

研究成果

ムーンショット型研究開発事業

目標2「2050年までに、超早期に疾患の予測・予防をすることができる社会を実現」

戦略的創造研究推進事業ACT-X

研究課題「AIでリアルタイム制御する進化生態系の確立」

AIで新型コロナウイルスの進化を分析

ヒトの行動変容から逃れる変異株の進化を示唆

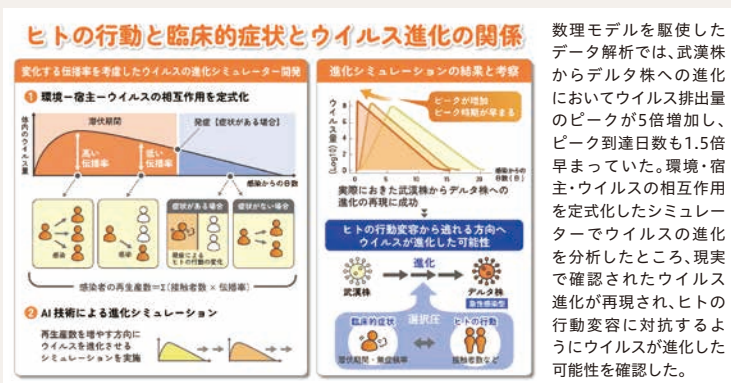
人間の行動、例えば技術開発や新しい習慣などが、生物の適応的な進化の原因となることがあります。近年では新型コロナウイルス感染症の拡大において、ヒトがワクチンを接種したり外出制限などを試みたりする中、既存の流行株と異なる特性を持つ変異株が次々と生まれました。過去の感染症研究からも、薬剤による抗ウイルス効果やワクチンによる免疫応答は、ウイルスの進化要因となることがわかっていました。

名古屋大学大学院理学研究科の岩見真吾教授、北海道大学大学院先端生命科学研究院の山口諒助教らの研究グループは、数理モデルを用いて新型コロナウイルス変異株に感染した患者データを過去から順番に解析しました。その結果、変異株はヒトへの感染後、生体内で急速に増殖、ウイルス排出量のピークは増加し、早まる傾向があることを発見しました。

また、ヒト生体内のウイルス量に応じた感染確率を考慮してウイルス伝播能力を評価する進化シミュレーターを開発しました。ここでは、人工知能(AI)の1つである、生物の進化や遺伝を模倣した「進

化計算」手法を組み合わせることで、現実に確認されたウイルス排出量のパターンがどのような状況で再現できるかを評価しました。その結果、感染者が感染後、早い段階で隔離されるような強力な非薬理的介入が存在する場合、ウイルスがこれを克服するため排出量のピークを変化させた可能性を見いだしました。

今回の成果は、人間の行動変容がもたらすウイルスの進化を理解する重要なファクターとなる可能性を示唆するものです。今後は進化予測や、それに先んじた公衆衛生対策への活用が期待されます。



数理モデルを駆使したデータ解析では、武漢株からデルタ株への進化においてウイルス排出量のピークが5倍増加し、ピーク到達日数も1.5倍早まっていた。環境・宿主・ウイルスの相互作用を定式化したシミュレーターでウイルスの進化を分析したところ、現実で確認されたウイルス進化が再現され、ヒトの行動変容に対抗するようにウイルスが進化した可能性を確認した。

研究成果

戦略的創造研究推進事業ACT-X

研究課題「生体分子機能の理解に資するハイブリッドナノ振動分光法の創出」

戦略的創造研究推進事業ACT-X

研究課題「藍藻バイオフィームにおける硫酸多糖の機能解析」

藍藻バイオフィームをありのまま観察

医療分野への貢献や環境問題の解決に道

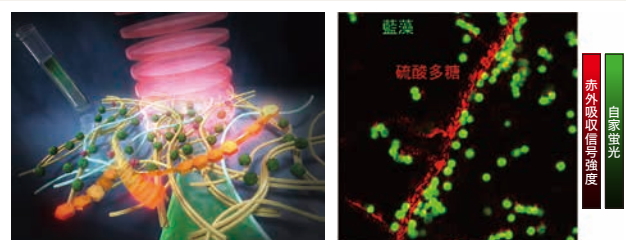
多くの微生物は「バイオフィーム」と呼ばれる主に膜状の細胞集合体を形成し、生存に最適な環境を構築しています。身近な例では歯垢や流し台のぬめりなどが該当します。

地球上の幅広い環境に生息している光合成微生物である「藍藻」のバイオフィームは、硫酸多糖などの細胞外多糖とたんぱく質といった分子から構成されており、藍藻や他の生物が生きるために活用される一方で、ブルーム(アオコ)などの形で環境に悪影響を与えることもあります。その中の分子分布の可視化は、藍藻バイオフィーム研究の有力な切り口となり得ますが、従来技術は色素などを標的分子へ結合させる「標識」の過程で、バイオフィームの構造に影響を与えてしまうため、ありのままの状態を観察することは困難でした。

徳島大学の加藤遼特任助教、東京工業大学の前田海成助教らの研究グループは、硫酸多糖の硫酸基特有の赤外吸収信号と藍藻特有の自家蛍光に着目。赤外吸収時の温度上昇を短波長の可視連続光から検出することで、非標識で試料の構成分子を分析できる「超解像赤外分光イメージング」技

術により、バイオフィーム内分子の空間分布の可視化に成功しました。これにより、藍藻バイオフィームを構成する硫酸多糖成分と藍藻細胞を初めて標識することなく区別することができました。さらに、バイオフィーム内でのたんぱく質の分布も可視化することで、多糖成分とともに構造の形成に関わっている可能性も示唆しました。

本技術はさまざまな微生物がつくるバイオフィームの可視化にも応用でき、基礎生物学だけでなく、感染症や歯科治療など医療分野への貢献や環境問題の解決にも広がりが見込まれます。



超解像赤外分光イメージングで可視化したバイオフィーム内の分子組成(左)。硫酸多糖由来成分の赤外吸収信号強度像と藍藻由来の自家蛍光強度像を重ね合わせから、バイオフィーム内では硫酸多糖がライン状の構造を形成しており、その構造に沿って藍藻細胞が配置していることがわかった(右)。

国際物理オリンピックが日本で初開催 好成績を収め、海外からの参加者と交流も

世界各国の中高生が参加する「国際科学オリンピック」のうち、JSTは数学・化学・生物学・物理・情報・地学・地理の7つの教科の大会を支援しています。2023年度は数学と物理の国際大会が日本で開催されました。第64回国際数学オリンピックは20年ぶり2度目、第53回国際物理オリンピックは初めての開催です。

2023年7月10日～17日に東京都渋谷区の国立オリンピック記念青少年総合センターで開かれた国際物理オリンピックには、81の国や地域から393人が参加しました。日本代表の5人は、1354人が応募した「第18回全国物理コンテスト・物理チャレンジ2022」の成績優秀者から選ばれ、2日に分けて理論問題3問・実験問題2問にそれぞれ5時間かけて挑みました。参加者の成績上位約8パーセントに金メダル、次の約17パーセントに銀メダルが与えられますが、日本代表は金メダル2人、銀メダル3人という素晴らしい成績を収めました。

8日間という長い会期の間、各国の代表選手たちは試験に挑戦するだけでなく、エクスカージョンや文

化体験などさまざまなイベントへの参加を通じて、開催国である日本の文化に触れ、他の国々からの参加者や主催者と国際的な交流を深めました。22年の物理チャレンジで銅賞を受賞し、今回のオリンピックで金メダルを獲得した大手前丸亀高校（香川県丸亀市）の今村晃太郎さんは「物理が好きな海外のトップレベルの人たちと物理や科学について語り合い、仲良くなれたのはとても良い経験でした。英語の難しさも感じましたが、世界で活躍するために今後も努力していきたいと思います」と述べました。



第53回国際物理オリンピックで金メダルを獲得した選手たち (IPhO2023事務局提供)

研究成果

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「Society5.0を支える革新的コンピューティング技術」

研究課題「耐量子計算機性秘匿計算に基づくセキュア情報処理基盤」

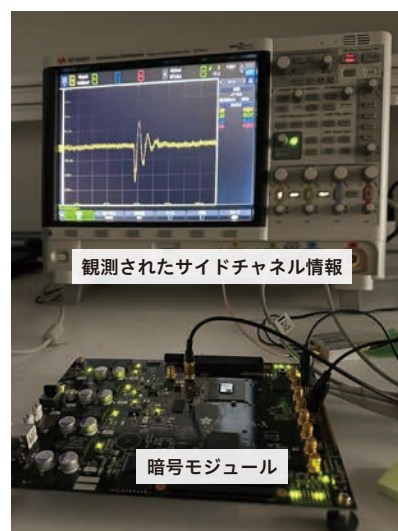
暗号の安全性を向上する鍵変換の新手法 低コストで実装、長期間の保護を数学的に証明

個人情報や金融情報をインターネット上でやり取りする昨今は、サイバー攻撃対策として情報を暗号化する「暗号モジュール」が情報通信機器内部に搭載されています。しかし、サイバー攻撃の中には暗号モジュールの物理的な弱点を突くものがあり、特にモジュール動作中に生じる消費電力や放射電磁波などの副次的な物理情報を突破口とする「サイドチャンネル攻撃」は、非接触・非破壊かつ攻撃の痕跡が残りません。同攻撃に耐え得る暗号モジュールの研究開発が世界中で進められていますが、既存の手法では速度低下や消費電力増加などの大きなコストが必要でした。

これに対して、東北大学電気通信研究所の本間尚文教授らの研究グループは、暗号鍵の再生成と切り替えを行う「リキーイング(鍵変換)」の新手法を開発しました。この手法は、暗号モジュールへ搭載する際に特別な回路技術などを必要としないため、従来と比べて10分の1以下のコストで実装が可能です。また、攻撃に対する安全性が乏しい要素で構成される場合も、暗号鍵を適切に交換することで、モジュールを長期間・強固に保護することができ

ます。実証実験により、最も強力なサイドチャンネル攻撃を想定した条件下において、攻撃への耐用期間を指数関数的に延長できることを示しました。

今回開発した技術は、長期的な安全性を物理的・数学的に保証しつつ、高い汎用性と低いコストで暗号モジュールを実装可能にするものです。今後はコスト制約の強い小型機器への適用と有効性の検証を進め、将来的には暗号を利用するさまざまな情報通信機器やシステム全体の安全性と性能向上への貢献を目指します。



安全性実証実験の様子。サイドチャンネル攻撃にさらされても、機器使用における現実的な時間内に情報が漏えいしないことが確認された。