



■GA 担当教員 研究等紹介①



九州大学
 大学院工学府・地球資源システム工学専攻
 教授
笹木 圭子

ジオメテックスによる地水圏環境材料の創出

水圏環境ではさまざまなイオンや分子が溶解しています。たとえば、地下水は安定した水質を保つ貴重な生活用水、産業用水の水源地となっていますが、ひとたび汚染されると、マトリクスである地下水の長い滞留時間のために、地殻を構成する岩石や鉱物と長い時間接触します。地殻を構成する主な鉱物は石英やケイ酸塩でいずれも低い等電点をもっており、自然pHにおいてこれらの鉱物表面電荷は負に帯電しています(図1)。もし汚染物質が多くの重金属のような陽イオンの場合には、それらは地殻構成成分に静電的に吸着されやすいはずですが、陰イオンの場合には反発し、動的に振舞うこととなります。陰イオンでは、重クロム酸イオン、ヒ酸イオン、フッ化物イオンなど有害なものも多く、これらが拡散すると、ヒトの健康や生態系に対するさまざまなリスクが懸念されます。比較的小規模の廃水に対しては、イオン交換樹脂や膜のような高度に化学設計された高分子材料が開発されていますが、地下水、温泉水のような大規模な水資源に対しては、より安価で供給性の高い吸着剤が要求されます。

わたしの研究室では、陰イオンに対する吸着剤を天然鉱物や人工鉱物を基材とし、これを機能化することによって開発しています。動物の骨や歯の主成分であるハイドロキシアパタイト($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$)、コンクリートの水和過程で生成するエトリンガイト($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$)は陽イオン交換体であると同時に陰イオン交換体としても機能します。また、層状複水酸化物も代表的な陰イオン交換体です。これらをもってしても交換されにくい陰イオンに存在します。そういうものに対しては、粘土鉱物を基材として陽イオン性界面活性剤や高分子で修飾することによって、特異的に吸着するイオン交換体を人工的に合成しています。汚染物質というのは、有害ではないイオンとともに混ざって存在し、これらに対して通常極めて低い濃度であるために、開発する吸着剤には選択性が求められます。イオンには、電荷、イオンサイズ、水和殻の発達程度などの属性があり、これらを利用して材料を開発し、十分な選択性を引き出そうとします。

放射性核種の地下環境への漏洩は非常に懸念されている問題ですが、なかでも陰イオンには半減期が極めて長いものが多い(図2)。これらが漏洩すると、ほぼ半永久的に放射能の脅威にさらされます。そのなかでも過テクネチウム酸($^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$)に対して、典型的陰イオン交換体ではほとんど吸着が期待できません。これとよく似た性質を示す過塩素酸(ClO_4^-)は、現在環境基準のない化学種

ですが、甲状腺異常などの有害性が動物実験から確認されており、新興汚染物質のひとつです。自動車のエアバック、ロケットやミサイルの噴射剤に含まれているもので、近い将来宇宙開発産業の発展に連動して法整備がなされるものと思われます。われわれは、過塩素酸の電荷、イオンサイズ、水和殻の発達程度を考慮して、粘土鉱物を有機分子で修飾することにより、過テクネチウム酸に特異性の高い吸着剤を開発しました(図3)。現在はさらに選択性を向上させるために、界面活性剤に変わる高分子での修飾を検討しています。

水の中で機能させる環境材料には、水という極性分子がアクティブマトリクスとして働いていることを忘れてはなりません。この材料の場合にも、イオン交換反応はイオンを取り巻く水分子の脱水と水和を伴ってはじめて達成されるものです(図4)。水分子は表には出なくとも、重要なイオンの挙動をコントロールし、イオンの選択分離の成否の鍵を握っている影武者のようなものと考えています。

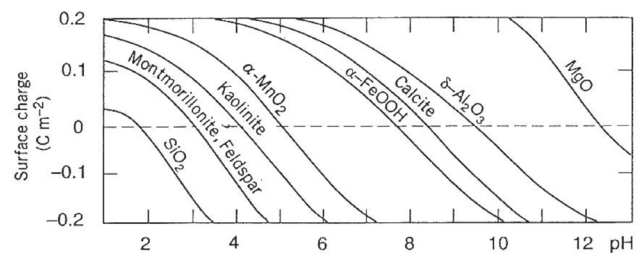


図1 代表的鉱物の表面電荷と接触している溶液のpHとの関係

Anionic radionuclides

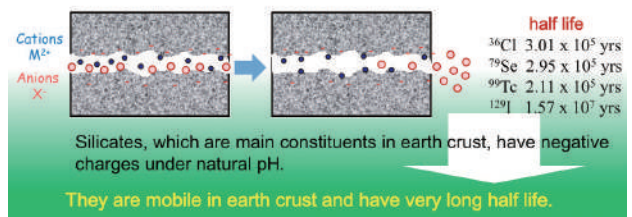


図2 陰イオン放射性核種の地下水中での振舞い

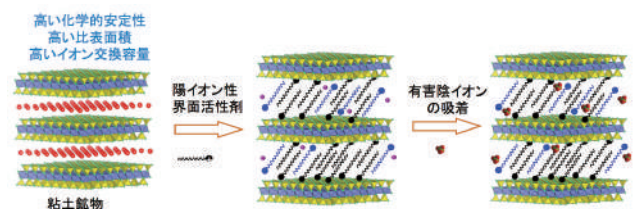


図3 陽イオン性界面活性剤による粘土鉱物の表面修飾

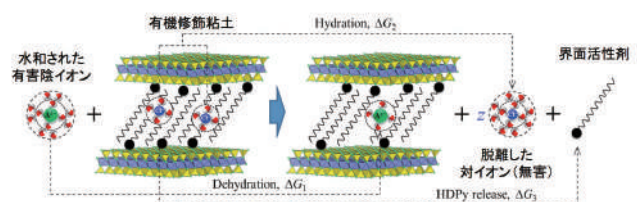


図4 有機修飾粘土による陰イオン交換プロセス