

論文審査の結果の要旨

氏名 笠間 丈史

本論文は主に2章から成り、実験及び天然での観察から、鉱物—水—微生物反応を、鉱物学的、微生物学的、地球化学的に調べ、微生物の鉱物の形成や元素の分配への関与を評価・解明している。具体的には、(1) 中性環境下における鉄沈殿速度へのバクテリアの活動の影響、(2) 有害元素の分配への菌類・藻類などの共生体である地衣類の活動の影響、を対象とした構成になっている。

第1章では、中性環境下における鉄沈殿速度への微生物の影響を論じている。無機的なFe沈殿反応が可能な中性流水環境下において、Fe細菌が存在し、その表面にferrihydriteを付着させ、つらら状鉄沈殿物を形成していた。この鉄沈殿物におけるFe沈殿速度は、天然での測定結果、 $6.8 \times 10^{-8} \sim 4.0 \times 10^{-7}$ mol/L/secであった。これは無機的な反応と微生物による影響の両方が寄与したものである。

得られたFe沈殿速度に対して微生物の寄与を評価するために、微生物を含むつらら状鉄沈殿物を滅菌したもの[a]と未処理のもの[b]、鉄沈殿物と微生物の両方とも存在しないもの[c]を比較実験した。[a]と[b]の差は微生物の代謝活動による寄与を、[a]と[c]の差は死んだ微生物(exopolysaccharidesや細胞表面の官能基)の寄与を、[c]は微生物以外で沈殿速度に影響を与える因子(例えば Mn^{2+} や有機物)の沈殿速度への寄与を反映している。[a]と[b]の沈殿速度は両方とも約 10^{-8} mol/L/secで、大きな差はなく、微生物の代謝活動による寄与は小さいものと判断できた。計算による無機的なFe沈殿速度 1×10^{-11} mol/L/secと[c]の沈殿速度 8.0×10^{-11} mol/L/secの比較から、微生物以外で沈殿速度に与える寄与は一桁以下であることがわかった。これらの結果から、3~4桁ほど早い天然でのFe沈殿速度は、exopolysaccharidesや細胞表面の官能基の存在によるもので、天然におけるFe沈殿速度の増加に最も重要な役割をしていることがわかった。微生物はferrihydriteに過飽和な溶液でもferrihydriteの沈殿速度を増加させ、それらの反応には微生物による代謝活動よりもexopolysaccharides

や細胞表面の官能基の存在が大きく関わっていることが明らかとなった。

第2章では、有害元素の分配への地衣類の影響を論じている。地衣類 *T. involuta* はウラン鉱山で支配的に生息し、ウランの二次鉱物の上に直接成長していた。その地衣類に対して、元素マッピングで、U、Fe、Cu、P、Sなどの元素が濃集していることが示された。特に U、Fe、Cu は生殖器官である apothecium の外側にある exciple や epithecium に濃集していることがわかった。

透過型電子顕微鏡と走査型電子顕微鏡により地衣類内部を観察した結果、exciple には鉱物は観察されなかったが、その下部の medulla には sericite や metazeunerite などの9種の鉱物を見つけることができた。これらの鉱物は母岩にも存在しており、その存在状態などから、medulla 中に見られた多くの鉱物は地衣類の成長とともに鉱物粒子として取り込まれていったものと考えられる。Exciple に見られた U や Fe、Cu は exciple や epithecium のみに存在している extracellular melanin-like pigments への吸着により濃集していることが電子分光型電子顕微鏡で明らかとなった。一方、地衣類直下の P を含む U や Cu の鉱物は、不溶性であるにもかかわらず、地衣類の菌糸により溶解していることが確認された。以上のことから、*T. involuta* は生命活動に必要な P を取り入れるため、P を含む鉱物を溶かし、P を体内に採取するとともに、毒性のある U、Fe、Cu は exciple や epithecium に extracellular melanin-like pigments を発生させることにより、そこに濃集し、生殖器官への有害元素の侵入を防御していると考えられる。この melanin-like pigments 発生機能は他の地衣類には見られず、*T. involuta* の特殊環境下での生存を可能にしている。*T. involuta* の有害元素の再分配能力は環境修復手段の可能性を持つと考えられる。

本学位論文は、鉱物—水—微生物の相互反応により、微生物が鉱物の形成や元素の分配に果たす役割を理解する解析手法をみいだし、その評価をした点で、今後の関連分野の研究に寄与するところが大きいと認められる。この点において、本論文は高く評価され、審査委員全員で、博士（理学）の学位を授与するにふさわしいと判断された。

なお本論文の内容の一部は、共著論文として印刷公表済みであるが、論文提出者が主体となって研究を行ったもので、論文提出者の寄与は十分であると判断する。