

2026年3月27日

報道機関 各位

細菌細胞の“毛”が引っ張られても抜けない仕組みを解明 膜タンパク質が“ナット”のように固定される新原理「Protein nut」提唱

【本研究のポイント】

- ・細菌細胞表層の繊維状タンパク質が引っ張られても膜から抜けない仕組みを全原子分子動力学シミュレーション^{注1)}により解明。
- ・ペリプラズム^{注2)}側のタンパク質が“ナット”のように働き、膜貫通構造を支えることを発見し、「Protein nut(プロテイン ナット)」として提唱。
- ・生体分子の設計原理の理解や、バイオ材料・ナノデバイスへの応用に期待。

【研究概要】

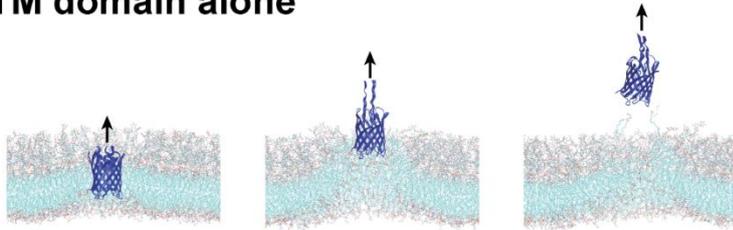
名古屋大学大学院工学研究科の堀 克敏 教授、鈴木 淳巨 准教授、吉本 将悟 助教、笹原 純 博士後期課程学生らの研究グループは、アシネトバクター属細菌 Tol 5 がもつ巨大接着タンパク質 AtaA^{注3)}の膜固定機構を、全原子分子動力学シミュレーションにより解析しました。

AtaA は長さ約 260 ナノメートル(ナノは 10 億分の 1)に達する巨大な繊維状タンパク質で、細胞をさまざまな物質表面に強固に付着させます。本研究では、AtaA を細菌の細胞表面につなぎ止める役割を担う AtaA の膜貫通ドメインと、それに結合するペリプラズムタンパク質 TpgA^{注4)}に着目し、引き抜き過程をコンピューター上で再現しました。その結果、TpgA がペリプラズム側から膜貫通ドメインを支えることで、膜からの引き抜き抵抗が大きく増加することを明らかにしました。この構造は、ボルトがナットによって固定される機械構造に類似しており、本研究ではこの機構を「Protein nut」と名付けました。

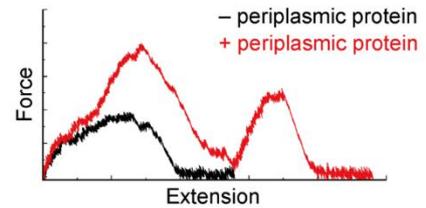
これらの知見は、細菌の強固な付着機構の理解だけでなく、耐久性の高いバイオ材料やナノ構造体の設計など、幅広い分野への応用が期待されます。

本研究成果は、2026年3月18日付国際学術雑誌「Computational and Structural Biotechnology Journal」に掲載されました。

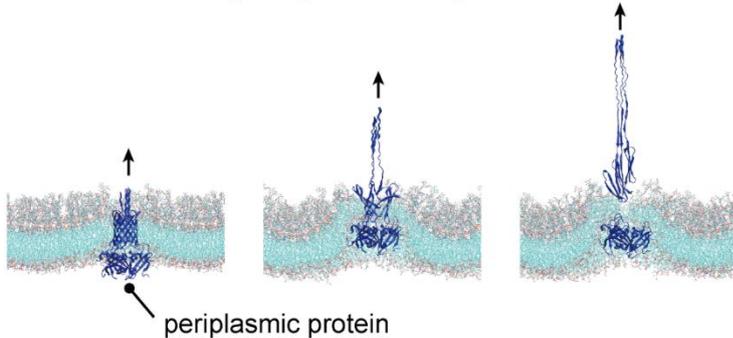
TM domain alone



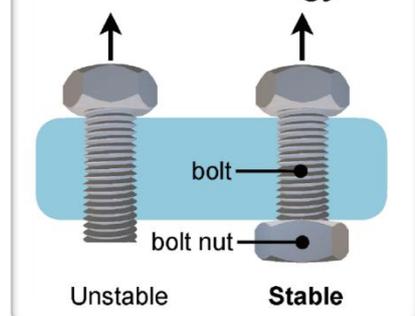
Enhanced extraction resistance



TM domain + periplasmic protein



Mechanical analogy



【研究背景と内容】

アシネトバクター属細菌 Tol 5 は、さまざまな物質表面に強く付着する性質をもつことで知られています。この付着は、AtaA と呼ばれる巨大な繊維状タンパク質によって実現されます。一方で、このような長いタンパク質は流体中で膜から引き抜かれる方向に引張力を受けますが、膜へつなぎ止める役割を担う膜貫通ドメインがどのようにして大きな力に耐えているのかは十分に理解されていませんでした。このような背景から、本研究では AtaA をモデルとして、どのようにして膜に安定に固定され、力に耐えているのかを全原子分子動力学シミュレーションを用いて分子レベルで解明することを目的としました。

【研究成果】

本研究では、AtaA の膜貫通ドメイン単独の場合と、TpgA と複合体を形成した場合を比較しました。その結果、TpgA が結合することで、膜から引き抜くために必要な力が約 2 倍に増加することが明らかとなりました。さらに、引き抜きの過程では 2 段階の力のピークが現れ、タンパク質間の相互作用が順次破断することで力を分散しながら耐える機構が働いていることが分かりました。また、TpgA は膜内部に侵入するのではなく、膜表面と相互作用しながら構造全体を支えることで、局所的な力の集中を緩和していることが示されました。これらの結果から、TpgA は AtaA の膜固定をボルトに対する「ナット」のように強化する役割を担うことが明らかになりました。

【成果の意義】

本研究は、膜貫通タンパク質の力学的安定性に関して、従来あまり注目されてこなかったペリプラズム側タンパク質との相互作用が、引き抜き耐性の向上に重要な役割を果たすことを明らかにした点で重要です。特に「Protein nut」という概念は、生体分子がボルトとナットのように協調して働くことで機械的安定性を高めることを示すものであり、

生物の構造設計に対する新たな視点を提供します。この知見は、細菌の強固な付着機構の理解にとどまらず、耐久性の高いバイオ材料やナノ構造体の設計など、幅広い分野への応用が期待されます。

【用語説明】

注 1)全原子分子動力学シミュレーション:

分子をつくるすべての原子の動きをコンピューター上で再現し、タンパク質などの振る舞いや分子同士の相互作用を詳しく調べる計算手法。

注 2)ペリプラズム:

グラム陰性細菌において、内膜と外膜の間にある空間。細胞表層タンパク質の輸送や保持、物質の受け渡しなどに関わる。

注 3)AtaA:

堀教授のグループが高付着性アシネトバクター属細菌 Tol 5 から発見した細胞表層ナノファイバータンパク質。プラスチックやガラス、金属など様々な材料表面に対して非常に高い接着性を示す。

注 4)TpgA:

AtaA の膜貫通ドメインに結合するペリプラズムタンパク質。本研究で、AtaA が引っ張られても細胞表層の膜から抜けられないように固定する機能を持つことが明らかになった。

【論文情報】

雑誌名:Computational and Structural Biotechnology Journal

論文タイトル:Computational analysis of periplasmic protein-mediated resistance to membrane extraction of a trimeric autotransporter adhesin transmembrane domain

著者:Jun Sasahara, Shogo Yoshimoto, Atsuo Suzuki, Katsutoshi Hori
Department of Biomolecular Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya, Japan

DOI: 10.34133/csbj.0045

URL: <https://spj.science.org/doi/abs/10.34133/csbj.0045>



東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。
国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。



東海国立大学機構 HP <https://www.thers.ac.jp/>