

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

自己紹介



- 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. 石塚研究室. 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総合研究機構／技術経営戦略学
専攻／知の構造化センター 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代表

専門は、Web工学、人工知能

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受賞(2007年)

人工知能学会 創立20周年記念事業賞、現場イノベーション賞、功労賞等
ドコモモバイルサイエンス賞(2013年)

2012年より、人工知能学会 編集委員長・理事。2007年より国際WWW会議プログラム委員。WWW2014ではウェブマイニングトラックのトラックチェア。

シンガポール国立大学客員准教授、オーマ株式会社技術顧問、経営共創基盤(株)顧問、Pluga AI Asset Management 技術顧問、国立情報学研究所客員准教授、国家戦略会議叡智のフロンティア部会委員等

4つのAI

- レベル1のAI: 単なる制御 (言われた通りにやる)
 - 温度が上がるとスイッチを入れる。下がるとスイッチを切る。(エアコンや冷蔵庫)
 - 洗濯物の重さで洗い時間を調整。ひげの伸び方で剃り方を調整。
- レベル2のAI: 対応のパターンが非常に多い (自分の頭を使って言われた通りにやる)
 - 将棋や囲碁: 決められたルールにしたがって、いい手がないかを3手先まで探索し、打つ。
 - 診断システム: 与えられた知識ベースにしたがって、検査の結果から診断内容や処方する薬を出力する。
- レベル3のAI: 対応のパターンを自動的に学習 (教えられた着眼点でうまいやり方をみつける)
 - こういう温度のときには、こう出力を上げればよいということを学習。
 - 駒がこういう場所にあるときは、こう打てばよいということを学習。
 - この病気とこの病気はこういう相関があるということを学習。
- レベル4のAI: 対応のパターンの学習に使う「変数自体」も学習 (着眼点も自分で見つける)
 - 前日との温度差が重要。前日寒ければ比較的低い温度でもOK。
 - 駒の位置だけでなく、複数の駒の関係性をみたほうがいい。

Deep Learning

- AIにおける50年来のブレークスルー
 - データをもとに「何を表現すべきか」が自動的に獲得されている



10 BREAKTHROUGH TECHNOLOGIES 2013

Introduction The 10 Technologies Past Years

Deep Learning With massive amounts of computational power, machines can now recognize objects and translate speech in real time. Artificial intelligence is finally getting smart.	Temporary Social Media Messages that quickly self-destruct could enhance the privacy of online communications and make people freer to be spontaneous.	Prenatal DNA Sequencing Reading the DNA of fetuses will be the next frontier of the genomic revolution. But do you really want to know about the genetic problems or musical aptitude of your unborn child?	Additive Manufacturing Skeptical about 3-D printing? GE, the world's largest manufacturer, is on the verge of using the technology to make jet parts.	Baxter: The Blue-Collar Robot Rodney Brooks's newest creation is easy to interact with, but the complex innovations behind the robot show just how hard it is to get along with people.
Memory Implants A maverick neuroscientist believes he has deciphered the code by which the brain forms long-term memories. Next: testing a prosthetic implant for people suffering from long-term memory loss.	Smart Watches The designers of the Pebble watch realized that a mobile phone is more useful if you don't have to take it out of your pocket.	Ultra-Efficient Solar Power Doubling the efficiency of a solar cell would completely change the economics of renewable energy. Nanotechnology just might make it possible.	Big Data from Cheap Phones Collecting and analyzing information from simple cell phones can provide surprising insights into how people move about and behave – and even help us understand the spread of diseases.	Supergrids A new high-power circuit breaker could finally make highly efficient DC power grids practical.

人工の神経回路、威力増す

「ディープラーニング」と呼ぶ人工知能技術が高い関心を集めている。画像や音声の認識精度が大幅に高まるため、米グーグルなどが研究に参入。経済動向の予測や新薬開発などにも威力を発揮する可能性がある。

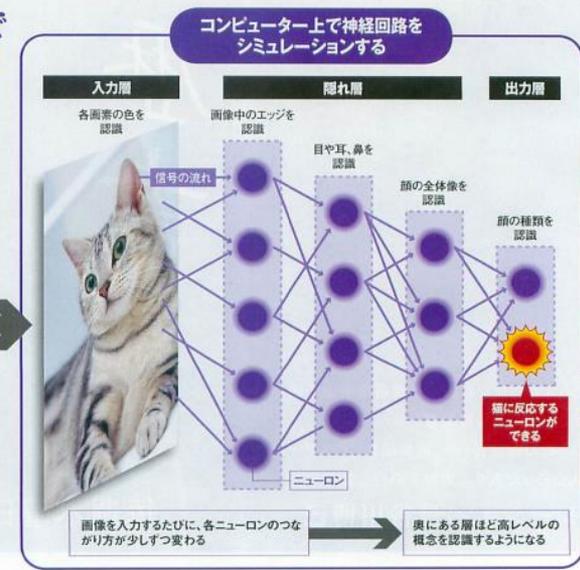
ここ1~2年、世界中の人工知能の研究から大きな注目を浴びている技術がある。コンピューターに人間と同じように経験に基づいた行動をさせる機械学習の一種で、「ディープラーニング」と呼ばれる新手法だ。インターネット社会を支える画像認

識や音声認識、新薬開発に役立つ化合物の活性予測——。こうした技術の精度を競うコンテストで、ディープラーニングが過去の記録を大幅に塗り替え、次々と優勝を果たしている。「これほど飛躍的に精度が向上するとは信じられない」「まさに衝撃的な

結果だ」。専門家からは、口々に驚きの声が上がっている。ディープラーニングは、人の神経回路をコンピューター上で模擬する「ニューラルネットワーク」という技術を発展させたものだ。人の脳は、画像からそこに映るモノ

ディープラーニングで画像を認識する流れ

ディープラーニングでは、コンピューター上に人間の脳と同じような多層の神経回路を複製。大量の画像や文字情報を入力してトレーニング(訓練)すると、そこに含まれる高度な概念が自然に引き出される。米グーグルの研究では、出力層のニューロンが、「猫」を認識して強く反応するようになった(右は簡略化した仕組みの図)



日経ビジネス2013年4月15日号

DL関連の海外企業の投資

- Google
 - トロント大Hinton教授と学生の会社をGoogleが買収(2013)
 - Deep Learningの英国会社Deep Mind Technologiesを4億ドル(約420億円)で買収(2014)
- 中国検索最大手Baidu
 - シリコンバレーにDeep Learningの研究所を作る(2013)
 - Stanford大 Andrew Ng教授をDeep Learningの研究所所長に迎え、300億円を研究予算として投資(2014)
- Facebook
 - 人工知能研究所設立: New York大のYann LeCun教授を所長に招く(2013)
 - 人工知能の新興企業Vicarious社への4,000万ドルの投資ラウンドに参加(2014)
- Yahoo!
 - 画像のDeep LearningのためにLookFlowという会社を買収(2013)



Deep Learning workshop(2013)でのザッカーバーグ(右)、ベンジオ(モントリオール大・中)、マニング(スタンフォード大・左)

人工知能ってなぜできないのでしょうか

- 脳は、基本的に電気信号＋化学変化
 - 認識、思考、行動する際の神経系を伝える電気信号
 - 比較的長時間かけての生体的な反応
- 情報処理であれば、プログラムで実現できないはずがない
- それ以外で何か難しい要素は？
 - 靈感？そういう人もいます。
 - ロジャー・ペンローズ(物理学者)。脳の中の微小な管による量子現象に「意識」が生じる
- 普通に科学的で合理的な人なら、できない理由が特にない。
- 伝えたいこと：
 - いまはなぜみんなできないと思っているのか。
 - なぜ今まではできなかったのか。
 - なぜ我々はできると言っているのか。

人工知能の全体像

- 第1次AIブーム(1956～1960年代):探索・推論の時代
- ...冬の時代
- 第2次AIブーム(1980年代):知識の時代
- ...冬の時代
- 第3次AIブーム(2013年～):機械学習、表現学習の時代

第一次AIブーム：推論・探索

- 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
 - John McCarthy、Marvin Minsky、Allen Newell、Herbert Simon(ノーベル経済学賞): 全員チューリング賞
 - cf) 世界最初のコンピュータENIAC (1946)のわずか10年後
- 1960年～ 第一次AIブーム(期待、Toy problem)
 - 定理証明器(1957)、ニューラルネットワーク(1963)、遺伝的アルゴリズム(1958)、DENDRALプログラム(1969, 質量分光計の情報から分子構造を同定する)
- 1970年～ 冬の時代

探索

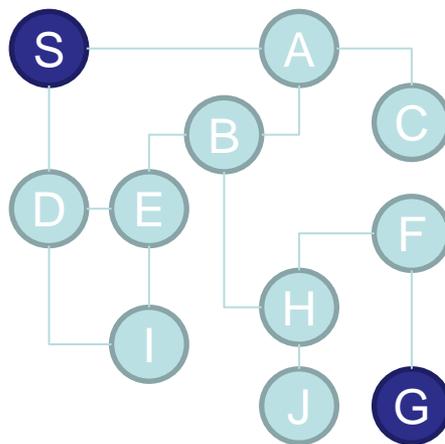
- 探索木
 - Sからはじめて、ひとつずつ展開していく
 - Gが見つければ、探索成功
 - いろいろな戦略
 - 深さ優先探索: どんどん進む
 - 幅優先探索: 一段ずつ進む

スタート

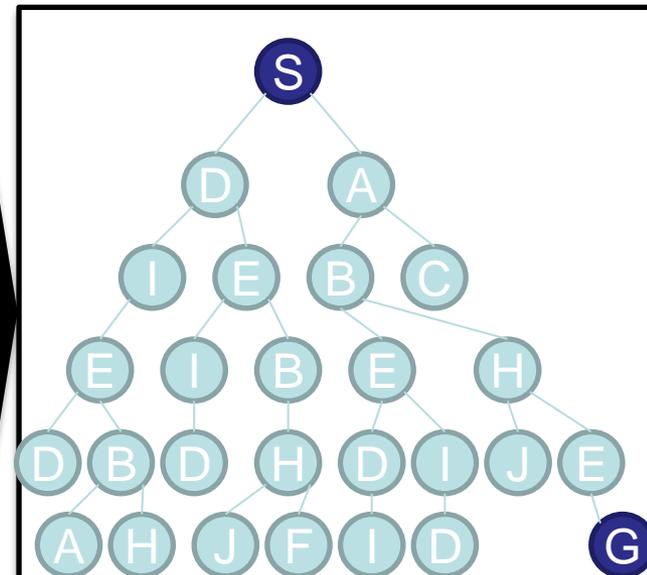


ゴール

迷路



問題の表現



探索木

Go to Shinjuku from u-Tokyo

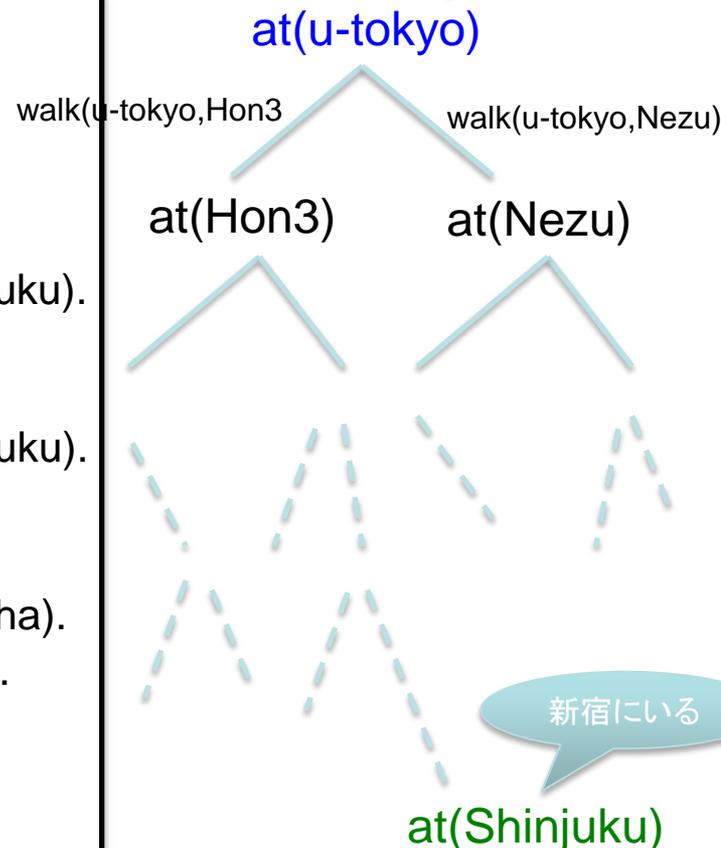
東大にいる

スタート
(前提条件)

知識

ゴール

- **at(u-tokyo).**
- at(Hon3) :- at(u-tokyo), walk(u-tokyo,Hon3).
- at(Nezu) :- at(u-tokyo), walk(u-tokyo,Nezu).
- at(u-tokyomae) :- at(u-tokyo), walk(u-tokyo,u-tokyomae).
- at(Shinjuku) :- at(Hon3), marunouchi(Hon3,Shinjuku).
- at(Ikebukuro) :- at(Hon3), marunouchi(Hon3,Ikebukuro).
- at(Shinjuku) :- at(Ikebukuro), JR(Ikebukuro,Shinjuku).
- at(Ocha) :- at(Hon3), marunouchi(Hon3, Ocha).
- at(Shinjuku) :- at(Ocha), JR(Ocha, Shinjuku).
- at(ShinOcha) :- at(Nezu), chiyoda(Nezu, ShinOcha).
- at(Ocha) :- at(ShinOcha), walk(Ocha, ShinOcha).
- at(Yotsuya) :- at(u-tokyomae), nanboku(u-tokyomae, Yotsuya).
- at(Shinjuku) :- at(Yotsuya), marunouchi(Yotsuya,Shinjuku).
- 1 :- **at(Shinjuku).**

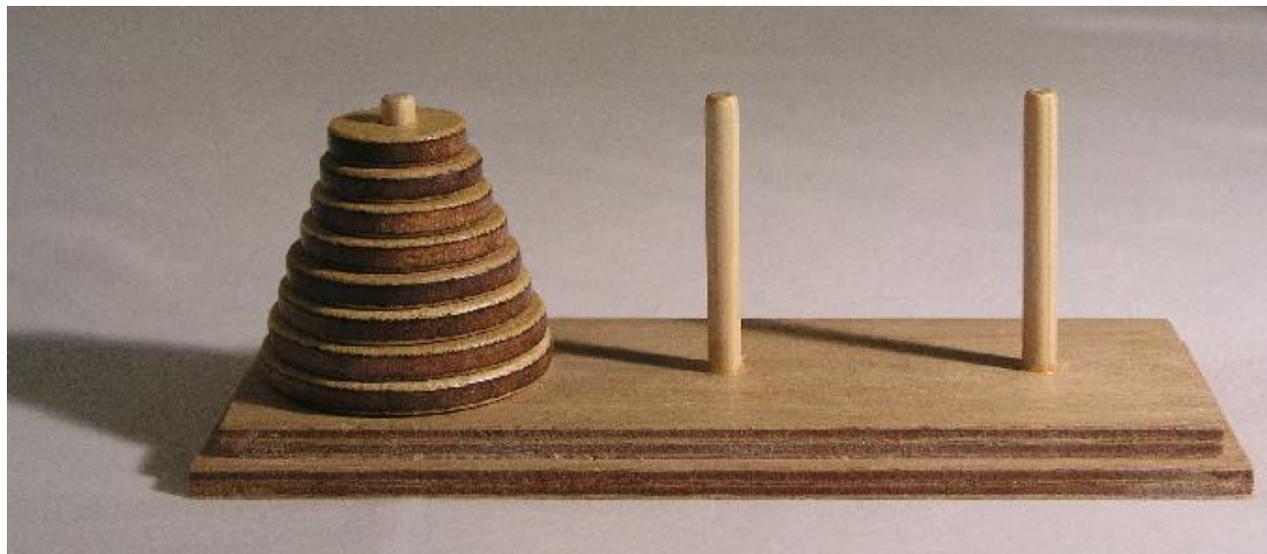


**Solution: {walk(u-tokyo,Hon3),
Marunouchi(Hon3,Shinjuku)**

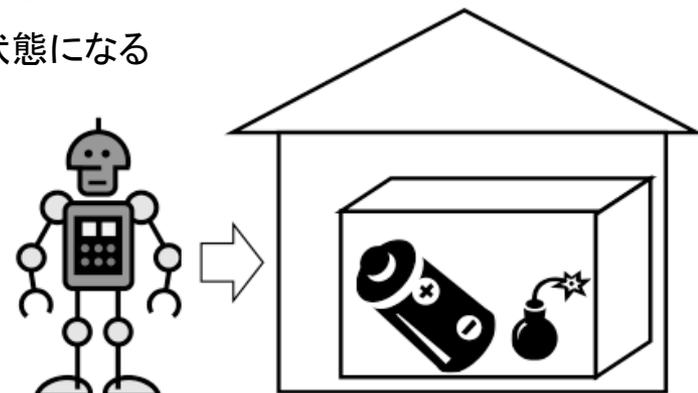
※ 述語論理という表現形式

同じように

- ハノイの塔
 - 円盤を全て、左から右に移す
 - 小さい円盤の上に大きい円盤を載せてはいけない

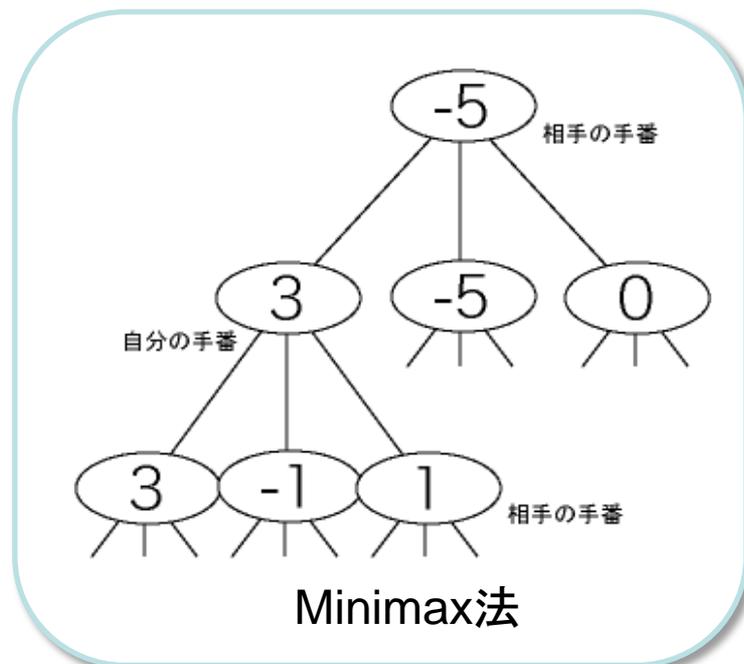


- ロボットが、家の中からバッテリーを持ってくるにはどうしたら良いか
 - ロボットが行動をすると何がおこるかを記述していけばよい
 - バッテリーを持ち上げると、ロボットがバッテリーを持った状態になる
 - 移動するとロボットの位置が変わる、など
 - プランニングと呼ばれる
 - STRIPS (Stanford Research Institute Problem Solver, 1971)



ゲーム

- 交互に最大手を取る (Minimax法)
 - 最後までいかないので「スコア」をつける
- プロに勝つプログラム
 - チェス、将棋、囲碁
 - 計算速度の向上と手法の進化により、強くなっている
- 最近強くなった理由
 - モンテカルロ法: 途中からランダムに終局まで指す
 - 良い特徴量が発見された (3つの駒の位置など)



チェス
10 120

1997 AIチェス
カスパロフ
vs. Deep Blue

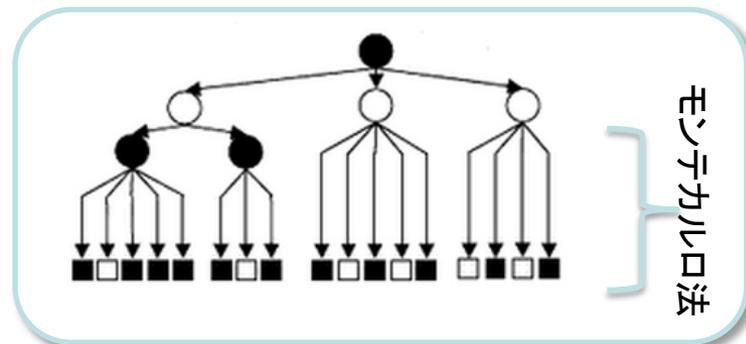
将棋
10 220

2012.1 第1回電王戦
故米長元名人 vs.
ボンクラーズ

囲碁
10 360

2012.2
武宮九段 vs.
AI囲碁 Zen ハンデ戦

観測可能な宇宙 (800億の銀河) の水素原子数 約 10^{80}



推論・探索のまとめ

- 要するに、解きたい問題を、探索・推論問題として、うまく記述すれば解ける
- 記述できなければ解けない
- 以上。トイプロブレムは解ける。現実的な問題は解けない。がっかり。

- こういった限界に加え、以下のような否定的な動きがブーム終焉のきっかけに
 - 1966 機械翻訳に対する否定的なALPACレポートがでた.
 - 1969 MinskyによるPerceptronの限界の証明
 - 2段のニューラルネットワークでは線形分離しかできない
 - (限定条件における限界が過って拡大解釈される。)
- 1970年～ 冬の時代



第二次AIブーム: 知識を入れると賢くなる

- 1980年～ 第二次AIブーム(知識の時代)
 - エキスパートシステム
 - 第5世代プロジェクト(1981): 570億円の国家プロジェクト
 - AIが産業へ
- 1995年～ 再びAIの冬の時代

ELIZA(1964)

- 対話システム
- 対話にあたってのルールを記述し、患者と対話を行う
 - “My head hurts” → “Why do you say your head hurts?”
 - “My mother hates me” → “Who else hates you?”
- 1976年の記事によれば、人々はすぐにそのコンピュータプログラムに感情的に没頭。
- 対話の記録を見ようとするとプライバシーの侵害だとして拒んだり、対話中は部屋に一人きりにしてくれと頼んだりといったことがあったという。
- 最近では人工無脳とも呼ばれる。
 - Twitterのボット
- 対話システムの発展系が現在のSiri

```

File Edit Options Buffers Tools Help
I am the psychotherapist. Please, describe your problems.
Each time
you are finished talking, type RET twice.

I have a terrible headache.

Maybe you should consult a doctor of medicine, I am a psychi
atrist.

Okay, I'll do that then.

Can you elaborate on that?

What are you talking about? No I cannot elaborate. See you l
ater.

Why do you say that?

Now you're just talking nonsense!

What makes you believe now I am just talking nonsense?

You are not making any sense.

Perhaps your plans have something to do with this.
-u:** *doctor* (Doctor Fill)--L1--Top-----
  
```

エキスパートシステム: MYCIN

- スタンフォード大学で1970年代初めに5、6年の歳月をかけて開発されたエキスパートシステム
- システムは伝染性の血液疾患を診断し、抗生物質を推奨するようにデザインされていて、患者の体重のために供与量を調節する。
 - 500のルール。細菌の名前を出す

ルールの例

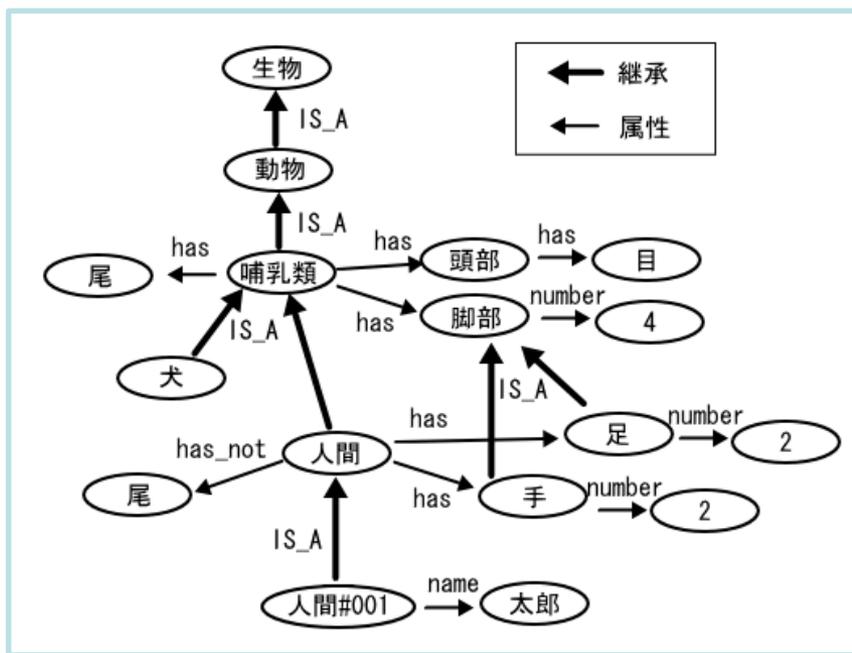
```
(defrule 52
  if (site culture is blood)
    (gram organism is neg)
    (morphology organism is rod)
    (burn patient is serious)
  then .4
    (identity organism is pseudomonas))
```

診断のための対話

Q: 培地はどこ?
A: 血液
Q: 細菌のグラム染色による分類の結果は?
A: ネガティブ
Q: 細菌の形は?
A: 棒状
Q: 患者の痛みはひどいか、ひどくないか?
A: ひどい
→ pseudomonas(緑膿菌)と判定

知識表現

- 意味ネットワーク(1960-)は人間の記憶の一種である意味記憶の構造を表すためのモデルである。コリンズとキリアンによって考えられた。
- Cyc(1984-)は、一般常識をデータベース(知識ベース)化し、人間と同等の推論システムを構築することを目的とするプロジェクト。20年たっても書き終わらない。



意味ネットワーク

※ has関係は、part-of関係の逆

(#\$isa #\$BillClinton
#\$UnitedStatesPresident)
"Bill Clinton belongs to the collection of U.S.
presidents"

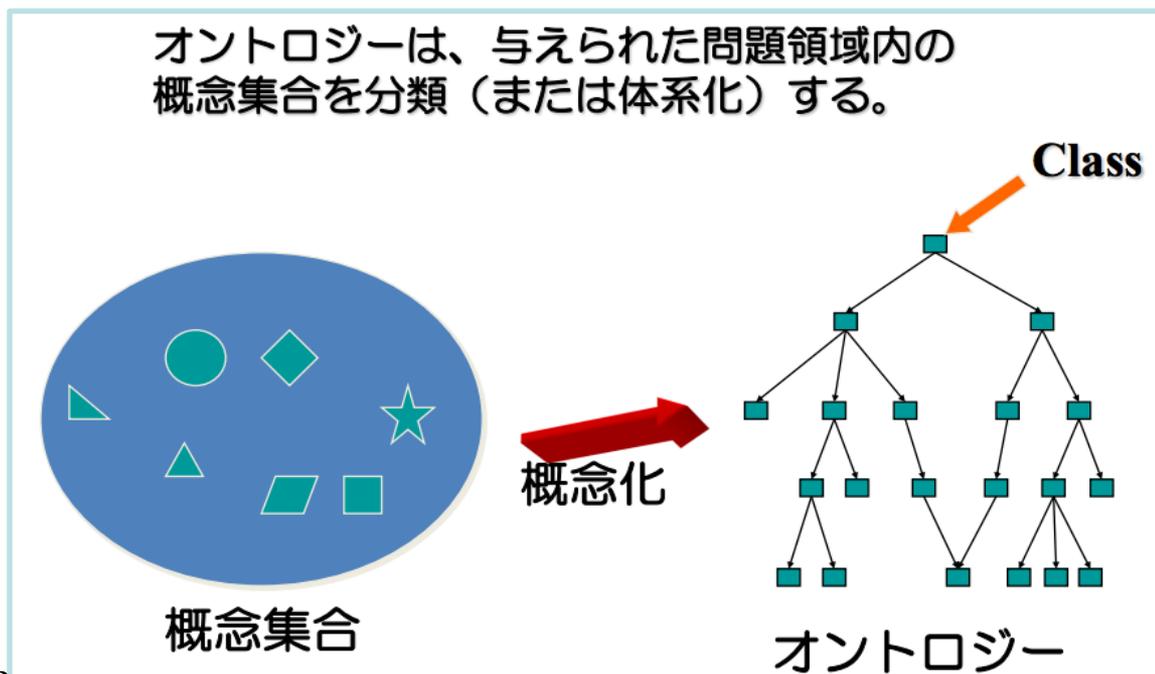
(#\$genis #\$Tree-ThePlant #\$Plant)
"All trees are plants".

(#\$capitalCity #\$France #\$Paris)
"Paris is the capital of France."

Cycプロジェクトで記述された知識の例

オントロジー(1990-)

- エキスパートシステムのルールが数千、数万になってくる
 - 書き切れない、管理できない
- オントロジー
 - 概念化の明示的な仕様(Gruber)
 - 人工システムを構築する際のビルディングブロックとして用いられる基本概念／語彙の体系(溝口)



オントロジー研究のフレーバー(溝口03)

- 概念間の関係には、is-a 関係(上位・下位)、part-of 関係(全体・部分)などがある。
- part-of 関係に推移律が成立するか？
 - 31講義室 part-of 3号館、3号館 part-of 東京大学、したがって、31講義室 part-of 東京大学
 - 親指 part-of 山田太郎、山田太郎 part-of 取締役会、親指 part-of 取締役会 ???
- part-of 関係の細分化
 - 自転車と車輪: 自転車は車輪をとられると自転車ではなくなるが、車輪は自転車の部分であるときも無いときも車輪である。
 - 森と木: 森から木を一本除いても森であり続けるし、木も木のままである。
 - 夫婦と夫: 夫婦から夫を除くと夫婦は崩壊するし、夫もただの男になる。
 - ケーキとその一片: ケーキ全体から一切れのケーキを除いても、残された方も一切れもいずれもケーキである。
- part-ofの認定の難しさ。
 - プラントの「運転」を考えてみる。次の二つのモデル化のどちらが正解であろうか？
 - <正常運転 is-a 運転> <復旧運転 is-a 運転>
 - <正常運転 part-of 運転> <復旧運転 part-of 運転>
 - 運転は正常運転と復旧運転から構成されている。どちらも正しいのである。しかし、同じ概念の間に is-a と part-ofの両方が同時に成立することはあり得ず、どこかが間違っている。
 - 実はこの問題の解決のヒントは「運転」という概念が二つの意味を持っていることである。

オントロジー: HeavyとLight

- Heavy-weight ontology: 人間がちゃんと考える
- Light-weight ontology: 人間がちゃんと考えないとできないのは分かるけど、計算機使わないとスケールしないから、自動でオントロジーを作ろうよ。
 - 関連性くらいでもよい。
 - ウェブ、ビッグデータからのマイニングや知識獲得



Watson(2006-)

- IBMが開発した質問応答システム
- 2011年1月に米国のクイズ番組「ジェパディ!」(Jeopardy!)での人間と対戦デモが行われた。
 - Watsonが勝利
- IBMは医療診断に応用予定



質問文:「本州のなかで最も西に位置するこの県は、1871年に発足した。」
正答:「山口(県)」

観点\解候補	広島	山口	鳥取県	中国地方	奥多摩
候補と質問で型が一致する? (「県」である)	○	○	○	×	×
条件の一部が一致? (最も西にある)	×	○	×	○	○
時間表現が共通? (1871年の記述を含む)	×	○	×	○	×
該当する語句へのリンクの数 (多いほうがよい)	1300	500	200	150	10
総合点(確信度)	2%	92%	20%	6%	0%

表-2 解候補ごとの根拠の探索

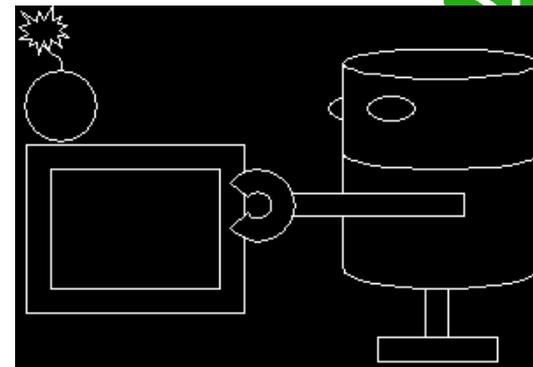
質問応答システムWatsonが示す未来、ProVISION, 2011

機械翻訳の難しさ

He saw a woman in the garden with a telescope.

- 彼は庭にいるのか？彼女が庭にいるのか？
- 彼が望遠鏡を持っているのか、彼女が持っているのか。
- 庭に女性が望遠鏡を持って立っていることよりは、庭にいる女性を男性が望遠鏡で見ているほうがありそうだ。
- なぜこれが分かるのか？これが分からないと翻訳できない。
- これを人間が入力する？どこかに書いてある？どちらも無理そうだ。
- 一般に、知識獲得のボトルネックともよばれる

フレーム問題 (Dennett 1984)



- ロボット1号

- ロボットは、バッテリーを部屋から取ってこなければならない。部屋には一台のワゴンがあり、バッテリーはその上にあった。ところが、そのワゴンには爆弾も載せられており、PULLOUT(VAGON, ROOM)という行動を行うと、爆弾も持ち出して爆発してしまった。

- ロボット2号

- 自分の行動の帰結として、自分の意図したものだけではなく、副産物についての帰結も認識するように作られた。R2は設計されたとおり、PULLOUT(WAGON, ROOM)という行動の帰結を考え始めた。ワゴンを部屋から引っぱり出しても部屋の壁の色は変わらないということを演繹し、ワゴンを引けば車輪が回転するだろうという帰結の証明にとりかかった。そして爆弾は爆発した。

- ロボット3号

- 関係のある(relevant)帰結と関係のない(irrelevant)帰結との区別を教えてやり、関係のないものは無視するようにすればよい。すると、このロボットは、部屋に入ろうともせず、じっとうずくまって考えていた。「私は、無関係な帰結を探し出してそれを無視するのに忙しいんです。そんな帰結が何干とあるんです。」

シンボルグラウンディング問題 (Harnard 1990)

- シンボルグラウンディング問題とは、記号システム内のシンボルがどのようにして実世界の意味と結びつけられるかという問題。記号接地問題とも言う。
- コンピュータには、記号の「意味」が分かっていないので、記号の操作だけで知能は実現できない。シンボルを、その意味するものと結びつける(グラウンドさせる)ことが必要であり、困難である。
- 馬の意味と、シマの意味が分かっている人が、
シマウマ = 馬 + シマ
と教えられれば、シマウマを一目見た瞬間、シマウマだと分かる。コンピュータではできない。
- 一部のロボット研究者は、「身体性」に注目したアプローチで、この問題に挑んでいる。
(東大國吉先生、阪大浅田稔先生など。)



知識処理のまとめ

- 知識を書けば賢くはなった。
- でも、書くのが大変。書き切れないよ。
- 大変というより、これって可能なの？「そもそも何をどう表現すべきか」とか根本的なことを考えるとめっちゃ難しい。
- 呆然。。
- AIって無理じゃない？
- 1995年～ 再びAIの冬の時代



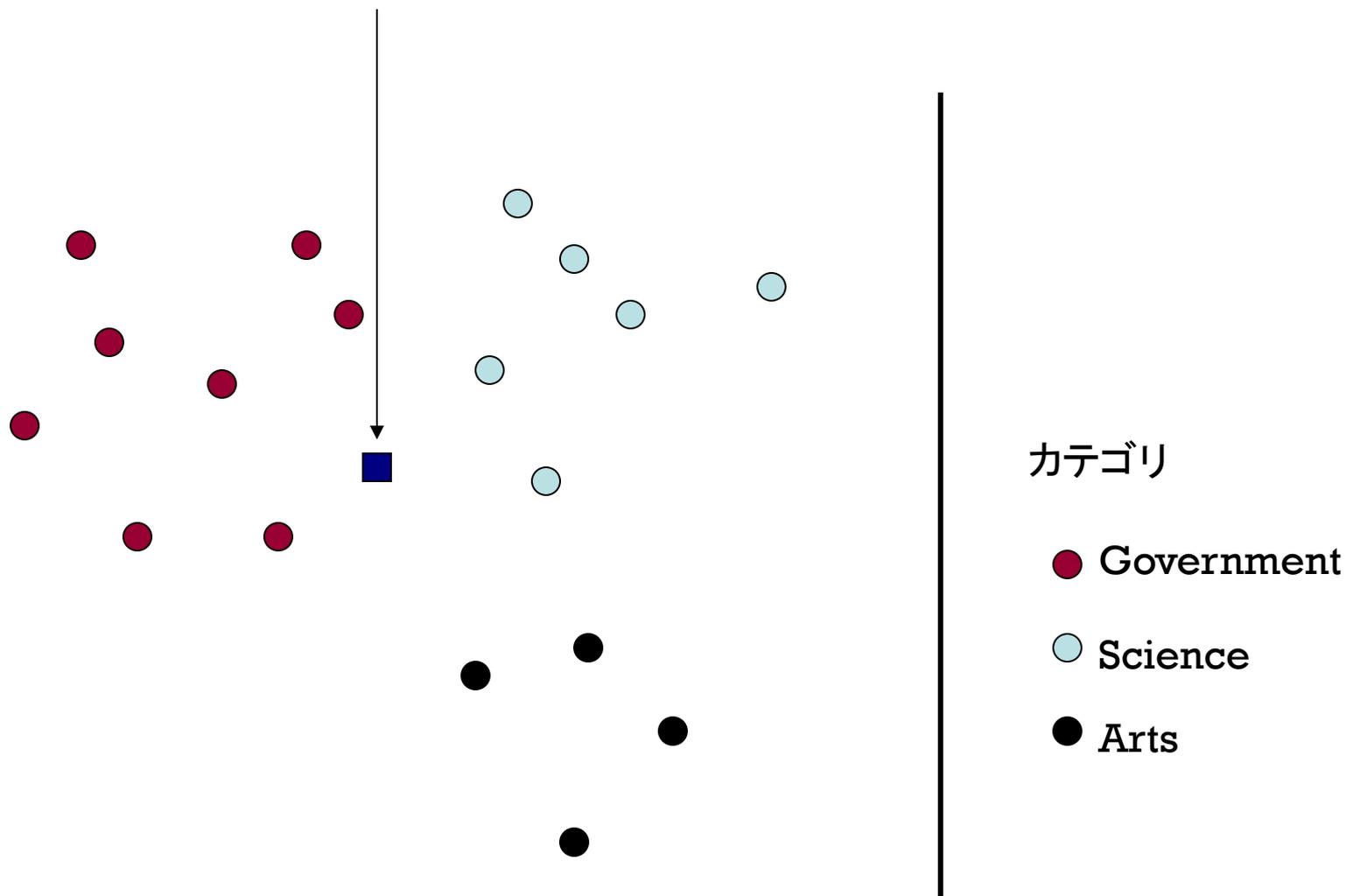
第三次AIブーム：機械学習から表現学習へ

- 1990年～
 - 情報検索：米国政府主導によるTREC(Text Retrieval Conference)(1992)
 - データマイニング：国際会議やジャーナルの立ち上がり
 - 検索エンジン：Google(1998)
- 2000年～
 - ウェブの広がり：1995年には1万サイト、2006年には1億サイト
 - ビッグデータ
 - 大量のデータを用いた機械学習の実用化
- 2010年～ 第三次AIブーム？

機械学習 (Machine learning)

- 人工知能における研究課題の一つで、人間が自然に行っている学習能力と同様の機能をコンピュータで実現しようとする技術・手法
- 中心的な処理: 自動的に分類する
 - 「分ける」ことが、すべての学習の根幹
- 教師あり学習
 - 入力とそれに対応すべき出力(ラベル)を出力する関数を生成する。
- 教師なし学習
 - 入力のみ(ラベルなしの例)からモデルを構築する。
 - クラスタリングや相関ルール抽出

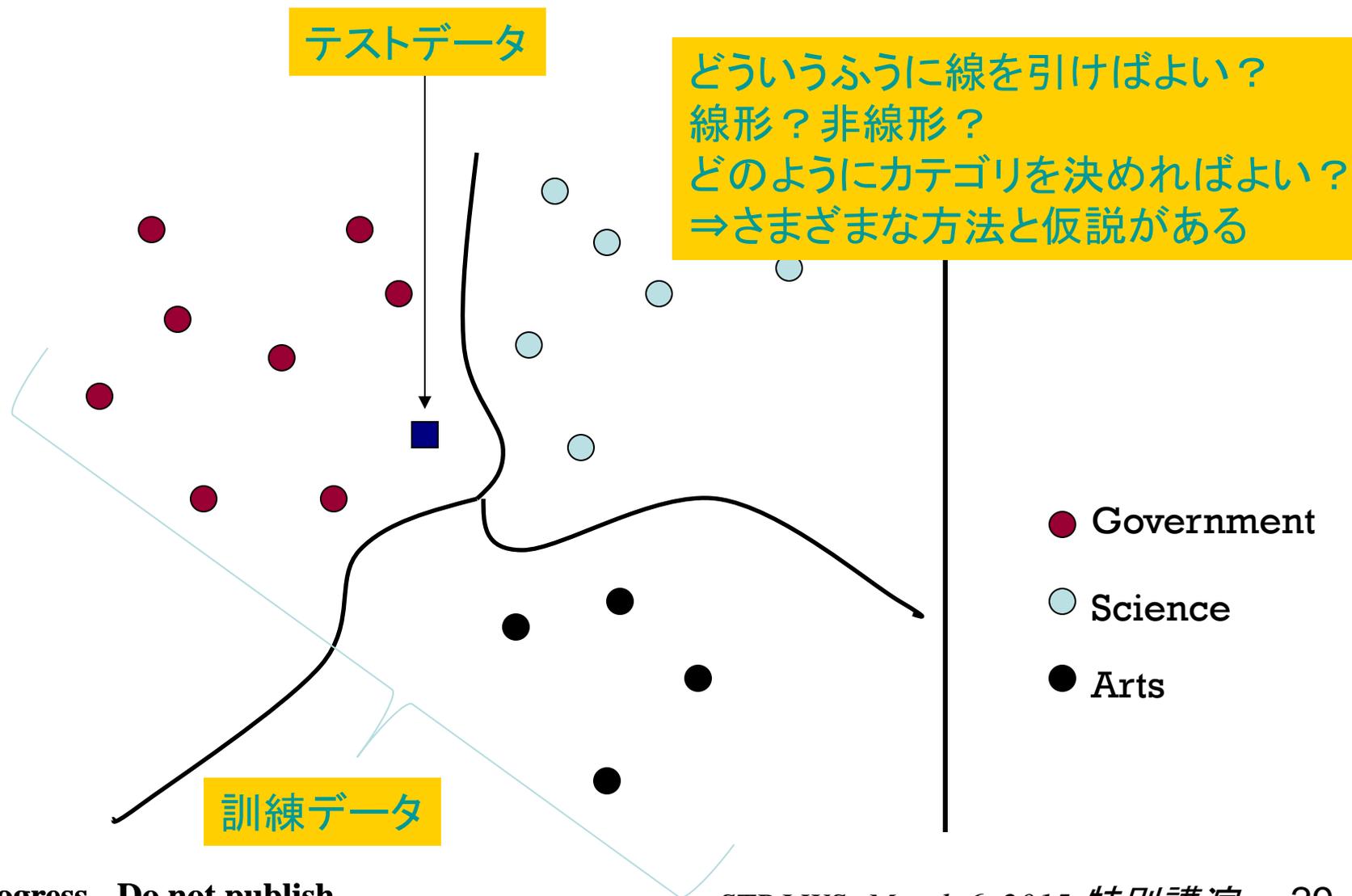
新聞記事を分類する。どのカテゴリか？



何らかの空間。

例えば、出てくる単語で作ったベクトル空間

おそらくGovernment



機械学習の方法

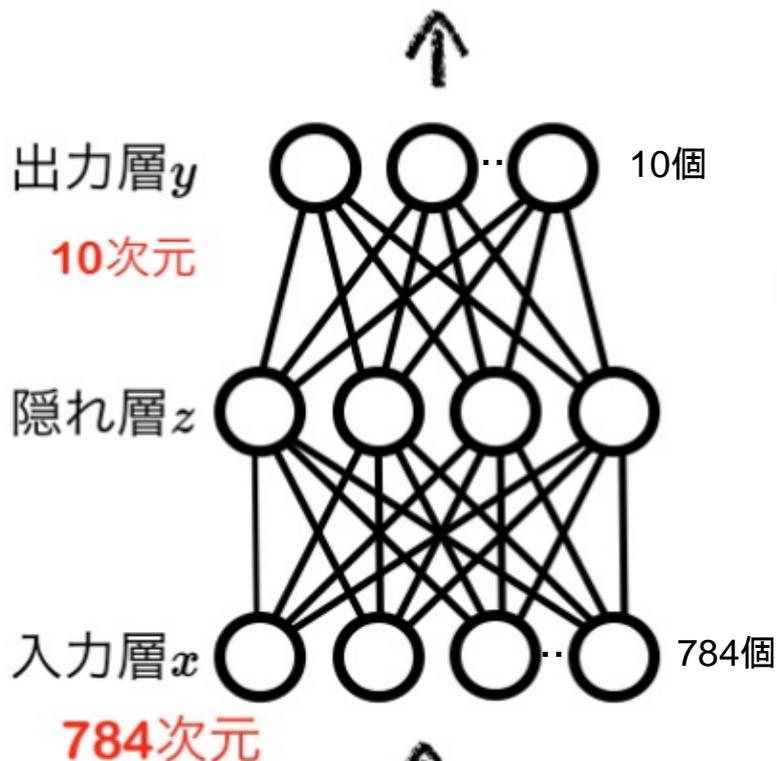
- Nearest neighbor法
 - 仮説: 最も近いデータのカテゴリを当てはめるのが良い
- ナイーブベイズ法
 - ベイズの定理に基づいて分ける
 - データの特徴ごとに、どのカテゴリに当てはめるのかを足しあわせていくのがよい。
- 分類木を作る方法 (C4.5など)
 - 平均情報量 (エントロピー) が多い分け方で分けるのがよい
- SVM (サポートベクターマシン)
 - マージン (余白) が最も最大になるように線を引くのがよい
- ニューラルネットワーク
 - 人間の脳神経回路を模擬したネットワークにより線を引く

ニューラルネットワーク: 手書き文字認識を例に

[0.05, 0.05, 0.05, **0.40**, 0.05, 0.05, 0.15, 0.05, 0.15, 0.05]

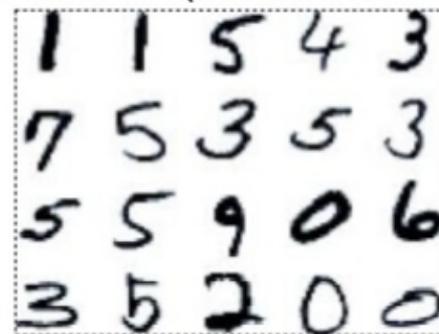
10次元の確率分布

(左から、入力画像が、
0である確率、
1である確率
...
9である確率)



3 !!!

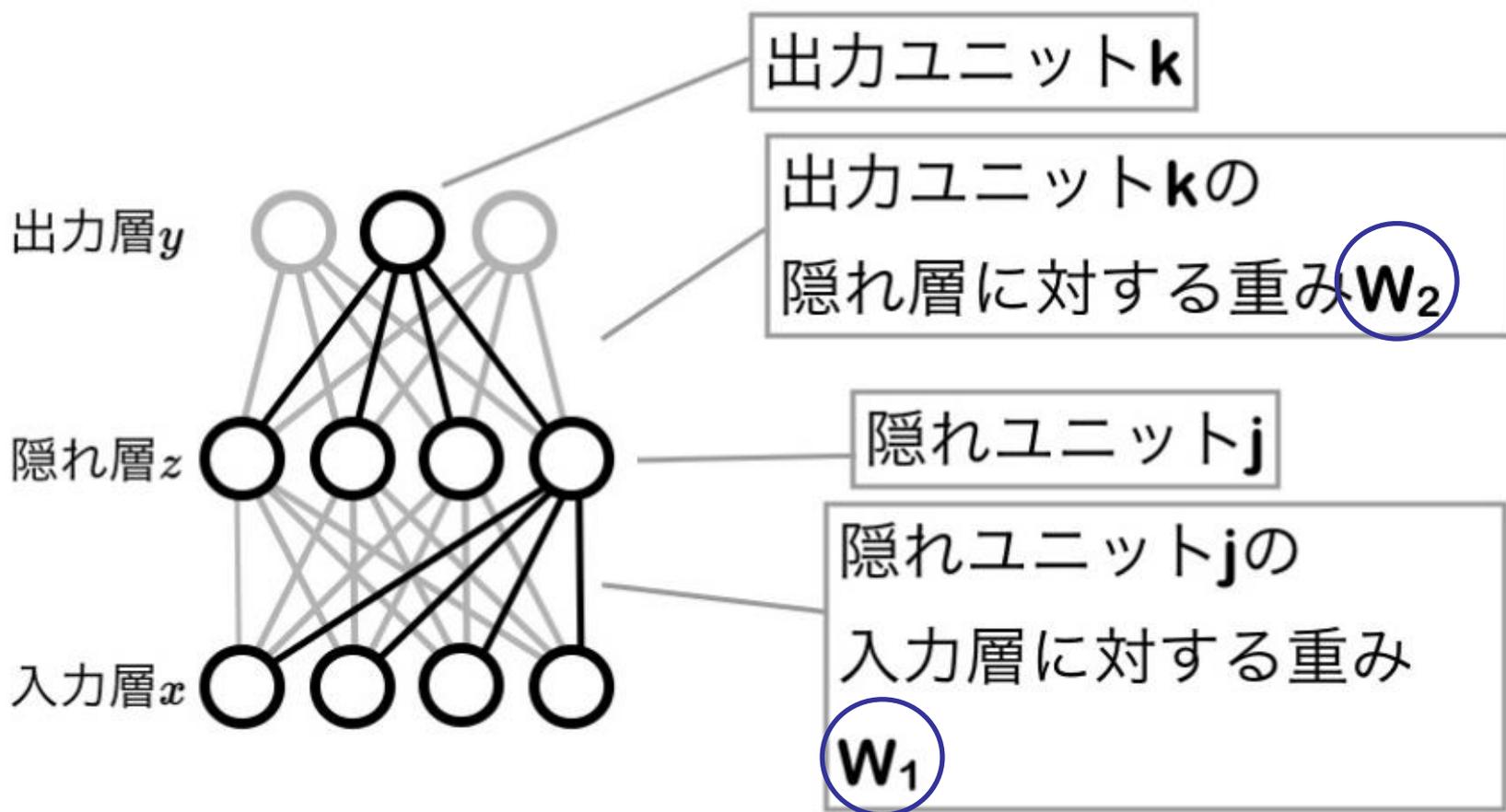
MNIST (28*28の画像)



28*28=
784次元の数値ベクトル

3

3層のパーセプトロン(1957-)



誤差逆伝搬 (Back Propagation) (1974-)

正解 t



出力層 y



隠れ層 z



入力層 x



W_2

W_1

層間の重みを修正することで学習する

$$f = \sum_{i \in \text{Training}} (correct_i - predicted_i)^2$$

$$W_2 \leftarrow W_2 + a \frac{\partial f}{\partial W_2}$$

$$W_1 \leftarrow W_1 + a \frac{\partial f}{\partial W_2} \frac{\partial W_2}{\partial W_1}$$

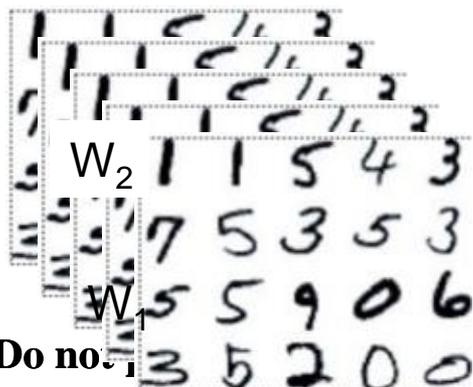
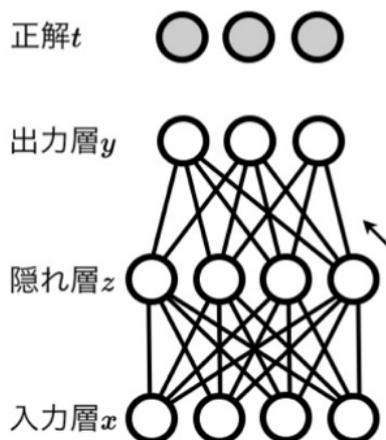
誤差逆伝搬のイメージ:

判断があたったときは、正しい判断を言った部下とのつながりを強め、
判断が間違えたときは、間違った判断を言った部下とのつながりを弱める。
これを何度も何度も繰り返すと、組織全体で正しい判断ができるようになる。

機械学習の使い方：学習フェーズと予測フェーズ

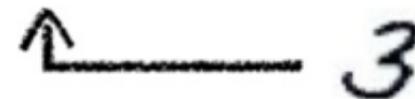
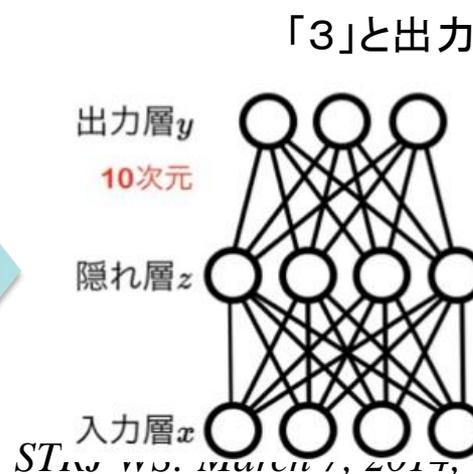
作るとき：学習フェーズ

通常、数分～数日かかる



使うとき：予測フェーズ

一瞬で計算は終わる。(1秒以下)



学習された
パラメータ
(重み)

機械学習における難しさ： 素性の設計 (Feature engineering)

- 素性に何をを使うかで、予測精度が大きく変化する。
 - 素性(そせい, feature) : 機械学習の入力に使う変数。対象の特徴を表す特徴量。
 - 例えば、文字認識の場合、SIFT特徴量(輝度変化の勾配方向)などをいれると精度があがることが知られている。
- ところがこれは、人間ががんばって作るしかない。

性別	地域	身長	好きな色	年収
男	東京	168	赤	250
男	埼玉	176	白	700
男	神奈川	183	青	1200
女	東京	155	別に	400
男	千葉	174	赤	180
女	東京	163	緑	5000

年齢いれようよ。職業も必要でしょう。業種とかスキルとかも入れた方がいいんじゃない？

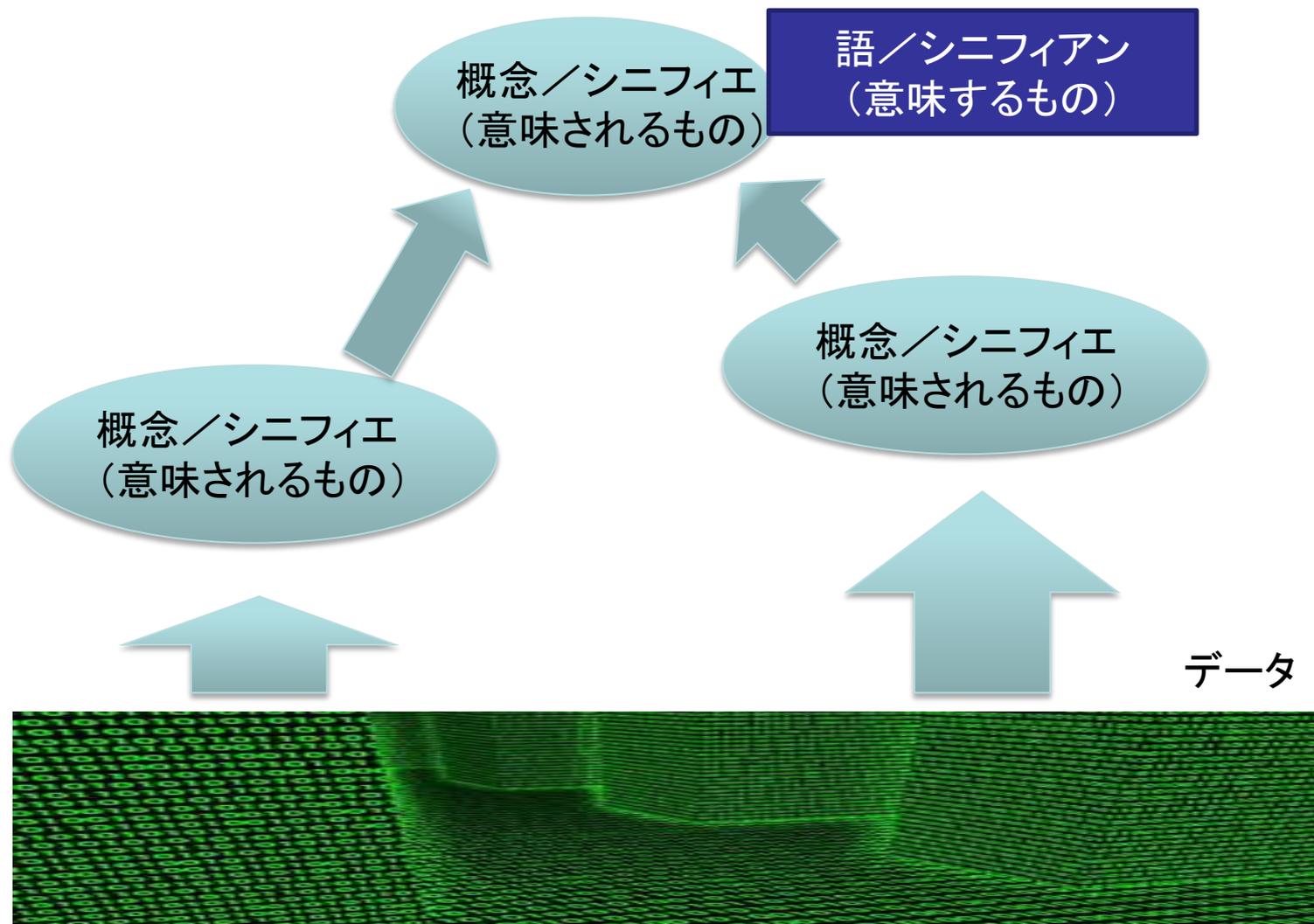
これまでの人工知能の壁≡表現獲得の壁

- 難しい問題1: 機械学習における素性設計
 - 素性をどう作るの?
 - データ自身から、重要な特徴量を生成できないから問題が起こる
- 難しい問題2: フレーム問題
 - ロボットが動くときどうなるかを、どのように記述すればよいか
 - データから(light-weightオントロジーのアプローチで)知識を獲得し、フレームを決めないから問題が起こる
- 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、どう理解すればよいか?
 - センサーのデータから表現されるもの(シニフィアン)を生成し、それに名前(シニフィエ)をつけないから問題が起こる



結局、難しい問題は全部同じことを指しており、よい「表現」をコンピュータ自らが作れないという問題。

データをもとに特徴量を作る



Deep Learning

- AIにおける50年来のブレークスルー
 - データをもとに「何を表現すべきか」が自動的に獲得されている



10 BREAKTHROUGH TECHNOLOGIES 2013

Introduction The 10 Technologies Past Years

Deep Learning With massive amounts of computational power, machines can now recognize objects and translate speech in real time. Artificial intelligence is finally getting smart.	Temporary Social Media Messages that quickly self-destruct could enhance the privacy of online communications and make people freer to be spontaneous.	Prenatal DNA Sequencing Reading the DNA of fetuses will be the next frontier of the genomic revolution. But do you really want to know about the genetic problems or musical aptitude of your unborn child?	Additive Manufacturing Skeptical about 3-D printing? GE, the world's largest manufacturer, is on the verge of using the technology to make jet parts.	Baxter: The Blue-Collar Robot Rodney Brooks's newest creation is easy to interact with, but the complex innovations behind the robot show just how hard it is to get along with people.
Memory Implants A maverick neuroscientist believes he has deciphered the code by which the brain forms long-term memories. Next: testing a prosthetic implant for people suffering from long-term memory loss.	Smart Watches The designers of the Pebble watch realized that a mobile phone is more useful if you don't have to take it out of your pocket.	Ultra-Efficient Solar Power Doubling the efficiency of a solar cell would completely change the economics of renewable energy. Nanotechnology just might make it possible.	Big Data from Cheap Phones Collecting and analyzing information from simple cell phones can provide surprising insights into how people move about and behave – and even help us understand the spread of diseases.	Supergrids A new high-power circuit breaker could finally make highly efficient DC power grids practical.

人工の神経回路、威力増す

「ディープラーニング」と呼ぶ人工知能技術が高い関心を集めている。画像や音声の認識精度が大幅に高まるため、米グーグルなどが研究に参入。経済動向の予測や新薬開発などにも威力を発揮する可能性がある。

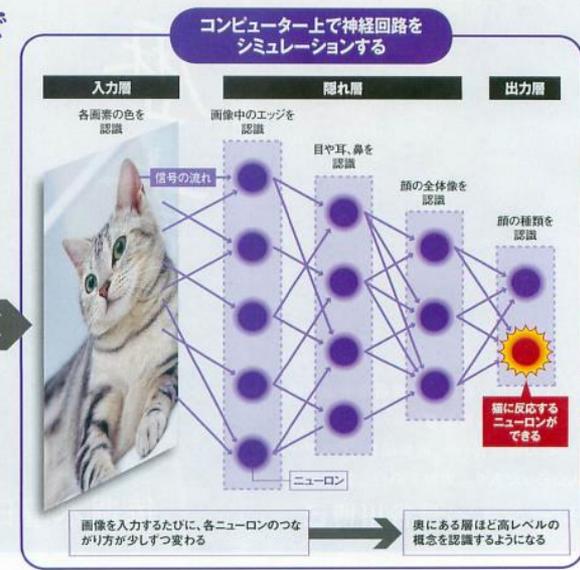
ここ1~2年、世界中の人工知能の研究から大きな注目を浴びている技術がある。コンピューターに人間と同じように経験に基づいた行動をさせる機械学習の一種で、「ディープラーニング」と呼ばれる新手法だ。インターネット社会を支える画像認

識や音声認識、新薬開発に役立つ化合物の活性予測——。こうした技術の精度を競うコンテストで、ディープラーニングが過去の記録を大幅に塗り替え、次々と優勝を果たしている。「これほど飛躍的に精度が向上するとは信じられない」「まさに衝撃的な

結果だ」。専門家からは、口々に驚きの声が上がっている。ディープラーニングは、人の神経回路をコンピューター上で模擬する「ニューラルネットワーク」という技術を発展させたものだ。人の脳は、画像からそこに映るモノ

ディープラーニングで画像を認識する流れ

ディープラーニングでは、コンピューター上に人間の脳と同じような多層の神経回路を作製。大量の画像や文字情報を入力してトレーニング(訓練)すると、そこに含まれる高度な概念が自然に引き出される。米グーグルの研究では、出力層のニューロンが、「猫」を認識して強く反応するようになった(右は簡略化した仕組みの図)

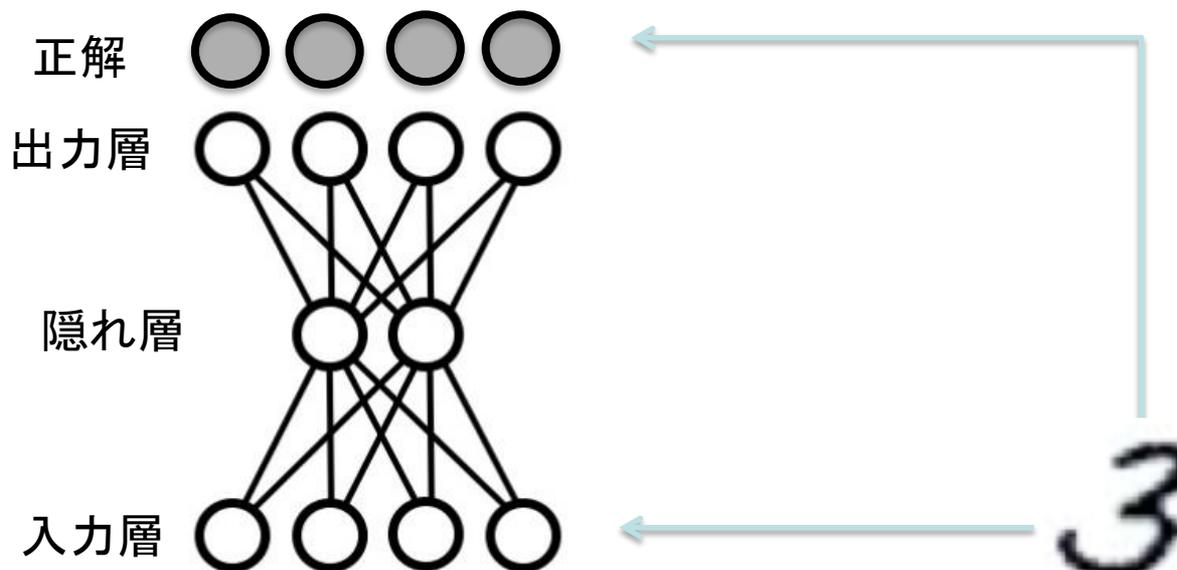


日本でのおそらく最初の紹介: 日経ビジネス2013年4月15日号

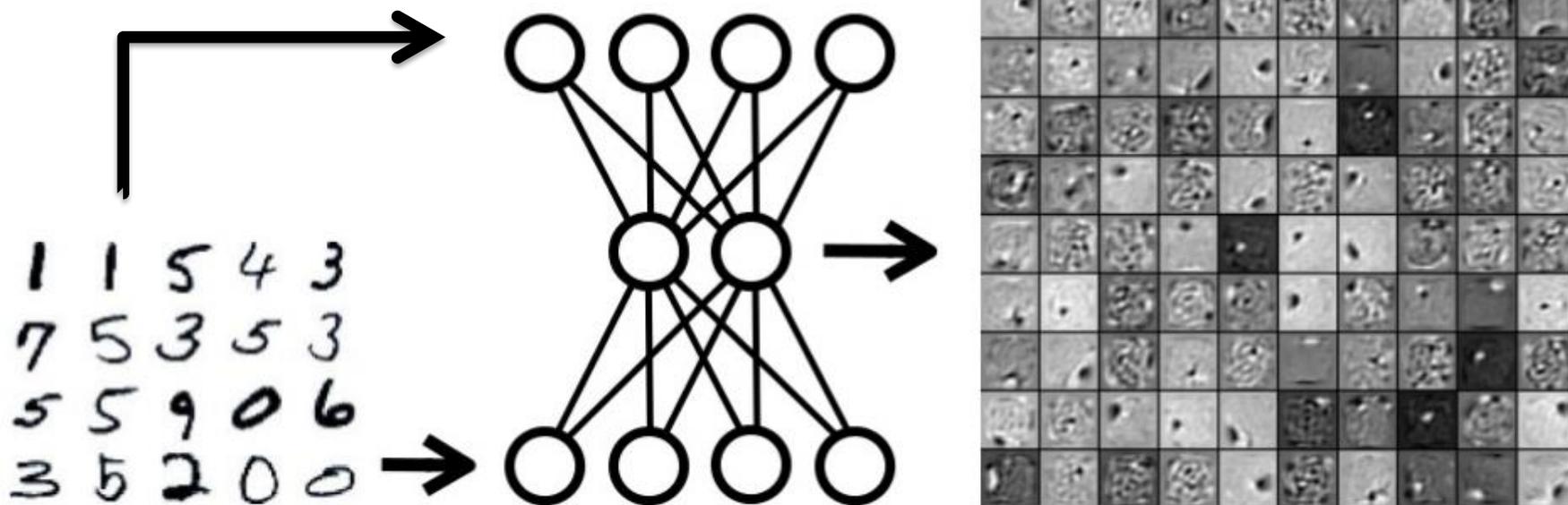
STRJ WS: March 6, 2015, 特別講演

Auto-encoder(2006-)

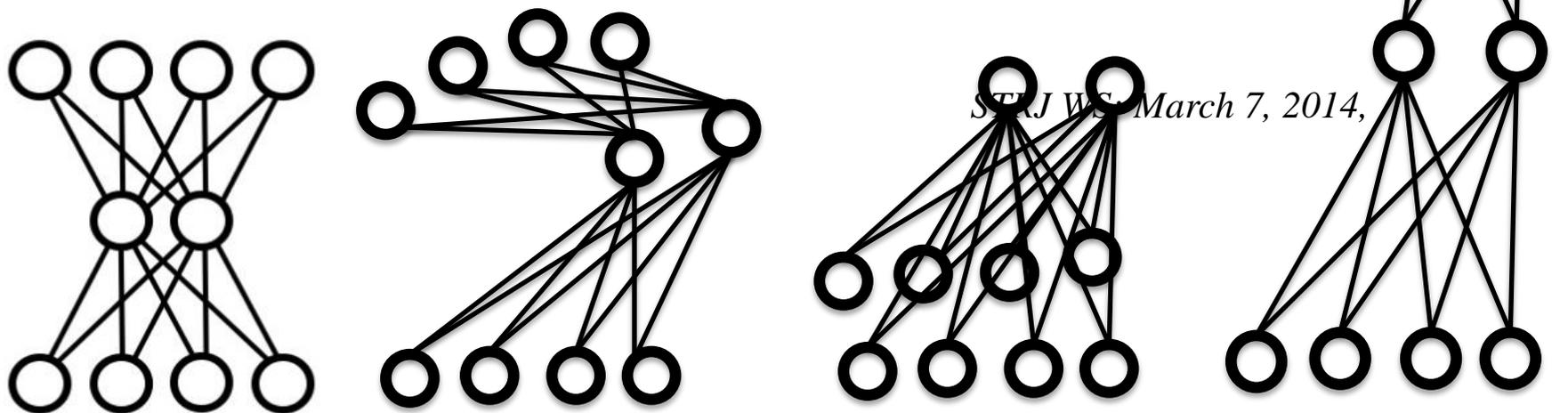
- Deep Learningの主要な構成要素
- 出力を入力と全く同じにしたニューラルネットワーク
 - 手書き文字認識では、ひとつの画素の値を予測する。
 - 普通に考えると意味ない。
- 「1万円札をお店の人に渡して、1万円札をうけとるようなもの」(「考える脳 考えるコンピュータ」J. Hawkins)
- 隠れ層のノードが「入力を圧縮したもの」になる。

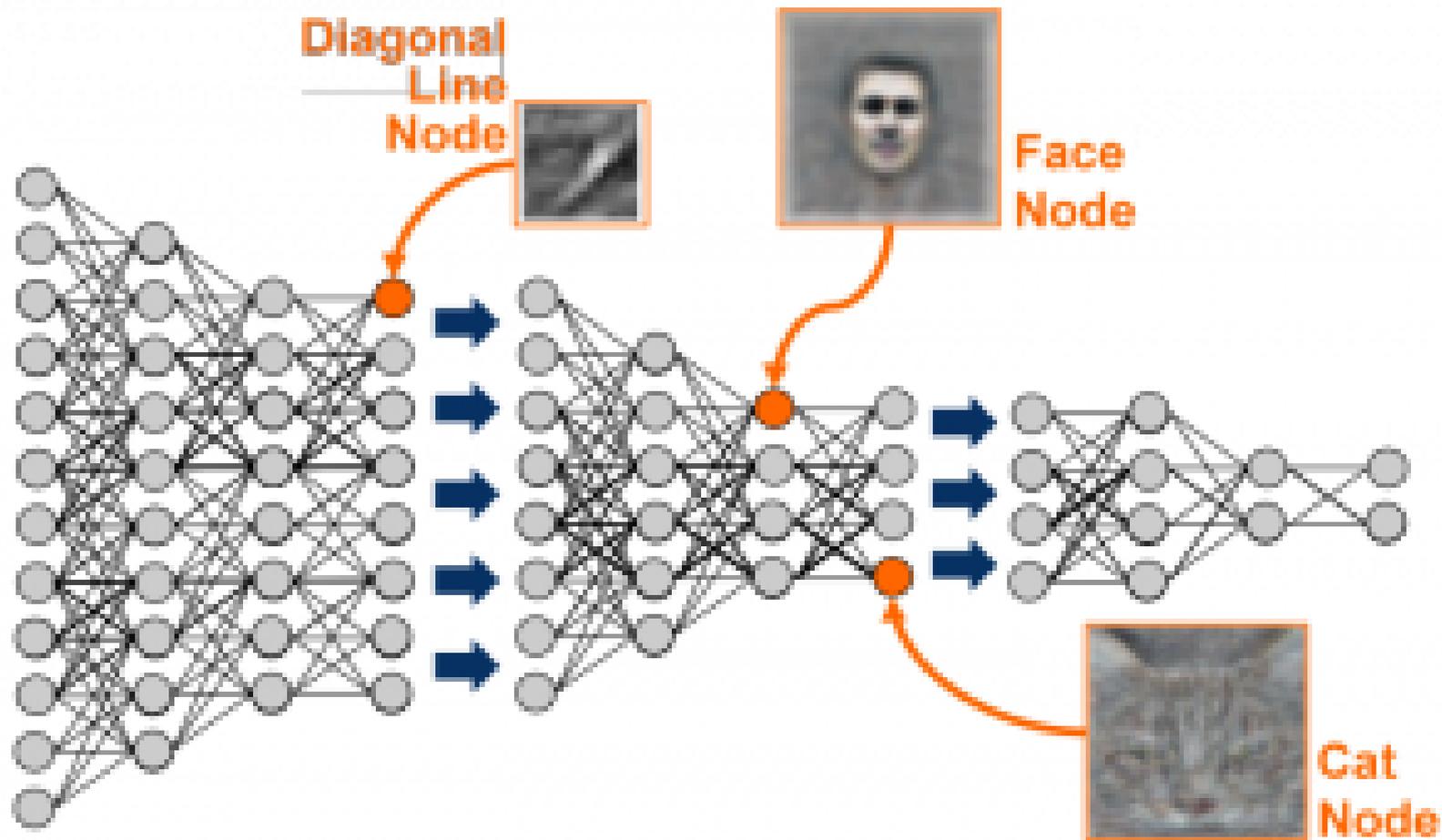


Auto-encoderで得られる表現



“Deep”にした場合





Deep Learningの実績

- ILSVRC2012: Large Scale Visual Recognition Challenge 2012
- 他のコンペティションでも圧勝

Team name	Filename	Error (5 guesses)	Description
SuperVision	test-preds-141-146.2009-131-137-145-146.2011-145f.	0.15315	Using extra training data from ImageNet Fall 2011 release
SuperVision	test-preds-131-137-145-135-145f.txt	0.16422	Using only supplied training data
ISI	pred_FVs_weighted.txt	0.26602	Weighted sum of scores from classifiers using each FV.
ISI	pred_FVs_summed.txt	0.26646	Naive sum of scores from classifiers using each FV.
ISI	pred_FVs_wLACs_summed.txt	0.26952	Naive sum of scores from each classifier with SIFT+FV, LBP+FV, GIST+FV, and CSIFT+FV, respectively.
OXFORD_VGG	test_adhocmix_classification.txt	0.26979	Mixed selection from High-Level SVM scores and Baseline Scores, Decision is performed by

Deep Learning

長年の Feature engineering

「ケタ」が違う

DL関連の海外企業の投資

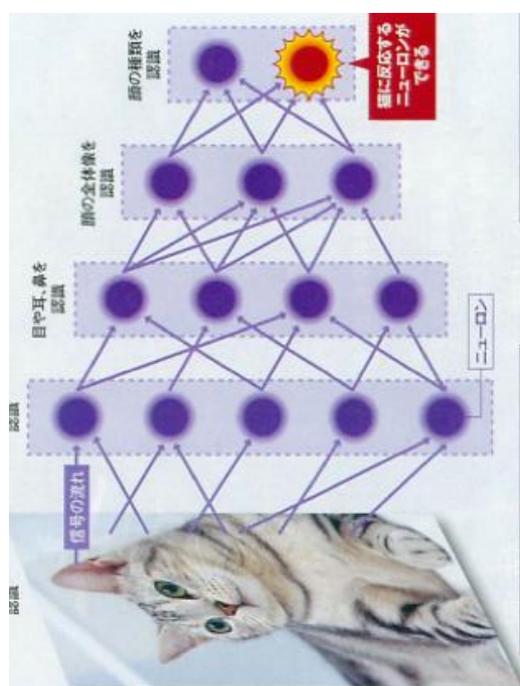
- Google
 - トロント大Hinton教授と学生の会社をGoogleが買収(2013)
 - Deep Learningの英国会社Deep Mind Technologiesを4億ドル(約420億円)で買収(2014)
- 中国検索最大手Baidu
 - シリコンバレーにDeep Learningの研究所を作る(2013)
 - Stanford大 Andrew Ng教授をDeep Learningの研究所所長に迎え、300億円を研究予算として投資(2014)
- Facebook
 - 人工知能研究所設立: New York大のYann LeCun教授を所長に招く(2013)
 - 人工知能の新興企業Vicarious社への4,000万ドルの投資ラウンドに参加(2014)
- Yahoo!
 - 画像のDeep LearningのためにLookFlowという会社を買収(2013)



Deep Learning workshop(2013)でのザッカーバーグ(右)、ベンジオ(モントリオール大・中)、マニング(スタンフォード大・左)

Deep LearningのAIにおける意味

- AIにおける50年来のブレークスルー
 - データをもとに「表現」が自動的に獲得されている
- 実はみんな思っていた。同種の考えは昔から多くあり。
 - 1980- ネオコグニトロン(福島)、1990- 野田(産総研)ら、2000前後- 山川や松尾
- その秘訣は、ロバスト性
 - ノイズを加える、コネクションを外すなど、いじめることによる「ロバスト性」だった
 - ぐらぐらの柱では2階建てにならない
- ロバスト性を高めるには、計算機パワーが必要だった
 - いまのマシンスペックでもGPUを使って100台並列とかで、ようやく精度が上がる
- 初期仮説への回帰
 - 初期仮説「なぜできないの？」
 - 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。
 - 潜在的にはすべてのホワイトカラーの労働を代替するような汎用的な技術



igの 点

① 画像 → 画像特徴の抽象化

認識精度の向上

② 観測したデータ(画像+音声+圧力センサー+...) → マルチモーダルな抽象化

環境認識、行動予測

③ 自分の行動に関するデータ + 観測したデータ → 行為と帰結の抽象化

プランニング、フレーム問題の解決

④ 行為を介しての抽象化 → 名詞だけでなく動詞（その様態としての形容詞や副詞）

推論・オントロジー、高度な状況の認識

⑤ 高次特徴の言語によるバインディング → 言語理解、自動翻訳

シンボलगラウンディング、言語理解

⑥ バインディングされた言語データの大量の入力 → さらなる抽象化、知識獲得、高次社会予測

知識獲得のボトルネックの解決

Deep Learningがすごいというよりは、
Deep Learningの先に広がる世界がすごい

AIの実現

大きな社会的インパクト
防犯、自動運転、物流、他者理解、翻訳...

表現獲得の山



これまでのAI研究

知識表現・推論

ウェブ／
ソーシャルメディア

ビッグデータ

機械学習

言語処理

ロボット

身体性

インタラクション

創造性・
発想支援

複雑性

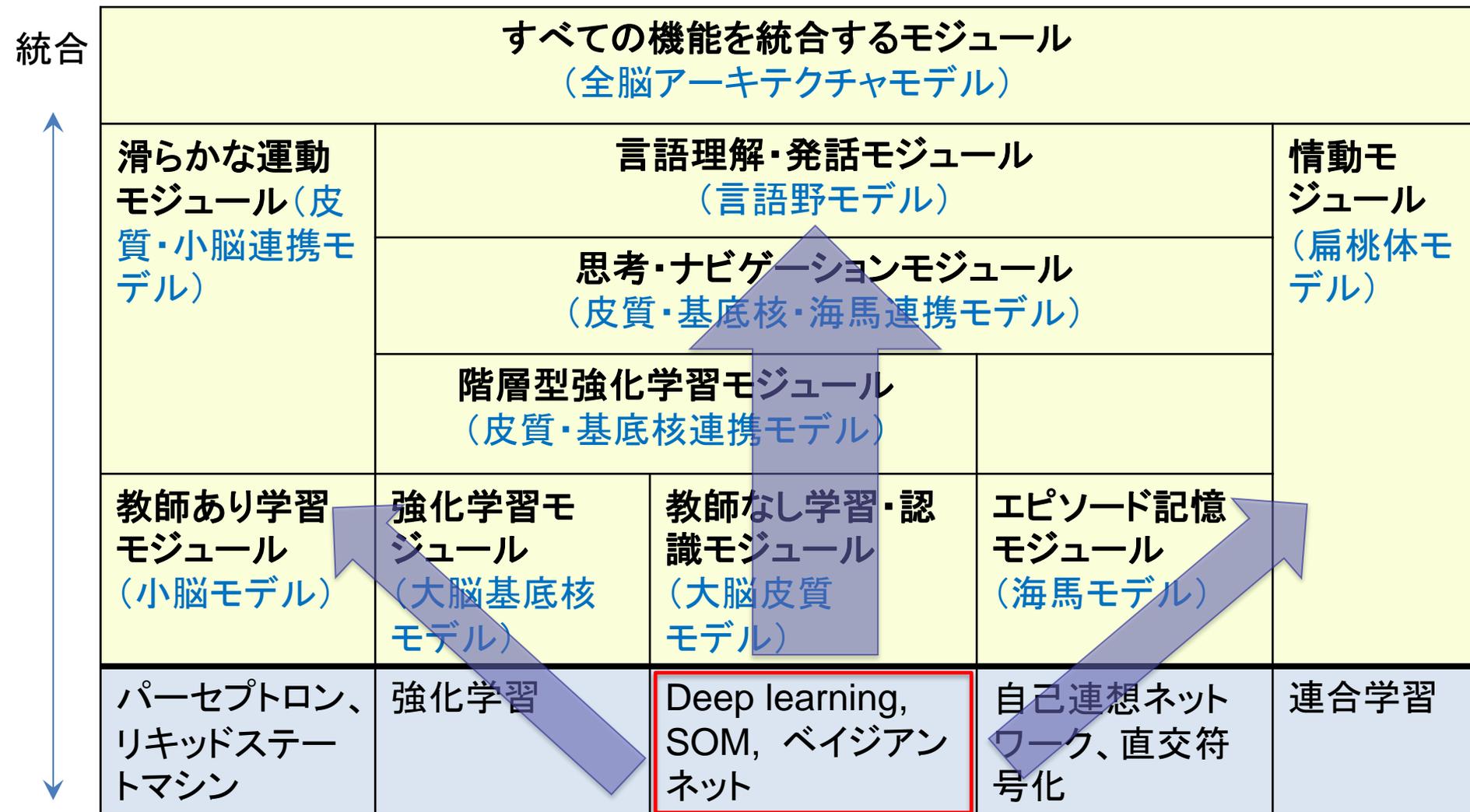
マルチエージェント

我々の取り組み: 全脳アーキテクチャ(WBA)

- ・ 人レベルのAI(そして人を越えるAI)を目指す。
- ・ 一杉(産総研)、山川(富士通研)、松尾(東大)の3名でWBA勉強会をオーガナイズ
- ・ 開催実績
 - 2013年12月19日 第1回勉強会(東京) 100名参加
 - 2014年01月30日 第2回勉強会(東京) 230名参加
 - 2014年03月29日 少人数形式での討論会
 - 2014年04月22日 第3回勉強会(東京) 193名参加
 - 2014年06月02日 第4回勉強会(大阪) 100名参加
 - 2014年07月01日 第5回勉強会(東京) 200名参加
 - 2014年07月18日 第6回勉強会(東京) 160名参加
 - 2014年09月22日 第7回勉強会(東京) 200名参加
 - 2014年11月10日 第8回勉強会(東京) 200名参加
- ・ リクルート本社セミナールーム等で開催
 - 研究者のみならず、企業からの参加も多い。

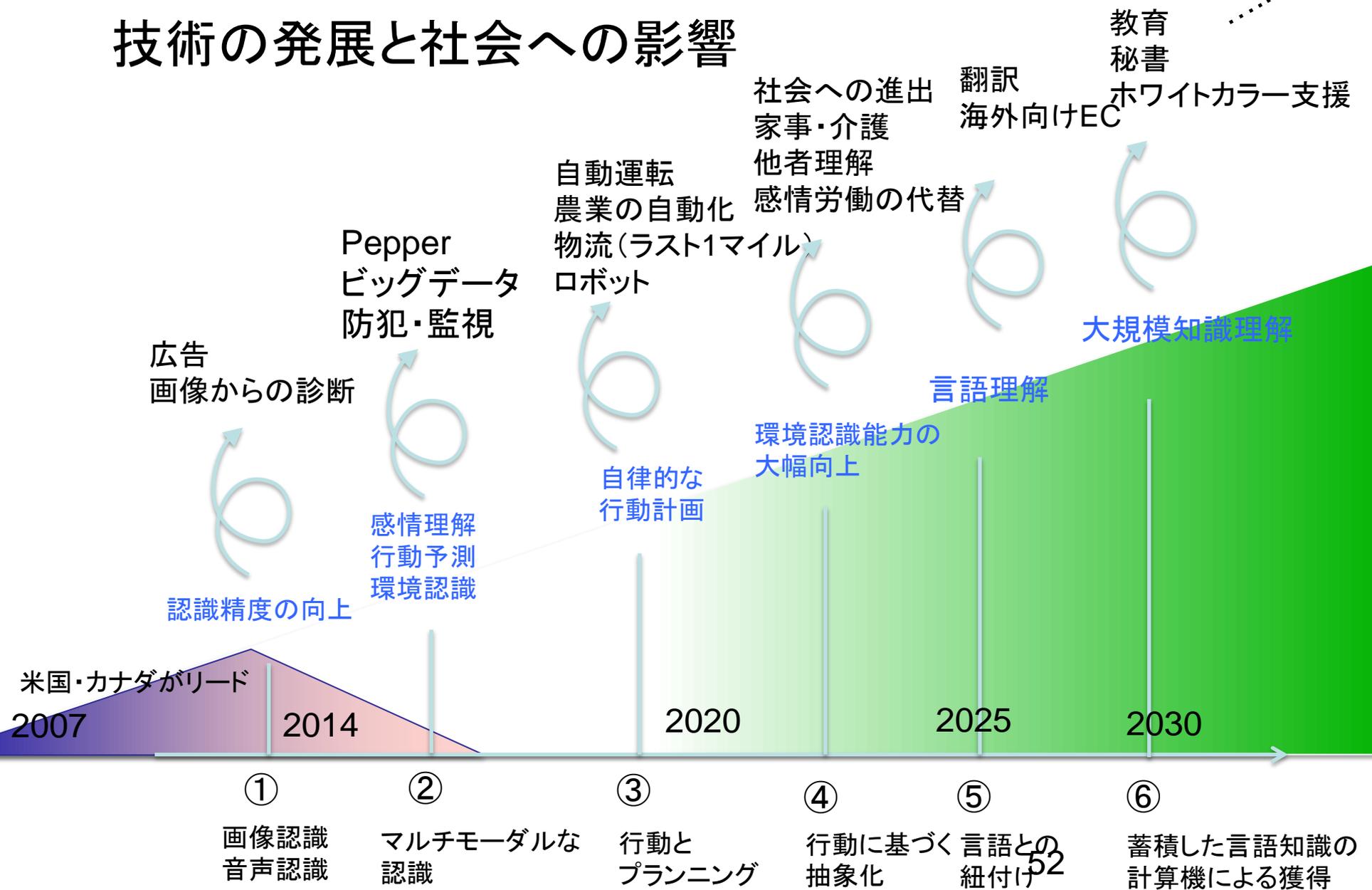


全脳アーキテクチャ俯瞰図



産業・社会への影響

技術の発展と社会への影響



ビッグデータから機械学習、そして人レベルAIへ

- 新たな産業革命を生む可能性
 - ホワイトカラーの代替、知的生産性の劇的向上
- 生産プロセス
 - 設計もできるようになる。
 - 生産プロセスが劇的に向上する可能性
- マーケティング
 - ニーズを的確に捉えることで、ビジネスががらりと変わる。(⇒消費インテリジェンス)
 - いまはマーケター(CMO)の仕事だが、ここをAIができる可能性

Machine Intelligence LANDSCAPE

CORE TECHNOLOGIES

ARTIFICIAL INTELLIGENCE

IBM WATSON MetaMind
 Numenta ai-one
 Cycorp Research nara
 Reactor SCALED INFERENCE

DEEP LEARNING

vicarious Vision Factory
 facebook Google
 ersatz SignalSense
 SKYMINd

MACHINE LEARNING

rapidminer context relevant
 Oxdata H_o DATA RPM
 Liftgater SPRINGFIELD
 Azure ML what Tulse Sense
 GraphLab Alpine tonian

NLP PLATFORMS

cortical.io idibon
 LUMINOSO wit.ai
 Maluba

PREDICTIVE APIS

Alchemy API MINDOPS
 Google big data indico
 ALGORITHMIA Expect Labs
 PredictionIO

IMAGE RECOGNITION

clarifai MADBITS
 DNNresearch DEXTRO
 V I S E N Z E lookflow

SPEECH RECOGNITION

GRIDSPACE
 popUP archive
 NUANCE

RETHINKING ENTERPRISE

SALES

Preact AVISO
 RelateIO NGDATA
 CLARABRIDGE FRAMED
 infer ATTEAULTY causata

SECURITY / AUTHENTICATION

CROSSMATCH conjur
 EYEVERIFY BITSIGHT
 CYLANCE bioryn

FRAUD DETECTION

sift science socure
 ThreatMetrix feedzai
 Brighterion verapin

HR / RECRUITING

TalentBin entelo
 predikt Connectifier
 gild hiQ

MARKETING

brightfunnel bloomreach
 CommandIQ AIRPR
 RADIUS people pattern
 Telkpart Freshprint

PERSONAL ASSISTANT

Siri Cortana Google now
 cleversense
 tempo Robinlabs
 KASISTO fuse machines
 VIV CLARA LABS

INTELLIGENCE TOOLS

ADATAD Palantir
 Quid Digital Reasoning
 FirstRain

RETHINKING INDUSTRIES

ADTECH

METAMARKETS dstillery
 rocketfuel YieldMo
 ADBRAIN

AGRICULTURE

BLUE RIVER TerraAvion
 ceresimaging KORE COMES
 THE CLIMATE CORPORATION tute

EDUCATION

Declara coursera
 KNEWTON kidaptive

FINANCE

Bloomberg FinGenius
 alphasense KENSHC
 Dataminr minettabrook
 BINATIX

LEGAL

Lex Machina brightleaf
 COUNSELYTTICS RAVEL
 JUDICATA Brevia
 DiligenceEngine

MANUFACTURING

SIGHT MACHINE
 MICROSCAN ROULES IMAGING
 IVISYS

MEDICAL

Parzival transcriptic
 ZEPHYR
 Genesient bina TUTE
 grand round table

OIL AND GAS

kaggle AYASDI
 TACHYUS biota
 Futura

MEDIA / CONTENT

Outbrain newste ARRIA
 SAILTHRU wovii
 NarrativeScience YVEUP
 Prismatic ai

CONSUMER FINANCE

affirm InVenture
 zee finance BILL GUARD
 LendUp
 LendingClub Kabbage

PHILANTHROPIES

DataKind thorn
 DATA GUILD

AUTOMOTIVE

Google Continental
 T Mobile CRUISE

DIAGNOSTICS

enlitic 3SCAN
 lumiatia ENTOP

RETAIL

BAY SENSORS
 PRISM SKYLABS
 celect euclid

RETHINKING HUMANS / HCI

AUGMENTED REALITY

wearable intelligence
 APX blippar
 META layar

GESTURAL COMPUTING

THALMICLABS omek
 LEAP
 eyeSight 3Gear
 Gesturetek nod

ROBOTICS

intel LIQUID ROBOTICS
 SoftBank
 iRobot jibo
 ANI

EMOTIONAL RECOGNITION

affectiva BEYOND VERBAL
 EMOTIENT
 cogito

SUPPORTING TECHNOLOGIES

HARDWARE

NVIDIA XILINX
 QUALCOMM NERVANA
 TEREKEEP Artificial Learning
 rigetti

DATA PREP

TRIFACTA Paxata
 tamr Alation

DATA COLLECTION

diffbot kimono
 CrowdFlower Connotate
 WorkFusion Import

なくなる職業(10年)

- Oxfordの研究(2013)
- 10年で消えそうなもの
- 702業種
- 職業を性質に分解
- 9つの特性から
 - 手先の器用さ、芸術的な能力、交渉力、説得力など
- 機械学習で判定

主な「消える職業」 「なくなる仕事」

銀行の融資担当者
 スポーツの審判
 不動産ブローカー
 レストランの案内係
 保険の審査担当者
 動物のブリーダー
 電話オペレーター
 給与・福利厚生担当者
 レジ係
 娯楽施設の案内係、チケットもぎり係
 カジノのディーラー
 ネイリスト
 クレジットカード申込者の承認・
 調査を行う作業員
 集金人
 パラリーガル、弁護士助手
 ホテルの受付係
 電話販売員
 仕立屋(手縫い)
 時計修理工
 税務申告書代行者
 図書館員の補助員
 データ入力作業員

彫刻師
 苦情の処理・調査担当者
 簿記、会計、監査の事務員
 検査、分類、見本採取、
 測定を行う作業員
 映写技師
 カメラ、撮影機器の修理工
 金融機関のクレジットアナリスト
 メガネ、コンタクトレンズの技術者
 殺虫剤の混合、散布の技術者
 義歯制作技術者
 測量技術者、地図作製技術者
 造園・用地管理の作業員
 建設機器のオペレーター
 訪問販売員、路上新聞売り、露店商人
 塗装工、壁紙張り職人

(註)オズボーン氏の論文『雇用の未来』の中で、コンピューターに代わられる確率の高い仕事として挙げられたものを記載

仕事の変化の予想

- 短期(5年以内)
 - 各分野でのビッグデータ、AI化が少しずつ進む
 - 特定の分野(法律、医療、会計・税務)で比較的急に進む
- 中期(5年～15年)
 - 「監視系業務」はほとんどいらなくなる。監視員、警備員。
 - 店舗の店員や飲食店の従業員、工場の作業員でも「監視系業務」はいらなくなる。
 - 「なにかおかしいことに気づく」のは、表現学習を備えたAIのお得意なところ
 - 商品の数を数える、売上をまとめてエクセルを作るなどのルーティーンも人工知能に。
 - 顧客の例外対応や、クリエイティブな分野、あるいはデータ分析・予測に基づく判断は人間の仕事
- 長期(15年以上)
 - 2極化する。ますますAIのできる分野が広がる。
 - 経営や一部の「大域的判断を必要とする仕事」は人間
 - 営業、店員、マッサージ師などの、「対人間」の高級なインタフェースは人間に。

人工知能と創造性

- 個人の内部で起こっている日常的な「気づき」「アハ体験」「素性生成」
- これは人工知能でも可能になる。データから気づく、思いつく。
- 特に「④行動を介しての抽象化」ができるようになると、試行錯誤で創造性を発揮することも可能に。
- 社会的な創造性は別。だれも考えてないことを考えないといけない。

シンギュラリティ(技術的特異点)

- 一方の極端な見方としては、膨大な富を産むと同時に「今世紀最大のリスク」とも
- シンギュラリティ
 - AIが自らを少しでも越えるAIを産み出せるようになったとき、一気に発散する。
 - $0.9^{1000}=0$ だが $1.1^{1000}=\text{無限大}$
 - 社会・倫理・価値観など広範な範囲にインパクトを与える
 - 永遠の命、人間の価値の見直し(職業の喪失)など
- 人間の仕事はどう変わるか
 - 当面は、総合的な判断力や、適切な分析・予測に基づく意思決定、創造性で、コンピュータが人間に勝つことはない。
 - しかし、その先は？特に大規模知識理解の先は？
- 独占に対する警戒とその対応
 - 特定の私的組織(米国IT企業など)がこの技術を独占する危険性があるか
 - 特定の国がプロジェクトを進めた時の影響はあるか
 - 平和国家日本として、オープンな議論と技術提供をしながら、世界と共に歩んでいくようなアピールが必要では。(→世界で最初にシンギュラリティを超えた国を目指す)
 - 人工知能学会では、倫理委員会を立ち上げ。(松尾が委員長)

概要 [編集]

技術的特異点は、「強い人工知能」や人間の知能増幅が可能となったとき出現する。フューチャリストらによれば、特異点の後では科学技術の進歩を支配するのは人類ではなく強い人工知能やポストヒューマンであり、従ってこれまでの人類の傾向に基づいた人類技術の進歩予測は通用しなくなると考えられている。

人工知能が人類を征服するのか？

- No.
- 人類を征服するシナリオにおける人工知能＝知能＋生命
- シナリオ1：人工生命を智能化する
 - 人工生命の研究は非常に難しく、ほぼ全く進んでいない。
 - それをもとに、高いレベルの知能を実現するのは無理。
- シナリオ2：人工知能を生命化する
 - どのように自己保存するか（物理的にも）、どのように増えるか、どのように自分を進化させるかを全部プログラムしないといけない。
 - そのために「本能」や、発達段階に応じた「欲望」を埋め込まないとけない→まずうまく動かない。（生物は長い進化の過程で、選択と淘汰を繰り返し、これらのものを得ている）

おわりに

- 第3次AIブームにおける機械学習と表現学習
- AIで変化する仕事と産業
- データを共有するプラットフォーム、そのデータに対して人工知能を適用していくような仕組みが必要では。