

# 放射光源 X 線顕微鏡を使った環境試料分析

光延 聖

静岡県立大学 環境科学研究所

私の専門は環境化学や地球化学と呼ばれる研究分野で、健康被害を引き起こす有害元素の環境挙動について研究を進めている。特に元素の化学状態(酸化数や結合様式)に着目して、土壤/水質汚染のメカニズム解明を行ってきた。土壤など固相中の元素の化学状態には、非破壊分析かつ元素選択性が高い XAFS 法が広く応用されつつある。土壤や堆積物といった環境試料は、鉱物や粘土といった固体物質に加え、有機物、水、微生物などを含んだ不均質な混合物である。酸素濃度や pH といった化学条件、それに応答した微生物相はミクロスケールで変化し、そこで起きる化学反応も変化する。このため、土壤中の元素挙動を詳細に理解するには、バルク分析はもちろん局所領域分析も組み合わせることが重要である。最近、我々は  $\mu$ -XAFS 法を使って、土壤や堆積物中の局所領域での反応解明を進めており、本講演では、2つの研究について紹介する。

## 1. $\mu$ -XAFS 法によるアンチモン(Sb)の土壤への濃集メカニズムの解明

Sb は工業製品に大量に使用されており、環境への放出が懸念されている有害元素である。土壤中での Sb 挙動を調べるなかで、酸素が少ない嫌気環境で Sb が土壤へ濃集することがわかってきたが、そのメカニズムは未解明であった。そこで、 $\mu$ -XAFS 法で土壤粒子中のアンチモン価数分布を観察したところ、10  $\mu\text{m}$  程度のごく表面で還元態の Sb(III)の局在が観察された。Sb(III)は Sb(V)に比べて水溶解性が非常に低いため、この部分的な還元反応が Sb の土壤濃集を引き起こしていると考えられる。

## 2. $\mu$ -XAFS 法と FISH 法を組み合わせた微生物-元素反応の解明

環境中における微生物-元素相互作用は、有害元素や重金属の環境挙動を考える上で、きわめて重要である。例えば、東南アジアで深刻な被害をもたらしている地下水のヒ素汚染は、微生物によって溶存しやすい亜ヒ酸に還元されることが、汚染拡大の主要プロセスと考えられている。しかし、“環境での微生物-元素相互作用”には未解明な点が多い。特に微小領域での素反応や反応時間については、ほとんど知見がない。そこで、我々は特定の微生物を可視化できる FISH 法 (蛍光 *in situ* ハイブリダイゼーション法) と  $\mu$ -XAFS 法を組み合わせ、より直接的に微生物-元素相互作用を観察する手法の開発している。天然堆積物に本手法を適用した結果、鉄酸化細菌が濃集する領域では鉄鉱物の化学状態が他の領域と異なることが明らかになった。

上で紹介したのは硬 X 線顕微鏡を使った研究であり、主に金属元素の分析に基づいた研究である。しかし、微生物が関与する反応など有機物との相互作用によって金属元素の挙動が変化する例も報告されており、高い空間分解能で軽元素の状態分析ができる軟 X 線顕微鏡の必要性を感じている。講演では、環境化学や地球化学分野から軟 X 線顕微分光へ期待することについても述べたい。