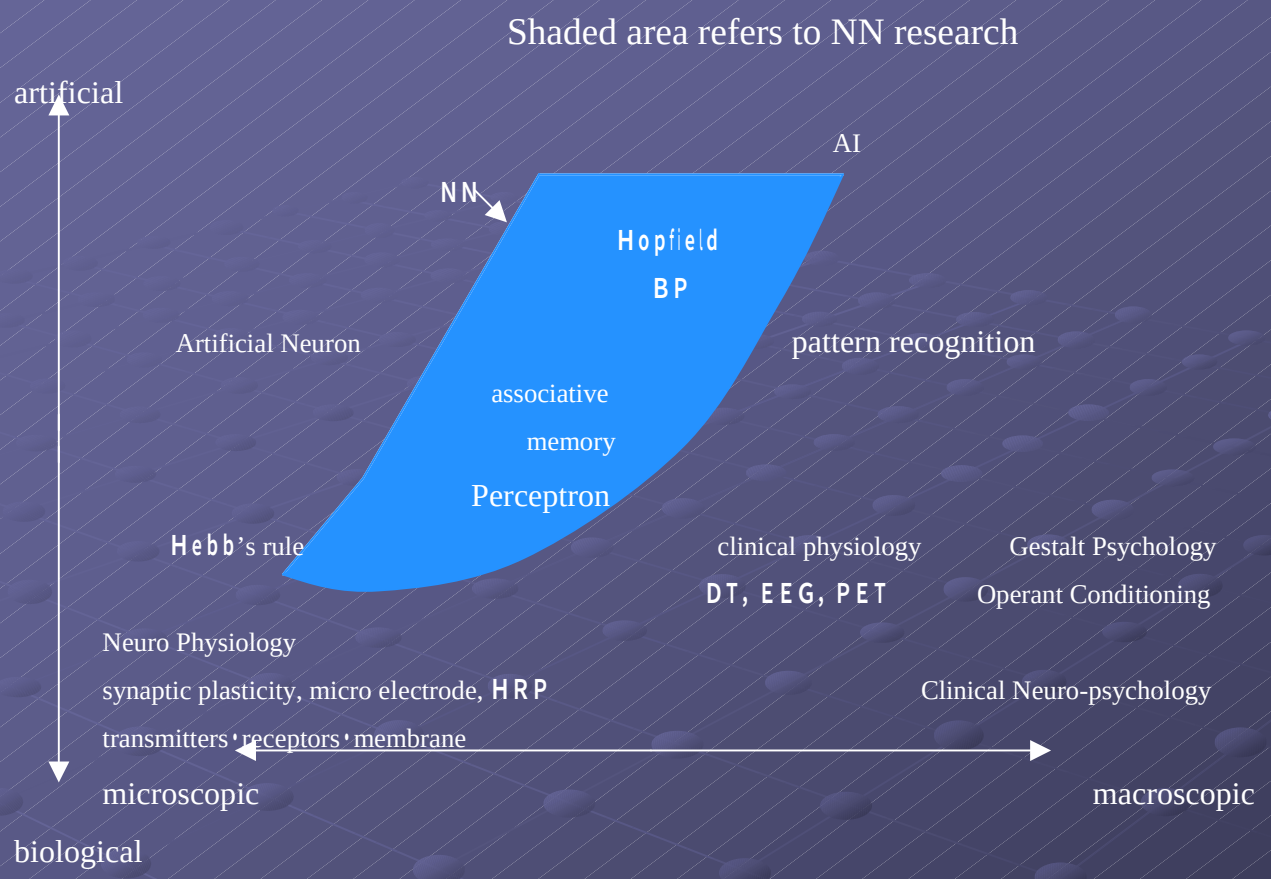


Fig. Related Research Field of Neural Network Research

参考図書

- J.Dayhoff: Neural Network Architecture, Van Nostrand Reinhodl(1990)
- T.Kohonen: Self Organization and Associative Memory, Springer (1984)
- S.Haykin: Neural Networks, Macmillan(1994)
- R.F.Schmidt et al.：Human Physiology 2nd Ed., Springer (1987)
- 小杉幸夫：神経回路システム、コロナ社（１９９５）
- 小杉、武者：生体情報工学、森北出版（２０００）
- 小杉、小谷、武者：脳型情報処理、森北出版（２００６）