

# 「土の中の面白いナノ物質と人工ゼオライト」

逸見彰男

愛媛大学名誉教授・人工ゼオライトフォーラム会長

土の中に面白いナノ物質があります。土は地球の環境の一員です。土はいろいろな役立つ働きをしています。たとえば、植物に必要な水や栄養分を吸着して蓄える働きがあります。この働きをとおして植物を育み、地球の生態系を支えています。汚染成分を吸着して分解することで、汚れた水をきれいにする働きもあります。吸着保持や分解などの有用な働きは、土の中の「面白いナノ物質」（機能性物質）の作用によって起こります。この機能性物質は、化学的に見ますと、「ケイ酸アルミニウム」という物質に分類され、「コロイド」とも呼ばれています。地球の環境にはたくさんのコロイドが含まれています。このコロイドは、大きく分けると、結晶質の物質と非晶質・準晶質のものがあります。コロイドの化学構造を作り上げているのは、主にケイ素 (Si)、アルミニウム (Al)、酸素 (O)、水素 (H) の原子です。これらの原子が規則正しく並んで結合したものが結晶質であり、不規則でバラバラに結合したものが非晶質・準晶質といわれるものです。このうち、非晶質・準晶質のコロイドは、活発に働くことのできる表面の面積が大きいので、環境のいろいろな現象を現す原因となる大切な物質です。しかしながら、既存の研究手法の限界から、不明な点が多く残されていた物質です。

私は、新しい研究の手法を開発し、導入することで、実験と理論の両方法によって、このコロイド物質について、微細形態（ナノサイズでの形）、化学構造、特性、物性、機能などを明らかにし、分子軌道論を中心に量子化学的な立場において電子レベルで明らかにする研究を行いました。

本研究等によって、これまで非晶質・準晶質のために、定まった形態がない（無定形：はっきりした形がないので、構造もない）とされていた物質は、実は、ナノボール状あるいはナノチューブ状の決まった形態（定形：はっきりした形があり、一定の構造がある）を有する無機高分子のコロイドであることがわかってきました。分解能の高い透過型の電子顕微鏡で見た写真を図1と図2に示します。

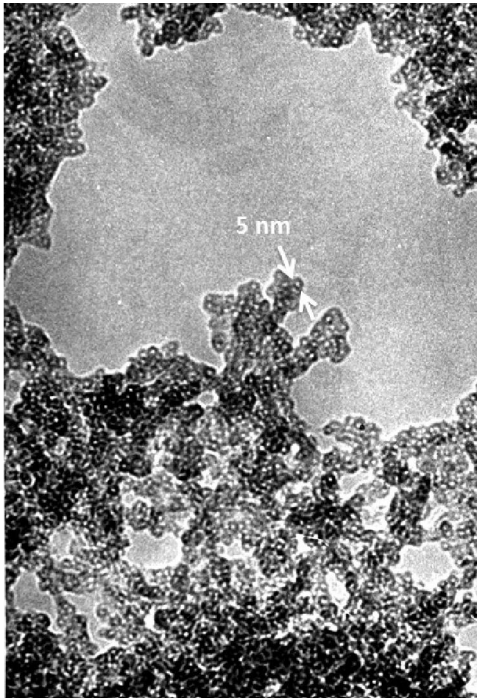


図1 ナノボールアロフェンの形

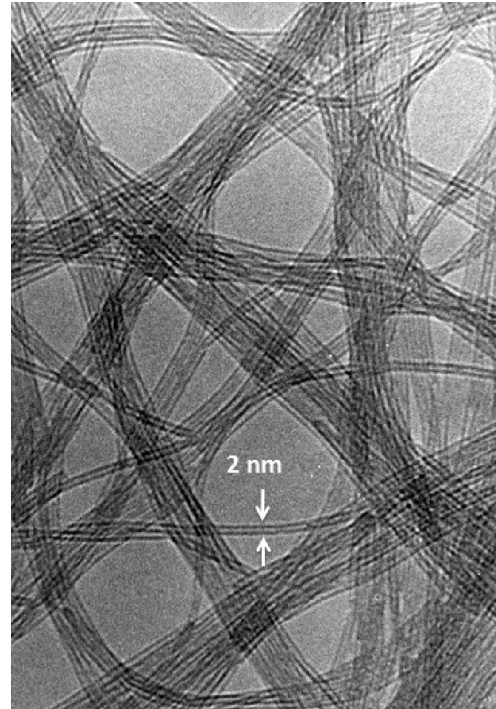


図2 ナノチューブイモゴライトの形

ナノボールアロフェンとナノチューブイモゴライトの化学構造を、それぞれ、図3、図4に示します。

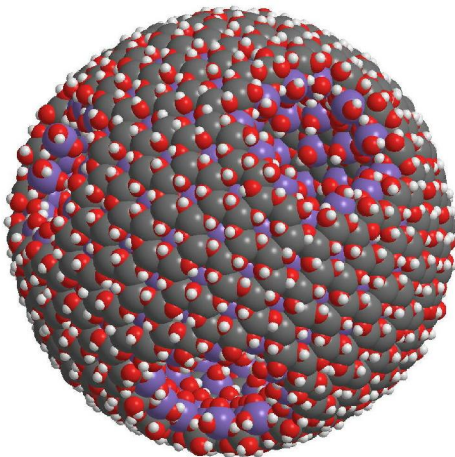


図3 ナノボールアロフェンの構造

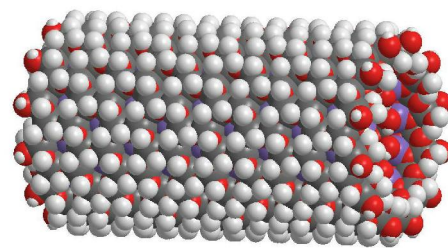


図4 ナノチューブイモゴライトの構造

ナノサイズでの形や化学構造がわかってきたことから、地球環境、とくに土壌の環境で起こる諸々の現象を、分子レベルで見ていきながら、その現象のメカニズムを、「ナノスケール」という深いレベルで解き明かすことが可能となりました。最近、ナノテクノロジーがブームとなってきたなか、無機物からなる機能性の「ナノボールアロフェン」や「ナノチューブイモゴライト」が、産業利用における有用ナノ新素材として注目されるようになりつつあります。

世界的にグリーン・ニューデール政策が唱えられる昨今、循環型社会構築の

必要性が大きく叫ばれています。こうしたなかで、社会問題になっている主なものに、石炭灰があります。この灰の多くは、副生物として石炭火力発電所等から排出される。原発事故によって低下した電力供給力を補助するためなどで、今後ますます増加すると予想されており、石炭灰のゼロエミッション的な有効利用技術の開発が国内外において待たれています。

この石炭灰を化学的に調べましたところ、この灰は、非晶質のケイ酸アルミニウムであることが判明しました。つまり、成分が、「ナノボールアロフェン」に似ているものであることがわかりました（もっとも、ボールの形は、ナノサイズではなくて、それよりもかなり大きなミクロのサイズでした）。図5に、石炭灰の電子顕微鏡（走査型）写真を示します。そして、アルカリ水熱処理など比較的簡単な化学処理をすることによって、この灰を構成する Si、Al、O の各原子を規則正しい並びに結合し変えること（結晶化）に世界で初めて成功しました。石炭灰の結晶化で生じた物質は、多くの有用機能を持っている「ゼオライト」であることが明らかになったのです。今では、石炭灰から転換した機能性素材のゼオライトは、「人工ゼオライト」と呼ばれているのは、よくご存じのことです。図6に、人工ゼオライトの走査型電子顕微鏡写真を示しました。

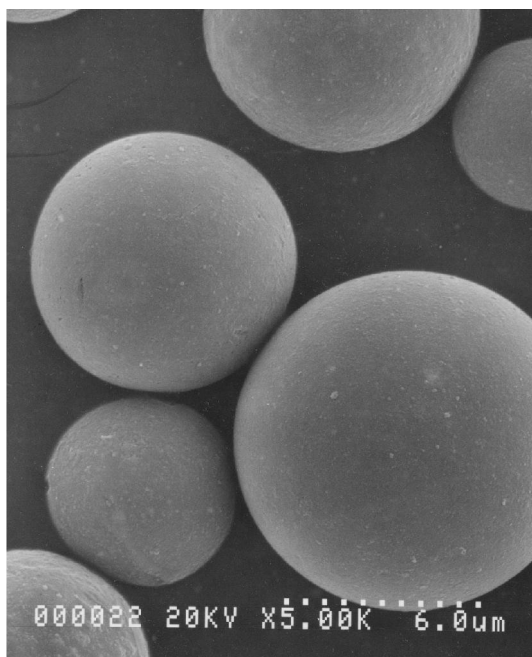


図5 石炭灰

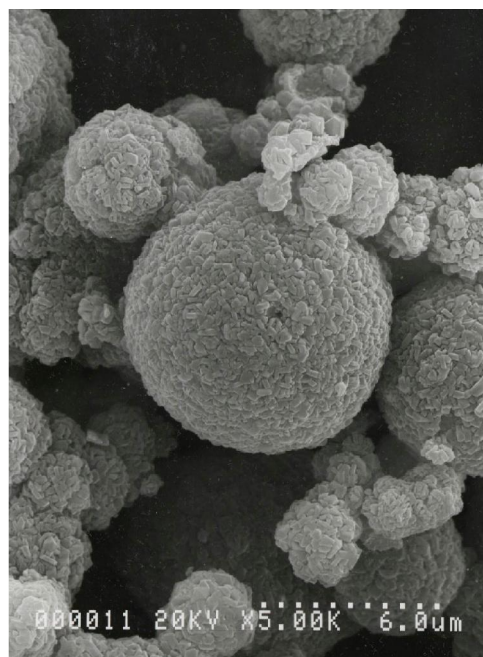


図6 人工ゼオライト

ゼオライトは、フッセキ類に分類される鉱物の一種です。化学的には、ケイ酸アルミニウムの仲間です。その化学構造は、Si とその周りの4個のO が  $sp^3$  混成軌道によって結合した  $SiO_4$  四面体と、この四面体の Si を Al 置換した  $AlO_4$  四面体（4配位 Al）とを主な構成要素としています。これら四面

体どうしが4つの頂点を共有して多数連結し、巨大な化学構造となった、多孔質（分子サイズの孔）の無機ポリマー（例として、図7に、フォージャサイトの化学構造を示す）であるため、イオン交換能、吸着能、触媒能など様々な有用機能を持っている素材物質です。

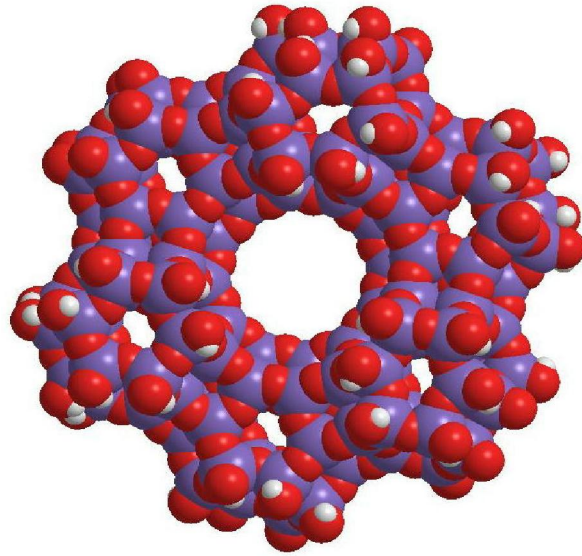


図7 ゼオライト フォージャサイト

石炭灰からできるゼオライトは、「Na-P1」と呼ばれている種類が多いですが、作り方によって、フォージャサイトなどいろいろな種類を製造することができます。