

人間中心AI社会に向けた 研究開発の潮流

～安全・高品質AIを日本の競争力に～

2019年8月29-30日

JST研究開発戦略センター

システム・情報科学技術ユニット 福島 俊一

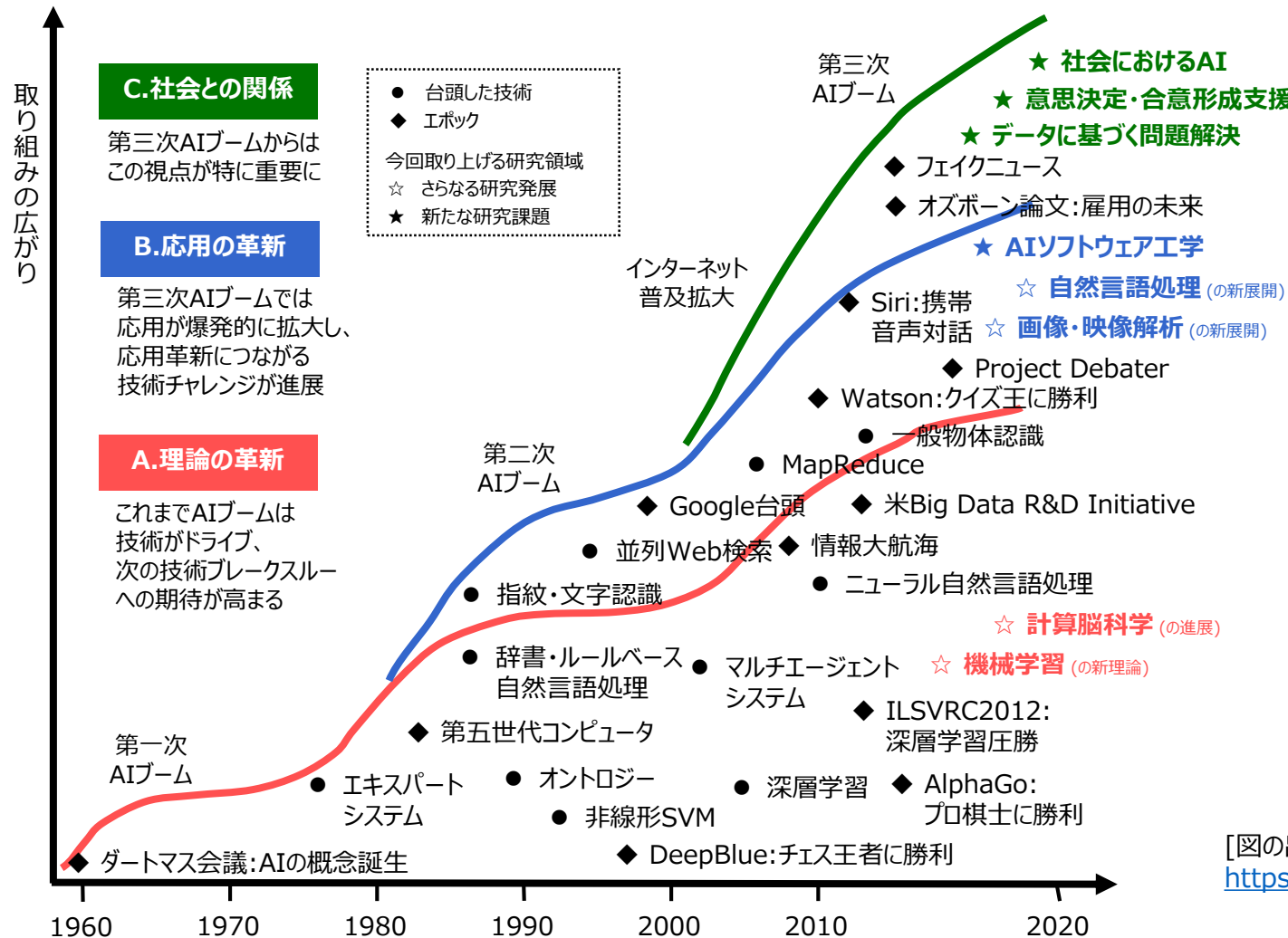
https://researchmap.jp/toshikazu_fukushima/



国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

本講演で注目するAI研究開発の新しい潮流

人工知能(AI)・ビッグデータ技術の時系列俯瞰図



AIの社会との関係が拡大したことで生まれた精度・性能向上とは異なる研究開発の潮流

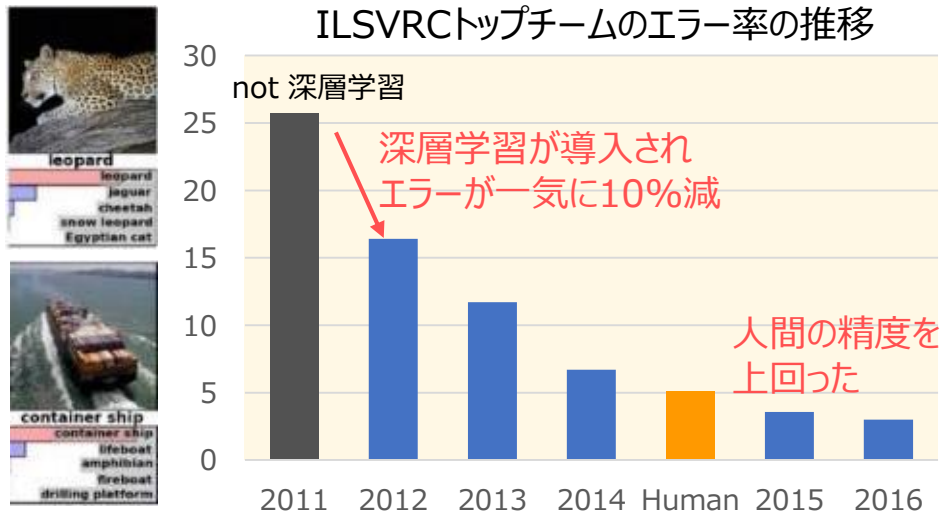
[図の出典] 研究開発の俯瞰報告書 システム・情報科学技術分野(2019年)
<https://www.jst.go.jp/crds/report/report02/CRDS-FY2018-FR-02.html>

第3次AIブーム

人工知能(AI)技術の進展と普及

- 様々な特定用途で 人間を上回る精度 を達成
- 「前例に倣うAI」 機械学習 技術が進化 (特に 深層学習 技術)
- 様々な応用にAI・機械学習技術が搭載されて 社会に急速普及

一般物体認識競技会ILSVRCで 深層学習が衝撃的な性能改善



[元情報] ILSVRC <http://www.image-net.org/challenges/LSVRC/>

AlphaGoが世界トップ棋士に圧勝

AlphaGo: Google DeepMindが開発した囲碁プログラム(モンテカルロ木探索 + 深層学習・深層強化学習)

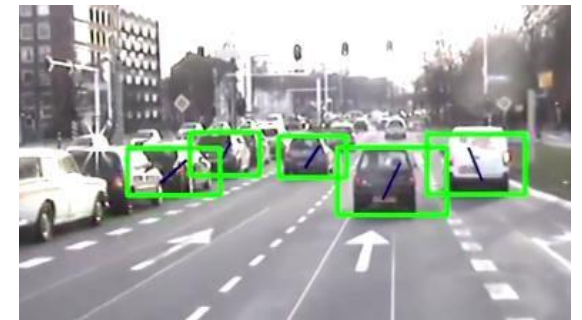


- 2016年3月 李世石に4勝1敗
- 2017年5月 柯潔に3局全勝

[図の出典] <https://youtu.be/qDW0dhcOBhA>

様々なAI応用の実用化

判別・分類 映像監視、状況認識等



[図の出典] https://youtu.be/F_M_skebbpA

予測 需要予測、劣化予測等

異常検知 故障予兆検知、不正検知等

変換・生成 自動翻訳、自動着色等

第3次AIブーム

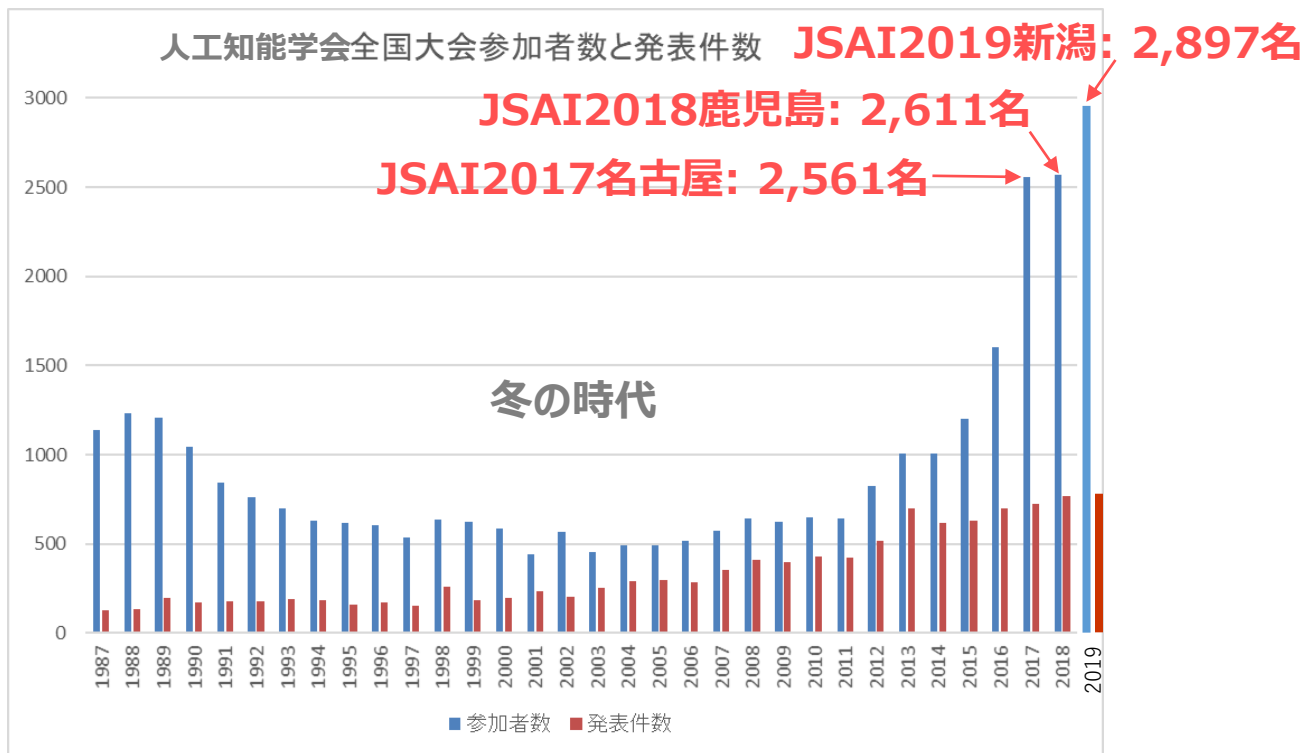
AIブームは衰えず!?

[参考] <https://japan.zdnet.com/article/35126917/>

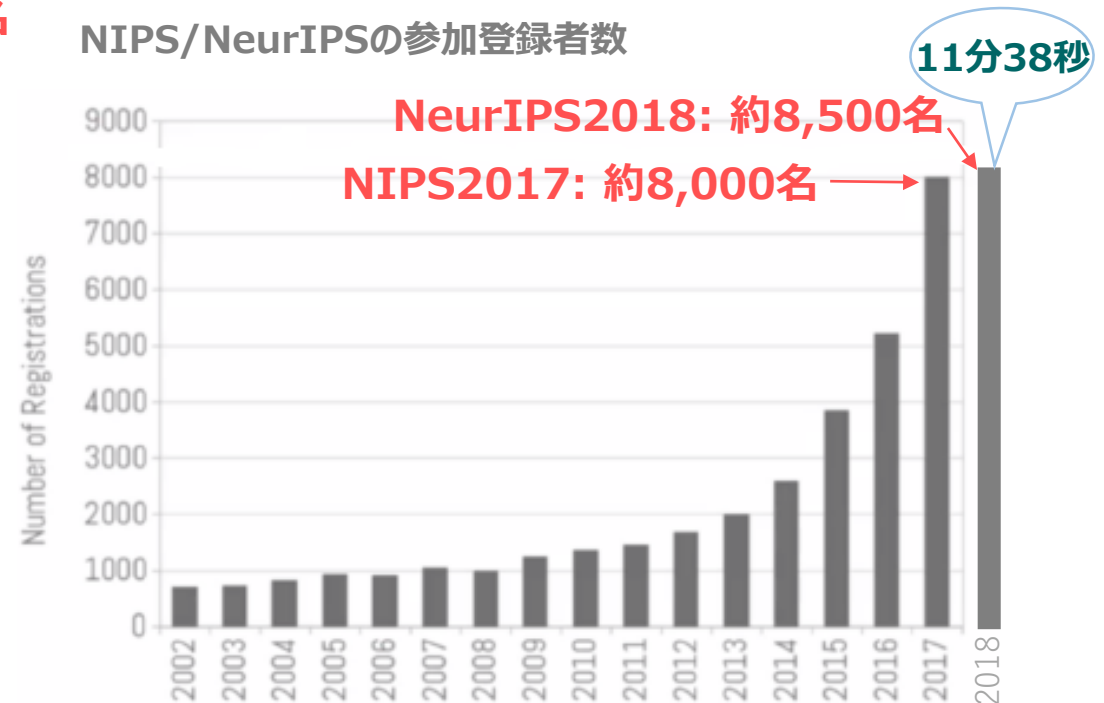
- AIに対する期待はピークを越え、幻滅期に入りつつあるとの見方もあるが、
- 国内外でAI関連学会の参加者数は依然として爆発的に増加

【国内】人工知能学会の全国大会(毎年6月頃に開催)

【海外】機械学習分野の最高峰の国際会議(毎年12月頃に開催)



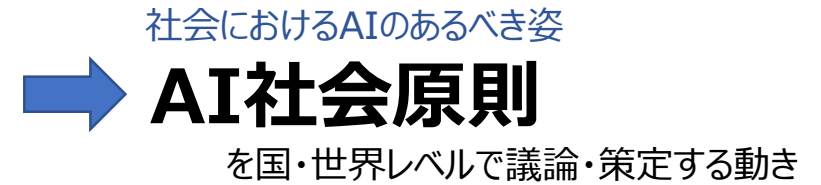
NIPS/NeurIPSの参加登録者数



[出典] それぞれの学会からの公開値

AI×社会に関わる問題、新たな技術課題

- AI技術の精度・性能向上によるご利益の一方、AI×社会に関わる問題が顕在化し、取り組まねばならない新たな技術課題が生まれている



- ✓ 自動化による効率化、人間の負荷軽減
- ✓ 人間が気づかなかった選択肢を発見、可能性を拡大
- ✓ 人間を上回る精度・速度

- ✓ AI代替によって消える職業
- ✓ 監視社会、プライバシー不安
- ✓ AIの軍事利用、AIの悪用
- ✓ AIの判定結果を信じられるか
- ✓ 人間の意思決定の主体性を確保できるか

技術的取り組み強化が必要なこれらの問題については詳細後述

- ① AIのブラックボックス問題(説明責任)
- ② AIのバイアス問題(公平性)
- ③ AIの脆弱性問題
- ④ AIの品質保証問題
- ⑤ フェイク動画問題
- ⑥ ソーシャルメディアによる思考誘導問題

AI社会原則 国・世界レベルで議論・策定

- 日本政府「**人間中心のAI社会原則**」 →
- 欧州委員会「**信頼できるAIのための倫理指針**」(Ethics Guidelines for trustworthy AI)
- IEEE「**倫理的に配慮されたデザイン**」(Ethically Aligned Design)
 - IEEE-SAでの標準化活動も進行中
- OECD「**人工知能に関するOECD原則**」(OECD Principles on Artificial Intelligence)
 - 42か国が署名

人間の尊厳が尊重される社会(Dignity)、多様な背景を持つ人々が多様な幸せを追求できる社会(Diversity & Inclusion)、持続性ある社会(Sustainability)という3つの価値を基本理念とし、「AI-Readyな社会」をビジョンに掲げる

AI社会原則

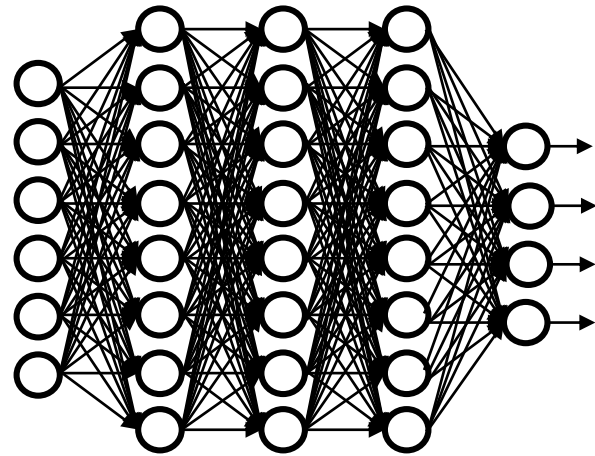
- 人間中心の原則
- 教育・リテラシーの原則
- プライバシー確保の原則
- セキュリティ確保の原則
- 公正競争確保の原則
- 公平性・説明責任・透明性の原則
- イノベーションの原則

だが、この原則を満たすAIシステムは
どう作ればよいのか → 実現に向けて技術課題への取り組みが必要

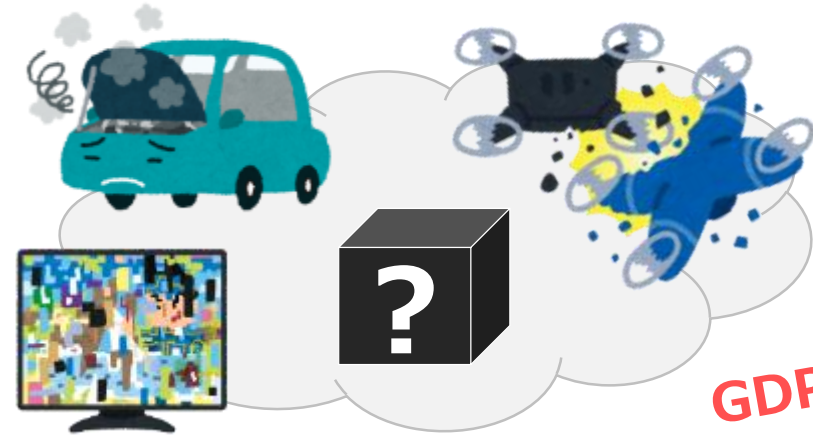
① AIのブラックボックス問題(説明責任)

- 深層学習は高精度だが、人間に理解可能な理由説明を出してくれない
- ブラックボックスだと、どんな振る舞いをするか動作保証ができない
- 事故発生時に、原因解明や責任判断ができない

深層学習では、規則性が多層ニューラルネットワークにおけるリンクの重みになるので、人間が意味を理解することが困難



- ✓ なぜ「ネコ」と判断したのか?
- ✓ なぜ「イヌ」と判断したのか?



GDPR違反!

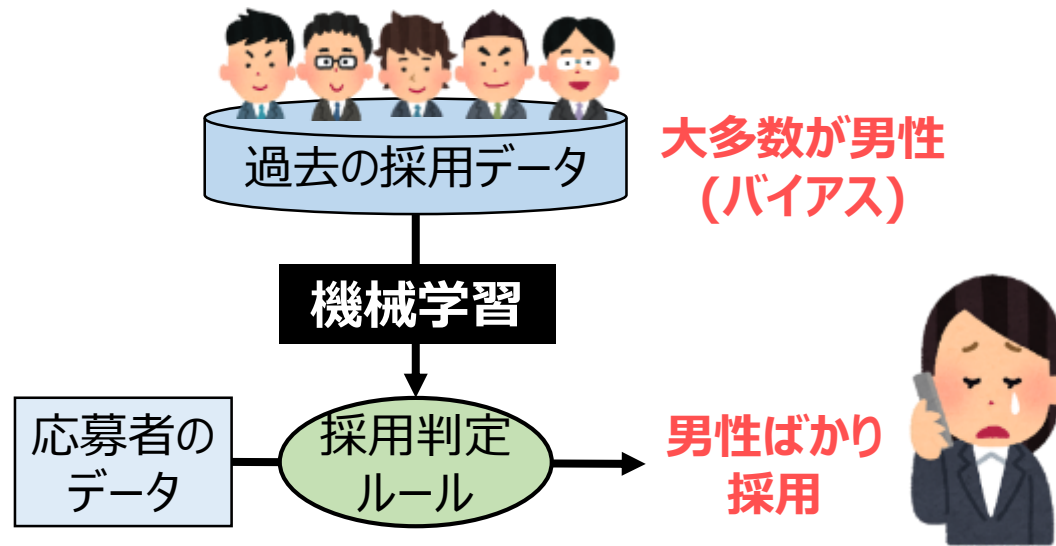
欧州GDPRはAIの透明性を要求

EU一般データ保護規則(GDPR、2018年5月施行)の第22条「プロファイリングを含む自動化された意思決定」は、自動処理の透明性(説明責任)を要求

② AIのバイアス問題(公平性)

- 機械学習の判定結果は、学習データの傾向を反映する
- 学習データが偏見を含んでいれば、判定結果にも偏見が反映される
- 学習データの分布の偏りが差別を生むこともある

AmazonがAI採用中止、女性差別の欠陥露呈で



機械学習における差別・偏見(例)

- ✓ 特定人種の再犯率を実際よりも高く判定してしまう
- ✓ 特定人種のみ顔認識の誤認識率が高く、不利益を被る
- ✓ 採用判定、コンテスト等で、特定の人種・性別のみ高く評価してしまう

[ニュースソース] <https://jp.reuters.com/article/amazon-jobs-ai-analysis-idJPKCN1ML0DN>

③ AIの脆弱性問題

- 学習データと比べて想定外のデータに対して、どう振る舞うかは不明
- 誤認識を誘発する攻撃(Adversarial Examples)が可能
- 悪意をもった追加学習によって不適切な振る舞いを引き起こされる

Adversarial Examples攻撃



[出典] <https://arxiv.org/pdf/1707.08945.pdf>

深層学習が停止標識と認識できていたものを、人間は気につかない程度の小さな表示加工によって、速度制限標識と騙すことができてしまった

Microsoft Tay 公開停止



機械学習型チャットボットTayが、悪意のあるユーザーによって差別と陰謀論に染まってしまい、不適切な発言を繰り返したため、わずか一日で公開を停止

[ニュースソース]

<https://jp.techcrunch.com/2016/03/25/20160324microsoft-silences-its-new-a-i-bot-tay-after-twitter-users-teach-it-racism/>

AIへの懸念

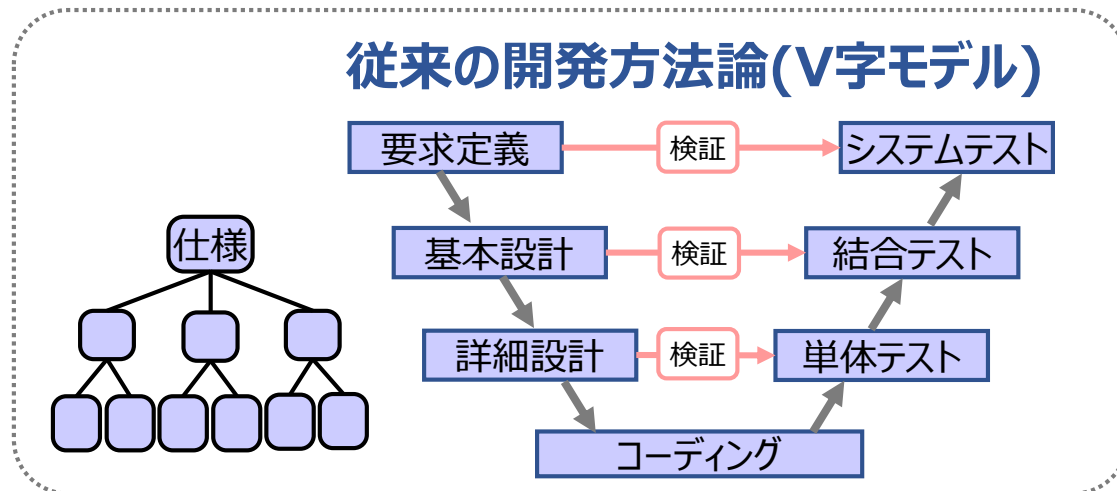
④ AIの品質保証問題

- 仕様(正動作)が定義されないため、テストの成否が定まらない
- 精度100%は無理、間違いは不可避
→ 顧客との契約や出荷判定はどうしたらよいのか?
- 動作保証ができないシステムにPL法やリコールの懸念

車向け大型動物飛び出し検知システム

- ボルボが開発して輸出
 - シカ等は検知するが、カンガルーは検知できず
- [参考]

<https://japanese.engadget.com/2017/07/05/volvo-self-driving-cars-kangaroo/>



- ✓ 機械学習では、仕様(正動作)が定義されない
- ✓ 機械学習では、テスト結果を積み上げられない (少しの変更の影響が全体に及ぶ)



例えば、自動運転の環境認識では

- 雨や霧のこともあるかも
- 物陰から人が飛び出すかも
- マンホールから人が顔を出すかも

**どれだけのケースをテストしておいたら、
十分安全なシステムだと言えるのか？**

AIへの懸念

⑤ フェイク動画問題

- 敵対的生成ネットワーク(GAN*)等の技術進化によって、本物と見紛うフェイク動画等の生成が可能になってしまった
- フェイク動画は人々に信じられやすく、世論誘導・政治干渉の危険大

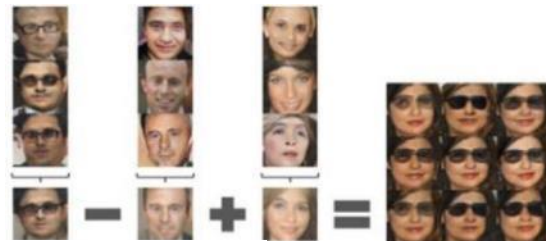
* GAN: 生成器(偽物作り)と識別器(見破る役)が相互に切磋琢磨して真に近いものを生成

GANによって自動生成された
有名人風の顔画像



<https://youtu.be/XOxxPcy5Gr4>

画像の演算



男性・眼鏡あり - 男性・眼鏡なし + 女性・眼鏡なし = 女性・眼鏡あり

<https://arxiv.org/pdf/1511.06434.pdf>

動作もコピーできる

オリジナル動画は
プロのダンサーが
踊っている動画



このプロのダンサーの動作
を別人にコピーした動画
ができる

<https://youtu.be/PCBTZh41Ris>

Deepfakes

動画の顔を別人に置き換えて、極めて自然なフェイク動画を生成するツール

政治家に思い通りの
発言をさせるフェイク動画



もとはこちらの
人が話している

<https://youtu.be/cQ54GDm1eL0>





⑥ ソーシャルメディアによる思考誘導問題

■ ソーシャルメディアを通じた思考誘導・世論操作の危険性が増大

デジタルゲリマンダー*の脅威

*ソーシャルメディアを用いた政治操作行為

2016年の米国大統領選挙の際には、フェイクニュースやフェイク広告が用いられ、選挙結果が左右されたとも言われる

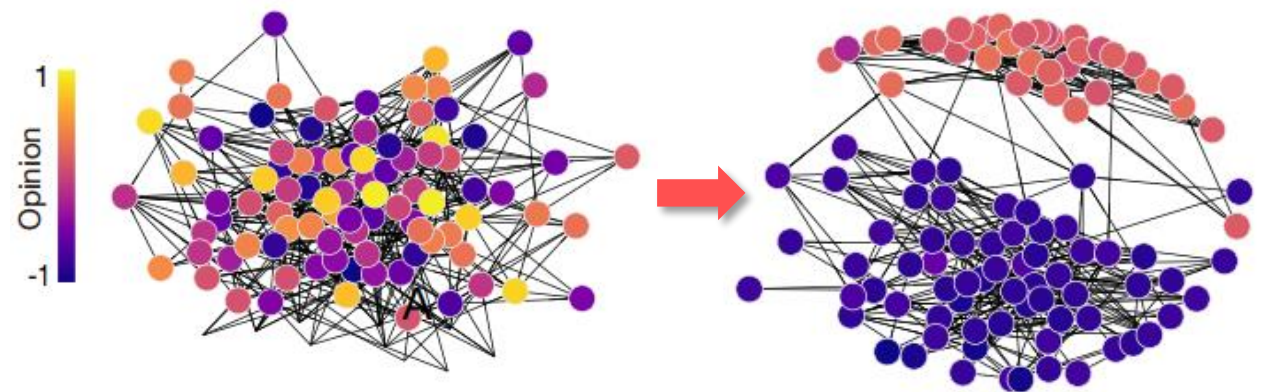
	ローマ法王がトランプ支持を公式に表明した
	民主党候補のヒラリー・クリントンは、テロ組織IS（自称イスラム国）に武器を売却した
	児童性愛の地下組織がワシントンDCのピザ屋に存在し、ヒラリーが関与している 発砲事件に
	Facebook上に、銃規制、同性婚、移民問題等、米国社会の分断をあおるような政治広告を掲載 ※フェイク広告は個人別なので追跡が難しい

[ニュースソース]

<https://seiji-yama.jp/article/news/nws20161202.html>

<http://gendai.ismedia.jp/articles/-/50786>

SNSの同調圧力・エコーチェンバー現象が価値観の対立を激化し、社会を分極化



[図の出典] 笹原 JSAI2017

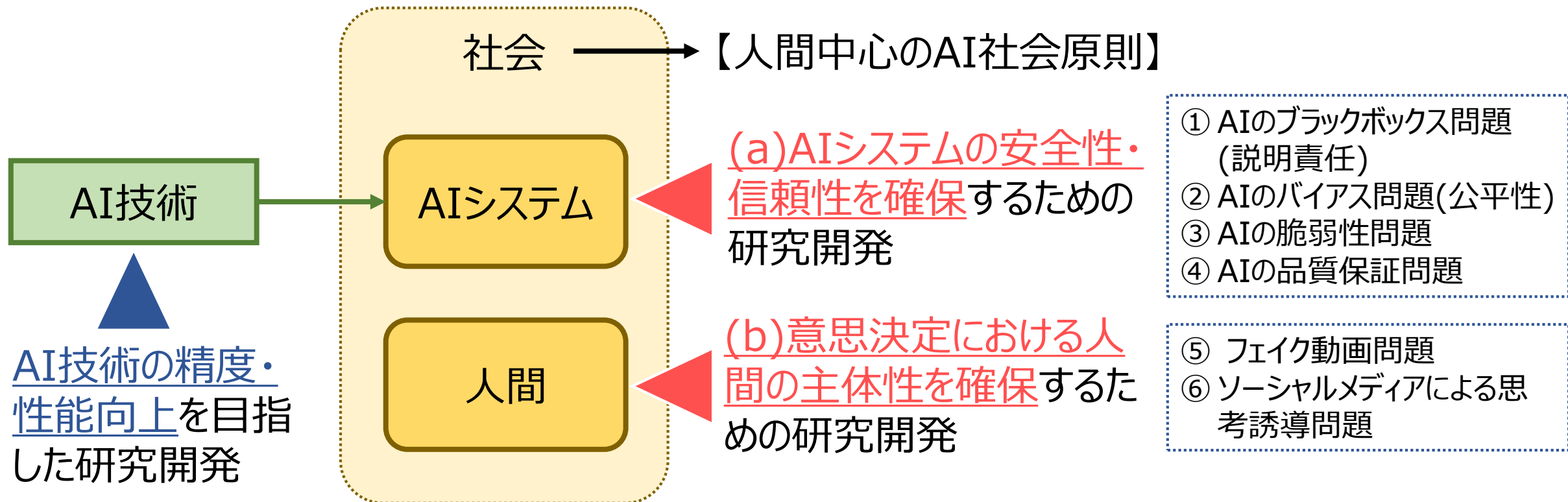
https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2017.0_4N1OS01a1

SNSにおけるフェイクニュースの拡散やエコーチェンバー的な応答のために、ソーシャルボット*が活用されることが多々ある

*ソフトウェアによって制御されたソーシャルメディア上のアカウント

人間中心AI社会に向けた研究開発

- AI技術の精度・性能向上を目指した研究開発だけでなく、人間中心のAI社会原則を満たすための研究開発への取り組みが求められる



(a) AIシステムの安全性・信頼性を確保するための研究開発

背景: システム開発のパラダイム転換が起きている

- 従来の演繹的な作り方に対して、機械学習は帰納的な作り方になる
- 従来の開発方法論が通用せず、新しい方法論が必要

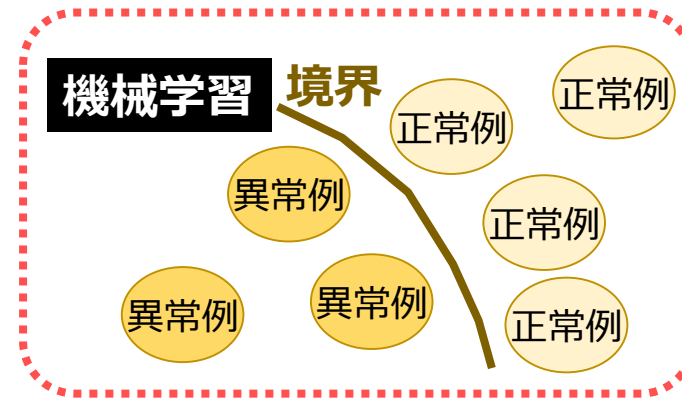
システムの 演繹的な 作り方

```
if 条件a then 処理A
else 処理B
```

条件a: 温度センサ > 90°C
(異常と判定する条件)

手続きや判定ルールを
明示的に書くことで
システムの動作が決まる
(プログラミング)

システムの 帰納的な 作り方



データを例示すると、それを真似て
自動的に判定ルールができ、
システムの動作が決まる
(機械学習)

パラダイム
転換!

例のないケースで
どんな動作をするか
わからない

仕様(正動作の定義)が
ないため、テストの
成否がわからない

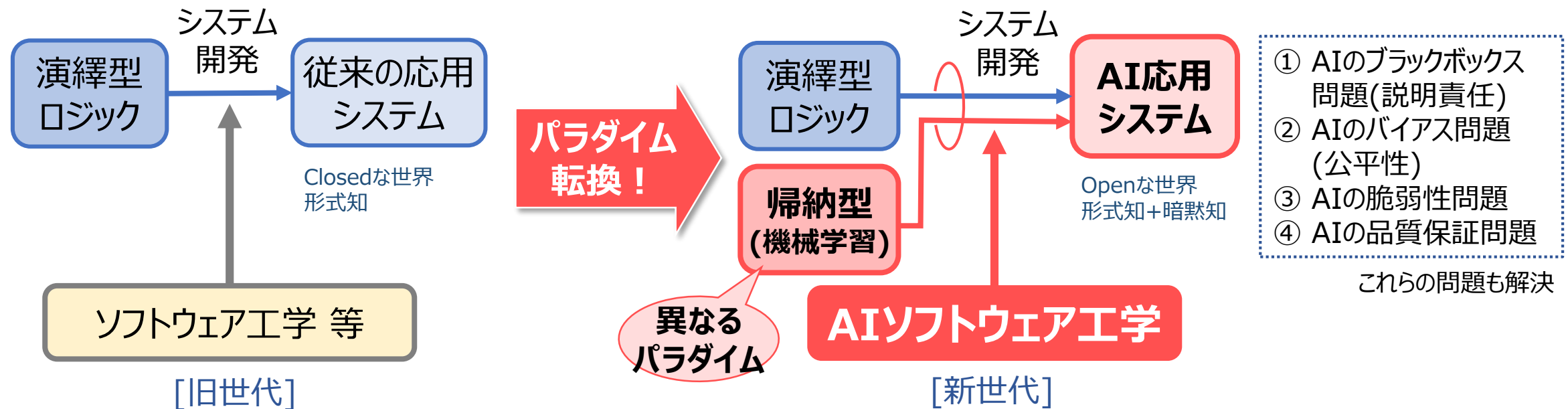
Changing Anything
Changes Everything
学習データを1つ足すだけで
振る舞い全体が変わり得る

(a) AIシステムの安全性・信頼性を確保するための研究開発

AIソフトウェア工学の確立へ

- システム開発のパラダイム転換に対応し、急速に普及するAI応用システムの安全性・信頼性を確保するため、新世代のソフトウェア工学を確立すべき

「AIソフトウェア工学」 国内では「機械学習工学」
海外では「Software 2.0」等とも呼ばれる



AI品質を強みとして、AI応用産業の国際競争力強化を狙う

(a) AIシステムの安全性・信頼性を確保するための研究開発

研究開発の動向

- 学会・業界で問題意識が高まり、研究コミュニティやコンソーシアムが発足
 - 国内では、日本ソフトウェア科学会に機械学習工学研究会MLSEが発足、AIプロダクト品質保証(QA4AI)コンソーシアムも発足(ともに2018年4月)
 - カナダにSEMMLAイニシアティブ発足、国際シンポジウム開催(2019年5月)
- 米国DARPA(国防高等研究計画局)が研究開発投資
 - XAI (Explainable AI): 説明可能なAI、2017年5月から4年間
 - Assured Autonomy: 自律システムの安全性、2018年5月から4年間
- 日本政府は統合イノベーション戦略推進会議でAI戦略2019を決定(2019年6月)、研究開発の方向性としてTrusted Quality AIを掲げた
- 品質クリティカルな自動運転分野での取り組みが先行
 - ドイツBMW(経済エネルギー省)のPEGASUSプロジェクト、デンソーのAI品質基盤等
- AI品質に関わる国際標準化、AI品質の認証機関設立への動きも

取り組み事例 (1/3)

機械学習のテスト手法

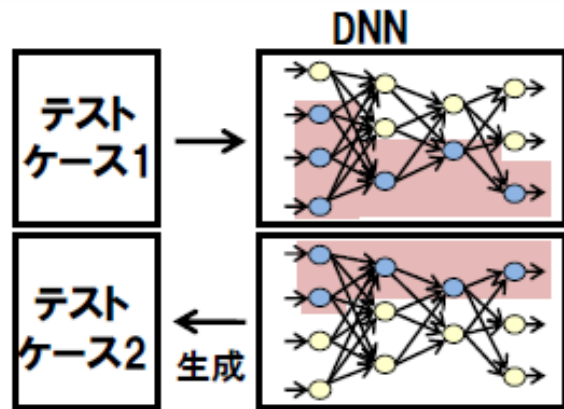
起こり得るケースの網羅は不可能だが、できる限り効率よくテストケースのカバレッジを高める

(サーチベーステスト、ニューロンカバレッジ方式、メタモルフックテスト、データセット多様性等)

ニューロンカバレッジ方式

(コロンビア大のDeepXplore/DeepTest 等)

- 欲しいものを表すスコアを高めるようにテストケースを生成するサーチベーステストを応用
- ニューラルネットの活性化範囲の網羅率を高めるようにテストパターンを生成



[図の出典] 明神(日立) <http://jasst.jp/symposium/jasst18tokyo/pdf/C5-1.pdf>

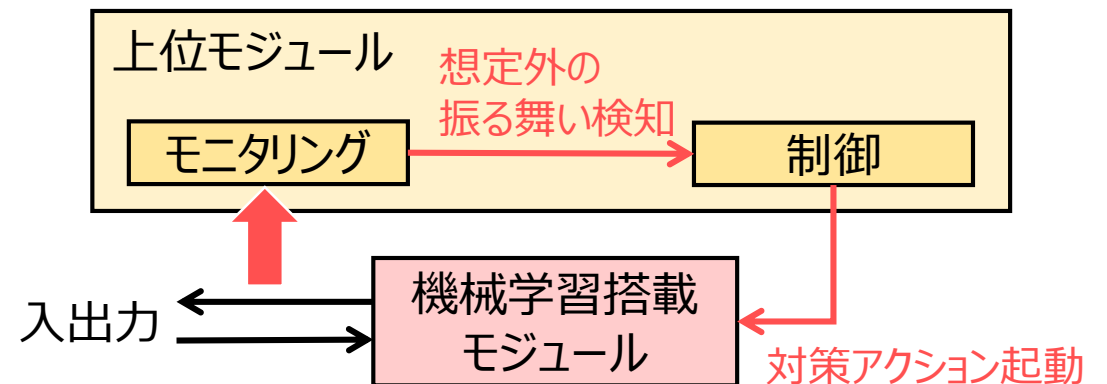
システム全体での安全性確保

機械学習パートに100%保証を求めることはできないため、機械学習型と従来型を組み合わせたシステム全体として安全性を確保 (Safe Learning、Safety Envelope等)

DARPA Assured Autonomy

<https://www.darpa.mil/program/assured-autonomy>

自動運転やドローン等の自律システムの安全性保証をターゲットとして、実行時の入出力をモニタリングし、想定される振る舞いから外れた時に、それを検知して動作を止める等の対策アクションを起動する枠組み



取り組み事例 (2/3)

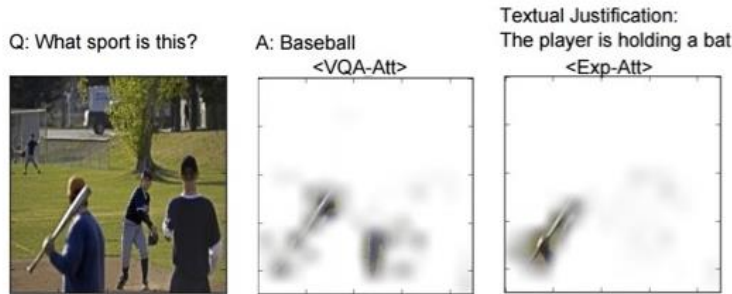
説明可能AI (XAI)

3通りのアプローチ①②③が進められている

① Deep Explanation

深層学習の状態解析によるアテンションヒートマップや自然言語説明生成等

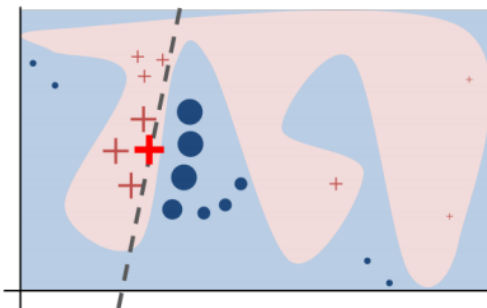
勾配ベースのハイライト法: 入力データ中のある要素を微小変化させたら、出力はどれくらい変化するかを調べて、結果に大きく寄与する要素を特定



[出典] UCB <https://arxiv.org/pdf/1612.04757v1.pdf>

② Model Induction

任意のブラックボックス型の機械学習の振る舞いを近似する解釈性の高いモデルを外付けで作る



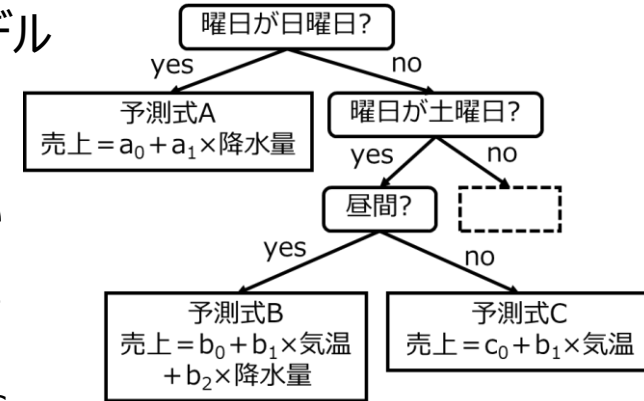
LIME: モデルの複雑な識別境界を、説明対象データの周辺で線形関数で近似することで、特定の入力に対して予測の根拠となった特徴量を提示

[出典] ワシントン大 <https://arxiv.org/pdf/1602.04938.pdf>

③ Interpretable Models

もともと解釈性の高いモデルを用いた機械学習

異種混合学習: 通常、解釈性の高いモデルは高い精度が得られないが、独自の情報量基準FICを用いた適応的な探索により、場合分けと予測式の当てはめを最適化し、精度と解釈性を両立



[出典] NEC <http://www.fbi-award.jp/sentan/jusyou/2015/7.pdf>

公平性配慮型データマイニング

公平性の定量的指標を定義し、その値を満たす制約下で最適化

集団公平性

センシティブ属性の異なる集団間の差異をなくす



個人公平性

センシティブ属性以外が同じ個人は同じ結果を得る



[図の出典] <http://ibisml.org/ibis2018/files/2018/11/fukuchi.pdf>

(a)AIシステムの安全性・信頼性を確保するための研究開発

取り組み事例 (3/3) より広くAI応用システム開発プロセス全般を

QA4AIコンソーシアム

AIプロダクト品質保証ガイドライン 2019.05版

ダウンロード可能 <http://www.qa4ai.jp/download/>

AIプロダクトの品質保証に対して共通の指針を与える
(ただし、AI技術は発展途上であることから、網羅性や完全性は企図されていない)

(1) 5つの評価軸(各軸のチェックリスト)とそのバランスで品質保証活動を評価する

- ✓ Data Integrity: データはきちんとしているか?
- ✓ Model Robustness: モデルはきちんとしているか?
- ✓ System Quality: システム全体として価値が高く、何か起きてても何とかなるか?
- ✓ Process Agility: プロセスは機動的か?
- ✓ Customer Expectation: (良くも悪くも)顧客の期待は高いか? 合致しているか?

(2) 技術カタログ

(3) 分野別ガイドライン: 自動運転、産業用プロセス、スマートスピーカー、生成系、(今後さらに拡大)

機械学習工学研究会MLSE

機械学習を用いたシステムの要件定義から設計・開発・運用まで、プロセス管理や開発環境・ツール、テスト・品質保証の手法、プロジェクトマネジメントや組織論も含めて、開発プロセス全般をスコープに含めた包括的な取り組みを推進



情報処理学会誌 2019年1月号
「機械学習工学」特集

特集	
SPECIAL FEATURES	
機械学習工学	
10	0. 編集にあたって 野ヶ山尊秀・丸山 宏
12	1. ■ 機械学習工学の狙いと展開 丸山 宏
17	2. ■ 機械学習応用システムの開発・運用環境 今井健男・太田満久
25	3. ■ 機械学習応用システムのテストと検証 石川冬樹・徳本 晋
34	4. ■ 機械学習応用システムのセキュリティとプライバシー 吉岡信和
40	5. ■ 機械学習のためのヒューマンインタフェース 五十嵐健夫
48	6. ■ 機械学習応用システムのプロジェクト管理と組織 本橋洋介

背景：人間の主体的意思決定が難しくなってきた

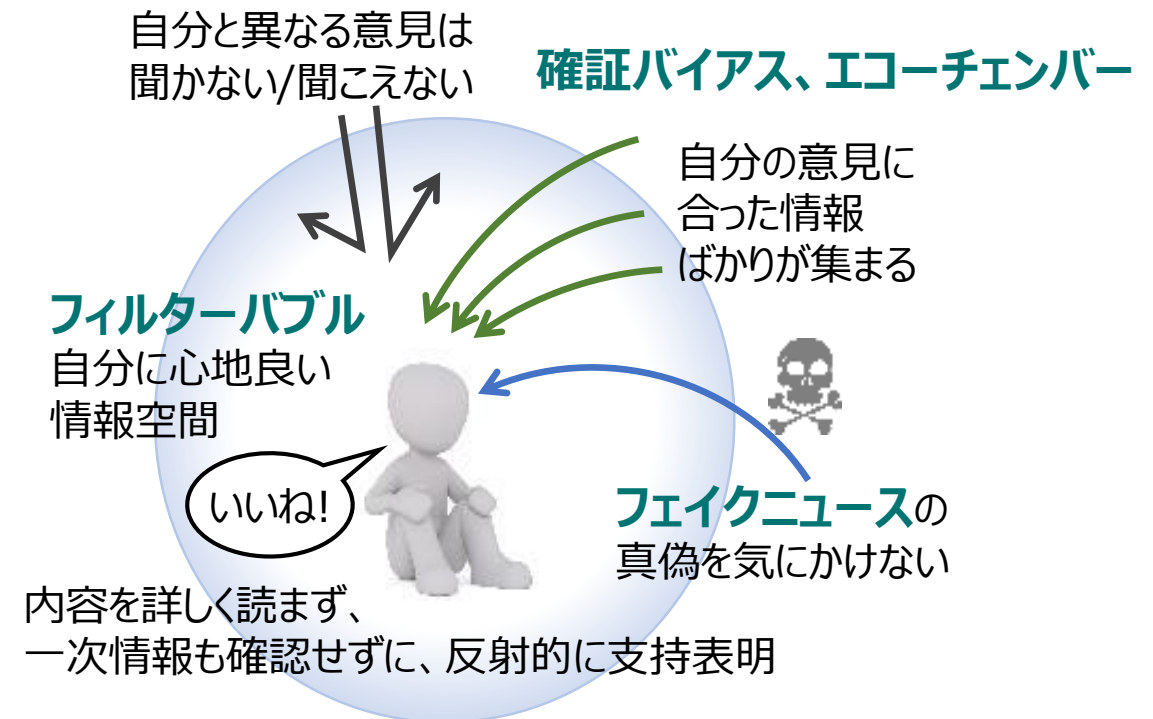
限定合理性の問題が深刻化

- 情報爆発やボーダレス化によって、意思決定に関わる要因・影響の可能性が膨大に
- クリティカルな要因・影響の見落としが深刻化



確証バイアスの問題が顕著化

- ソーシャルメディアが普及し、フィルターバブルが作られやすくなっている
- 確証バイアスにより、フェイクが信じられやすい



(b)意思決定における人間の主体性を確保するための研究開発

主体的意思決定の困難化対策の方向性

(限定合理性が引き起こす)

(認知バイアスが引き起こす)

- クリティカルな要因の見落としや思考誘導を受けるリスクを、情報科学・AI技術によって軽減
- 様々な可能性や意見の熟慮・熟議に基づく適切で迅速な意思決定、集合知の醸成を促進する、情報科学・AI技術を活用した仕組みを実現

意思決定に関わる
様々な要因・影響の
膨大な可能性を探索

論理性・合理性だけでなく
共感・賢慮に基づく解へ導く

AI・他者からの推薦や
誘導の反射的受け入れでなく
熟慮・熟議に基づく判断を促す

人間が見落としていた
意思決定の選択肢を提示

フェイクニュース、デマ等による
扇動・印象操作等を検知・排除

異なる意見や対立点、
新しい見方等を提示

- ⑤ フェイク動画問題
- ⑥ ソーシャルメディアによる思考誘導問題

これらの問題も解決



(b)意思決定における人間の主体性を確保するための研究開発

研究開発の動向

- フェイクニュースが社会問題化し、各国でファクトチェック機関が発足
 - 米国:Snopes (1994年～)、PolitiFact (2007年～)、日本:FIJ (2016年～)等
- 米国DARPA(国防高等研究計画局)が研究開発投資
 - XAI (Explainable AI): 国防上の意思決定のためAIの説明性(2017年～)
 - Media Forensics: フェイク動画検出を含む情報の信憑性・正確性(2016年～)
- AI・ビッグデータ技術による分析ビジネスは処方的分析へ移行
 - 記述的分析→診断的分析→予測的分析→処方的分析 [Gartnerによる分類]
何が起こったのか? なぜ起こったのか? 何が起こるのか? 何をすべきか? (自動意思決定or意思決定支援)
 - 機械学習が適するのは評価関数が定まる問題(自動意思決定)、
多様な価値観が混在・対立する問題(意思決定支援)には文理融合アプローチ
- 集団の意思決定・集合知の研究はIT・AIを活用した発展へ
 - 米国MIT集合知研究センター(2006年設立)等

(b)意思決定における人間の主体性を確保するための研究開発

取り組み事例 (1/2)

メディア解析によるアプローチ

画像・動画の詳細解析によるフェイク判定

- ✓ 不自然なまばたきの仕方
- ✓ 不自然な頭部の動き、奇妙な目の色
- ✓ 画像から読み取れる人間の脈拍数
- ✓ 映像のピクセル強度のわずかな変化
- ✓ 照明や影などの物理的特性の不自然さ
- ✓ 日付・時刻・場所と天気との整合 等

<http://ainow.ai/2018/10/15/148590/>

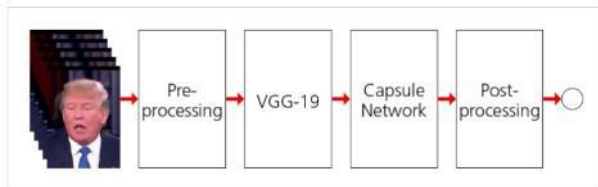
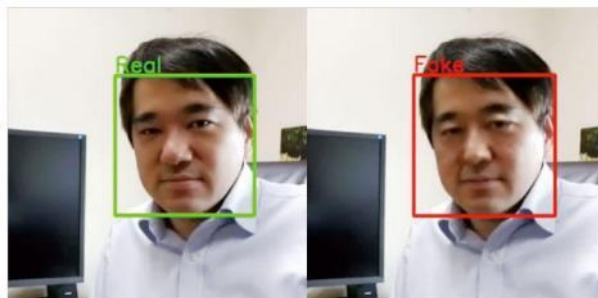


図 検閲システムの構成図

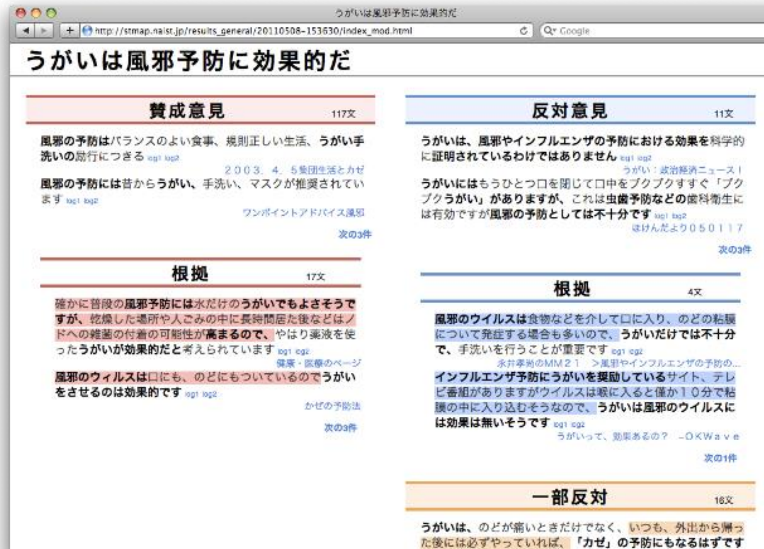


フェイクビデオの自動判定結果

[出典] 国立情報学研究所 越前・山岸研究グループ

<https://www.nii.ac.jp/seeds/2019/echizen-yamagishi.html>

自然言語処理によるアプローチ



[出典] 東北大学 乾研究室

<https://www.nlp.ecei.tohoku.ac.jp/research/research-topics/>

言論マップ生成

ウェブ等の大量テキストを自然言語処理によって解析・整理し、ある言明に対する賛成意見・反対意見やその根拠等を提示

計算社会科学によるアプローチ

フェイクニュース現象をビッグデータ/モデル/実験に基づいて分析し、その拡散の抑制に活用



[笹原和俊 2018年 化学同人]

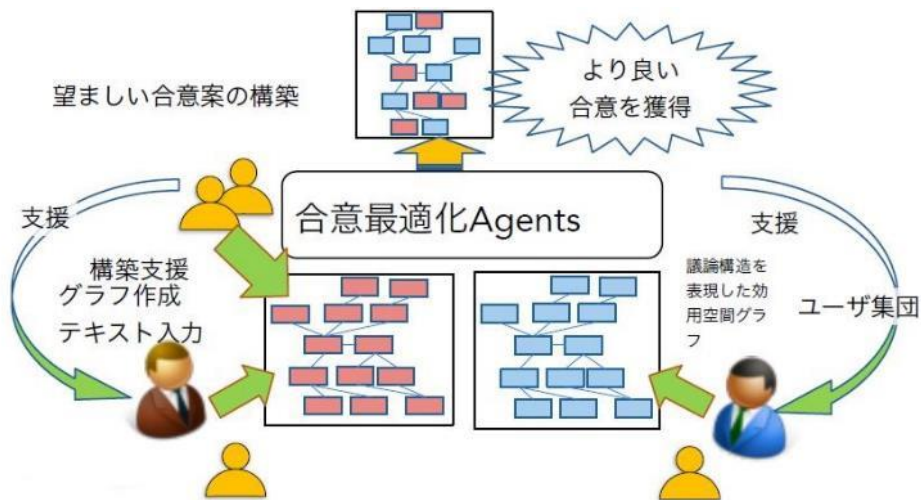
取り組み事例 (2/2)

集合知・エージェントによるアプローチ

大規模意見集約システムD-Agree

多人数による議論の構造を可視化、エージェント技術による自動ファシリテーション機能も加えて、大規模な人々の意見集約・合意形成のプロセスを支援し、集合知の醸成を促進

[D-Agreeの紹介動画] 名工大 伊藤研究室
<https://youtu.be/H-uNfYnkv90>



機械学習・最適化によるアプローチ

自動交渉エージェント

合意形成に向けた交渉を人間に代わって超高速に実行する、ある種のAIプログラム (マルチエージェントシステム的一种でもある)

- 国際自動交渉エージェント競技会ANAC: 2010年から毎年開催
- Facebookの深層学習を用いた自動交渉技術が人間と互角以上



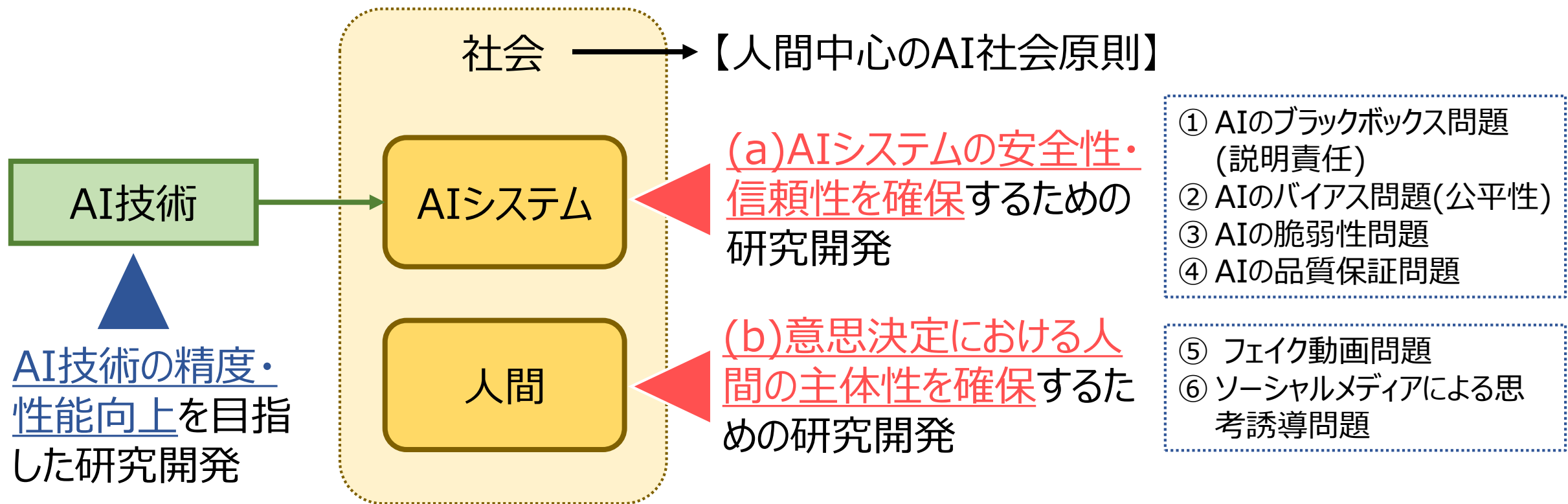
[図の出典] 伊藤孝行「マルチエージェントの自動交渉モデルとその応用」情報処理学会誌55巻6号(2014)

ELSI面の検討

人間の意思決定の支援を意図した機能が、思考誘導や検閲(表現の自由の制限)と受け止められる可能性もある。支援機能の考え方や仕組みについて利用者から見た透明性を確保し、社会受容性に配慮した技術開発を進める必要がある。

まとめ

- AI技術が社会に広がり、精度・性能向上を目指した研究開発だけでなく、人間中心AI社会に向けた研究開発が新たな潮流を形成
- 人間中心の信頼できる安全・高品質AIを日本の競争力に



関連報告

JST CRDSで発行した報告書や企画・開催したワークショップ等

- 研究開発の俯瞰報告書: システム・情報科学技術分野(2019年) 2019年3月
 - <https://www.jst.go.jp/crds/report/report02/CRDS-FY2018-FR-02.html>
- 戦略プロポーザル: AI応用システムの安全性・信頼性を確保する新世代ソフトウェア工学の確立 2018年12月
 - <https://www.jst.go.jp/crds/report/report01/CRDS-FY2018-SP-03.html>
- ワークショップ報告書: 機械学習型システム開発へのパラダイム転換 2018年3月
 - <https://www.jst.go.jp/crds/report/report05/CRDS-FY2017-WR-11.html>
- 2019年度人工知能学会全国大会(第33回)企画セッション: 機械学習における説明可能性・公平性・安全性への工学的取り組み 2019年6月
 - https://www.jst.go.jp/crds/sympo/201906_JSAI/index.html
- 戦略プロポーザル: 複雑社会における意思決定・合意形成を支える情報科学技術 2018年3月
 - <https://www.jst.go.jp/crds/report/report01/CRDS-FY2017-SP-03.html>
- ワークショップ報告書: 複雑社会における意思決定・合意形成を支える情報科学技術 2017年10月
 - <https://www.jst.go.jp/crds/report/report05/CRDS-FY2017-WR-05.html>
- 公開ワークショップ: 意思決定のための情報科学 ～情報氾濫・フェイク・分断に立ち向かうことは可能か～ 2019年7月
 - <https://www.jst.go.jp/crds/sympo/20190725/index.html>