

好アルカリ性 *Bacillus* 属細菌の細胞表層の重要な役割と従来とは異なるカチオン駆動力を  
利用するべん毛モーターについて

**A critical role of cell surface structure and non-conventional cation-coupled flagellar motors  
from the alkaliphilic *Bacillus* spp.**



伊藤政博

東洋大学 生命科学部 生命科学科

好アルカリ性細菌とは pH9 以上のアルカリ pH 環境下で良好に生育する極限環境微生物である。好アルカリ性細菌 *Bacillus pseudofirmus* OF4 株(以下 OF4 株)では、Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>アンチポーターや Na チャネルなどから構成される Na<sup>+</sup>サイクルがアルカリ pH 環境適応に重要であると考えられている<sup>1)</sup>。それに加え、OF4 株が持つ細胞表層タンパク質である SlpA は高 pH・低 Na<sup>+</sup>濃度での生育に関与することが報告されている<sup>2)</sup>。SlpA は酸性アミノ酸残基の含有率が高く、これが細胞表層に大量に発現することによって、細胞近傍の陽イオンを引き寄せ、局所的に pH を低下・Na<sup>+</sup>濃度を上昇させることによって高アルカリ pH 環境への適応に寄与しているという「イオントラップ」仮説が提唱されている。*csaB* 遺伝子は、ペプチドグリカン修飾酵素 polysaccharide pyruvyl transferase をコードすると推定されており、SlpA などの SLH モチーフを持つ細胞表層タンパク質がペプチドグリカンに結合するために必要な遺伝子である<sup>3)</sup>。そのため *csaB* 欠損株では、SLH モチーフを持つすべての細胞表層タンパク質が細胞表面に固定されなくなると推定された。OF4 株において *csaB* を欠損させると、Na<sup>+</sup>濃度に関わらず高 pH での生育が極端に悪化することが示された。この結果から、SlpA 以外の細胞表層タンパク質がアルカリ適応に大きく関与している可能性が示唆された。OF4 株のゲノム解析からは SlpA 以外にも 16 個の細胞表層タンパク質の存在が示唆されているが<sup>1)</sup>、機能未知のものも多くどれがアルカリ適応に関与しているかは不明である。

今回、*csaB* 欠損株、野生型、*slpA* 欠損株から細胞表層の超薄切片を作成後、透過型電子顕微鏡で表層構造を観察した。また、生育実験などの生理学実験から明らかになった *csaB* 欠損株の役割を紹介する。

もう一つのトピックスとして、生体分子ナノマシンとして注目を集める細菌の運動器官であるべん毛モーターを取り上げる。べん毛モーターが回転するモーターであると発見されてから43年がたつ。この間、このモーターは H<sup>+</sup>や Na<sup>+</sup>といった一価カチオンのイオン駆動力で回転するモーターであると長い間考えられてきた。しかし、最近の知見から二種類のカチオンを利用できるハイブリッド・モーターや H<sup>+</sup>や Na<sup>+</sup>以外のカチオンによる駆動力でも回転するモーターが自然界より発見された。このように従来とは異なるべん毛モーターの発見は、これまでの常識を覆すパラダイムシフトをもたらしたといえる。また、これらの発見から細菌の巧みな環境適応戦略が見えてくる。今回は、これらの従来とは異なる駆動力で回転する細菌べん毛モーターの最近の研究を紹介する。

1) Janto, B. et al., 2011 Genome of alkaliphilic *Bacillus pseudofirmus* OF4 reveals adaptations that support the ability to grow in an external pH range from 7.5 to 11.4. *Environ Microbiol.* **13**:3289-3309.

2) Gilmour, R. et al., 2000 Two-dimensional gel electrophoresis analyses of pH-dependent protein expression in facultatively alkaliphilic *Bacillus pseudofirmus* OF4 lead to characterization of an S-layer protein with a role in alkaliphily. *J. Bacteriol.* **182**: 5969~5981.

3) Mesnage, S. et al., 2000 Bacterial SLH domain proteins are non-covalently anchored to the cell surface via a conserved mechanism involving wall polysaccharide pyruvylation. *EMBO J.* **19**: 4473~4484.