

# STXM を応用した微生物－鉱物相互作用の解明

光延 聖

静岡県立大学・薬食生命科学総合学府

微生物－金属－鉱物相互作用は、微生物の普遍性や反応速度が大きい点などから地球表層における物質や元素の循環機構に大きな影響を与えている。例えば、バクテリアによる硫化鉱物溶解反応の場合、溶解速度は無菌状態の数十倍にも達することが報告されており、硫化鉱物溶解による鉱山周辺環境で問題となる酸性廃水生成などに大きく寄与している。しかし、直接分析の困難さなどから、微生物による金属－鉱物相互作用には未解明な点が多い。つまり、反応は微小領域である微生物－鉱物付着面で起きており、従来のバルク分析だけでは微生物－金属－鉱物相互作用を詳細に解明できないのである。我々はこれまで硬 X 線マイクロ XAFS 法を使い、金属元素の化学種を高い空間分解能で決定することで、微生物－金属相互作用の解明を試みてきた(Mitsunobu et al., 2012 など)。本研究ではさらに、走査型透過 X 線顕微鏡(STXM)を使用し、ナノスケールで微生物細胞周辺の金属、有機物の化学種を直接決定し、より詳細に反応メカニズムを解明することを目的とした。

モデル実験系として、鉄酸化バクテリア(*Acidithiobacillus ferrooxidans*)を用いたパイライト( $\text{Fe}^{\text{II}}\text{S}_2$ )の酸化溶解実験を実施した。継時的に採取したパイライト－鉄酸化微生物懸濁物に対して、STXM 分析を KEK-PF BL13A にて実施した。炭素、酸素、窒素の NEXAFS 分析によって、鉱物溶解に関与する有機物（酵素などのタンパク質、錯生成能をもつ有機酸、多糖類など）の存在やその組成を明らかにした。鉱物/微生物懸濁試料は、窒化ケイ素膜(厚み: 100 nm)に分散させた後、穏やかに風乾させて分析に供した。

鉄酸化バクテリア 1 細胞を標的として、約 50 nm 程度の空間分解能で窒素、酸素、炭素の NEXAFS を測定することに成功した。特に、炭素 NEXAFS 分析の結果、細胞の外側と内側ではスペクトル形状が異なり、細胞外側では多糖類の割合が多いことがわかった。また、同様に鉄の  $L_3$  および  $L_2$  NEXAFS 分析の結果、多糖類が多い微生物-鉱物付着面では、鉄は基質であるパイライトと異なる  $\text{Fe(III)}$  の化学種として存在していることがわかった。この結果は、*A. ferrooxidans* が溶解を促進する有機物を鉱物表面で生成する可能性を示しており、生体外有機物が微生物の生存戦略に重要な機能を持つことを示す。今後は、この細胞外有機物の機能解明のため、金属錯生成能や pH 緩衝能の有無を調べる予定である。

詳細は講演で紹介するが、STXM 法は (1) ナノスケールの高空間分解能で金属化学種および有機物組成を決定できる、(2) 高い元素選択性を有する、(3) 分析に真空を必要とせず水を含む生物試料でも分析できる、など多くの利点を持ち、微生物－金属－鉱物反応を研究するための強力な分析手法といえ、今後の生物地球化学分野への応用が期待される。