

細菌を寄せ付けない！？生物の驚くべき体表面加工

照井 祐介

細菌は飢餓ストレスにさらされたとき、細菌が分泌する多糖などで覆われた細菌の集合体（バイオフィーム）を形成し、排水溝のぬめりや歯垢などとなり、生存率を上昇させている。医療分野においては難治性細菌のバイオフィーム形成による抗生物質耐性や医療器具の汚染が問題となっている。また、食品産業において食品製造設備の表面に形成されたバイオフィームが生産ラインの金属を腐食させ、食品汚染を引き起こす深刻な被害が報告されている。さらに、細菌による生物（宿主）への感染においてもバイオフィームが重要な役割を果たしていることが明らかとなっている¹⁾。ところが、生物の中には、付着した細菌による体表面でのバイオフィーム形成や感染に対し、多彩な体表面加工による驚くべき防御能力を備えているものがあることが明らかとなっている。ここでは近年報告された生物種2例を紹介する。

一つ目の例は、魚のサメである。ザラザラした皮膚をサメ肌という。美容に興味のある方にとって、サメ肌と聞くとあまり良い印象を抱かないかもしれない。しかし、サメ肌は感染防御に関して非常に理にかなった構造をしていることが明らかとなった。フロリダ大学のBrennan教授らは、サメ肌の鱗を模したシリコンエラストマーからなる抗菌プレート（Sharklet™）を作製し、さまざまな病原微生物（黄色ブドウ球菌、メチシリン耐性黄色ブドウ球菌、緑膿菌、大腸菌、バンコマイシン耐性腸球菌）において抗菌効果があることを報告している^{2,3)}。Sharklet™は、略四角形状の複数の突起部または溝部による凹凸群を形成する凸部の地形幅および凹部のスペース幅が2 μm、凸部の地形高さが3 μmの抗菌プレートである。この技術は、教授とSharklet Technologies社により実用化され、医療器具やマウスパッド・携帯カバーのような小物アクセサリとして商品化されている。また、アメリカでは病院の壁などにサメ肌パターンを張り付けて細菌の付着を抑制している。これにより、環境に悪影響を及ぼす可能性のある抗菌剤や強力な洗剤を使用しないで済むため、環境負荷の低減や経済性の向上にも有効である。また、このプレートは緑藻類のウスバアオノリの遊走子の付着抑制にも効果があることを報告されている⁴⁾。この結果に基づいて船舶の底にサメ肌コーティングを施すことにより、燃料を節約しながら速度を向上させる技術への応用が進行している。実際、藻類やフジツボ類などの海洋有機物の船舶への付着は流体力学的抵抗を増大させるため、速力および機動性の低下を招き、燃料消費を増大させるといわれている。サメ肌抗菌シート技術のさらなる進展として、最近、坂本らはサメ肌を模したSharklet Technologies社製よりも薄い（凸部の地形幅及び凹部のスペース幅が2 μm、凸部の地形高さが

0.4 μm）ポリアクリル酸シートを作製し、院内感染の原因菌である緑膿菌と黄色ブドウ球菌のバイオフィーム形成と細胞増殖に対する効果を測定したところ、約70%の阻害効果を確認した⁵⁾。サメ肌の鱗を模した凹凸の間に細菌がトラップされることにより、バイオフィーム形成に必要な細菌の集合体をつくるのが困難となるため、バイオフィーム形成が抑制されると予想されるが、サメ肌を模した構造になぜ抗菌効果があるのかいまだはっきりとはわかっていない。今後、抗菌効果の詳細なメカニズムの解明が待たれる。

二つ目の例は、昆虫のセミである。クランガーゼミ（Clanger cicada）というセミの翅の表面には、「ナノピラー」と呼ばれる細かい柱状構造が六角形状に並んでいる⁶⁾。スウィンバーン工科大学のIvanova教授らは、さまざまな微生物（黄色ブドウ球菌、緑膿菌、大腸菌、枯草菌など）で実験を行い、ナノピラーの間に付着した細菌の細胞膜が引き伸ばされ、中心が薄くなってひずみ（裂け目）が生じて細胞が破裂するという詳細なメカニズムを明らかにした。特に細胞膜がやわらかい細菌に効果が高いことを報告している⁷⁾。

このように、生物は多彩な体表面加工により細菌感染から自己防衛していることが明らかとなっている。医療および環境汚染の分野では、細菌汚染を取り除くための効率的な手段が常に探索され、特に食品汚染などの問題を防ぐには、バイオフィームの形成を如何にして抑えられるかが重要なポイントとなっている。生物の真似をして最先端の科学技術を開発する「バイオミミクリー」あるいは「バイオミメティクス」が盛んに研究され、多様でかつ有益な技術発展が見られる。生物が持つ特殊な体表面の形状を模した構造を有する素材の研究により、抗菌効果を各段に向上させ細菌感染を著しく減少させる抗菌素材の開発が期待できる。今後この分野の発展により、生体に悪影響を及ぼすような抗菌剤や強力な洗剤を必要としないまったく新しいタイプの壁紙やエスカレーターの手すりなど、細菌汚染が危惧される場所で使用する表面素材などを開発することができると考えられる。

- 1) Wood, T. K.: *Environ. Microbiol.*, **11**, 1 (2009).
- 2) Chung, K. K. *et al.*: *Biointerphases*, **2**, 89 (2007).
- 3) Reddy, S. T. *et al.*: *J. Endourol.*, **25**, 1547 (2011).
- 4) Long, C. J. *et al.*: *Biofouling*, **26**, 411 (2010).
- 5) Sakamoto, A. *et al.*: *FEMS Microbiol. Lett.*, **361**, 10 (2014).
- 6) Pogodin, S. *et al.*: *Biophys. J.*, **104**, 835 (2013).
- 7) Hasan, J. *et al.*: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **97**, 9257 (2013).