

## Viva, 異分野融合！～微生物による半導体ナノ粒子合成～

綾野 裕之

「微生物による有用物質生産」と聞けば、多くの人は何らかの有機物を思い浮かべるのではないだろうか。しかし近年、半導体ナノ粒子という生物とは無縁に見えるモノの微生物合成が俄かに注目されるようになっている。

微生物による金属変換自体は異化代謝や重金属耐性機構として以前から知られており、重金属汚染域の浄化や希少金属元素の回収などへの応用が研究されてきた。そこから視点を変え、半導体ナノ粒子という有価物を合成しようというわけである。半導体ナノ粒子の合成に微生物を用いることの利点は一般的に、1) 高価で有害な薬品を使用しないため、低コストで環境調和型である、2) 反応が室温で起こるため、高温を必要とする化学合成に比べて省エネルギー型である、3) ナノ粒子表層が微生物由来のタンパク質で覆われることで生体への適合性が高くなり、医学分野での応用が期待できる、などが挙げられ、微生物合成特有の機能付加も期待される。

では、具体的にどのような半導体ナノ粒子が微生物により合成されているのかについて少し紹介しよう。セレン化カドミウム (CdSe) は発光素子である量子ドットの材料物質であり、ディスプレイ材料からバイオイメージングまで幅広く応用されている。CdSeナノ粒子の微生物合成は、Kumarらが真菌の *Fusarium oxysporum* を用いた研究で初めて報告した<sup>1)</sup>。テルル化カドミウム (CdTe) はCdSe同様量子ドットの材料物質であり、Baoらの *Saccharomyces cerevisiae* による合成が最初の報告になる<sup>2)</sup>。これら金属ナノ粒子は、大腸菌や酵母などよく知られた微生物に加え、嫌気性細菌や新規に単離された細菌などによっても合成される事が報告されてい

る。一例として、図1にこの新規に単離された細菌、*Pseudomonas aeruginosa* RBの細胞内外でCdSeナノ粒子が蓄積されている様子を表す電子顕微鏡写真と、その粒子の元素分析結果を示す (Cuのピークは試料台の材料に由来する)<sup>3)</sup>。また、最近の報告で黒田らは、さまざまなセレン代謝細菌を用いて、熱電材料となるセレン化ビスマス ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) の合成に成功したとしており、量子ドット以外の半導体ナノ材料にも微生物合成の可能性が広がっている<sup>4)</sup>。

さて、読者諸賢はこのような生存には不必要な物質を、微生物が如何にして合成しているのか気になっているのではないだろうか。現段階でははっきりした合成機構は不明だが、いくつかのヒントは報告されている。Cuiらは酵母がセレノシステインを前駆体とし、グルタチオンの関与によりCdSeを合成している可能性が高いことを *in vitro* 実験により示した<sup>5)</sup>。また、Baoらは重金属の解毒作用として細胞から分泌されたタンパク質がテルルやカドミウムを補足し、それらが集まることでテルルとカドミウムのイオンが反応してCdTeが合成されたと考察している<sup>2)</sup>。また、Parkらは大腸菌に重金属結合タンパク質であるメタロチオネインまたはファイトケラチン合成酵素の遺伝子を導入し、種々の半導体ナノ粒子を合成したとしている<sup>6)</sup>。詳細なメカニズムの解明にはさらなる研究が必要となるが、応用だけでなく、サイエンスとしても興味深いテーマではないだろうか。

これらの研究は生物工学者と材料工学者の双方によって進められてきたが、いかんせん両者の得意不得意によりまだ十分な研究がなされているとは言いがたい。しかし、異なる分野が融合してバイオプロセスに新たな境地を拓く好例であることは間違いないだろう。今後研究者らが専門分野の垣根を超えて手を取り合い、人類の発展と環境との調和に貢献できるさらなるイノベーションを起こすことを期待したい。

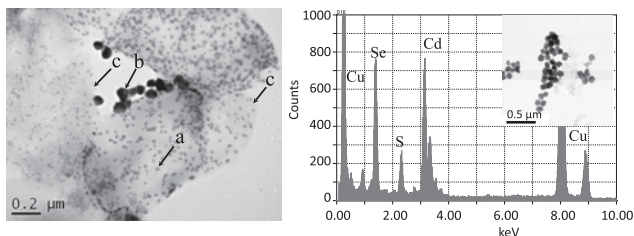


図1. *Pseudomonas aeruginosa* RBにより合成されたCdSeナノ粒子 (左) とナノ粒子の元素分析結果 (右)。a: 細胞内のCdSeナノ粒子, b: 細胞外のCdSeナノ粒子, c: 細菌細胞。文献3) [*J. Biosci. Bioeng.*, **119**, 440–445 (2015)] より一部改変して掲載。

- 1) Kumar, S. A. *et al.*: *J. Biomed. Nanotechnol.*, **3**, 190 (2007).
- 2) Bao, H. *et al.*: *Nano Res.*, **3**, 481 (2010).
- 3) Ayano, H. *et al.*: *J. Biosci. Bioeng.*, **119**, 440 (2015).
- 4) 黒田真史ら: 日本生物工学会大会講演要旨集, 1P-168 (2015).
- 5) Cui, R. *et al.*: *Adv. Funct. Mater.*, **19**, 2539 (2009).
- 6) Park, T. J. *et al.*: *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, **49**, 7019 (2010).