

神経回路網特論

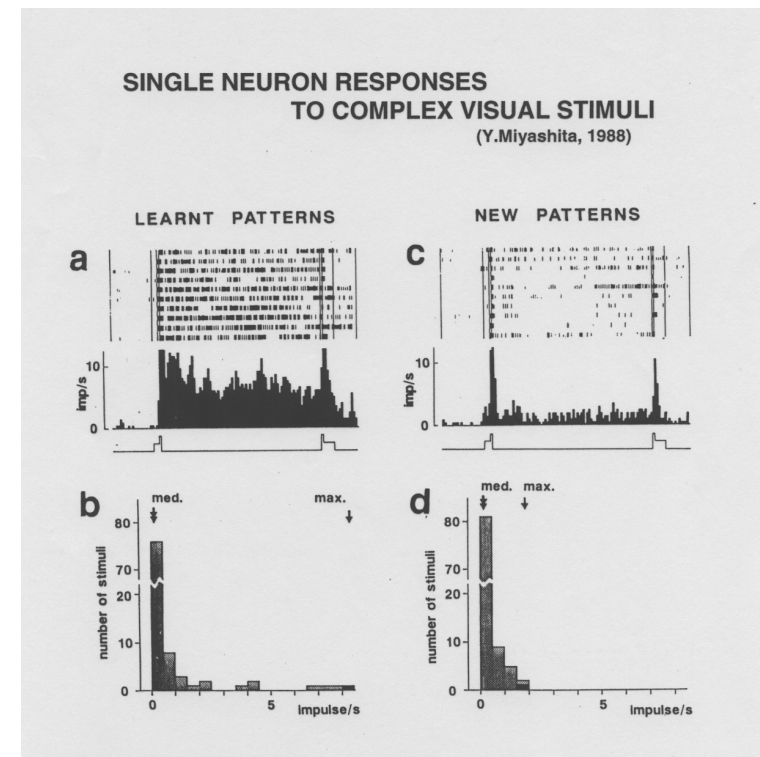
第6回 連想記憶モデルのダイナミックス

伊達 章

2005年5月19日

講義のテーマ

- 全体を通してのテーマ：
情報表現と計算
- 前回のテーマ：
短期記憶の表現：ニューロンの反応選択性
 - ・ 長期記憶の短期表現：スパース表現
 - ・ 長期記憶にないものの短期表現
 - ・ 表現の時間効果



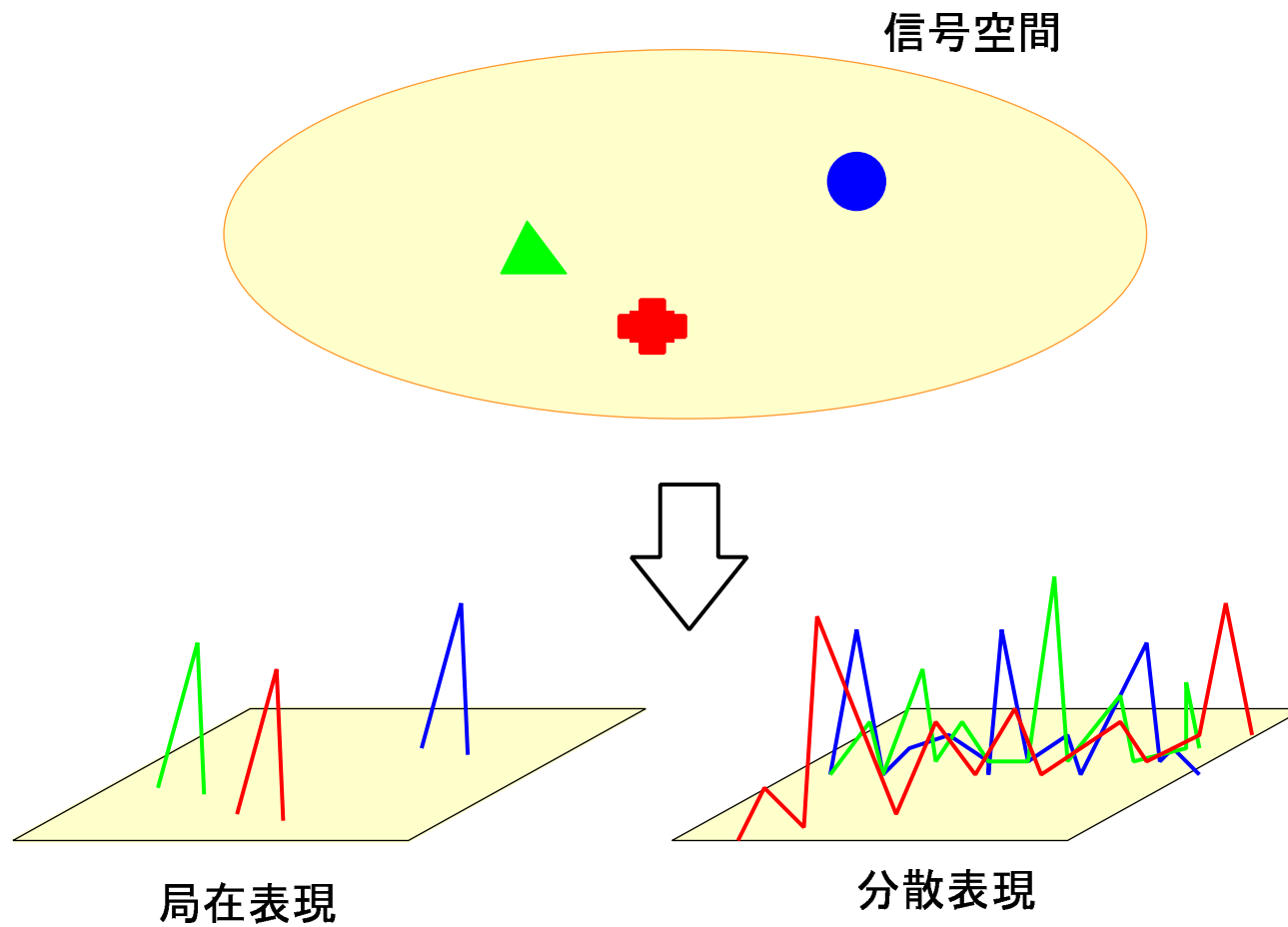
講義のテーマ

- 全体を通してのテーマ
 - ・ 情報表現と計算
- 今回のテーマ： 記憶の数理モデル
 - ・ 記憶の書き込み，読み出し（検索と想起），整理
 - ・ モデルのプロトタイプ： 連想記憶モデル，多重分散型
 - ・ 未解決の問題

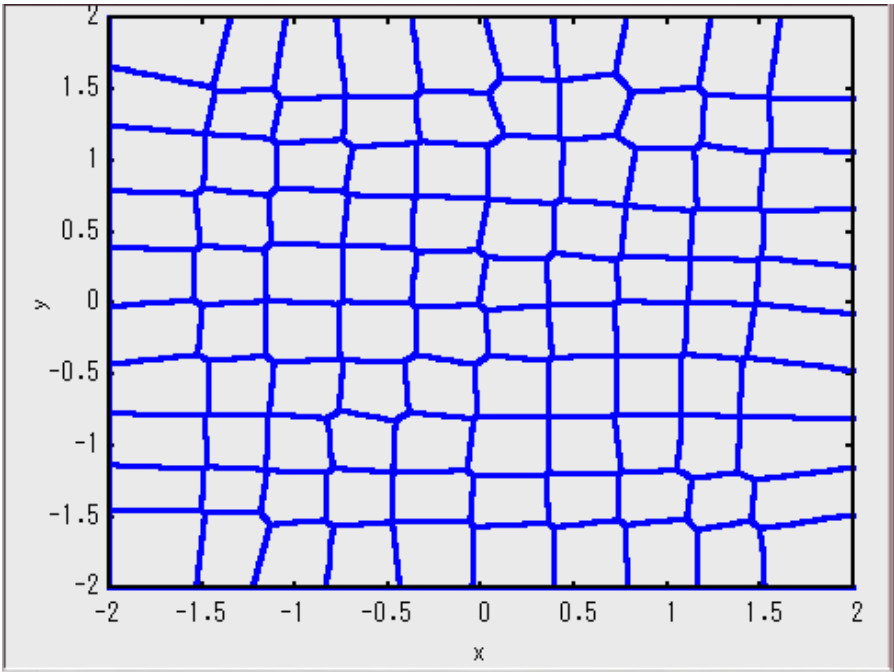
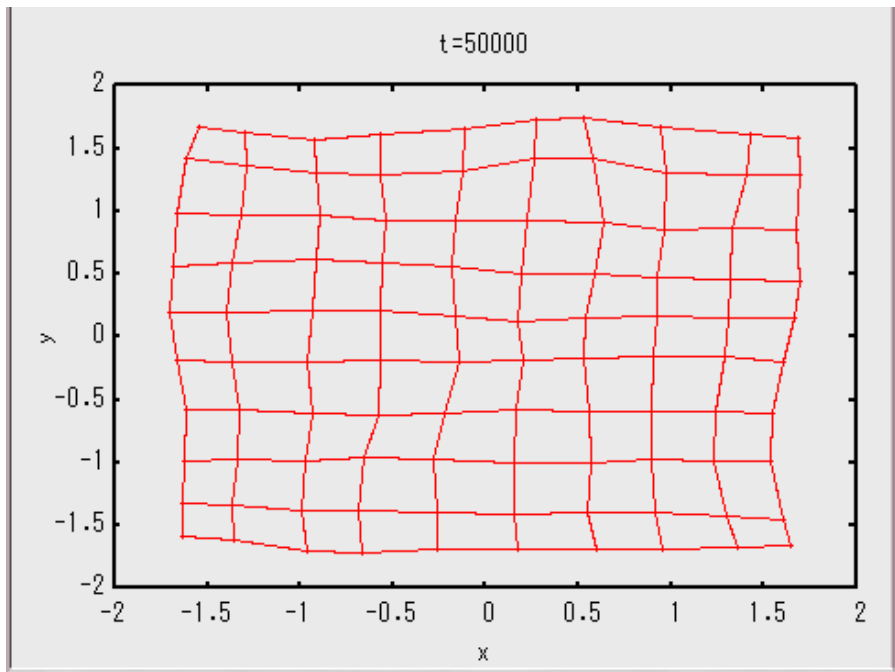
概要

- 局在表現と分散表現
- 連想記憶モデルとは
 - ・ 分散表現
 - ・ 多重表現
- デモ
- モデルの数学的性質：記憶容量，想起のダイナミックス

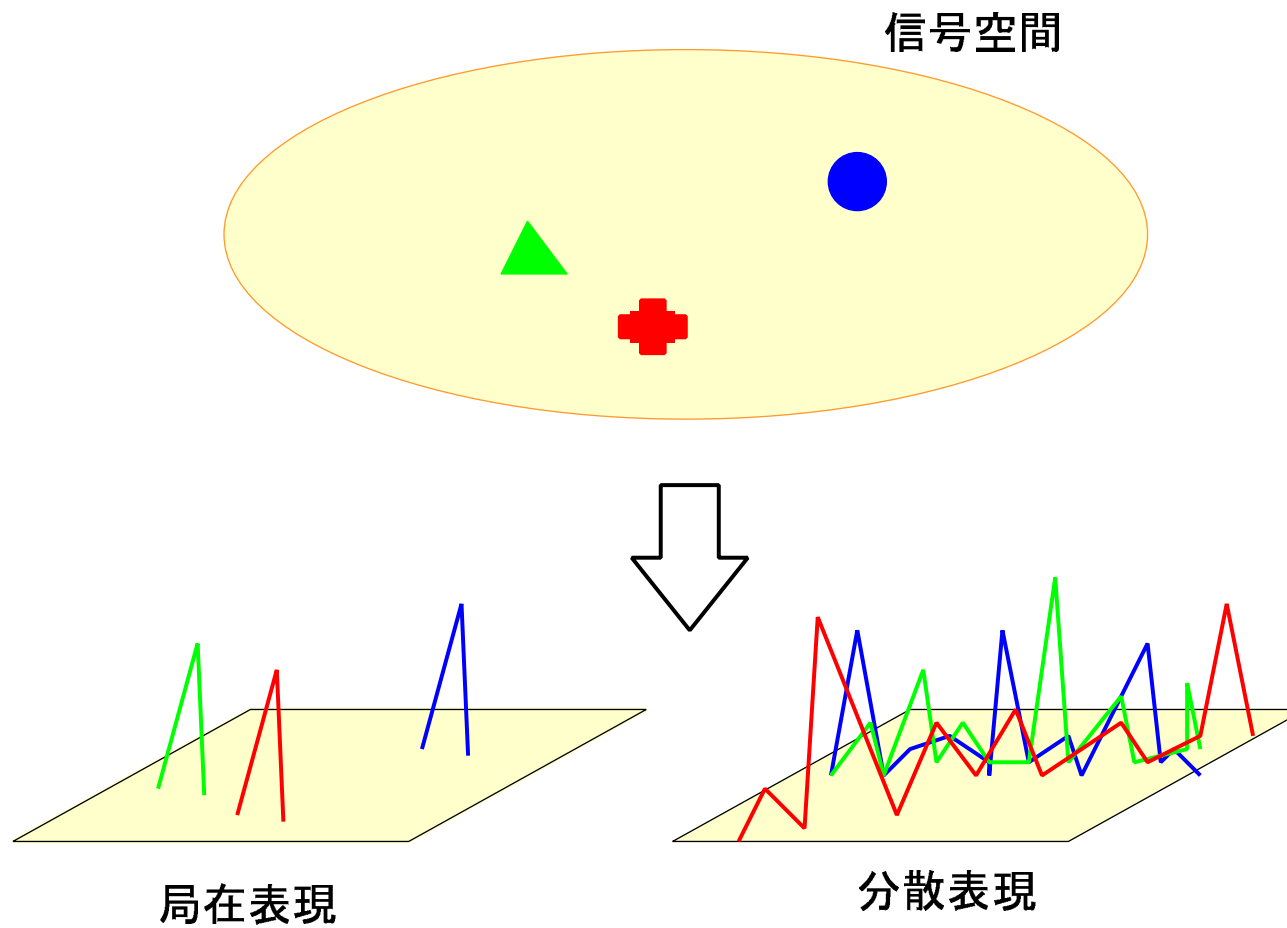
- 脳内における情報の表現



局在表現のトポロジー



- 脳内における情報の表現



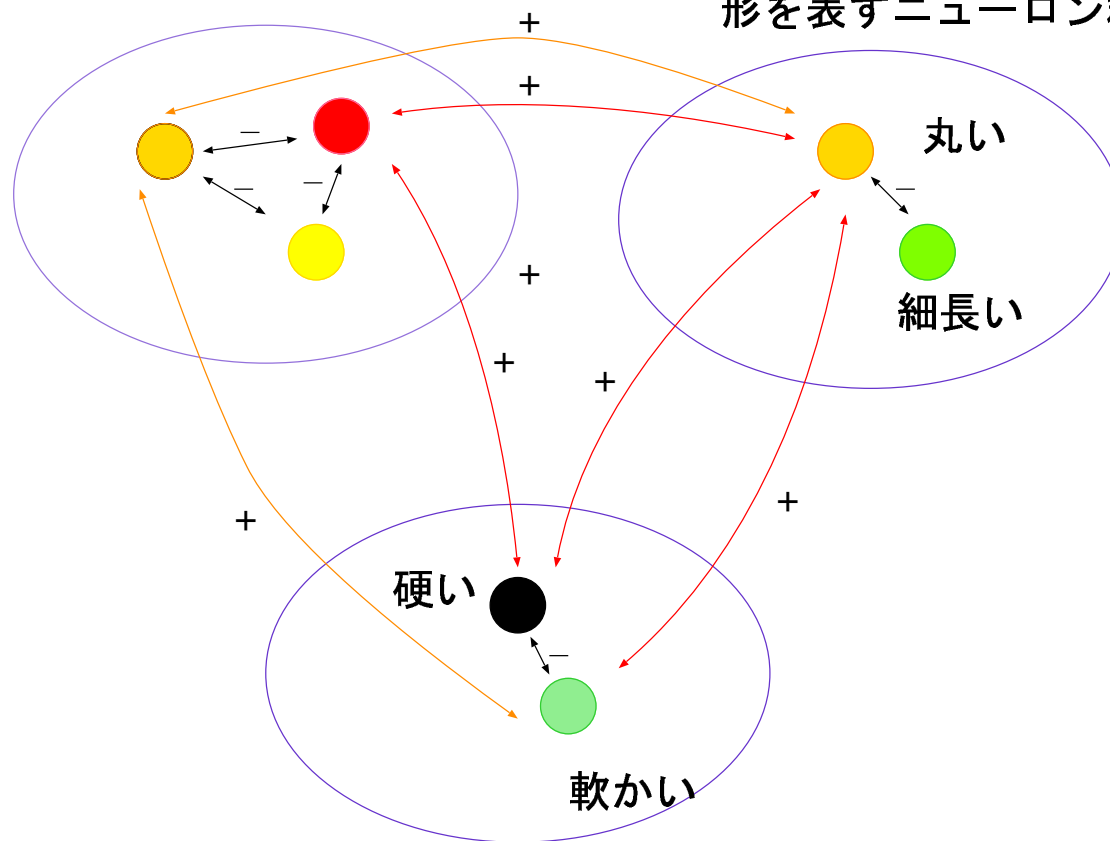
連想記憶とは

- 部分から全体が想起できる。
 - ・ 不完全な鍵からの想起が可能
- 一つの事項から関連する事項が次々と想起できる。
 - ・ 山 川 , 海 水泳
- 時間的な順序のある系列を順に想起できる。
 - ・ $x^1 \rightarrow y^1, x^2 \rightarrow y^2, \dots, x^k \rightarrow y^k$

これらの気分が味わえるのが、連想記憶モデル

色を表すニューロン群

形を表すニューロン群



硬さを表すニューロン群

リンゴ, バナナ, ミカンをおぼえたニューロン群

概要

- 局在表現と分散表現
- 連想記憶モデルとは
 - ・ 分散表現
 - ・ 多重表現
- デモ
- モデルの数学的性質：記憶容量，想起のダイナミックス

連想記憶モデル：相互想起型

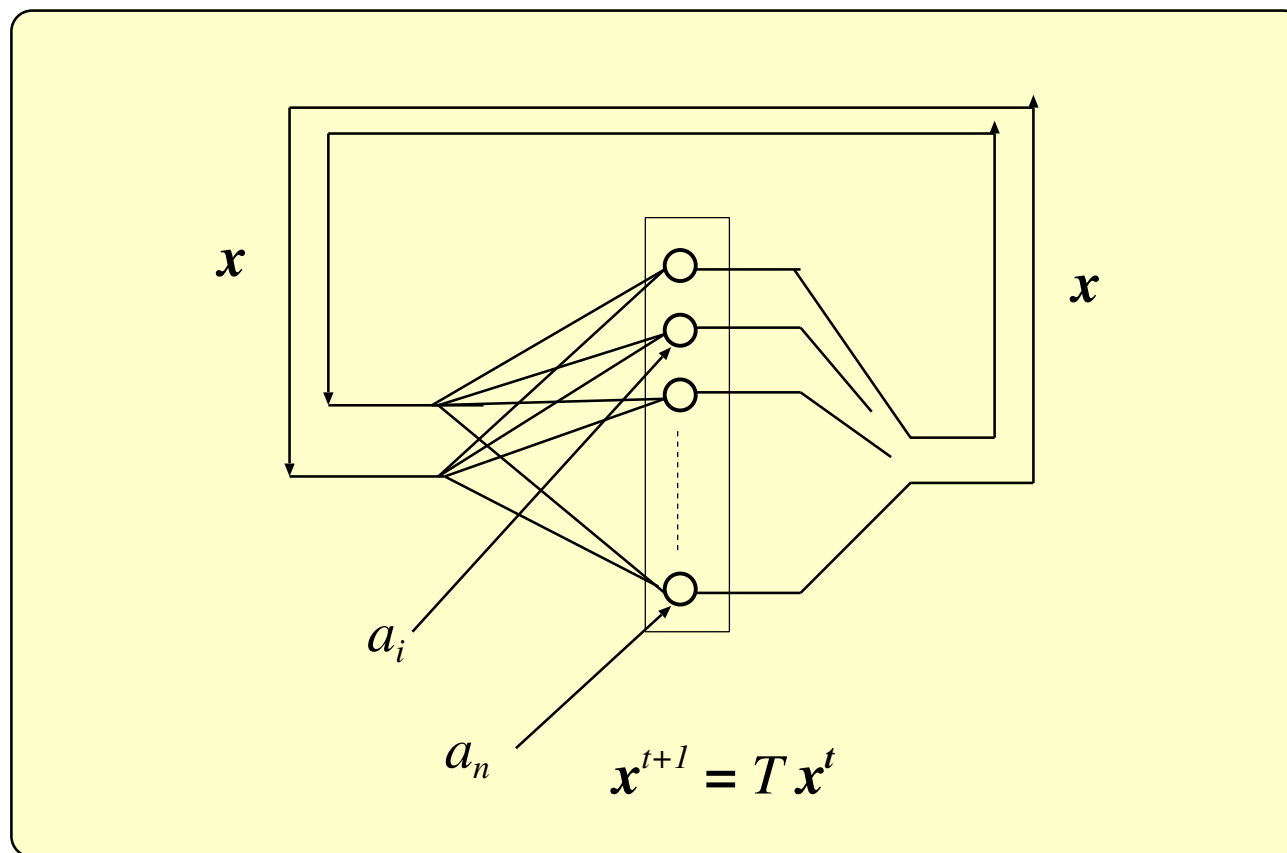
- $x^1 \rightarrow y^1, x^2 \rightarrow y^2, \dots, x^k \rightarrow y^k$
- $x_i, y_i \in \{-1, 1\}$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}, \mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix}, \mathbf{y}\mathbf{x}^\top = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} [x_1 x_2 \dots x_n] = \begin{bmatrix} y_1 x_1 & y_1 x_2 & \dots & y_1 x_n \\ y_2 x_1 & y_2 x_2 & \dots & y_2 x_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_n x_1 & y_n x_2 & \dots & y_n x_n \end{bmatrix}$$

$$s_{ji} = \frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^k x_i^\alpha y_j^\alpha, \quad S = \frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^k \mathbf{y}^\alpha \mathbf{x}^{\alpha\top} \quad (\text{ヘブ学習, 相関学習})$$

デモ

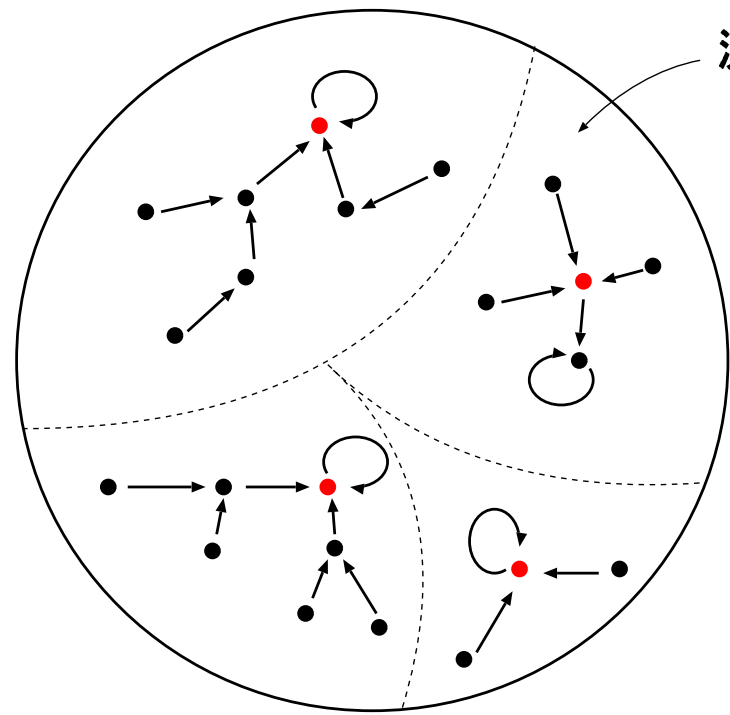
相互結合の神経回路モデル



黒板で計算

連想記憶モデル

$$x \Rightarrow T_w x$$



流域

- 記憶パターン

$$x^\mu = T_w x^\mu$$

$$\mu = 1, 2, \dots, m$$

m 記憶パターン数

結合係数

$$w_{ij} = k \sum x_i^\mu x_j^\mu$$

連想記憶モデル：自己想起型

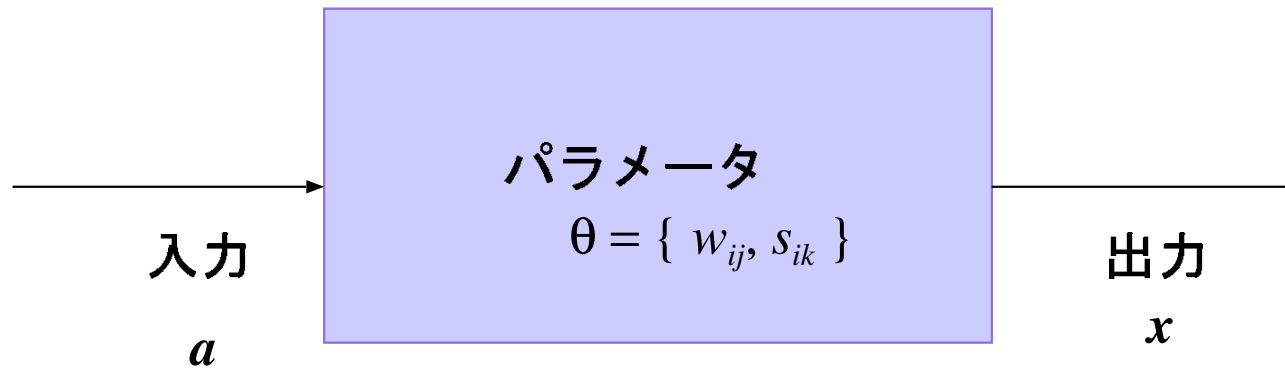
- $\mathbf{x}^\alpha \cdot \mathbf{x}^\beta = 0, \alpha \neq \beta$

$$\text{結合係数行列： } S = \frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^k \mathbf{x}^\alpha \mathbf{x}^{\alpha\top}$$

$$\text{活動のダイナミクス： } \mathbf{x}' = \text{sgn}(S\mathbf{x}^3)$$

$$S\mathbf{x}^3 = \frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^k \mathbf{x}^\alpha \mathbf{x}^{\alpha\top} \mathbf{x}^3 = \frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^k \mathbf{x}^\alpha (\mathbf{x}^\alpha \cdot \mathbf{x}^3) = \frac{1}{n} \mathbf{x}^3 (\mathbf{x}^3 \cdot \mathbf{x}^3) = c\mathbf{x}^3$$

自己想起型連想記憶モデルの見方



速い ニューロン活動 x のダイナミクス

$$x(t+1) = F(x(t), \theta(t))$$

遅い 結合係数 θ のダイナミクス : θ **固定** と考える

$$\theta(t+1) = G(\theta(t), a(t), x(t), x(t-1), \dots)$$

多重分散記憶がうまくいく仕掛け

- x^1, \dots, x^k が互いに直交
- 出力関数 $f(u)$ の強い非線型性

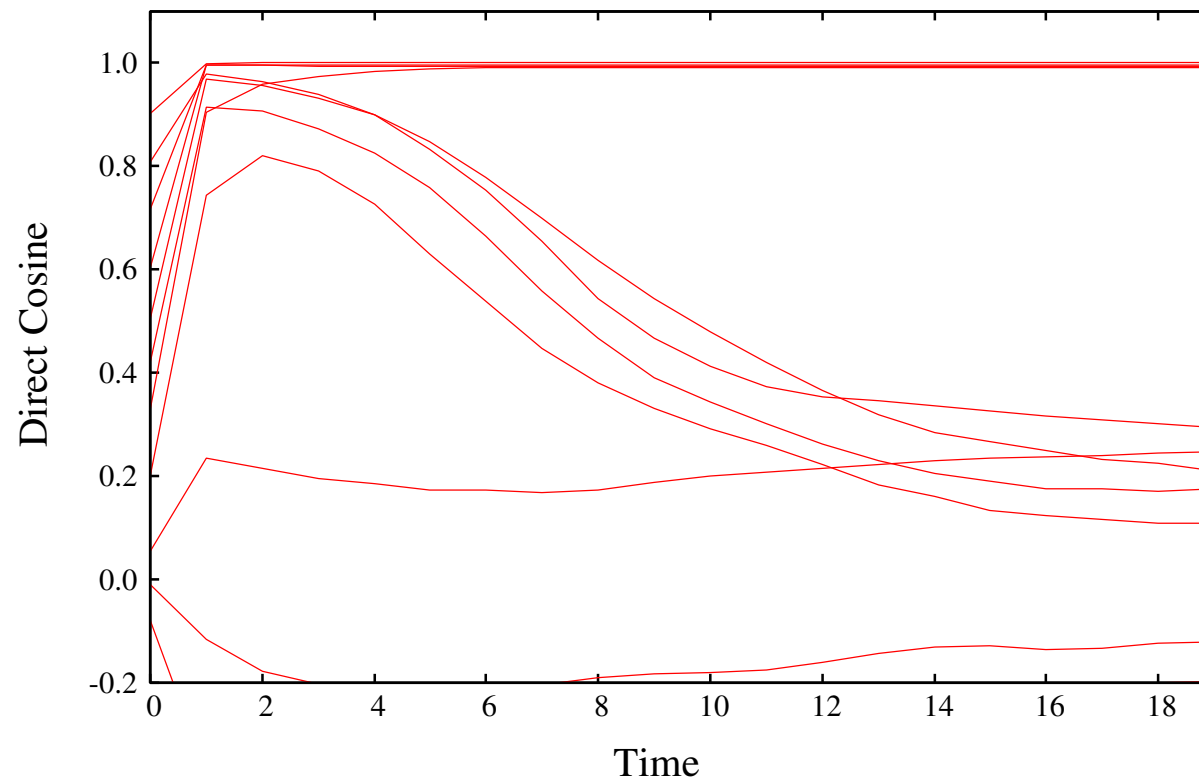
連想記憶モデルの問題

- ・ 分散表現 どう符合化するか
- ・ 多重表現 相互干渉 記憶容量

概要

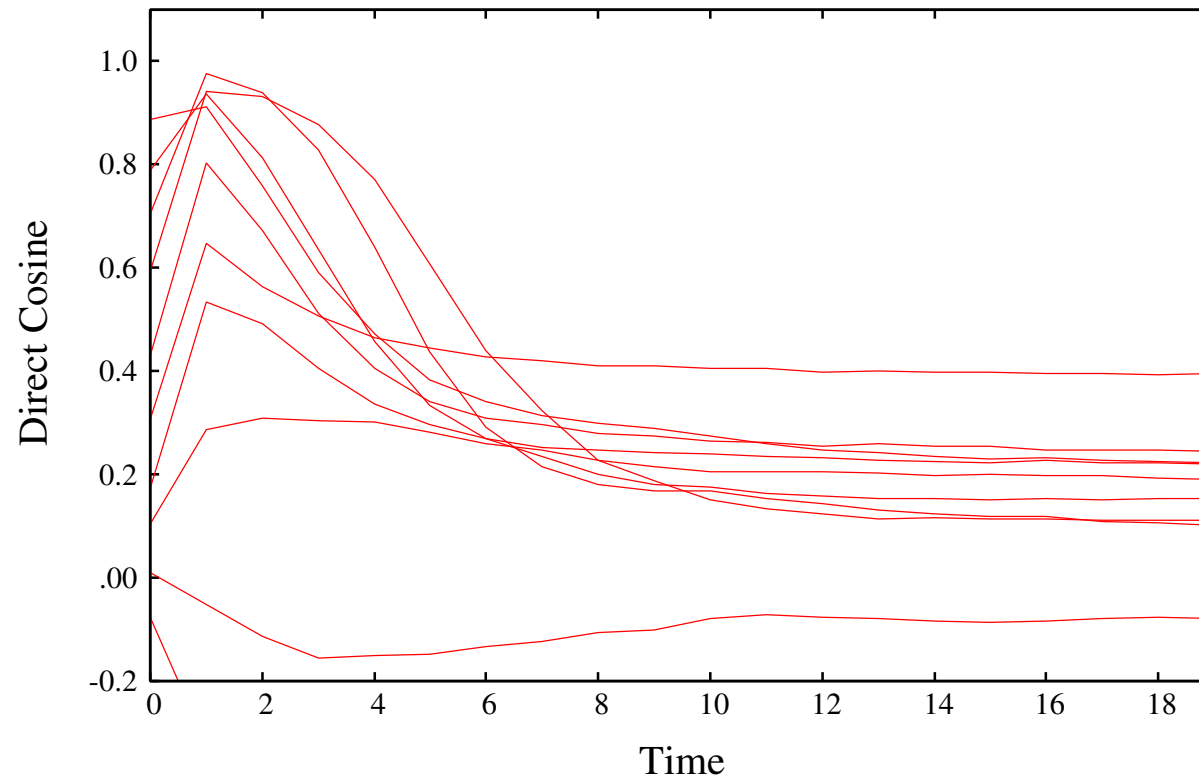
- 局在表現と分散表現
- 連想記憶モデルとは
- デモ
- モデルの数学的性質：記憶容量，想起のダイナミックス

想起過程のダイナミクス



想起に失敗する場合でも一度は記憶パターンに近づく

想起過程のダイナミクス



記憶パターンを埋め込みすぎた例

記憶の問題

1) 長期記憶のデータ構造

- ・ いろいろな概念の表現
- ・ 概念間の複雑な関係の表現

2) エピソード記憶

- ・ 個々の事項を時空間的に組み合わせ一つのストーリーとする
- ・ 脳の中の仮想的な時空間

3) 整理の仕方：短期記憶として経験する事項をどう整理して長期記憶にしまうか

- ・ 不要な部分を捨て、必要な部分だけを抽出
- ・ 今までの記憶と適合する形で長期記憶を改変

これらについて気分が感じ取れるモデルは未だに無い