

# NII Today

National Institute of Informatics News

100  
Sep. 2023

P2 ▶ LLMとロボットが奏でる未来  
尾形 哲也氏×黒橋 禎夫

P7 ▶ 動き始めたLLM勉強会: 相澤 彰子/金澤 輝一/菅原 朔

P11 ▶ フェイクメディアを自動判定「シンセティックビジョン」:  
シンセティックメディア国際研究センター

P14 ▶ インフォデミックの克服「サイバーワクチン」: 越前 功

P16 ▶ 雑踏の中でも聞きやすい音声合成を社会実装: 山岸 順一

P18 ▶ 生成AI時代の著作権と個人情報: 生貝 直人氏

エッセイ ▶ 金融市場での悪いフェイクと良いフェイク: 水野 貴之

[特集]

## 生成AIに挑む



INTERVIEW

# LLMと ロボットが 奏でる未来

大規模言語モデル(LLM: Large Language Models)に基づく対話型人工知能(AI)技術「ChatGPT」が日本社会を激しく揺さぶり続ける。揺さぶられっぱなしでは終わらないと、国立情報学研究所(NII)は「LLM勉強会」を今年、2023年5月に立ち上げ、大学や研究機関、企業から300人超(2023年8月現在)の研究者・技術者が参加する大型物理実験並みの研究態勢を整えた。目指すのはLLMの動作原理の解明と日本語言語モデルの構築。日本の強みであるロボット研究とのコラボレーションも視野に入れる。人型ロボット研究に取り組む尾形 哲也 早稲田大学教授と日本語のLLM研究をリードしてきた黒橋 禎夫 NII所長が夢を語り合った。

早稲田大学 基幹理工学部表現工学科 教授  
同大学 AIロボット研究所 所長  
産業技術総合研究所 人工知能研究センター 特定フェロー

**尾形 哲也** 氏  
OGATA, Tetsuya

国立情報学研究所 所長/教授  
京都大学大学院情報学研究科 特定教授

**黒橋 禎夫**  
KUROHASHI, Sadao

聞き手

**辻村 達哉** 氏

TSUJIMURA, Tatsuya

共同通信 編集委員兼論説委員

尾形 哲也

早稲田大学卒業後、京都大学大学院情報学研究科准教授等を経て、現職。神経回路モデルとロボットシステムを用いた、認知ロボティクス研究、特に予測学習、模倣学習、マルチモーダル統合、言語学習、コミュニケーションなどの研究に従事。2023年文部科学大臣表彰科学技術賞などを受賞。

## 日本語LLMの構築と ロボットへの応用

— LLMの動作原理をどうやって解明するのですか。

黒橋 まずやらないといけないのはトレーニングデータをオープンにすることです。ChatGPTがどういうコーパスで学習しているのかはブラックボックスで、使っているニューラルネットワークもある種、ブラックボックスのようなものです。ChatGPTに質問して答えが返ってきて、それが何に基づくものなのかわからない。わからないことだらけで、知らないうちに著作権が侵害されているのではないかと、いう不安も高まっています。



そこで私たちは「こういうもので学習しました」とコーパスをすべて公開し、入力に対する出力をすべて分析できるように環境を作ろうとしています。すると、ある質問に対してこういう文章が答えとして出てきたけれど、この質問に非常に近い文章はコーパスにこれだけあるとか、むちゃくちゃな答えを出力するハルシネーションがどのように起きているのか、といったことが少なくとも観察はできるようになる。

その上で、このニューラルネットワークの中で何が起きているかを解明したい。それは本当にチャレンジングな目標です。また、ChatGPTとは違って、

日本語に強いものを作りたい。それをベースにいろいろな分野で新しいことに挑戦できるようになる。その中で私が面白いと思っているのは、ロボットへの応用です。

**尾形** ロボットの制御にディープラーニングを使うという研究の歴史はそれほど長くありません。主要な国際会議のキーワードになったのが6年ほど前です。どういうふうに使っているか、まだまだわからないところがあるのですが、私は脳神経科学のバックグラウンドがあるので、その視点からディープラーニングを見直して、ロボットを安定して動かすことに使う研究をしています。

これまでは主に、人が教師となってロボットの手を動かして、タオルを畳んだり、スクランブルエッグを作ったり、といった動作を学習させてきました。ロボットは自ら動くことができるので、目の前の状況が学習した時の状況から多少ずれていても、動くことによって自分が知っている状況に近づけて、指示された動作を実行できるのです。このような考え方は能動的推論などと呼ばれています。

次の段階として、運動から言葉をつくる、あるいは言葉から運動をつくるといったことをさせたい。曖昧な言葉による指示も理解してもらいたい。しかし、運動には学習に必要な大規模データベースがありません。例えば「腕を伸ばす」という言葉の表す動きには、コーヒーを取りにいくとか、ボクシングでパンチを出すとか、さまざまな場

合がある。そのため幅広く学習する必要がありますが、それに使える大規模データベースがない。

この壁を乗り越えるのにLLMを使えないかと考えていて、まずはLLMの中身を見てみたい。それができる場として、LLM勉強会に大いに期待しています。究極的にはLLMが学習する段階にロボットが使えないか、とも考えています。

## LLMとロボットの海外事情

**黒橋** 研究に当たっては日本だけでは限界があるので、計算資源などの基盤が今後ある程度できあがったら、少なくともアジアや欧州と協力していこうと思っています。小さなプロジェクトでは頭腦的にも予算的にもGAFAなどに太刀打ちできない。大きくすることで多くの人に興味を持ってもらったり、企業から寄付が来たりして持続的な発展が見込めます。

ところで、LLMとロボットを結び付ける研究は海外ではどうなっていますか。

**尾形** GAFAでLLMをやっている人たちはロボットに絡んでいないようです。ロボット屋もそこに興味があるわけではない。互いが学習済みのモデルをバラバラのモジュールとして扱っています。私たちのように、「LLMを作るとき」にロボットが要るんじゃないかとか、ロボットの何かを取り込んだらLLMがもっと面白くなるんじゃないかと考えている人がいるかどうか。

ただ、ChatGPTを出したOpenAIは2021年にロボット





## 発達 ロボティクス研究は 日本と欧州が中心

部門を解散しましたが、今年、2023年に入り、ロボット企業への投資を始めました。GoogleはRT-1というプロジェクトでロボットを13台、1年半にわたって動かし続けてデータを集めています。関係する研究者は、生物の発達プロセスと同様に、ロボットを能動的に動かすことが重要と考えているようです。

ロボットを通じて人間の認知発達プロセスを理解しようとする「発達ロボティクス」という分野があります。早稲田大では50年前に世界初の人型ロボットが作られたのですが、当時のモチベーションも、人間を理解するための道具とすることでした。言語がどのように発達に関わっているのか。LLMを使って、そんな研究ができるかもしれません。

発達ロボティクスの研究は日本と欧州が中心で、米国ではほとんどやっていないので、僕らにチャンスはあります。

**黒橋** まずはLLMを作らないと何も始まらないのですが、人間が身体性を持ちながら世界を認識していくプロセスを、ロボットのモーターの情報や視覚

の情報を入れながら学習させていくことで探っていくというのは、次の大きな展開になるかと思っています。

### LLMで効率よく ロボットが学習できないか

——人間理解の研究とロボット研究とはかけ離れているような印象を持っていました。

**尾形** 普通はかけ離れています。産業用ロボットには必要ないでしょう。しかし、人型ロボットの研究者がそこに興味を持つのは至って自然です。なぜ人間はちゃんと体を動かせるのか、よくわからないところがたくさんある。そこでまず、うまく動くロボットやシステムを実際に作ってみて、そこから動く理由を探ろうという構成論的アプローチと呼ばれる研究方法があるのです。

LLMには人間と違う部分はもちろんいっぱいあるのでしようが、かなり似ている部分も絶対あるはず。心理学の研究者がChatGPTに「この人は何を想像しているか」と尋ねたら「こんなことを想像していると思います」と正しく答えたなどという話があります。かなり気

持ち悪い存在であるとも言えますが、そういうことができるからには、何か私たちに近い仕組みも入っているはずなんですね。

**黒橋** 目標としては、LLMを使って、比較的少ない学習でロボットが早く賢くなってくれないか、というのがありますね。

**尾形** そうなってくれることが理想です。私たちの研究の範囲だと、言葉というかある種のラベルと一緒に学習すると運動を生成しやすくなるのがわかっています。

例えば、タオルを畳むロボットを学習させるとき、「今あなたはタオルをつかんだよ」「畳み始めたよ」といった入力を足してやると、そのラベルが多少いい加減でも、明らかに畳み方の精度が上がるんです。

また、何らかの物体を持たせる運動を普通に学習させると「その運動にいかにも近づけるか」だけになってしまうのですが、そこに言葉を入れてやると物体の色に注意が向くようになったりする。つまりロボットがやったことに対して、それを説明するものが入ってくることによって変化が生まれる。それがどの段階から効いてくるのかにもすごく興味がある。

人間の赤ちゃんの場合、ある行動を学習しながらも言葉が常に外からのバイアスになって、その行動の獲得を助けているという側面があるように思います。ロボットも「身体」の成長、発達の制約に合わせて一定の言語が与えられることで、もう少し楽に学習できるようにならないか、などと考えています。

また逆にロボットの身体データを学習したモデルを基盤にして言語を学習する、という方向性にも興味があります。

## ロボットの役割 任せるバランスが重要

**黒橋** LLMの活用を巡っては、信頼性やバイアスなど倫理面の課題が議論されています。ロボット研究は歴史が長く、早くから「ロボット3原則」が提唱され、倫理的な問題に十分注意を払いながら研究を進めているように見えますが、実際はどうなのでしょう。

**尾形** まだ結構難しい面も多いです。例えば私が参加している内閣府のムーンショット型研究開発事業で、人文社会科学の先生から「人型ロボットを白色だけにしないでください」と言われました。ジェンダーだけでなく人種にも配慮する必要があるのです。

介護にロボットを使うことに、日本ではあまり抵抗はありませんが、ロボットに体の世話をしてもらうことに抵抗を感じるという人もいます。配膳ロボットも面白いと思うのですが、配膳は会話などを含めたエンターテインメント性のあるサービスで

あって、それをロボットがやるのはつまらないという人もいます。

海外でアンケートを取ると、どの国でもロボットにやってもらって大丈夫という仕事は「料理、洗濯、掃除」なんだそうです。料理もメインのところを奪われると面白くないでしょうが、野菜を切るとか、ひたすら鍋を回すといった作業はロボットでいい。教育は微妙で、ロボットだけでやることには抵抗が強い。

このようにさまざまな意見があるので、アプリケーションの見せ方も含めて、人が絡むときには非常に慎重にやらないといけない。

ChatGPTとの付き合い方も典型だと思いますけど、生成AIに必要以上に感情移入するというのは明らかにまずい。私たちはロボットが執事になればいいと言っています。言われたことを黙ってこつこつこなす。そこからスタートして、社会の情勢が変わってくれば、関係も変わる可能性がある。まずは人間がどう受け止めるかを考えてデザインすることが重要なのではないかと思っています。

**黒橋** 言語モデルはそもそも人間とコミュニケーションする技術なので、注意しないといけな

いですね。

**尾形** ロボットの場合、人が必ず横にすることで、ずいぶん違うと思うんです。介護でも人がメインであって、力が必要だったり危険だったりするところをロボットがやってくれるのであれば問題は少ない。人との関わりという肝心な部分をすべてロボットに任せるのはよくない。そのバランスが大事ということでしょう。

### 聞き手からの ひとこと

「第5世代コンピュータ」という研究プロジェクトが世界を驚かせたのは40年余り前。その後の日本の情報科学に熱気は感じられず、ディープラーニング、生成AI技術と舶来物の後追いだけかと思っていたところ、今回、お二人の話を聞き、久々に明るい気持ちになった。LLM勉強会発足で高まったエネルギーを維持するには、常に次を見据えて手を打つ必要がある。大型科学である素粒子物理実験のコミュニティは国境を超えて一丸となり、新たな手を打ち続ける。このプロジェクトが情報科学の発展の駆動力となるよう期待したい。



### 辻村 達哉

共同通信 編集委員兼論説委員

1984年東北大学理学部物理第2学科卒。本社（東京）科学部のほか大阪、大津、釧路、札幌、秋田で勤務。書いた記事の中で割と思い出深いのは「高松クレーターの隕石クレーターリスト登録見送り」「外務省がインド人物理学者にビザ発給せず」「STAP細胞、再現も究明も不要」。著書に『日本の知、どこへ』（共著、日本評論社刊）など。

目標は原理  
日本語につ  
よい  
モデルの構築



# 記者懇談会「生成系AIから見えること」質疑応答集

2023年7月28日(金)

国立情報学研究所で行われた記者懇談会において、

「生成系AIから見えること」の話題提供後、

参加者様からの質問に黒橋NII所長が回答した質疑応答集(抜粋)です。

**Q1: GPT 非公開部分の解明のめどは立っているのか、あるいは1,750億パラメータという同規模までたどり着かなければ明確にならないのか?**

**A** 基本的には、作らないと解らないというところが大きい。現状は元の学習コーパスが非公開となっているので、例えばそのモデルのハルシネーション(事実や文脈に合わない内容の出力)などは観察できても、内部で何が起きているかは、解らない。そこで、学習コーパスをはっきりさせ、入力に対して学習コーパスを検索しながらLLMの振る舞いを分析できる環境を作る、それを第一歩として、その後、数理モデル的な研究を進めていくことを予定している。

**Q2: 1,750億パラメータの学習データはどこから得るのか?その著作権はどうなっているか?**

**A** クロールプログラムが世界中のWebサイトを巡回して集めたデータをCommon Crawl(コモン・クロール)という非営利組織が蓄積し、データセットを無料で提供している。その中から日本語Webページを取り出し、ある程度整備されたデータがあり、まずはそれらのデータを進める。ただし、パラメータが大きくなってくると、元の学習コーパスも大きくしないと過学習、データの精度が偏るため、1,750億パラメータのモデルを作る頃までに、コモン・クロール全体からフィルタリングして整備し、学習することを基本に考えている。最近の研究でも良質なデータであるほど良いモデルになるという報告があり、著作権の問題もデリケートだが、国内の様々なところと交渉して、このプロジェクトに使わせてもらえるデータをさらに増やしていきたい。新聞社さんの記事データな

ども、今ネット上にあるものはクローラされ、使わせていただいているものもあると思うが、それも今後、新聞社さんのデータとして何かを入れてみて、本当にそれが丸写しのように出てくるのか、咀嚼した文章で出てくるのか、このモデルを使って実験していきたい。ぜひご協力願いたい。

**Q3: GPT 言語モデルがある点で離陸するように爆発的に性能が上がったというのは、量的な性能向上が質的な何かに変ったのか?**

**A** 言語モデルの性能を測るいろいろなタイプのタスク(テキスト要約、質問応答など)があるが、それぞれのタスクで、言語モデルのパラメータ数を10倍、100倍と増やしていくと、どこかの地点で急激に性能が上がり、1,750億パラメータまで行くと相当程度のタスクで性能が上がるという現象が確認されている。ある意味で量が質に転化していると言える。

**Q4: 今後さらにモデルを大きくしていくと、意図しない創発のようなことが起きるのか?**

**A** 非常に難しい質問で、学習を増やしていくと創発して、言語モデルが意識を持ち、人間に危害を加えるのではないか、という議論は常にある。未来予測においてどのようなことも可能性がゼロとは言えないが、特に意識が生まれるかどうかの議論は難しい。ただし、言語モデルのプロンプトとして、人類に危害を与えなさいと言ったら、そのような回答をすることはあり得るので、言語モデル自身の意識はなくても悪いことはできる。それは包丁が美味しい料理も作り、人も傷つけられるという議論と同じで、健全に使えるような社会の枠組みを考えていくという話であり、そこにセーフティネッ

トを与えるために、AIの言語モデルの使い方に関する議論もきちんと行なっていくことが重要と考える。

**Q5: LLM勉強会で今後、LLMを媒介にした製造業など産業界とのコラボレーションは考えているか?**

**A** それは全く否定するものではなく、この活動は完全にオープンなので、様々な産業界の方の参加も徐々に増えている。研究者も会社の方も、ここでの議論はオープンにすることだけ了解してもらえれば、誰でも参加できるということにした結果、今ここまで発展できたので、当面この考え方で進める。ただ、その先でいろいろな分野に特化していく場合、企業との個別の相談となる可能性はあるが、LLM勉強会のハブとしての情報交換の機能は現状の形で維持したい。

**Q6: 言語モデルの学習が進むと情報量が飽和し、人間が新たに作り出すものがない限り、新しい答えが生み出せない限界はあるのか?**

**A** あらゆる知識を与えたら、その範囲は答えられるが、それ以上のことが起こるかという、ある種のひらめきのなものが急に出てくるとは思いにくい。しかし、多くの場合、異分野の専門家の連携によって解決策が見出せることはある。例えば、医学でこんなことで困っているが、工学でこのような技術があり、法律のこの問題さえ解決すれば、こういう治療ができるのではないか、というような新しい提案が、あらゆる分野の大量の知識を持つ言語モデルには思いつける可能性がある。アインシュタインのような創発は考えにくいとしても、言語モデルで様々な分野の知識を繋ぐことによるイノベーションは十分起こり得ると考える。

(NII広報チームまとめ)



# 動き始めたLLM勉強会

国立情報学研究所 副所長  
コンテンツ科学研究系 教授

**相澤 彰子**

AIZAWA, Akiko

国立情報学研究所  
コンテンツ科学研究系 准教授

**金澤 輝一**

KANAZAWA, Teruhito

国立情報学研究所  
コンテンツ科学研究系 助教

**菅原 朔**

SUGAWARA, Saku

聞き手

**滝 順一 氏**

TAKI, Junichi

日本経済新聞  
編集委員

## 計算基盤と言語モデル構築基盤を整備し、 研究環境の土壌を作ることが重要

国立情報学研究所(NII)は国内大学や企業の自然言語処理研究者が集うLLM勉強会を発足させた。「競争より共創」の旗印を掲げ、「オープンソースで日本語に強い大規模言語モデル」を構築、関連した研究開発を進めるとともに研究者間のネットワーク作りと「AIネイティブ時代」の新たな人材育成を狙う。勉強会の主要メンバーであるNIIの相澤 彰子教授(副所長)、金澤 輝一准教授、菅原 朔助教の3人に勉強会設立の背景や狙い、波及効果などを語ってもらった。

— まずはじめに、LLM 勉強会の狙いなどについてうかがいます。  
**菅原** NIIの黒橋所長が呼びかけ、日本国内の自然言語処理研究者が勉強会に集まっています。日本語に強い大規模言語モデル

(LLM)を作り、その原理解明や活用の研究を促進することが目的です。5月に第1回を開き、7月に第3回を開きました。2023年8月の時点で300人を超える方が参加登録しています。

— 勉強会ではワーキンググループを設けているそうですね。  
**菅原** 4つあります。大規模言語モデルの学習・訓練に必要なデータをそろえるグループ。モデルを構築して訓練するグループ。





相澤 彰子

モデルを特別な目的にチューニングしたり評価したりするグループ。そしてモデルを作るのに必要な大規模な計算機インフラを整えるグループがあります。

**相澤** 国立大学の情報基盤センターや NII などの複数の学術組織が共同で運用している mdx という大規模な計算機基盤（データ活用社会創成プラットフォーム）があります。その基盤を使い大規模言語モデルを構築するプロジェクトがスタートしました。大規模言語モデルと言われているものの中では規模は小さいですが、（パラメータ数で数えて）130 億のモデルを2023年中にはリリースする予定です。勉強会では1,750 億規模のモデルを目標に置いています。

モデルを作るだけでなく、いろいろなドメイン（分野）に使えるようモデルをどう適応させるか、どういう活用ができるか、自然言語処理の研究に使うのか、社会課題解決に役立てるのか、（モデルを作った）後のフェーズではそうしたさまざまな活動がスタート

すると思います。

大規模言語モデルはファウンデーションモデルとも呼ばれるように、あらゆる場面で使える点が大きな特徴です。画像処理やロボット、医学・バイオ、材料など計算機を使う科学のコミュニティや、さらに将来はありとあらゆる研究コミュニティが関わって、大きな活動になっていくのだと思います。例えば社会科学です。言語を介して社会というものを解析していくのも重要な研究分野です。人間の言語とは何かというサイエンティフィックな問いに答えていくのも勉強会のミッションになると思います。日本語に強いモデルであるという観点から言えば、言語モデルは社会の規範やルール、社会におけるさまざまな人間の活動を捉えている側面があり、私たちの社会を観察していく観測・分析ツールにもなることも考えられます。

### LLMで情報検索も高度化

**金澤** 私は、NII が提供する学術情報検索基盤の CiNii Research（サイニイリサーチ）の開発チームで、自分の研究成果を応用した改良を進めています。LLM 勉強会には CiNii Research への大規模言語モデルの適用を想定した研究開発と実用化を念頭に置いて参加しています。研究分野ごとはもちろん、ドメインに特化しない形でドメイン横断的にいかに学術情報コンテンツに容易にアクセスできるようにす

るか。そこに大規模言語モデルを役立てていきたい。

かつては情報検索といえば、情報に緻密にメタデータを付けておき、利用者は検索式を適切に書いて検索すれば絞り込みがきちんとできるというシステムで、使いこなすのはなかなか容易ではありませんでした。CiNii Research ではキーワードを入力すれば、候補が出てきて、さらに絞り込むにはどうするのかという選択肢も与えてくれます。複雑なクエリ（処理要求）を人間が考えなくても絞り込みをうまくやれるようになりました。ただシンプルなユーザインターフェースで対応しようとする、逆に要求を適切に表現できないこともあります。

大規模言語モデルに複雑な検索式を書かせれば、自然言語の入力文で適切な指示ができると考えています。こういうことがしたいとの要望をプログラムコードに落とすのは大変ですが、大規模言語モデルを利用して短時間で質の高いコードを書けるようになりました。プログラムの世界では、プログラミングの知識を持たなくても動作を指示できる「ノー



金澤 輝一



コード・ローコード」が提唱されていて、大規模言語モデルで複雑な動作にも対応することが期待されています。検索でも「ノーサーチ・ローサーチ」みたいに、こういうことを知りたいと尋ねるだけでほしい情報にアクセスできるようにしたいと考えています。

また研究活動の促進・支援に向けた研究力分析・強化の技術開発も個人の研究テーマの一つです。そこで異分野融合研究のための研究者のマッチングシステムを考えていますが、異分野の研究者が研究テーマを相互にわかるように説明するのは難しく時間がかかります。大規模言語モデルの応用でより短時間で互いをわかり合えるシステムができるのではないかと研究しています。相澤先生が言及されたように、情報学、医学、社会科学などあらゆる分野の研究者の共同研究を促すようにできればと思います。

## 後進のための 研究環境の土壌作り

**菅原** 若手研究者の立場からコメントします。大規模言語モデルは米国の大企業が主導しており、研究のためにオープンに提供され利用可能なモデルを再現するだけでとてもお金がかかります。オープンソースで無償で使えるもので最も規模が大きなものを動かそうとするだけで1,000万円くらいのサーバが手元にないできません。若い研究者や学生にとって大きな障壁です。

また日本の個々の研究室が必ずしもたくさんお金を持っているわけではありません。みんなが集まって計算機基盤もデータも共

有、コードもプログラムも共有しながら作るのであれば、学生やポスドクも含めて関わるすることができます。それが大きなメリットの一つです。

私個人としてはモデルの評価に関心があります。最近のモデルでもちゃんと文章が読めているのか怪しいところがあります。答えの根拠まで説明させようとするとちゃんと説明できないかもしれないという課題があるとみています。

**相澤** 大規模言語モデルをアカデミアで開発するということと、日本語に焦点を当てて作ることの2つの側面があると思います。Chat GPTを契機に言語モデルの大規模化が一気に進みました。急速な変化の中で、自然言語処理、あるいは人工知能と言ってもいいかもしれませんが、急にビッグサイエンスになったと思います。予算の桁は違いますが、分野の研究者の力を結集しなければ進んでいけないという点で、素粒子物理学で大型加速器が必要なと同様のビッグサイエンスの土俵の上に、私たちがいきなり乗った感じです。

黒橋所長が音頭を取って登壇もされた2023年3月の自然言語処理学会年次大会の緊急パネルを契機として、力を合わせようという機運が高まったと思います。シニアの研究者は5年後のことを考え、後輩の研究者のためにやらなくてはいけない、と、気持ちが一つになったという思いがありました。LLM勉強会はオープンな



菅原 朔

モデルを作り大勢に使ってもらおうという狙いがある一方で、シニア研究者としては、後進のために大きなサイエンスの場を作るという意識があります。

一方、私はデータ中心のサイエンスの時代において、受け身のままでは日本のアイデンティティを守ることが難しいという問題提起を数年前からしてきました。日本にある情報にしっかり投資していくことが重要だと思える一方で、そういうことは研究業績にはなりません。論文を書きインパクトファクターの高いジャーナルに投稿するのを競う風潮の下で、日本の情報に焦点を当てるモチベーションが見当たりません。日本のアイデンティティとしての言語や情報を蓄積する活動に、ここでしっかり取り組むことが重要だとする点でも多くの研究者の思いが一致したと思います。

—— 大規模言語モデルの科学研究へのインパクトをどうご覧になりますか。

**金澤** 学術情報へのアクセスが容易になる、コストが下がると



### LLM 勉強会趣旨目的

- オープンソースかつ日本語に強い大規模モデルの構築
- 研究者間の定期的な情報交換・組織横断的な研究者間の連携の促進
- 成果物、議論の過程、失敗を含めすべてオープン

### LLM に関する課題

- 技術課題：学習原理の数理解明、効率性
- 社会課題：説明性・解釈性、公平性、安全性、信頼性
- 多分野展開：医療・法律・教育等への展開、マルチモーダル情報・ロボット制御などとの結合

### 今後の方針 (2023年8月現在)

- 日本で、少なくとも1,750億モデルを構築し、原理解明に取り組む。2023年中に130億モデルを構築。

いったことは、研究ドメインによらず大きな意味があると考えています。どのような分野でどんな役立て方があるのか、具体例を示すことはできませんが、LLM 勉強会で作るモデルがさまざまな領域で使用され、その評価が少しずつ出てくるはずで、情報検索やアクセス技術の研究者として、心待ちにしています。

**菅原** AI 分野では近年、力のある研究者が大勢集まってチームで研究し論文を書くのが当たり前です。研究者の横のつながりを強めるのは世界にインパクトのある成果を出す上で大事なことです。アカデミアが牽引してチームを形成するのが望ましく、LLM 勉強会はそのハブになる役割として意味が大きいと思います。

**相澤** 大規模言語モデルが科学にもたらす影響は非常に大きいと考えます。本当にクリティカルな影響があり、あらゆるところで研究を加速しようと思います。バイ

オテクノロジーの研究者にどんな使い方をするかを尋ねたところ、遺伝情報のデータベース検索で、私のような自然言語処理の研究者が思いもよらない高度な使い方を想定されていました。

### LLM研究は、脳と言語の研究につながるのか

—— 大規模言語モデルがどうやって流暢な文章を生成するのか、そのメカニズムの研究は、人間の言語の研究や、脳がどう言語を扱っているのかという問いへの答えにつながるのでしょうか。

**菅原** 言語モデルを観察してわかることが必ず人間の脳に当てはまるかという難しいことが多いと思います。ただこういう条件の下でつくったら人間らしく振る舞ったとか、こうした条件では振る舞わなかったということはわかります。ですから人間と同等に振る舞う条件を絞り込んでいったり、

こういう情報を学習させたらこういうことがわかったりと、作り方の工夫をしていくうちに人間の脳にも類推的に言えることがもしかしたらあるかもしれません。

まだ誰も明確な答えが出せるものではありませんが、言語学や認知科学、神経科学などの研究者とコミュニケーションがより活発になることがひとまず一番大事かなと思っています。

**相澤** 私はつながると思っています。仕組みはまったく違わずですが、脳研究の分野で脳波のデコーディングに言語モデルを利用した結果、解釈がうまくいったりするという話を耳にします。モデルは言語を理解する脳の働きの何らかの特徴をうまく捉えているのだと推測します。これも勉強会の今後のテーマになりえます。

### 聞き手からのひとこと

新聞記事は多くの記者の仕事の蓄積であり新聞社の資産である。日本新聞協会は報道コンテンツが無断・無秩序に利用されることに懸念を表明している。一方で新聞記事は公益性を有し適切な権利保護の下で利用を促す道も模索されるのが望ましいと個人的には考える。



**滝 順一**

日本経済新聞 編集委員

早稲田大学政治経済学部卒業後、日本経済新聞社に入社。1980年代半ばから科学技術の研究開発現場と科学技術政策の立案プロセスを取材し、現在は科学技術や環境分野を担当している。著書に『エコうまに乗れ!』。

# フェイクメディアを自動判定 「シンセティックビジョン」

## シンセティックメディア国際研究センター



自然言語(文章)の生成AIに加え、画像や動画、音声の生成AIも急速な進歩を遂げている。本物と区別できない精巧な顔写真や声を作り出すことが容易になり、フェイクニュースや詐欺などに悪用される懸念も増している。こうしたディープフェイクに備えるシンセティックメディア国際研究センターの活動と、開発されたAI生成フェイク顔映像を自動判定する「シンセティックビジョン」について、センターを率いる越前 功 教授と山岸 順一 教授に聞いた。



国立情報学研究所 情報社会相関研究系 教授  
シンセティックメディア国際研究センター センター長

### 越前 功

ECHIZEN, Isao



国立情報学研究所コンテンツ科学研究系 教授  
シンセティックメディア国際研究センター 副センター長

### 山岸 順一

YAMAGISHI, Junichi

聞き手

### 山田 哲朗 氏

YAMADA, Tetsuro

読売新聞 論説委員

——シンセティックメディア国際研究センターの研究目標は何ですか。

**越前** 人間の顔や音声などをAIが学習し、本物と見まがうような合成画像や合成音声などの「シンセティックメディア」を生成することが可能になっています。バーチャルのアバターを作ってコミュニケーションしたり、動画や音楽を作成してエンターテインメントとして楽しんだり、いろいろな用途が生まれています。一方で負の側面として、詐欺や世論操作に悪用されたり、愉快犯が偽の映像や音声を拡散させたりする恐れも高まっており、大きな

社会問題になりつつあります。

センターは、こうした不正な目的で生成されたフェイクメディアを検知し、メディアの信頼性を担保するための国際的な研究拠点です。

——発足経緯を教えてください。

**越前** 国の大型研究資金である戦略的創造研究推進事業(CREST)を獲得し2021年7月に発足しました。まず山岸教授が日仏の共同提案で、音声合成や声質変換などのテーマで研究を始め、続いて私がフェイクメディアへの対処手段というテーマで合流しました。お互い分野が隣接しているので、連携することで

相乗効果が生まれ、多様な共同研究ができます。

**山岸** CRESTのプロジェクトが始まる前から、実は一緒に共同で研究する機会が多々ありました。センターのメンバーである馬場口登・大阪大学特任教授を含め、ディープフェイク関連で先駆けとなるような研究もしていたので、元々こういう方向性で進んでいたということです。例えば、生成された音声ではなく、生身の人間の声かどうかを判定するライブネス検知の技術も、2014年の時点で発表していました。

こうした分野は、今の言葉で

言えば「生成 AI」や「情報セキュリティ」になりますが、当時はまだ「デジタルクローン」とか「メディアクローン」と呼ばれていました。コンセプトとしては同じで、AI 技術で作られた、あたかも本物のように見える画像や映像、音声、文章などについて、社会的問題や生体認証、セキュリティシステム上の問題点を洗い出し、事前に対処しようというものです。

——例えば自動翻訳はある段階から急速に改善され、一般人の語学力を上回るようになりました。画像や音声の場合はどうでしょう。

**山岸** まず 2013 年にディープラーニングの技術が音声の情報処理の分野にも入ってきて、音声認識の精度が劇的に良くなりました。しかも、人間の認識能力と同じレベルにあつという間に到達してしまったのです。音声合成もやはり 2013 年以降、劇的な進化が起きて、2018 年頃には、今あるアプリの原型となるような技術は既にできあがっていました。ただ、計算時間がかかるなど、商品として利用する際のコストの問題が残っていて、普及に時間がかかっていたということです。現在はコンピュータの能力が上がり、コストの問題も解決できたため、幅広く利用されるようになりました。音声の生成についても同様で、誰かにそっくりな声をコンピュータに模倣させることも本当に容易になり、誰でも利用できるようになりました。画像生成でも有名な Stable Diffusion（ステーブルディフュージョン）などが登場しています。

**越前** 画像系では、顔を他の人の顔に置き換えるなどのディープ

フェイクの問題が出てきたのが 2017 年頃ですね。本物と見まがうようなものが出てきました。

## 真贋判定箇所を可視化

——センターが開発したフェイク顔映像の自動判定プログラム「シンセティックビジョン」が注目されています。

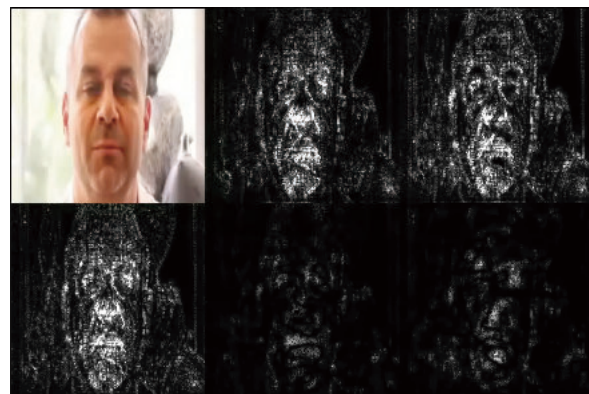
**山岸** AI 技術の恩恵を広く受けられるようになったことはもちろんいいことなのですが、その一方で、モラルを欠く人が、顔を置き換えたフェイク動画などを手軽に作れる状況になってきたわけです。アプリを使って、一般の人でもディープフェイク映像を作れてしまいます。例えば、生成された架空の人物を「お客様の声」として登場させ商品宣伝に使ったり、他の人の顔を有名人の顔に置き換えて SNS 上にアップロードしたりすることが可能です。

こうした問題に対処するために作ったのがシンセティックビジョンで、私たちが培ってきたリアルとフェイクを判別する技術を、実社会で使えるようにしたシステムです。様々な生成手法に対応しており、ぱっと見たところ人間には本物なのか偽物なのか分からないものでも、きちんと見抜くことができます。

——どのような仕組みで判定しているのですか。

**山岸** 基本的には、ニューラルネットワークが、リアル・フェイクの判定をするために参考になる箇所を探し出しています。結果だけ見ていると、中で何が起きているかがわからないブラックボックス的な技術ではあるのですが、うまく工夫をすると、AI がどこを

図 1: AI が着目した部分を可視化



見て最終的に真贋を判定したのか、可視化できます。もちろん個々のフェイク画像や使用された生成アルゴリズムによって、着目点は変わります。そのため、一概に「ここがおかしい」とか「ここは変だ」とか、そういうふうには人間の目には見えないのですが、「ニューラルネットワークはここを参照した」という部分を示すわけです。

ある顔の画像を例（図 1）にとると、AI は目のあたりとか、口のあたりに反応していますね。最終的に予測に役立ったのは、鼻のあたりでしょうか。別の顔の画像では、あごといった具合です。もっとも、これも、この画像の、この加工の方法に限った話であり、いつもそう言えるわけではありません。いずれにせよ、ニューラルネットワークが見ているところが必ずしも人間にとっても役に立つポイントではないので、いつも説明には困ります。これは、残念ながらディープラーニングすべてに共通する性質です。

## フェイク検知こそミッション

——シンセティックビジョンは、ずいぶん早く社会実装が実現しましたね。

**越前** フェイクメディアについて心配している企業、またはそこにビジネスチャンスを感じている企

業は結構多いのですが、企業がすぐ開発できるものではありません。まず、どのディープラーニング技術にも共通することですが、学習のため大量の映像データが必要で、大量のフェイクデータも必要になります。次に、巨大なニューラルネットワークが必要になります。最後に、その巨大ニューラルネットワークを効率よく学習させることができるGPU（画像処理半導体）サーバが必要で、かなり参入障壁が高いのです。それが、まだ日本では私たち以外にこういう真贋判定サービスを提供している企業が極めて少ない理由でもあると思います。

私たちは、企業がビジネス用途ですぐ使えるよう、必要になるだろうすべてのモジュールをデザインしました。ユーザ登録用のモジュールとか、動画を受け付けるモジュール、真贋判定した結果を可視化するモジュールなど、すべてのプロセスに必要な構成要素を作ったわけです。ここまでしないと、私たちがコアとなる技術を開発しても、結局、それを使ってもらえません。

——研究者がサービス提供の段階にまで関わるのは珍しいかと。

越前 背景にあるのは、やはり生成AIの分野の動きが速いこと

です。研究者が核となる推論の部分にだけ注力し、「あとの周辺部分は全部作ってください」と人に渡してもうまく進みません。私たちは2018年に世界で最初に顔映像を対象とした真贋判定のモデルを発表しました。そうした先見性もあり、早くから必要性を感じていたわけです。「自分たちで、一気に通貫で作った方が早いだろう」という判断でこれまで動いてきました。

——企業からの引き合いは多いですか。

越前 すでに、デジタル広告大手の株式会社サイバーエージェント様で採用され、実際に使用されているほか、問い合わせもかなり寄せられています。2021年9月に発表して以来、照会が一番多いのは、よくある著名人のディープフェイク検知ではなく、eKYCと呼ばれるオンラインの本人確認におけるディープフェイク検知でした。オンライン認証で不正な申請を検知したいというニーズが多いのでしょう。

山岸 こうしたサービスは、まだいろいろな企業が提供するという状況になく、私たちは現在、パートナー企業を探しており、そのパートナー企業を通じて多くの人に使ってもらいたいと考えています。

## 聞き手からのひとこと

生成AIは、悪用されれば民主主義や選挙制度を揺るがす。ディープフェイクの脅威から社会を守る技術基盤は、自前で開発し維持することが必須だ。安全保障や民主制の堅持など戦略的な観点から、国が継続して研究開発を推進してもらいたい。



山田 哲朗

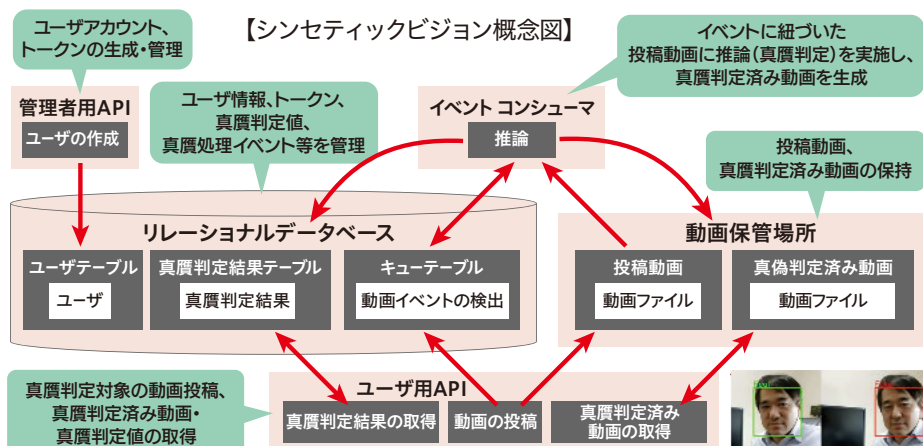
読売新聞 論説委員

1990年、東京大学卒業、読売新聞入社。2006年、マサチューセッツ工科大学(MIT)ナイト科学ジャーナリズム・フェロー。経済部、科学部、ワシントン支局を経て2018年に科学部長。2019年から論説委員(科学技術担当)。

——NIIを中心にオールジャパンで開発する意義は何ですか。

越前 ChatGPTが注目を集め、今、「国産の大規模言語モデル(LLM)も必要だ」という声が高まっています。ポイントは国産というところで、要するに海外のものがデファクトスタンダードになってしまうと、その技術は海外にコントロールされてしまうわけです。相手の一方的な都合で「サービスの提供をやめます」「機能を絞ります」ということが決まってしまうわけです。

同様に、フェイク検知について独自の国産モデルを開発し、偽情報対策を強化することは、国全体にとって非常にメリットが大きいです。まだ細々とはありますが、これが我々のミッションと思って研究開発を継続していきたいと思っています。



# インフォデミックの克服 「サイバーワクチン」

国立情報学研究所  
情報社会相関研究系 教授  
シンセティックメディア国際研究センター  
センター長

## 越前 功

ECHIZEN, Isao

取材・文

## 山田 哲朗氏

YAMADA, Tetsuro

読売新聞 論説委員

「シンセティックメディア国際研究センター」を率いる越前教授は、センター設立以前から、フェイクメディア研究の新分野を積極的に切り拓いてきた。時には柔軟な発想で攻める側の手法を考へることが、守りを固めることにも役立っている。



## 「セキュリティの異能」の 豊かな発想

インターネット上には膨大な情報が存在している。ソーシャルネットワーク（SNS）にも日々、無数の写真や動画が公開されている。こうした情報を駆使することで、従来は想像もつかなかったような使い道が出てくる。

警視庁は2019年、女性アイドルにストーカー行為を働いた男を逮捕した。男はまず、女性が投稿した写真の瞳に映っていた景色と、googleの「ストリートビュー」を比べて女性が住む駅を絞り込み、駅からは女性を尾行して自宅を突き止めたという。画像が高精細になり、目の部分を拡大して映り込んだものが判別できるようになったことで、新たな画像の悪用方法が生まれたわけだ。

越前教授もかねて、画像の品質が高まれば、そこから取り出せる情報も増えることに注目していた。2018年には、3メートルの

距離で撮影したピースサインをしている人物の写真を画像処理し、指紋のパターンを読み取るのに成功した。個人個人で異なる指紋は、生体認証として使われることもあるが、原理的には、こうした生体認証を突破できてしまう可能性があることを示した。

越前教授は「残留した指紋を採取するのではなく、遠隔で指紋を窃取するという脅威を検討したかったわけです。誰も考えていなかったことで、ちょっとキワモノと言えますが、私はそういうものに強く興味をひかれます」と話す。

その豊かな発想が発揮されたもう一つの興味深い例が、プライバシーを守る眼鏡だろう。例えば、他人が投稿した写真にたまたま写り込んでいた自分の顔写真を、誰かがネット上の情報と突き合わせ、個人を特定することは可能だ。こうした、知らないうちに起きうるプライバシー侵害から身を守る方法を探ろうと、2012年、近赤外線光源を取り付け、

顔の自動検出を防ぐ眼鏡を開発した。眼鏡は改良を重ね、現在はレンズ面の反射により顔の検出を防ぐ眼鏡「プライバシーバイザー」として、福井県鯖江市のメーカーから発売されている。

越前教授は「情報セキュリティの分野では、まだ登場していない、新たな脅威を考えられる力も重要だと思います。突飛なことを考えるので、『セキュリティの異能』などと呼ばれることもあります」と笑う。

## フェイク顔画像に備える 「サイバーワクチン」

こうした先駆的な研究の集大成となるのが、シンセティックメディア国際研究センターが日本で初めて開発したフェイク顔映像の自動判定プログラム「シンセティックビジョン」だろう。顔の映像を分析にかけると、偽造されていない自然な顔には緑色の枠が、フェイクの顔の場合には赤い枠が出て、ひと目で真偽が分かる仕組みになっている。

今は真贋判定からさらに進んで、フェイク画像に対する「サイバーワクチン」を開発中だという。例えば人物の映像を公開する前に、顔の特徴に関する情報を、顔の外側の部分に埋め込んでおく。これで、この映像はいわば「ワクチンが打ってある状態」になる。ワクチンを打っていない通常のものとは比べ、見た目には大きな変化はないが、顔を別人の顔に置き換えるディープフェイク攻撃を受けても、復元モデルを用いることで、ワクチンの効果が発動し、周辺に埋め込まれた本物の顔の情報を基に、オリジナルの顔に復元してしまうという驚くべき仕掛けだ。

また、ネット上の人物の写真が知らないうちに自動収集されるのを防ぐ、別のタイプのワクチンも開発中だ。「パーソンセグメンテーション」という人物の切り出し機能を不能にしてしまう目に見えないノイズを画像内の人物に埋め込むことで、画像内の人物

の切り出しができなくなる。「鯖江のプライバシー保護眼鏡は自分の顔を守るリアルな商品ですが、これはそのバーチャル版」(越前教授)と言える。

ロシアによるウクライナ侵略を巡っては、ウクライナのゼレンスキー大統領が、自軍に投降を呼びかける演説をするフェイク映像が作られた。有名人の顔を勝手にポルノ映像に入れ込むなどの被害も昔から後を絶たない。顔は人間にとって特別な意味を持つ情報であり、政治的プロパガンダや世論操作、誹謗中傷などに悪用されれば大きな影響がある。ワクチンはまだ研究が始まったばかりの技術だが、パンデミック(感染症の世界的流行)ならぬインフォデミック(偽情報の世界的氾濫)を防ぐため、開発に期待がかかる。

### 未知の攻撃方法をも予測し 対策を打つ

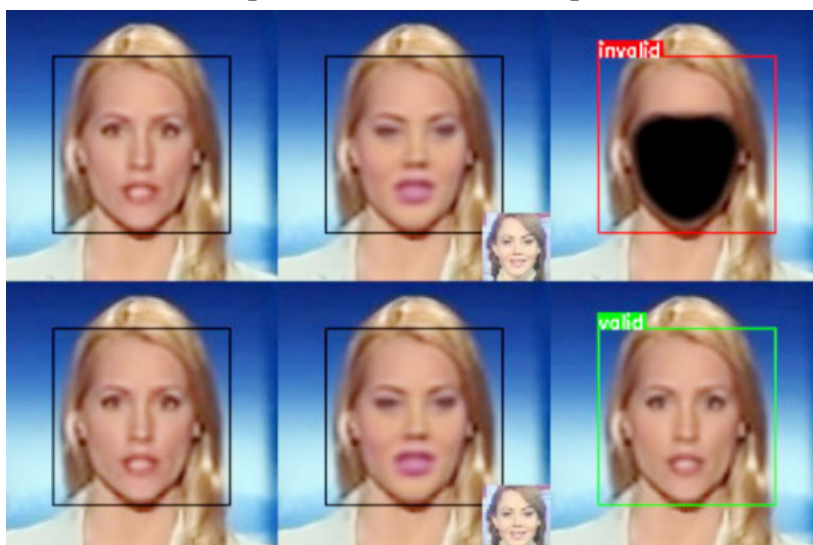
抑止の基本は、先んじて敵の

攻撃を制することにある。プライバシー保護眼鏡をはじめ、これから現れる脅威に一步、先行しようという姿勢は一貫している。「将来、真贋判定が求められる時代が到来する」(越前教授)という確信が、研究意欲を支えてきた。

素人にとっては未知の攻撃手法を想像するのは難しいが、越前教授のアイデアはまだまだ尽きないようだ。ビルの管理者は、マスターキーを持っていれば、すべてのドアを開けられる。泥棒がマスターキーを手にしたら大変で、越前教授も「これはまさに攻撃側の技術」と言うのが、「マスター顔」の技術だ。多数の顔の特徴に一致するような共通の特徴を持っている人工顔を作れば、これは「マスターキー」ならぬ「マスター顔」となり、顔の認証システムを通過してしまう。現時点ではマスター顔による攻撃は報告されていないが、将来、こうした脅威が現実のものとなった際には、この研究がきっと役に立つことだろう。

現代では、ライバル企業や敵国のコンピュータに侵入して情報を盗みとるスパイ行為や、相手のインフラなどを麻痺させるサイバー攻撃が活発に行われている。ここでは、攻撃手法を熟知することが、自分の防衛網に残る穴をふさぐことにつながる。良い使い方と悪い使い方は、同じ技術に基づく表裏一体のものと言える。未知の攻撃手法を探し、対策を用意する越前教授は、ディープフェイクを駆使する攻撃者たちにとって、最も敵に回したくない人物だろう。

【サイバーワクチン接種比較】



【上段】ワクチンを打っていない顔画像(左)は、ディープフェイク攻撃を受け顔を置き換えられた場合(中)、復元モデルを用いてもオリジナルの顔に戻せない(右)

【下段】ワクチンを打った顔画像(左)は、顔を置き換えられても(中)、復元モデルを用いてオリジナルの顔に復元できる(右)

# 雑踏の中でも聞きやすい 音声合成を社会実装

国立情報学研究所  
コンテンツ科学研究系 教授  
シンセティックメディア国際研究センター  
副センター長

**山岸 順一**  
YAMAGISHI, Junichi

取材・文

**山田 哲朗氏**  
YAMADA, Tetsuro  
読売新聞 論説委員

合成音声技術の進歩で、人の声と変わらない自然な声が合成音声で生み出されるようになったばかりか、さらに「騒音に強い音声」など付加価値を持つ音声も登場しているという。深層学習を使った音声認識・音声合成の専門家である山岸教授に最新動向を解説してもらった。

音声合成を巡る状況も、ディープラーニングの登場で2013年以降、激変している。音声データを扱う「ボコーダ」技術においては、音声を符号化したり、符号化したデータから音声を復元したりといった作業が行われる。この信号処理をニューラルネットワークに置き換えたところ（ニューラル・ボコーダ）、音声の品質が劇的に向上したのだ。

さらに、もう一つの革新は、話し手の特徴を数学的に表現する「話者ベクトル」と呼ばれる技術だという。本人らしさの特徴を抽出し要約するのに優れており、一人ひとりの声の特徴をAIがうまく捉えられるようになった。山岸教授は「もともと本人認証のための技術だったのですが、『この話者ベクトルで音声を合成して』と指示すれば、その人の声のものまねができるようになりました」と説明する。

話者ベクトルは、少ない学習データで済む点でも有利だという。声を少し録音し、音声サン

プルをアップロードすると、数分後にはその声を再現できるというボイスクローン技術の背後には、話者ベクトルの存在がある。

実際、人間が発した声と、それをまねた合成音声を聞き比べても、もはや違いはわからない。同じ人間が二度、同じ言葉を繰り返しているように聞こえる。山岸教授は「もう2018年ぐらいの時点で、音声合成技術が基本的に完成していたということです」と振り返る。

自然な話し方や、元の声とそっくりな声を出せるという点では、人工音声の性能は行き着くところまで行ってしまったとはいえ、研究がこれで終わったわけではない。山岸教授は「今度は、ただ品質を上げるだけでなく、もっと違う観点で考えていけばいいのではないか」と発想を切り替え、音声の明瞭度を上げることを目指した。

その結果、生まれたのが、雑音に強いクリアな音声で、今年5月には、東海道新幹線の構内放

送に採用された。この音声合成システムは、テキストで放送内容を作成できるので、アナウンサーがスタジオでナレーションをいちいち録音するといった手間は要らない。「明瞭性強調」の効果により、電車の振動音、風雨の音、雑踏の騒音などが混じり合うホーム上でも、乗降客が放送内容を聞き取りやすいという。

## 「AI囃家」と話者ベクトル

一風、変わったところでは、落語の音声合成、すなわち「AI囃家」の開発も目を引く。これも、ただ自然な音声を発するだけではなく、微妙な感情や楽しさをのせられるような音声を開発するという狙いがある。音声合成であっても、落語自体はある程度は自然な感じで聞こえるが、若干、ストーリーがつかみにくい。なぜなら、落語には、女性や「熊さん」「八つあん」など様々なキャラクターが登場するが、合成音声はこの役の使い分けが不得手なためだ。現状では「真打ち」はもちろん、「前座」に





比べても AI の技量は劣っている。

興味深いのは、真打ちの名人芸では、単純に声色を変えて役を使い分けているのではないらしい。「まだ分析してもわからないのですが、韻律または話速の細かい調整で、役の違いを表現しているのではないか」というのが山岸教授の推測だ。今後、話者ベクトルの技術をもってしても迫り切れない名人の奥義を科学的に解明してほしい気もする。

音楽も MIDI 規格を使って、さかんに作成されているが、音声と音楽に共通する部分も多く、研究の応用が利くという。文字の代わりに、MIDI の情報を入力してピアノの音を合成すると、これも自然にピアノの音楽が流れていくが、途中では少しつつかえたり、音程を外したりする場面が散見される。機械が合成しているというよりは、少し下手な人がピアノを弾いているという感じだ。

音声合成の品質が上がり、一般人でも安い料金で声の合成ができるようになると、悪用も懸念される。SNS に音声をアップロードする習慣があるアメリカやインドなどではすでにこれが問題化しつつあるという。2019 年には、英国企業の最高経営責任者 (CEO) が、親会社の CEO から銀行振り込みを指示する電話を受けて送金したものの、親会社の CEO の声はフェイク音声で、巧妙な詐欺だったことがわかった。

「Hey Siri」などの呼びかけでスマホが起動するように設定してあると、偽の声で他人のスマホの認証を突破し、操作することも可能になってしまう。

## 切り拓く新たな境地

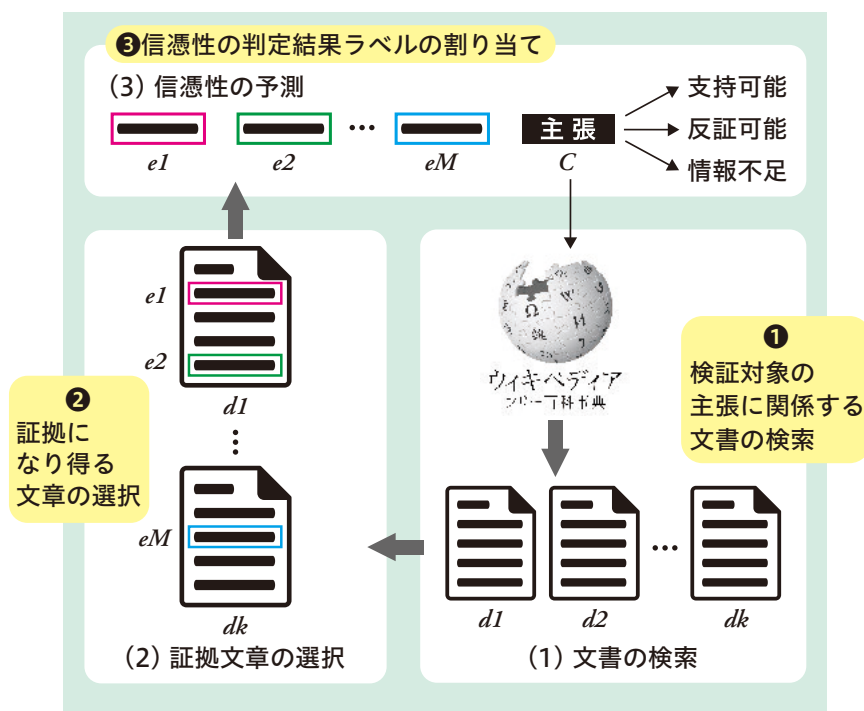
山岸教授は、こうした攻撃に対する防御技術も開発しているが、開発した検知技術をテストし、性能を比べるにあたっては、共通のベンチマーク (尺度) が求められる。そのために作ったのが、検知用の大規模データベースだ。NTT やグーグルなどに協力してもらい、合成音声と自然音声ペアになった巨大なデータベース「ASVspoof」として公開した。利用者は、どれが自然音声でどれが合成音声か判別できるかを試し、客観的な性能評価に使える。

山岸教授は「作るのは非常に大変だったが、この研究分野の人にはものすごく歓迎されました」と話す。こうした研究分野そのものを強化する知的インフラの整備に貢献した意義は大きいと言えよう。

山岸教授の研究の射程は長く、最近、始めたのがファクトチェッ

クダ。人手で行うと大きな労力がかかるニュースや主張の事実確認を、信頼できるデータベースの情報に基づき、AI に自動検証させようという発想だ。ファクト (事実) といっても、多くの主張で事実と意見は切り分けが難しく、また、参照するデータベースも 100% 事実だという保証はないだろう。課題は多いものの、例えば Twitter (現 X) の投稿を 24 時間、自動監視してフェイクニュースや悪質なプロパガンダに注意喚起できるようになれば、大きなインパクトを持つのではないか。「長年、ディープフェイクの研究をしているうち、最後はやっぱり中身の真偽の判定についても考えなきゃいけないかな」と考え始めたという。研究に導かれ、音声研究からだいぶ離れた所までたどり着いた様子だが、今後も迷わず新たな境地を切り拓いていってくれることを期待したい。

【ファクトチェックシステム概念図】



# 生成AI時代の 著作権と 個人情報

一橋大学大学院法学研究科  
ビジネスロー専攻 教授

**生貝 直人** 氏  
IKEGAI, Naoto

聞き手

**井田 香奈子** 氏

IDA, Kanako

朝日新聞 論説委員

## イノベーションを可能にする 柔軟な法規制を

既存のデータを学び、新たなコンテンツを生み出す生成AI。大規模言語モデル(LLM)をはじめ、ディープラーニングモデルが「学習」するためのデータの権利や個人情報は守られるのかが問われている。情報法・政策が専門分野である一橋大学大学院の生貝 直人教授が、急速に進む議論を解説する。

— 生成AIが急に存在感を増して、対応する法制度が追いついていない印象があります。今、どのような状況にあるのでしょうか。

生成AIを巡る法制度が議論されるようになったのは、2022年11月に公開された対話型AI「ChatGPT」がきっかけでした。世界で最初の包括的なAI規制として注目を集めている欧州連合(EU)のAI規則案も、当初の案は生成AIの存在を念頭に置いておらず、2023年に入って新たに生成AIに特化した条文が示されました。この1年足らずで、世界を巻き込み急速に議論が進んでいます。

— 国内ではどうですか。

2023年6月に個人情報保護委員会が「生成AIサービスの利用に関する注意喚起等」を出し、またChatGPTを運営する米OpenAIにも個人情報保護法遵守の注意喚起を行いました。日本政府は主要7カ国首脳会議(G7サミット)で合意した「広島AIプロセス」を主導する立場にあり、政府内に「AI戦略会議」がつくられ、本格的に議論を始めたところです。生成AIのイノベーションを促進しつつ、さまざまなリスクに対応するルールのある方に知恵を絞っている、そんな段階です。

ただし、著作権法に関しては先行していて、2018年改正で30条の4ができ、生成AIを含

む機械学習全体について、著作権者の許諾がなくても著作物を広範に利用できることになっています。

### 明確でない 生成AIの法的位置づけ

— 当時、なぜ改正が必要とされたのでしょうか。

立法の議論が本格化してきたのは2015年頃で、深層学習に基づくAI開発一般の促進に焦点が当てられていました。生成AIが念頭に置かれていたわけではありませんが、AI生成物の著作権侵害のリスクは認識されていたようです。ただもちろん、ChatGPTや画像生成AI「Stable Diffusion(ステイブルディフュージョン)」をはじめとする生成AIのように、人間の創作者を本格的に置き換えていくという可能性までは、社会的にあまり現実味を持って議論されていなかった



生貝 直人

2012年東京大学大学院学際情報学府博士課程修了。博士(社会情報学)。情報・システム研究機構新領域融合研究センター特任研究員等を経て、2021年一橋大学大学院法学研究科ビジネスロー専攻着任。現職。専門分野は情報法・政策。

たのではないかと思います。

—— 新設された規定によれば、ただ学習されるだけなら著作権保護の対象外ということですか。

著作物に表現された思想や感情を享受する目的ではなく、情報解析などの目的で使っている限りは、原則として、著作権者の許諾なしに利用ができるということです。

—— 例外もあり、少しわかりにくいですね。

特に議論になるのは、「著作権者の利益を不当に害することとなる場合」には著作権の制限の対象とはならないという部分でしょう。文化庁が2019年に示した考え方では、著作物の市場に影響を与える、あるいは将来与えるような利用がそれに当たるとされています。情報解析用に販売されているデータセットが典型例として挙げられますが、生成AIの位置づけは

まだ明確ではありません。

また、30条の4が権利制限の対象とするのはあくまで学習の段階で、生成物が著作権侵害となるか否かは別の論点です。著作権侵害の判断では、既存著作物との「類似性」と「依拠性」が問題となります。特に依拠性は、人間の創作であれば元の著作物を見たかで判断できますが、生成AIの場合は、学習データに含まれる著作物に「依拠」したと言えるのかなど、議論が分かれているところです。

最近の生成AIではさまざまなことが高いレベルでできるようになった。たとえば、特定の作家の作品を大量に学習させて「〇〇風」作品の生成もできる。こうした場合にどのような条件で著作権侵害が認められるのか。国内ではまだ訴訟となった紛争例はありませんが、そのルールを巡る議論が盛り上がってきていると思います。

—— 規定の解釈はどう定まっていこうのでしょうか。

ただ裁判を待っているのは、法的な予見可能性が低い状態が続いてしまいます。政府、関係者によるガイドラインづくりが考えられます。デジタル教育のために著作物を使えるようにした著作権法35条改正(2018年)の際は、教育関係団体と権利者団体が議論を重ねてガイドラインをつくり、公表しました。ただし、権利者と学校側の2者が納得すればガイドラインとしてかなり機能する問題と違い、AIの場合、どの団体が話し合えばよいのか、まだ見えない部分があります。

生成AIを開発・提供する側、

そこで学習されるさまざまなコンテンツを生み出す側の関係性は、収益配分のあり方を含め、世界で議論が進められているところです。立法での解決を求める声も出つつありますが、当面は当事者によるソフトローでの明確化、問題解決のあり方が重要になると思います。

—— 生成AIの開発・学習段階で著作権を制限されることに、権利者には疑問の声もありそうです。

例えば報道機関のサイトであれば、情報を見るためには検索結果などからリンクをクリックし、それが広告収入や購読にもつながるとの前提がありました。ところがChatGPTのようなアーキテクチャの場合、クリックの必要もなく情報が出てくる。既存メディアのビジネスモデルの微妙なバランスが揺らいでいるのは事実でしょう。その結果、質の高い情報を提供する人がいなくなってしまうことは避けなければならない。広く民主主義の基盤の問題として考えるべきテーマだと思います。

**生成物の責任は誰が取るのか**

—— 生成AIが学習を経て生成するものに何か問題がある場合、誰の責任が問われるのですか。

AI基盤モデル提供者、それを具体的なサービスに落とし込んで提供するプレーヤー、一般利用者まで、さまざまな層があります。著作権侵害に限らずネット上の違法・有害情報対策は、情報自体を発信する人に加え、それを流通させるデジタル

プラットフォームが果たすべき役割が非常に大きい。同様に、生成 AI でも、問題あるコンテンツを生成しないよう、フィルタリングをかけたり、学習自体を調整したりと、それぞれの層の役割・立場ですべきことがある。ただし、直接サービスを提供する側だけでは技術的に対策が困難な場合もあり、基盤モデル提供者の役割が重視されるべきだと考えています。

EU の AI 規則案も、基盤モデル提供者の責務を明確に位置

### 【著作権法】

（著作物に表現された思想又は感情の享受を目的としない利用）

第30条の4 著作物は、次に掲げる場合その他の当該著作物に表現された思想又は感情を自ら享受し又は他人に享受させることを目的としない場合には、その必要と認められる限度において、いずれの方法によるかを問わず、利用することができる。ただし、当該著作物の種類及び用途並びに当該利用の態様に照らし著作権者の利益を不当に害することとなる場合は、この限りでない。

一：著作物の録音、録画その他の利用に係る技術の開発又は実用化のための試験の用に供する場合

二：情報解析（多数の著作物その他の大量の情報から、当該情報を構成する言語、音、映像その他の要素に係る情報を抽出し、比較、分類その他の解析を行うことをいう。第47条の5第1項第2号において同じ。）の用に供する場合

三：前2号に掲げる場合のほか、著作物の表現についての人の知覚による認識を伴うことなく当該著作物を電子計算機による情報処理の過程における利用その他の利用（プログラムの著作物にあつては、当該著作物の電子計算機における実行を除く。）に供する場合

づけた上で、その技術的特性に合わせた規律を導入しようとしています。

—— 大量のデータを扱う生成 AI で個人情報適切に保護されるのか、懸念も出ています。

企業、大学などが業務で利用する場合は、個人情報保護法の遵守が必要になります。例えば、プロンプトに入力する個人データが生成 AI 側で機械学習に利用できる場合、個人データの第三者提供となり、本人の同意が必要になる可能性があります。一般的なクラウドサービスを業務で利用する場合のように、生成 AI の利用規約などをよく確認する必要があります。また、個人情報の目的外利用となる可能性にも留意が必要です。

一般の利用者は、入力する個人情報が機械学習に利用されたときに生じるリスクを認識した上で、利用するかどうかを判断する、利用する場合もプライバシーの高い情報は入力しない、などが考えられます。自分や他人に関するセンシティブな入力情報が生成 AI の出力に反映される可能性がある。そうした認識をリテラシーとして持っていこうということです。

### 研究者の倫理が必要に

—— 生成 AI が差別や偏見を助長する情報、間違った情報、偽の情報を出すこともありえます。

そうした情報に法がどの程度介入するかは、表現の自由との兼ね合いもあり難しい問題です。

社会的影響力の高いサービスの提供者として、間違った情報や偽情報の普及により社会に混

乱を起こさない責務は重視されるべきだと思います。ただ、「こういう技術を使って」「こんなキーワードを出さない」などと具体的に法が求めるのは難しく、望ましくもない。不適切な生成物への対処を継続的に行う、利用規約違反の行為にきちんと対応する、できる限り偏見を生まない形でモデルのトレーニングをするといった手立てを事業者が自主的に進めるインセンティブをつくる。一方、社会はそうした取り組みが十分かどうかをモニタリング、検証する。そうした仕組みが望ましいのではないのでしょうか。

EU の AI 規則案も、基盤モデル提供者に「健康、安全、基本権、環境、民主主義及び法の支配への合理的に予見可能なリスクの特定と緩和」を求めようとしています。事業者が社会的責任を果たしながら、イノベーションを可能にする柔軟な法規制が求められています。

—— 技術の公正さ、公平さはどう担保されていくのでしょうか。

世界でも数少ないプレーヤータちが圧倒的な基盤技術やサービスを提供しつつあり、それは新しい権力の源泉にもなりえます。社会全体に影響を与えるサービスのあり方が、一部のプレーヤータに不透明かつ恣意的に決められることにならない規律は必要です。

巨大なデータセットにアクセスできる企業は限られていることから、競争政策的な介入が求められる場面もありえます。

—— 国連安保理の AI を巡る会合の議論では、生成 AI を国家



## あるべき国際ルールを見出すことが必要です

ばと思います。もう一つは、生成AIのルールが今後、整備されていく過程で、作り手の側がしかるべき倫理のあり方を考え、発信することです。生成AIが広く社会に受け入れられ、活用されていく上で、研究者自身が、法にとどまらない倫理のあり方を議論していくことが重要なのだと思います。

※1 オープンサイエンスのためのデータ管理基盤ハンドブック

<https://www.nii.ac.jp/service/handbook/>

※本誌は、著作権法(令和五年法律第五十三号による改正)参照。

が検閲や圧政に利用するのではないか、といった意見も出ました。

G7 などでは、民主的な価値に適合した形で生成AIの活用を進めていくコンセンサスがあります。一方、途上国、あるいは権威主義国家が新たなテクノロジーをどのように使っていくかという問題は、国際的に議論をしていく必要がありますね。

46カ国が加盟する国際機関である欧州評議会はこの数年来、AI条約の起草に向けた作業をしています。拘束力のある国際条約として初めての動きです。「日本広島AIプロセス」も含め、国際的な規範の枠組みに、西側の先進国以外をどう巻き込んでいけるかが問われてくるのだと思います。

一方で、いまだ個人情報保護に関する世界条約が存在しないように、たとえば米国と欧州の間でも基本的な価値観が異なることが少なからずある中で、幅広い合意形成には当然、時間がかかります。急速に技術が進展しているなか、どのアプロ

チが正しいか、誰もわからない状態で詳細なルールを条約で固めてしまうより、しばらく各国が試行錯誤するなかで、あるべき国際的なルールを見出す必要があるのではないのでしょうか。

— AIにも、国際原子力機関(IAEA)のような国際的な監視機関を置くべきだという意見もありますね。

原子力ほど強固な枠組にはならないにしても、軍事や偽情報戦争での利用に歯止めをかける、そのために各国の状況を監視、把握し、必要なアクションを国際社会としてとれる枠組みは、具体化する価値があるでしょう。

— いま生成AIの開発に携わっている研究者は、どのような点に留意すべきでしょうか。

一つは、生成AIの学習段階で利用する場面も含め、学術研究における個人情報保護のルールも変化しており、国立情報学研究所(NII)の「オープンサイエンスのためのデータ管理基盤ハンドブック」※1などのガイドも参照しながら対応を頂けれ

### 聞き手からのひとこと

生成AIは社会にどんな功罪をもたらすのか。それがわからないなかでの法整備や国際協調の道は険しそうだが、先行するEUの動きなど、ヒントも多いとわかった。人間になら期待できる規範意識や倫理を生来的には持たないAIの怖さも感じる。使い方を間違えれば、人間社会が築いてきた人権の尊重、公平といった価値を失うことにもなりかねず、技術を開発・提供する側の情報開示、利用者も含むオープンな議論がますます必要になるだろう。



井田 香奈子

朝日新聞 論説委員

東京大学(東大)文学部社会心理学科卒業後、朝日新聞社へ。在勤中の2012年東大大学院情報学環修士課程(社会情報学)修了。朝日新聞社では社会部、ブリュッセル支局長などを経て、現在は司法関連の社説を担当している。著作に「裁判員制度の評議と報道」(『マス・コミュニケーション研究』82号)など。

photo 小山 幸佑

# NII NEWS TOPICS

期間

2023/5/1(月)～  
2023/7/31(月)

各ニュースの詳細は  
オンラインでご覧になれます。

[www.nii.ac.jp/news/2023](http://www.nii.ac.jp/news/2023)



## ニュースリリース

NEWS RELEASE 2023

- 6/12** 量子技術の教材データベースをNIIが中心となってオープン提供 ～九大、慶大、名大、東大との協働で量子技術の人材育成を推進～
- 5/24** NIIによるフェイク顔映像の真贋自動判定プログラム「SYNTHETIQ VISION」のライセンス事業者を募集 ～NIIの最新AI研究成果を社会に広めるパートナー企業を求む～
- 5/23** NIIオープンハウス6月2日(金) 基調講演は生成系AI 3連発 ～最新のフェイクメディア検出技術ほか最新研究も幅広く紹介～
- 5/15** 6月3日(土)NIIでプログラミング的思考を学ぶ ～コンピュータサイエンスパークを東京都千代田区のリアル会場で開催～
- 5/2** NIIウィークス2023でNIIの活動を幅広く紹介! ～学術情報基盤オープンフォーラム、NIIオープンハウス、ジャパン・オープンサイエンス・サミットを連続開催～

## Facebook

<https://www.facebook.com/jouhouken/>

## X (Twitter)

<https://twitter.com/jouhouken>

## YouTube

(音が出ます)

<https://www.youtube.com/user/jyouhougaku>

## 情報犬ビットくん

X (Twitter)

[https://twitter.com/NII\\_Bit](https://twitter.com/NII_Bit)

## NII Today ご意見募集中

[www.nii.ac.jp/today/iken](http://www.nii.ac.jp/today/iken)

## メルマガ 購読随時受付中

[www.nii.ac.jp/mail/form](http://www.nii.ac.jp/mail/form)

## 受賞

AWARD 2023

- 7/31** 越前 功 教授(情報社会相関研究系)、山岸 順一教授(コンテンツ科学研究系)、NGUYEN Hong Huy 特任助教(情報社会相関研究系)らの論文が2022年度 電子情報通信学会 情報・システムソサイエティ論文賞を受賞
- 7/23** 神門 典子 教授(情報社会相関研究系)らの論文が国際会議 ICTIR 2023のBest paper awardsを受賞
- 7/21** 郡 茉友子さん(NIIリサーチ・アシスタント/総研大情報学コース、蓮尾研究室)、蓮尾 一郎 教授(アーキテクチャ科学研究系)らの論文が国際会議 CAV 2023のCAV Distinguished Paper Awardを受賞
- 7/13** 井上 克巳 教授(情報学プリンシプル研究系)らの論文が国際会議 ICLP 2023でThe 10 year test-of-time awardを受賞
- 7/1** 加藤 幹治 特任研究員(データサイエンス共同利用基盤施設 人文学オープンデータ共同利用センター)が2023年度仲宗根政善記念研究奨励賞を受賞
- 6/8** NGUYEN Hong Huy 特任助教(情報社会相関研究系)、山岸 順一 教授(コンテンツ科学研究系)、越前 功 教授(情報社会相関研究系)らの論文が2022年度電子情報通信学会論文賞を受賞
- 5/14** Paolo ARCAINI 特任准教授(アーキテクチャ科学研究系)、Ahmet CETINKAYA 元特任准教授が国際会議SBFT 2023のCyber-Physical Systems (CPS) Tool Competitionで1位を獲得
- 5/8** 越前 功 教授(情報社会相関研究系)らの解説記事が映像情報メディア学会誌の2022年ベストアティクル賞を受賞

今年度に開催されたNII主催イベントです。一部の講演映像は、NIIウェブサイトよりご覧になれます。

### イベント開催報告①

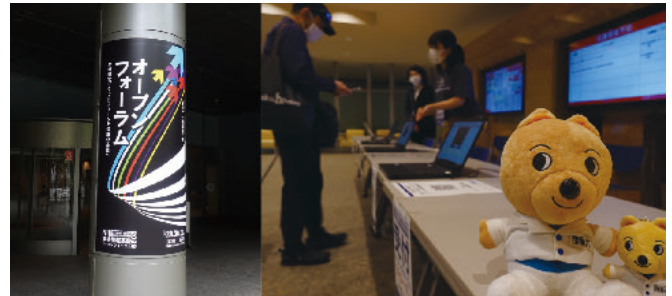
## 学術情報基盤 オープンフォーラム2023

開催日: 2023年5月29日(月)~31日(水)

ハイブリッド開催

<https://www.nii.ac.jp/openforum/2023/>

このイベントは、ネットワーク基盤「SINET6」と研究データ基盤「NII RDC」を中核とする『学術研究プラットフォーム』をより深くご理解・ご活用いただくとともに、さらに発展させていくことを主眼に大学等の皆様と意見交換を図る場として毎年開催しています。本年は初めてのハイブリッド開催とし、講演ごとに現地会場(一橋大学 一橋講堂)またはオンライン会場を設け、延べ4,800名以上の方にご参加いただきました。



### イベント開催報告②

## NIIオープンハウス2023

開催日: 2023年6月2日(金)、3日(土)

リアル開催(一部オンライン配信)

<https://www.nii.ac.jp/openhouse>

NIIオープンハウスは、研究成果発表・一般公開を目的として年に1回開催しています。今年度は、4年ぶりに千代田区一ツ橋の実会場を中心に開催。台風接近による悪天候にもかかわらず、リアル会場には多くの方にお越しいただきオンラインを含め1,200名以上が参加されました。研究者から直接研究成果を聞くデモ・ポスターセッションほか、ChatGPTをテーマにした基調講演や産官学連携セミナー、算数やプログラミングを遊び感覚で楽しむコンピュータサイエンスパークなど、大いに盛り上がりました。



→写真上段:ポスターセッションで研究成果を解説する研究者。中段:コンピュータサイエンスパークのロボット島(左)と算数島(右)。3段目:ポスターセッションでの犬型ロボットのデモと会場の様子。

## NIIサービス 説明会 2023

詳細はウェブサイトをご覧ください。

🔍 NIIサービス説明会2023 検索

大学・研究機関における研究・教育活動の基盤となる「学術研究プラットフォーム」として提供しているNIIの各サービスについて、最新の情報を皆様にご案内いたします。ご希望の機関様にはオンラインにて個別相談も承っておりますのでご活用ください。

説明会開催日程 ■ 10月17日(火) 大阪会場

■ 11月02日(木) 福岡会場

■ 11月21日(火) 東京会場&オンライン配信

個別相談week 10月18日(水)~11月20日(月) オンライン

※土日祝、説明会現地開催日を除く

## [ Essay ]

金融市場での  
悪いフェイクと良いフェイク

国立情報学研究所 情報社会相関研究系 准教授

水野 貴之

MIZUNO, Takayuki

**金**融市場は、ファンダメンタルの変動を除けば、基本的にゼロサムゲームと見なされる。この競争的な環境では、投資家は常に情報の先手を求め、他者を出し抜く戦略を模索する。衛星画像を通じての石油備蓄量の推定や、現地語で書かれた諸外国のローカル新聞の読み込み、さらには工場前での出荷の監視など、一分一秒を争って新鮮な情報を追求める。では、ソーシャルメディアで特ダネを発見したら、どうするだろうか？ まずは真偽の確認か、それとも情報の拡散状況の確認か？ マスメディアであれば真偽の確認だろうが、投資家にとって真偽はあまり関係がない。何より大事なのは、どれだけの他の投資家がこの情報を見て、そして証券を売るか買うかを、先行して察知することである。

2023年5月22日の朝、アメリカ国防総省の近くで爆発が起きたと称する画像がTwitterに投稿された。この画像は人工知能が生成したものであり、フェイクであった。ロシアの公式プロパガンダ機関であるRTが300万人のフォロワーに、そしていくつかのビジネスニュースのまとめアカウントが数百万人のフォロワーに、この情報を拡散した。これらのまとめアカウントの中には、Twitter Blue（従来の検証済みのチェックマーク

だが、最近はお金で買える）を得たフェイクニュース組織も含まれていた。拡散はSNSに留まらず、インドのテレビ局でも報じられた。これらの情報拡散により、一部の投資家は恐怖を感じたようで、アメリカの株価は、情報拡散直後から数分間で急落した。

投資家は多くの場合、情報の真偽を確認する前に行動をとる。そして、その情報が事後にフェイクであることが判明した場合、市場は速やかに調整する。だが、真偽の証明が難しいインサイダー情報がフェイクとともに提示されたとなると、市場で混乱が生じるリスクがある。これに対応するためには、情報の真偽を検証するだけでなく、それがどのように拡散され、どのように解釈され、そしてどのような行動へとつながるのかについての理解が求められる。

次に、「良いフェイク」の事例について紹介しよう。金融モデルは度々、その予測の不正確さについて批判される。しかし、人工的に生成されるデータ、すなわち「フェイク」が、この問題の解決策となる可能性がある。株価の動きは、「2年一昔」と言われるほど変化が激しい。そのため、モデルのロバスト性を高めようと長期間の株価データを使うと、過去の情報に適応したモデルになってしまう。逆に、最近

の情報に適応したモデルを作るために最近のデータだけを使うと、データ不足でロバスト性が下がってしまう。

そこで、GANを使った疑似的な株価時系列の生成がICAIF (ACM International Conference on AI in Finance) 界隈で流行している。フェイクでデータを増やすという手法だ。これは、高額な金融データをフェイクに置き換えることによって、モデル開発のハードルを下げるという意味合いもある。

株価時系列は、通常の時系列モデルで再現しにくい長期記憶やロングテールという困難な性質を持っており、これまで満足のいくフェイクを作るのが困難であった。しかし、生成AI技術の発展により、メカニズムはわからないものなのかなるかもしれない。ただ現状は、世に存在しないレベルの大量の学習用の株価時系列を必要としており、代替えるには、まだ道半ばである。

良くも悪くもフェイクは金融市場を変える契機となるだろう。金融取引のルールは19世紀以前からあまり変わっておらず、今回の悪いフェイクの事例だけではなく、実は、いろいろとほころびが出てきている。投機の要素もあながたも悪いフェイクの情報操作にも強い、革新的な金融システムの誕生が望まれている。

情報から知を紡ぎます。

NII

国立情報学研究所ニュース：NII Today 第100号 令和5(2023)年9月  
発行：大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所  
〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋2丁目1番2号 学術総合センター

本誌についてのお問い合わせ：総務部企画課 広報チーム  
EMAIL: kouhou@nii.ac.jp

発行人：黒橋 禎夫

編集委員長：越前 功

編集委員：池畑 諭、金子 めぐみ、込山 悠介、竹房 あつ子、水野 貴之(五十音順)

外部編集員：テックベンチャー総研、梶原 麻衣子

デザイン：FROG KING STUDIO

表紙イラスト：市村 譲

