

微生物マグネタイト

Bacterial magnetite

松永 是[1], 阪口 利文[1]

Tadashi Matsunaga[1], Toshifumi Sakaguchi[2]

[1] 東京農工大・工・生命工

[1] Dept. of Biotechnol., Tokyo Univ. of Agri. & Tech., [2] Dept. of Biotechnol., Tokyo Univ. of Agri & Tech.

<http://www.tuat.ac.jp/~matunaga/>

ある種の微生物は環境中の微量な鉄イオンを菌体内に濃縮し、ナノサイズのマグネタイトを合成することで、磁気感受性となることから磁性細菌と呼ばれる。これまで、磁性細菌は代謝的特徴が不明であったため培養例は極めて少なかった。しかしながら、新たに酸素耐性や完全嫌気性磁性細菌が分離され、これらの微生物に対する遺伝子導入系や変異株創製系の開発、代謝的解析が進むにつれ、磁性細菌の代謝、及び系統分類学的多様性、更に微生物マグネタイトの合成機構・条件に関する知見が明らかになってきた。本研究では、これまでに得られた磁性細菌、及び微生物マグネタイトの形成に関する知見について微生物学的、及び地質学的側面から紹介する。

はじめに、

ある種の微生物は環境中の微量な鉄イオンを菌体内に濃縮し、ナノサイズのマグネタイトやグレイタイトを合成することで、地磁気に対して磁気感受性となることから磁性細菌と呼ばれている。磁性細菌は、海洋、湖沼、河川、水分の多い土壌、など様々な、水圏の泥質に生息していることが確認されており、生息域における多様性が明らかになっている。また、形態的多様性がみられる微生物であり、これまでに、球形、螺旋形、長・短桿形、湾曲状形、多細胞不定形などの磁性細菌が発見されている。しかし、磁性細菌の代謝的知見が極めて少なかったため、培養できる磁性細菌は限られたものであった。そのため、微生物マグネタイトの合成機構や走磁性の役割、磁性細菌の系統分類学的、及び代謝的多様性についての知見はほとんど得られてこなかった。近年、新たに酸素耐性や完全嫌気性磁性細菌が分離され、これらの微生物に対する遺伝子導入系や変異株創製系の開発、代謝的解析が進むにつれ、磁性細菌の代謝、及び系統分類学的多様性、さらに微生物マグネタイトの合成機構が明らかにされてきた。本研究では、これまでに得られた磁性細菌、及び微生物マグネタイトの形成に関する知見について微生物学的、及び地質学的側面から紹介する。

酸素耐性磁性細菌

磁性細菌の磁気応答性に関する目的性については、この微生物が酸素に対して弱く、大気条件などの高酸素濃度下では生体活性や増殖能を失う微好気性細菌であるため、菌体に合成した磁石を磁気コンパスにおけるラダーとして使用することで、酸素濃度の低い地底方向を感知すると考えられてきた。また、生態学的調査から北半球に生息する磁性細菌はS極に、南半球のものはN極、赤道付近では両極に一方向的に泳動すると観察され、この仮説を裏付けるとされてきた。すなわち、酸素忌避行動として、一方向への泳動性と走磁性が提案されている。しかしながら、筆者らによって分離されたラセン状磁性細菌 (*Magnetospirillum* spp. AMB-1 及び MGT-1 株) は、好気条件では酸素を呼吸物質として用いて生育し、通気条件などの好気的な環境における生育が可能であった。この2株は通性嫌気性であり、嫌気条件、及び微好気的な条件で硝酸を最終電子受容体として培養を行うと、菌体内にマグネタイト微粒子が合成される。加えて、好気的に培養された菌体には磁性細菌粒子は合成されないが、大腸菌や海洋藍藻類に比較して、約 10-50 倍にあたる鉄イオンが取り込まれていることが明らかになった。また、好気的に培養され、磁性細菌粒子を合成していない菌体を接種試料として用い、硝酸を最終電子受容体とする嫌気条件で増殖させると菌体には磁気微粒子が合成される。これらの結果は、酸素忌避行動としての走磁性が全ての磁性細菌には当てはまらないことを示していた。

嫌気性磁性細菌

筆者らによって分離された桿状の形態を有する磁性細菌 RS-1 は、嫌気性で硫酸還元能があり、既存の磁性細菌とは異なる代謝様式を有する。またこの細菌は硫酸還元代謝を行いながら菌体内にマグネタイトの結晶を合成し、同時に、異化的に硫化鉄を形成するユニークな微生物である。そのため、火星隕石上化石における生命の可能性や超深度地下での生物の存在の証明と考えられる根拠を満たせる生物代謝様式・産物を備えている。つまり、バイオマーカーとなりうる単磁区構造のマグネタイトの生産、嫌気条件の指標となる硫酸還元とその結果、起こりうる硫化鉄の生成などを同時に行える微生物である。RS-1 は硫酸還元の他にフマル酸還元や電子受容体を必要としないピルビン酸発酵の代謝機構を有し、それぞれの条件で二価の鉄イオンを取り込み菌体内にマグネタイト磁気微粒子

を合成する。つまり、嫌気条件で微量な鉄(II)イオンとピルビン酸などの有機酸さえあれば、ナノサイズのマグネタイト磁気微粒子が合成されることを意味しており、原油や海底泥などに存在する起源の不明なマグネタイトの生物的因子による生成の証明としてRS-1が考えられた。また、菌体内における鉄イオンの酸化がマグネタイト磁気微粒子の形成に深く関与していると示唆された。加えて、16SrDNAのシーケンス配列に基づく分子系統分類では、本菌は、*Desulfovibrio* に属する新種の細菌であることが判明し、新規の微生物マグネタイトの合成機構が示唆されている。

おわりに、

酸素耐性や嫌気性磁性細菌が発見されるにつれ、微生物の走磁性に関する目的性が疑わしくなったきた。今後、遺伝子・分子レベルからマグネタイトバイオミネラル化の機構が明らかになれば、その目的性や、結晶化の分子制御機構が明らかにされると思われ、関係する研究の進展が望まれる。