20 年前に、高分子にかける夢として太陽光エネルギー変換膜について取り上げたが、21 世紀に入った現在、その夢は部分的に実現の方向に向かいつつある。

実は当時は石油危機のあとで、また化石燃料の有限性が叫ばれていたこともあって、代替エネルギーの開発は科学者の“夢”というとなえかたもできた。しかしながら、その後二酸化炭素などの温室効果ガスによる地球温暖化問題が浮上し、国際的にも大きな問題となって、単なる“夢”ではすまない状況が出てきた。1997 年京都における気候変動に関する枠組み条約第 3 回締約国会議(COP3)で京都議定書が採択され、この議定書の実行が国際問題になっている。二酸化炭素排出の根本的解決には、再生可能エネルギー資源の開発が要諦で、太陽光エネルギー変換はもっとも期待されているもののひとつである。

本来、地球の閉鎖系で化石燃料を大量に消費する現代文明がいずれ破綻することは、熱力学の第 1 法則(エネルギー保存の法則)と第 2 法則(エントロピー増加の法則)から考えれば自明の理であった。生命現象は非平衡(すなわちエネルギーと物質の流入・流出が常にある)でかつ定常状態(恒常性)を保っており、このような非平衡な定常状態は閉鎖系では成立しえない。つまり生命現象を支えているのは地球圏外からくる太陽光エネルギーで、これは植物の光合成を通して実現している。文明を支えるエネルギーも非平衡な定常状態を保つ必要があるので、地球を閉鎖系として維持される文明は、熱力学の第 1、第 2 法則に

基づいて破綻がくる。この観点から太陽光エネルギーの変換利用は“夢”というよりは、高度文明を今後とも維持するための本質的な意味をもつ。

筆者は太陽光エネルギー変換のための人工光合成系の構築という立場から 1975 年に研究を始めた。主目的は太陽光と水から燃料を創製することだが、この応用のひとつが光化学太陽電池である。前者の実現にはまだハードルがあり、もう少し時間がかかる。太陽電池については、光化学反応を利用する色素増感型電池(グレッセル電池)が 1991 年に報告され、現在商業化が始まりつつある。これは酸化チタン超微粒子薄膜を錯体色素で増感し、色素励起状態の電子移動にヨウ素/ヨウ素イオンのレドックス反応を組み合わせることで電力を得るものである。アモルファスシリコン半導体太陽電池と同等の変換効率(約 10%)をもちながら、コストがきわめて低い。酸化チタンへの色素の単分子的結合が重要で、この意味で酸化チタン表面を 2 次元的に広がる色素高分子層が覆っている構造をもつ。原理的には薄膜として使えるもので、高分子膜を利用したフレキシブル太陽電池もいずれ登場するとの期待が高い。

KANEKO, Masao 茨城大学理学部・教授、工学博士。1970 年早稲田大学大学院博士課程修了。専門は機能錯体化学、光エネルギー変換

Membrane for Solar Energy Conversion

〈1982 年 1 月号掲載〉

太陽光エネルギー変換膜

地球誕生の初めからふりそそぎ、生命を生み、育んだ原動力である太陽光は生物の活動力の根源をなすばかりでなく、人類が利用しているエネルギーの大半を直接、間接に与えている。これらの生命力維持やエネルギー供給を支えている重要なプロセスは、緑色植物の光合成における化学反応にほかならない。

光合成反応のすばらしい点を数えれば際限がないが、その一つは、希薄な太陽光を捕捉するために、マクロな目で見ると葉を茂らせて集光面積を増やし、かつミクロな目で眺めると、葉に敷きつめられたアンテナクロロフィルが分子レベルで秩序正しい配列状態をとることにより、集められた光エネルギーの電荷分離中心へのほぼ完全な移動を可能にしている点にある。また、反応中心クロロフィルの励起エネルギーを利用した光合成反応においては、多数の反応サイクルが入り乱れることなく、規制され

た方向にのみ電子伝達が起こるが、これらは反応成分を分子二重膜であるチラコイド膜に整然と並べることにより可能となっている。このようにマクロな材料の内部にミクロな分子秩序をくみこむことにより、太陽エネルギーをみごとに変換している。

太陽可視光エネルギーを人工的に効率よく変換することは、資源・エネルギー問題の解決に近づけばかりでなく、光合成をシミュレートするという観点からも科学者の夢である。大容量のエネルギーを獲得するには大面積の集光材料を必要とするが、軽くて成形性に富み、かつ大量生産により安価に合成できる高分子材料や膜はこの目的に最適である。また化学的な変換を行うためには、反応成分の分子レベルでの配列規制が重要であり、将来さらにファインな設計が可能となれば、合成高分子膜は格好の反応場を提供しうるのであろう。

現在、ポリアセチレンに代表される高分

子半導体太陽電池膜や、高分子錯体系による水の光分解システムへのアプローチなどその萌芽はいくつか見られるが、まだ多くの難問があり紆余曲折も予想され、必ずしも予断は許されない。

一方、われわれがまだ気づいていない原理による太陽エネルギーの利用が登場するかもしれない。科学技術の歴史において、初めはカエルの足を痙攣させたに過ぎない Galvani の流電気が今日の文明を支えていることを考えると、科学技術の芽の背後に潜む意義と価値を透徹した目で誤りなく捉えることと、それを手中にすべく努力することが重要と思われる。

人類窮極のエネルギー源として遠い将来に残されているものはほとんど太陽エネルギーだけであることを考えると、その変換利用の意義と価値は無限に大きい。そのための一分野において、高分子材料や膜は重要な役割を占めるであろう。