

**人工知能の未来**

**- ディープラーニングの先にあるもの**

東京大学 松尾 豊

# 東京大学 松尾研究室について



松尾 豊

- 1997年 東京大学工学部電子情報工学科卒業
- 2002年 同大学院博士課程修了。博士(工学)。産業技術総合研究所 研究員
- 2005年 スタンフォード大学客員研究員
- 2007年～ 東京大学大学院工学系研究科 技術経営戦略学専攻 准教授
- 2014年～ 東京大学 グローバル消費インテリジェンス寄付講座 共同代表・特任准教授
- 2015年～ 産総研AIセンター 企画チーム長
- 2017年～ 日本ディープラーニング協会設立。理事長。

- ◆人工知能、ディープラーニング、Webマイニングを専門とする。
- ◆論文数と被引用数に基づき科学者の科学的貢献度を示すh-Index=31(ウェブ・人工知能分野最高水準)であり、2013年より国際WWW会議Web Mining部門のチェアを務める。
- ◆2012年より、人工知能学会 理事・編集委員長、2014年から倫理委員長。
- ◆人工知能学会論文賞(2002年)、情報処理学会長尾真記念特別賞(2007年)、ドコモモバイルサイエンス賞(2013年)、文部科学省 科学技術への顕著な貢献2015、大川出版賞(2015年)、ビジネス本大賞審査員賞(2016年)等受賞。
- ◆経済産業省 産業構造審議会 新産業構造部会 委員、IoT推進コンソーシアム 運営委員、厚生労働省「働き方の未来 2035」懇談会メンバー、内閣府「人工知能と人間社会に関する懇談会」構成員、金融庁「フィンテック・ベンチャーに関する有識者会議」委員、総務省「ICTインテリジェント化影響評価検討会議」委員等。
- ◆近著に「人工知能は人間を超えるか?—ディープラーニングの先にあるもの」(角川 2015)。

## <研究室の実績>

- ◆博士学生17人、修士・学部生10人が所属し、人工知能の基礎研究、ソーシャルメディアの分析、データ分析及びその実社会へのアプリケーションを多方面にわたって行っている。
- ◆これまでに、トヨタ、リクルート、マイクロソフト、CCC、経営共創基盤、ミクシィなどさまざまな企業と共同研究の実績がある。官公庁からも、経産省(アジアトレンドマップ等)、文科省(ビッグデータ活用)など相談多数。
- ◆卒業生の主な進路は、Google、DeNA、楽天、サイバーエージェント、光栄、ゴールドマンサックス、BCG、三井物産、電通など。起業した学生も多数。研究室からPKSHA technology, GunosyやREADYFORなどの企業を産み出した。

# 人工知能をめぐる動向

- 第1次AIブーム(1956～1960年代):探索・推論の時代

- ダートマスワークショップ(1956)
  - 人工知能(Artificial Intelligence)という言葉が決まる
  - 世界最初のコンピュータENIAC(1946)のわずか10年後
- 数学の定理証明、チェスを指す人工知能等

考えるのが早い人工知能

- ...冬の時代

- 第2次AIブーム(1980年代):知識の時代

- エキスパートシステム
- 医療診断、有機化合物の特定、...
- 第5世代コンピュータプロジェクト:通産省が570億円

ものしりな人工知能

- ...冬の時代

- 第3次AIブーム(2013年～):機械学習・ディープラーニングの時代

- ウェブとビッグデータの発展
- 計算機の能力の向上

データから学習する人工知能

### 将棋電王戦

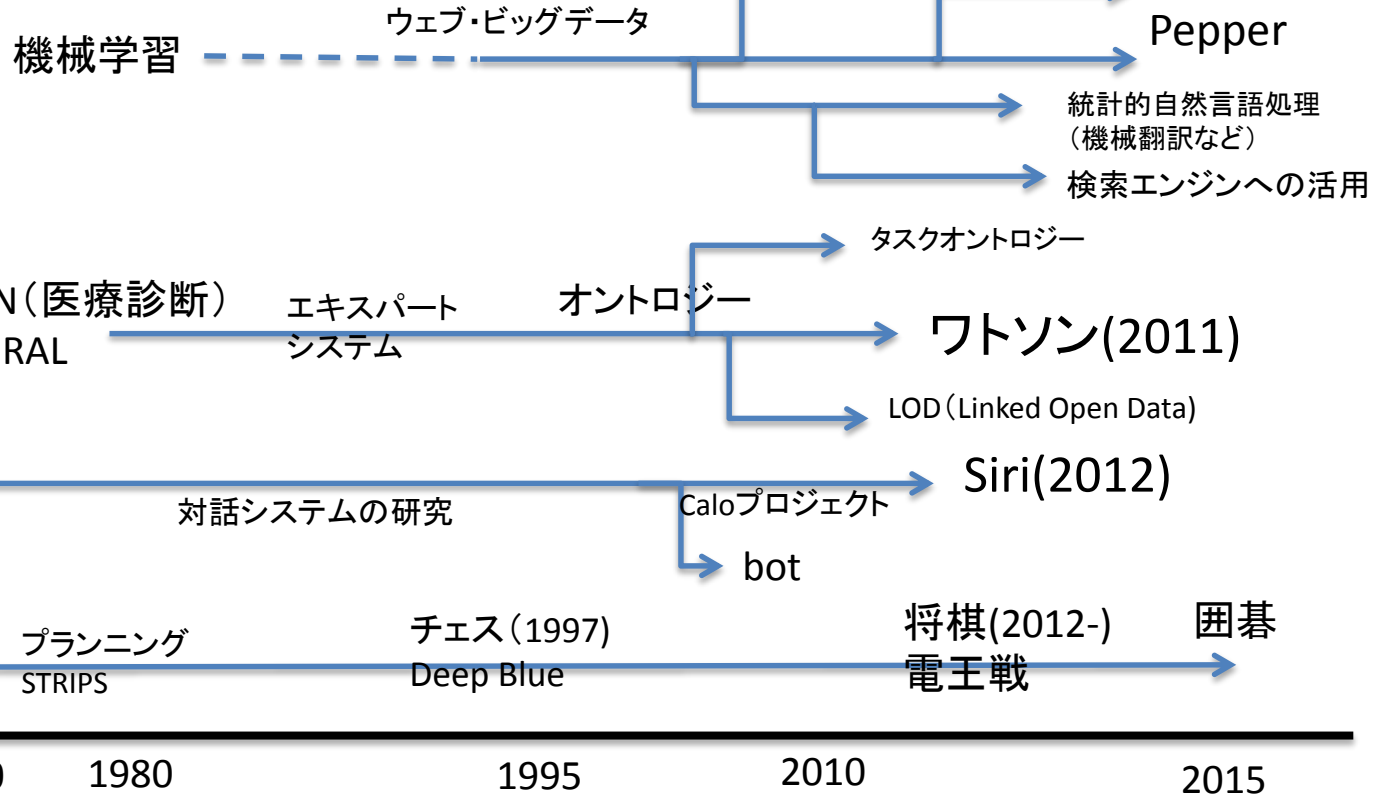


### IBM ワトソン



**ディープラーニング革命**

- ILSVRCでの圧勝(2012)
- Googleの猫認識(2012)
- ディープマインドの買収(2013)
- FB/Baiduの研究所(2013)
- アルファ碁(2016)



1956 1970 1980 1995 2010 2015

- 第一次AIブーム (推論・探索)** (First AI boom (Inference/Exploration))
- 第二次AIブーム (知識表現)** (Second AI boom (Knowledge representation))
- 第三次AIブーム (機械学習・ディープラーニング)** (Third AI boom (Machine learning/Deep learning))

# AIという言葉で指されるもの

インターネットとの親和性が高く、  
グローバルなプレイヤー(GAFA)が強い

- 1. IT系: 比較的先進的な情報技術の擬人化
  - IT化、データベース構築・統合、分析・可視化、最適化



- 2. マシンラーニング系: 機械学習や自然言語処理を中心とする技術
  - ビッグデータ、ウェブ
  - テキストや購買データをはじめ、幅広いデータが対象
  - 従来から研究されてきた検索、情報推薦、自然言語処理、データマイニング

- 3. ディープラーニング系: 実世界情報の処理
  - 画像や映像、音声などの生データ、(加えて一部のテキスト)に限って有効
  - 今後はロボティクス・機械と融合が進む
  - 近年、急速に進展。従来の性能を大幅に超える

実世界のハードウェアとの親和性が高く、  
日本も戦える可能性

# ディープラーニング革命

認識

「画像認識」ができる  
(コンピュータができて以来、初めて！)



運動の習熟

ロボット・機械に  
熟練した動きができる



言葉の意味理解

文の「意味」が分かる  
(文と映像の相互変換ができる)

# これまでの人工知能の壁≡特徴抽出の壁

- 難しい問題1:機械学習における特徴量の設計 (Feature engineering)
  - 機械学習において、変数(特徴量)の設計が難しかった。
  - 人間が対象をよく観察して設計するしかなかった。
- 難しい問題2:フレーム問題
  - 人間が知識を記述することで、人工知能を動作させる。
  - そのときに、いくら知識を書いても、うまく例外に対応できない。
- 難しい問題3:シンボルグラウンディング問題
  - シマウマがシマのある馬だと、計算機が理解することができない。
  - シンボル(記号)がそれが指すものと接続(グラウンド)しておらず、シンボルの操作ができない。



結局のところ、いままでの人工知能は、

**人間が現実世界の対象物を観察し、「どこに注目」するかを見ぬいて(特徴量を取り出して)、モデルの構築を行っていた。**

その後の処理は自動で行うことができたが、モデル化の部分に人間が大きく介在していた。それが、唯一にして最大の問題であった。

# 認識：2012年以降のエラー率の変化

		Error
Before ディープ ラーニング	Imagenet 2011 winner (not CNN)	25.7%
	Imagenet 2012 winner	16.4% (Krizhevsky et al.)
	Imagenet 2013 winner	11.7% (Zeiler/Clarifai)
	Imagenet 2014 winner	6.7% (GoogLeNet)
After ディープ ラーニング	Baidu Arxiv paper:2015/1/3	6.0%
	<b>Human</b> : Andrej Karpathy	5.1%
	Microsoft Research Arxiv paper: 2015/2/6	4.9%
	Google Arxiv paper: 2015/3/2	4.8%
	Microsoft Research CVPR paper: 2015/12/10	3.6%
Latest		3.1%

2015年2月には人間の精度を超えた

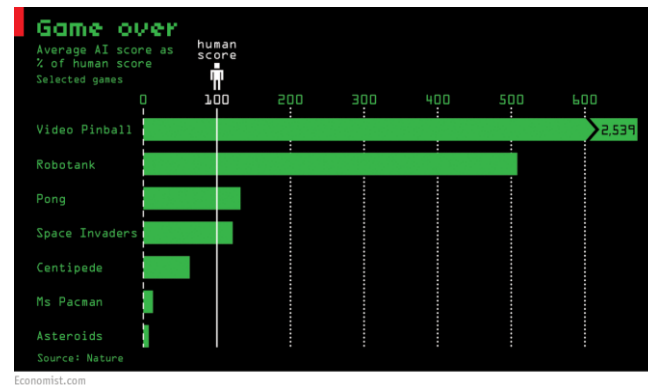
画像認識で人間の精度を超えることは数十年間、実現されていなかった 8



# 運動の習熟: ディープラーニング + 強化学習 (2013-)

- 強化学習とは、行動を学習する仕組み。
  - 「報酬」が得られると、事前の行動を強化する。
  - 「状態」「行動」→「望ましさ(報酬ありなし)」
  - 古くからある技術だが、これまでは、「状態」を人間が定義してきた。
- 運動の習熟が可能に
  - 状態の認識に、ディープラーニングを使う。
  - DeepMindの研究者(D. Hassabisら)。その後、Googleが買収。
- 試行錯誤することによって、運動が習熟する
  - 最初は下手。繰り返すうちに、うまくなる。
  - 最終的には、ブロック崩しでの通路を作ったり、インベーダーゲームでの「名古屋撃ち」も。
  - 「全く同じプログラム」で、異なるゲームを学習。半数のゲームで人間のハイスコアを上回る

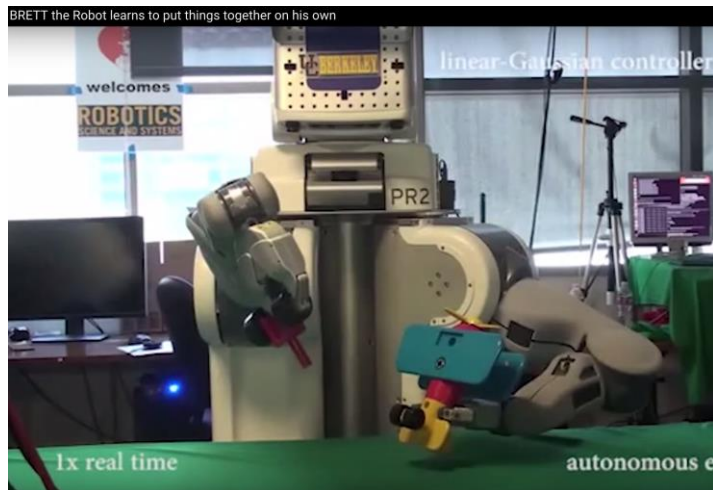
a



# 運動の習熟：ディープラーニング＋強化学習が実世界へ(2015-)

- 実世界への適用
  - 2015年5月 試行錯誤で部品の取付を習熟するロボットの開発(UC Berkeley)
  - 2015年5月 試行錯誤で運転を習熟するミニカーの開発(PFN社, 日本)
  - 2016年3月 試行錯誤でピッキングが上達するロボットの開発(Google)
  - その他、メリーランド大、EUのプロジェクト等も進展
- 考えてみれば当たり前
  - 犬や猫でもできる。高次の言語能力は必要ない。認識が問題だった。
  - 歴史的には、多数の人工知能研究者がこのことを主張してきた。

試行錯誤で作業学ぶロボット(UC Berkeley)



試行錯誤でピッキングが上達するロボット(Google)



# ディープラーニングの人工知能における意味

- モラベックのパラドックス:「子供のできることほど難しい。」
  - 高度な推論よりも、認識や運動スキルの方が難しい。
  - 比較的易しい: 医療の診断、チェスを打つ、数学の定理の証明
  - 極端に難しい: 画像認識、積み木を上手に積む
  - それがここ3年くらいのあいだに一気にできるようになった
- 現在のコンピュータのパワーでようやく可能に
  - GPUを数十台並列に並べて、数日～数ヶ月計算させてようやく精度が上がる
- アイディアは昔からあった。もともとは日本発
  - 1980年当時、NHK放送技術研究所にいた福島邦彦先生によるネオコグニトロン
  - その後も多くの研究者が試みている
- 初期仮説への回帰
  - 初期仮説「なぜ知能をコンピュータで実現することはできないのか？」
  - できると思っていた→できない理由があった→それが解消された→だとしたら、もう一度できるという仮説を取るべきでは。
  - 産業として非常に大きい可能性を秘めている。

# ディープラーニングの今後の発展

## ① 画像

画像から、特徴量を抽出する

画像認識の精度向上

## ② マルチモーダル

映像、センサーなどのマルチモーダルなデータから特徴量を抽出し、モデル化する

動画の認識精度の向上、行動予測、異常検知

## ③ ロボティクス(行動)

自分の行動と観測のデータをセットにして、特徴量を抽出する。記号を操作し、行動計画を作る。

プランニング、推論

## ④ インタラクション

外界と試行錯誤することで、外界の特徴量を引き出す

オントロジー、高度な状況の認識

## ⑤ 言葉とのひもづけ(シンボルグラウンディング)

高次特徴量を、言語とひもづける

言語理解、自動翻訳

## ⑥ 言語からの知識獲得

グラウンディングされた言語データの大量の入力により、さらなる抽象化を行う

知識獲得のボトルネックの解決

認識



運動

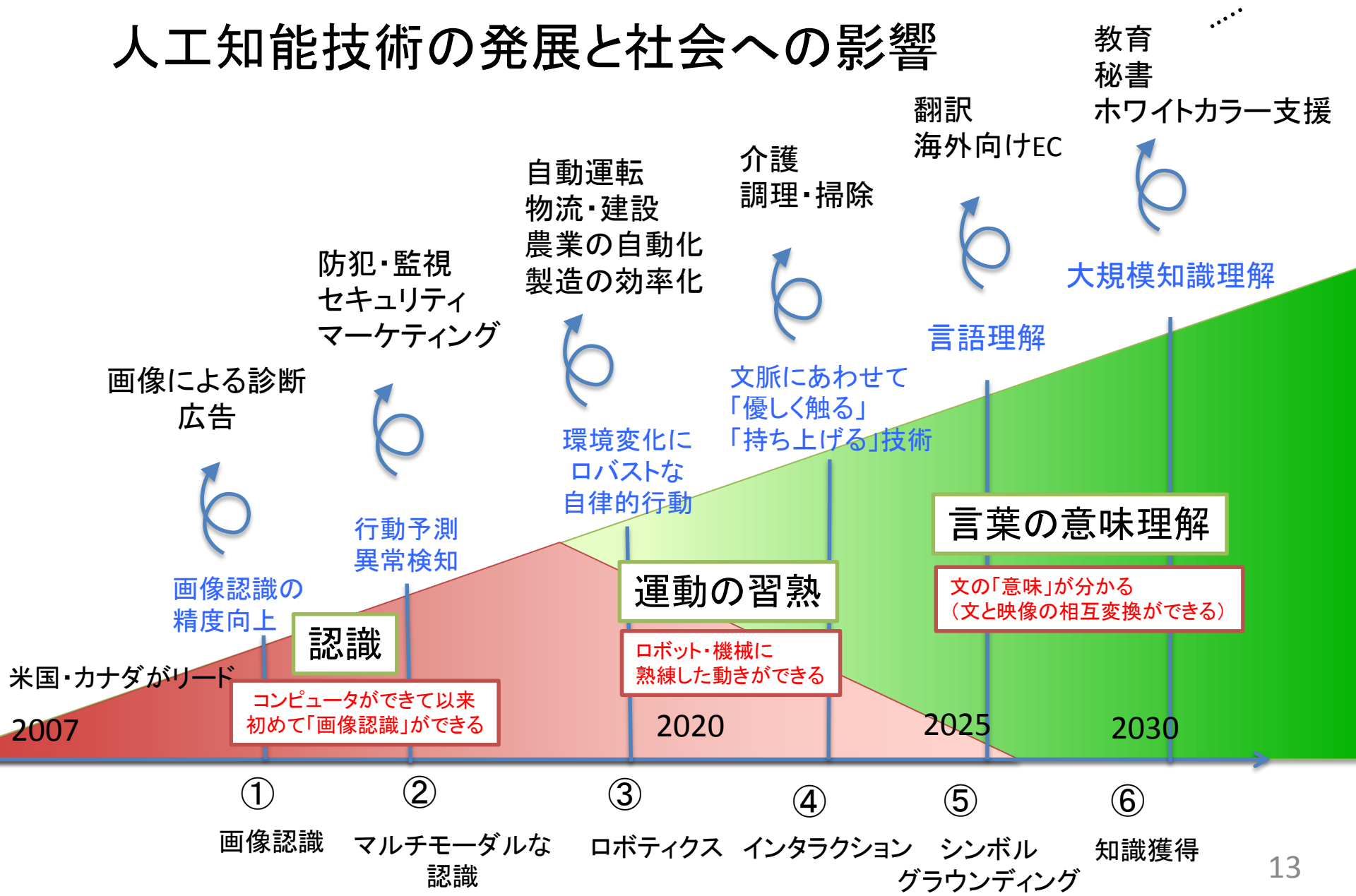


言葉

ディープラーニングがすごいというより  
その先に広がる世界がすごい

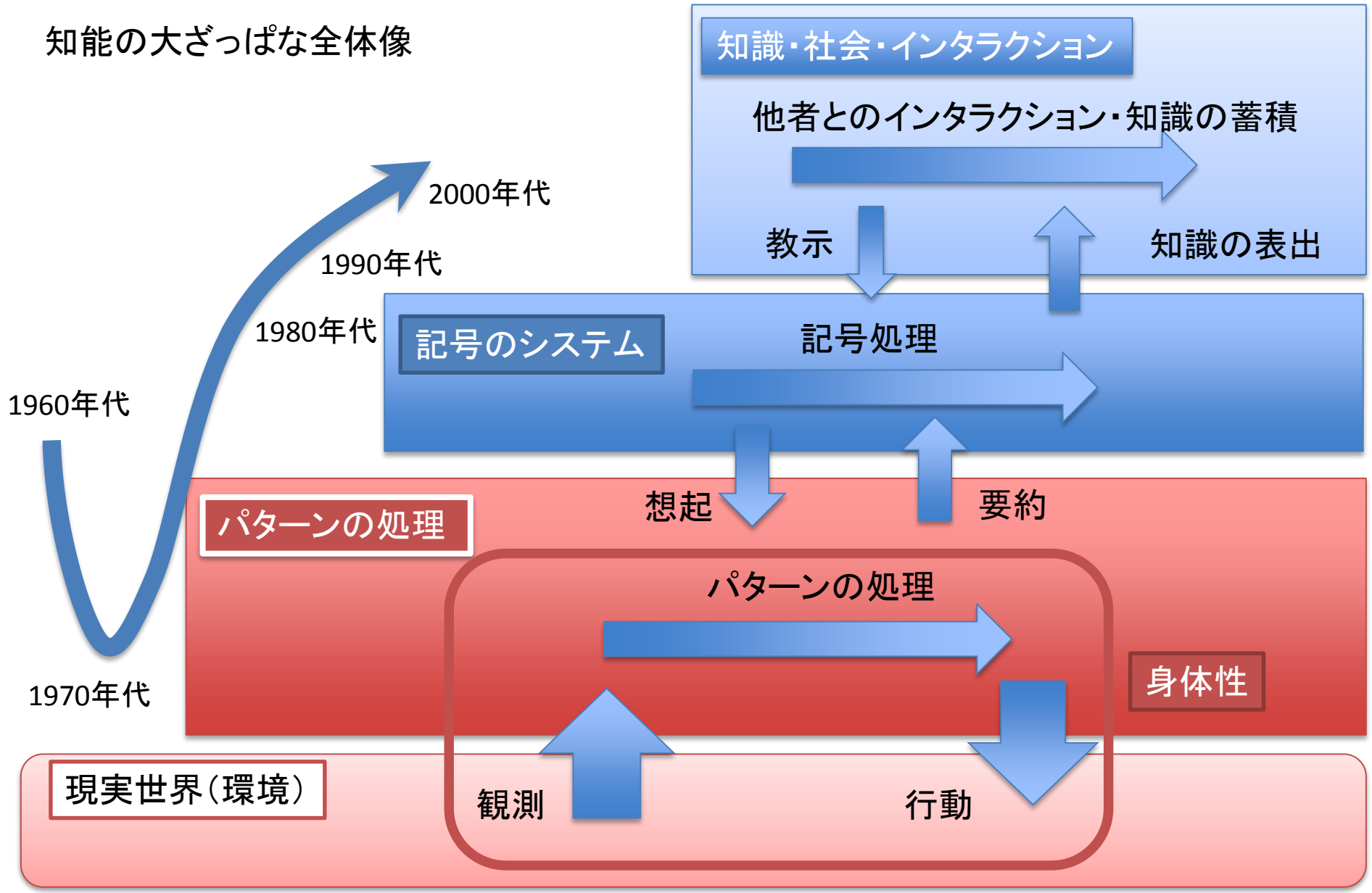
?

# 人工知能技術の発展と社会への影響



Deep LearningをベースとするAIの技術的发展

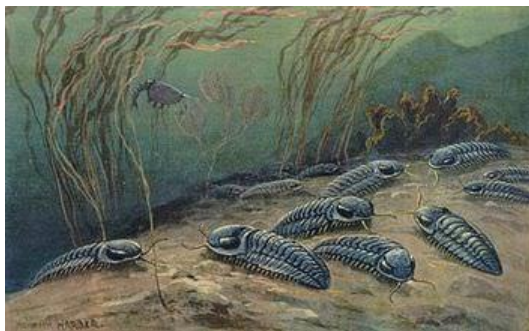
# 知能の大ざっぱな全体像



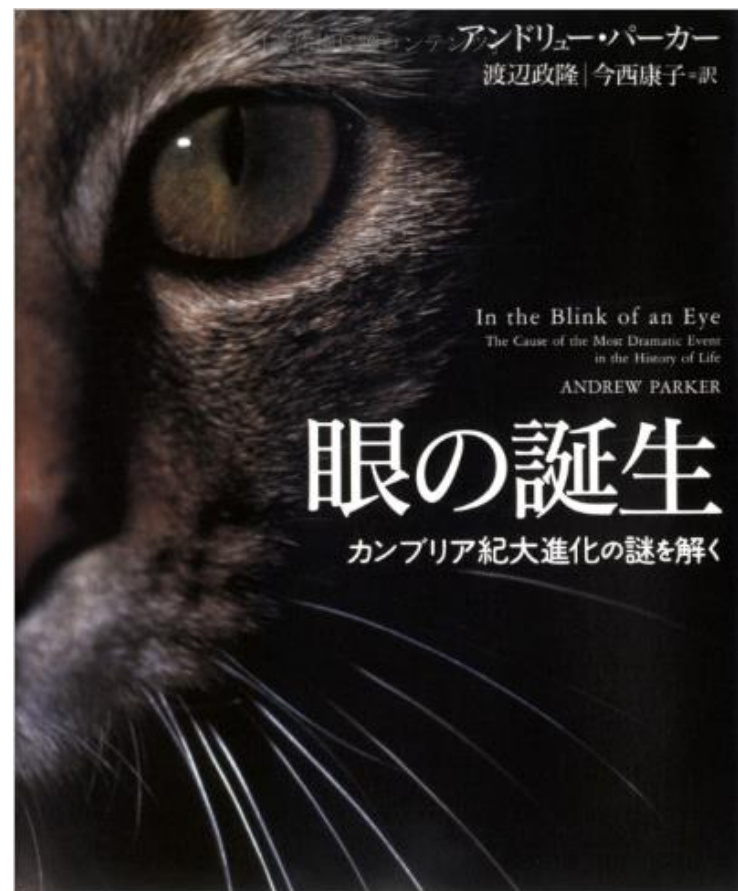
- いままでの推論(述語・命題論理による演繹や帰納・仮説推論)は、記号の空間だけでやろうとしてきた。
- 思考とは、パターンの空間と記号の空間をいったりきたりすること。この上に、言語によるコミュニケーションや知識の蓄積が構成される。
- いずれも目的は、「いかに少ないサンプルで自由度の高いモデルを同定するか」

# 眼の誕生

- カンブリア爆発
  - 5億4200万年前から5億3000万年前の間に突如として今日見られる動物の「門」が出そろった現象
  - 古生物学者アンドリュー・パーカーは、「眼の誕生」がその原因だったという光スイッチ説を提唱
- 「眼をもった機械」が誕生する
  - 機械・ロボットの世界でのカンブリア爆発が起こる
  - これを日本企業が取れるか？

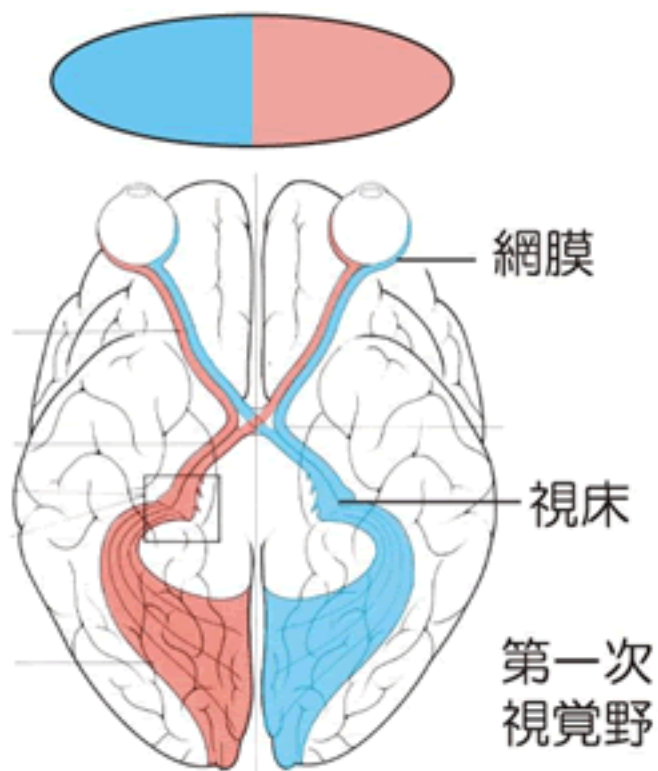


三葉虫: 史上初めて眼をもった生物





# 眼が見える仕組み



←イメージセンサ

←ディープラーニング  
(CNN: 畳み込みニューラルネットワーク)



# 既存産業の発展

農業	収穫判定	トラクター、コンバインの適用範囲拡大、効率向上 選別調製等の自動化	自動での収穫 自動での耕うん
建設	測量	掘削、基礎工事、 外装内装作業等の 効率向上	多くの作業の 自動化・効率化
食品 加工	振り分け 確認	カット、皮むき等 の自動化 食洗機に入れる	多くの加工工程の 自動化
組み立て 加工	目視確認の 自動化	動作効率の向上	段取りの自動化 セル生産の自動化

⋮

# 眼をもった機械・ロボットの典型例 単独の製品から入る

- 農業: トマト収穫ロボット
  - トマトは市場規模も大きく、収穫の工数も大きい。
  - 現状の技術で、トマトの認識ができる。上手にもぎ取ることも可能。
  - 先進的な農場から試しに入れる。
- 建設: 自動溶接機械
  - 建設の工程(例えば溶接)を自動化する
  - 現状の技術で、接合面の状態等の認識ができる。上手に溶接することも可能。機械を当てれば熟練した人でなくとも熟練の人のような溶接ができる。
  - 一部の建設現場で試しに入れる。
- 食品加工: 食洗機にお皿を入れるロボット
  - 食品加工に関わる仕事、まずは食洗機にお皿を入れることを自動化する
  - 現状の技術で、お皿の位置、把持位置の認識ができる。まずは、食器が下げられたところから、食洗機に入れるところを自動化する。(混雑時に重要)
  - ファミリーレストラン等の一部の店舗で試しに入れる。

製品を一刻も早く市場に投入する

# 日本なりのプラットフォーム戦略

- 「眼のある機械」は、データの継続的収集が不可欠
  - 製品からデータが戻るようにしないと、継続的な品質向上につながらない
  - つまり、製品がネットワークに接続されることがほぼ確定している
- すると、眼のある機械の「稼働」に対して課金できるようになる
  - 「学習ずみモデル」の品質が上がれば、価格を上げることができる
  - 内部コストを下げれば、利益を上げることができる
  - モノ売りからサービス売りへの転換が容易にできる
- さらに、眼のある機械を起点とする「場」全体のプラットフォーム化へ
  - 製品が置かれるオフィス、家、商業施設、工場、農場、建設現場など、製品が取得するデータ・提供するサービスを起点として、その周りのお金・情報の流れに広げ、事業チャンスをとっていくことができる。
- それを世界展開し、日本品質でサービスを提供する
  - 「学習ずみモデル」は日本で作り続け、競争力を維持し続ける

眼のある機械の市場投入→サービス化→周辺を含んだプラットフォーム化  
→海外へ大きく展開という流れが王道

# 機械・ロボットのカンブリア爆発

- 介護施設や病院等での見守り・介護ロボット
- 医療（X線、CT、皮膚、心電図、手術ロボット）
- 警備、防犯技術
- 顔による認証・ログイン・広告技術、表情読み取り技術（サービス業全般に重要）
- 国家の安全保障、入国管理、警察業務、輸出入管理業務における活用
- 防災系（河川、火山、土砂崩れを見張る）
- 重機系（掘削、揚重）、建設現場系（セメント固め、溶接、運搬、取り付け）
- 農業系（収穫、選果、防除、摘花・摘果）
- 自動操縦系（ドローン、小型運搬車、農機、建機）
- 自動運転系、物流
- 産業用ロボット系（特に組み立て加工等）
- 調理系（牛丼、炊飯、ファミリーレストラン、外食全般）
- ペットロボット系
- 片付けロボット（家庭、オフィス、商業施設）
- 新薬発見や新素材の開発（遺伝子の認識・分析、実験ロボット）
- 廃炉系（深海や鉱山、宇宙も含めた極限環境）

農業・建設・食品加工だけでなく、医療や介護、製造、廃炉なども。

# DLに関わる海外企業

## ベンチャー

- Deep Mind (英): DLの技術力をもった企業。DQNによるゲーム、アルファ碁、医療など。2011創業。Googleが2014に£ 400Mで買収。
- Enlitic: 医療画像(X線)におけるDL活用。2014創業、15M調達。
- Nervana Systems: 医療、農業、金融、自動車、エネルギー等における画像処理。24M調達後、インテルが2016買収。
- Emotient: 顔の表情を認識する会社。2012創業、6M調達後、Appleが2016買収。
- Affectiva: 映画やTV番組のどこで表情が変わったのかを読み取る。2009創業、34M調達。
- Perceptio: DLによる写真分類アプリ開発。創業、調達額不明。Appleが2015買収。
- VocalIQ (英): DLによる音声認識。1M調達後、Appleが2015買収。
- Atomwise: ドラッグディスカバリーへのDL活用。新薬の候補物質を見つける。YC卒業生。2012創業。6M調達。
- Descartes Labs: DLによる衛星画像の分析。農業への適用。2014創業、8M調達。
- Canary: DLによるホームセキュリティ。2012創業。41M調達。
- Netatmo: 家電。DLによる監視カメラも。2011創業。38M調達。
- Pilot AI Labs: DLの画像認識を使ったドローンの自動操縦。まだ小さいが、動画が面白い。
- MetaMind: 画像認識一般。2014創業、8M調達。
- SkyMind: JavaベースのDL提供。2014創業。3M調達。
- AlchemyAPI: DLによる言語処理と画像認識。クラウドで提供。2005創業、2M調達。IBMが2015に買収。
- ZenRobotics (フィンランド): ごみの選別ロボット。2007創業、17M調達。

## 製造業

- GE: DLによる医療画像の診断。
- Dyson: 掃除機に眼をつけたものを開発。インペリアル・カレッジにRoboticsラボ設立。
- Kuka (独): 産業用ロボットへのDL適用
- Mobileye (蘭): 車用の画像認識を提供。1999イスラエルで創業。2014年上場。時価総額10B。
- LG (韓): インチョン空港で、DLを使ったロボットでの案内の実験
- Samsung (韓): DLを使った胸部エコー検診の医療機器

急がないといけない

# どこから始めるか

- 始めること自体はそれほど難しくない
  - 数学の知識: 線形代数や最適化
  - プログラムの知識: python、GPU
- ライブラリが揃っている
  - Tensorflow: Google、python
  - Caffe: UCバークレー、C++ベース
  - ほかに、Keras, chainer, torch7, ...
- 教科書
  - 入り口: 「人工知能は人間を超えるか」(拙著)
  - 読み物: 「人間さまお断りー人工知能時代の富と仕事の手引き」(Jerry Kaplan, 近刊)
  - 教科書: 「深層学習」(岡谷貴之)
  - 教科書: “Deep Learning” (Y. Bengioら、MIT pressから来年出版。翻訳を出版予定)
    - [www.deeplearningbook.org](http://www.deeplearningbook.org) にPDFがあり、読めます。
  - あとは論文を読んでください。
- 3つの主要な国際会議
  - ICML, NIPS, ICLR (それぞれ年1回)
  - ウェブで全ての情報が見れます。

理系の人が半年もやればそこそこできるようになる

# ポイント

- 製品を作って、その利益を再投資に回すサイクルをいかに作れるか。
  - 最終的な競争力は技術にはない。**データとハードウェア**。
  - インターネットの世界で起こったことと同じ。
  - 個々の製品の性能向上→サービス化・プラットフォーム化
- 最も強いインセンティブをもつ企業が、最も効率的に再投資のループを作り勝つ
  - 例えば、生産の効率化ができるとしても、そこに対してもっと強いインセンティブを持つ企業が他にいないか？
  - 顔認識ができるとして、それに対して最も強いインセンティブをもつ企業はどこなのか？
  - つまり、自社事業と「**最も直接的**」に**関係する技術革新**を考えないといけない。
- 実はこれは社内文化との戦い
  - 情報系はこれまでも「本流」から外れ、弱かった
  - そのなかでも「機械学習」の技術をもつ部署をいかに中心にもってこれるか。長年の伝統だった「本流」をいかに破壊し再構成するか。
  - それを**トップダウン**で**意思決定**できるか。

自社が最も強いインセンティブを感じる製品・サービスを描き、それをトップダウンに実行できるか

# 日本の戦略

日本の社会課題に対して、DLとものづくりの掛けあわせによる「眼をもった機械」を開発し解決する

- 農業分野に「眼をもった機械」を適用することで
  - 休耕地が耕せる。除草・防除や収穫ができる。収量が増える。
- 介護分野に適用することで
  - 介助も楽に。移動したりトイレにいけるようになり、より自立した生活ができる。
- 廃炉作業に適用することで
  - 危険な状況で人が作業しなくてよくなる。工期を短縮できる。
- 河川や火山を見張ることで
  - 河川の氾濫や土砂崩れ、噴火などの危険な状態・予兆を早期に発見できる。
- こうした技術を使った製品を海外に展開していくことで
  - 新たな輸出産業に。GDPの増加につながる。

地方からグローバルへ

労働の必要な地方を舞台に技術を伸ばす。それをグローバルに展開



# ディープラーニング × ものづくり: 日本の新たな産業競争力へ

- ”AI is the new electricity”: 人工知能(DL)は21世紀の電気
  - by Andrew Ng (機械学習・深層学習の著名な研究者)
- ”We are on the first rungs of the ladder.”: AIは正しいハシゴを登り始めた
  - by Demis Hassabis (DeepMind CEO)
- 日本にも大きなチャンス: ハードやサービスとの融合
  - 少子高齢化しており、労働力が不足している。
  - 農業従事者、建設・物流、介護、廃炉、熟練工の後継者、etc
  - 眼をもった機械: 認識や運動の上達ができる機械・ロボット
  - ものづくりと相性がよく、日本の強みを活かせる。素材や駆動系も強い
- 新たな投資概念の必要性
  - 人とデータへの投資をいかに既存の枠組み・文化を踏まえてやるか
  - 20代から30代が大活躍し、ものづくりの蓄積をレバレッジする
- もっと早く! チャンスを捉えるには、正しく早く動いていくことが重要
  - ディープラーニング人材の育成
  - 事業・産業がどう変わるかを早期に検討
  - 社会全体で新しい未来像を描いていくこと