

酢酸菌のセルロース合成モデル

外内 尚人

味の素(株) アミノサイエンス研究所 (主任研究員)
〒210-8681 川崎市川崎区鈴木町1-1
Tel. 044-244-7137 Fax. 044-244-6581
E-mail: naoto_tonouchi@ajinomoto.com
1986年 東京大学大学院農学系研究科修士課程修了
農学博士
現在の興味: 微生物を利用した有用物質生産

酢酸菌 (*Acetobacter*) は食酢の製造に用いられる菌として有名であるが、酢酸菌のある種のもの (*A. xylinum*) はセルロースを非常に効率的に合成する。酢酸菌の生産するセルロース (バクテリアセルロース) は、植物セルロースに比べて 1/100-1/1000 というきわめて細い繊維であり、その利用が注目されている。¹⁾ 酢酸菌がなぜ生産するのかについては、酢酸菌は非常に好氣的な菌であるため、酢酸発酵の際に培地表面に菌膜を形成するのと同様、セルロース生産菌の菌体を培地表面に留めておくためと考えられている。一方それとは逆に、酢酸菌の生産するセルロースは非常に保水性に優れているので、自然界において菌体を乾燥から保護するためという推察もある。さらに、セルロース生産菌にはセルラーゼが存在していることから、糖が豊富にある環境において、まず糖を他の菌が代謝しにくいセルロースに変換することによって優先的に利用しているといった理由も考えられている。

酢酸菌のセルロース合成酵素遺伝子は1990年に取得されており、²⁾ 当時は合成遺伝子を大腸菌に導入してセルロース合成が試みられたが、成功はしなかった。セルロース合成はそれほど単純ではなく、現在では図1に示すような多くの因子の関与が知られている。セルロースがどのように生産されるかについては未解明の部分が多いが、最近までに明らかとなってきたモデルについて紹介する。

A. xylinum の細胞壁には合成装置が一行に並んでおり、それぞれから細いセルロースの繊維 (マイクロフィブリル) が吐き出され、細胞外で束ねられながら結晶化して一本の糸 (リボン) として生産される。³⁾ セルロースの前駆体はUDP-グルコース (UDP-G) であり、菌体内で合

成されたUDP-Gが直接連結されて、セルロースとして菌体外に排出される。⁴⁾

合成酵素は、遺伝子上でオペロンを形成している4つのサブユニット (bcsA, B, C, D) からなり、bcsAがUDP-Gとの結合部位を有する合成酵素本体である。bcsBはサイクリックdi-GMP(c-di-GMP)の結合タンパクである。

c-di-GMPはセルロース合成に必要な補酵素であり、2分子のグアニル酸 (GMP) が5'と3'で環状に連結した化合物である。サイクラーゼ (DGC) と呼ばれる酵素により合成され、ホスホジエステラーゼ (PDE) により分解される。⁵⁾ 通常は結合タンパク (CDGBP) と結合して存在している。⁶⁾ bcsCは機能不明だが、膜貫通領域を持つ大きなタンパクでありセルロース合成に必須である。bcsDは細胞外膜上にあってセルロースの結晶化に関与しているらしい。また、遺伝子上では合成酵素オペロンをはさむように2つのセルラーゼ (CMCase および β グルコシダーゼ (β -glu)) 遺伝子が存在している。⁷⁾ これらのセルラーゼはセルロース生産に必須であり、合成されたばかりのセルロースのマイクロフィブリル繊維が、束ねられてリボンとして結晶化する以前の段階で関与していると考えられる。2種類のセルラーゼがそれぞれどのような役割を担っているのか、また、協調して機能しているのかは非常に興味深く、今後の解明が大いに期待されると思われる。

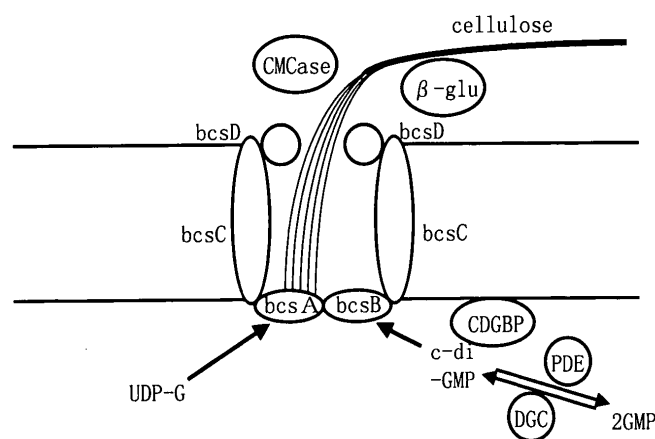


図1. セルロース合成の推定モデル (略語は本文参照)

- 1) 吉永ら: 化学と生物, **35**, 772 (1997).
- 2) Wong, H. C. et al.: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **87**, 8130 (1990).
- 3) 外内: 化学と生物, **39**, 538 (2001).
- 4) Tonouchi, N. et al.: *Biosci. Biotech. Biochem.*, **60**, 1377 (1996).
- 5) Tal, R. et al.: *J. Bacteriol.*, **180**, 4416 (1998).
- 6) Weinhouse, H. et al.: *FEBS Lett.*, **416**, 207 (1997).
- 7) Tonouchi, N. et al.: *Biosci. Biotech. Biochem.*, **61**, 1789 (1997).