

神経回路網特論

第4回 脳内における視覚情報処理 (1)

伊達 章

2007年5月7日

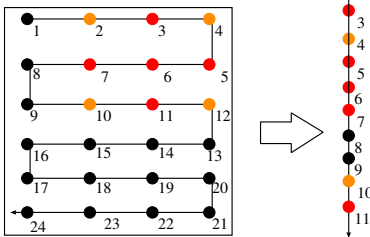
本日の講義

- 大脳における視覚情報の流れ (網膜 外側膝状体 第1次視覚野)
- 第1次視覚野のニューロンの反応選択性
(D. Hubel & T. Wiesel ノーベル生理学医学賞 1981)
 - ー 大脳皮質の機能地図 (位置選択性, 方位選択性, 眼優位性)
- 研究手法の発展 (単一の神経細胞の活動を記録, 光学計測)
- 自己組織化の数値モデル

1

2

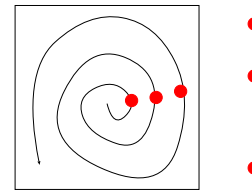
高次元情報の低次元空間への埋め込み



例: 6の周りの隣接関係が壊れている

3

高次元情報の低次元空間への埋め込み



例: 埋め込み方はいろいろある
なるべく元の構造を壊さずに埋め込むにはどうしたらいいか

4

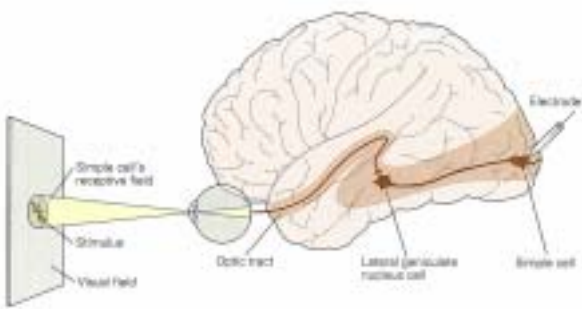


5

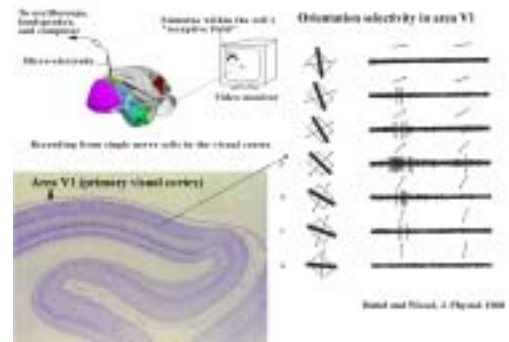
神経細胞の反応選択性: 計測の手順

- 電極をさしこむ
- 受容野 (領域・位置) の確定
 - ・ 神経細胞が応答する視野の領域.
 - ・ その領域に視覚刺激が入力されるときにのみ反応する.
 - ・ 個々の神経細胞により受容野は異なる.
- 最適刺激
反応を引き起こす視覚刺激のうち, 最大の反応を引き起こさせるもの

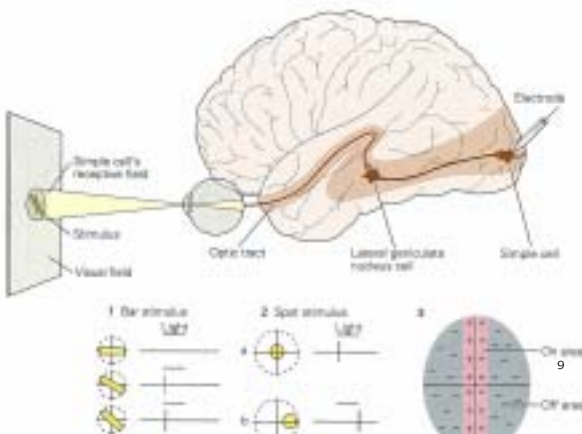
6



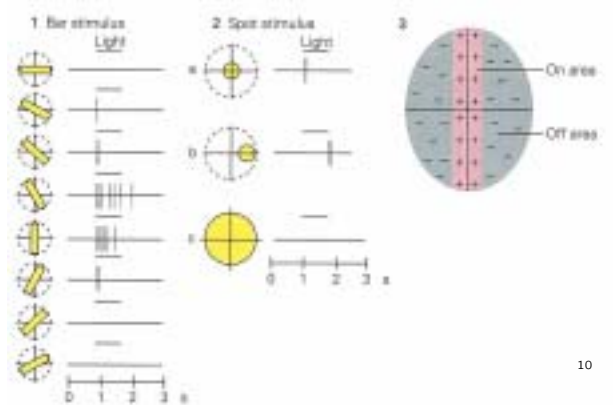
7



8

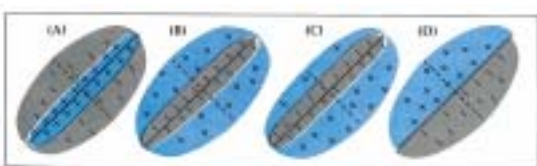


9



10

輪郭抽出？ 単純型細胞の受容野（ネコ 17野）



8 RECEPTIVE FIELDS OF SIMPLE CELLS in cat striate cortex. In practice all possible orientations are observed for each type of field. The optimal stimuli are: for (A), a narrow slit for both of light in the center; for (B) and (C), a dark bar; and for (D), an edge with dark on the right. Considerable asymmetry can be present, as in (C). (Albini Hubel and Wiesel, 1962.)

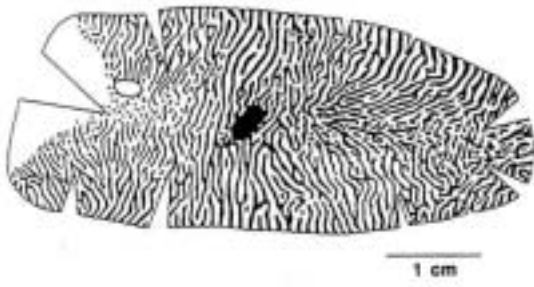
11

本日の講義

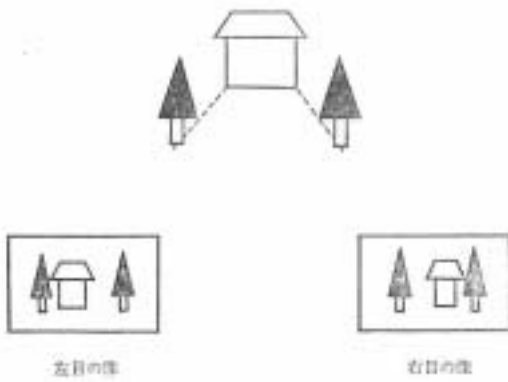
- 大脳における視覚情報の流れ（網膜 外側膝状体 第1次視覚野）
- 第1次視覚野のニューロンの反応選択性
(D. Hubel & T. Wiesel ノーベル生理学医学賞 1981)
— 大脳皮質の機能地図（機能円柱：位置選択性, 方位選択性, 眼優位性）
- 研究手法の発展（単一の神経細胞の活動を記録, 光学計測）
- 自己組織化の数値モデル

12

眼優位性



両眼立体視, 視差, 対応点探索



左目の像

右目の像

図 7.2 立体視における左右両眼の視差

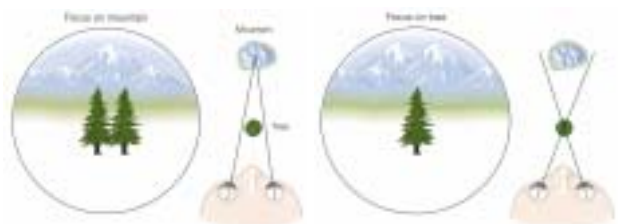
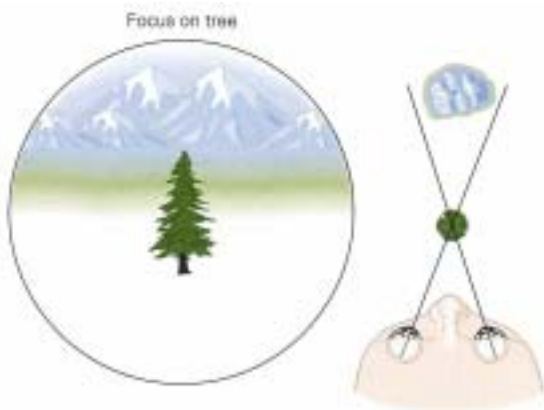
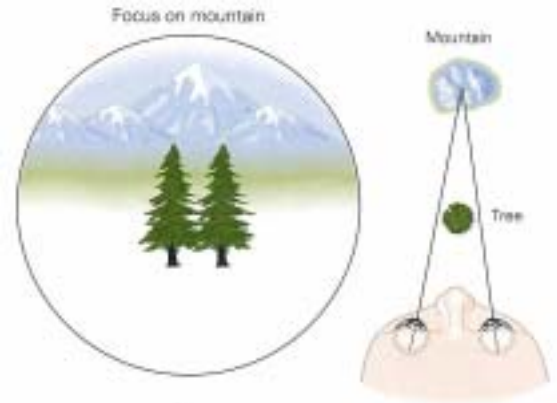
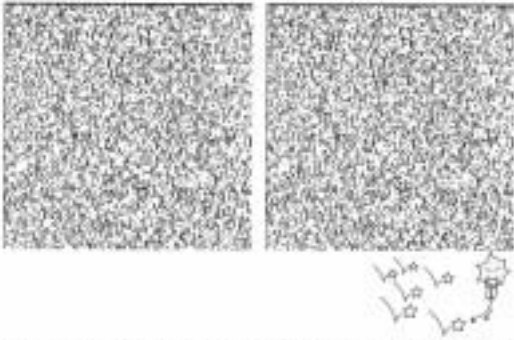
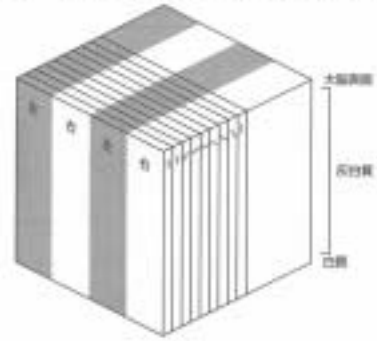


図 3.20 何が見える？—ランダムドットステレオグラム



無数の線の中には、浮かび上がってくる線の輪郭はまったく読めることができない。それにもかかわらず、立体的な図柄が見えるのは、脳が自動的に左目の線の中から対応する点を見つけて出しているからである。

図 3.18 ヒューベルとウィーゼルの提唱した大脳視覚野のコラム構造



大脳の一次視覚野には、縦優位性コラムや方位選択性コラムが整然と配列されている。視覚野に電極を斜めに刺入していくと、右目への刺激によく応答するニューロン群と、左目によく応答するニューロン群が交互に現れる。方位選択性も、図中の小さな棒で示すようにだんだんと角度を変えていく。ヒューベルとウィーゼルは、このような機能円柱が筒のようにモザイク状に配列され、ハイパーコラムが形づく

機能円柱

- 線分の角度 (1次元)
- 左右どちらの眼からか (1次元)
- 位置 (2次元)
 - トポグラフィックマップ
- 色
 - 少なくとも4次元情報を2次元に表現する必要がある

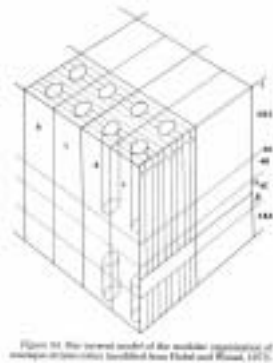
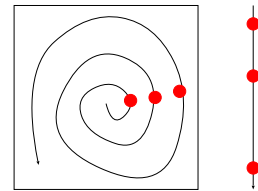


Figure 3.19 The spatial organization of neurons in the visual cortex.

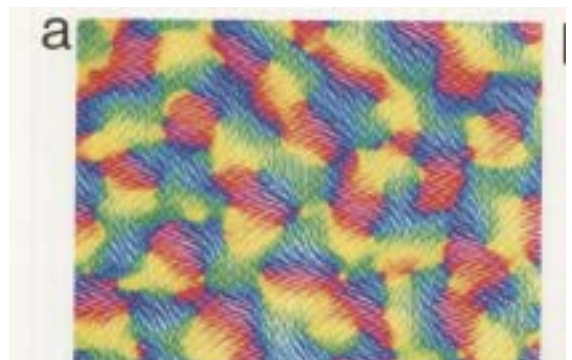
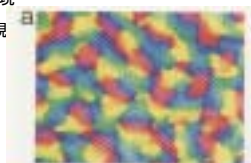
高次元情報の低次元空間への埋め込み



例：埋め込み方はいろいろある
なるべく元の構造を壊さずに埋め込むにはどうしたらいいか

講義のテーマ

- 全体を通してのテーマ：情報表現と計算
- 前回までのテーマ：高次元信号の2次元表現
 - 大脳皮質の機能地図 (一次視覚野の情報表現)
 - 受容野の位置 (視野内のどの位置)
 - 方向選択性 (線分の方向)
 - 眼優位性 (左右どちらか)
 - 自己組織化マップ (数理モデル)



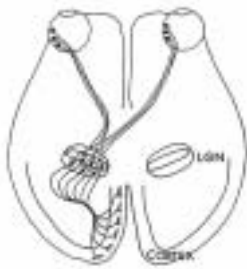
講義のテーマ

- 全体を通してのテーマ
 - 情報表現と計算
- 今回のテーマ 前回の続き
 - 高次元信号の低次元表現
自己組織化マップ (数理モデル)

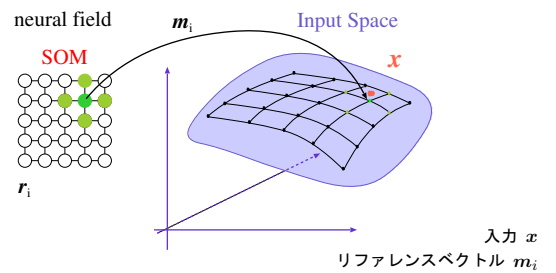
概要

- Kohonen の自己組織化マップ (SOM)
- 高次元信号空間におけるマップのうねり
- マップの拡大率
- ニューラルガス
- 主成分分析と SOM
- Hebb 側と条件反射

神経系の自己組織化：トポグラフィックマッピング



自己組織化マップ SOM



モデルに必要な仕掛け

- 目的： 入力信号空間とノード配列の間のトポジカルなマップ形成

$$f: x \rightarrow r_c \quad (\text{入力信号} \rightarrow \text{ノード})$$
- 手段： 参照ベクトルを変化させることにより写像 f を変える (学習)
- トポジカルなマップとは：
 - 1つの入力 x に対し、1つのノードが対応
 - 1つのノードに対し、信号空間内の1つの領域が対応
 - 隣り合うノードに対応する領域は、おおむね、信号空間内でも隣り合う

SOM の学習アルゴリズム：近傍学習

- 1) 参照ベクトル m_1, m_2, \dots の初期化
- 2) 入力信号 x を選ぶ
- 3) 勝者 c を計算

$$c = \underset{i}{\operatorname{argmin}} \|x - m_i\| \quad (1)$$

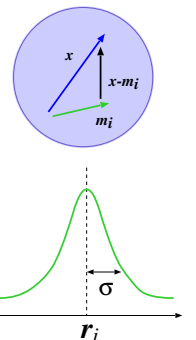
- 4) 参照ベクトル m_1, m_2, \dots の学習

$$\Delta m_i = \alpha(x - m_i)h_{ci} \quad (2)$$

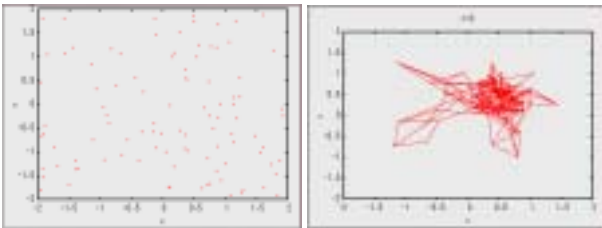
$$h_{ci} = \exp\left(-\frac{\|r_c - r_i\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

$r_i \dots i$ 番目の素子の配列上 (神経場) での位置
 $\alpha \dots$ 学習の強さを表す正の定数

- 5) 2) に戻って繰り返す。

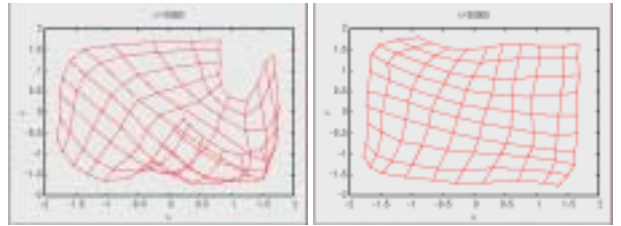


シミュレーション：2次元から2次元

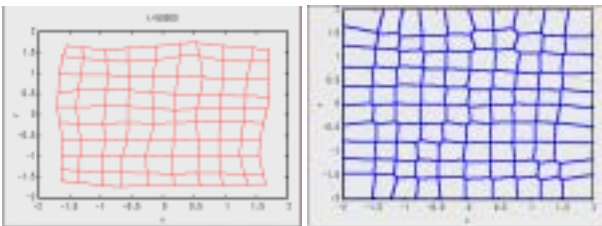


左：入力信号の例（一様分布），右：各素子をもつ参照ベクトルの初期値

学習過程



学習後の参照ベクトルとボロノイ図



課題2

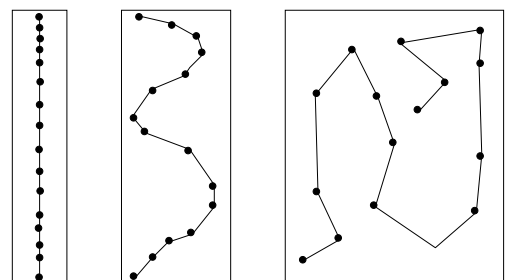
- 目的：自己組織が行われる様子を味わう
- 具体的内容：自由. 例えば
 - － 入力信号の分布（形や密度）をいろいろ変えて試す
 - － SOM の次元を変える
 - － 拡大率を調べてみる. 1次元 SOM なら理論と合っているどうか調べる
 - － 学習の途中で、いくつかの素子（例えば半分）を消去してみる
 - － 何か自分の研究で使っているデータがあれば、入力してみる
- 提出物：プログラムとレポート：脳の働きがこのモデルでどのくらいイメージできたか

今日の概要

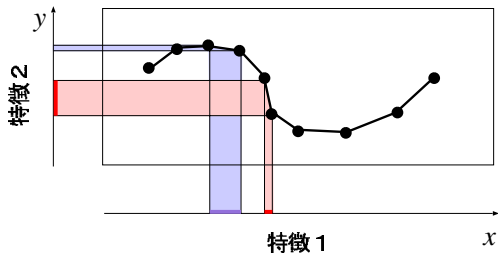
- トポグラフィックマップ
- Hebb 側と条件反射
- Kohonen の自己組織化マップ (SOM)
- 高次元信号空間におけるマップのうねり
- マップの拡大率
- ニューラルガス
- 主成分分析と SOM

信号空間の形とマップ（参照ベクトル）のうねり方

信号空間：2次元 神経場：1次元



マップのうねりと特徴の相補的な変化



37

今日の概要

- トポグラフィックマップ
- Hebb 側と条件反射
- Kohonen の自己組織化マップ (SOM)
- 高次元信号空間におけるマップのうねり
- マップの拡大率
- ニューラルガス
- 主成分分析と SOM

38

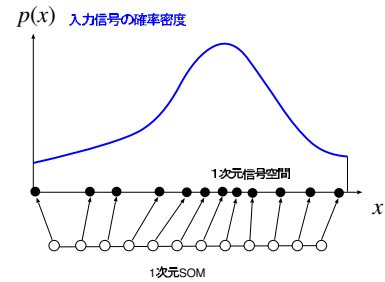
- 拡大率：体性感覚野のマップ



39

入力信号の分布と参照ベクトルの分布

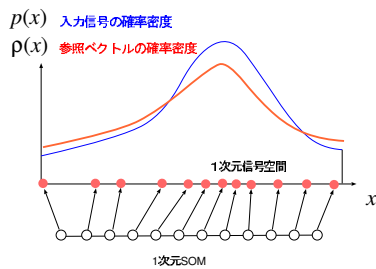
信号空間：1次元 神経場：1次元



40

入力信号の分布と参照ベクトルの分布

信号空間：1次元 神経場：1次元



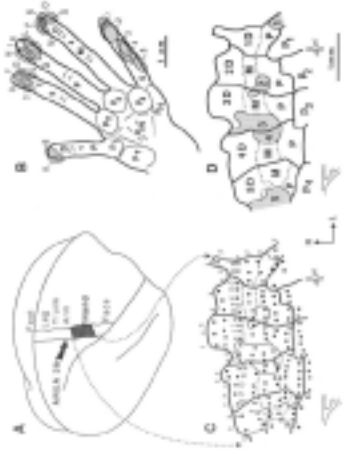
41

- 雑談：指の隣が目？

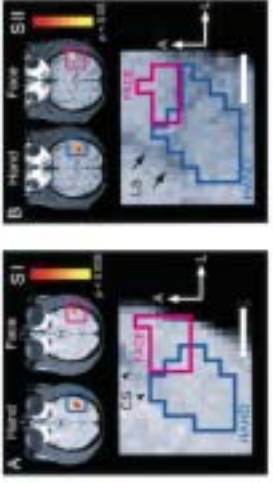


日本学術会議 おもしろ情報館
http://www.scj.go.jp/omoshiro/

42



Jenkins et al. (1990)

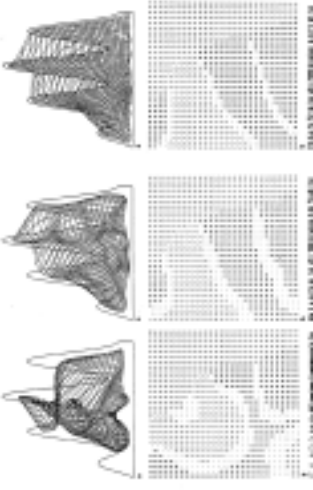


Hayashi et al. (1999)

- 仮説 Farah (1998)



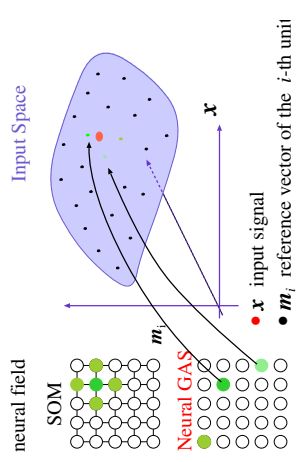
- SOM による自己組織 Ritter & Schulten (1986)

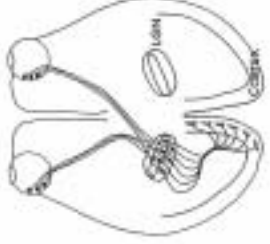


今日の概要

- トポグラフィックマップ
- Hebb側と条件反射
- Kohonen の自己組織化マップ (SOM)
- 高次元信号空間におけるマップのうねり
- マップの拡大率
- ニューラルガス
- 主成分分析と SOM

ニューラルガス





55

56

SOM と ICA (独立成分分析)

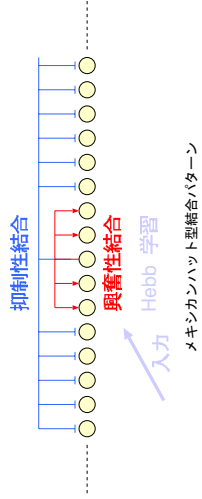
PCA (主成分分析) と ICA

- 関係がある。

生理学的説明

1つの入力に対し1つの勝者が選ばれて近傍学習が起きるという仮定

1. ある程度離れた2つの細胞は競合により同時に興奮することができない
2. 近くの細胞は協調によって同時に興奮しようとする



メキシカンハット型結合パターン

57

Hebb 則



59

Hebb 則



58