

導入

理学部 情報科学科

杉山 将, 佐藤 一誠, 本多 淳也, 宮尾 祐介

<http://www.ms.k.u-tokyo.ac.jp>

<https://mynlp.github.io/>

知能システム論

■ **内容**: 人工知能の基本的な技法に関する講義

■ **成績評価**:

- ほぼ毎週出す小レポート課題
(次回の講義の最初に提出)
- 講義中にたまに行う小さな演習
(発表した学生には加点する)
- 簡単な(?)試験(2019年1月10日の予定)

■ **講義資料**:

- 以下のITC-LMSで公開する

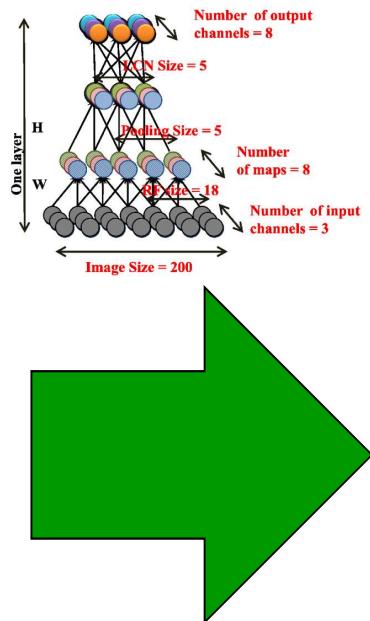
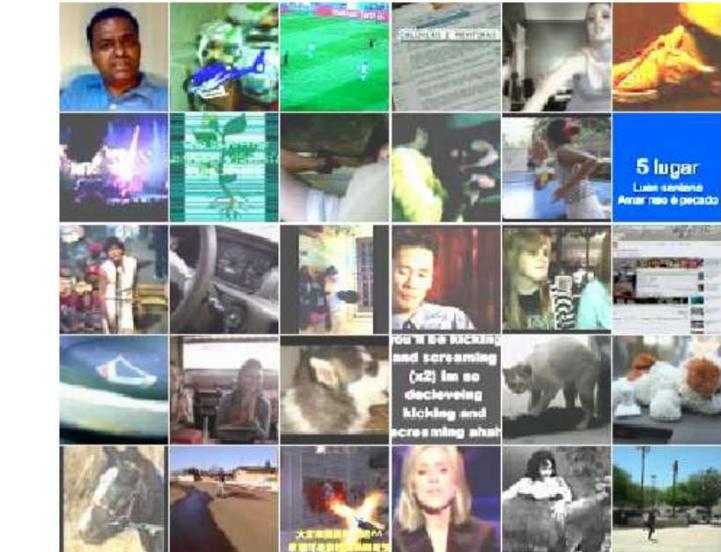
<https://itc-lms.ecc.u-tokyo.ac.jp/lms/course/view.php?id=140428>

2011年2月：米国のクイズ番組で コンピュータがクイズ王に勝利



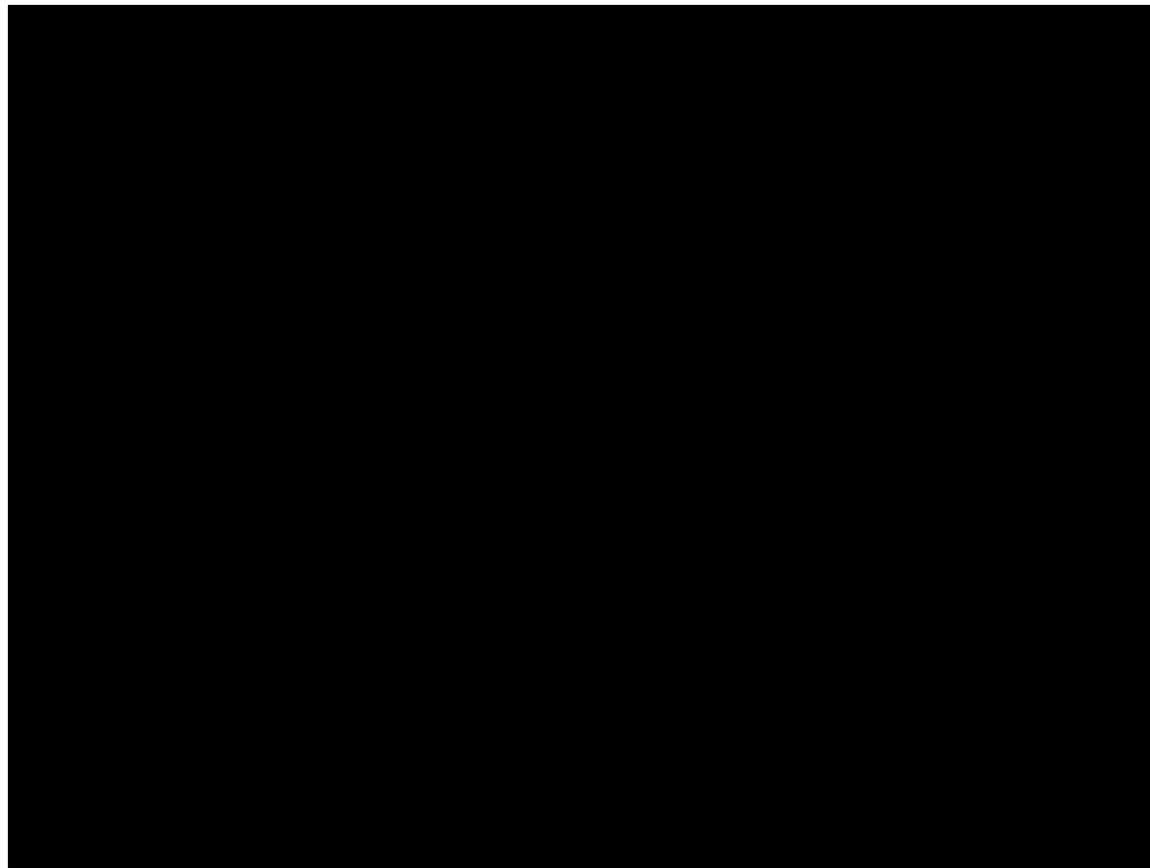
<http://www.ibm.com/smarterplanet/jp/ja/ibmwatson/>

2012年6月 : コンピュータが1週間 YouTubeビデオを見続ける ことにより、猫を自動的に識別



<http://googleblog.blogspot.jp/2012/06/using-large-scale-brain-simulations-for.html>

2015年2月：ゲームで人間より ハイスコア叩き出す



[http://www.nature.com/nature/journal/v518/n7540/abs/
nature14236.html?lang=en](http://www.nature.com/nature/journal/v518/n7540/abs/nature14236.html?lang=en)

2015年3~4月：コンピュータ将棋は⁶ プロ棋士とほぼ互角



将棋
電王戦 FINAL

人類の、けじめの闘い。

人類vsコンピュータの最終決戦、ついに決着!

対戦カード/結果 出場者 対局ルール 観戦記 関連イベント 視聴方法

将棋電王戦FINALは人類が勝利

勝敗決定 人類3勝 コンピューター2勝

DEN-OUTE-SAN 電王手さん

▶ 電王手さんスペシャルページ

<http://ex.nicovideo.jp/denou/final/>

2016年3月：人工知能が 囲碁のチャンピオンに勝利

The screenshot shows the homepage of the Google DeepMind AlphaGo website. The background is a dark blue Go board. At the top left is the Google DeepMind logo. At the top right are links for Home, AlphaGo, DQN, Health, Press, Join us, and Publications. In the center is the AlphaGo logo with the text "AlphaGo". Below it is a horizontal line. Underneath the line is the text: "THE FIRST COMPUTER PROGRAM TO EVER BEAT A PROFESSIONAL PLAYER AT THE GAME OF GO." At the bottom is a video player showing a match between AlphaGo and Lee Sedol.

Google DeepMind

Home AlphaGo DQN Health Press Join us Publications

AlphaGo

THE FIRST COMPUTER PROGRAM TO EVER
BEAT A PROFESSIONAL PLAYER AT THE GAME
OF GO.

KBA Google DeepMind Challenge Match April 2016

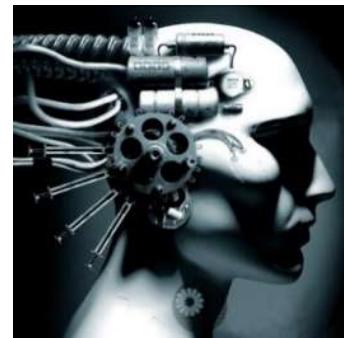
ALPHAGO 00:32:56

LEE SEDOL 00:09:56

<https://deepmind.com/alpha-go.html>

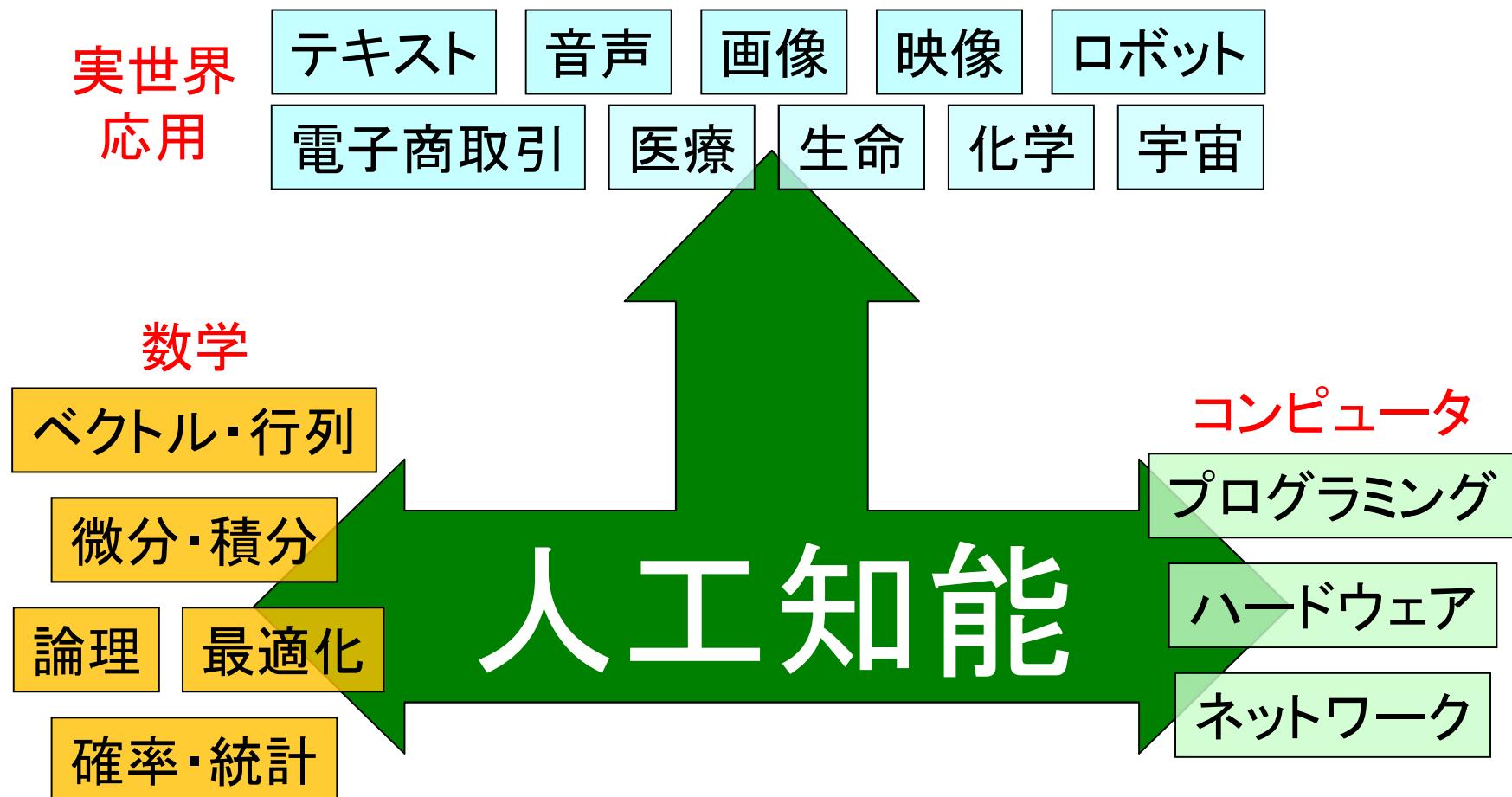
そして最近は…

- あらゆる企業が「AI」を謳うようになり、世界的な研究開発競争、人材獲得競争が勃発：
 - IT、金融、自動車、材料、教育、医療、電力、土木…
- サイエンス研究でもAIを活用：
 - 物理、宇宙、化学、材料、医療、生命、情報、制御…
- 技術だけでなく、AIが社会に浸透することによる影響・倫理に関する議論も活発化
 - プライバシ、公平性、法律、経済、シンギュラリティ…



人工知能とは

■ 目標: 知的なコンピュータシステムを作る



人工知能とは

- 1956年 : The Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence (人工知能に関するダートマスの夏期研究会) にて **Artificial Intelligence** という言葉が提唱された

A PROPOSAL FOR THE DARTMOUTH SUMMER RESEARCH PROJECT ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

J. McCarthy, Dartmouth College

M. L. Minsky, Harvard University

N. Rochester, I.B.M. Corporation

C.E. Shannon, Bell Telephone Laboratories

August 31, 1955

We propose that a 2 month, 10 man study of artificial intelligence be carried out during the summer of 1956 at Dartmouth College in Hanover, New Hampshire. The study is to proceed on the basis of the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it. An attempt will be made to find how to make machines use language, form abstractions and concepts, solve kinds of problems now reserved for humans, and improve themselves. We think that a significant advance can be made in one or more of these problems if a carefully selected group of scientists work on it together for a summer.

<http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>

第3次人工知能ブーム

11

■ 現在は「第3次人工知能ブーム」と言われている

■ 人工知能研究の歴史：

- 第1次ブーム(1960年頃)：記号処理、論理推論
- 第2次ブーム(1980年頃)：エキスパートシステム

■ (伝統的な)人工知能研究者：

- 国内でも、第二次ブームの頃に大きな国家プロジェクトが推進されたが、目立った成果を残せず、その後苦しい日々が続いていた
- これまでの地道な努力がついに実を結んだ！

神経工学

- 第3次人工知能ブームは、ヒトの脳を模した
人工神経回路網(Artificial Neural Network)に基づく**深層学習(Deep Learning)**が牽引
- 神経工学(Neuro-Engineering)研究の歴史：
 - 第1次ブーム(1960年頃)：パーセプトロン(1層)
 - 第2次ブーム(1990年頃)：誤差逆伝播法(多層)
- 神経工学研究者：
 - 脳を模した学習システムを作りたいが、
ヒトの学習機能は未だほとんど解明できておりらず、
表面的な研究しかできず苦しい日々が続いた
 - これまでの地道な努力がついに実を結んだ！

第3次人工知能ブームの起爆剤

- (伝統的な) 人工知能研究者は、深層学習の研究はしてこなかった
- 神経工学研究者は、第2次神経工学ブームの研究成果を実用につなげられなかった
- 何が第3次AIブームの起爆剤なのか？

機械学習

- 近年の人工知能システムの背後では、コンピュータにヒトのような学習能力を持つさせる**機械学習(Machine Learning)**の技術が用いられている
- **コンピュータ科学(Computer Science)**が「第3次人工知能ブーム」を牽引：
 - 第1次・第2次人工知能ブームと、第3次人工知能ブームはほとんど関係ない
 - 「機械学習ブーム」と呼ぶべき
 - 米、中などの巨大IT企業が、現在の機械学習ブームを加速

機械学習の研究

■ 機械学習研究の歴史：

- 90年代中盤～：統計・凸最適化に基づく識別理論
- 90年代中盤～：ベイズ統計に基づく確率推論
- 10年代～：ヒューリスティックに基づく深層学習

■ 機械学習の研究トピック：

- 教師付き学習：伝統的に長く研究されており、今でも基礎研究・実世界応用の中心的話題
- 教師なし学習：05年代中盤から大きく注目されるようになってきたが、教師なし学習単体での実用性は低い
- 強化学習：「AlphaGoショック」以降、ブームになりつつあるが、本当の実用的価値の評価はこれから

「人工知能」関連分野の発展

16

■ 人工知能研究：

- 1次ブーム(1960年頃)：記号処理, 論理推論
- 2次ブーム(1980年頃)：エキスパートシステム

■ ニューラルネット研究：

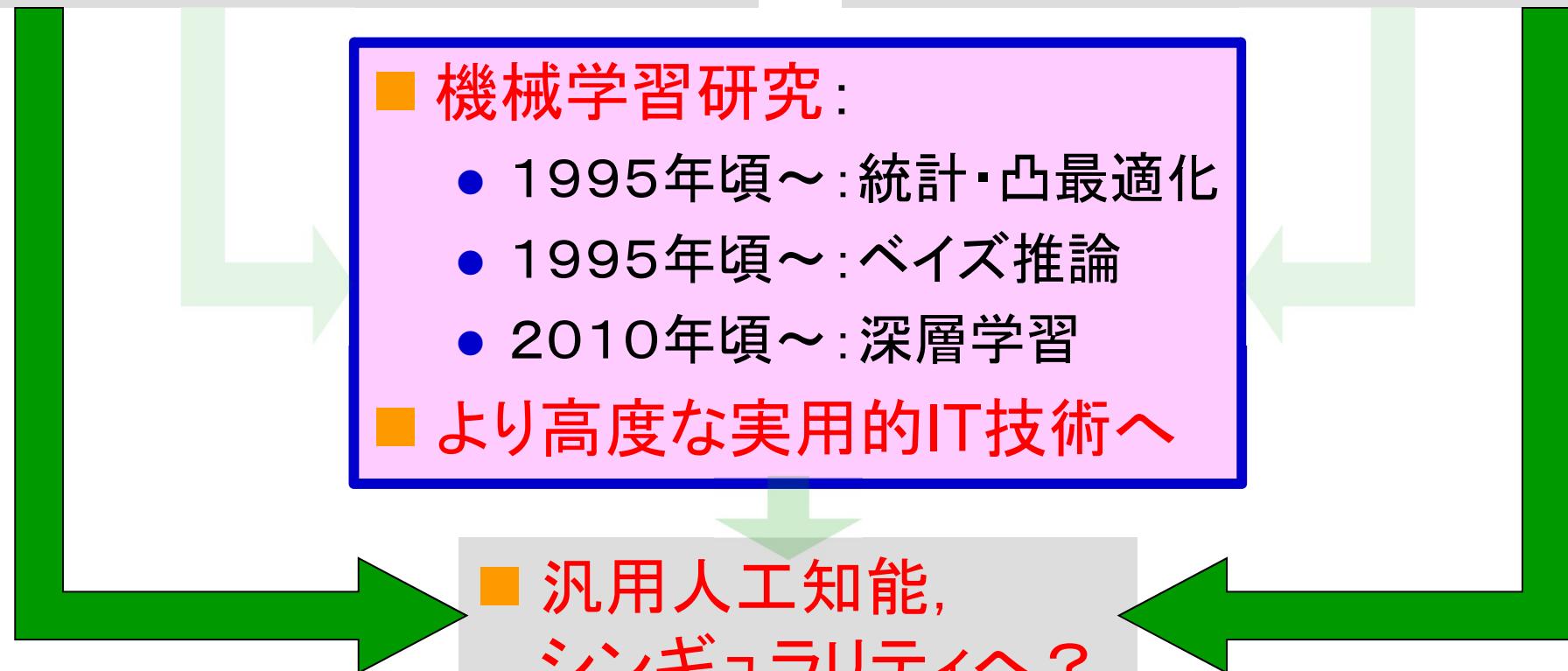
- 1次ブーム(1960年頃)：パーセプトロン(1層)
- 2次ブーム(1990年頃)：誤差逆伝播法(多層)

■ 機械学習研究：

- 1995年頃～：統計・凸最適化
- 1995年頃～：ベイズ推論
- 2010年頃～：深層学習

■ より高度な実用的IT技術へ

■ 汎用人工知能, シンギュラリティへ？



本講義の内容

■ 確率と統計の基礎：

- 最先端の機械学習技術の数学的基盤

■ 探索と最適化：

- 広大な探索空間から最適解を効率よく探索

■ 機械学習：

- データの背後に潜む知識を発見

■ 自然言語処理：

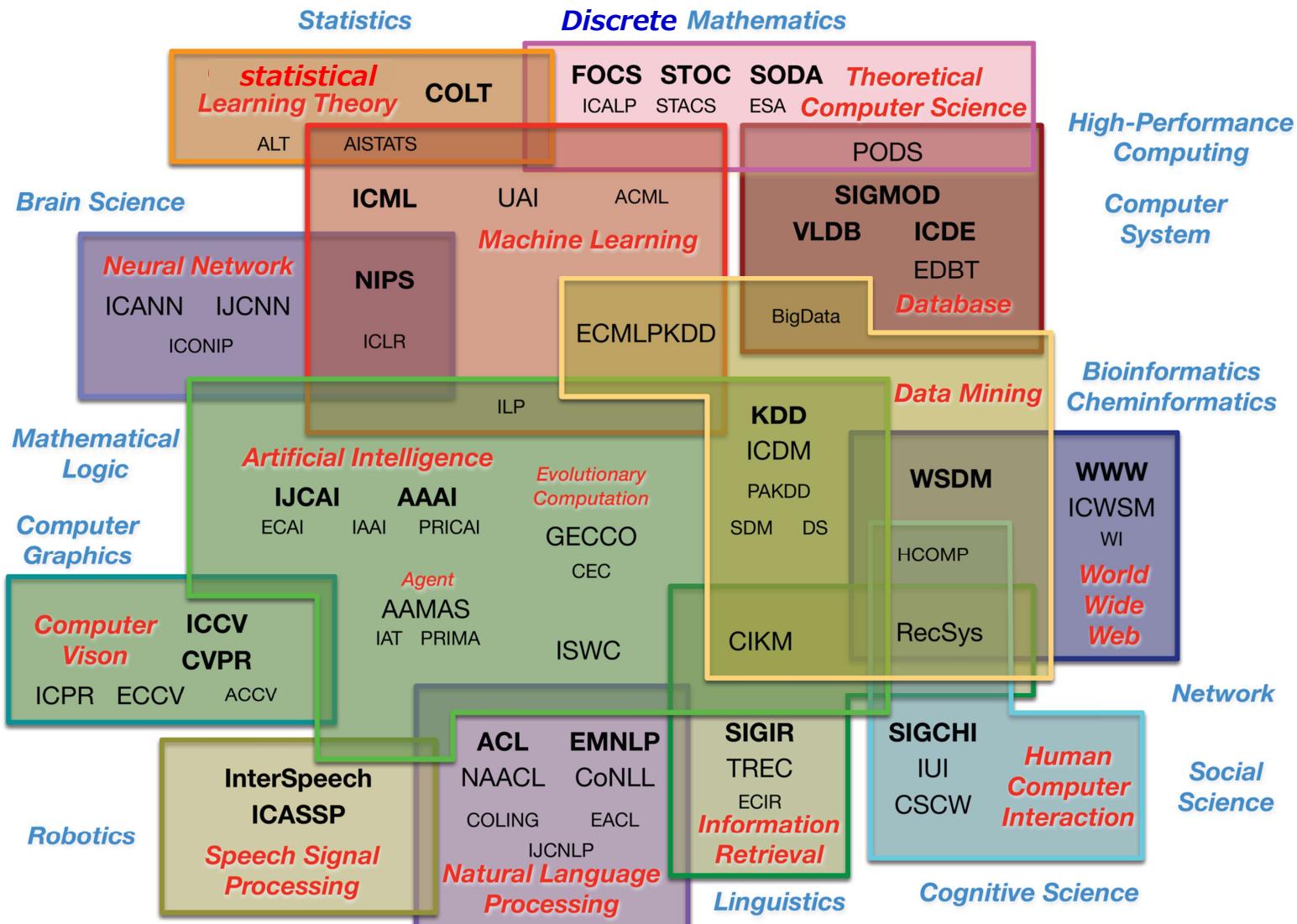
- 人工知能技術の応用例

機械学習・人工知能の研究コミュニティ¹⁸

- 多くの研究コミュニティでは、著名ジャーナルに論文を載せることが重要(Nature, Science...)
- しかし、機械学習・人工知能のコミュニティでは、
 - オープンアクセス性と速報性が重要
 - 有料のジャーナルは好まれない
 - オープンアクセスの国際会議やarXivが主流
 - 新しくできるNature Machine Intelligenceのボイコットに、数千人もの研究者が署名

「人工知能」に関する国際会議 19

■ 基礎数学から実世界応用まで、様々な学会が存在



※産総研・神鳶先生資料より抜粋（一部改変）

ML, DM, and AI Conference Map, Copyright © 2015 Toshihiro Kamishima All Rights Reserved, Updated 2015/02/22

機械学習の国際会議の動向

■ 参加者数が激増：

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
ICML	900	1200	1600	3000+	2400	5000
NIPS	1200	2400	3800	6000+	7500+	8000+

- ICML: International Conference on Machine Learning
- NIPS: Neural Information Processing Systems

■ 企業のスポンサーも非常に活発：

- **2000年台前半～**: アメリカのIT企業 (Google, IBM, Yahoo!, Microsoft...)
- **2000年台後半～**: 世界中のIT企業 (Amazon, Facebook, Linkedin, Tencent, Baidu, Huawei, Yandex...)
- **2010年台**: 製造・金融など様々な業種のスタートアップ～大企業

研究業界の動向

■ 現在は、アメリカ強（企業、大学とも）

- カナダ、ドイツ、イギリス、フランスなどにも
アメリカ系IT企業が次々と研究所を開設
- 中国系企業が猛烈な勢いで勢力を拡大中。
大学も巨額の資金をAI研究に投入

■ 一方、日本の存在感は薄い：

- 日本の国際会議での論文占有率は数%程度
- 日本人の研究者数も数%程度
- 中国・韓国は、欧米の大学・企業に所属している
学生・研究者が多数いるため、
コミュニティに深く溶け込んでいる



3種類の機械学習

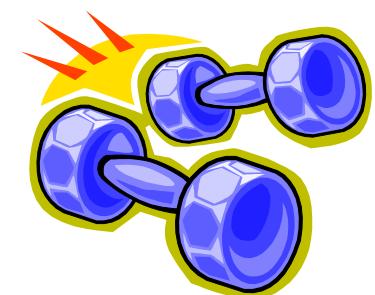
■ 教師付き学習：人間が教師となり、コンピュータの学習を手伝う



■ 教師なし学習：コンピュータが人間の手を介さずに自発的に学習する

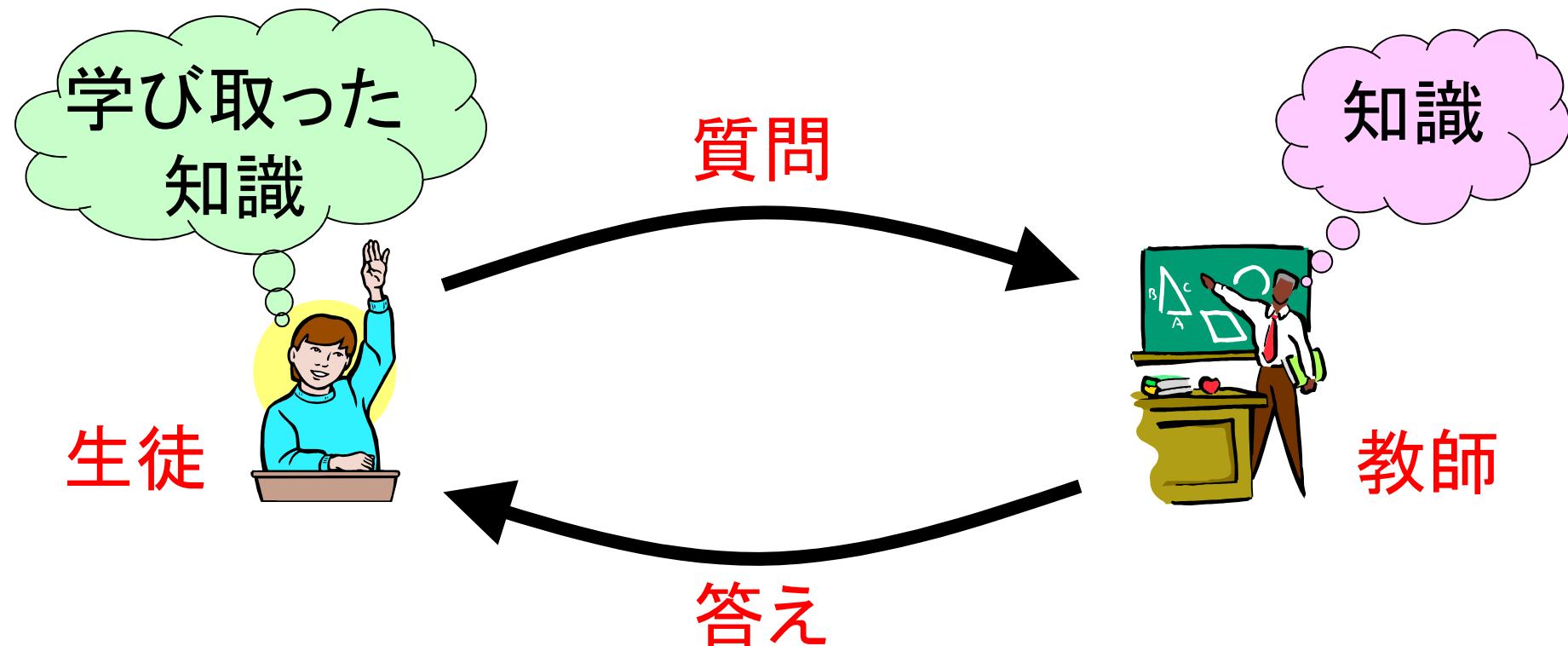


■ 強化学習：ロボットが人間の手を介さずに自発的に意思決定を行う



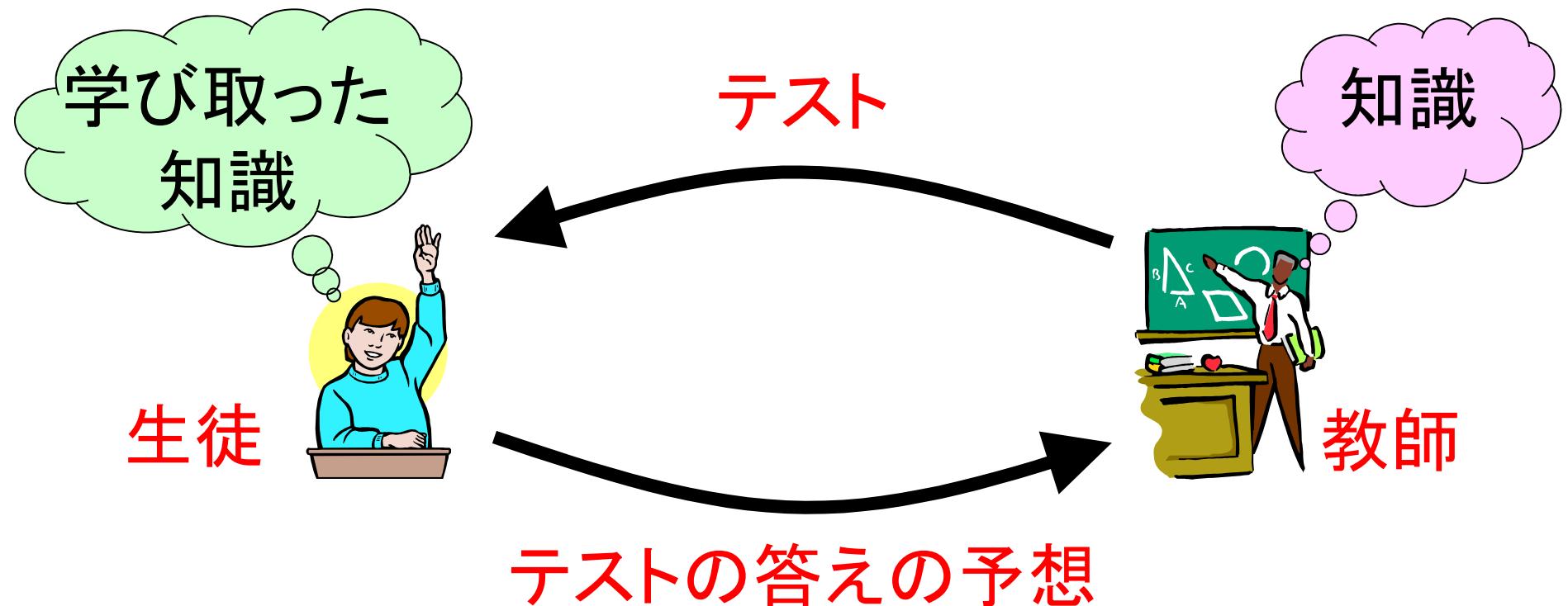
教師付き学習

- 教師: どんな質問に対しても答えられる
- 生徒: 教師に質問し、答えを教えてもらう
- ゴール: (生徒が) 教師の知識を学び取る



汎化能力

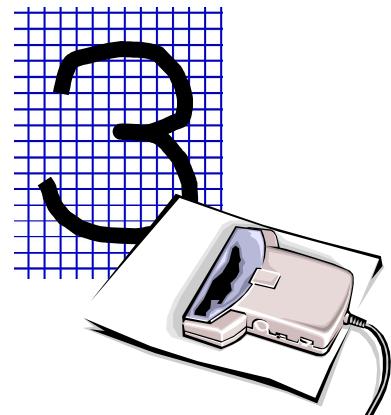
- 教わった答えを覚えるだけでなく、教師の知識**全体**を学び取れば、答えを教わっていない新しい質問(テスト)に対しても正しく解答できる



例：手書き数字認識

■ 手書き数字の認識

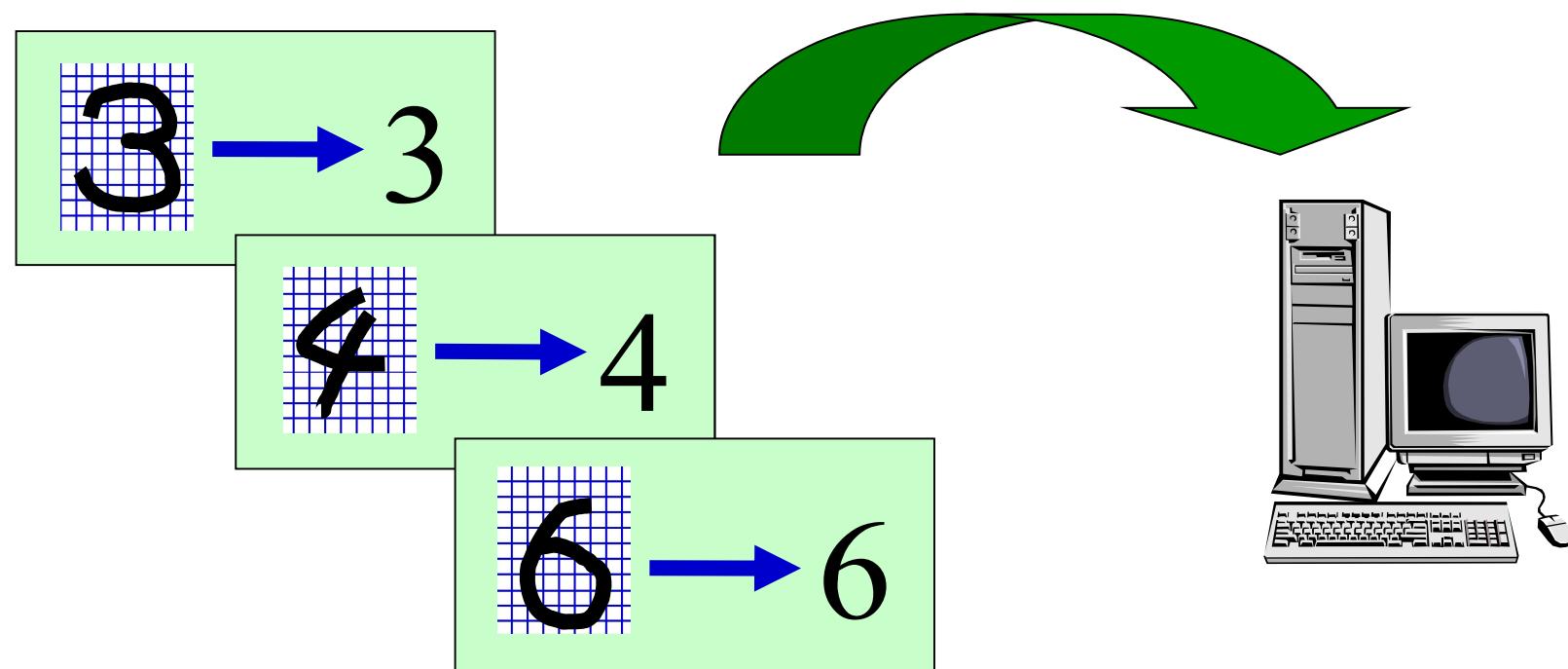
スキャナで取り込んだ
文字をコンピュータに
認識させる



3	6	8	1	7	9	6	6	9	1
6	7	5	7	8	6	3	4	8	5
2	1	7	9	7	1	2	8	4	6
4	8	1	9	0	1	8	8	9	4
7	6	1	8	6	4	1	5	6	0
7	5	9	2	6	5	8	1	9	7
2	2	2	2	3	4	4	8	0	
0	2	3	8	0	7	3	8	5	7
0	1	4	6	4	6	0	2	4	3
7	1	2	8	1	6	9	8	6	1

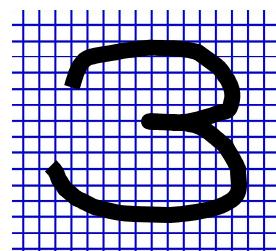
例：手書き数字認識（続き）

- 教師は、数字（の画像）を見たら、それが数字のいくつかを答えることができる。
- 数字の画像の例をいくつかコンピュータに学習させる



例：手書き数字認識（続き）

- コンピュータのメモリは大きいので、すべての文字を覚えさせるだけでよいのでは？
- 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。



例：手書き数字認識（続き）

- すべての文字を覚えさせるためには、
 256^{100} 種類の手書き文字データが必要！

$$256^{100} = (2^8)^{100} = (2^{10})^{80} \approx (10^3)^{80} = 10^{240}$$

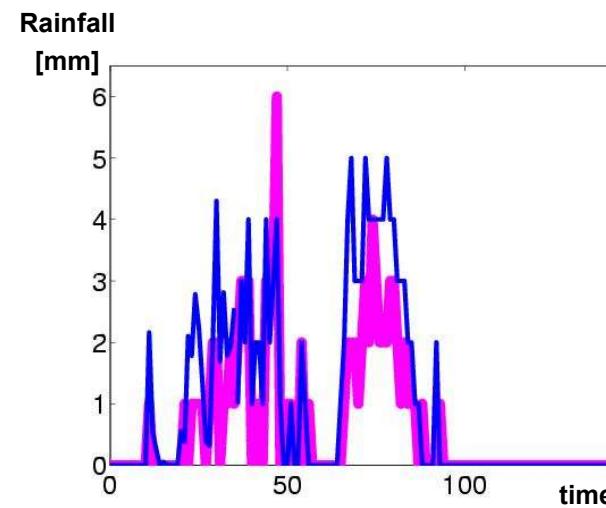
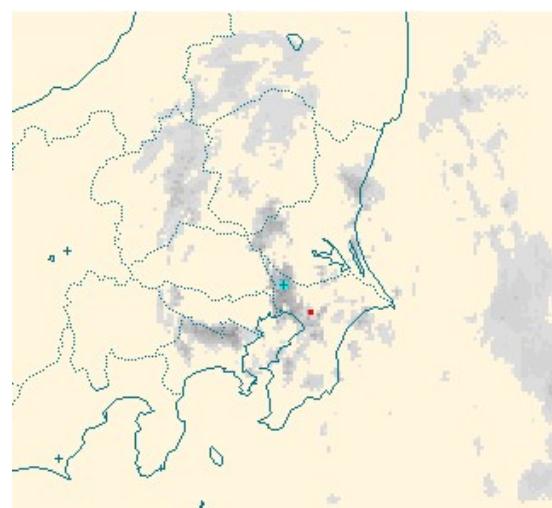
- すべてを覚えさせるのは不可能
- すべてのデータを人間が準備するのは
もっと不可能！

例：降水量予測



■ 降水量予測

過去の降水量と気象レーダのデータ
から、将来の降水量を予測する

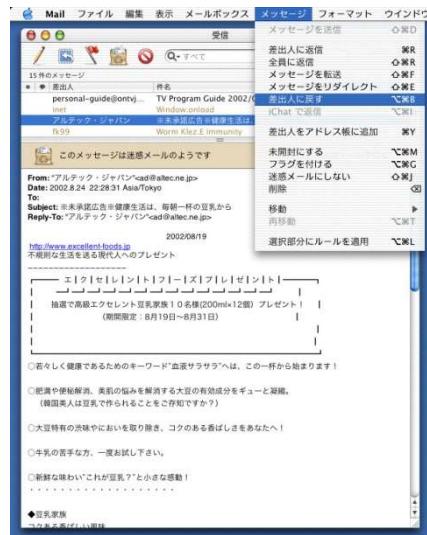


その他の例

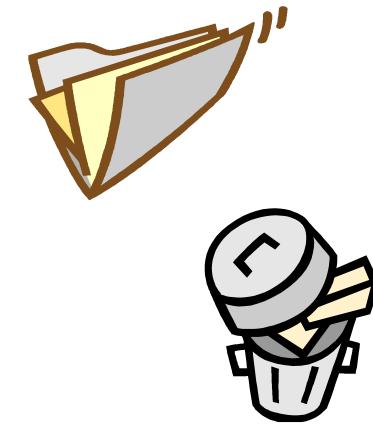
■ 株価予測



■ スパムフィルタ



CAC40	6 380	18H01	↗ + 1,86%
SBF120	4 315	18H01	↗ + 1,69%
SBF 250	4 042	18H01	↗ + 1,55%
MOCAC	2 661	18H01	↗ + 0,10%
INDICE AMI	4 450	18H01	↘ - 0,66%

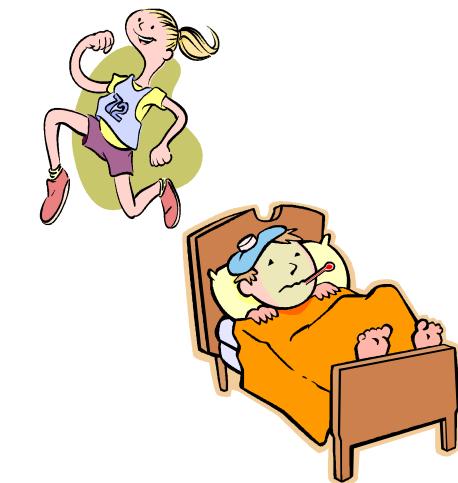
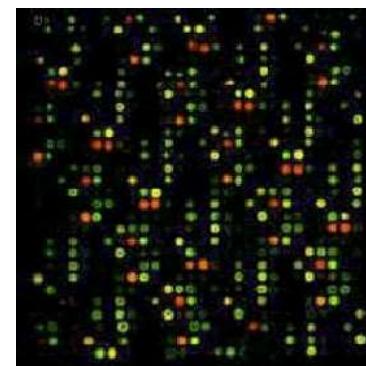


その他の例(続き)

■ロボットビジョン

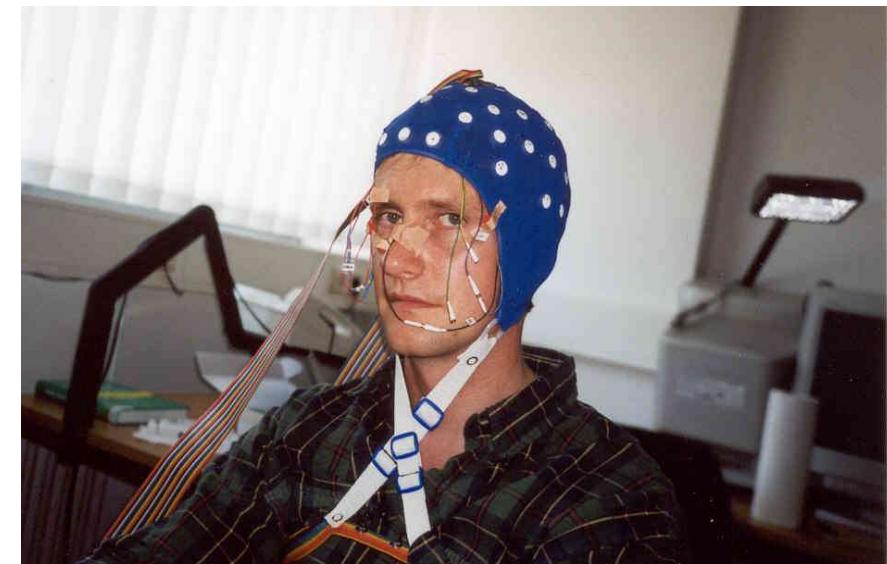
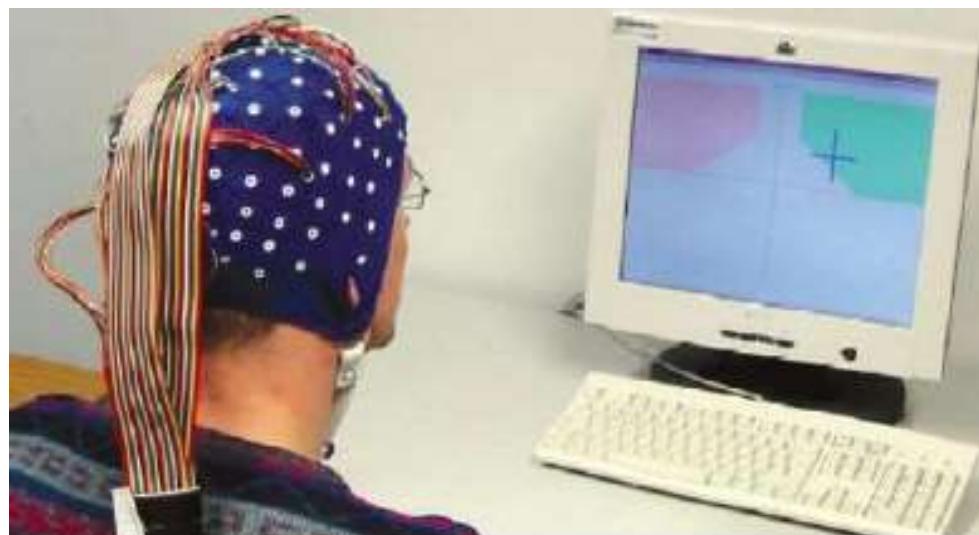


■遺伝子診断



ブレイン・コンピュータ インターフェース (BCI)

- 人間の**脳波**を読み取り、それに基づいてコンピュータを動かす
- 手足が動かない患者でもコンピュータが使えるようになる。



画像提供: フラウンホーファー研究所

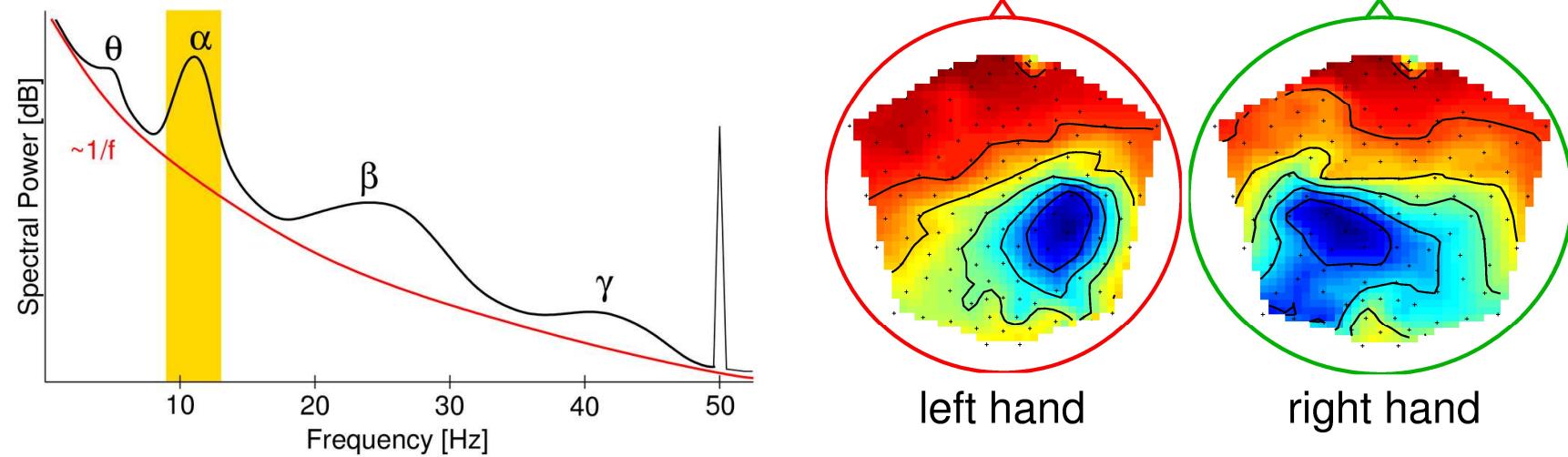
脳波信号生成の例

- 「右」信号の生成: 右手を動かすイメージをする
- 「左」信号の生成: 左手を動かすイメージをする

- 注意
 - 実際に手足は動かさない！手, 足, 顔(目も含む)につけた筋電センサーが反応した場合は, そのデータを却下する
 - 脳内への電極の埋め込みなどは行なわない

BCIの神経生理学的な背景

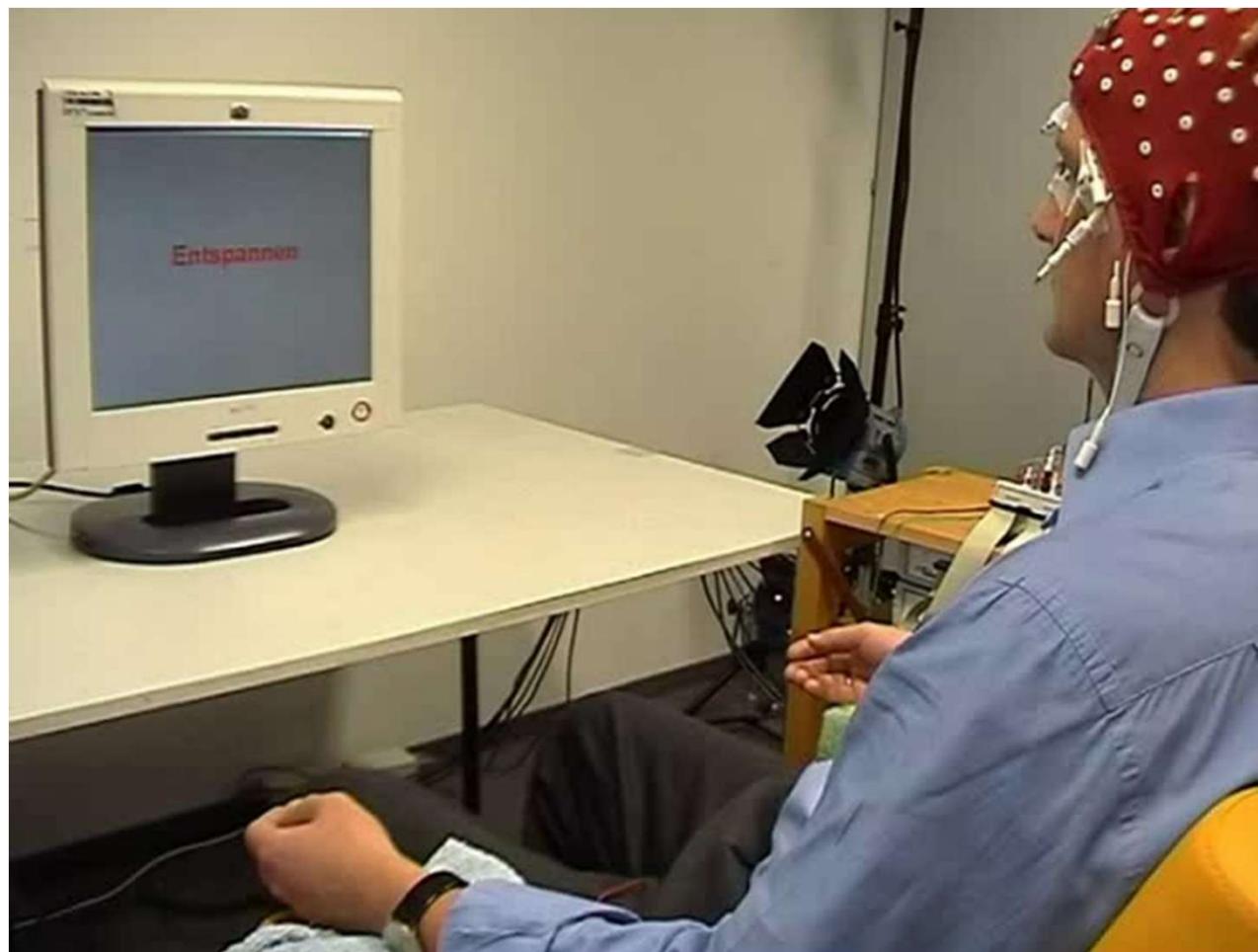
- 手を動かすイメージをすると、**事象関連脱同期化(ERD)**が起こり、対応する運動野のある周波数成分が抑制される



コンピュータの学習

35

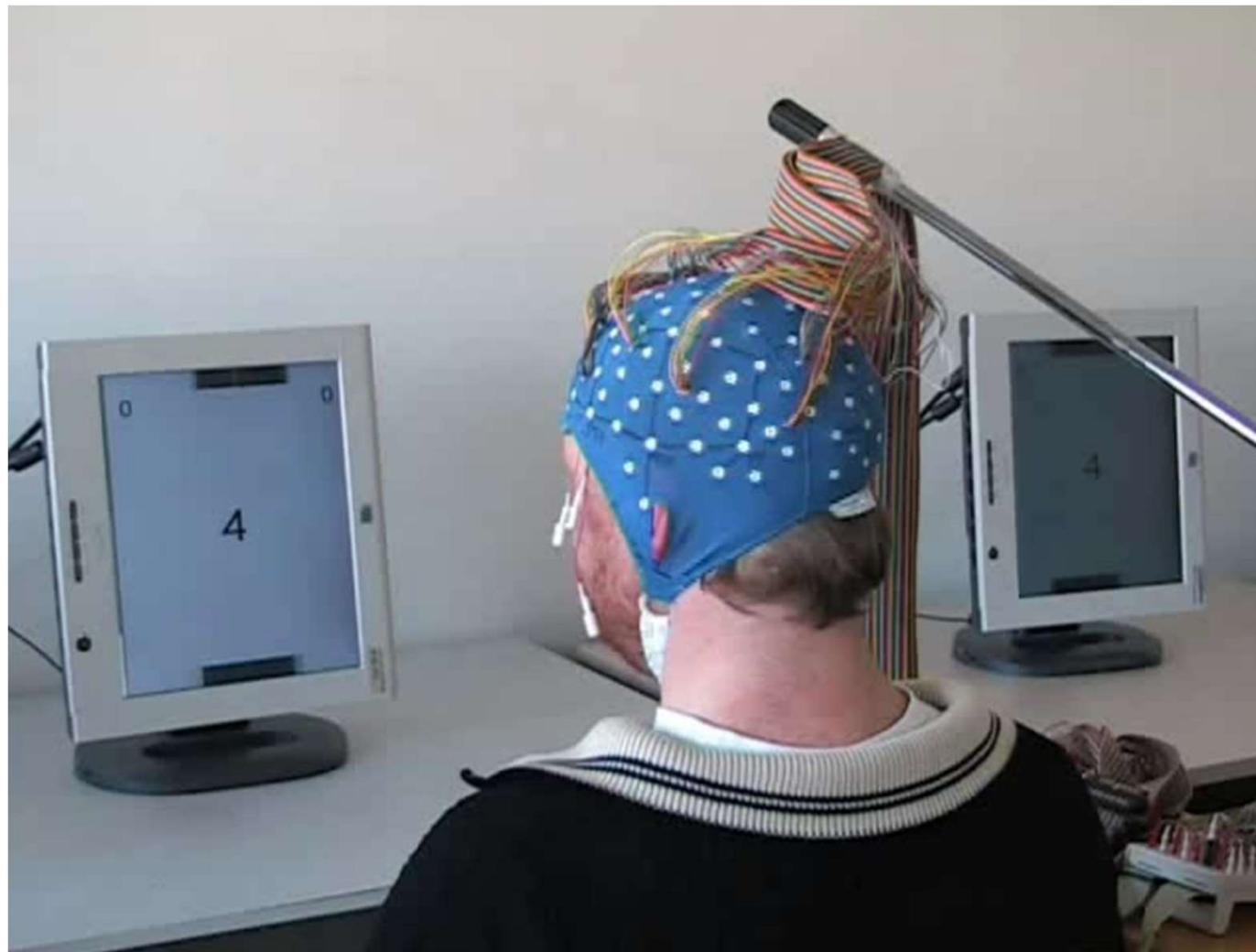
- 指示に従って、手を動かすイメージをする。



動画提供：フランツホーファー研究所

ブレイン・ポン！

■学習したコンピュータを使ってゲームをする



動画提供：フランツホーファー研究所



3種類の機械学習

37

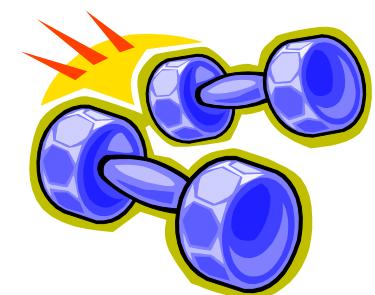
■ 教師付き学習：人間が教師となり、コンピュータの学習を手伝う



■ 教師なし学習：コンピュータが人間の手を介さずに自発的に学習する



■ 強化学習：ロボットが人間の手を介さずに自発的に意思決定を行う



教師なし学習

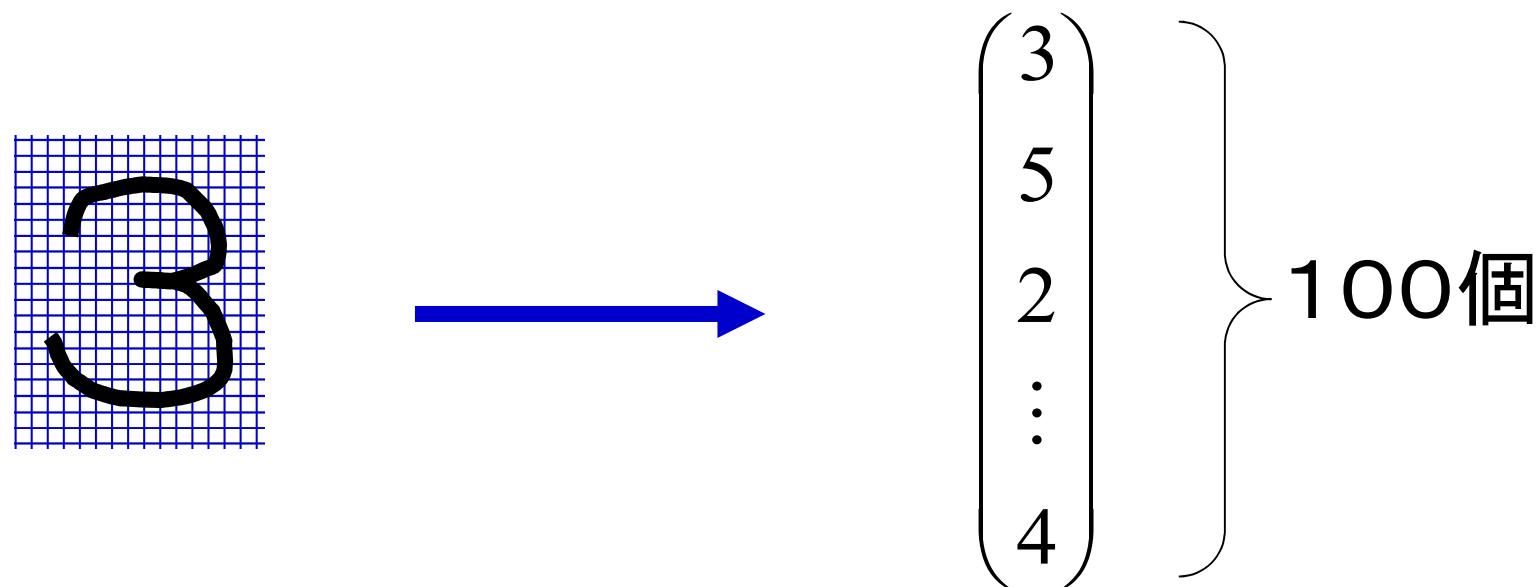
- 教師はない
- 自分ひとりで勉強する
- ゴールは勉強した知識から、
「有用なこと」を見つけ出すこと



高次元データの可視化(1)

39

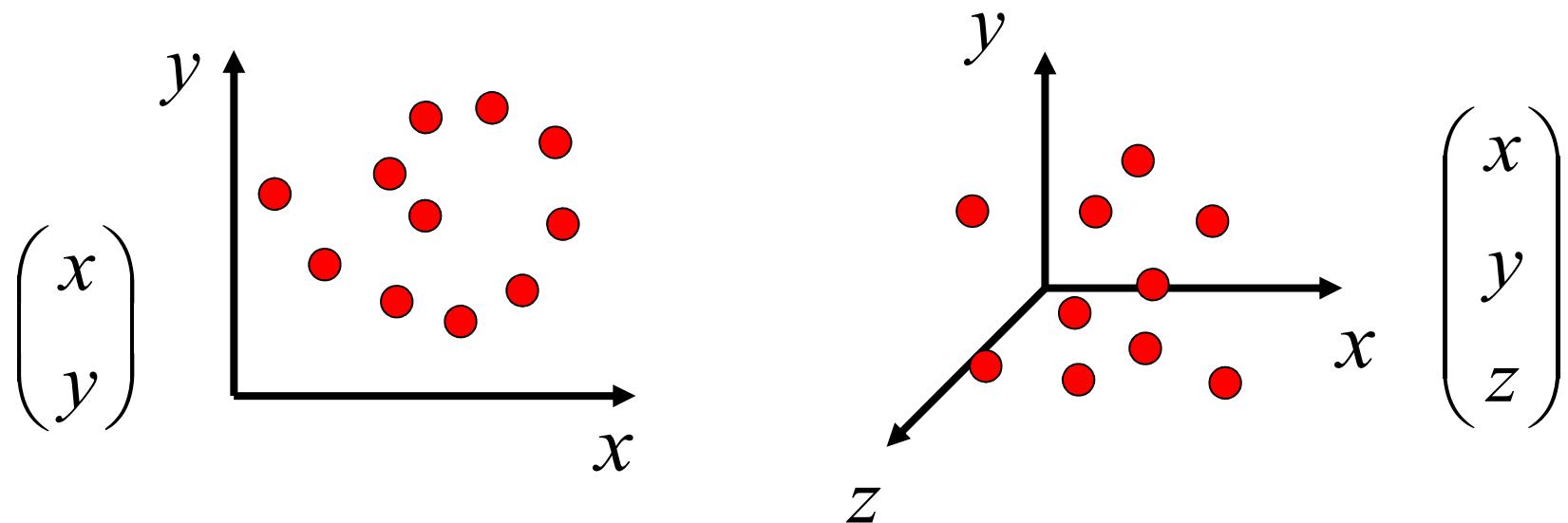
- ひとつの手書き数字が 10×10 画素で構成されているとする。
- ベクトルにすると100次元



高次元データの可視化(2)

40

- 2次元や3次元のベクトルはグラフに図示することができる

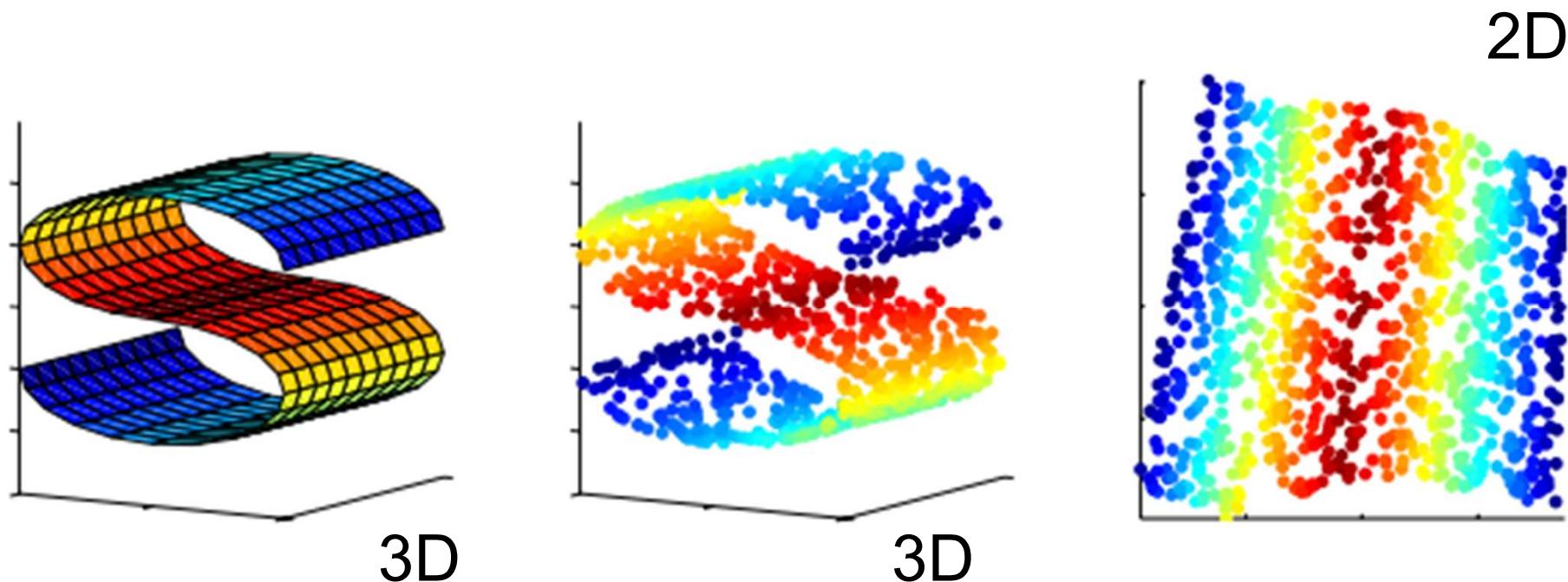


- 100次元のベクトルは図示できない！

高次元データの可視化(3)

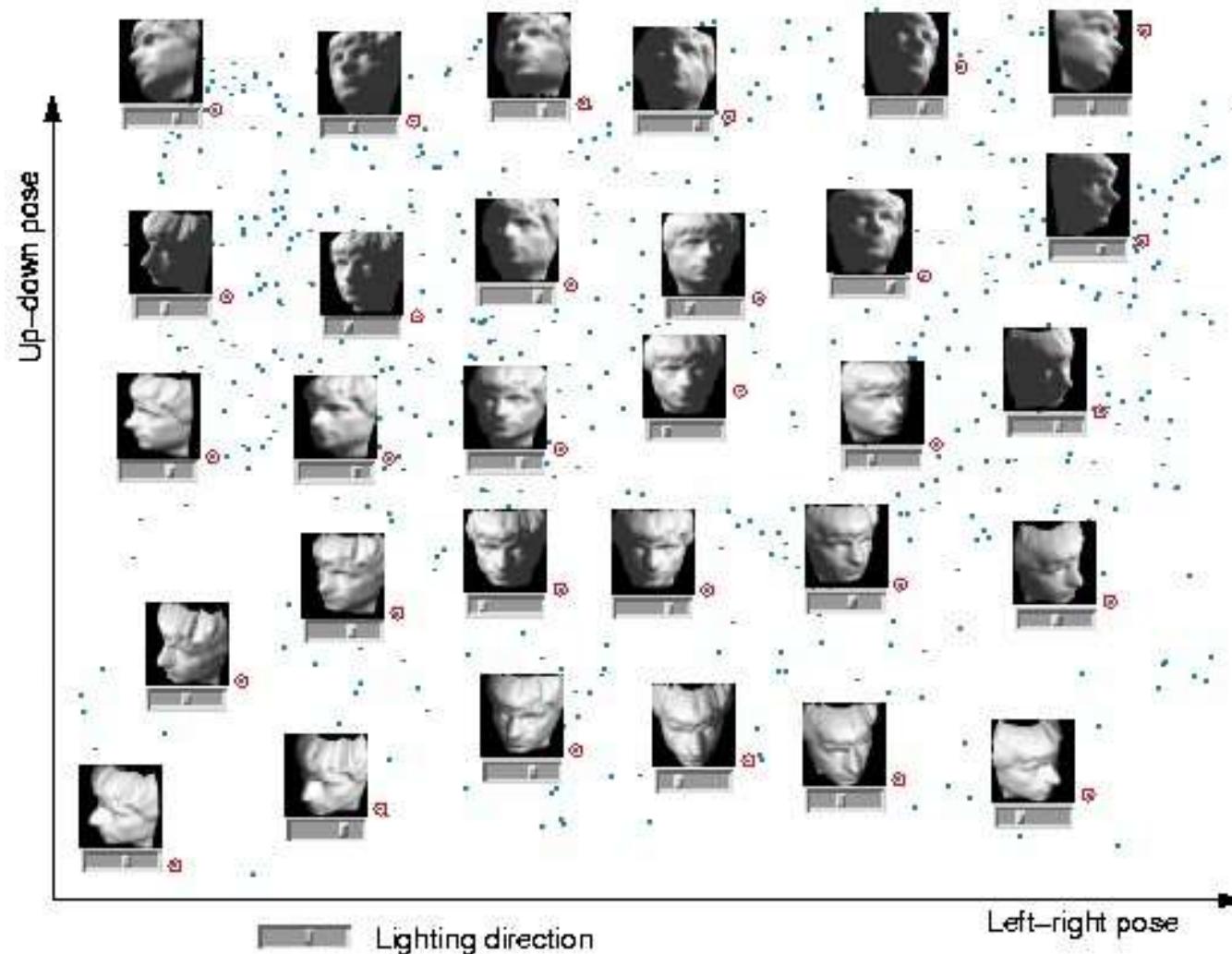
41

■ ゴール: もとの高次元のデータの特徴を残したまま、低い次元（通常は2か3）に変換する



例

■ 顔の画像の分布($64 \times 64 = 4096$ 次元)



- 聖徳太子は10人の会話を同時に理解したらしい



Wikipediaより

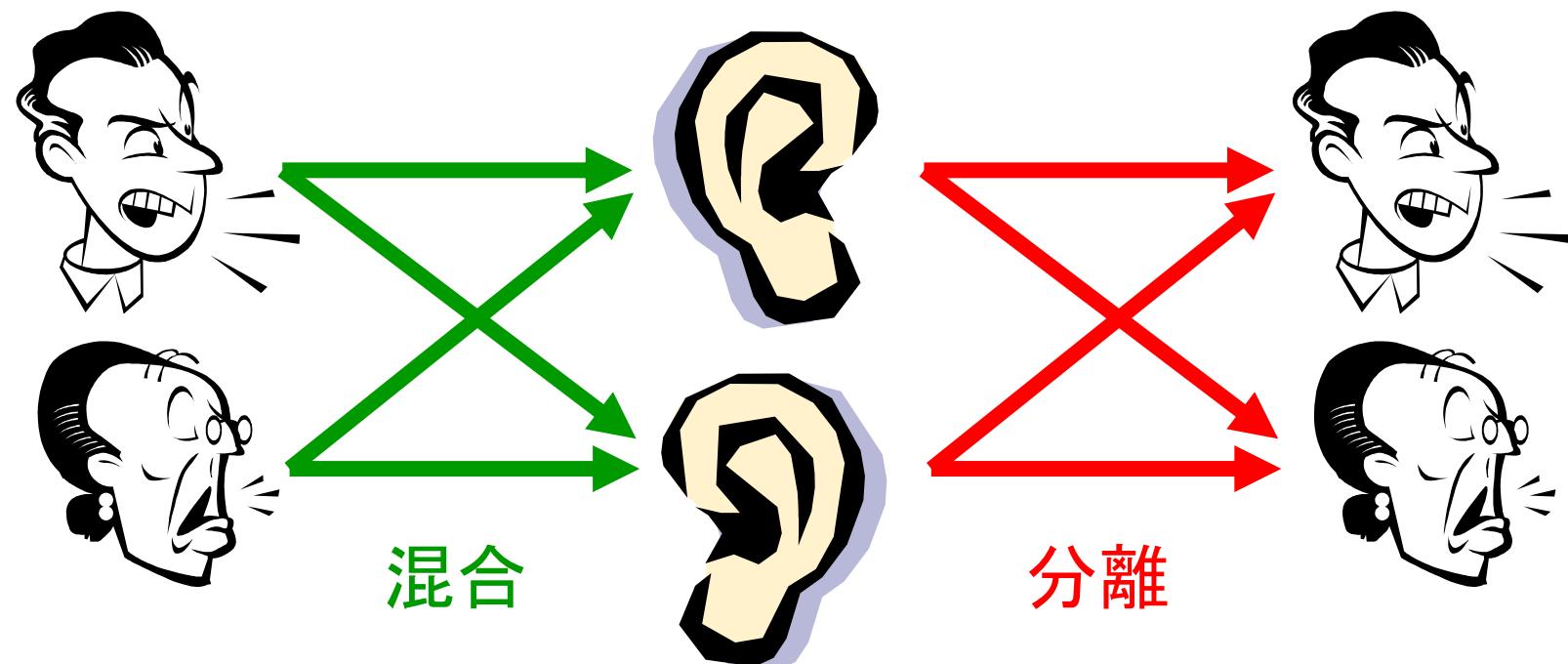
- 普通の人でも、2人の会話くらいなら理解できる？
- 工事現場で立ち話しをしても、話は聞き取れる



ブラインド信号源分離

44

- 二人の会話が混ざった音声信号を二つの耳で聞く.
- ゴール**: それらをもとの二つの音声信号に分離したい.



例

	混ざった 信号	分離した 信号1	分離した 信号2
会話+会話	🔊	🔊	🔊
会話+楽器	🔊	🔊	🔊

From <http://www.brain.kyutech.ac.jp/~shiro/research/blindsep.html>

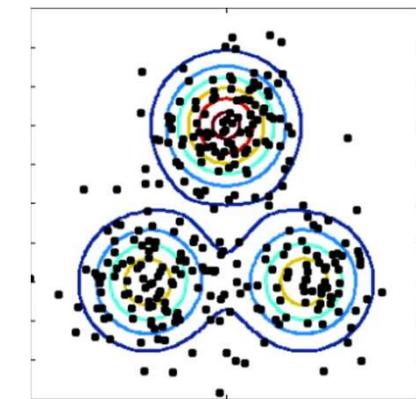
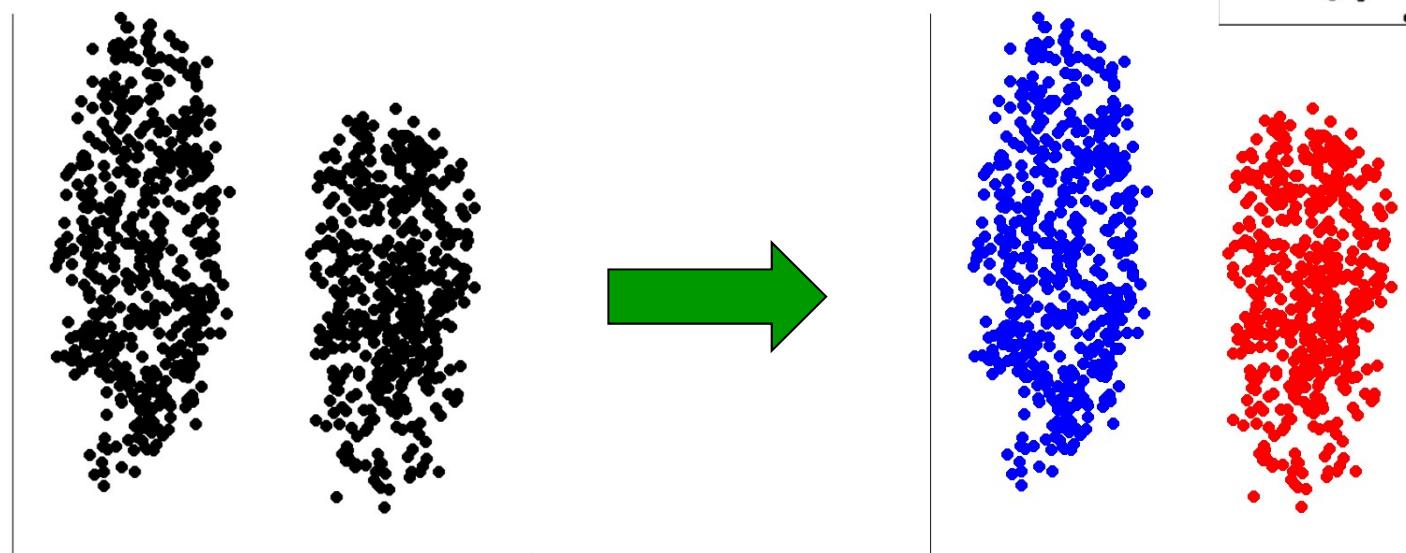


データのクラスタリング

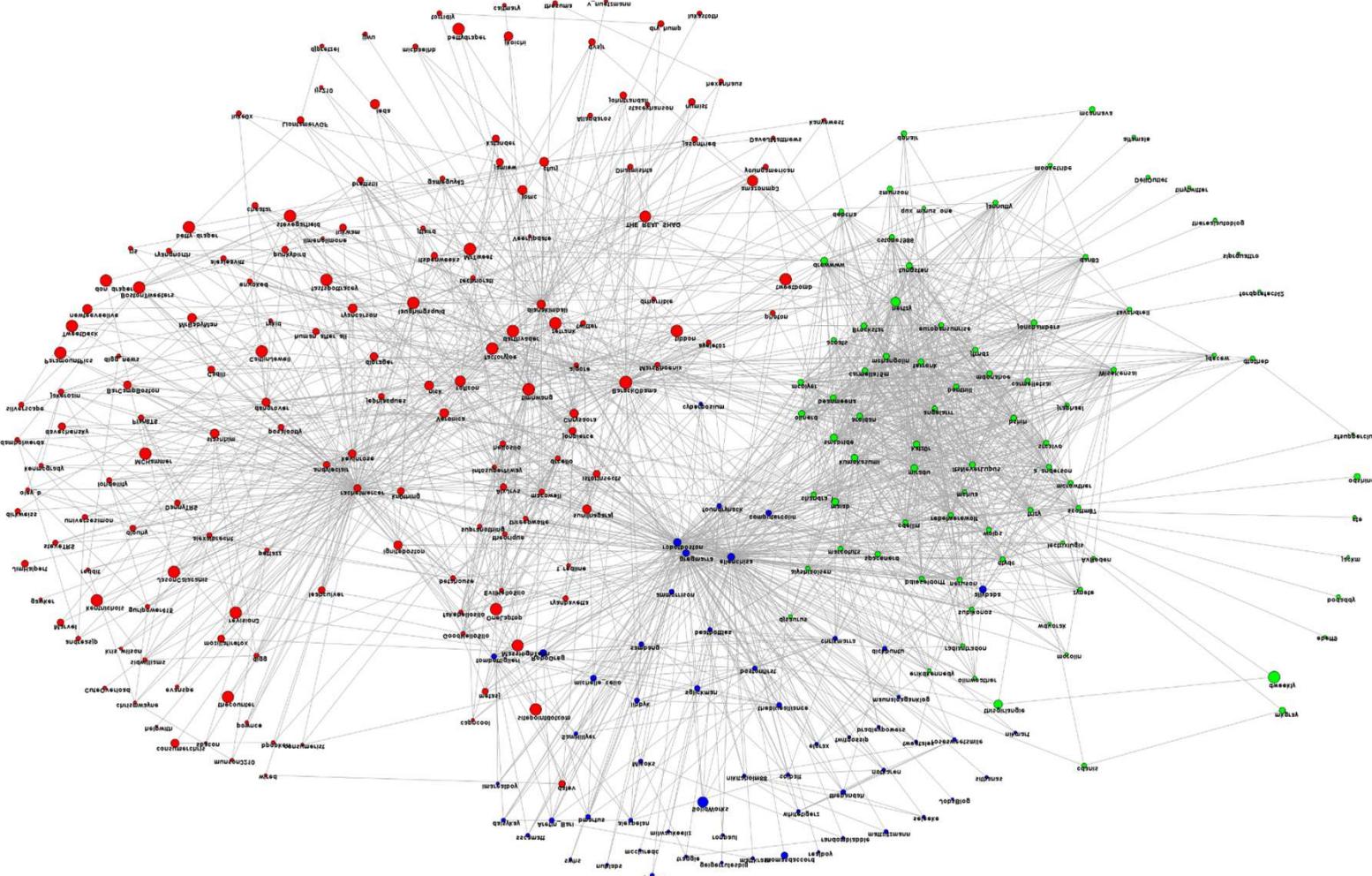
46

■ ゴール: 与えられたデータをいくつかのグループに分類したい

- 似たものは同じグループに
- 違うものは別のグループに



ツイッターのフォロー関係からの コミュニティ発見 47



<http://ca.olin.edu/2008/realboy/images/world.png>

異常検知

- ゴール: システムの異常を検知したい
- 通常と「質」の異なるデータが現れたら警報を鳴らす
 - コンピュータネットワークの侵入検知
 - 人工衛星の異常検知





3種類の機械学習

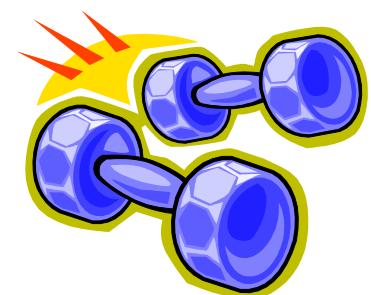
■ 教師付き学習：人間が教師となり、コンピュータの学習を手伝う



■ 教師なし学習：コンピュータが人間の手を介さずに自発的に学習する

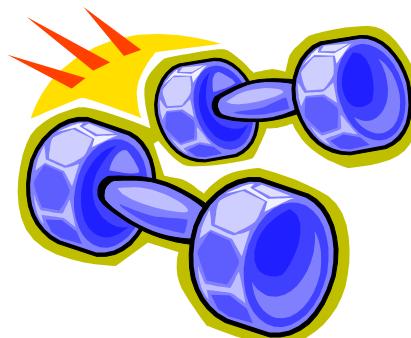


■ 強化学習：ロボットが人間の手を介さずに自発的に意思決定を行う



強化学習

- 教師付き学習と同じく、教師の知識を学びたい
- しかし、教師は答えを教えてくれない
- 代わりに、生徒（ロボット）が予想した答えが正しければ**報酬**をくれる
- 生徒（ロボット）は、報酬が最大になるように学習する！



強化学習(続き)

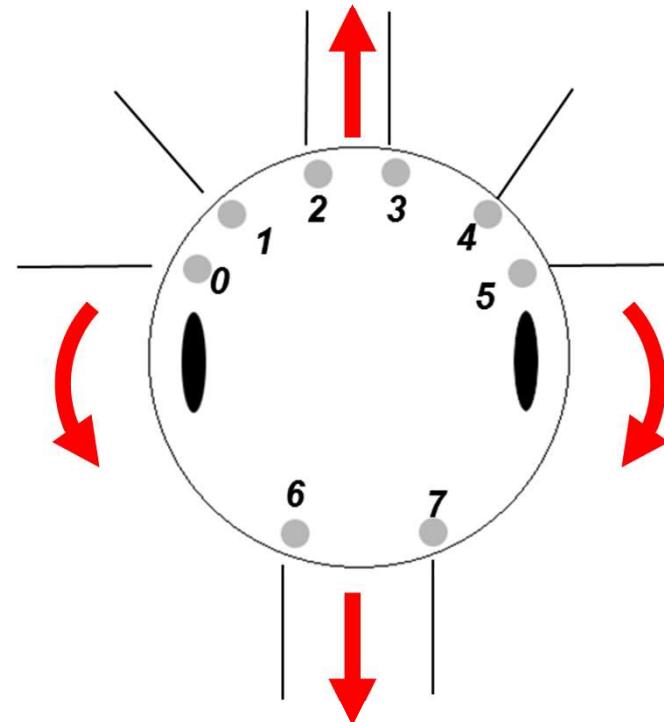
- 強化学習は赤ちゃんの学習と似ている
- 赤ちゃんは親にほめてもらえるような行動をとる



ロボットの障害物回避

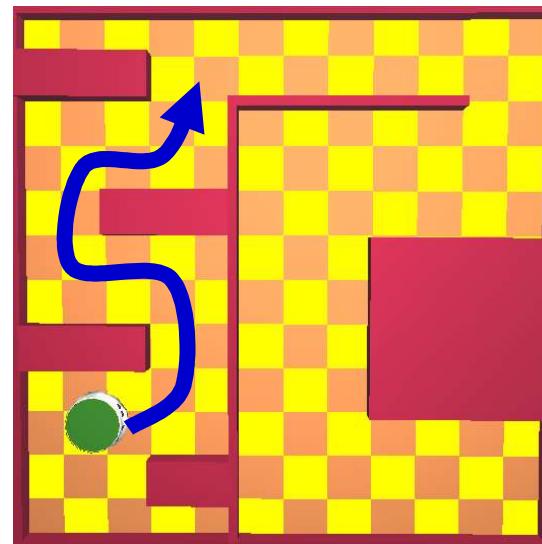
■ Kheperaロボット

- 2つの車輪: 前進, 後進, 左回転, 右回転
- 8個の赤外線センサー: 壁との距離を計測

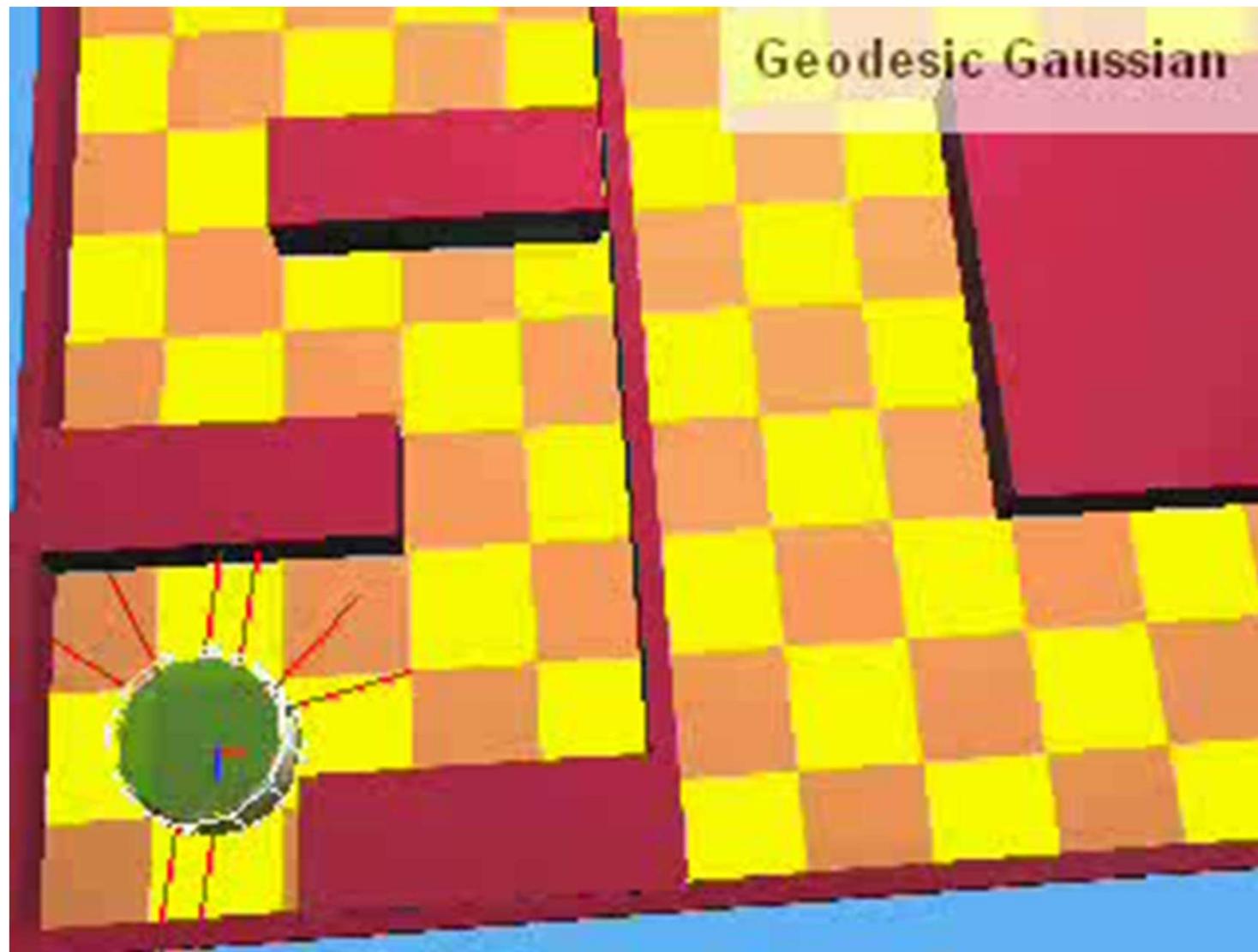


ロボットの障害物回避(続き)

- **ゴール**: 障害物を避けて進む
- **報酬**:
 - 壁にぶつかったらマイナスの報酬(罰金)
 - 前に進んだらプラスの報酬
- **どうやって障害物を避けるかは教えない！**



例



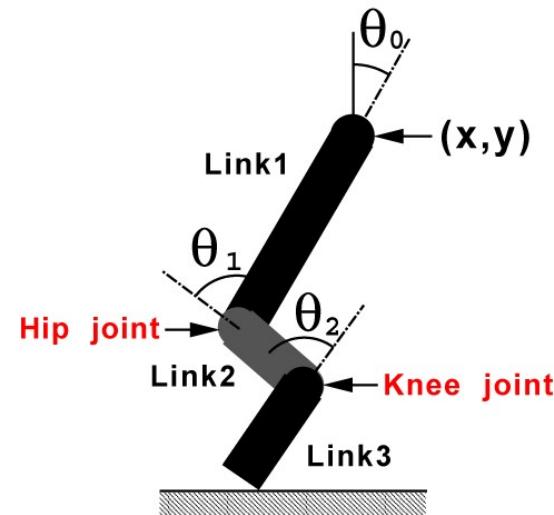
ロボットの立ち上がり動作

■ ヒューマノイド(?)ロボット:

- 関節が二つ
- 関節の角度を操作できる

■ ゴール: 立ち上がり動作を学習させる

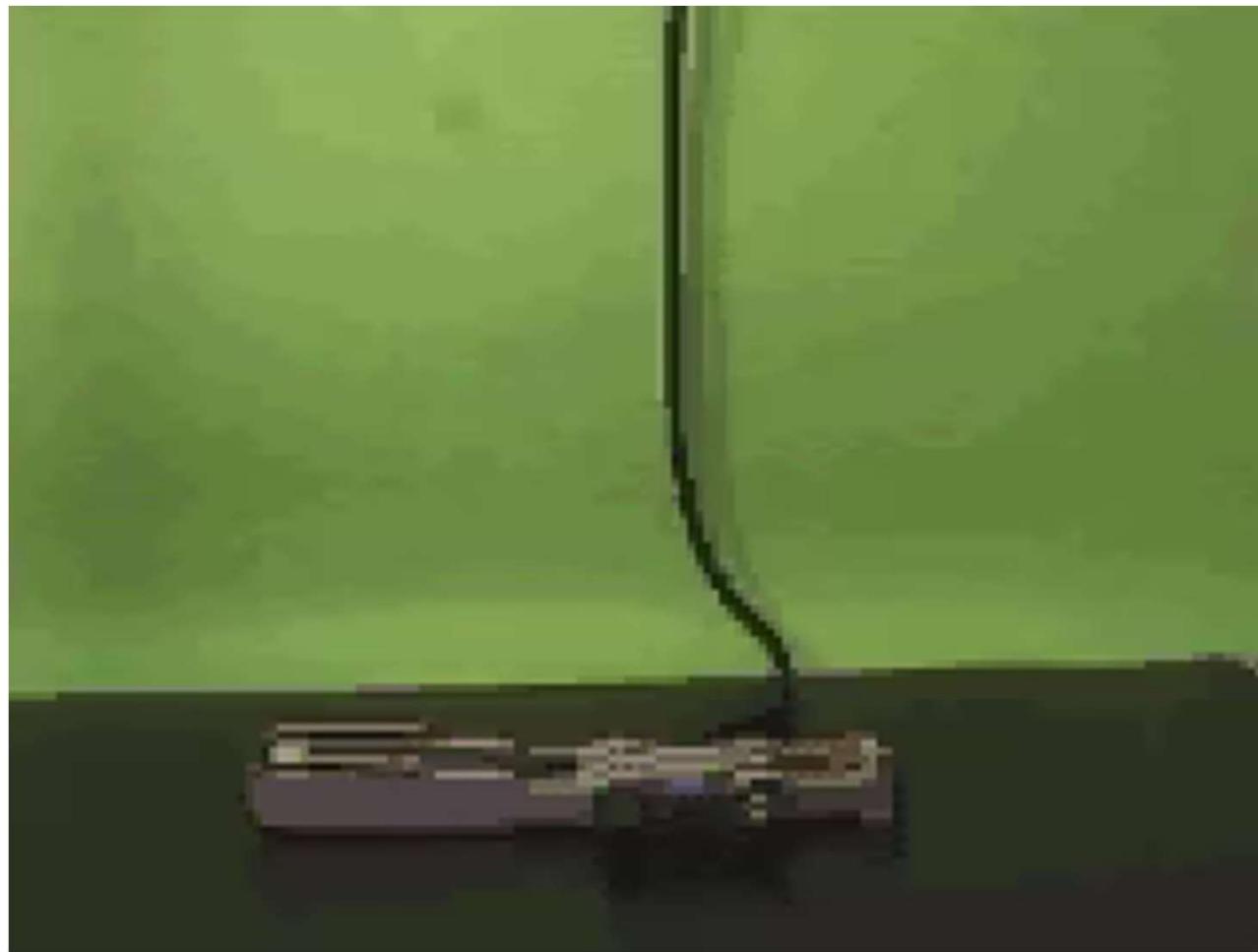
■ 報酬: 頭を高く持ち上げたときにプラスの報酬を与える



立ち上がり=頭の位置が最高

例1

■ 学習前



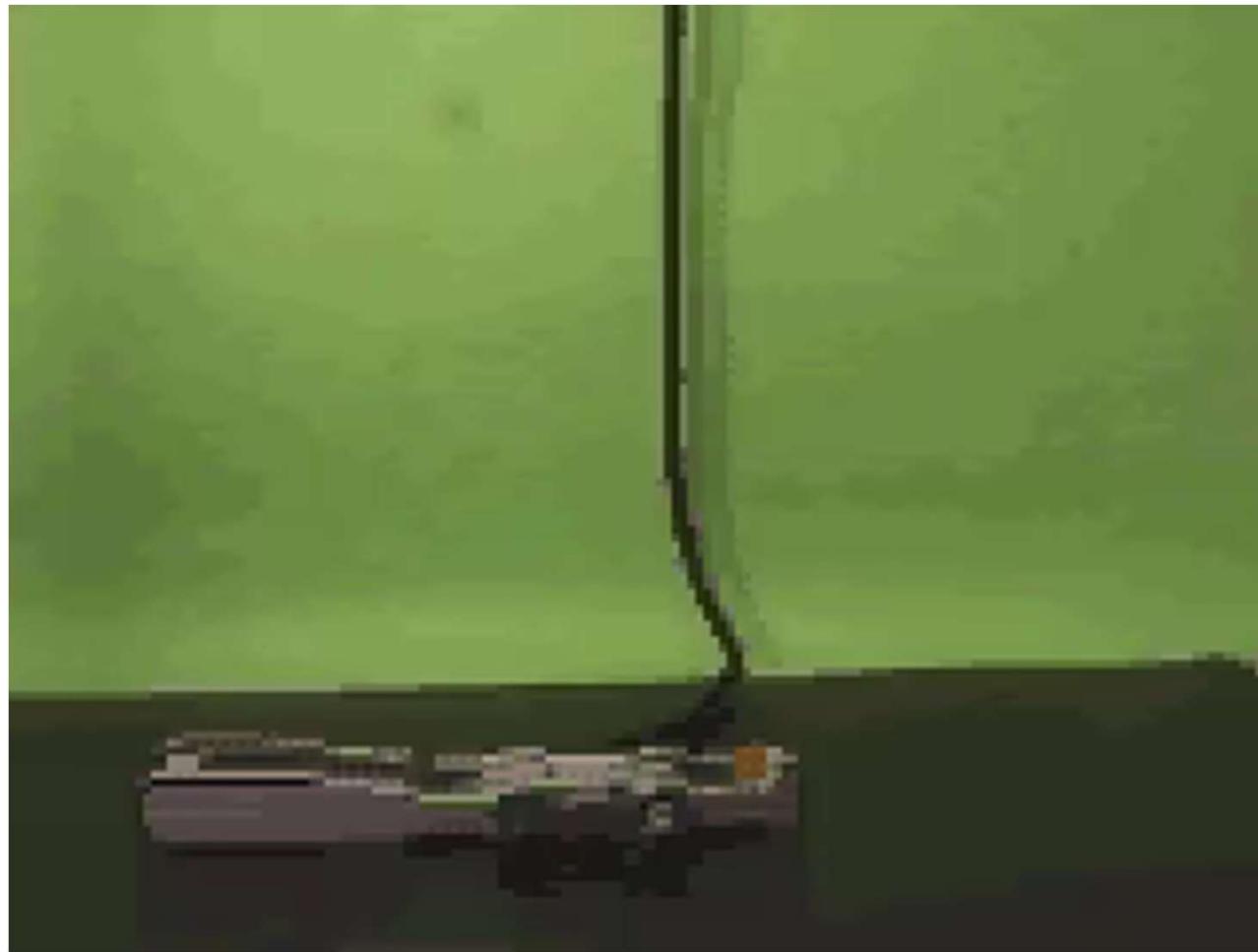
例2

■ 750回の学習後



例3

■ 920回の学習後



http://www.kawato.jst.go.jp/xmorimo/stup_movie.html

その他の応用例

■ ロボット制御:



■ コンピュータアート:



まとめ

■ 人工知能：

- 知的なコンピュータシステムを作る
- 数学, プログラミング, 実世界応用をつなぐ架け橋

■ 探索：

- 広大な探索空間を効率よく探索

■ 機械学習：

- データの背後に潜む知識を発見

講義計画

- 09/27 概要(杉山)
- 10/04 確率と統計の基礎1(本多)
- 10/11 確率と統計の基礎2(本多)
- 10/18 確率と統計の基礎3(本多)
- 10/25 最適化1(佐藤)
- 11/01 最適化2(佐藤)
- 11/08 月曜授業のため講義なし
- 11/15 機械学習1(本多)
- 11/22 機械学習2(佐藤)
- 11/29 機械学習3(杉山)
- 12/06 最適化3(本多)
- 12/13 自然言語処理1(宮尾)
- 12/20 自然言語処理2(宮尾)
- 12/27 自然言語処理3(宮尾)
- 01/10 試験

宿題

- 教師付き学習、教師なし学習、強化学習の自分独自の例を一つずつ考え、その有用性、実現可能性、社会的影響などについて論ぜよ
- 宿題の提出締め切りは、次回講義の開始時
 - 遅れて提出した場合は、減点する
- 宿題は、ITC-LMSから電子的に提出すること