

News Letter

[環境科学研究科ニュースレター]

東北大学大学院環境科学研究科
Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University



新たな脅威・新型ウイルス 感染症に科学で迫る

①

COVID-19の
時空間的推移を
可視化する

先端環境創成学専攻
都市環境・環境地理学講座
環境地理学分野
教授 中谷友樹

②

都市下水を調べて
新型コロナウイルスの
流行を追う

先端環境創成学専攻
太陽地球システム・エネルギー学講座
水資源システム学分野
准教授 佐野大輔



Research Report

リサーチ・レポート

①

日常の動作を電気に変える環境発電材料

先端環境創成学専攻 資源循環プロセス学講座 複合材料設計学分野 助教 栗田大樹

②

低コスト・高効率CO₂ 鉱物化技術の研究開発

先進社会環境学専攻 エネルギー資源学講座 国際エネルギー資源学分野 助教 王佳婕

トピックス

Topics

教えてください、

あなたの「ニューノーマル」

COVID-19の時空間的推移を可視化する

東北大学大学院環境科学研究科 教授 中谷友樹

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）が世界的に流行する中、日本国内の流行推移に関する時空間的な詳細は不確かなものでした。そこで、ボランティア地理情報の1種である施設での感染発生情報を利用し、流行推移の詳細を時空間の密度推定に基づいて可視化しました。これにより都市圏内部での流行の地理的拡大の経緯、流行の持続する「核」となる地区の存在等、対策に資する流行推移の時空間的特性が確認されることとなりました。

空間疫学とCOVID-19の地理情報

人の疾病や健康に関する集団的な挙動から、疾病対策あるいは健康増進の手がかりを得る研究領域が疫学であり、空間的なデータ解析を主たる方法とするその副次領域を空間疫学と呼びます。19世紀のロンドンにおいてコレラ患者の分布図にみられる患者の地理的な集中から、局地的なコレラ流行の要因に公共水道栓の存在を指摘した John Snow の取り組みは、空間疫学研究の嚆矢と位置付けられ（図1）、以来、流行推移の空間的実態の把握は、感染症対策に欠かせない分析作業となっています。

ただし、分布図の作成を基礎とする空間的なデータ解析には、基盤となる地図や統計情報の整備に加えて、様々なデータ処理上の手間や空間データに特有の分析手法が必要です。1990年代ごろから普及した地理情報システム(GIS)は、分布図による空間的なデータの視覚化に加えて、様々な空間データ解析の基盤となり、空間疫学の普及に大きく貢献しました。GISを利用した流行状況の分布図は、データ解析のみならず、流行対策に資する措置の説明や、日常生活空間での予防的な行動をとるきっかけとなることが期待され、非専門家に向けた情報配信の仕組みとしても利用されています。現在も続く新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の流行においては、2019年の暮れに中国武漢で報告されてより世界中へと流行地域を拡大した状況が、オンライン上の分布図から誰もが確認しうる形で配信されてきています（図2）。

しかし、日本国内においてはCOVID-19感染者に関する公的な情報は、多くの場合都道府県別の指標値に留まり、流行の地域的実態を空間疫学的手法で理解することは困難でした。一方で、公的な患者発生情報とは別に、商業施設

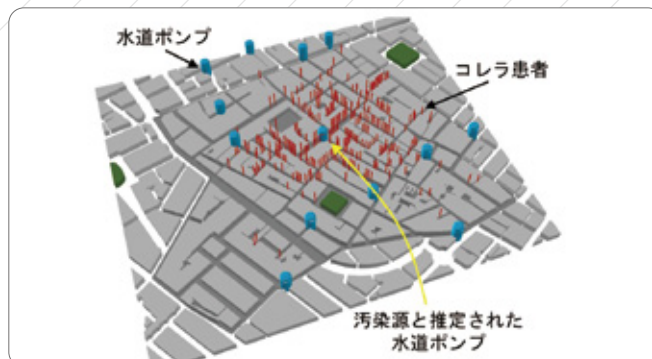


図1 Snowのコレラマップ(図解)

Snow(1855)の原図をGISによってトレースし、鳥瞰図的に示したもの。赤い細い棒はコレラ患者の居住地を、水色の太い棒は水道ポンプを表す。出典：中谷友樹。(2007). 地理空間から健康を理解する. 日本地球惑星科学連合ニュースレター, 3(3), 6-8.



図2 米国ジョンズ・ホプキンス大学の「COVID-19 感染状況ダッシュボード」
COVID-19の世界的な流行状況を示す代表的なオンラインマップ
URL: <https://gisanddata.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6> (2020年12月18日アクセス)

や飲食店、病院、オフィスなど各種の施設が、その関係者の感染発生についてインターネット上に情報を発出していることがあります。こうした、自発的な取り組みによってネット上に形成される地理情報は「ボランティア地理情報 volunteered geographic information (VGI)」と呼ばれ、近年においてその価値が繰り返し指摘されてきました。施設からの感染発生情報は、すべての感染発生を網羅するものではありません。しかし、公的な感染者数の動きと強く連動しており、施設の名称からその地理的位置を特定できるため、これまででない高い解像度での分析が可能となります。本資料を収集しデータ化するJX通信社の活動とここで紹介する本学との共同研究の経緯については、別の記事をご参考下さい。

(<https://jxpress.net/coronavirus-map-project/>)

COVID-19 時空間 3D マップ

JX 通信社によってデータ化された施設からの感染発生情報は、施設の位置する地理的座標と感染報告が最初になされた日付の時空間的な 3次元座標によって構成されています。この情報を俯瞰的に確認するために、時空間の 3次元空間(時空間キューブ)を利用し、感染発生施設の分布を可視化しました。ただし、点的な事象を 3次元空間内に配置すると、点の重なりや前後の位置関係の認知的な把握が困難になりやすいため、時空間カーネル密度推定を利用し、感染発生施設の時空間的な等密度面を示してあります。この等密度面は、雲のように表現されており、赤と青の領域はそれぞれ半径 4km 圏内で毎日 5 および 1 施設以上のペースでの感染発生報告が認められる範囲を示しています。灰色の領域は、4日に1施設以上のペースでの感染報告と対応しますが、これは感染が連鎖した場合の発症間隔 serial interval が平均的に 4~5 日程度とみなされていることを受けて設定してあります。これにより、いずれの色の領域であれ時間方向に「雲」が連続している場合には、その地域内での感染が連鎖している可能性を示唆することになります。

人の動きが緊急事態宣言で制約された流行の第 1 波と第 2 波の間には明確な空隙があります。ただし東京の都心部では

感染が残存し、第 2 波につながったことが分かります(図 3・4)。その地理的な拡大は主要な鉄道路線に沿って郊外へと伸びるとともに、別の大都市圏でのやや遅れた流行拡大とも関連しているようです(図 5)。感染発生が長期間持続するのは大都市の都心部に限定され、感染を持続させる「場」あるいは「環境」の存在を示唆しています。第 1 から第 3 波に共通して、大都市圏内部ではこの核となる地区から郊外へと流行の面的な拡大が進んできました。こうした位置精度の高い感染発生の時空間情報は、流行の持続性・拡大に関連する地域特性の抽出や、異常地検出といったさらなる解析を通して、時空間的に精密な流行への対応を可能とするポテンシャルを有しています。

東北大学大学院環境科学研究科
教授 中谷 友樹 (なかや・ともき)

専門は人文地理学、地理情報科学、空間疫学。
1997年東京都立大学大学院理学研究科地理学専攻博士課程修了、博士(理学)、立命館大学文学部教授等を経て、2018年4月から現職。

研究室：仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1
電話：022-752-2237
E-mail：tomoki.nakaya.c8@tohoku.ac.jp

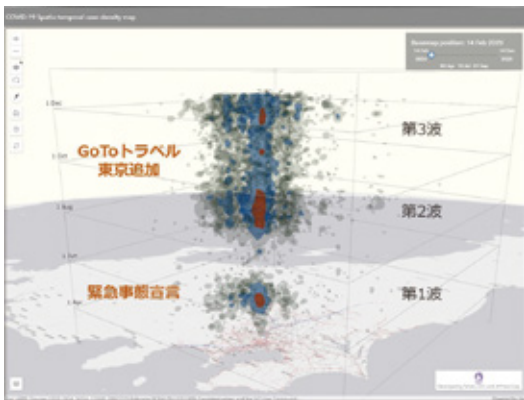


図3 COVID-19 時空間 3D マップ(首都圏版)
<https://nakaya-geolab.com/covid19-stkd/tokyo/>
(2020年12月19日アクセス) JX 通信社との共同開発

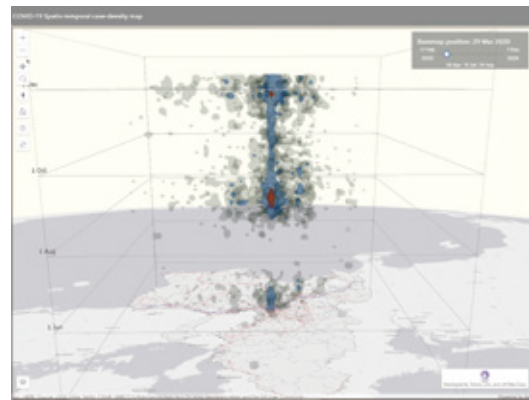


図4 COVID-19 時空間 3D マップ(関西圏版)
<https://nakaya-geolab.com/covid19-stkd/kansai/>
(2020年12月19日アクセス) JX 通信社との共同開発

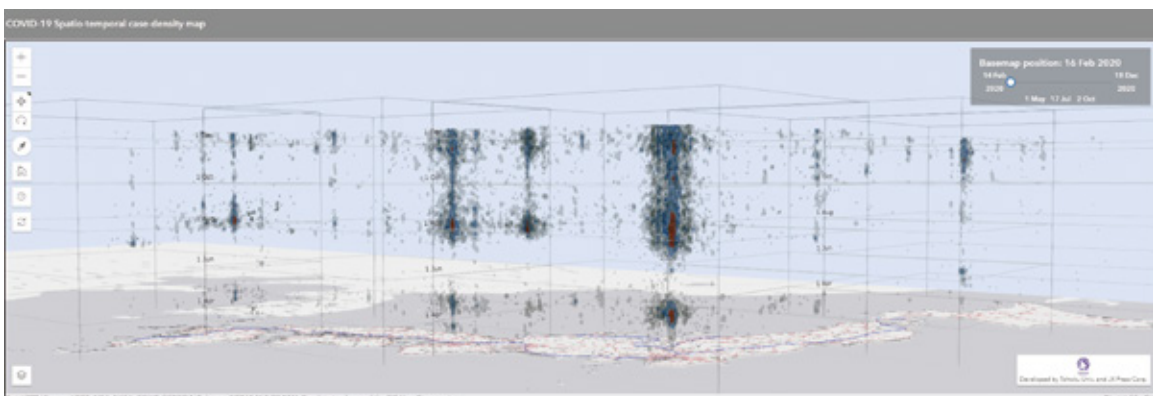


図5 COVID-19 時空間 3D マップ(全国版)
<https://nakaya-geolab.com/covid19-stkd/japan/> (2020年12月19日アクセス) JX 通信社との共同開発

都市下水を調べて新型コロナウイルスの流行を追う

東北大学大学院環境科学研究科 准教授 佐野大輔

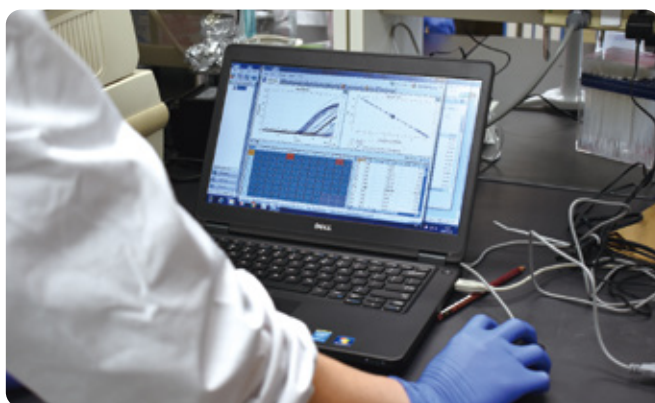
目に見えないウイルスによる感染者数の増減や地理的な広がりをどう把握すればよいのか—この問題は、COVID-19の流行にさらされている我々が直面している喫緊の課題といえます。この問題に対する有力なアプローチの一つが、「下水疫学」と呼ばれる分野における、下水中のウイルス濃度のモニタリングです。下水疫学分野は、疾病に関わる情報を下水水質から抽出及び活用を行う分野として発展してきました。当研究科の水資源システム学分野では現在、この下水疫学的手法を用いて仙台市建設局と共同で下水中コロナウイルス由来遺伝子の定量に取り組んでおり、遺伝子濃度情報の活用についても検討を進めています。

「下水疫学」とは？

COVID-19の世界的な流行に合わせ、「Wastewater-based epidemiology：下水疫学」なる言葉が広く使われるようになってきました。「下水疫学」の明確な定義は定められていませんが、一言で言えば「疾病に関わる情報を下水水質から抽出し、感染症流行情報として整理・活用する」分野であると言えます。「下水疫学」という言葉自体は、由来である医学分野の疫学の専門家には大変違和感のある言葉ようですが、下水分野の論文だけでなく世界中の新聞やテレビニュースで繰り返し使用されるようになっており、使用方法に異論のある中で1つの言葉が定着していく過程を目の当たりにしているのだと感じています。

下水疫学で得られる健康関連情報

疾病に関わる下水水質の情報については、以前から様々な報告が存在します。随分以前から農薬、有機溶剤、重金属などは検出対象でしたし、1990年代には医薬品やパーソナルケア製品に含まれる有害物質の検出が行われています。2000年代以降では、地域の違法薬物の使用状況を監視する目的で下水モニタリングが行われてきています。モニタリングの設計方法によっては違法薬物の使用頻度や使用場所が推定できますので、犯罪捜査に使用できるとして、アメリカでは下水中違法薬物調査のスタートアップ企業が立ち上がるなどしている他、オーストラリアや中国でも導入が検討されています。



下水疫学のアプローチは、公衆衛生的介入に関する意思決定にも利用されてきました。世界保健機関は、ポリオウイルス撲滅プログラムの一環として、ポリオウイルスの環境水サーベイランスを実施しています。下水中や環境水中からポリオウイルスを検出することで、間接的にその地域のウイルス排泄者（＝感染者）の存在を把握することを目的としています。2013年にはイスラエルで、下水中からポリオウイルスが検出されたことを受け、対象地域にワクチン介入が行われました。

ノロウイルスの経験を活かして

東北大学では、仙台市建設局、山形大学および株式会社日水コンとの共同研究により、下水中ノロウイルス濃度に基づいて仙台市内の下水処理区域の感染症流行状況を把握することを試みてきました。その結果、ノロウイルス患者数の増加に先立ち、下水中ノロウイルス濃度が上昇することが確認され、現在では下水調査を利用したノロウイルス早期検知システム（水監視システム）が運用されています。

このシステムでは、未処理下水中のノロウイルス遺伝子濃度を継続的に測定し、増加が認められたら情報を発信し、衛生的な行動を呼びかけることで感染性胃腸炎の流行を未然に防ぐことを目指しています(写真1)。現在は情報発信用のウェブサイトを開設し、情報を受け取りたい人がメールアドレスを登録することで(写真2)、下水中濃度に関する情報が得られるようになっていきます。非流行期のウイルス濃度レベルから算出した情報発信濃度を超過すると(写真3)、登録者に向けて注意喚起と感染予防対策に関するメール(写真4)が届く仕組みです。

今回、東北大学では、ノロウイルスに関する成功事例をもとに、早期検知システムを新型コロナウイルスへ拡張することを仙台市建設局との共同研究により試みています。感染者数が日本よりも100倍以上多い欧米諸国からの研究報告によると、COVID-19患者数と下水中新型コロナウイルス遺伝子濃度に有意な相関が見られ、入院の1-4日前また3-5日前に下水中から検出されるとしています。諸外国と比

べ相対的に感染者数の少ない日本において同じ結果が得られるのか、ノロウイルスと同様に早期検知に用いることができるのか、確認を進めています。現段階では、新型コロナウイルスの感染者の一部(全員ではないようである)が糞便中にウイルスを排出することは間違いないものの、感染者のうち何%が排出しているのか、曝露、感染、発症のどの段階で排出され始めるのか、排出期間はどの程度なのか、さらには症状が全く出ない感染者はウイルスを排出しているのか、などの情報が得られておらず、早期検知システムの確立には至っていない状況にあります。楽観的に考えれば、ノロウイルスと同じような早期検知システムが確立され、さらに非検出情報をもとに収束判断が可能となるなど、社会的に役立つ情報を提供することが可能でしょう。状況がノロウイルスとは異なり、早期検知が難しいとしても、下水中濃度の推移をもとに感染者数遷移予測を行うことで、向こう数週間に必要な病床数や治療薬の準備に関わる情報を提供できるようなシステム作りを行いたいと考えています。

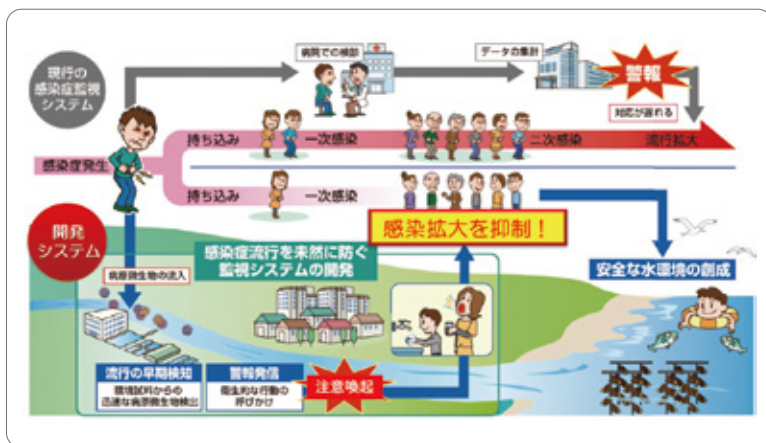


写真1：下水中ウイルス濃度に基づいた感染症流行早期検知システムの概念図

東北大学大学院環境科学研究科
准教授 佐野 大輔
(さの・だいすけ)



東北大学工学部土木工学科卒(1998)、東北大学大学院工学研究科博士課程後期修了(2003)、JSPS特別研究員、北海道大学大学院環境創生工学部門准教授、東北大学大学院工学研究科准教授を経て現職。

研究室：仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06
人間環境系教育研究棟 306

電話：022-795-7481

E-mail：daisuke.sano.e1@tohoku.ac.jp

写真2：下水中ノロウイルス濃度情報を得るためのメール登録画面



写真3：下水中ノロウイルス濃度情報

写真4：下水中ノロウイルス濃度が上昇した際の注意喚起・感染予防対策メール



日常の動作を電気に変える 環境発電材料

東北大学大学院環境科学研究科 助教 栗田大樹

栗田 大樹 (くりた・ひろき)

静岡県出身。東北大学大学院工学研究科博士課程後期3年の課程修了後、渡仏。ポルドー固体材料化学研究所研究員、フランス原子力庁サクレー研究所研究員、静岡大学工学部機械工学科助教を経て、2018年より東北大学大学院工学研究科助教、2020年より現職。



研究の背景と経緯

IoT (Internet of Things) と呼ばれる、あらゆるモノがインターネットにつながる技術が社会に大きな革新をもたらそうとしています。衣服、機器、工場など様々なモノにセンサや電源が搭載され、行動や傾向、状態が可視化されたデジタルデータとしてインターネットを経由してクラウド上に蓄積後、分析されます。我が国は世界に先駆けた「超スマート社会」の実現（第5期科学技術基本計画、Society 5.0）とその基盤技術の戦略的強化を掲げるなど、IoT 社会の実現を強力に

推進しており、その AI および IoT 技術が2030年までの経済成長に与えるインパクトは 132 兆円と試算されています（図 1）。それらの技術の普及がポストコロナ社会においてますます要求されることは容易に想像でき、IoT 社会の実現のために必要なセンサの数は 2033 年に 45 兆個に達すると予想されています。そこで、振動、熱、光、電波などの未利用のエネルギーから電力を回収できる環境発電材料の実用化が不可欠です。しかし、現在の環境発電材料が示す出力電力は数ナノワットからマイクロワット程度であり、環境発電材料の発電性能はセンサへの電力供給のためには不十分です。

研究内容と進捗

そこで、私は現在、IoT 社会実現のために、環境発電材料を開発し、センサの充電不要な電源としての利用を目指して研究を行っています。例えば、磁歪 Fe-Co合金ワイヤ複合材料を作製し、女性用パンプスへ導入して、歩行時の衝撃により継続的に発電可能であることを示しました（図 2）。今後、センサの性能向上に伴い、その消費電力が低下す

ると予想されていますが、私の所属する研究グループでは、環境発電材料の発電性能のさらなる向上に取り組んでいます。最近では、磁歪材料で作製した三点曲げ試験片の中央部に切欠きを導入した場合、力が集中する部位の周囲において出力電力が高い値を示すことを理論・実験両面から見出しました（図 3）。したがって、力が集中する部位を意図的に設計することで、発電性能をさらに高めることが可能です。

今後の展開

以上のように、私は環境発電材料の発電性能向上や発電靴などのウェアラブルデバイス試作を検討してきました。その実用化には、環境発電材料のさらなる発電性能向上や耐久性の確保など、まだまだ多くの課題がありますが、私の所属する研究グループが今後創出する環境発電材料が、センサの充電不要な電源として実用化され、IoT 社会を実現に導くと信じています。また、環境発電材料はモノが付着すると共振周波数が増えるため、電源としてではなく、センサそのものとしても利用できます。そこで現在は、環境発電材料によるウイルス検知の可能性を検討して、ポストコロナ社会を生き活きと健やかに過ごすことができる社会の実現にも貢献したいと考えています。

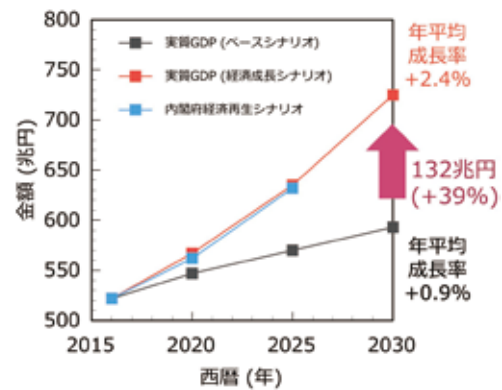


図1 AIおよびIoT技術が2030年までの経済成長に与えるインパクト (IT戦略に関する基本データ集、平成31年3月内閣官房情報通信技術(IT)総合戦略室)

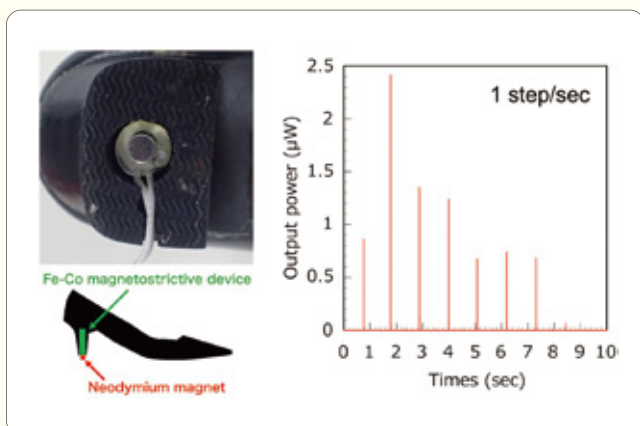


図2 歩行発電実験による出力電力評価

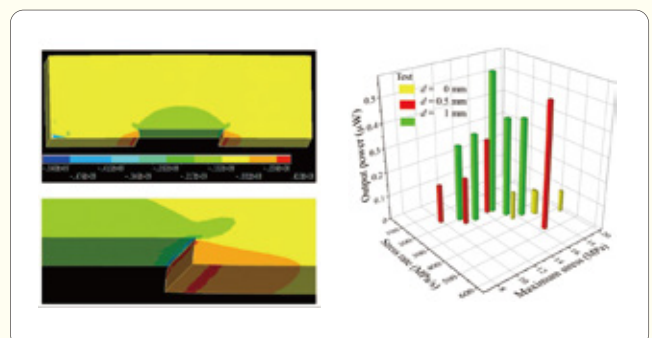


図3 三点曲げ試験片の応力状態と切欠きの有無による出力電力差



低コスト・高効率CO₂鉱物化技術の研究開発

東北大学大学院環境科学研究科 助教 王佳婕

王 佳婕 (おう・かしょう)

中国浙江省紹興市出身。中国長沙大学環境学部卒、厦門大学大学院環境生態研究科にて修士取得後、東北大学大学院環境科学研究科博士後期課程、日本学術振興会特別研究員(DC2)を経て、2020年3月に博士(環境科学)を取得。同年より現職。研究興味は二酸化炭素有効利用・貯蔵(CCUS)。



研究の背景と経緯

地球温暖化の急速な進行にともない、大気中のCO₂を大規模・迅速に削減することがこれまで以上に急務と言えます。岩石、鉱物や産業廃棄物から抽出した金属イオン(Ca²⁺、Mg²⁺)とCO₂を反応させてCO₂を炭酸塩鉱物として固定化(鉱物化)することは、CO₂削減において最も重要な方法と考えられます。ただ、これまで、CO₂の長期貯蔵を目的としたCO₂鉱物化プロセスは数多く提案されてきましたが、

CO₂の効率的な利用ができない一方で、反応速度が遅く、コストが高いため(特にpH調整)などの理由から、大規模な適用に望ましくないと考えられているのが現状です。

私は環境学と地質学の両方の興味を持ち、岩石や鉱物の溶解・炭酸化のメカニズムを研究し、岩石や鉱物の炭酸化率を高め、CO₂を利用して価値ある製品を生産することで、より効率的なCO₂鉱物化システムを開発し、地球温暖化対策の迅速な実施を目指しています。

研究内容と進捗

一例として、カンラン石 [(Mg,Fe)₂SiO₄] を用いたCO₂鉱物化システムを紹介します(図1)。カンラン石は、マントルの主要成分であり、海洋火山島などにも豊富に存在しています。CO₂に富む地熱環境のカンラン石の熱水反応により、CO₂を効率よく利用してカンラン石の溶解を促進した後、CO₂を鉱物化してマグネサイト(MgCO₃)を生成し、さらにカンラン石に含まれるFe(II)の酸化により水素製造も実現しました[Wang et al., J. CO₂ Util. 30, 205-213(2019)等]。初期室内実験を通じて、H₂O-カンラン石-CO₂の反応経路(図2)や反応速度は、温度(図3)、CO₂濃度、pHなどを変化させることで制御可能です

[Wang et al., Int. J. Hydrog. Energy. 44, 11514-11524(2019)等]。このCO₂鉱物化システムは高効率ですが、高いCO₂濃度と地熱エネルギーが必要であり、海洋底における熱水噴出口や地熱地帯か、また人工環境としては休廃止鉱山などでの応用が期待されます。

また、この研究により、アルカリ性条件下での岩石の熱水変質によるCO₂鉱物化の分野を開拓しました。その後、中低温度とアルカリ条件下での鉱物炭酸化によるCO₂の固定を目指し、岩石中の金属に配位可能な配位子を利用し、有用物質(純度の高い炭酸塩など)を生産できる新たなCO₂鉱物化システムの開発も進めています。

今後の展開

CO₂鉱物化技術の大規模適用による地球温暖化対策を実現するためには、大量の薬剤を消費せずに反応を円滑に進行させることが可能な低コスト・高効率なCO₂鉱物化技術の研究開発が必要です。私は、地球化学現象の革新的利用によるCCUS、エネルギー生産および環境保全の研究を通じて、地球化学反応の制御・加速を目的とした解析と、CO₂削減・エネルギー生産技術への応用展開により、持続可能な低炭素社会の発展に貢献していきたいと思っております。

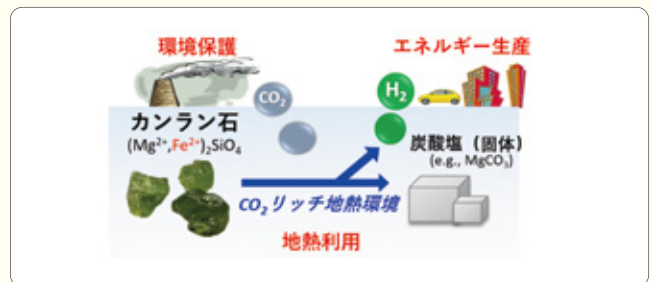


図1 地熱環境下での水素生成とCO₂固定

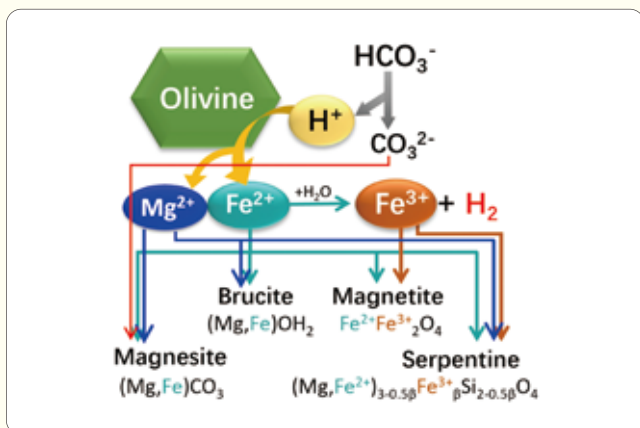


図2 H₂O-カンラン石-CO₂の反応経路

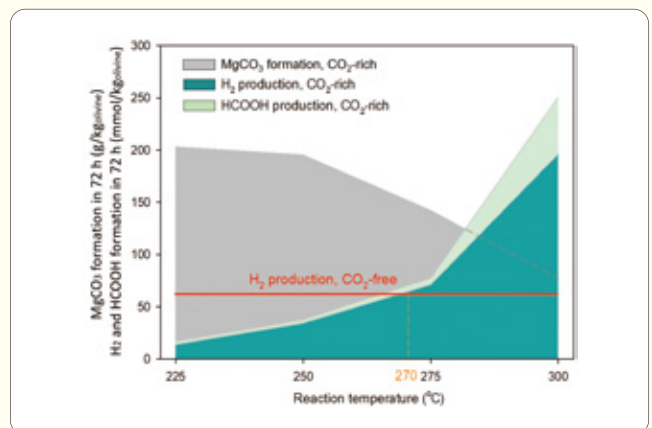


図3 温度によるH₂O-カンラン石-CO₂熱水反応の水素生成量及びCO₂固定量の影響(72h)

教えてください、あなたの「ニューノーマル」

COVID-19 感染拡大防止のため、マスクの着用や手指の消毒、外出の自粛、密閉・密集・密着の回避を取り入れた、「新しい生活様式（ニューノーマル）」が求められています。ニューノーマルを取り入れた生活には制限もある一方で、新しい発見もあるかもしれません。感染リスクを低減させながら生活する上での工夫や、そうした生活を通じて気づいたことを、研究科の学生・教職員の皆さんに聞きました。

「教員A」さん

講義資料を録画するときは、年間通じて同じ場所、同じ服装で撮る。（他の資料を作成するときに編集しやすいので）

「はやお」さん

マスクをつけるのが当たり前になったので、眼鏡からコンタクトに変えました。曇らなくて便利です。

ペンネーム

「D」さん

テレワークが増えたので今まで学校でしていた作業が実は家でも出来ることに気づききっかけとなったズームなどオンライン会議が普及することで無駄な会議時間も幾分短縮された気がする

「もち」さん

以前から趣味として定期的に遊んでいたオンラインゲームでは、コロナ前は一人で遊ぶことが多かった。全国的に外出自粛が求められたため、そのゲームをやめてしまった人、少ししか遊ばない人が積極的にそのゲームを遊んでくれるようになり、インターネット上でのゲーム界隈が賑わうようになった。普段はできないような新しい友人ができた。

「狸囃子がきこえる」さん

人の少ない散歩コースをみつけて出かけています。住宅地に時々ワイルドな緑地があるのが仙台のよいところですよ。

「EA」さん

ときにオンラインが便利だと思うようになった。子供を一人で遊ばせながら打ち合わせに参加できるなど・・・

「酔いどれ伍長」さん

料理系 Youtuber のレシピを参考に料理作り

「ヤマタケ」さん

人混み、公共交通機関は避ける。

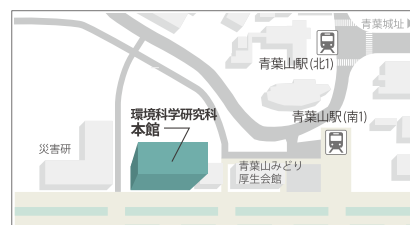
研究科長

ステイホームは気が滅入る。気持ちがささくれ立ってきた。穏やかに、おおらかに。ニューノーマルは難しい。明日は天気が晴れるかな。

アクセス



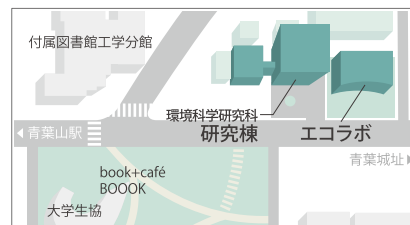
青葉山新キャンパス



【JR 仙台駅からのアクセス】

仙台市営地下鉄 東西線「八木山動物公園駅」にて9分「青葉山」で下車（250円）南1出口 徒歩5分

青葉山東キャンパス



【JR 仙台駅からのアクセス】

仙台市営地下鉄 東西線「八木山動物公園駅」にて9分「青葉山」で下車（250円）北1出口 徒歩10分

News Letter

環境科学研究科ニュースレター NO.22 / 2021年3月発行
表紙:「COVID-19 時空間3Dマップを操作する中谷教授」

東北大学大学院環境科学研究科

Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

【環境科学研究科本館】〒980-8572 仙台市青葉区荒巻字青葉468-1
TEL 022-752-2233(総務係) FAX 022-752-2236
<http://www.kankyo.tohoku.ac.jp/>

