高分子基礎教育の重要性

福井 謙一

1. 物質科学としての高分子科学

20世紀の初頭、人類の文明は、自然を理解する上で、それまで経験しなかった大きなブレークスルーをなし遂げた。いうまでもなく、量子仮説 (M. Planck, 1900) および特殊相対性理論 (A. Einstein, 1905) の出現であって、これらはまもなく量子力学 (W. Heisenberg, 1925, および E. Schrödinger, 1926) および一般相対性理論 (A. Einstein, 1916) としてその形が整えられ、吾人の物質観を根底から揺り動かすことになった。

物質をとり扱う科学を総称して「物質科学」とよぶことにすると、20世紀の初頭、物質科学は、まず量子論、相対論による衝撃の洗礼を受け、その後、すべての物理性質、化学性質は、その枠内で理解されてきた。しかし、物質科学の残された巨大な分野—生命物質の本性—が、量子論、相対論に匹敵する大きなブレークスルーを経験したのは、世紀半ば過ぎのことであった。それは、生体高分子の単量体配列に秘められた生物学的意義の解明であった。具体的には、核酸の分子構造の解明 (M.H.F. Wilkins, F.H.C. Crick, J.D. Watson, 1953), RNA の *in vitro* 合成 (S. Ochoa, 1955), 高分子 DNA の *in vitro* 合成 (A. Kornberg, 1956), 酵素タンパク質の分子構造およびアミノ酸配列の決定 (F. Sanger, M. F. Perutz, J.C. Kendrew ら; W.H. Stein, S. Moore ら; 1953~1959), 酵素合成への核酸情報伝達の解読 (R.W. Holley, H.G. Khorana, M.W. Nirenberg ら, ~1964), 制限酵素の発見 (W. Arber, H.O. Smith, D. Nathans, ~1970) とその組み換え DNA への応用 (P. Berg, 1971), 核酸の塩基配列の決定の方法 (W. Gilbert, F. Sanger ら, ~1973) などがその主なものであり、これらの成果は、現在の生命工学技術の発展の時代を招来した。

一口にいえば、生物体に特有な恒常性は、生体高分子の分子認識の高度の選択性や高次構造の環境特異性によって保たれ、そしてそれらは、つまるところ、その一次構造の特殊性に由来する。

2. 高分子科学の特性

核外現象を対象とする物質科学は、約 100 種類あまりという、きわめて適度の数の元素の組み合わせから生まれる、多様ではあるが、それぞれ識別可能な化合物の性質を、量子力学のことばで一般的に理解する努力を重ねてきた。しかし、その理解の程度は、分子の個性を一般的な原理で具体的に論じうるまでには至っていない。分子が大きくなるほど、これは難しくなり、高分子ではとくにそうである。例えば、分子構造類似の異種単量体の混合物の共重合体において、その一次構造から高次構造を推定する満足な理論的手段は、いまだできていない。したがって、高分子の一次構造と物性とを結びつけるのは、実験の助けを借りてもなかなか容易ではない。

高分子の反応性は、一次構造やその構造上の官能基のほか、その存在状態と高次構造に大きく依存する。したがって、高分子設計では、官能基の位置などのほかに、分子全体としての協力的な効果が重要である。この意味で、注目すべき成果が、単量体分子の結晶の固相重合の研究、高分子溶液中の協力現象の研究などにおいて得られている。

生体高分子の選択的分子識別に類似した機能をもつ分子の設計によって 1987 年度のノーベル化学賞 (D.J. Cram, C.J. Pedersen, J.-M. P. Lehn) の対象となった方法は、環状ポリエーテルをホスト分子とし、その空隙径、酸素原子数と塩基度、環の立体効果などの違いを利用して、金属イオンの溶媒和エネルギー、イオン半径などの関係に応じてホスト分子中にイオンを選択的に取り込んだり、ホスト分子中で反応を選択的に行わせたり、光学分割をやらせたり、反応の遷移状態の設計まで行う高度の分子設計であった。このような立体効果を主とする分子設計の手法は、高分子合成膜による金属イオンの能動輸送や選択透過などの研究に発展した。

生体高分子における立体的設計の妙は、生理活性と光学異性との間の関係に端的に示され、さらに長年月かけた生物の進化に関わる分子的過程、とくに生体内での核酸分子の複製とタンパク質分子の合成自体、高

Kenichi Fukui

(財)基礎化学研究所
(606 京都市左京区高野西
開町 34-4) 所長, 工博
京都大学名誉教授
専門=化学

選択性反応設計の極致ともいうべきものである。その知恵にならない、核酸類似化合物を使ってその塩基部分の相補的相互作用を利用する鋳型合成の研究が行われた。生体高分子反応における選択性がいかに微妙で高度のものであるかは、1967 年度ノーベル化学賞を受けた M. Eigen らの研究によっても知られる。彼らは、リボヌクレオチド単量体の混合物に RNA 複製酵素を作用させることによって、RNA 鋳型分子の存在なしに *in vitro* で定まった単量体配列をもつ RNA を合成した (1974)。この研究は、定まった単量体配列順序をもつ高分子の合成、ひいてはそのような高分子の自然発生の可能性究明に大きな意義をもつ。

高分子中の電子の挙動は、材料科学、とくにエレクトロニクス材料の発達に関連して大いに注目された。電気伝導性をもつ高分子、とくに超伝導性高分子は、時代の花形として注目を浴びた。低温の水銀について 1911 年に H. Kamerlingh-Onnes によって見いだされ、1957 年に BCS 理論 (J. Bardeen, L.N. Cooper, J. R. Schrieffer) によって説明された超伝導現象の研究は、1986 年に G. Bednorz と K.A. Müller の酸化物超伝導物質の発見によって、かつて理論的に予測されたこともある高分子「高温超伝導物質」の可能性に、一つの希望を与えた。

3. 将来の高分子科学と基礎教育

さて、今世紀の後半から、科学技術の発達のスピードが加速度的となり、人類に多大の利便と安楽をもたらしたが、同時に急激に地上・地下の資源を消費し、自然環境を変化させ、人類を果てしない欲望と競争へと駆り立て、心の平安を失わせるに至った。その結果、従前、主として資源の保有する潜在価値に依存してきた工業は、新たな工業化価値の創造に向けての人類の努力を要求するようになった。

合成高分子工業では、当初は量的優位性に重点がおかれたが、やがて質的な優位性に主眼をおいた新たな工業化価値の創造が、二つの方向に分かれて試みられた。一つは、既述の高度先端的な材料の創出、いわば「ハード」な高分子科学、いま一つは、人間・自然との関わりや調和をめざす「ソフト」な高分子科学の成果

である。人間にどのような精神的効果を与えるか、自然や環境とどう調和させるか、資源やエネルギーの消費をどうやって少なくするか、などの課題に寄与するもので、そのためには、従来進められてきた高度の科学的方法が、いっそう精緻な形で追究されねばならない。

冒頭に述べたように、今世紀になされた自然の一般化における飛躍の前夜には、あたかも大地震の前ぶれのように、解決を待つ問題の蓄積が見られた。現在は、そのような徴候は見られない。むしろ自然の本質的な特殊性は、一般化の方法に原理的な制約を加えているように見える。このように物質科学は、現在、一般化よりもむしろ特殊化の時代に突入しようとしているように思える。高分子科学は、物理学的な一般原理を特殊な系に適用するところに意義を見いだす学問であるから、今後当分は高分子科学の時代であるといつてよい。機能性高分子、伝導性高分子、エレクトロニクス材料、極限の性質をもつ高分子材料、高分子液晶、複合材料用高分子、高分子錯体など、あげれば際限がない。かくして高分子はいまや先端産業において重要な役割を演じている。高分子科学に限らないが、学問の上の大きなブレークスルーは、そのつながりが論理的には直ちに明らかでない二つの学問領域が結びついたときに起きることが多い。なぜなら、論理的に結びつけやすいものは誰もが直ちに結びつけてしまうからである。逆に、論理的な結びつきがわからないものを実際に結びつけるのは容易でない。このことは、一般相対性理論とリーマン幾何学、あるいはシュレーディンガー方程式と二階の微分方程式の固有値問題との結びつきを考えて見れば直ちにわかる。このような結びつきの実現を可能にするには、他分野との結びつきのわからない基礎の学問分野をも、あらかじめひたすら開拓しておく以外に途はない。いま、高分子科学における偉大な先駆者、H. Staudinger, K. Ziegler, G. Natta, P.J. Flory らの研究を思い浮べてとくにその感が深い。基礎研究・教育の重要性は、実にここにある。高分子科学が、世論などに右顧左眄することなく、この信念を貫くことが望まれる。