

情報認識

「パターン認識の概要」

■担当教員： 杉山 将（計算工学専攻）

■居室： W8E-505

■電子メール： sugi@cs.titech.ac.jp

■講義ホームページ：

<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/courses-jp.html>

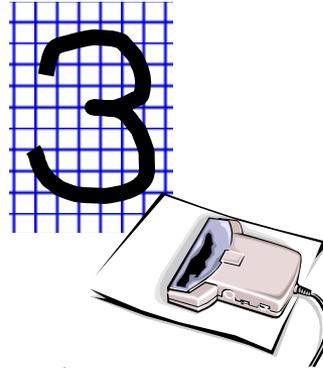
パターン認識とは？

- **パターン認識**とは:「与えられたパターンをそれが属するカテゴリに対応づける操作」
- **パターン**とは:「空間的や時間的に観測可能な事象であって、観測された事象どうしが同一であるか否かを判定できるような性質を備えているもの」
- **カテゴリ**とは:「パターン認識の結果、同等とみなされるパターンの集合概念」

パターン認識の例

■ 手書き文字認識

パターン
(手書き文字)

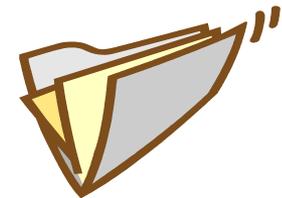


カテゴリ
(文字名)

8 3
B

■ スпамフィルタ

パターン
(メール)



カテゴリ
(スパムか否か)

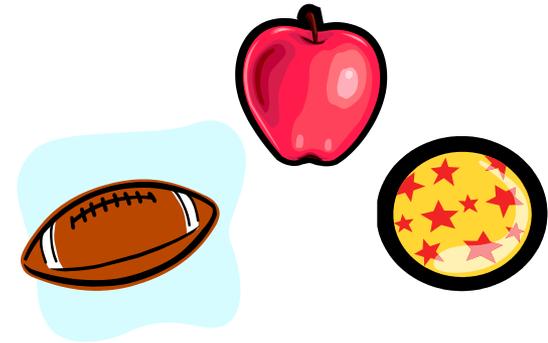


パターン認識の例(続き)

■ コンピュータビジョン

パターン
(ロボットが
見た画像)

カテゴリ
(物体の種類)



■ 遺伝子解析

パターン
(マイクロアレイ
データ)

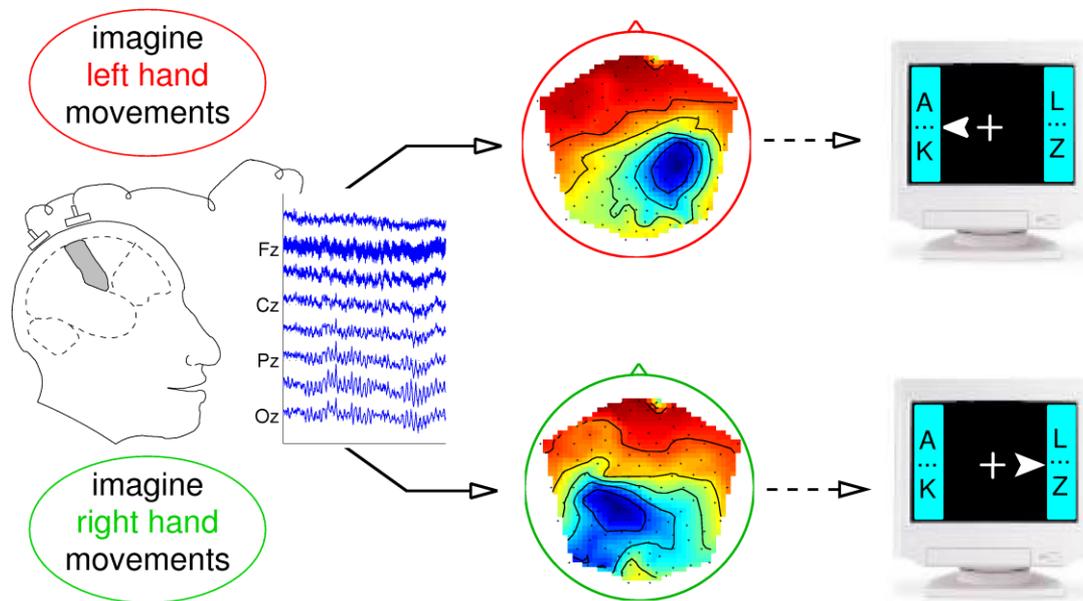
カテゴリ
(病気か否か)



パターン認識の例(続き):ブレイン・⁵ コンピュータインターフェース(BCI)

■ 脳波を使ってコンピュータを操作する:

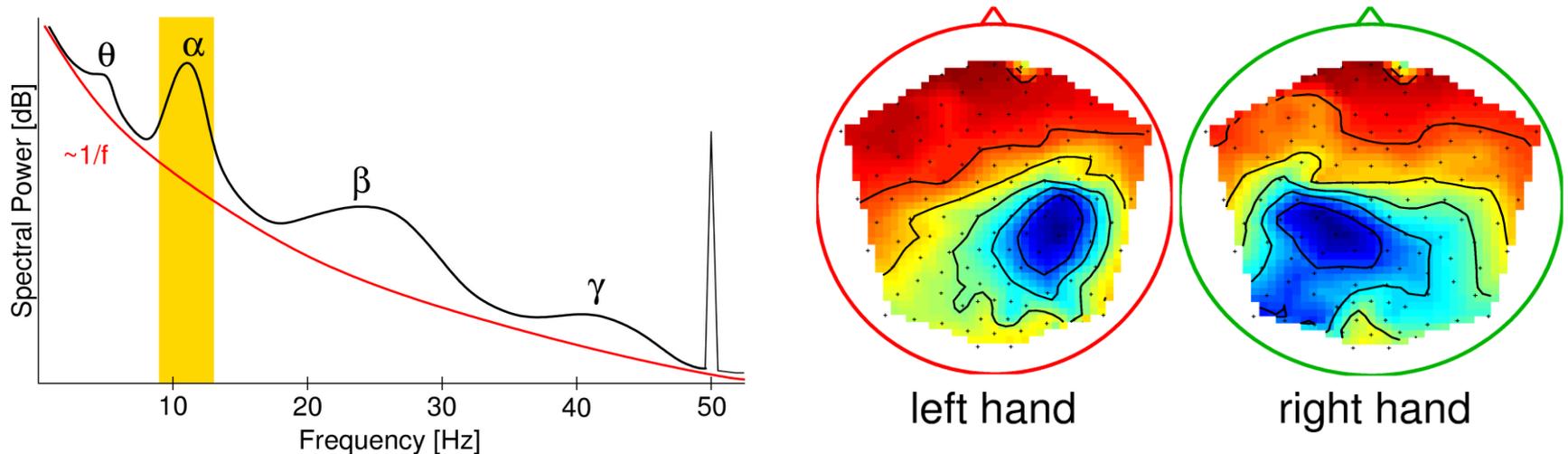
- **パターン**: 脳波信号
- **カテゴリ**: 左右



図提供: フラウンホーファー研究所

BCIの神経生理学的な背景

- 手を動かすイメージをすると、**事象関連脱同期化**が起こり、対応する運動野のある周波数成分が抑制される



図提供: フラウンホーファー研究所

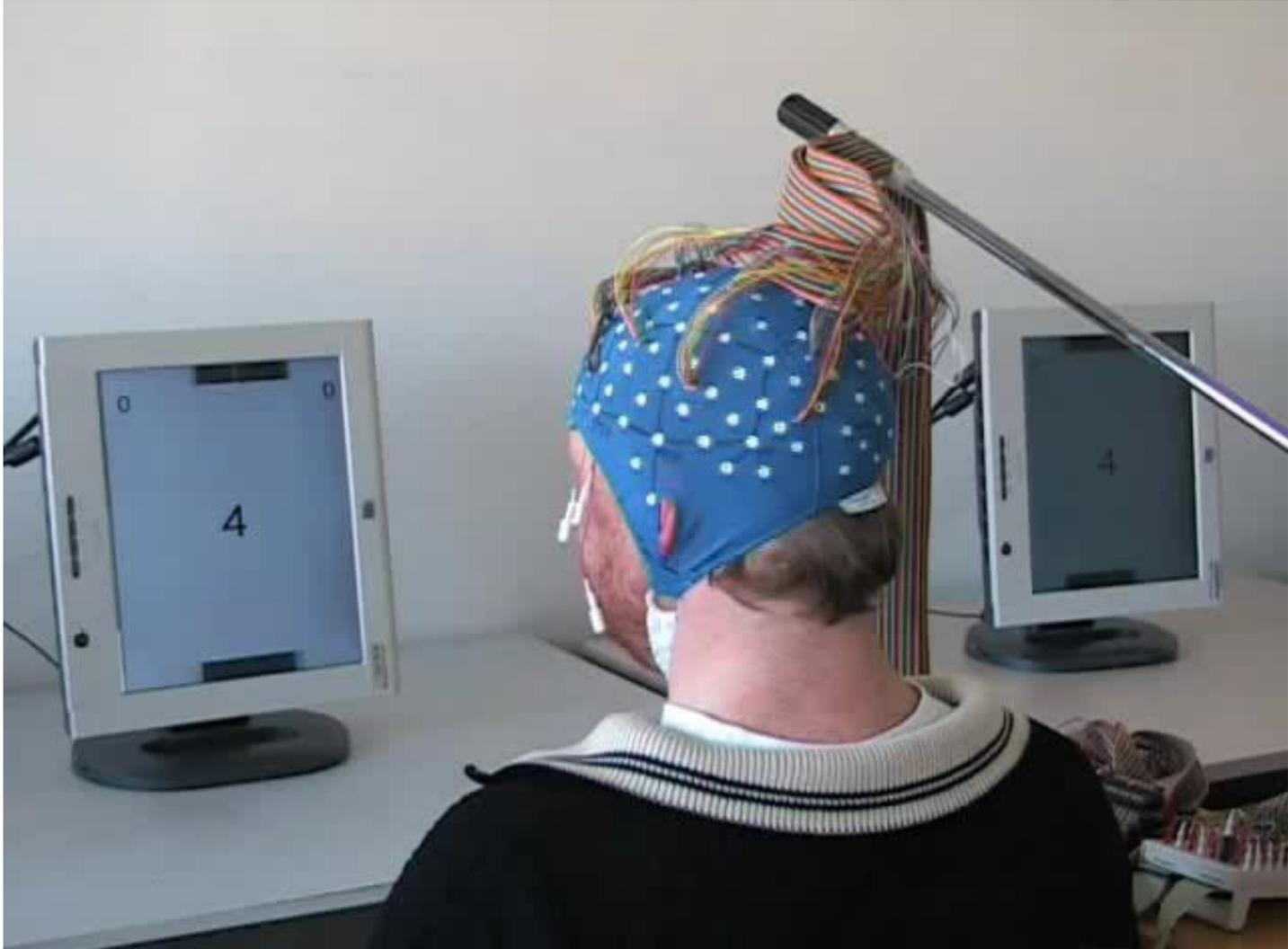
コンピュータの学習

- 指示に従って、手を動かすイメージをする。



動画提供: フラウンホーファー研究所

ブレイン・ポン!



動画提供: フラウンホーファー研究所

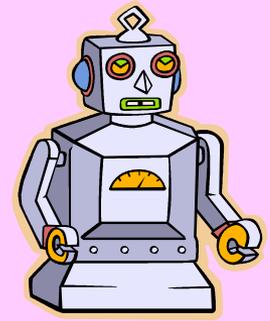
今日の授業の流れ

- パターン認識の研究分野の紹介
- パターン認識の過程
- パターン認識と学習

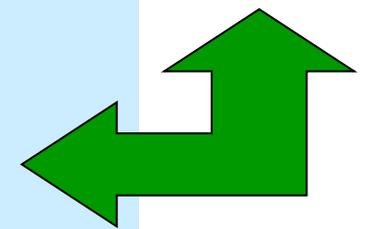
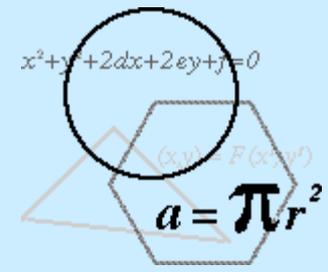
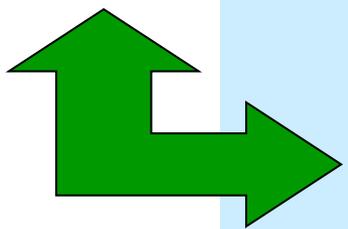
パターン認識の研究



人間のパターン認識
の機能を解明したい
(生物学, 心理学, 脳科学)



パターン認識する
機械を作りたい
(電気・電子・情報工学)



パターン認識を数理的に解明したい
(情報科学)

人間のパターン認識機能の解明(1)¹¹

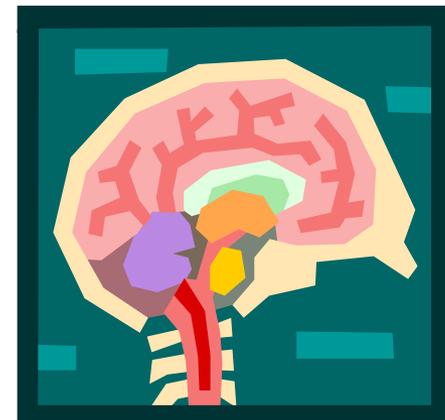
- ヒトの脳は百億もの**神経細胞**からなっている.
- 神経細胞は互いにつながって**ネットワーク**を形成している.

人間のパターン認識機能の解明(2)¹²

- それぞれの神経細胞には、**樹状突起**と**軸策**があり、軸策は**シナプス**を介して他の神経細胞とつながっている。
- 神経細胞は、樹状突起を通じて他の神経細胞からの信号を受け取り、軸策を通じて他の神経細胞に信号を送る。

人間のパターン認識機能の解明(3)¹³

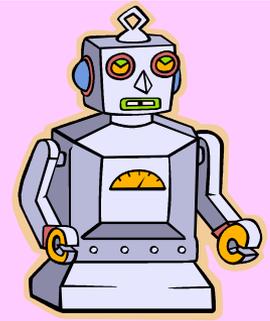
- 近年, 脳の構造と活動のしくみはかなり解明されてきた.
- しかし, ヒトがどのように物を認識しているかはいまだ明らかではない.



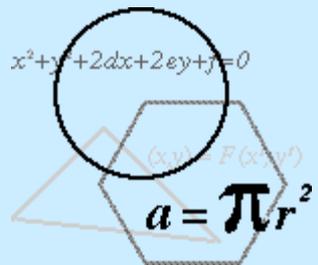
パターン認識の研究



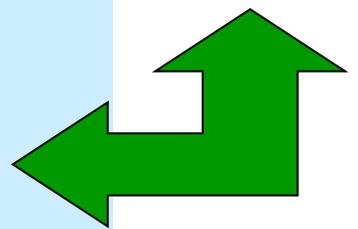
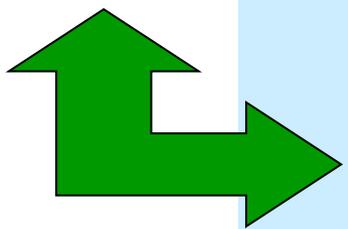
人間のパターン認識
の機能を解明したい
(生物学, 心理学, 脳科学)



パターン認識する
機械を作りたい
(電気・電子・情報工学)

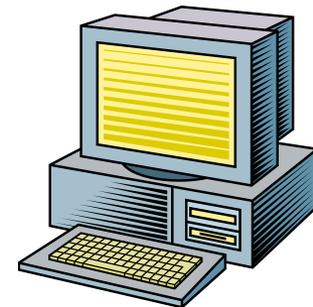


パターン認識を数理的に解明したい
(情報科学)



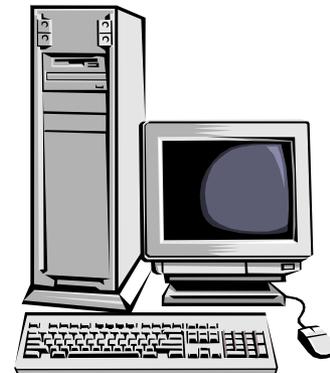
パターン認識機械を作る(1)

- 我々が普段使っているコンピュータは、**フォンノイマン型**と呼ばれている。
- フォンノイマン型コンピュータの計算原理は、**論理演算**と**記号処理**に基づいている
- **チューリングマシン**の計算理論が中心的な役割を果たしている。



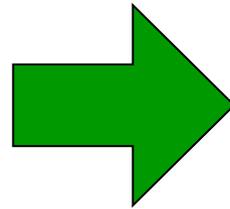
パターン認識機械を作る(2)

- フォンノイマン型コンピュータは、**単純な計算を繰り返したり、あらかじめ決められたルールに従う処理**をするのに適している。
- しかし、現在の最新のコンピュータでも、パターン認識能力においては赤ちゃんよりも劣っている。



パターン認識機械を作る(3)

- そのような理由から, ヒトの脳で行われている情報処理を模倣する「ニューロコンピュータ」を作ろうという研究が行われている.



神経細胞

人工神経細胞

パターン認識機械を作る(4)

- 電子回路や光回路を用いた人工神経回路網のハードウェアが提案されている。
- 筑波大学: Pulse Density Modulating Digital Neural Network System

# of artificial neurons	1,008
# of synapses	1,028,160
Internal Potential	12bit
Output	11bit
Synapse weight	7bit
Time constants	From 516 μ s to 26.4 ms
Max output frequency	5MHz or 10 MHz
Main clock frequency	20MHz

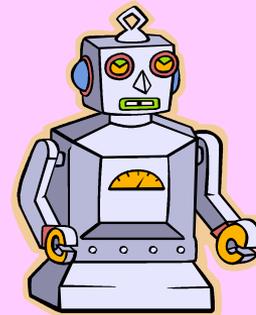
パターン認識機械を作る(4)

- しかし, 現在のニューロコンピュータはまだまだ人間の脳には及ばない.
 - 神経細胞の数が少ない
 - 大きさが大きい
 - 消費電力が大きい
- ニューロコンピュータにどのようにパターン認識を行わせればよいか?

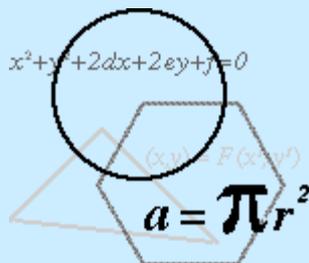
パターン認識の研究



人間のパターン認識
の機能を解明したい
(生物学, 心理学, 脳科学)



パターン認識する
機械を作りたい
(電気・電子・情報工学)



パターン認識を数理的に解明したい
(情報科学)

パターン認識を数理的に解明する(1)²¹

- 人間のパターン認識能力のしくみを解明するためには、たくさんの神経細胞が**どのような情報処理を行っているか**を数理的に解明しなければならない。
- パターン認識を行う機械を作るためには、**どのような認識アルゴリズムがふさわしいか**を数理的に解明しなければならない。



パターン認識を数理的に解明する(2)²²

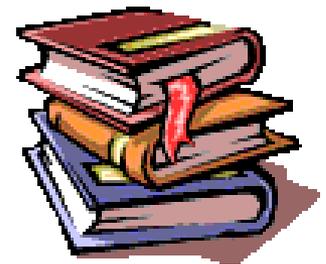
- 人間の脳は長年の進化の過程を経て作られているため、数理的にパターン認識に最適な構造になっているとは限らない。
- 従って、人間のパターン認識アルゴリズムが最適であるとは限らない。
- 優れたパターン認識機械を作るためには、人間の脳を模倣するよりも、**情報科学的な立場から最適なアルゴリズムを探求する方がよいであろう。**



パターン認識を数理的に解明する(3)²³

■ パターン認識を解明するための数学的道具

- 数理統計学
- 関数解析学
- 代数幾何学
- 情報幾何学
- 統計物理学
など.



本講義の目的

- 本講義では、パターン認識の数理的な基礎を学ぶ。
- 特に、統計的パターン認識と呼ばれる手法に焦点をあわせる。

パターン認識の過程

入力パターン

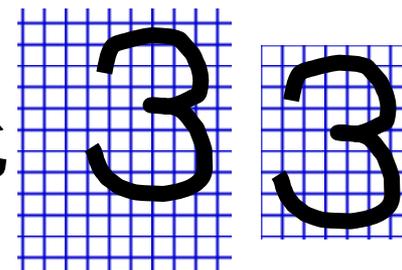


観測

入力パターンの取り込み

前処理

雑音除去や正規化



特徴抽出

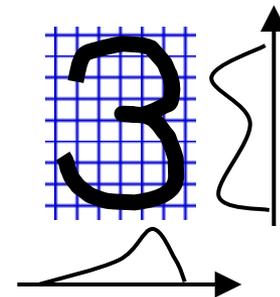
認識に有益な情報の抽出

出力カテゴリ

3

識別

カテゴリの決定

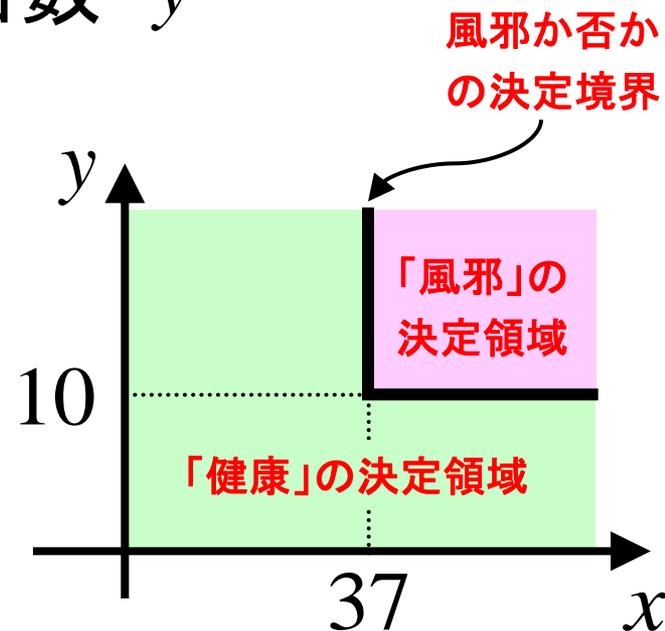


識別関数, 決定領域, 決定境界

- **識別関数**: 任意のパターンをそれが属するカテゴリに対応付ける変換
- **決定領域**: あるカテゴリのパターンが属する領域
- **決定境界**: いくつかの決定領域どうしの境界
- (例) パターン: 体温 x と咳の回数 y
 カテゴリ: 風邪か否か

風邪か否かの識別関数

$$f(x, y) = \begin{cases} \text{風邪} & (x > 37^\circ\text{C}) \wedge (y > 10) \\ \text{健康} & \text{それ以外} \end{cases}$$

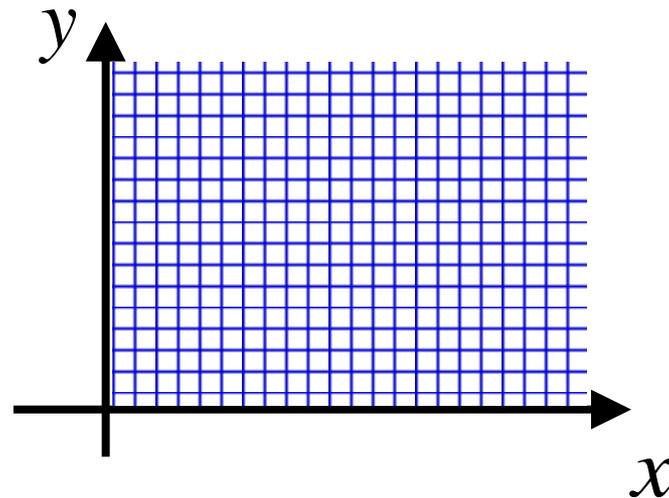


識別関数の構成

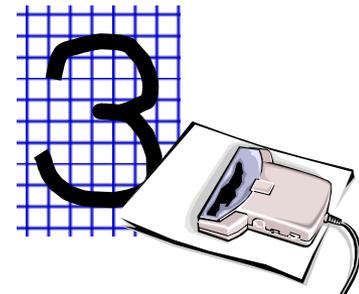
- 通常，識別関数は未知である.
- 様々なパターンに対して，それらが属するカテゴリを調べ，識別関数を求める.
- 先ほどの例では，様々な風邪の患者と健康な人の体温と咳の数を調べる.
- 識別関数を正しく求めるためには，何個くらいの例が必要か？

識別関数の構成(つづき)

- 体温を 35°C から 39.9°C まで 0.1°C 刻みで、咳の回数を0回から49回まで調べることにする.
- $50 \times 50 = 2500$ 種類の患者のデータが必要.



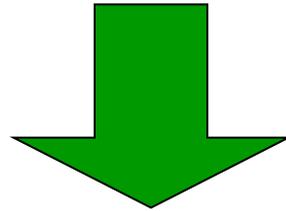
識別関数の構成(つづき)



- 手書き文字認識の場合はどうか？
- ひとつの文字が 10×10 画素で構成され、各画素は256階調の色の濃さを表しているとする。
- **256の100乗**種類の手書き文字データが必要！
$$256^{100} = (2^8)^{100} = (2^{10})^{80} \approx (10^3)^{80} = 10^{240}$$
- 全てのデータを準備するのは事実上不可能。

識別関数の学習

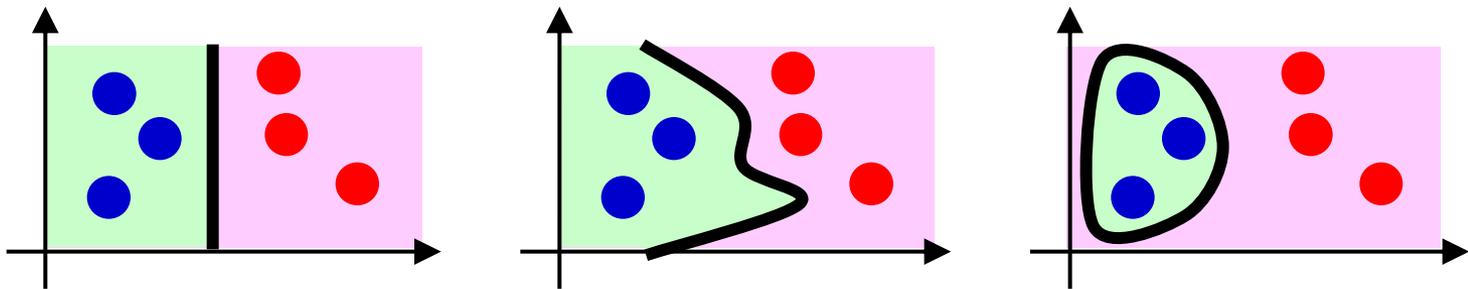
- 現実的には、ある程度の数のデータしか用意できない。
- 手持ちのデータに含まれないパターンに対しては、**識別関数の値(カテゴリ)**を推定しなければならない。



- パターン認識の問題とは、**識別関数の学習**の問題に他ならない！

識別関数の学習の難しさ

- 風邪の患者と健康な患者のデータが3つずつあるとする。
- 次の3つの決定境界は全て、手元にあるデータを正しく識別できる。



- 学習に用いていないデータをいかに上手く補間できるか(汎化能力)が重要！

本講義の内容

- **パターン認識の基礎理論と統計的推定法の基礎を学ぶ.**
- **本講義の内容を理解すれば, 手書き文字認識装置を作れるようになる(はず).**

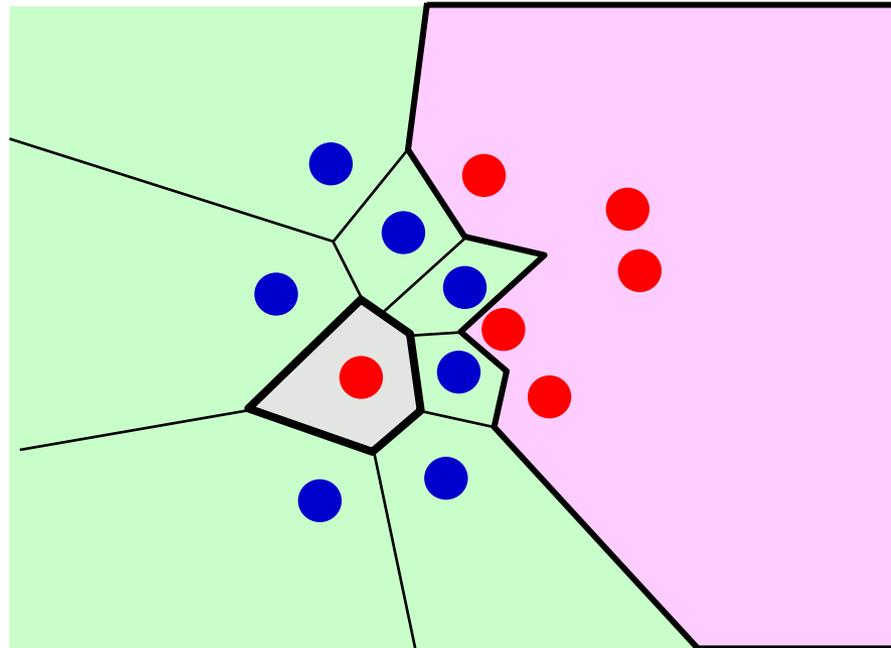
本講義の特徴

- 授業は、与えられた有限のデータからその背後に潜む規則を推定する**統計的推定**の手法の**数学的な証明**が中心です。
- **数式**が出てこない授業は今日だけです。
- 次回以降、専門用語は**英語名**も併記します（例：パターン認識＝pattern recognition）。併せて覚えましょう。
- 基礎的な**確率・統計**の知識があることを前提に講義を進めます。自分自身で確率・統計の教科書にもう一度目を通しておきましょう。

最も単純な識別関数の学習法

■ 最近傍法

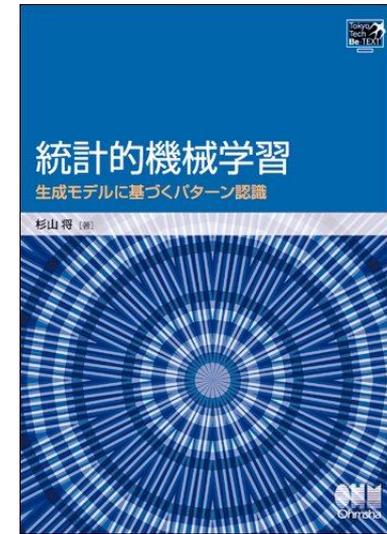
新しいデータが与えられたら、一番近くにある学習データと同じカテゴリに識別する。



講義内容

- パターン認識とは
- 識別関数のよさを測る規準
- パラメトリック法
 - 最尤推定法
 - ガウスモデルに対する最尤推定
 - モデル選択
 - ベイズ推定法
 - 最大事後確率推定法
 - ベイズ的モデル選択
- ノンパラメトリック推定法
 - 核密度推定法
 - 最近傍密度推定法

教科書



- 統計的機械学習, 杉山将著, オーム社

参考書

- パターン認識と機械学習: ベイズ理論による統計的予測(上・下), C. M. Bishop著, 元田浩 他(訳)
- 認識工学: パターン認識とその応用, 鳥脇純一郎著(コロナ社)
- わかりやすいパターン認識, 石井健一郎 [ほか] 著, オーム社
- パターン識別, R.O.Duda, P.E.Hart, D.G.Stork著(尾上守夫監訳), 新技術コミュニケーションズ
- パターン認識とニューラルネットワーク, 栗田多喜夫著
(<http://www.neurosci.aist.go.jp/~kurita/lecture/prnn.pdf>)
- 統計学入門, 東京大学教養学部統計学教室編, 東京大学出版会

成績評価

■ 成績評価

- 授業の途中で何度も出す小レポート
- 期末試験
- 授業中に良い質問, 発表をした学生には加点する

■ 質問受付

- 授業後の休憩時間
- 杉山教員室(西8号館E棟505室)で随時
- 電子メール: sugi@cs.titech.ac.jp

■ 講義資料

<http://sugiyama-www.cs.titech.ac.jp/~sugi/courses-jp.html>

小レポート課題(第1回)

- **自分独自のパターン認識の応用例**を考え、具体的に述べよ。少なくとも次の3点については言及すること。
 - 入力パターンは何で、出力カテゴリは何か？
 - その応用例はどのような役に立つか？
 - 実現の難しさ、可能性は？
- **学籍番号, 所属学科, 氏名**を忘れずに。
- レポートは**A4用紙**で提出すること。
- **×切**: 次回の講義の**開始時**(遅れた場合は減点します)

今後のスケジュール

- 体育の日や工大祭のためスケジュール変更があるので、注意すること！
- 第2回：10月17日（月）
- 第3回：10月27日（木）
- 第4回：10月31日（月）