

ゴムを食べる微生物たち

笠井 大輔

天然ゴムは、自動車のタイヤや免震ゴムをはじめとする工業製品に広く利用され、我々の生活に必要不可欠な天然資源の一つである。しかし、天然ゴムを必要としているのは我々だけではない。自然界には、天然ゴムを炭素源・エネルギー源として生育する、いわゆる「ゴムを食べる」細菌が存在する。

そもそも天然ゴムは、イソプレンがシス位で連なった poly(*cis*-1,4-isoprene) を基本骨格としており (図1)、それらがタンパク質やリン脂質と相互作用することで高分子構造を形成している。現在、この天然ゴムを食べる細菌、つまり poly(*cis*-1,4-isoprene) を分解・資化できるゴム分解菌が単離されている¹⁾。主に *Streptomyces* 属や *Gordonia* 属、*Nocardia* 属に含まれるゴム分解菌は、その分解特性から二つのグループに分類される。具体的には、天然ゴムラテックスを含む白濁した寒天培地で生育する際に、コロニーの周囲の天然ゴムが分解され半透明な領域を形成 (クリアゾーン形成) するもの (グループA) と、形成しないもの (グループB) に分けられる。グループBには、同寒天培地での生育能を持たない株も存在する。しかしグループBの分解菌は、合成 poly(*cis*-1,4-isoprene) を単一炭素源とした液体培地では良好に生育し、一般にグループAよりも強力なゴム分解能を持つことが知られている。

グループAに分類される *Streptomyces* 属のゴム分解菌は、菌体外にゴム分解酵素 (Lcp) を分泌することで poly(*cis*-1,4-isoprene) を分解する²⁾。Lcpの分泌には、

折りたたまれた状態のタンパク質を膜透過する twin arginine translocation (TAT) システムが関与する³⁾。分泌されたLcpは、イソプレン鎖に酸素分子を添加し、イソプレン間のC-C結合を切断することで poly(*cis*-1,4-isoprene) を低分子化する (図1)^{2,3)}。つまり、高分子であるゴムを食べやすい (菌体内に取り込みやすい) 大きさまで細かく切断するLcpの反応は、ゴム分解菌がゴムを食べるうえで最初にして最重要なステップであると位置付けられる。

グループBに分類される *Gordonia* 属や *Nocardia* 属などのゴム分解菌でもLcpと類似の酵素が見いだされた。これらも poly(*cis*-1,4-isoprene) の低分子化に関与することが明らかにされているが、クリアゾーン形成能の有無と分解酵素の機能との間に相関は見られていない。

既知のゴム分解菌は、グラム陽性菌が大部分を占めているが、これまでにグラム陰性のゴム分解菌もいくつか単離されている⁴⁾。それらは、poly(*cis*-1,4-isoprene) の分解に関わる酵素 (RoxA) を持つ^{4,5)}。RoxAは、TATシステムにより分泌される点や、酸素分子を添加し poly(*cis*-1,4-isoprene) を低分子化する点でLcpと類似の特徴を持つものの、両者の一次構造はまったく異なる。LcpとRoxAは、ゴムの低分子化という共通の目的を持つものの、一次構造の違いから互いに異なる進化を遂げてきたと推察される。しかし、両者の詳細なゴム分解メカニズムや、それらを持つ分解菌の自然界での生き様 (ゴムの食べ方) については未だ不明な点が多い。

今後、ゴム分解菌の分解特性や酵素学的諸性質の詳細が解明されれば、自然環境中でのゴム分解菌の役割や、異なる酵素がどのように進化してきたのかを解明する手がかりになるかもしれない。さらには、ゴム分解酵素の産業界、たとえば廃棄ゴム処理への応用につながり、従来の燃焼や埋立てに代わるクリーンな廃棄物処理技術の構築が実現するかもしれない。これらの点から、今後のゴム分解菌研究の発展に期待したい。

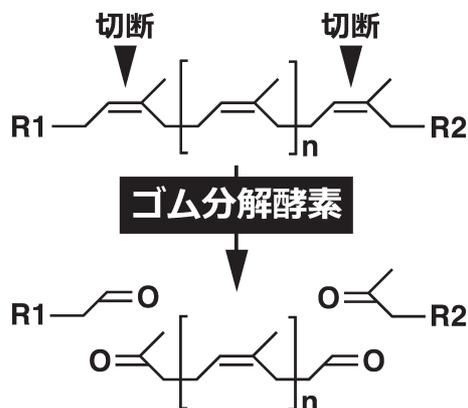


図1. poly(*cis*-1,4-isoprene) の構造とゴム分解酵素による低分子化

- 1) Rose, K. et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **71**, 2803 (2005).
- 2) Birke, J. et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **81**, 3793 (2015).
- 3) Yikmis, M. et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **74**, 5373 (2008).
- 4) Jendrossek, D. and Reinhardt, S.: *FEMS Microbiol. Lett.*, **224**, 61 (2003).
- 5) Birke, J. et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **79**, 6391 (2013).