

先端科学技術と環境科学研究

栗原和枝

1. はじめに

環境という言葉を書かない日がないほど、「環境」や「エネルギー」が日常的な話題になっている。とくに、地球の温暖化と二酸化炭素の削減目標とそれに関するエネルギー問題、貴金属など限りある資源の不安定供給・高騰といった話題が中心である。人間の社会活動を、自然・地球環境と折り合いを付けながら、どう進めていくのが環境科学の課題である。先端科学は、ある意味では自然の対極にあるものかもしれない。同時に、現在の科学技術の急速な進歩は、我々に自然や地球への敬意を引き出し、また我々はどこまでこの進歩についていけるのかという素朴な問いを時に持つことがある。しかし、現在の生活が科学技術の進歩の上に成り立っており、またより高い科学技術の進歩を希求するのが科学技術者として自然であることを考えると、現代の科学技術者は環境課題にきちんと向き合う必要があると思う。

実際に環境科学という場合、公害の時代に始まる廃棄物や危険物質除去や制御などの比較的狭い科学技術を考える場合が多い。多くの研究者にとっては、エコバックの方がはるかに身近であるかもしれない。しかし、今後はすべての科学研究者・技術者は、自分の研究の中に環境科学としての軸も持つべきではないか、そうすることにより先端科学技術はひとつの新しい展開への可能性を持つのではないかというのが、

本文の趣旨である。

2. 次世代環境科学へのアプローチ： グリーンケミストリー

すべての研究領域にとって、環境にやさしい科学技術や製品を開発できる可能性があるとするれば、そのために考えるべき枠組みが必要であろう。今までに作られているアプローチの典型的な場合として、1998年にOECD(経済協力開発機構)により設定されたグリーンケミストリーの7つの課題があり、それは次のようである^{1,2}。

- A. 代替原料の使用：再生可能であり、環境にやさしく、毒性の低い代替原料の使用。
- B. 無害な試薬の使用：本質的により無害な試薬、触媒的な(微量で繰り返し反応を進められる)試薬の使用。
- C. 天然プロセスの利用：生物の光合成、生体触媒、効率や選択性からは生物工学による物質の化学変換の利用。
- D. 代替溶媒の利用：環境にやさしい溶媒の利用。
- E. より安全な化学設計：毒性学の原則に基づく機能性を保持しながらの危険の最小化。
- F. 代替化学反応条件の開発：選択性や分離しやすい条件の開発。
- G. エネルギー消費の最小化

これらは、グリーンケミストリーとして合成化学を中心とした化学分野で定められた指針である

が、その“ねらい”は多くの分野に共有できるものであろう。例えば、我々は多くの物質の研究を行っているが、何を研究対象とするかを選ぶ場合、これらの指針を考えると結論は変わるかもしれない。今まで目を向けてこなかった研究対象も考慮する場合もある。それは今後の科学・技術に新しい研究対象となる物質群や、より広い視野をもたらすのではないだろうか。

3. 先端科学からのアプローチ： ナノテクノロジー

現在の理工系の研究の大きな柱のひとつはナノテクノロジーである。「国会図書館の情報を角砂糖サイズの空間に」を目標として始まったナノテクノロジーであるが、材料科学にも大きな影響を与えている。材料ナノテクノロジーのトップダウン、ボトムアップという典型的なアプローチについても、従来、バルクで（塊として）考えられていた材料を原子・分子のレベルで考えること、また、分子を精緻に組み上げ、ひとつの分子では持たない機能を有する材料を設計することが一般的になってきた。例えば無機物の溶液中での結晶成長も、原子の相互作用による自己組織化と捉える考え方である。すべてがナノテクノロジーというような、材料を考える上での大きなパラダイムシフトが引き起こされている。現代科学の粋がナノテクノロジーであり、その前線では内外の多くの研究者がフロンティアを広げようと努力している。



PROFILE

栗原和枝
（くりはら かずえ 1951年生）
日本学術会議第三部会員、東北大学多元物質科学研究所教授
専門：複合化学（ナノマイクロ）

これらの材料ナノテクノロジー³を前者の次世代環境科学の視点で見ると、オーバーラップする特色が色々見えてくる。筆者に身近な例からいくつかを挙げてみたい。燃料電池や太陽電池などの先端のエネルギー環境技術には、微粒子触媒や薄膜化など多くのナノテクノロジーの要素が組み込まれているが⁴、ここでは広がりを見るため、少し異なる例について述べてみる。

(1) 空気も材料になりうる：究極の材料のひとつは空気である。材料の中には適当な形のナノメートルサイズの空間を持たせることで、性能の変化するものがあり、例えば九州大学の大滝らは熱を電気に変える酸化物熱電材料中にナノポイドという空孔を作ると効率が2倍になることを見出している。固体表面の形（空気層）をナノメートルレベルで制御すると光の屈折率が変わる例も良く知られている。

空気ではないが、同じ元素でも集まる形を変えると大きく性質が変わる。ナノテクノロジーの花形であるカーボンナノチューブやフラーレンは炭と同じ炭素でできている。また材料の内部構造制御やナノ粒子の添加で大きく性質が変わり、望む機能が実現される例も、慶応大学の小池らにより開発された高分子光学材料（フォ

トニクスポリマー)⁵など数多く報告されるようになってきている。これらの例は、環境にやさしい材料の設計に多くの可能性があることを示している。

(2) 極限の膜も実現した：海水の淡水化など膜による濾過技術は多くの分野で用いられている。その時に用いる膜の厚みを薄くできれば、大きくエネルギー効率や選択性が向上すると期待され、その実現は長い間の課題であった。最近になり、ナノテクノロジーの成果として、手に持てる大面積なナノメートル厚みの膜が、いくつかの手法で調製できるようになった。蒸留による分別に比べ、膜分離は低エネルギープロセスである。先端科学の進歩により長年の身近な課題が解決しつつある例として興味深い。

(3) 従来技術との接点：様々な機能材料があるが、機能の出る仕組みがわからない場合も多い。しかし、製品作りは高度化しており、例えば炭酸カルシウムのような単純な物質でも、ナノ粒子の形で増粘剤として製品化されている⁶。先端科学技術の成果を活用すれば、ものづくりをより合理化し、少なくとも反復性の少ない効率的な研究開発や設計が可能になる。

また、摩擦・磨耗・潤滑を扱う「トライボロジー」の分野では、磨耗・摩擦の改善により、GNP(国民総生産)の1~2%の経済効果が見込まれるとの試算がある⁷。例えば、材料表面性能を制御することにより、装置・システムの高性能化・高機能化を実現すると同時に、省資源(長寿命化)、省エネルギー、コストダウンなど

のトータルメリットの向上が期待される。金属、セラミックス、高分子、潤滑油など扱う材料の多様性からも、また汎用機械から、ロボットやマイクロマシン、ハードディスクなど多様な応用範囲からも、幅広い分野にわたる科学・技術の融合が必要である。材料表面でのナノレベルの物理・化学的現象の解明と性能との統合化、評価分析装置およびコンピュータ・シミュレーションの進歩と融合が開発のための必須の基盤技術とされるなど、多くの他の先端技術と課題が共有されている。

4. おわりに

先端科学技術研究が環境科学に貢献できると考えられる例を見てきた。今後の科学・技術の基盤は、生物工学とナノテクノロジーにより提供される、従来になく制御された有機・無機物質であると予測されている¹。この新しい可能性により、環境科学の課題は、より積極的に、環境にやさしい材料や製造プロセスを設計するようになっていくであろう。その進歩により、原料を削減し、危険な物質に係わる反応を避けることができるなど、低コストあるいは経済的にも利益のでる環境保護が可能となる。このような幅広い技術を“次世代環境技術”と呼んでいる例が米国にもある¹。本年6月には、「環境汚染におけるコロイド界面現象と界面科学の取り組み」という国際会議も京都で開催され、⁸ここでは従来からの環境技術を先端の基礎科学から見直そう

という動きもでてきている。環境という新しい軸を入れることで、科学技術に新しい展開、イノベーション、が導かれることを期待している。その展開には、すべての研究者・技術者が何らかの寄与ができるはずであり、それにより社会は多様な選択肢を得られると考えている。

参考文献など

1. "Next Generation Environmental Technologies, Benefits and Barriers"; R. J. Lempert et al, RAND'S Science and Technology Policy Institute (2003).
2. より合成化学的な指標もある。例えば、"グリーンケミストリー、持続的社會のための化学"、御園生誠、村橋俊一編、講談社サイエンティフィク(2001)を参照。
3. 量子デバイスを作成する狭義のナノテクノロジーに対し、ナノメートルレベルでの計測や材料設計も含める広義ナノテクノロジーがある。とくに、材料に関するものを材料ナノテクノロジーと呼ぶことがある。
4. "科学技術未来戦略ワークショップ「太陽を利用したクリーンエネルギー生成」 ナノ材料科学で技術の限界を突破する"、科学技術振興機構研究開発センター(2008)。
5. "フォトリソグラフィの基礎と新展開"、小池康博、学術の動向、No.12(2007)。
6. "表面力測定の最近の展開 固・液界面の液体"、栗原和枝、高分子、57. 91(2008)。
7. "ST・GSC技術開発プログラム構想 ST戦略の具体化に向けて"、化学技術戦略推進機構化学技術戦略推進会議、(2005)。
8. 5th International Conference "Interfaces Against Pollution" (IAP08), June1-4, Kyoto(2008).