

超微小バクテリアは何者か？

中井 亮佑

微生物は目に見えない“微小な”生き物の総称である。では、微生物はどこまで小さくなれるのか。小さな生き物について考えるうえで、そのサイズの下限は本質的な問題といえよう。一般的には、微生物（特にバクテリアやアーキアなど原核生物）の最小サイズは0.2 μm前後と考えられている。これは生命活動を維持するために必要な生体分子、具体的には細胞膜やタンパク質・リボソーム・DNAなどを十分な量で含む大きさである。そのため、微生物を“ろ過除菌”する際には、直径0.2 μmの微細な孔径のフィルターがよく用いられる。

しかし最近になって、常識では考えられないほどに小さな超微小バクテリア（ultramicrobacteria）が除菌フィルターを通過することがわかってきた。細胞がもつ“しなやかさ”を考えると、フィルターろ過後のろ液（以下、0.2 μmろ液）に残った微生物がただちに直径0.2 μm以下の球菌であることを意味しない。たとえその目合い（0.2 μm）より大きな微生物であっても、その柔軟な細胞はフィルターを通り抜けられる。現在、超微小バクテリアの大きさには「細胞の体積が0.1 μm³未満」という一定の合意がある¹⁾。たとえば、直径0.6 μmの球菌の細胞体積が約0.1 μm³である。

超微小バクテリアにはどのような系統が含まれるのか。一つには、プロテオバクテリア門に属する“*Candidatus Pelagibacter ubique*”がある。その細胞はC字状の形態をもつ（細胞体積は約0.01 μm³）。本種を含むSAR11とよばれる系統群は海洋環境でもっとも繁

栄しており、その細胞数は約10²⁸個に達すると推定されている²⁾。さらに、“*Ca. P. ubique*”のゲノムサイズは約130万塩基対（1.3 Mbp）ときわめて小さい²⁾。この理由としては、環境中でほかの微生物が作り出す代謝産物に依存してきた結果、自身にとって負担の大きい代謝機能に関する遺伝子群を失ったことがあげられよう。

淡水環境に遍在する微生物もまた超微小バクテリアである。そのうちの一種、アクチノバクテリア門に属する*Aurantimicrobium minutum*は、河川水の0.2 μmろ液から発見された。興味深いことに、その細胞形態は“*Ca. P. ubique*”とよく似たC字の形を示す（図1；細胞体積は約0.05 μm³）。そのゲノムサイズもやはり約1.6 Mbpと小さい³⁾。“*Ca. P. ubique*”や*A. minutum*は寄生性や共生性ではなく、独力で生きられる自由生活性の微生物である。そのため、微生物が自然界で生きていくために必要な“最小遺伝子セット”を追究するうえで、超微小バクテリアのもつ小さなゲノムは一つのモデルになり得る。

さらに驚くべき報告がある。Banfieldらは、米国コロラド州で採取した地下水の0.2 μmろ液から、先ほど紹介した超微小バクテリアよりも小さな複数の微生物（細胞体積は約0.009 μm³）を発見した⁴⁾。分子系統解析の結果によると、それらは新門レベルのバクテリアであった。加えて、電子顕微鏡による観察では分裂中と思われる細胞も見いだされ、それらが休眠状態ではなく、極小サイズのままで代謝活動を行っていると考えられた。また、同グループは、0.2 μmろ液中のDNAをまるごと解読するメタゲノム解析などを行うことで、35を超える数の門レベルで新規な未培養バクテリア系統群を特定した⁵⁾。系統的にまったく新しい微生物がこれまで看過されていた0.2 μmろ液のほうに存在したというわけだ。このように、小さいサイズの極限には未知なる機能を秘めた超微小バクテリアたちが潜んでいる。

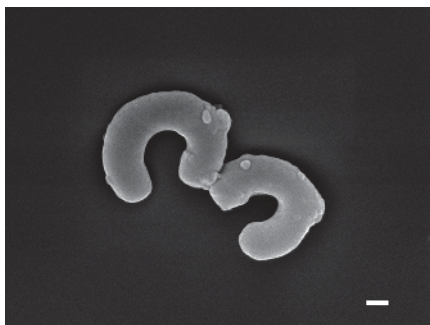


図1. *Aurantimicrobium minutum* の電子顕微鏡写真。スケールバーは0.1 μm。

- 1) Duda, V. I. *et al.*: *Microbiology*, **81**, 379 (2012).
- 2) Tripp H. J.: *J. Microbiol.*, **51**, 147 (2013).
- 3) Nakai, R. *et al.*: *Genome Announc.*, **4**, e00616-16 (2016).
- 4) Luef, B. *et al.*: *Nat. Commun.*, **6**, 6372 (2015).
- 5) Brown, C. T. *et al.*: *Nature*, **523**, 208 (2015).