

## 酸素の要らない「酢酸生成菌」の世界

加藤創一郎

みなさんは「酢酸生成菌 (acetogenic bacteria)」をご存じでしょうか？お酢の醸造に使われるやつでしょ？ナタデココを作るやつ？いいえ残念、それらは一般に「酢酸菌 (acetic acid bacteria)」と呼ばれる微生物だ。酢酸菌は好氣的に（酸素を使って）エタノールなどの有機物を酸化し、酢酸を作る微生物である。一方、まぎらわしい名前の酢酸生成菌は、嫌氣的に（酸素を必要とせず）酢酸を作って生きている。酢酸生成菌の発見は1930年代にまでさかのぼる（ちなみに酢酸菌は1860年代にパスツールが発見）。そのような長い歴史を持ちながら、お酢作りにかかせない酢酸菌と比べると知名度の低さは否めない。しかし近年、そんな酢酸生成菌がいくつもの分野で注目を集めている。

酢酸生成菌は「アセチル CoA 経路を用い二酸化炭素からアセチル CoA を合成し、炭素同化・エネルギー生産をおこなう微生物」とでも定義されよう。アセチル CoA 経路 (Wood-Ljungdahl 経路とも呼ばれる) は現存生物で確認されている全6種の炭素固定経路の一つである。その中でもアセチル CoA 経路はひととき異彩を放つ経路といえる。特に「炭素固定経路であり、かつエネルギー代謝経路でもある」「回路ではなくシンプルな直線的経路である」という唯一無二の特徴は、酢酸生成菌の応用利用、あるいは進化を考えるうえで大きな意味合いを有している。

比較的古くから酢酸生成菌が利用されているのが、生物学分野における二酸化炭素からの燃料・化成品生産である。アセチル CoA 経路は他の炭素固定経路とは異なり、エネルギー代謝経路も兼ねている。そのため酢酸生成菌はエネルギーを得るために必要以上に炭素を固定してしまう、という見方もできる。この特性は有用物質生産に利用するうえできわめて都合が良い。また酢酸生成菌の多くは水素だけでなく一酸化炭素もエネルギー源として利用可能であるため、安価に入手可能な合成ガス（シンガスとも呼ばれる、化石燃料やバイオマスの高温下での水蒸気改質により生成する  $H_2/CO/CO_2$  の混合ガス）からの有用物質生産への利用が期待されている<sup>1)</sup>。酢酸生成菌のなかには有用な代謝産物（エタノール、2,3-ブタンジオールなど）の合成系を有しているものも確認されている。また数種の酢酸生成菌については遺伝子操作法も確立され、遺伝子工学的手法による産物の選択性、

生産性向上も期待されている。

近年発展が著しい電気微生物学の分野でも、酢酸生成菌はちょっとしたブームである。Nevinらは一部の酢酸生成菌が水素や一酸化炭素の代わりに電気をエネルギー源として利用可能であることを見いだした<sup>2)</sup>。この発見は微生物を触媒として電気エネルギーを燃料や化成品に変換する、微生物電気合成 (microbial electrosynthesis) と呼ばれる新技術の礎となっている。同グループは酢酸生成菌の電気利用性と遺伝子工学技術との合わせ技によって有用有機物の微生物電気合成を試みている。さらに興味深いことに、この種の酢酸生成菌は金属鉄から電子を引き抜く能力を有し、その電子をエネルギー源として生育可能である<sup>3)</sup>。この反応は無酸素環境下での鉄の腐食（いわゆる“さび”）を促進することから、鉄構造物の腐食防止という観点から関心を持たれている。

最後にもう一つ、酢酸生成菌が脚光を浴びているのが生命の誕生や初期進化に関する分野である。生命の維持および増殖・進化にはエネルギーと有機物の継続的な獲得が不可欠である。はたして原始生命体はいかなるエネルギー・炭素固定代謝系を有していたのであろうか？その比類なき特性、すなわち直線的経路であり炭素固定とエネルギー代謝を兼ね備えている点から、アセチル CoA 経路こそが原始生命体が獲得した代謝系であった、と主張する研究者も多い<sup>4)</sup>。また近年発展した環境メタゲノミクス技術により、未培養分類群に属するいくつものバクテリアやアーキアがアセチル CoA 経路による酢酸生成代謝に依存した生活様式を有していることも示唆されている<sup>5)</sup>。そのような微生物の分離培養、代謝系の解明、およびその進化系統的解析は、地球上における生命誕生の謎をひも解くカギとなるかもしれない。

以上のように、ナタデココを作るのには向かない酢酸生成菌ではあるが、生物学や進化学といった幅広い分野で熱い視線を注がれている。「酸素の要らない酢酸生成菌の世界」、みなさんもちょっと覗いてみませんか？

- 1) 村上克治：生物学，**91**，654 (2013)。
- 2) Nevin, K. P. *et al.*: *Appl. Environ. Microbiol.*, **77**, 2882 (2011)。
- 3) Kato, S. *et al.*: *Appl. Environ. Microbiol.*, **81**, 67 (2015)。
- 4) Martin, W. F.: *FEBS Lett.*, **586**, 485 (2012)。
- 5) He, Y. *et al.*: *Nat. Microbiol.*, **1**, 16035 (2016)。