

第 III 部門

スメクタイトのインターカレーションを活用した教育的意義と教材利用報告

大阪ベントナイト事業協同組合
 長崎大学 正会員 大嶺 聖 大阪大学
 大阪大谷大学 地下まゆみ 国立環境研究所
 京都大学 正会員 勝見 武

正会員 水野克己
 正会員 乾 徹
 正会員 遠藤和人
 正会員 勝見 武

1. はじめに

層状珪酸塩粘土鉱物(図-1 参考)なかで膨潤性粘土鉱物(図-2 参考)は、ゲスト側となるスメクタイトなどの粘土鉱物に、ホスト側の水分子や有機分子や金属イオンなどを層間に取り込む層間に取り込むことで膨潤する¹⁾。一方、スメクタイトなど層状珪酸塩粘土鉱物は、層間に取り込んだ水分量によって「粉体」「泥水」「泥土」「固体」に変化する特性(コンシステンシー限界)を持つ(図-3 参照)。この状態変化を、粘土鉱物・泥だんごとして、手で触り。粘りや細粒度を体験観察することで、層状珪酸塩粘土鉱物への理解を深めることができる²⁾。粘土・コロイドは縦軸方向に層間膨潤することで粘着性が発現する。非晶質・ナノ粒子は、比表面積が桁違いに広大なため粘着性が強くなる。著者らは、この違いを学習教材で可視化した。本論では、スメクタイトのインターカレーションを活用した教材を開発したので、教育的意義と教材利用報告する。

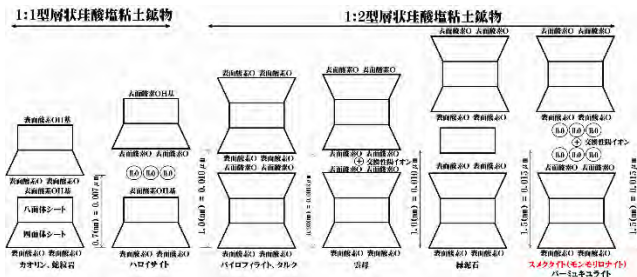


図-1 層状珪酸塩粘土鉱物の構造模試図¹⁾²⁾

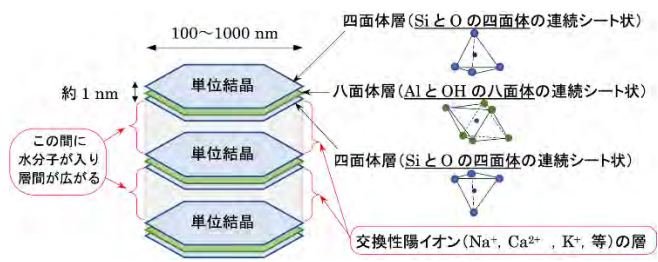


図-2 c 軸方向へ膨潤する性質(インターカレーション)¹⁾²⁾



図-3 スメクタイトなどの層状珪酸塩粘土鉱物のコンシステンシー限界

2. スメクタイトのインターカレーションを活用した教育的活用の意義と教材としての利用方法

スメクタイトは、膨潤することで有機物質の包摂(一定の範囲の中に包み込むこと)が可能となる。このため、有機修飾することで、ポリマーの包摂や陽イオン交換が向上する。このため、有機分子を層間に取り込むことで、有機物の吸着や、新しい材料の開発に利用されている。たとえば、医薬品や化粧品の有効成分を徐放する材料(ゆっくりと時間をかけて放出する機能)として利用されている。さらに、粘土鉱物は、金属イオンやその他のイオンを層間に取り込むことで、イオン交換や触媒材料として利用されている。インターカレーションは、環境分野では汚染物質の除去や排水処理(重金属イオン・有機汚染物の吸着)。材料分野では、新規ナノ複合材料の開発や高機能性樹脂の改質材。医薬・化粧品分野では、徐放性薬剤や化粧品原料(保湿増粘、安定化剤)。エネルギー分野ではリチウムイオン電池の電極材料(層間に Li を出入りさせる)などに応用されている¹⁾。

3. Ca 型モンモリロナイトを使用した分子性質の改変(インターカレーション)事例

Ca 型モンモリロナイト(ベントナイト)に苛性ソーダを練り込み改質(インターカレーション)すると、Ca イオンが減少し、Na イオン増加に伴い膨潤力が大きくなる(図-4の左側 No4, No14, No16)。これは、Ca 型モンモリロナイトと改質後の Na 型モンモリロナイトの違いを示差熱分析で温度変化に伴う物理的・化学的な変化(図-4の右図上、中、下)で比較することができる。

4. ゲスト側粘土鉱物にホスト側添加剤を混ぜた学習教材

図-4 に示す分子性質の改変事例では、膨潤力やカチオン量やCECを求めるために計測装置が必要となる。そこで、表-1 に示すように、粒状又は粉状のゲスト側粘土鉱物にホスト側添加剤を混ぜた学習教材を開発し、表-1 の No1 から No8 の中からインターカレーション現象を見つける学習を開発した。層状粘土鉱物の中で、ホストが層間挿入して膨潤するのは Na 型、Ca 型、H 型モンモリロナイト。このためゲストにならないのが No3, ホストにならないのがフルボ酸や PG だが、最終的に H₂O (水) が層間挿入、縦軸方向に膨潤するので、ホストは H₂O (水)、PC、EOH となる³⁾。ハロイサイトは、カオリナイトグループに属するアルミノケイ酸塩粘土鉱物の一種だが、ナノチューブ構造なので本論ではゲストから外している。インターカレーション現象(膨潤)によりモンモリロナイト)の層間に、水分・有機物・金属イオン・栄養素などが出入りするようになり、化学的・物理的・生物学的に非常に多様な重要な複合体が形成されるようになる。

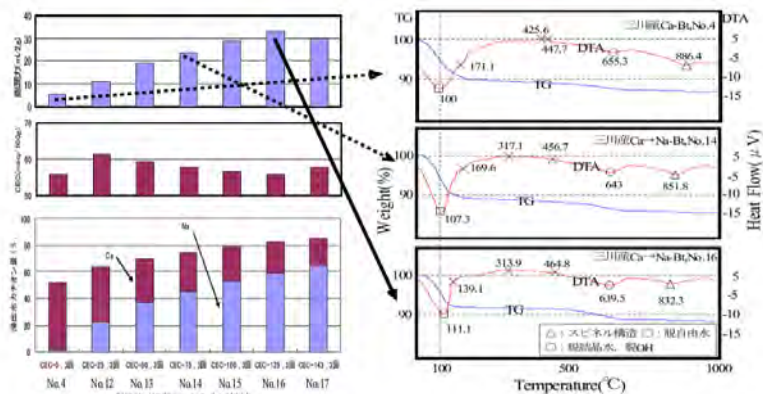


図-4 Ca 型モンモリロナイトを使用した分子性質の改変事例

表-1 スメクタイトのインターカレーションを活用した教材

No	商品形状	学習教材名	ゲスト側粘土鉱物	ホスト側添加剤	機能(用途)
1	粒状	放射性廃棄物、止水、膨潤実験	Na型モンモリロナイト(USA産ベントナイト)	EOH(エチルアルコール)、PC、H ₂ O(水)、PG	粘土・コロイドと膨潤と増粘性(止水、自己修復)
2	粉末	発芽育成実験、通電実験、泥電池	H型モンモリロナイト(酸性白土)	フルボ酸・フミン酸、H ₂ O(水)、電解水	イオン交換、通電性(土壌改良、化粧品、泥電池)
3	粉末	風船で泥だんご(ハロウイン用)	ハロイサイト+非晶質ナノコロイド粒子(水節粘土)	PG(ポリエチレングリコール300)、H ₂ O(水)	非晶質・ナノ粒子と比表面積と増粘性。低吸水性
4	粉末	泥だんごや泥水で粘性を体験しよう	Ca型モンモリロナイト(笠岡粘土)	PG(ポリエチレングリコール300)、PC、H ₂ O(水)、海水	粘性(土壌改良、掘削泥水)
5	粉末	海水で膨潤・増粘させよう。泥電池	Na型モンモリロナイト(精製ベントナイト)	PC(プロピレンカーボネート)、H ₂ O(水)、海水	高粘性、高膨潤、増粘性(化粧品、工業製品原料)
6	粉末(砂と混合が前提)	ベントナイト混合土を作ろう	(USA産ベントナイト)	H ₂ O(水)、泥水	高膨潤・高粘性、難透水性(膨潤試験、透水試験)
7	粉末	グリスを作ろう泥滑術実験	陽イオンを有機陽イオンに置換(有機ベントナイト)	テレピン油	有機溶媒で増粘性体験(グリスを作る)
8	加工品(直径7cm中空球体)	ガラス瓶で磨いて光る中空泥だんご	雲母+モンモリロナイト+カオリナイト(備前粘土)		三種の板状結晶と配向性(光る泥だんご)

5. まとめ

層状粘土鉱物は「千の用途を持つ素材」とも呼ばれ、その教育的資源としての可能性は極めて高い。化学・物理・地球科学を横断する教材として活用できるだけでなく、日本の「泥だんご文化」との親和性も高く、感性教育にも適している。しかし、全米科学教育基準(K-12)のように、幼児から高校生までを対象とした粘土鉱物教育を、日本の学習指導要領の範囲で、講師一人で教えることは難しい。このため、ゲストとホストで分類し機能(用途)を示すことで千の用途が俯瞰できる。また、表-1 示す学習教材には意図的にゲストとホストが



写真-1 泥水状態の観察

一致しない組み合わせもある。表-1 に示す No4 の教材は、左からゲストが Ca 型 M、ホストが水。中央は PC 処理し、海水。右は Ca 型 M、海水となる。写真-1 に示すような泥水状態の観察や、表-1 の No1 と No3 の比表面積と膨潤の違いを比較しながらインターカレーションを探求科学することが、未来に向けて、持続可能な地球のための教育となる。

参考文献

- 1)山崎淳司:粘土鉱物の構造と化学,化学と教育,68 巻,9 号,2020.
- 2)水野克己:「どろだんご」で繋がる人生経験,地盤工学会誌, July, 2015.
- 3)勝見 武ら:改質ベントナイトの一価および二価カチオン混合溶液に対する膨潤特性と遮水性能,第 37 回地盤工学研究発表会,2002.