

## 約 50 年原子力を学んで：

東北大学 金属材料研究所  
特任教授 出光一哉

私事ですが、この3月（令和5年）に35年勤めた九州大学を定年退職し、現在は東北大学で特任教授として研究を継続しています。大学に入学して以来、50年弱、原子力を学んできたこととなります。この紙面を借りて、ご挨拶できなかった方へも報告いたします。

1976年（昭和51年）に九州大学に入学した時は、核融合に興味があり炉工学の講座に進みたいと思っていましたが、コース分けの時に材料のコースとなり、当初は不本意ながら材料の勉強をしていました。今は、材料で良かったと思っています。学部、大学院と核融合第一壁中のトリチウムの挙動を調べていました。当時、研究室は貧乏で、装置はほぼ全て手作りしていました。その頃10万円くらいの低電圧装置も買えず、部品集めて2万円くらいで作っていましたし、ガラス細工も簡単なものは自分で行って、それはそれで楽しかった思い出となっています。Nb金属中のトリチウムの輸送熱を初めて測定し、恩師に論文にしてもらった時には感動しました。修士を終えて、動力炉・核燃料開発事業団（現在の日本原子力研究開発機構）に入社し、高速炉使用済み燃料の再処理試験施設（CPF）の立ち上げと、再処理試験を実施する機会に恵まれました。日本で初めての「常陽」燃料からのプルトニウムの回収を行い、そのプルトニウムが再び「常陽」に装荷され、サイクルの輪を閉じることができ誇らしく思えたものです。この期間は、非常に充実していて、他では得難い経験をすることができました。4年ほどのCPFでの研究の後、高レベル放射性廃棄物の処分研究を行うことになり、この時は実験よりも計算評価が主となりました。また、低レベル放射性廃棄物やTRU廃棄物についても勉強する機会があり、放射性廃棄物の処理・処分研究の守備範囲の広さ（放射線、放射化学、腐食、力学、地質等々）に驚いたものです。特に、時間感覚が他の事業と異なり、千年が短い方だということにも最初は慣れませんでした。しばらくすると千年や万年の単位には慣れてしまいましたが、一般の方には、なかなか理解していただけないと思います。

平成一年の10月に九州大学に助手として採用され、古巣に戻って研究を始めました。この頃古巣は、ある程度裕福になっていて研究費はそこそこありましたが、事業団の頃に比べると三桁ほど少ない額でした。ただ、事業団の頃はほぼ外注になっていて自分でやることがあまりありませんでしたが、大学では自分の手を使って色々実験ができ、楽しさを思い出しました。研究テーマを何にするか悩みましたが、処分研究を主にし、特にベントナイト中の移行挙動を調べることにしました。最初はやりやすいCsを使った実験を行ない、濃度を上げていって分配係数が大きくなっても、見かけの拡散係数が変化（減少）しないことに頭を悩ませました。当時、吸着したものが固定されず拡散移動できるという「表面拡散」の考え方があり、それで説明することはできました。ただ、表面拡散とは何かという疑問は残りました。その後、対象核種を増やしていき、東北大金研大洗の施設で、プルトニウムを使った実験も始めました。プルトニウムは扱える施設が少なく、また使おうとする人もなぜか少ないので、特徴が出せると思いましたが、しかし、通常（酸化雰囲気）の試験では、ベントナイト中をミリも動いてくれませんでした。数年試験しても一切れ目（0.3mm）以外では検出できず、何の成果も出すことができない時期が続きました。この頃、オーバーバックの鉄がベントナイトに影響を与えるであろうということで、IHIから鉄の拡散移行の仕事をいただき、そのついでにプルトニウムも入れてみたところ、少し動く気配があり、数年で1mm程度の分布を得ることができました。それでも移動が遅いので、鉄を電極にして電位勾配をつけた実験を行ったところ、短時間で数mm移動させることに成功しましたが、鉄の陽極腐食によって間隙水のpHが9から5に下がることによる影響と分かりました。実際にも腐食でpHは変化すると思いますが、電氣的に加速することでより過酷な条件となり、処分の評価に使うには難しいものでした。現在は、鉄共存下での自然な腐食条件での実験を継続して、20年超の拡散期間のものが4試料残っており、その結果が楽しみです。

ベントナイトの主要鉱物であるモンモリロナイトは構造上、負の電荷を持っていて、鉱物表面近くに電気二重層を作ります。間隙水のうち鉱物表面水（nm単位）と鉱物内の層間水は、陽イオン濃度が高く、陰イオン濃度が低い（陰イオン排除効果）状態にあると考えられ、先述のCsの表面拡散はこの影響と考えられます。一方、陰イオンは濃集することはないため見かけの拡散は大きいと考えられたので、陰イオンについても試験してみました。特に、ネプツニル炭酸錯体に

については、見かけの拡散係数は  $10^{-13}$  m<sup>2</sup>/s 程度で1ヶ月もあれば濃度分布を得ることが可能でした。昔は半減期 2.4 日の Np-239 を用いたものばかりでしたが、ICP-MS/MS の開発で Np-237 を高精度で測定できるようになり、長期の実験が可能になりました。すると、ネプツニル炭酸錯体の濃度分布が1年を越えると変化しなくなる現象にでくわしました。大きな陰イオン錯体であるネプツニル炭酸錯体の拡散経路が、モンモリロナイトの陰イオン排除により制限されていると考えフィルタリングモデルで説明することができました。他の陰イオン（オキソ陰イオン）でも、そのような傾向が見られています。評価のために拡散係数を測定するだけの研究でしたが、拡散係数の大きな核種でも、大きな錯体にする事でベントナイトの閉じ込め性能を発揮することができるのではないかと考えるようになりました。鉄共存下のプルトニウムも長期間で濃度分布の変化が少なくなってきたおり、大きな錯体を作ることでフィルタリングを受けているのではと妄想を膨らませています。現在は、それらの検証中です。

ダラダラと自分の研究史を述べてきましたが、これまで、多くの方に助けてもらいながら、ヒントも授けられ、面白く研究生活を送ることができました。ここでお礼を申し上げるとともに、バックエンド研究をされている若い方々に、もっと冒険してもらえればと期待して、巻頭言といたします。

(2023年10月)