PRESS RELEASE

２０２６年１０月２３日

長岡技術科学大学
名古屋大学
東京農工大学
大阪公立大学

運動性細胞骨格タンパク質 SpeMreB の役割と制御のしくみを観察！
－細菌の"筋肉"でリポソームを動かすことに成功!細菌運動の再構成へ前進!－

ポイント

- バクテリア *Spiroplasma*※1 の動きと形を作るタンパク質 SpeMreB※2 による細胞膜の変形制御の仕組みを発見
- 細胞を模したリポソーム※3 に SpeMreB を内包することで生じる変形や膜の揺動を観察
- SpeMreB の種類とヌクレオチドの状態により、変形抑制や膜の揺動の度合いが変化することを発見

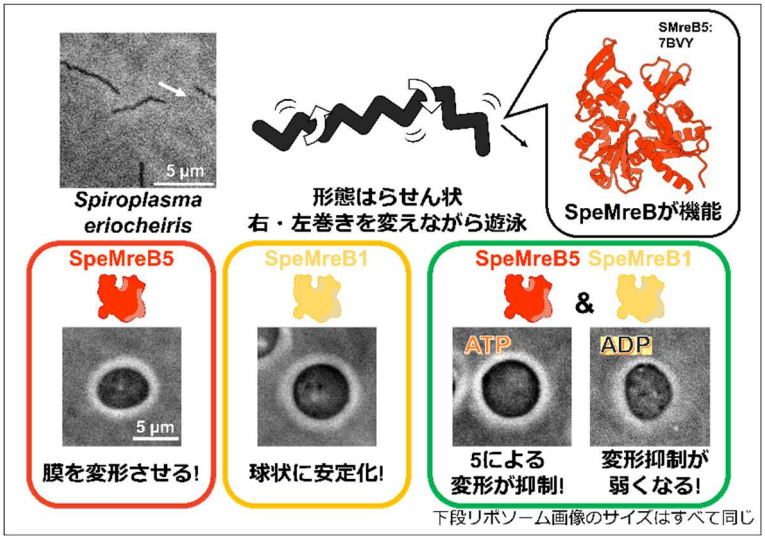

図 1. 特殊な動きと形を持つ *Spiroplasma*、その仕組みに関わる SpeMreB による脂質二重膜（リポソーム）の変形制御を解明

概要

長岡技術科学大学大学院工学研究科博士後期課程先端工学専攻の三谷隆大さん（研究当時。大学院生。現・八戸工業高等専門学校助教）、同研究科修士課程の西村太希さん（研究当時。大学院生）、同大学技学研究院物質生物系の藤原郁子准教授、名古屋大学大学院理学研究科の瀧口金吾講師、東京農工大学工学府の林真人特任助教、大阪公立大学大学院理学研究科の木山花日本学術振興会特別研究員 PD、宮田真人特任教授らの研究グループは、細胞壁の無いバクテリア *Spiroplasma* の形態と運動をつかさどるタンパク質 MreB※2（SpeMreB）の種類ごとの役割と ATP※4 による調節機能を明らかにしました。2 種類のタンパク質、SpeMreB5 と SpeMreB1 が、それぞれ膜を変形させる“アクセル”と、その変形を抑える“ブレーキ”として働いていることを突き止めました。この成果は、未だ解明されていない新しい生物・細胞の動き方の解明につながる知見であり、将来的には、農業や甲殻類養殖における病害の予防、細胞の動きを利用したマイクロ・ナノマシンの開発への応用も期待されます。

【研究の背景】

我々ヒトの体は、歩く・座るなどの動作に筋肉を使っていることは皆様もご存知でしょう。マッスルポーズなどでは、筋肉が我々の体の形を作る一因であることもよく見えるところです。しかし、自然界には筋肉を使わず、体の形を作り、運動をしている生物がたくさん存在しています。今回の研究では、***Spiroplasma* というバクテリアの形と動きの仕組みに迫りました。***Spiroplasma* は図 1 上段中央のように、らせん状の形をしたバクテリアで、よく名前を聞く大腸菌などとは異なり、細胞壁がなく、らせんの巻いている向きを変化させることで粘度のある溶液中を動くことができます。この ***Spiroplasma* の特殊な形態と運動はヒトのような筋肉ではなく SpeMreB というタンパク質によって実現されることが分かっていました。**実際、球状で動くことのできない合成細菌 syn3B[※5] の中に 2 種類の SpeMreB（SpeMreB5 と SpeMreB4、または SpeMreB5 と SpeMreB1（SpeMreB1 は SpeMreB4 と同じ仲間））を発現させるだけで、らせんの形と動きが再現できることが報告されています。すなわち、この 2 種類の SpeMreB の組み合わせこそが重要であると考えられています。**しかし、この 2 種類の SpeMreB が実際、どのように働いて形と動きを作るのかは現在でも解明されていません。**本研究では、特に 2 種類の SpeMreB による膜の変形に着目して、実験を行いました。

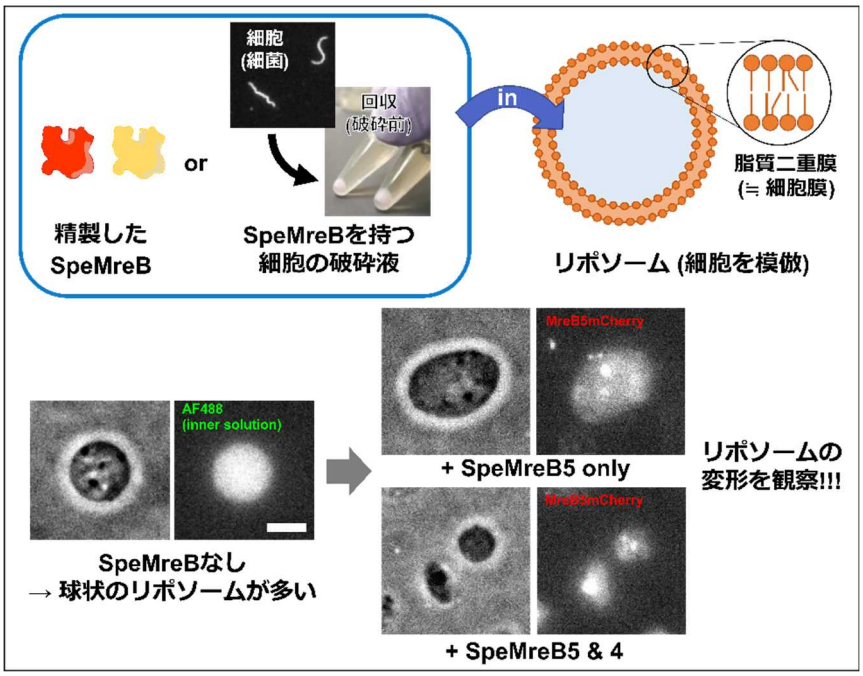

図 2. 本研究で行った実験

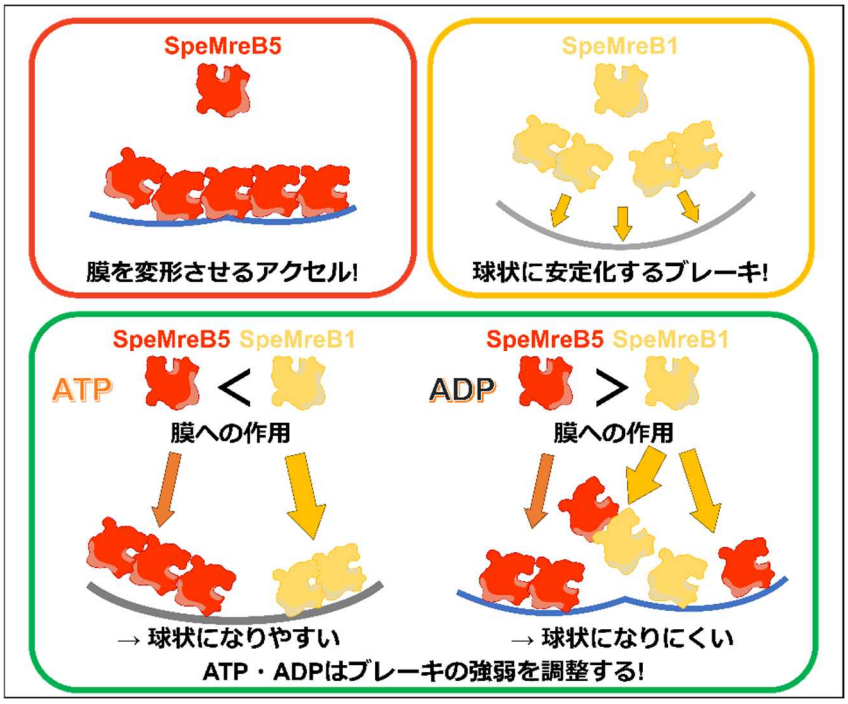

図 3. SpeMreB による膜の変形制御のモデルを提案

【研究の内容と成果】

本研究は、**細胞膜を模倣した脂質二重膜で出来たリポソームを用い、その中に、SpeMreB を発現させた syn3B の破砕液や精製した SpeMreB を入れて、リポソームの変形度合いを観察しました（図 2）。**これにより、2 種類の SpeMreB の役割や相互作用、SpeMreB のエネルギーである ATP との関係を調べました。図のように**SpeMreB をリポソームに内包させると変形することを報告したのは本研究が初めてです。**加えて、以下の発見をしました。

① SpeMreB5 単独はリポソームを変形させる。また、SpeMreB1 単独ではリポソームを比較的球状に保つ働きを持つ（図 3 上段）。

② SpeMreB5 と SpeMreB1 を一緒に加えた場合、SpeMreB5 による変形が SpeMreB1 によって抑えられる。しかし、溶液に ATP ではなく ADP[※4] が存在する場合、変形抑制の程度は弱くなる（図 3 下段）。

また、①と②より変形制御モデルを提案しました。SpeMreB5 と SpeMreB1、ATP が一緒に存在する場合、SpeMreB1 の膜への相互作用が強く、5 による変形が抑制されます。ATP の代わりに ADP が存在する場合、SpeMreB1 によって SpeMreB5 の繊維量は減る（相互作用する）ことが知られていますが、SpeMreB1 の膜への相互作用が弱くなるため、結果的に変形抑制作用も弱くなります（図 3 下段）。

【今後の展開】

本研究は、未だ明らかになっていない生物の運動メカニズムの一端を明らかにしました。今後、このリポソームによる合成生物学的な実験系を改良し、*Spiroplasma* の運動能・形態形成能を解明・再現します。*Spiroplasma* は節足動物や柑橘類に病害を与えることでも知られており、***Spiroplasma* による病害防除のための基礎的な知見になります。**また、*Spiroplasma* の運動は、わずか 2 種類の MreB によって駆動されています。真核細胞のアクチンによる運動では 5 種類のタンパク質が必要とされるのと比べ、非常に単純な分子構成で運動を生み出している可能性があります。この単純な仕組みで自律的な運動を生み出す機構を明らかにすることは、生物における運動機能がどのように進化してきたのかを理解する上でも重要です。加えて、SpeMreB は他のタンパク質を必要とせず、細胞膜と相互作用するだけでらせんと運動を作り出すことができると考えられており、**この原理の解明は生物のしくみを応用した持続可能なナノ・マイクロマシンの動作系に応用が期待できます。**近年、**合成生物学**は、社会課題の解決や新たな産業の創出につながる重要な技術として、経済産業省もその研究開発や社会実装を推進しています。ゆえに、生物が持つ自己組織化や自律的な運動を生み出す基本原理を明らかにする本研究は、将来のバイオ・ナノテクノロジーにつながる基盤的研究としても意義を持ちます。

【用語解説】

※1 *Spiroplasma*（スピロプラズマ）

細胞壁を持たない細菌の仲間で、マイコプラズマに近いグループに属します。細胞はらせん形をしていて、らせんの巻き方向を部分的に切り替えることで、粘り気のある液体の中を泳ぎます。昆虫

や甲殻類、植物に感染する種が多く、柑橘類の病気（スタボーン病）や、カニ・エビ養殖での病気の原因になる種も知られています。

※2 MreB、SpeMreB
MreB は細菌が持つ「細胞骨格」タンパク質で、筋肉の主成分であるアクチンと似た構造をしています。多くの細菌では、細胞の形を保つ骨組みとして働きます。SpeMreB は *Spiroplasma* が持つ MreB で、5 種類（SpeMreB1～5）があります。形を保つだけでなく、泳ぐための動きも生み出す点が特徴です。

※3 リポソーム
細胞膜と同じ成分（脂質）でできた、人工の袋状の膜です。中に物質を閉じ込めることができ、医薬品や化粧品のカプセルとしても使われています。本研究では、顕微鏡で観察できる大きさのリポソームを「人工の細胞」に見立て、その中に SpeMreB を入れて膜の形の変化を観察しました。

※4 ATP、ADP
ATP（アデノシン三リン酸）は、生物がさまざまな活動に使う「エネルギーの通貨」と呼ばれる物質です。ATP が分解されて ADP（アデノシン二リン酸）になるときにエネルギーが取り出されます。SpeMreB のようなアクチンの仲間のタンパク質は、ATP と ADP のどちらが結合しているかによって性質が変わります。

※5 syn3B
生きるのに必要な最小限に近い遺伝子だけを持つよう、人工的に設計・合成されたゲノムを持つ細菌（米国 J. Craig Venter 研究所が作製した JCVI-syn3 の派生株）です。球形で、自分では動けません。

【研究成果の公表】

本研究成果は、合成生物学分野の国際学術誌 ACS Synthetic Biology に掲載されました。同誌では、生物の仕組みを利用して新たな機能を生み出すための、先進的な研究が発表されています。
論文タイトル：Coordinated Membrane Deformation Driven by a Minimal Set of *Spiroplasma* MreB Isoforms
著者名：三谷隆大、西村太希、木山花、アリアーサン、林真人、瀧口金吾、宮田真人、藤原郁子
掲載誌：ACS Synthetic Biology
掲載日：2026 年 10 月 14 日
URL：https://doi.org/10.1021/acssynbio.6c00327

【助成・謝辞】

本研究は以下の支援を受けて実施されました。
・公益財団法人 JKA

・公益財団法人 ユニオンツール育英奨学会
・JSPS 科学研究費助成事業 JP24K08218、JP24KJ0189、JP25H00416、JP25K24709
・JSPS 地域中核・特色ある研究大学強化促進事業（J-PEAKS）JPJS00420240017
・JST 戦略的創造研究推進事業（CREST）JPMJCR19S5
・JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム（SPRING）JPMJSP2189