Ⅳ
未来社会創造を実現するための活動報告

多様な学知が拓く未来

大学における知の創造は、研究者の自由な発想と探究心に支えられています。
学問分野の枠を超えた多様な研究活動は、新たな知見の創出のみならず、人類社会の未来を切り拓く可能性を秘めています。
本章では、東京大学における特色ある研究活動を通して、
多様な学知が生み出され、未来社会創造の源泉となる姿をご紹介します。



学術の多様性

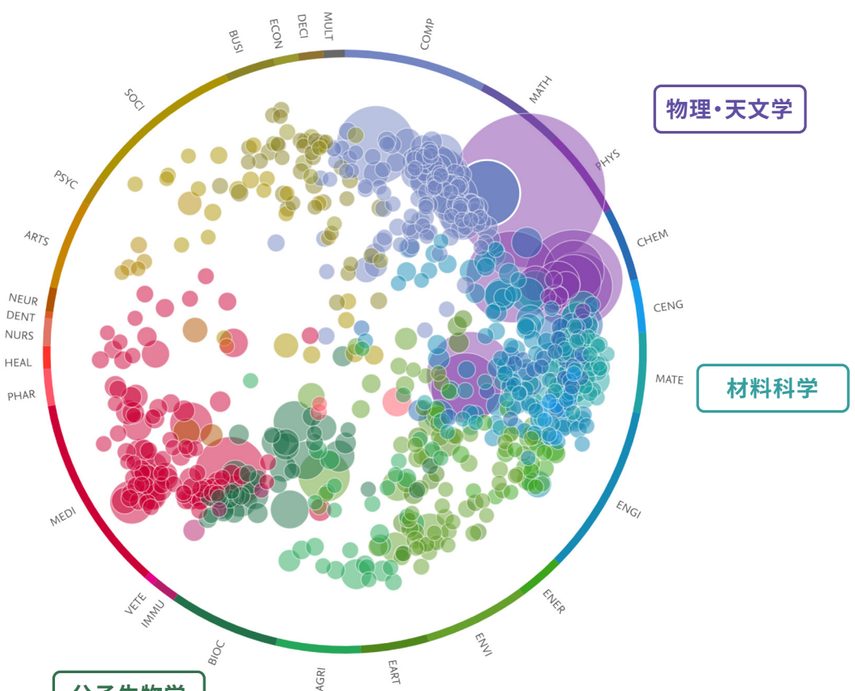
学術雑誌に投稿された論文は、研究成果を他者と共有するための基本的な手段であり、公表された文章やデータは、特に自然科学分野において主要な業績として位置付けられます。東京大学が2021年から2025年の間に出版した学術論文を、研究力分析ツールSciValで分類されている約95,000の研究トピックに照らすと、そのうちの17,394トピックに関わっており、実施されている研究がいかに多様であることがわかります。

下図は主に英語論文の被引用数や表示回数等から各研究トピックの中でTop1%の注目度に該当するものを、関連する研究分野上にマッピングしたものです。多くの最先端研究を実施している東京大学の卓越性と、英語論文における学問分野の多様性を示しています。

これらの論文の学術的インパクトは、被引用回数だけでなく、国連やWHO、世界銀行やIPCC（気候変動に関する政府間パネル）といった国際機関が発行する政策文書においてどれほど引用されているかによっても測ることができます。東京大学工学系研究科の坂田一郎 教授らの研究グループが、2015年から2023年の間にこれら国際機関の政策文書が引用した約23万本の論文を分析した結果※、世界の大学別引用ランキングで東京大学は115位（国内1位）となりました。国際機関が発行する政策文書は、気候変動、エネルギー、サーキュラーエコノミー、人工知能、COVID-19など幅広い分野の学術論文を引用しており、大学で生み出された知が国際社会の政策形成やルールメイキングを支えていることがわかります。

また、東京大学は「東京大学憲章」において、「広い分野にまたがった学際的な研究課題に対して、総合大学の特性を生かして組織および個人の多様な関わりを作り出し、学の融合を通じて新たな学問分野の創造を目指す」ことを掲げています。

例えば、工学・化学・生物学が融合して合成生物学へと発展したように、あるいは社会学と歴史学が融合して歴史社会学が発展したように、ただ多様であるだけでなく、既存の学問分野を融合させて新たな学問分野を創造・拡張していくことを目指しています。これまでの英知を結集した学術的知見に基づいて、東京大学は既存の学問分野だけでは解決困難な人類社会が直面する地球規模課題にも取り組んでいきます。



研究分野全体（外側の大きいサークル）における注目度の高い研究トピック（内側の小さいサークル群）のマッピング。円の中心に近いほど学際性が高い研究領域と考えられる。また、各研究トピックの大きさは出版された論文数に基づき、特に、物理・天文学、材料科学、分子生物学といった分野に東京大学の強みが表れている。
（SciVal データ取得日：2026年9月2日　2021-2025年の論文に基づく）

計算機科学	地球科学・惑星学	歯科学
数学	農学・生物科学	神経科学
物理・天文学	生化学・遺伝学・分子生物学	人文科学
化学	免疫学・微生物学	心理学
化学工学	獣医学	社会科学
材料科学	医学	ビジネス・経営学・会計学
工学	薬理学・毒性学・薬剤学	経済学・計量経済学・金融
エネルギー科学	健康衛生学	意思決定科学
環境科学	看護学	複合領域

※Asatani, K., Iwata, Y., Tomokiyo, Y., Mahfouz, B., Yarime, M., & Sakata, I. (2026). Structure of scientific knowledge flows to intergovernmental organizations. PNAS, 123(17), e2514861123.

研究成果の多様なアウトプットのかたち

ジャーナルに掲載される論文以外にも、研究成果はさまざまな形で表現されています。書籍や動画、アーカイブなどを通じて、研究者でなくても人文・社会科学を含む最先端の研究成果について知ることが可能です。下記それぞれのリンクから、東京大学の多様な学術の世界にアクセスしてみてください。

UTokyo BiblioPlaza

書籍

人文社会科学分野を中心とする教員の書籍を著者自身の言葉で紹介する、知のプラットフォームです。「本」を通して多様な学知と出会い、その拡がりや奥深さに触れることのできる学びの広場です。

東京大学教員の著作を著者自らが語る広場
UTokyo BiblioPlaza
Books written by UTokyo professors

UTokyo Channel

動画

UTokyo Channel
知をひらき、未来をひらく。
Opening knowledge, creating the future.

知と未来をつなぐ東京大学公式動画メディアです。4,000本以上の授業や講演、シンポジウムなどを公開しています。気になるトピックやキーワードから検索して、学びを拡げ、深めることができます。中高生向け動画や英語による動画も。

UTokyo Repository

リポジトリ

UTokyo Repository

東京大学における教育・研究活動の成果を電子的に蓄積・保存し、広く世界に発信する学術アーカイブです。学術論文をはじめ、研究報告書、図書、学会発表資料、授業教材など、多様な学術成果を公開しています。

東京大学デジタルアーカイブポータル

画像

古典籍・古文書、絵巻、写真、標本など、東京大学が所蔵する貴重な学術資産の画像を横断的に検索・閲覧できるサイトです。28万点以上の資料が、時代や分野を超えた新たな発見へ誘います。



東京大学コミュニケーションセンター UTCC

グッズ



大学と社会の相互交流を推進する場として2005年3月に生まれたUTCCでは、研究成果を活用した商品から大学ゆかりのモチーフをあしらったグッズまで、豊富なアイテムを企画・販売しています。赤門横の店舗のほか、オンラインストアでも商品をお求めいただけます。

コミュニケーションセンター 本郷キャンパス赤門北隣
営業時間：10:00～18:00／定休日：日曜、祝日／東京都文京区本郷7-3-1／TEL 03（5841）1039
オンラインストア https://utcc.u-tokyo.ac.jp/ ※営業日・営業時間は変更の場合もあります。お電話にてお確かめの上ご来店ください。

理学系研究科・理学部小柴ホール

世界平和に向けた記憶の共有と継承

戦争による「いたみ」は、時代や国境を越えて人々に受け継がれていかなければなりません。しかし現代では、ドローンやロボットなどテクノロジーの進歩によって一方的に痛みを与えることが容易になり、その痛みを想像することは以前にも増して難しくなっています。だからこそ今まで以上に求められるのが、他者の「いたみ」と向き合い、理解し合うための努力です。戦争と慰霊をめぐる国際比較研究は、過去を振り返るだけでなく、未来社会のあり方を問い直す試みでもあります。原爆慰霊、戦地遺骨収集など戦争死者の慰霊を中心とする現代宗教研究に長年携わり、国際比較研究のネットワーク構築にも尽力している西村明 教授（人文社会系研究科）にお話を伺いました。

戦争と慰霊をめぐる国際比較研究の意義

戦争は、敵と味方をはじめ、それまでの日常的な人間関係をも破壊するため、戦争が終わった後に傷ついた関係性を修復していくことも難しい課題になります。慰霊は、痛みを受けた者同士が立場を超えて悼み合うことによって、和解に向けた契機にもなり得ます。その一方で、戦争の記憶や追悼のあり方は決して一様ではありません。

戦争で命を落とすのはいわゆる味方だけではなく、戦没者の追悼のあり方は国や地域、文化によって異なります。また、同じ戦争であっても、立場によってさまざまな捉え方があると知ることが大切です。例えば、チャモロ人はグアムにもサイパンにも住んでいますが、太平洋戦争当時、グアムはアメリカ、サイパンは日本の統治下に置かれていました。どちらにも解放記念日がありますが、グアムの解放記念日は一時的な日本の占領から米軍によって解放された日を指す一方、サイパンでは戦後、米軍に占領されて収容所に入れられた後、収容所から解放された日を指します。日本側の視点だけでは見えなかったことが、国際比較研究を通じて見えてきます。



徳之島国際ユースキャンプ（次頁参照）の様子

――戦争と慰霊を考える国際比較研究のネットワーク構築に向けて、どのような活動を行っていますか。

2024年から徳之島国際ユースキャンプを毎年開催してきました。これは、奄美群島徳之島を舞台に、東京大学などの国内、韓国やフィリピンなどのアジア諸国、それにボスニア・ヘルツェゴビナの大学から招待する大学生・大学院生が、地元小中高生とも交流しながら地域の歴史や戦争の記憶を学び、立体的に考えるプログラムです。

また、2025年からヒューマニティーズセンター※1の起点研究としてヨーロッパ各地を訪問し、ゲストレクチャーなどを行いました。一方、ベトナム戦争の影響を研究しているオランダ戦争資料研究所のタム・ノー 上席研究員（兼エラスムス・ロッテルダム大学 寄付講座教授）を日本に招聘し、オープンセミナーを開催しています。ユースキャンプとも連携させることで、ネットワークをさらに重層的なものへと発展させたいです。

――慰霊の研究では実際に話を聞いて回るフィールドワークが重要になるのでしょうか。

テクストだけで研究できる場合もありますが、雰囲気などを含め、慰霊の現場で実際に行われていることがすべて言語化されるわけではありません。場の雰囲気が分かった上でテクストを読むと、ここでは本当はこう書きたかったのだろうとか、立体的に理解することができます。

また、やり取りを通じて、一方的な研究者目線では見えてこない、当事者にとって本当に大切なことが浮かび上がってくることもあります。4歳の娘に父親の死をいかに伝えるか苦心した話や、夫を失った後の生活上の困難などから慰霊のために戦地を訪れることが長年難しかった話などが印象に残っています。当事者にとって大切だと分かったことは、その後の研究に反映させていきます。もっとも、尋ねたからといって話してくれるとは限らないので、聞けなかったこともたくさんあると思います。



人文社会系研究科　西村明 教授

――テクスト研究についても大切にしていることを教えてください。

現在、科研費の研究課題で脇本平也資料のアーカイブ化に取り組んでいます。脇本平也は私の先生の先生に当たる宗教学者で、学徒出陣もしていますが、研究生活を通じて120冊ものノートを残しました。著作は読んでいましたが、直接教わったことはなく、研究に使ったノートを整理する作業を通じて、どのような道筋で物事を考えていたのか、いわゆるリバースエンジニアリング※2のようなかたちで理解が深まりました。これも、立体的に読むということにつながります。

脇本平也の『死の比較宗教学』という著作は、脇本平也の恩師である岸本英夫の『死を見つめる心』を受けて、自らの出征体験も含めながら書かれています。さらにそれが脇本平也の弟子の島薗進らによって「死生学」プロジェクトに発展していくという流れがあり、先人の学知や経験を共有の財産として後世のために発展させながら継承していくことが重要です。

――さまざまな観点から慰霊の研究を進めてきて、慰霊というものをどのように捉えていますか。

慰霊の本質には、それをせずにはいられない、忘れたくても忘れられないということがあります。葬式や供養には、生者の世界から切り離して死者として安定的な場所に位置付け直すという側面がありますが、慰霊が同じ強度で繰り返されるということは、問題が解決されておらず、終えたくても終えられないということを示しています。広島平和記念資料館や長崎原爆資料館でも、戦争の危機が高まると入館者数が増えるという傾向があります。

慰霊の場では、死者の霊を慰め、死者と向き合うことを通じて、生きている人間の側が照らし返されることにもなります。過去の存在となった死者について考えることで、これからの自分の生き方、あるべき社会の方向性を考えるきっかけにもなるということです。

――より良い未来社会に向けて人文学が果たす役割をどう考えていますか。

人文学の意義は、過去の出来事や知見を膨大なテクストとして蓄積しているため、それを参照点にできるということです。科学が発展して、人間も成長しているようですが、一人ひとりの人間はゼロからのスタートです。人間の本質は昔からさほど変わっておらず、人間が抱えてきた課題は、形を変えて繰り返されています。他の分野において解けない複雑な課題のヒントが、人文学に潜んでいることもあります。即効性のない分野ですが、それだけ奥深く、じわじわと効き目を発揮する探求しがいのある領域です。

他方で、人文学は生成AIとの親和性が非常に高いです。生成AIは言語モデルで学習していくので、使いようによっては、特にテクスト研究において今まで追いつかなかった人文学の研究をかなり広げてくれる可能性があります。しかしながら、研究対象のすべての要素が言語化されているわけではありません。必ず「簡単にデータ化できない部分」が存在しています。そのような部分でますます人文学の本領を発揮できそうです。あらゆるものがデータ化されていくこれからの時代、とりわけ人間くさい研究が大事になると考えており、視点を変えて……例えば、喜怒哀楽の宗教学といったテーマにも取り組んでみたいですね。

※1 人文学および隣接諸分野における卓越した研究者により、部局横断的に新たな研究協創のプラットフォームを目指す連携研究機構。
※2 既存のハードウェアやソフトウェアを解析することで、その仕組みを明らかにすること。



オランダ国立戦争資料研究所でのゲストレクチャー後の意見交換の様子。



脇本平也の出征旗。脇本の恩師岸本英夫は、「戦場で捨てた命を絶対に拾ってこい。そうして、はじめて君たちの宗教学は本物になる」と送り出したという。

1



2



3

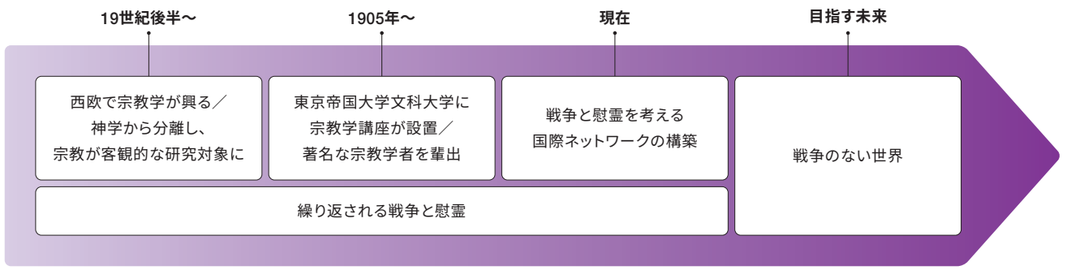


4



1.「死を見つめる心」…10年間にわたるガンとの闘病を通じて生と死について感じ考えたことを記した岸本英夫の著作（1973、講談社文庫）。 2.「死の比較宗教学」（叢書 現代の宗教 3）…己の死、汝の死、社会的成員の死という観点から死の意味を考察した脇本平也の著作（1997、岩波書店）。 3.「死生学1」（死生学とは何か）…死生学は、医療や介護、生命倫理も含めた多角的な観点から生と死について考える新たな学問。島薗進らの編著で、全5巻（2008、東京大学出版会）。 4.「戦後日本と戦争死者慰霊―シズメとフルイのダイナミズム」…長崎原爆慰霊を通じて死者への向き合い方を問う西村教授の著作（2006、有志舎）。

社会へのインパクト



「食」から広がる人と地球の未来

「今日のランチは734kcal。タンパク質が30g、脂質が36g、炭水化物が79g。そしてその食事のために動かされた地球資源の量、9kg」。そんな会話が食卓で交わされる日も遠くないかもしれません。限りある資源を守りながら、人々の豊かな暮らしにも寄り添い続けること―画像認識と機械学習を駆使し、人と地球の健康のために奔走する一研究者の取り組みをご紹介します。

私たちが日々手にする製品や食べ物。その一つひとつが生み出されるまでに、どれほどの地球資源が動かされているのでしょうか。これを表す指標のひとつが、TMR（Total Material Requirement：関与物質総量）です。TMRには、直接使用される原材料の量だけでなく、生産設備で使用される燃料、農作物の肥料、さらには土壌や道路の開拓に伴って取り除かれる土壌や樹木の量なども含まれます。例えば、牛肉を1kg生産する際のTMRは、49.3kg。これは、他の肉類や畜産物と比べても突出して高い数値です（図1、2）。

この指標を人々の食に結びつける健康支援サービスの開発に臨んでいるのが、情報基盤センターの山肩洋子 教授です。専門とする画像認識と機械学習の技術を応用し、同センターの相澤清晴 特任教授と共同で提供するサービス「FoodLog Athl」は、食事画像から食事内容を認識し栄養管理を補助する従来のサービスに、栄養士とのコミュニケーションをサポートする機能を加えて発展させたものです。山肩教授は、このサービスをさらに発展させ、食事の栄養価だけでなく、食事による環境影響も自動算出する機能の実装に取り組んでいます。立命館大学の山末英嗣 教授と共同で、大規模言語モデルを用いて食品のTMRデータベースの拡充・改良に取り組む一方、食品ごとのTMRデータを「FoodLog Athl」内の各食材の栄養データベースと結びつけ、食事全体のTMRを算出できるように試みています。



情報基盤センター 山肩洋子 教授
「料理は最も身近なものづくり」栄養管理からプラネタリーヘルスまで、画像認識・機械学習の幅広い分野への応用に取り組んでいます。

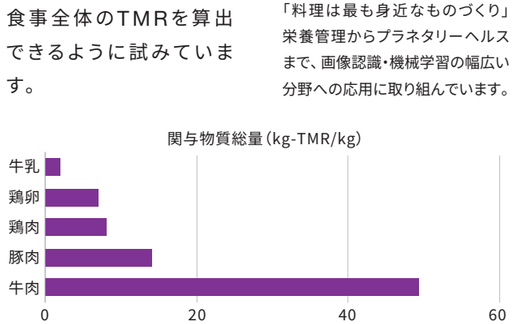
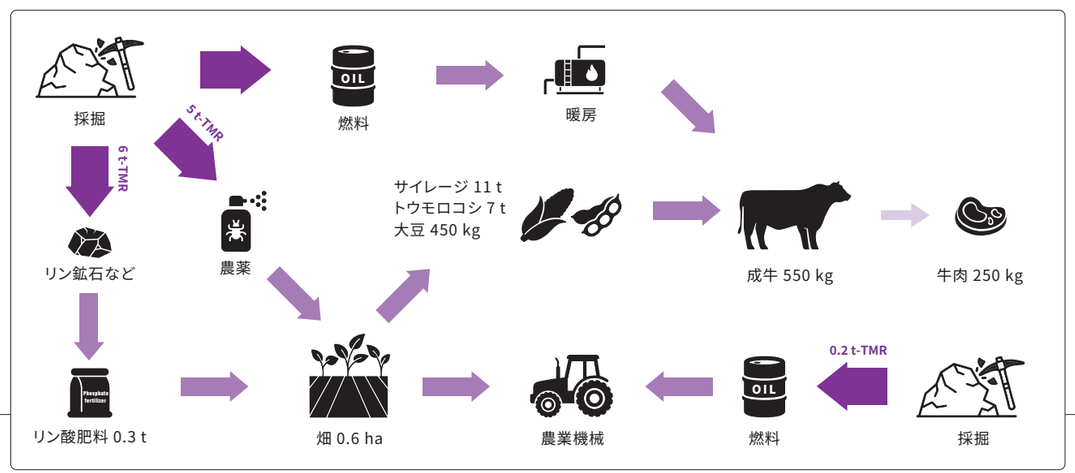


図1 日本における代表的な肉類・畜産物1kgあたりのTMRの例。牛肉はTMRが他の食品よりも際立って高く、それを食材として含むレシピは、おのずとTMRも高くなる。

図2 牛肉のTMRを算出する際に考慮される生産過程。飼料の栽培にかかる肥料、耕運機や暖房などにかかる燃料等、さまざまな要素が含まれる。



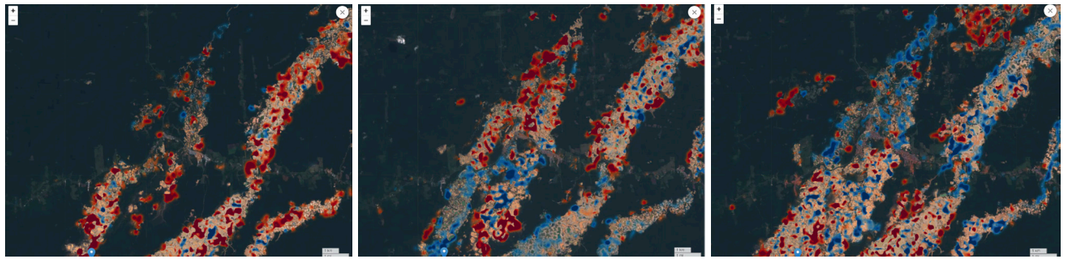


図3 衛星画像を解析することでASGMの採掘活動の活性度を推定する手法。図はペルーの「La Pampa」の例。赤いほど採掘が活発に行われており、青いほど活動が沈静化していることを示す。（左）2018年、（中央）2022年、（右）2025年で採掘場が移り変わっていくことが分かる。
衛星画像はSentinel-2のものを使用（Contains modified Copernicus Sentinel data 2026）。

「必要な食事は人それぞれです。食事を選ぶ際の参考指標をひとつ増やすことで、どちらの食事でも良いような場合に、TMRの低い方を選んでもらえたら」と山肩教授は語ります。日本では、栄養成分は、原則として文部科学省より公表されている「日本食品標準成分表」に基づいて算出されています。将来的には「日本食品標準成分表」にもTMRをはじめとする環境影響指標が併記されるように、山肩教授は働きかけ続けています。

また現在、山肩教授は地球環境に直接影響することの研究にも目を向けています。東北大学の松八重一代 教授およびエネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）との共同研究で、衛星画像からASGM（Artisanal and Small-scale Gold Mining：小規模金採掘）に伴う土地改変量を自動監視する技術の開発です（図3）。

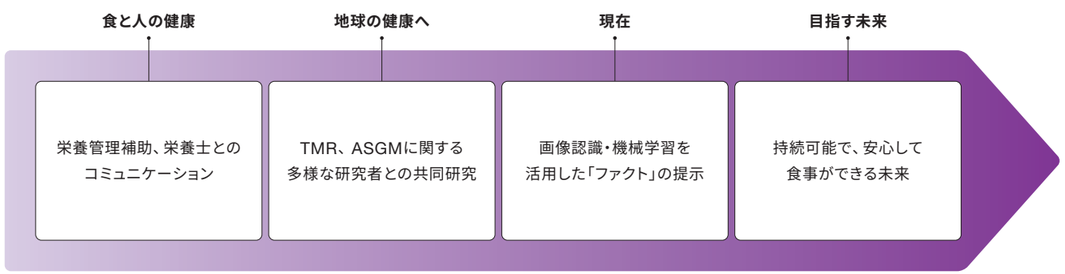
ASGMでは、採掘物から金を取り出すために水銀を用いた「アマルガム法」※が広く使われるため、土地・河川の水銀汚染が進み、健康被害への懸念も生じています。ASGMの多くは、発展途上国で行われています。このまま汚染が進めば、それらの国の多くで収入の要となっている第一次産業を損なうだけでなく、生活用水すらも輸入せざるを得なくなります。一方で、貧困や高い失業率により、短期的に高収入を得られるASGMへの依存度は高く、取り締まりだけでは効果が限定的です。さらに、ASGMは小規模・同時多発的に行われるために、発生地点や規模の正確な把握が難しいこと、現地の人々にその害が十分に認識されていないことも課題です。自動監視技術によってASGMの発生を迅速に把握することは、こうした問題に対処する第一歩とも言えます。

「とにかくデータを集め、ファクトを示していくこと」と山肩教授は自らの研究者としての立場を説明します。私たちが何かを選択するとき、最終的な意思決定は、そのコンテクストと切り離すことはできません。しかし、当事者をとりまくさまざまな要因が複雑に絡み合う中で、今起こっている事実を迅速に、かつ正確に示すことによって、人々の意思決定はファクトをも意識した選択に少しずつ変わっていくかもしれません。

「将来にわたって、持続可能で、安心して食事ができるように」。食に始まり、人と地球の健康へ。山肩教授の試みはこれからも続きます。

※金を含む採掘物を水銀と混ぜて加熱し、金と水銀の合金であるアマルガムを作り、アマルガムを更に加熱することで水銀だけを蒸発させ金を取り出す方法。高度な設備や知識を要しないため、ASGMを行う人々の間で広く普及している。

社会へのインパクト

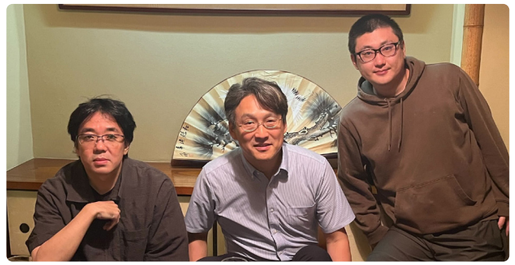


3次元全細胞アトラスが導く、新しい医療の未来

1665年、ロバート・フックが自ら設計した顕微鏡でコルクを観察し、「細胞」を発見してからおよそ360年。独自開発の顕微鏡を用いてマウスの全身の細胞をすべて3次元解析することに成功したのは、東京大学が率いる研究グループです。生物学の、そして人類の大きな夢のひとつが叶いました。

医学系研究科の上田泰己 教授、吉田将太 客員研究員（研究当時。現在は東京大学病院病理部に所属する特任助教）、松本桂彦 客員研究員らによる研究グループは、2026年、マウスの全身にある細胞を記録した3次元アトラスの作成に成功しました。これは、いわば「細胞レベルの身体地図」。全身のどこにどの細胞があるのかを、細胞を一つひとつ見分けられる解像度で詳しく把握できる、世界初の画期的な成果です。

これまで、医学や生物学の研究では、組織を薄く切って顕微鏡で観察する2次元解析が主流でした。しかし、この方法では、例えば、病気の原因となる細胞の偏りや、希少な細胞を見落とす可能性があり、全身レベルで細胞を網羅的に把握できる解析基盤が求められていました。そこで、研究グループはまず、大人のマウスの脳を対象として、全細胞解析の研究を進めました。2018年には、1億個を超える脳の全細胞を網羅した3次元アトラス「CUBIC Brain Atlas」を構築し、世界中の研究者に活用されています。その次なる挑戦として取り組まれたのが、今回実現した、大人のマウスの全臓器、そして新生児のマウスの全身の3次元全細胞アトラスだったのです。



左から、松本客員研究員、上田教授、吉田特任助教。「全身のすべての細胞を捉える」という構想を、医学的な問いから装置開発、計算解析まで一貫して進められたのは、医学・生物学に加えて、光学、化学、情報科学の研究者が分野を越えて協働できる環境があったからこそです。良いチームを作るためには、違う分野の人がひとつ屋根の下で時間と空間を共有すること、互いにリスペクトを持つこと、そして「これができたらすごい」というようなフラッグ（目標）を共有することだと、上田教授は語ります。

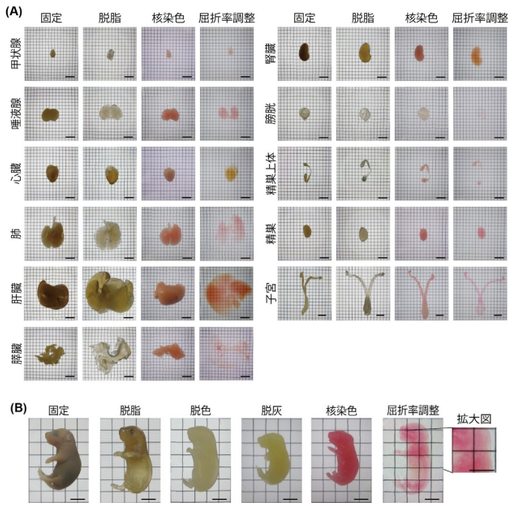


図1　成体マウスの11臓器（A）と新生仔マウス全身（B）の組織透明化

そして、撮影した画像を解析・すべての細胞の位置情報を記録し、3次元アトラス化して完成したのが、「CUBIC Organ Atlas」（図3）と「CUBIC Body Atlas」（図4）です。「最大の困難は、1個体あたり最大20TBに及ぶ画像から、数億個の細胞核を正確に検出・統合することでした」と、吉田特任助教は振り返ります。これらのアトラスを用いれば、健康な身体の細胞配置を基準として、病気や加齢、薬剤投与によって、どの臓器のどの細胞がどのように変化したかを全身規模で比較できるようになります。研究グループは、実際に、薬の投与による臓器障害、炎症時の免疫細胞の動きなどを解析できることも示しました。

今後、さらに研究が進めば、病気の早期発見、薬の効果や副作用の予測、従来の2次元の顕微鏡診断を発展させた「3次元病理診断」などへの応用が期待されます。「最終的には、病気をひとつの臓器だけでなく“全身の細胞の変化”として捉え、一人ひとりに適した予防・診断・治療を選択できる社会の実現に貢献したいと考えています」と目標を語る吉田特任助教。CUBIC Atlasは、医学研究や医療のあり方が大きく変わる未来へと、私たちを導く地図でもあるのです。

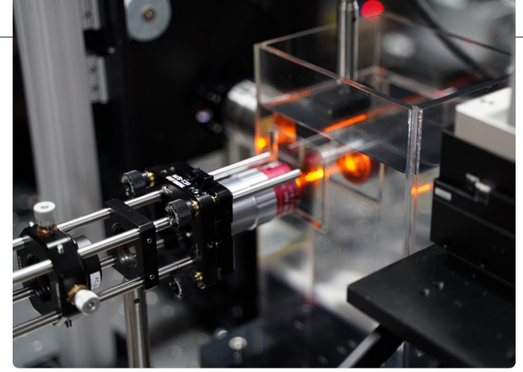
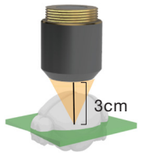
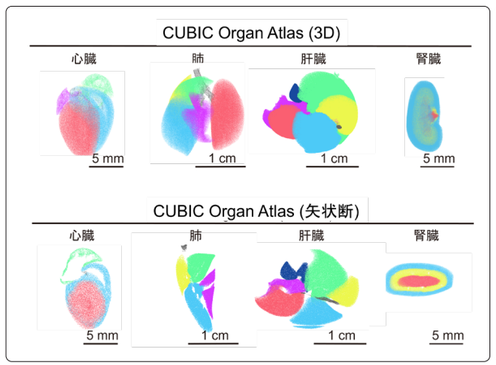


図2　ライトシート顕微鏡「exMOVIE」。試料の横からレーザー光を当て、薄い光のシートで断面を切るように照らしながらCTスキャンのように撮っていく。片面3cmずつ、裏表で最大6cmのサンプルを撮影できる。「高速で撮影しながらでも常にピントが合うように自動調整するアルゴリズムを開発しました」（松本客員研究員談）



3次元全細胞アトラスの動画はこちらから



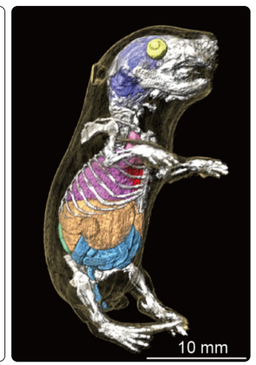
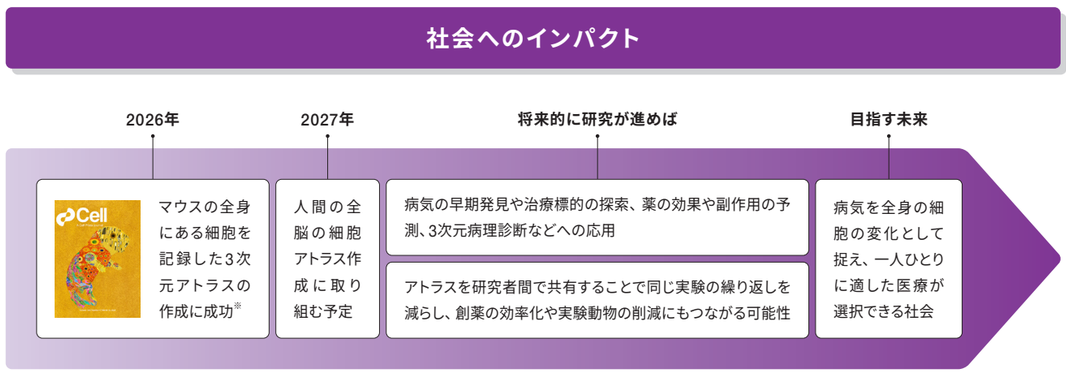


図3（画像左）　臓器の3次元アトラス。上段はアトラスの全体像、下段は体を左右に分ける方向（矢状断）で切った断面像。
図4（画像右）　全身の3次元アトラス。新生仔マウスの全身には、雄の場合で平均約6.1億個、雌では平均約5.3億個の細胞が存在することが明らかになった。

社会へのインパクト



※論文が掲載されたCell誌のカバーアートは、学部学生の岡見知明さんの作品。クリムトへのオマージュにセンスが光ります。

天文学×シミュレーション×AI ―天の川銀河の謎に迫る―

私たちが暮らす地球は、天の川銀河を構成する無数の星々のひとつである太陽の周りにあります。銀河は、どのように生まれ、現在の姿へと進化してきたのか―長年の研究を経ても今なお残る謎に、シミュレーションとAIを融合した新たなアプローチで挑みます。

宇宙はどのように始まり、銀河や星、そして地球は、どのように形成されたのでしょうか。こうした謎を解き明かそうと、人類は望遠鏡を宇宙へ向け、さまざまな天体や現象を観測してきました。なかでも銀河は、宇宙の成り立ちや進化を探る上で重要な研究対象のひとつで、太陽系が属する天の川銀河も、その成り立ちや構造には多くの謎が残されています。しかし、私たち自身が銀河の中にいるため、その全体を外側から眺めることはできません。また、銀河は数十億年という長い時間をかけて変化するため、その進化の過程を観測によって直接たどることはできません。そこで、理学系研究科の藤井通子 教授は、観測によって得られた断片的な情報と理論をシミュレーションで結び、その長期的な変化をたどることで銀河の謎に挑もうとしています。「観測で見えないものや長い時間スケールのものを可視化する手法のひとつがシミュレーションです」と藤井教授は説明します。

時間的・空間的に極めて大きな広がりを持つ銀河のシミュレーションを行うことは容易ではありません。銀河の基本的な構成要素である星、星間ガス、ダークマターを多数の「粒子」として表現し、物理法則に基づいてその動きや状態の変化を計算します。計算は「富岳」などのスーパーコンピューターで行いますが、それでも膨大な時間がかかるため、計算できる量に限りがあります。

さらに銀河の中では、星の形成や超新星爆発など、時間的・空間的な規模の異なる現象が相互に影響していますが、広大な銀河全体を計算しながら、局所的かつ短時間に起こる現象まで一つひとつ詳しく再現することは困難です。そのため、物理法則に基づく「サブグリッドモデル」という仕組みを用いて、これらの現象の影響を簡略化して表現します。

しかし、計算量の制約から、これまで星一つひとつを扱えるほど精細に再現できたのは、天の川銀河の100分の1程度の規模の銀河に限られていました。そこで藤井教授らの研究グループは、特に計算負荷の大きい超新星爆発に着目し、その変化をAIで予測することで計算負荷を大幅に軽減しました（図1、2）。これにより、星一つひとつを扱える精細さで、天の川銀河全体のシミュレーションを世界で初めて実現しました（図3）。藤井教授は、このAIによる予測を、物理計算に取って代わるものではなく、新しい形のサブグリッドモデルともいえる手法と捉えています。このように大規模な計算の一部をAIによる予測で置き換えることは有効である一方、科学的正確さを追求するには、その予測がどこまで妥当なのかを慎重に検証しなければなりません。藤井教授は、AIを適用する範囲を見極めながらも、究極的には全ての現象を直接計算することを理想としています。

こうして実現したシミュレーションによって得られたデータを解析することで、天の川銀河の中で星がどのように生まれ、星がつくり出した元素がどのように広がってきたのかを探る手掛かりが得られると期待されます。それは、太陽や地球をはじめ、私たちを取り巻く環境や私たち自身をも形づくる元素が、銀河の中でどのような歴史をたどってきたのかを理解することにもつながります。「今回は、銀河円盤がすでに形成されたモデルから始めましたが、ビッグバン後の物質のゆらぎから天の川銀河が形成されるまでシミュレーションすることが次の目標です」と、藤井教授は次の挑戦を見据えます。

天文学には、今なお解き明かされていない謎が数多く残されています。「天文学はまだ分からないことの方が多く、解決すべきことはたくさんあります。素朴な疑問を掘り下げ、好奇心の赴くままに研究してもらえればと思います」と、これから研究を志す学生に向けて藤井教授は語ります。宇宙に残された無数の問いに向き合いながら、藤井教授の挑戦は続きます。



理学系研究科 藤井通子 教授
ハッブル宇宙望遠鏡が捉えた宇宙の姿に魅了され、天文学を志した藤井教授。大学でシミュレーション研究に出会い、宇宙の姿を計算によって解き明かす道へ進んだ。

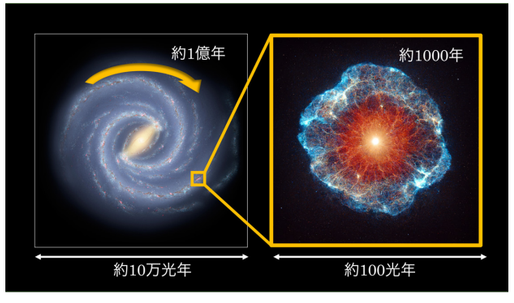
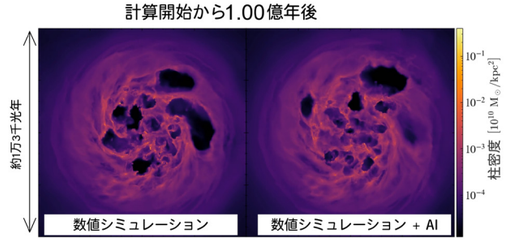


図1　銀河と超新星爆発の時間・空間スケール
約1億年で1回転する銀河と、約1,000年で広がる超新星爆発の影響。この時間・空間スケールの差による計算負荷を軽減するため、爆発前後の状態をAIに学習させ、爆発による影響を予測した。
クレジット：NASA/JPL-Caltech/ESO/R. Hurt、平島敬也



※色はガスの分布を示し、明るい部分ほど多くのガスが密集

図2　小規模銀河シミュレーション結果の比較
計算開始から1億年後の銀河。シミュレーションのみの結果（左）と、AIによる予測を組み込んだ結果（右）。計算時間を大幅に削減しながら、従来のシミュレーションと大きく変わらない結果を得た。
出典：Hirashima et al., *The Astrophysical Journal*（2025）

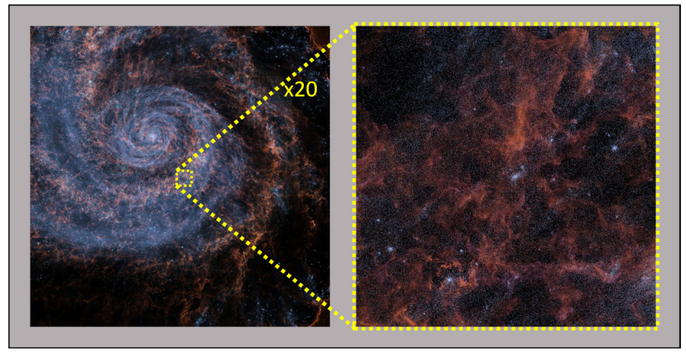
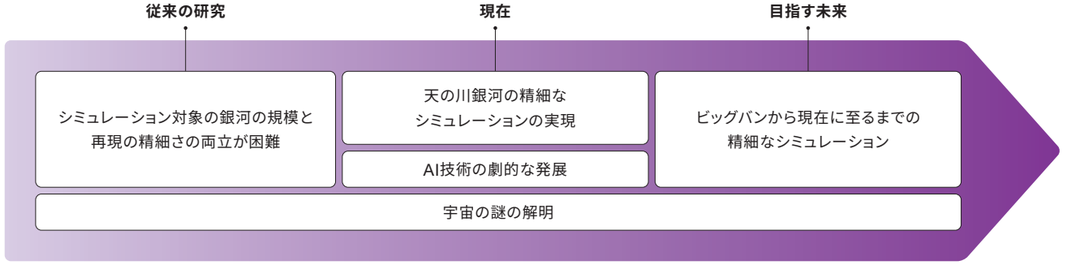


図3　AIによる予測を組み込んだ天の川銀河シミュレーション
星一つひとつを扱える精細さで再現した天の川銀河（左）と、その一部を20倍に拡大した様子（右）。拡大図では、星を表す白い粒を一つひとつ確認できる。
クレジット：平島敬也

社会へのインパクト



SPECIAL COLUMN

世界の公共性を守るのは誰か?

気候変動ガバナンスが問いかけるもの

新領域創成科学研究科・教授　亀山康子



2024年に開催されたCOP29 エントランスゲート（アゼルバイジャン共和国・首都バクー）

地球温暖化とその結果としての気候変動は、地球規模での喫緊の課題だ。しかし、これまでの対応は不十分で、地球の平均気温は確実に上昇し、近年では夏の猛暑や集中豪雨、干ばつによる森林火災など、影響が顕著になってきた。

地球温暖化の原因は、温室効果ガスの大気中濃度の上昇である。温室効果ガスの中でも特に二酸化炭素は、石炭や石油、天然ガスのいわゆる化石燃料の燃焼が主な排出源である。人類のエネルギー消費の増加とともに、19世紀後半以降、排出量は増加し続け、大気中濃度も上昇し続けている（図1）。世界の排出量の伸びは近い将来頭打ちになると期待されているが、大気中濃度を減らすには、森林による吸収などで大気中から除去されなくてはならない。現在すでに地球平均気温が1.5℃ほど上昇しており、今後さらなる上昇が避けられない。将来、気温を1.5℃の水準に戻すためには、二酸化炭素排出量を2050年までに実質ゼロ（排出した分はすべて吸収）にしなくてはならないと言われている。

この問題が科学者によって指摘され国際問題となったのは、1980年代である。1992年には、温暖化対策を目的とした初の国際条約である国連気候変動枠組条約が採択された。つまり、30年以上前からこの問題を深刻に受け止めていた人々がおり、国際合意が得られていたにもかかわらず、取り組みが十分に進まなかったことになる。なぜ、進まなかったのか。



1995年にドイツ・ベルリンで開催されたCOP1（国連気候変動枠組条約第1回締約国会議）

国際関係論という学問分野では、問題が地球規模である以上、国際条約で解決に導くのが当然と考えられ、いかなる条約であれば実効性が担保されるかという観点から研究が進められてきた。気候変動に対処するための国際条約には、いくつかの障壁があった。例えば、国際条約は、参加が任意であることだ。義務が厳しすぎると、脱退する国が出てきてしまう。主要排出国が脱退してしまえば、条約が意味をなさなくなる。主要国の参加をつなぎとめるためには、最低限の内容で条約を取りまとめるしかない。最新の合意文書であるパリ協定（2015年採択）でも、締約国の義務は最低限しか書かれていない。

科学的不確実性も、対策を遅らせる一因となっていた。人間活動以外にも気温上昇の自然要因があるのではないか、たかが1、2℃の気温上昇がそれほど深刻なのか、という疑問に科学者がひとつずつ回答するのに長年かかり、その間にも温暖化が進行してしまった。

さらに問題解決を困難にしているのが、エネルギー利用と密接にかかわっている点である。エネルギー資源の確保は国の重要課題である。石炭や石油を使わないという選択肢が支持されるためには、再生可能エネルギーなど代替手段が安価に得られなくてはならない。

さて、上記の障壁を認識しつつ、問題を深刻に受け止めた国から対策が徐々に進められていった。結果、小さな取り組みの蓄積が、近年の大きな変化を生み出している。まず、欧州など一部の国／地域が導入を推し進めた結果、再生可能エネルギーの価格は大幅に下がり、一部では石炭や石油よりも安価なエネルギーとなった。世界全体での再生可能エネルギー発電容量は、2025年1年間で前年比15.5％の伸びを示している。

脱炭素関連技術の成長に合わせて、それを売りにする企業も増えている。2017年に気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）という国際組織がとりまとめた報告書を契機に、世界の主要企業は気候関連リスクに関する情報を開示するようになった。温暖化対策関連の技術開発は、大きなビジネスチャンスとなる。逆に、対策が遅れている企業は中長期的に危ない企業とみなされる。投資家や株主はその情報を踏まえて投資判断する。

企業が経営判断として温暖化対策に動くようになると、国際条約の役割が変化する。2026年9月現在、米国はパリ協定から脱退し、国連気候変動枠組条約からも離脱の意志を表明しているが、米国内では引き続き再生可能エネルギーや蓄電技術に対して大規模な投資が続いている。国際条約の限界を、企業や自治体などの自発的な動きが補っているのだ。

さらには、科学的知見の進展が後押ししている。イベント・アトリビューション（ある極端気象の発生確率や強度について、人為起源の温暖化の影響とその他の自然変動の影響を分離・定量化する解析手法）を用いて、猛暑や台風などの極端気象現象と温暖化との因果関係を短時間で提示できるようになり、日本でも東京大学の教員が中心となって立ち上げた極端気象アトリビューションセンターが、情報提供を行っている（図2）。温室効果ガス排出と、その結果としての異常気象による被害との因果関係を示すことで、責任の所在を明らかにできるようになった。

2025年7月の国際司法裁判所による「気候変動に関する国家の義務」に関する勧告的意見では、慣習国際法や人権法などに基づき、1.5℃目標に向けて排出削減を実施することが、国連気候変動枠組条約やパリ協定の締約国であるか否かにかかわらず、国の義務であるとされた。この意見自体も、国への拘束力は限定的であるものの、今後は国内および国際訴訟における法的基盤を提示するものとなると言われており、対策が不十分な企業は訴訟リスクに直面することになる。

このように、国際関係論の観察対象である国際ガバナンスの大幅な変遷は、学問の分析枠組みの発展にもつながっている。国という行為主体の関係だけを見ていては不十分で、その内側にある企業や自治体、市民団体などのいわゆる非国家主体が国際関係に直接影響を及ぼす点に留意しなくてはならない。昨今の複数の国家間紛争により、国際協調の機運は残念ながら後退しているが、そのような時代でも非国家主体の動向次第では、地球規模の目標を達成しうる時代になったことに、今後の希望を見いだしたい。



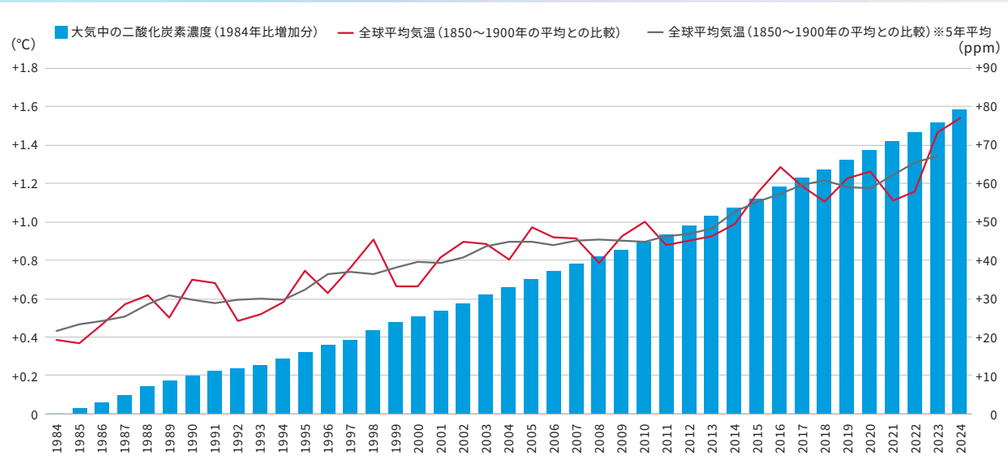


図1　大気中の二酸化炭素濃度と全球平均気温の推移（1984〜2024年）

出典：大気中の二酸化炭素濃度は温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）、全球平均気温はBerkeley Earthの公開データをもとに作成。
WMO Greenhouse Gas Bulletin, No.18, 2022. 26 October 2022 ISSN 2078-0796. Rohde, R. A. and Hausfather, Z.: The Berkeley Earth Land/Ocean Temperature Record, Earth Syst. Sci. Data, 12, 3469-3479, https://doi.org/10.5194/essd-12-3469-2020, 2020.

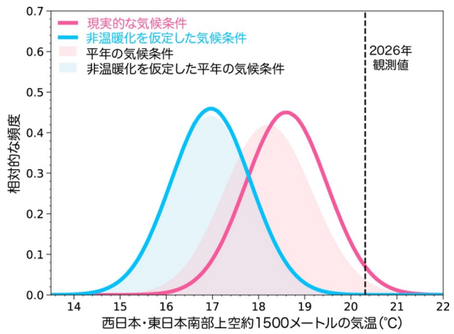


図2　2026年7月11日〜25日の西日本を中心とした記録的高温に対するイベント・アトリビューションの結果。この記録的高温は地球温暖化がなければ起こり得なかったと結論付けた。

出典：極端気象アトリビューションセンター「2026年7月中旬〜下旬前半の記録的高温　エルニーニョ下でも発生、地球温暖化がなければ起こり得なかった」（プレスリリース、2026年8月）より転載。
https://weatherattributioncenter.jp/wp-content/uploads/2026/08/WAC-analysis_July-2026-extreme-heat_press-release-1.pdf