

微生物が関与する新規固液界面現象の探索と環境修復技術の開発

大貫敏彦

東京工業大学科学技術創成研究院

環境中に存在する微生物の細胞と水溶液との界面は、水溶液に溶解したアクチノイド、希土類元素などの重元素や核分裂生成核種の化学状態を変化させる。細胞の界面では、元素の細胞表面への吸着、金属イオンと錯体を生成する有機物の分解、呼吸などに伴う電子授受やリン酸などの必須元素との反応による鉱物化などが生じる（図 1）。

生物の界面における元素との相互作用に関する研究は 3 つの段階に分けられる。最初の段階は、細胞表面のカルボキシル基などの官能基への金属イオンの吸着挙動の解明である。官能基としては、カルボキシル基の他に、リン酸基、水酸基、アミノ基などがある。これらの官能基と金属イオンが錯体を生成することが、表面錯体モデルにより示されてきた。一方、錯体の形成については、レーザー分光や EXAFS によりの直接的な証拠が示された。第 2 段階としては、微生物の呼吸に伴う電子授受による金属イオンの酸化還元である。中でも、ウランについては、多くの研究が行われてきた。硫酸還元菌や鉄還元菌を用いて U(VI) の U(IV) への還元について研究が行われてきた。興味深いことに、すべての還元菌が U(VI) を還元できるわけではなく、一部の菌のみが電子を U(VI) に供与できる（図 2）。U(VI) の還元についての直接的な証拠としては、XANES によるスペクトルの変化である。ウランの他にも Np や Pu についても多くの研究が行われている。日本では、ウランについては XANES によるかいせ解析はあるものの、Np や Pu についてはほとんど研究されていない。第 3 段階としては、細胞表面で生じる鉱物化である。特に、生物の必須元素であるリンとの反応によるリン酸塩鉱物化について研究を進めてきた。鉱物化の機構の解明には、EXAFS は必須であり、細胞表面への吸着は初期の反応であり、細胞の中から排出された P と細胞表面で反応することにより、リン酸塩鉱物が生成する機構を明らかにした（図 3）。

このような、微生物による鉱物化を用いた福島における放射性 Sr の回収方法の開発を行っている。福島原子力発電所では、一部の汚染水が港湾内に漏出したり、タンクに保管している汚染処理水の一部が地下水中に漏出したりするようなことが起こっている。海水や汚染処理水は、塩濃度が高いのが特徴である。塩濃度の上昇は、ゼオライトなどの吸着材の吸着性能を低下させる。そこで、海水などの塩濃度が高い水溶液中で鉱物を生成する菌を探索した。対象とした鉱物は、炭酸塩鉱物及びリン酸塩鉱物である。海水中には Ca イオンが含まれているため、炭酸やリン酸を生成する鉱物を探索して、Sr 及び Co の海水からの除去を目指している。生物が生成した炭酸塩鉱物に取り込まれた Sr の化学状態を分析した結果、一部がストロンチアナイト (SrCO_3) と同じ化学状態に変化することを明らかにした。また、回収した Sr の固化法としてジオポリマーに注目している。これまで、ケイ酸ソーダとパルプスラグを用いた場合に、Sr を固化できることを確認している。ジオポリマー中の Sr の化学状態を XANES により解析した結果、Slowsonite と同じであることを明らかにした。この結果は、Sr が鉱物化したために、ジオポリマーからの溶出が低くなったと考えられる。

以上の結果は、環境修復材料の開発において取り込まれた元素の化学状態を明らかにすることは、修復材料の有効性の科学的根拠を与えるだけでなく、材料の改良や複数材料からの

選択において重要な知見を与える。

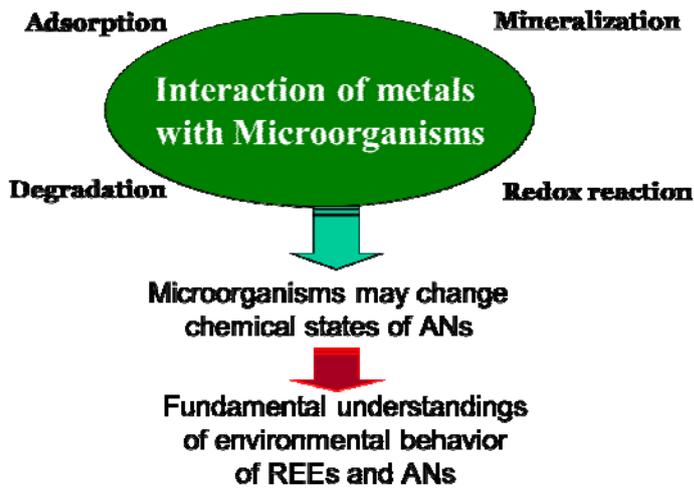


図 1 細胞表面生じる界面現象。

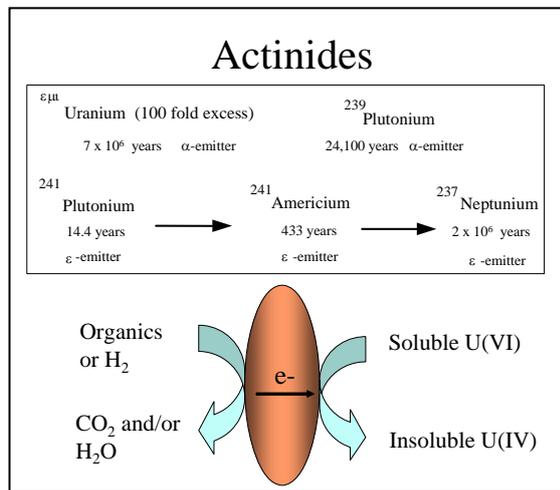


図 2 鉄還元菌などの呼吸に伴う電子供与によるウラン還元機構の模式図。

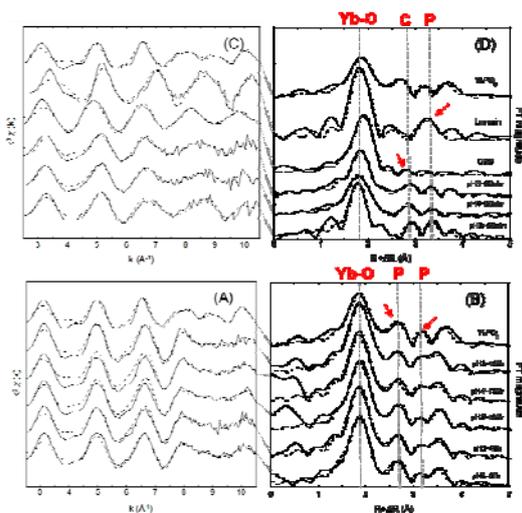


図 3 酵母細胞表面における希土類リン酸塩鉱物化過程の EXAFS による分析結果。上スペクトルは反応 30 分後、下スペクトルは 10 日後。細胞表面への吸着から鉱物かが生じていること示している。