

# 人工知能研究の歴史から現状 脳科学とAIの関係

東京大学・大学院新領域創成科学研究科  
複雑理工学専攻

岡田真人

# 初回の会合の目的と内容

- AIからICT, IoT社会へ
- 次世代AIの方向性:脳科学との融合
- WG構成員で人工知能の現状や課題についての共通認識
- 岡田
  - 機械学習(AI)の開発の歴史から現状
  - ビッグデータなどとの関係
  - 脳科学と機械学習の関係
- 杉山先生
  - AIや機械学習の現状分析
  - 現状の課題

# 内容

- 自己紹介
- 人工知能研究(AI)の歴史と現状
- 米国ビッグデータイニシアチブ
- データ駆動型AIと知識駆動型AI
  - データ駆動科学の三つのレベルから見たAI
- AI研究の5項目
- 脳科学と第3次人工知能ブーム
  - ネオコグニトロンとCNN
  - Rosenblattのパーセプトロンとカーネル法
- AI・脳科学研究の解決すべき課題

# 自己紹介

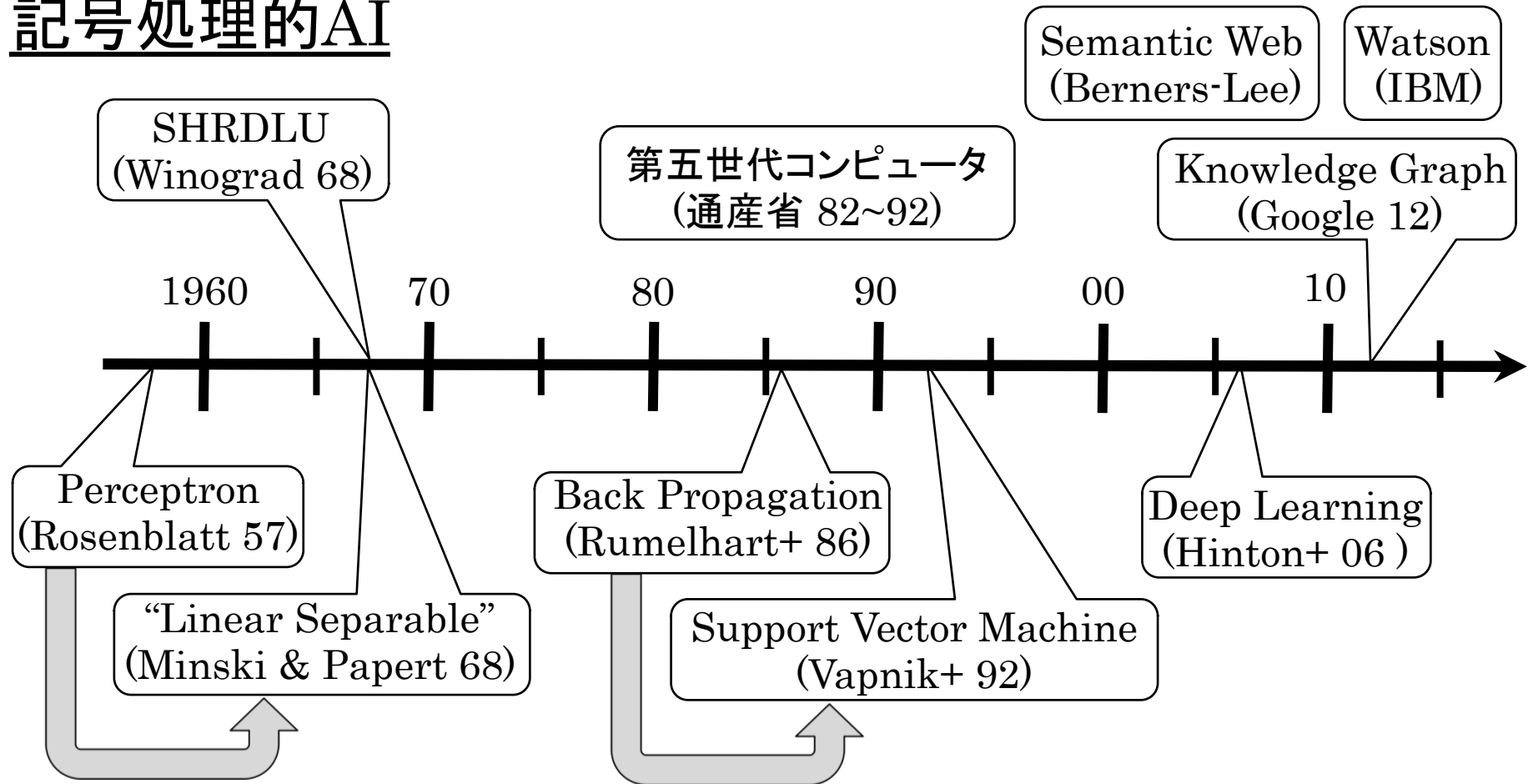
- 大阪市立大学理学部物理学科 (1981 - 1985)
  - アモルファスシリコンの成長と構造解析
- 大阪大学大学院理学研究科(金森研) (1985 – 1987)
  - 強相関電子系の物性理論
- 三菱電機 (1987 - 1989)
  - 化合物半導体(半導体レーザー)の結晶成長
- 大阪大学大学院基礎工学研究科生物工学(福島研) (1989 - 1996)
  - ニューラルネットワーク, ネオコグニトロン, Hopfieldモデル
- JST ERATO 川人学習動態脳プロジェクト (1996 - 2001)
  - 計算論的神経科学
- 理化学研究所 脳科学総合研究センター 甘利チーム (2001 - 2004/06)
  - 情報統計力学
  - ベイズ推論, 機械学習, データ駆動型科学
- 東京大学・大学院新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻
  - データ駆動科学 (2004/07 – )
- JST ERATO 岡ノ谷情動情報PJ GL (2008/10 – 2014/03)
- NIMS 情報統合型 物質・材料開発イニシアティブ 副PL 物理モデルGL (2015/8/1 -

# 内容

- 自己紹介
- 人工知能研究(AI)の歴史と現状
- 米国ビッグデータイニシアチブ
- データ駆動型AIと知識駆動型AI
  - データ駆動科学の三つのレベルから見たAI
- AI研究の5項目
- 脳科学と第3次人工知能ブーム
  - ネオコグニトロンとCNN
  - Rosenblattのパーセプトロンとカーネル法
- AI・脳科学研究の解決すべき課題

# 人工知能(AI)の年表

## 記号处理的AI



## パターン处理的AI(Neural Network: NN)

(産総研人工知能センター 麻生英樹)

# AIの歴史の重要な点（1995から同期の萌芽）

- 計算機の発明を起点として、**記号处理的AI**と**脳型AI** (NN)の研究がはじまる
  - 計算機を持てば、知能が作りたくなる
  - 記号とパターンの二つのパラダイム
- 少しフェーズをずらしながら**独自に発展**
  - 二つのパラダイムの緩やかな競合
- 二つのパラダイムが迎えた危機
  - 記号处理的AI: 知識獲得のボトルネック (1995)
  - NN: ディープネットからシャローネット(カーネル法)へ (1995)
- 計算機の高速化, Web, 実践的な機械学習 (1995)
  - 記号处理的AI: 知識獲得のボトルネックの解消 (IBM Watson)
  - NN: ディープラーニング

# 初回の会合の目的と内容

- AIからICT, IoT社会へ
- 次世代AIの方向性:脳科学との融合
- WG構成員で人工知能の現状や課題についての共通認識
- 岡田
  - 機械学習(AI)の開発の歴史から現状
  - ビッグデータなどとの関係
  - 脳科学と機械学習の関係
- 杉山先生
  - AIや機械学習の現状分析
  - 現状の課題



# 内容

- 自己紹介
- 人工知能研究(AI)の歴史と現状
- 米国ビッグデータイニシアチブ
- データ駆動型AIと知識駆動型AI
  - データ駆動科学の三つのレベルから見たAI
- AI研究の5項目
- 脳科学と第3次人工知能ブーム
  - ネオコグニトロンとCNN
  - Rosenblattのパーセプトロンとカーネル法
- AI・脳科学研究の解決すべき課題

# データ科学 (Jim Gray, 1944-2012)

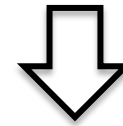
## Fourth paradigm

Jim Grayの第四パラダイム論が思想的背景

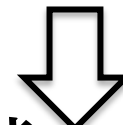
2011年2月にScience誌にデータ科学の特集が組まれる

これが次のスライドの米ビッグデータ研究開発イニシアチブにつながる

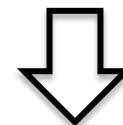
第1の時代: 経験科学  
(数千年前～, アリストテレス)



第2の時代: 理論科学  
(数百年前～, ライプニッツ)



第3の時代: 計算科学  
(数十年前～, フォン・ノイマン)



第4の時代: データ科学

# 米ビッグデータ研究開発イニシアチブ 朝日新聞 2012年 5月26日

2012年3月29日 予算2億ドル  
「ビッグデータ研究開発イニシアチブ」始動

- ・膨大な量のデータ管理や分析を必要とする最先端中核技術の発展を促すこと
- ・その技術を科学や工学分野における発見, 国家安全保障の強化, 教育に役立てること
- ・ビッグデータ技術分野の人材育成を達成すること

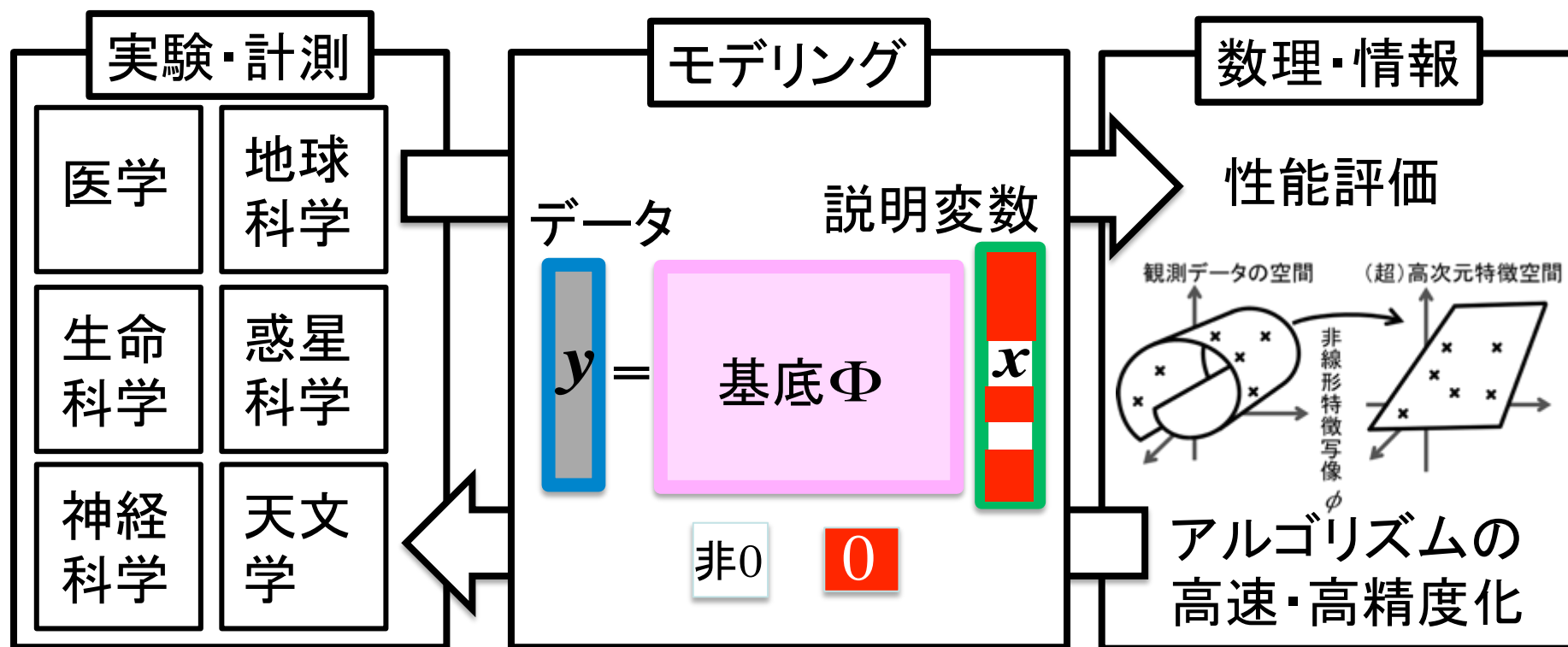
# JST CRESTによるビッグデータ研究体制

- 2013~20年度 JST CREST 「ビッグデータ統合利活用のための次世代基盤技術の創出・体系化」  
研究総括 喜連川 優(国立情報学研究所 所長／東京大学教授)
  - 分野を超えたビッグデータ利活用により, 新たな知識や洞察を得るための革新的な情報技術およびそれらを支える数理的手法の創出・高度化・体系化
- 2013~20年度 JST CREST 「科学的発見・社会的課題解決に向けた各分野のビッグデータ利活用推進のための次世代アプリケーション技術の創出・高度化」  
研究総括 田中 譲(北海道大学 特任教授)
  - 生命, 物質材料, 健康・医療, 都市基盤システム, 防災・減災などの様々な 科学的発見および社会的・経済的な挑戦的課題の解決や革新的価値創造を, ビッグデータを高度統合利活用する革新的技術によって実証的に実現

# 新学術領域研究 平成25～29年度

## スパースモデリングの深化と高次元データ駆動科学の創成

大量の高次元計測データに隠された規則性を抽出するデータ解析の系統的技術の開発は、「データ科学時代」における全ての科学分野に共通する喫緊の課題である。本領域では、多くの自然科学分野の高次元計測データに普遍的にスパース性が存在することを基本原理としたスパースモデリングに注目し、生命分子からブラックホールに至る、幅広い自然科学分野の実験・計測研究者と情報科学者の連携により、この課題を解決する。これにより、スパースモデリングの数理的基盤を深化させ、高次元データ駆動科学ともいうべき新学術領域を創成する。

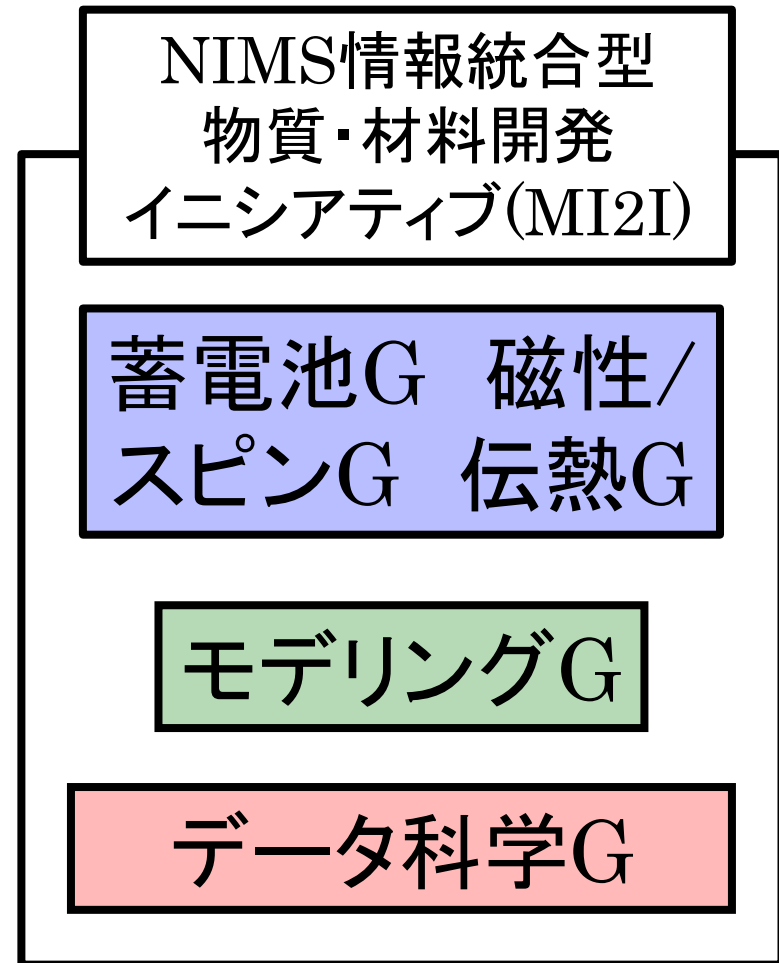
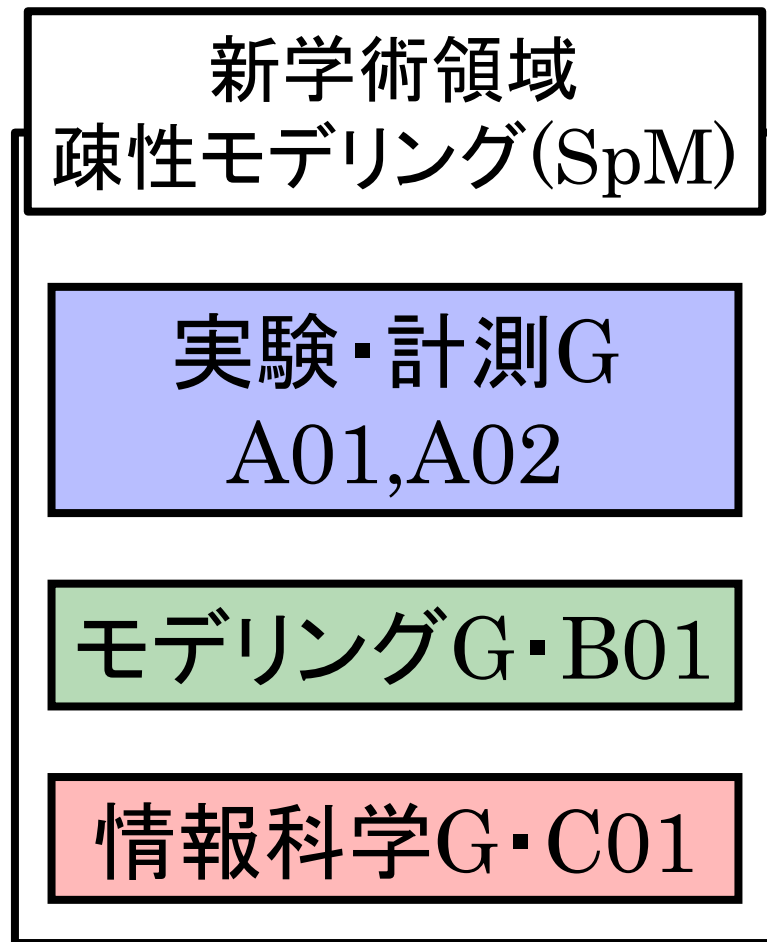


# MGI: マテリアルゲノムイニシアチブ (2011-)

- 米ビッグデータ研究開発イニシアチブの具体例
- 日本の基幹産業の一つである、材料素材産業の基礎になる物質材料科学が対象
- ヒトゲノム計画のようにデータ科学を使って、物質材料科学のパラダイムシフトをねらう
- 物質材料科学を記述する基本因子(記述子)をマテリアルゲノムとなづける
- 物質や材料の特性を決める記述子をデータから自動抽出

<https://www.whitehouse.gov/mgi>

# MGIへの対応: (研) 物質・材料研究機構(NIMS) 情報統合型 物質・材料開発イニシアティブ(MI2I)



新学術領域SpMとNIMS MI2IのPJの構造的類似性

# 内容

- 自己紹介
- 人工知能研究(AI)の歴史と現状
- 米国ビッグデータイニシアチブ
- データ駆動型AIと知識駆動型AI
  - データ駆動科学の三つのレベルから見たAI
- AI研究の5項目
- 脳科学と第3次人工知能ブーム
  - ネオコグニトロンとCNN
  - Rosenblattのパーセプトロンとカーネル法
- AI・脳科学研究の解決すべき課題



# AI発展の年表(ゲームから入試へ)

積み木遊びの世界で概念を  
学習するARCHプログラム発表  
(Winston 70)

1970

80

90

00

10

オセロ王 井上博に  
勝利(Moor 80)

チェス王G.Kasparov  
に勝利(DeepBlue 97)

木村7段に角落ち  
で勝利(激指 05)

東京大学入試に挑戦  
(東ロボくん 15)

# AI for Science: 入試から科学へ

連立方程式とその応用

鶴亀算 食塩水 寝坊  
して追いかける問題

連立方程式への変換

加減法, 代入法

新学術領域SpM

実験・計測グループ  
生物学, 地学

モデリング

機械学習

入試問題と科学におけるデータ解析には構造的類似性がある

# 新学術 SpM: データ駆動科学の三つのレベル 対象によらないデータ解析の普遍的構造

## 計算理論(対象の科学, 計測科学)

データ解析の目的とその適切性を議論し, 実行可能な方法の論理(方略)を構築

## モデリング(統計学, 理論物理学, 数理科学)

計算理論のレベルの目的, 適切さ, 方略を元に, 系をモデル化し, 計算理論を数学的に表現する

## 表現・アルゴリズム(統計学, 機械学習, 計算科学)

モデリングの結果得られた計算問題を, 実行するためのアルゴリズムを議論する.

# 内容

- 自己紹介
- 人工知能研究(AI)の歴史と現状
- 米国ビッグデータイニシアチブ
- データ駆動型AIと知識駆動型AI
  - データ駆動科学の三つのレベルから見たAI
- AI研究の5項目
- 脳科学と第3次人工知能ブーム
  - ネオコグニトロンとCNN
  - Rosenblattのパーセプトロンとカーネル法
- AI・脳科学研究の解決すべき課題

# AI研究の5項目

- AI for Science
- AI for Technology
- AI for Sensing
  
- Brain Science for AI (岡田)
- Machine Learning Theory (杉山先生)

# 初回の会合の目的と内容

- AIからICT, IoT社会へ
- 次世代AIの方向性:脳科学との融合
- WG構成員で人工知能の現状や課題についての共通認識
- 岡田
  - 機械学習(AI)の開発の歴史から現状
  - ビッグデータなどとの関係
  - 脳科学と機械学習の関係
- 杉山先生
  - AIや機械学習の現状分析
  - 現状の課題

# 内容

- 自己紹介
- 人工知能研究(AI)の歴史と現状
- 米国ビッグデータイニシアチブ
- データ駆動型AIと知識駆動型AI
  - データ駆動科学の三つのレベルから見たAI
- AI研究の5項目
- 脳科学と第3次人工知能ブーム
  - Rosenblattのパーセプトロンとカーネル法
  - ネオコグニトロンとCNN
- AI・脳科学研究の解決すべき課題

# 中間層ランダムパーセプトロン と神経科学

3層パーセプトロン [Rosenblatt 1958]

小脳パーセプトロン説 [Marr 1969] [Albus 1971]

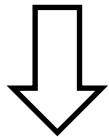
苔状線維 → 顆粒細胞 → プルキンエ細胞

生理実験における実証 [伊藤正男 1982]



# カーネル法

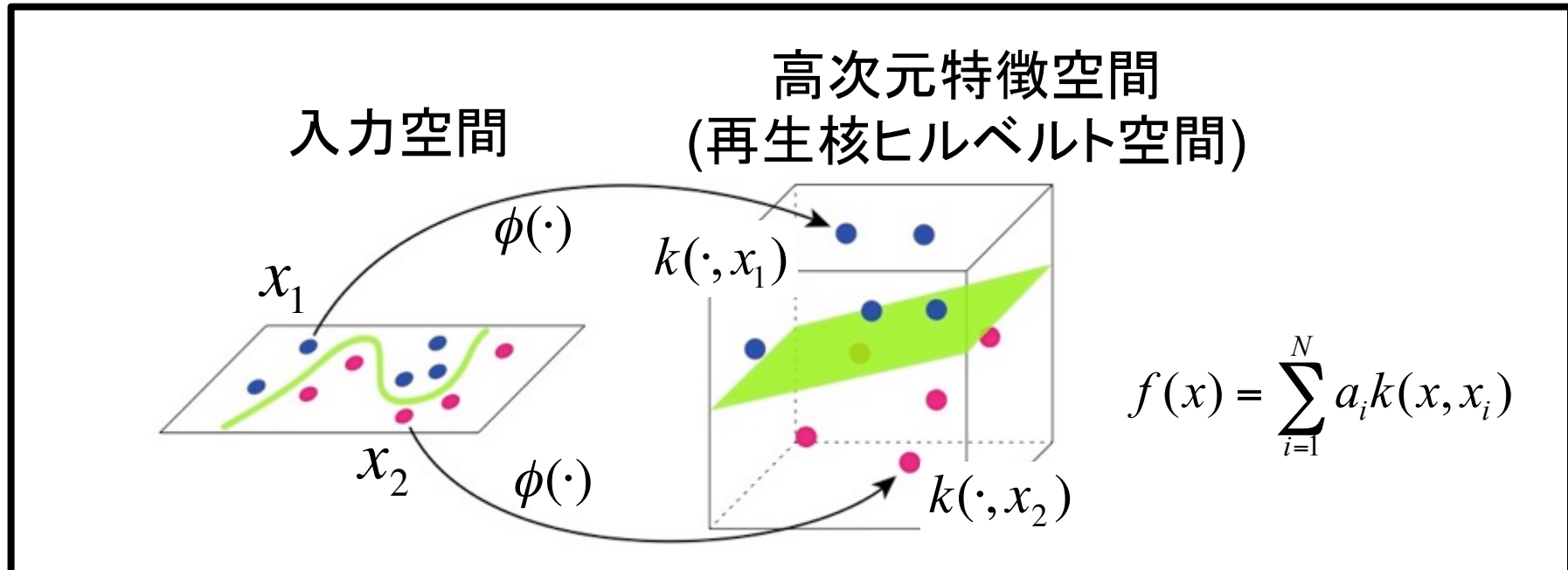
第2次ニューラルネットブームの限界 (1990年前後)



非凸性: 解が最適とは限らない  
学習時間: 遅い. 見積もりが困難.

カーネル法 (1995年) 凸性: 必ず最適解が見つかる

学習時間: データ  $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  の数  $M$  に対して  $N^3$



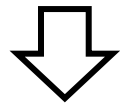
# カーネル法の深化

カーネル法の問題: データ数 $N$ が大きいと学習が遅い

学習時間はデータ  $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  の数 $M$ に対して  $N^3$

## ランダムフーリエ特徴アルゴリズム (NIPS2007)

Bochner(ボホナー)の定理  $k(x, y) = \int \exp(\sqrt{-1}\omega^T(x - y)) d\Lambda(\omega)$



カーネルはフーリエ変換可能

周波数のランダムサンプリング

次元を間引く  $L \ll$  データ次元  $N$

$$\omega_1, \dots, \omega_L \sim \Lambda$$

$$k(x, y) \approx \frac{1}{L} \sum_{\ell=1}^L \exp(\sqrt{-1}\omega_\ell^T(x - y))$$

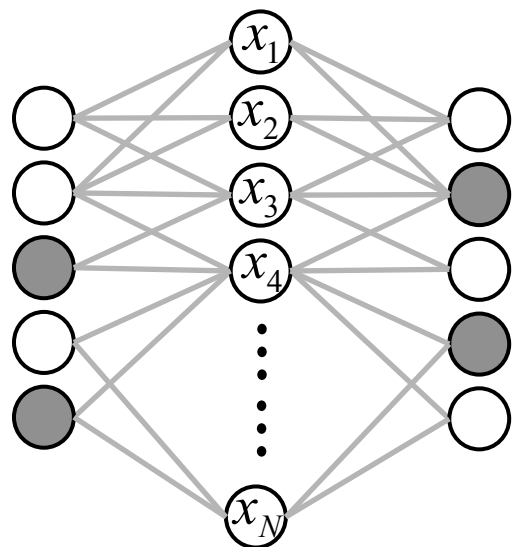
学習時間: 速い

データ  $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  の数 $M$ に対して  $N$

# 中間層ランダムパーセプトロンの復活

従来のカーネル法

$$f(x) = \sum_{i=1}^N a_i k(x, x_i)$$



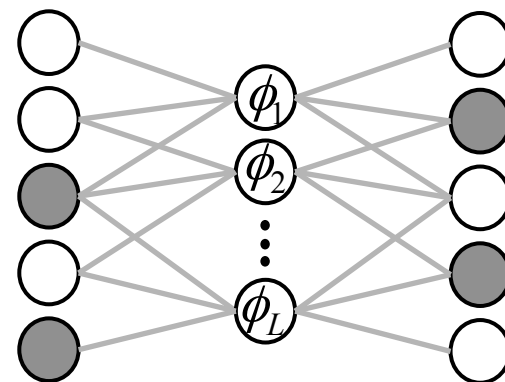
計算時間

$$N^3 \implies N$$

高速化

ランダム特徴  
(NIPS2007, NIPS2008)

$$f(x) = \sum_{i=1}^L a_i \phi_i(x)$$



データ数  $N \gg$  特徴数  $L$

中間層素子数の  
スパース化に対応

ランダム特徴は従来法に肉薄する汎化性能

# ランダム射影：近年，最注目

オリジナルなパーセプトロン  
ランダム射影

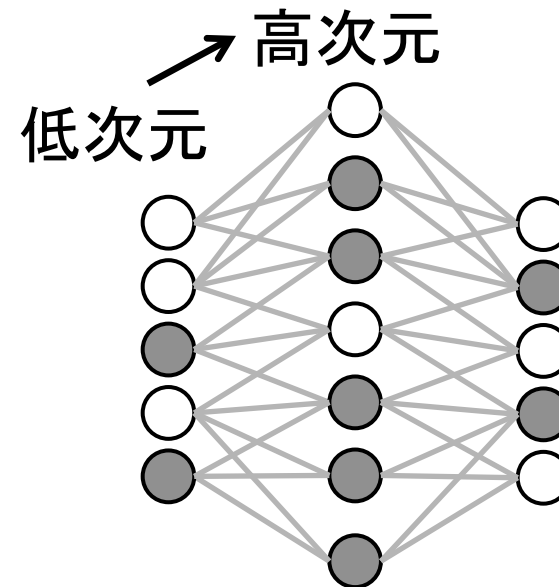
カーネル法的高速化  
ランダム射影

オリジナルなパーセプトロンと  
最新のカーネル法が同様の  
アーキテクチャ

最新のシステム神経科学でもラ  
ンダム射影は再び注目されて  
いる

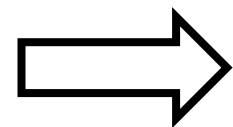
これらは，システム神経科学と  
機械学習の研究を並行して行う  
ことの有効性を示唆

高次元にランダム射影



高次元空間でのスパース化

(Babadi and Sompolinsky, 2014)



Brain science for AI

# 内容

- 自己紹介
- 人工知能研究(AI)の歴史と現状
- 米国ビッグデータイニシアチブ
- データ駆動型AIと知識駆動型AI
  - データ駆動科学の三つのレベルから見たAI
- AI研究の5項目
- 脳科学と第3次人工知能ブーム
  - Rosenblattのパーセプトロンとカーネル法
  - ネオコグニトロンとCNN
- AI・脳科学研究の解決すべき課題

# ディープラーニング(CNN)の父に聞く 福島邦彦

- **生理学からはヒント**をもらうが、
- 開発時には実際の脳はいったん忘れて研究を進めることが重要だ。
- ただ、それだけではいずれ **限界が来る**。
- その時はもう一度、**生理学に戻って考える**。
- これを繰り返すことで、前進していけるだろう。

(NikkeiBPnet, 2015/5/22)

# 内容

- 自己紹介
- 人工知能研究(AI)の歴史と現状
- 米国ビッグデータイニシアチブ
- データ駆動型AIと知識駆動型AI
  - データ駆動科学の三つのレベルから見たAI
- AI研究の5項目
- 脳科学と第3次人工知能ブーム
  - Rosenblattのパーセプトロンとカーネル法
  - ネオコグニトロンとCNN
- AI・脳科学研究の解決すべき課題

# AI・脳科学研究の解決すべき課題

- CNNのアイデアは, Hubelと Wiesel の視覚一次野の複雑型細胞のモデルに端を発している.
- 囲碁ソフト「AlphaGo」: CNN+強化学習+モンテカルロ木探索
- この事実は今後の展開を示唆する
  
- 視覚脳科学との融合で新たなアーキテクチャを提案
- 記憶, 運動, 言語の脳型人工知能の開発のロールモデル
- 脳型AIと機械学習の深遠なつながりの模索
  
- ディープラーニングと既存の機械学習の手法の融合が鍵
- 機械学習の基礎理論の構築
  
- これらを近くの距離に置く