

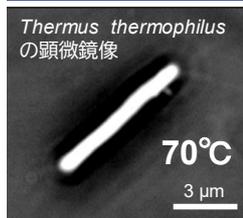
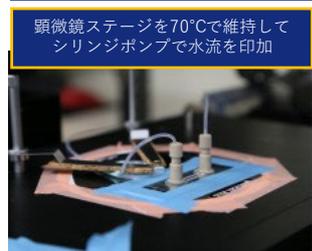
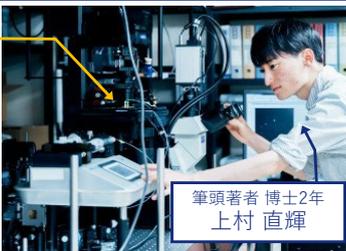
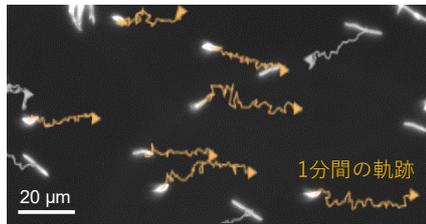
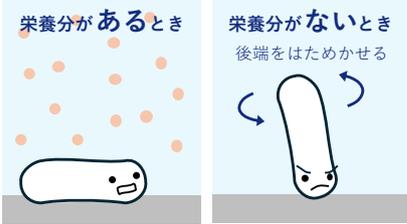
報道機関 各位

国立大学法人電気通信大学

逆流のダンス！ 極限環境微生物の新しい生存戦略を解明

【ポイント】

- 高温かつ激流という過酷な環境で、細菌が生き抜く姿を顕微鏡下で撮影することに成功
- この細菌は表面や足場に付着して、そのまま水流に逆らって長距離移動をしていた
- このとき、細菌はストリートダンサーのように踊る！
すなわち、表面にくっついて、垂直に立ち上がり、体をはためかせる
これは、水の流れという物理的な力を感知するために必要な“逆流のダンス”である
- 逆流のダンスは、高温で生育する細菌で「一般的」であることを発見
温泉環境や産業用パイプなど、流れの速い環境での微生物動態解明に期待

<h3>高温環境で細菌はどのように生きるか？</h3>  <p><i>Thermus thermophilus</i> の顕微鏡像</p> <p>70°C 3 μm</p> <p>高温かつ水流の中で細菌は生育している</p>  <p>温泉は熱くて 水流がある環境</p>  <p>細菌が見つかった 温泉の槽（峰温泉）</p>	<h3>顕微鏡上で高温の水流を与える実験装置</h3>  <p>顕微鏡ステージを70°Cで維持して シリンジポンプで水流を印加</p>  <p>筆頭著者 博士2年 上村 直輝</p>
<h3>水流に逆らって動く細菌</h3>  <p>1分間の軌跡</p> <p>20 μm</p> <p>細菌1匹（白い輝点）が上流へと動く様子</p>	<h3>なぜ細菌が水流を感知できるのか？</h3>  <p>水流</p> <p>栄養分があるとき</p> <p>栄養分がないとき 後端をはためかせる</p> <p>逆流のダンス</p> <p>水流で傾く</p> <p>上流に向かう</p> <p>栄養がなくなると、細菌は立ち上がる</p> <p>水流を感じるために必要</p>



← こちらの QR コード、または以下の URL から
「水流に逆らって動く細菌」の動画をご覧になれます。
<https://youtu.be/tSZ4Ap-1oKY>

【概要】

電気通信大学大学院情報理工学研究科基盤理工学専攻の中根大介准教授らは、東京薬科大学生命科学部の玉腰雅忠教授・森河良太教授との共同研究で、**温泉に生育する細菌が水流に逆らって上流へと移動することを発見**しました。実験室に環境を模倣して顕微鏡で観察すると、**細菌がまるでストリートダンサーのように、足場となる固体表面で垂直に立ち上がり、垂直のまま動いていました**。垂直になると、水流の向きという物理刺激を細菌が感知しやすくなります。この“逆流のダンス”は、温泉に生息する多数の細菌で一般的であることを見出しました。流れに逆らうことで、自身の生育に適した生育環境に到達および滞在を可能にします。本研究により、高温かつ激流という**極限環境における生命の適応・生存戦略が明らかになりました**。この成果は、温泉環境や産業用のパイプなどの**速い水流環境における微生物動態の解明につながると期待**されます。

【背景】

微生物は、地球上のありとあらゆる環境で繁栄しています。光や化学物質、そして水の流れといった外界の変化を巧みに感知して、自身に適した環境で生存します。しかし、**実際に、どのようにして最適な住処を見つけているのか**、その仕組みは十分に理解されていません。

本研究では、***Thermus thermophilus* (サーマス・サーモフィラス)** という**極限環境微生物** (※1) に**注目**しました。これまで、70°Cという高温への適応能力から、タンパク質の構造研究やバイオテクノロジー (※2) 分野のモデル生物として注目されてきましたが、本来生育する自然環境やその適応機構に目を向けた研究は多くはありませんでした。この細菌の由来を辿ると、1968年に静岡県の峰温泉にある噴出孔から発見されたことがわかりました。では、**高温かつ激流という過酷な環境において、小さな生命体は、どのように生きているのでしょうか？**

【手法】

本研究では、温泉噴出孔という特殊な環境を実験室で再現するため、**70°Cに保たれた水流を発生させるシステムを構築**しました。それを**光学顕微鏡に設置して、単一の細菌の動きを動画として撮影**し、その行動を詳細に解析しました。また、この運動のモーターとして機能する2つのタンパク質 PiIT1/PiIT2 を単独・二重欠損させた変異株の動態を計測することで、分子機構を解明しました。この分子機構は、数理モデルに基づくシミュレーションでも確認をしました。

【成果】

一般的な細菌は、べん毛をつかって水中を遊泳しますが、本研究で注目する細菌はべん毛を持たないため「泳げない」ことが知られています。そのため、速い流れの中で耐えることはできないと予測されます。しかし、実際には**この細菌は流されることなく、表面に付着**することで水流環境にとどまっていた。それだけでなく、**上流に向かって、流れに逆らうように移動**しており、その距離はわずか30分間で1mm以上にも到達しました。これはヒトのスケールに換算すると、30

分で約 1 km 歩くのに相当します。

では、どのように水流の向きを感知しているのでしょうか？まわりに栄養分があるときには細菌は横になって固体表面に付着していました。ところが、栄養分のない条件にすると、まるでストリートダンサーのように、細菌は自身の先端を表面に付着させて、垂直に立ち上がり、立ち上がったままはためくような動作を示しました。この“ダンス”は、水流の向きを感知するために必要不可欠で、立ち上がると速い流れを受けて棒状の細菌が傾き、これにより運動装置のある細胞極が水流と対向するように配置することで、上流に向かった一方向の動きが可能になります。温泉環境で生きる細菌は、従来のように「泳いで化学物質を嗅ぎ分ける」のではなく、「這いつくばって物理刺激を感じ取る」ことで、泳ぐ細菌が生存できないニッチな環境で、有利に生き抜くことができるのだと考えられます。

“逆流のダンス”は、本研究で注目したサーマス・サーモフィラスと近縁な細菌において、かなり一般的であることも見出しました。系統的に近縁な 15 種の細菌で同様の解析を行ったところ、高温環境で生育する細菌はいずれも棒状のかたちをしており、垂直に立ち上がって、多くが流れに逆らう動きを示しました。一方、常温環境で生育する細菌はいずれも丸いかたちをしており、流れに逆らう応答を示しませんでした。つまり、細長いかたちが水流を感じるために有利にはたらいっている可能性があります。

【今後の期待】

今回発見した「細菌が這いつくばって物理刺激を感じ取る仕組み」は、極限環境のみならず、多彩な環境における細菌の生存戦略として注目されます。この知見は、高温・高速の流れといった過酷な条件下での微生物の挙動を理解する手がかりとなり、産業や環境といった分野への応用が期待されます。例えば、バイオリアクター（※3）や反応器での、微生物の効率的な回収、工業配管や上下水道管におけるバイオフィーム（※4）形成の制御、さらには温泉地や火山地帯での微生物生態のモニタリング技術への展開が考えられます。将来的には、極限環境微生物が持つ独自の移動戦略を利用したバイオセンサーや環境修復技術への開発につながる可能性も秘めています。

本研究論文の筆頭著者である電気通信大学大学院情報理工学研究科基盤理工学専攻博士後期課程2年の上村直輝氏は、「今回明らかになった“逆流のダンス”を、マイクロロボットに応用することで、水流を利用したナビゲーションが可能になるかもしれません」と述べています。

（論文情報）

掲載誌：The ISME Journal

タイトル：Rapid water flow triggers long-distance positive rheotaxis for thermophilic bacteria

著者：Naoki A. Uemura, Naoya Chiba, Ryota Morikawa, Masatada Tamakoshi, Daisuke Nakane

論文 URL：<https://doi.org/10.1093/ismejo/wraf164>

DOI：10.1093/ismejo/wraf164

公表日：2025年8月1日

(外部資金情報)

本研究は、JSPS 科研費（22H05066, 24KJ1131）の支援を受けたものです。

(用語説明)

※1：極限環境微生物

通常の生物が生存できないような過酷な環境でも生きられる微生物の総称です。高温だけでなく、強酸性、高圧、放射線など、私たち人間にとっては“生命の限界”と思える場所でも元気に生育することができます。

※2：バイオテクノロジー

生物の持つ力や性質を生かして、人間社会に役に立つ技術や製品を生み出す科学技術です。医療・農業・環境・エネルギーなど幅広い分野に応用されています。

※3：バイオリクター

微生物や細胞、酵素などの生物的な要素を使って、目的の物質を人工的に生産・変換するための装置です。発酵食品から医薬品、バイオ燃料まで幅広い分野で活躍しています。

※4：バイオフィルム

微生物が固体や液体の表面に付着し、自ら分泌する粘着性の物質等に包まれて形成される微生物の集合体です。単なる細菌の集まりではなく、組織化された構造をもっています。

【連絡先】

<研究内容に関すること>

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 基盤理工学専攻

【職名】 准教授

【氏名】 中根 大介

Tel : 042-443-5146

E-Mail : dice-k@uec.ac.jp

<報道に関すること>

電気通信大学総務部総務企画課広報係

Tel : 042-443-5019 **Fax** : 042-443-5887

E-Mail : kouhou-k@office.uec.ac.jp