新時代の多孔性材料の科学とその応用

北川 進

人類の発展に大きく貢献してきた物質および生命の科学の根幹は、原子や分子にあることは言うまでもない。分子の合成は1世紀にわたる化学の主要テーマであり、それを基盤として膨大な物質群の開発が行われてきた。物質科学が対象とする分子の実体は、「原子から組まれた骨格」である。さらに前世紀末から興隆した超分子化学は、原子の代わりに「分子を構成要素とした骨格」を対象として大きく発展し、現在のナノサイエンスの鍵物質として注目されている。

一方、視点を180度変えて骨格ではなく原子や分子が囲むまたは仕切る「空間」に注目すると、新しい科学の展開が可能である。

ナノサイズで規定された物質の世界では、空間を仕切る壁（すなわち骨格を構築する原子、分子）が、ゲストとして取り込まれる分子の配向、分子どうしの相関、集合構造に多大な影響を与える。つまり、空間を仕切る壁や枠の設計しだいで、ゲスト分子の状態を自在にコントロールできることを意味している。また、ゲスト分子をバルクでは実現できない特殊な環境下に置くことが可能となり、分子がひずみを受け、平衡構造や基底状態からずれるストレス現象が期待される。さらに、このような状態からエネルギー変換や新たな反応が進行するなど、多彩で新奇な現象を引き起こすことも可能となってくる。このような空間は、さまざまな形状と動的特性、それに基づくナノ領域独自の機能を生み出すことが期待される。前世紀が分子骨格およびそれからつくられる超分子骨格に焦点をあてた時代とすれば、21世紀はまさに分子、原子、イオンからつくられる空間、「ナノスペースの化学」に注目する時代であるといえる。

ナノサイズの空間をもつ物質はわれわれの周りにあふれており、吸着、分離、触媒など生活に密着する用途に用いられ、多孔性材料としてよく知られている。ゼオライトや活性炭はその代表的な物質である。最近ではこの多孔性材料の形状やサイズが注目されており、種々のナノ粒子、薄膜がつくられその内部および表面近傍空間の機能が期待されている。近年、この多孔性材料は無機物、炭素材料のみならず、金属錯体、有機物、高分子、タンパク質など広範な物質から合成、調製され、基礎科学のみならず応用においても期待が大である。現在の課題は、その細孔の空間構造、形状、機能を分子レベルで精密制御することである。機能空間は本来、柔軟で動的なものと考えられる。この見事な例は生体分子、すなわちタンパク質・酵素などであろう。この動的な機構を活用した新しい空間機能は魅力ある標的であるが、物理的、化学的刺激にダイナミックに応答する柔軟な空間物質を実現するには異質なコンセプトの構築が必要である。

新しい科学の萌芽には、他分野の研究者どうしの交流、討論、共同研究が必要である。高分子化学、無機化学、錯体化学、コロイド・界面化学、触媒化学、生命科学、材料科学、エネルギー科学、固体物性科学、理論科学など多岐の学問領域と密接に関連しており、これらの融合領域から創出される新物質は基礎学問の発展を加速し、さらにはそれらの応用研究による産業技術に及ぼす波及効果は計り知れない。実際、環境、エネルギー、バイオ課題にかかわる気体分子（ H_2 , N_2 , O_2 , CO_2 , NO_x , SO_x など）を自在に捕獲、貯蔵、変換、ひいては材料化する基盤技術が創成できる。空間を構築する材料を自在に操作し、合理的に研究の展開が図れるならば、空間内での新規現象（マクロな分子集合には見られない量子効果に基づく物性や機能、非線形性、特異反応・触媒活性、そしてこれら機能の多重化、応答機能の発現など）の発見、分子凝集、ストレス、変換を支配する特有の法則を見いだしうる。すなわち、現在の材料科学、技術において、「空間」はブレークスルーを測る視点であり切り口である。

KITAGAWA, Susumu 京都大学大学院工学研究科合成・生物化学専攻(615-8510 京都市西京区京都大学桂)・教授、工学博士。1979年 京都大学大学院工学研究科博士課程修了。専門は錯体化学、配位空間の化学。
Science and Application of Next Generation Porous Materials