

意外と知られていない？細菌が逃げるメカニズム

奥 正太

細菌の動く姿を見たことがあるだろうか？写真からは想像しづらいが、多くの細菌はとてもよく動く。細菌は、多様な運動様式を駆使して活発に行動し、活動空間を広げながら生存に有利な環境を探索しているのである。たとえば、水分の少ない固体表面では、スウォーミング（べん毛などによる固体上での移動）やトゥイッチング（線毛による固体上での移動）によってゆっくりと移動し、湿潤な固体表面になると、一部の細菌はグライディング（滑走）によって移動する。水層に到達した細菌は、スイミング（遊泳）によって水中を颯爽と移動する。

各運動様式での移動速度は細菌種によって異なるが、基本的にスイミングがもっとも速く（表1）、大腸菌は10～35 $\mu\text{m/s}$ 、*Pseudomonas*属や*Ralstonia*属などの土壌細菌は20～105 $\mu\text{m/s}$ の速度で泳ぐことができる。また、驚くべきことに一部の海洋細菌は約200 $\mu\text{m/s}$ もの速度で泳ぐことができる¹⁾。数十～数百 μm という距離は人間から見れば微々たるものであり、重要な機構には思えないかもしれない。しかし、細菌の個体が約5 μm 程度であることをふまえると、実はかなり高速で移動しているといえる（ヒトのサイズに換算すると時速12～2450 kmに相当）。

スイミングの主要な運動器官はべん毛であり、船のスクリュープロペラのようにべん毛を回転させることで水中を移動する。細菌は特定の刺激を受容した場合、べん毛回転を二成分制御系によって制御することで、集積もしくは忌避行動を示すことができる（走性）。特に化学物質に対する走性を走化性と呼ぶ。集積行動に関わる走化性は盛んに研究されており、次第にその分子機構や生態的重要性が明らかになってきた²⁾。一方、集積行動に関する研究と比べ、忌避行動に関わる走化性の研究例は少ない。本稿では、未だ発展途上である忌避走化性の研究状況について紹介する。

細菌の忌避物質は100年以上前から研究されており、1974年には大腸菌の忌避物質80種類が報告された³⁾。一般に、忌避応答は、有害な物質および環境から逃避する行動であると考えられている。実際に、大腸菌や*Vibrio*属は、有害なフェノールを忌避することが知られ

る^{1,3)}。また、一部の代謝産物（酢酸、エタノール、インドールなど）も忌避物質として認識される^{1,3)}。これは、細胞の過密によって悪化した環境を避ける機構であると推察される。しかし一方で、アミノ酸やニッケルイオン (Ni^{2+}) など増殖に必要な物質が忌避物質として認識される場合もあり^{3,4)}、忌避作用と有害性の間に完全な相関があるわけではない。

忌避走化性の分子機構は完全には解明されておらず、その研究の多くは道半ばである。たとえば、大腸菌の Ni^{2+} 忌避では、1993年の報告以降、 Ni^{2+} 結合タンパク質NikAを介して走化性センサーTarが Ni^{2+} を認識すると考えられてきた。しかし、2010年にEnglertらが、*nik*遺伝子群を破壊しても Ni^{2+} の忌避に影響がないことを証明し、現在はTarが直接 Ni^{2+} を感知しているモデルに修正された⁴⁾。しかし、Tarがどのように Ni^{2+} を感知しているのかは未だ不明である。

一方、 Ni^{2+} と同様に古くから研究されているフェノール忌避機構では、近年進展がみられた。大腸菌のフェノール忌避に関わるTsrは典型的な走化性センサーであり、細胞外に突出した領域（LBD）、膜貫通領域（TM）、細胞質シグナル変換領域、細胞質キナーゼ制御領域のドメインから成る。従来の走化性モデルでは、走化性センサーはLBDにてリガンドを感知すると考えられてきた。しかし、PhamとParkinsonは、TsrはLBDによってフェノールを感知しているのではなく、TMによってフェノールが引き起こす細胞膜特性の変化を感知しているという新たな走化性モデルを提唱した⁵⁾。確かに、このモデルならば、細胞膜に影響するさまざまな物質（エタノールなど）の忌避機構について広く説明できる。しかし、当該論文ではTMが細胞膜特性の変化を感知している直接のデータは示されておらず、今後、モデルの検証が待たれる。

我々が普段重宝する虫よけスプレーは、DEET (*N,N*-diethyl-3-methylbenzamide) と呼ばれる忌避剤の効果を利用したものだ。また、害虫だけでなく、イノシシやモグラなど害獣から農地を守るための忌避剤も販売されている。このように、生物の忌避行動は、生活のさまざまな場面で利用されている。今後、細菌の忌避機構の研究が進むことで、新たな有用技術の創生に応用されることを期待したい。

表1. 細菌の主な運動様式と移動速度¹⁾

運動様式	主要な運動器官	移動速度
スイミング	べん毛	10～200 $\mu\text{m/s}$
スウォーミング	べん毛	約3 $\mu\text{m/s}$
トゥイッチング	線毛	0.03～0.15 $\mu\text{m/s}$
グライディング	※細菌種によって異なる	0.015～10 $\mu\text{m/s}$

- 1) Eisenbach, M. *et al.*: Chemotaxis, Imperial College Press (2004).
- 2) Oku, S. *et al.*: *Microbes Environ.*, **29**, 413 (2014).
- 3) Tso, W. W. and Adler, W.: *J. Bacteriol.*, **118**, 560 (1974).
- 4) Englert, D. L. *et al.*: *J. Bacteriol.*, **192**, 2633 (2010).
- 5) Pham, H. T. and Parkinson, J. S.: *J. Bacteriol.*, **193**, 6597 (2011).