

9-6 拡散モデルによる核種移行予測の精度向上を目指して — 圧縮Ca型ベントナイトを対象とした拡散実験及びモデル開発 —

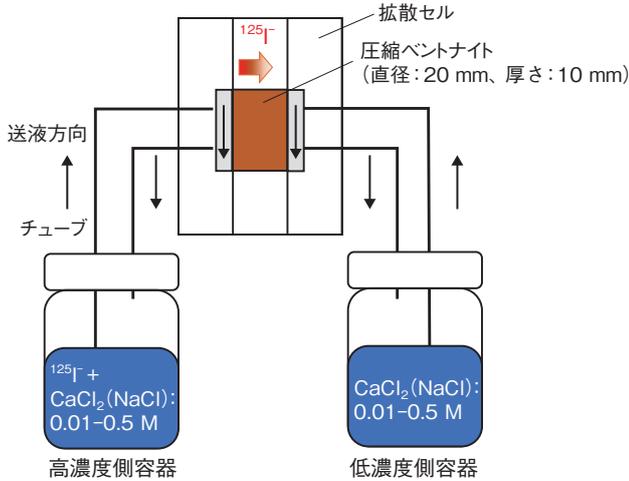


図1 拡散試験の概略図

高濃度側容器にトレーサーを含む電解質溶液、低濃度側容器に同じ濃度の電解質溶液を循環させ、圧縮ベントナイトと接触させます。トレーサーは、その濃度勾配により圧縮ベントナイト中を拡散します。両溶液の濃度変化及び試験後のベントナイト中の濃度プロファイルをFickの拡散方程式でフィッティングし、実効拡散係数 (D_e) を算出します。

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、廃棄物の周囲に、緩衝材として圧縮されたNa型ベントナイトが設置されます。Na型ベントナイトは、地下水と接触すると膨潤し、微細な間隙構造を形成するため、放射性核種の移行を抑制することが期待されます。一方、処分場の施工等に使用されるセメント材料から地下水中に溶出した Ca^{2+} により、ベントナイト中の Na^+ が置換され、ベントナイトがCa型化する可能性があります。Ca型ベントナイトは膨潤性が乏しいため間隙サイズが大きく、核種移行抑制機能の低下が懸念されます。

本研究では、Na型とCa型ベントナイト中での放射性ヨウ素 ($^{125}\text{I}^-$) の拡散試験を実施し (図1)、その移行の速さの指標である実効拡散係数 (D_e) を取得しました。Na型とCa型ベントナイト中での D_e を比較することで、ベントナイトがCa型化した場合の核種移行へ及ぼす影響を調べました。また、間隙水中の Ca^{2+} または Na^+ 濃度のイオン強度 (濃度に比例) が D_e に及ぼす影響を調べ、その変化の要因を検討することで、多様な地下水の塩濃度条件に適用可能な D_e の予測モデルの開発を試みました。

拡散試験により取得したNa型とCa型ベントナイトの $^{125}\text{I}^-$ の D_e を比較した図を示します (図2)。図に示すように、Ca型ベントナイトの $^{125}\text{I}^-$ の D_e (図2●) は、Na型の D_e (図2▲) より高い値が得られ、ベントナイトがCa型化することにより $^{125}\text{I}^-$ の移行が促進されるこ

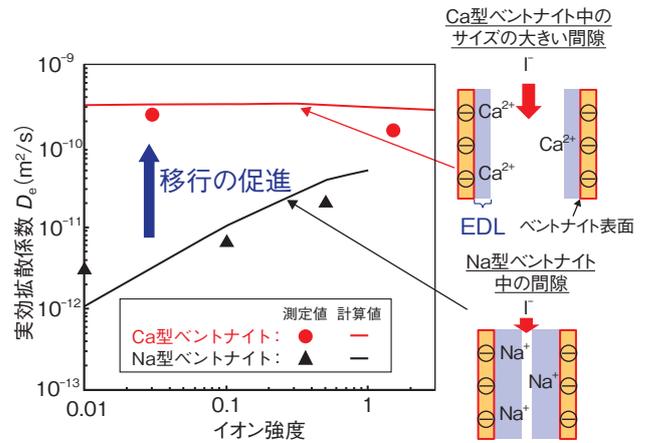


図2 Na型及びCa型ベントナイト (密度 0.8 Mg/m^3) 中の $^{125}\text{I}^-$ の D_e の実測値と拡散モデルによる評価

ベントナイトのCa型化による間隙構造や固相表面の静電的相互作用の変化を考慮したモデルによって、拡散特性の予測評価を実現しました。

とが分かりました。次に、 D_e とイオン強度の関係に着目すると、Na型ベントナイトでは、イオン強度の増加に伴い $^{125}\text{I}^-$ の D_e は増加する傾向を示しました (図2▲)。これに対し、Ca型ベントナイトでは、 $^{125}\text{I}^-$ の D_e がイオン強度に対してほとんど変化せず (図2●)、 D_e にイオン強度の影響がほとんどないことが分かりました。

これらの結果は、Na型とCa型ベントナイトの間隙サイズの相違とベントナイト表面の負電荷により形成される電気二重層 (EDL) で説明されます。陰イオンである $^{125}\text{I}^-$ は、EDLから電氣的反発を受けますが、イオン強度が増加すると、EDLの厚さが減少して移行可能な間隙の割合が増加し、 D_e が上昇します。Ca型ベントナイトでは、サイズの大きな間隙が主な移行経路となるため、間隙全体に対するEDLの割合が少なくなり、 D_e に及ぼす影響がNa型より小さくなったと考えられます。

Ca型ベントナイトの特徴であるサイズの大きな間隙とEDLを考慮した拡散モデルを構築し、 $^{125}\text{I}^-$ の D_e を評価しました (図2実線)。図に示すように、モデルにより実験値をおおむね再現できたことから、 D_e の予測が可能であり、特にベントナイトのCa型化による D_e の変化を予測する上での有用性が示されました。地層処分の安全評価において、 D_e は核種の移行を予測するための重要なパラメータであり、本研究の結果は D_e の設定精度の向上に寄与する成果です。

(深津 勇太)

●参考文献

Fukatsu, Y. et al., Diffusion of Tritiated Water, $^{137}\text{Cs}^+$, and $^{125}\text{I}^-$ in Compacted Ca-Montmorillonite: Experimental and Modeling Approaches, Applied Clay Science, vol.211, 2021, 106176, 10p.