



Title	ナノサイエンス・テクノロジー
Author(s)	松本, 卓也; 川合, 知二
Citation	大阪大学低温センターだより. 2001, 113, p. 1-4
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/8206">https://hdl.handle.net/11094/8206</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# ナノサイエンス・ナノテクノロジー

産業科学研究所 松本卓也、川合知二（内線8524、8445）

E-mail : matsumoto@sanken.osaka-u.ac.jp

最近、ナノサイエンス・ナノテクノロジーという言葉が注目を集めている。そのきっかけは、昨年（2000年）の1月21日にアメリカのクリントン大統領が「National Nanotechnology Initiative」を発表し、強力な科学技術政策が始動したことにある。筆者らは、これまでナノサイエンスの分野で仕事を続けてきたことから、日本におけるナノサイエンス・テクノロジーの方向づけに関わることになった。そこで本稿では、このナノサイエンス・テクノロジーのもつ意義について述べる。

## 1. 今、なぜナノサイエンス・テクノロジーか？

ナノサイエンス・テクノロジーとは「原子・分子・ナノスケールで構造と機能を制御する物質・材料・デバイス及びプロセス・システムの科学・技術」である。このように言うと、必ず、もう随分昔から原子・分子を扱ってきたのではないか、また、私もナノサイエンス・テクノロジーをやっていますという声が聞こえてくる。確かに近代以降の科学・技術は原子・分子論を基礎にしているのだから、物質・材料を構成する原子や分子を観察したり、思い通りに組み上げることに、既に多くの努力が行われてきた。例えば、ベンゼンが発見されたときから、ケクレが夢見た六角形の亀の甲はまさにナノスケールの話である。その後、有機合成化学は著しい発展を遂げて、分子構造の精密な制御が可能になった。しかし、このような熱統計力学的方法での原子・分子制御から一歩進んで、新しいナノサイエンス・テクノロジーでは、原子・分子を直接的に観察・制御すること、また、遺伝子のように、ある情報に基づいてナノスケールの構造を自己組織的に構築していくことが中心課題である。

## ナノテクノロジーへ向けた科学の進歩

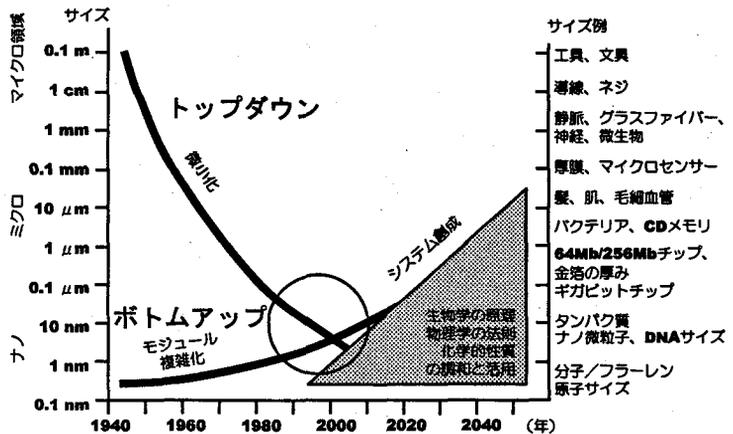


図1 ナノテクノロジーへ向けた科学の進歩

それでは、なぜ21世紀初頭

になって、このナノサイエンス・テクノロジーが急浮上してきたのであろうか？これには、以下に述べるような背景がある（図1参照）。第一に、1980年代後半から、走査プローブ顕微鏡などの技術が確立して、原子や分子を直接観察しながら操ることができるようになった。この手法の出現により、これまで間接的にとらえることしかできなかった原子・分子の世界が、日常的な知覚に近いかたちで姿を現したことが、非常に大きな背景となっている。第二の要因は、半導体デバイスが高密度化して、デバイスサイズがナノスケールの領域に近づいてきたことにある。微細加工技術は原子・分子論的になり、素子特性もナノスケールのサイズ効果を受けて通ることが出来なくなりつつある。第三に原子・分子の自己組織化現象の理解が進み、自然の力を借りてナノスケール構造を制御するための道筋が見えてきた。第四に、ナノスケールでは非常に豊かで面白いメソスコピックな物性・機能が発現することが明らかになってきた。例えば、電子・スピン・格子間の強相関的相互作用のコヒーレンス長と作製可能なデバイスサイズが重なるようになったため、新しい量子現象が次々に発見されている。すでに、単一磁束量子デバイスや室温動作可能な単電子デバイスなども実現した。以上のような状況から、ナノサイエンス・テクノロジーは、今、まさに科学・技術発展の歴史的必然として、注目を集めるようになった。

## 2. ナノサイエンス・テクノロジーが目指すもの

ナノサイエンス・テクノロジーが目指す科学・技術は広い領域に及ぶが、ここでは重要な3つの方向について述べる。第一の方向はこれまでシリコンテクノロジーがひたすら目指してきた電子デバイスの高密度化・高速化をあくまで追求していこうとするものである。これは、もっとも分かりやすい目標のひとつであり、冒頭で述べたアメリカの“National Nanotechnology Initiative”の中でも、「国会図書館を1コの角砂糖に詰め込む」として表現されている。シリコンデバイスの高密度化は過去30年間、驚異的な指数関数的発展を続けてきた。しかし、これからの10年間で物理的にも経済的にも限界点に到達すると言われている。そこで、この限界をナノテクノロジーで乗り越えようとする動きが活発になってきた。さまざまな方法が模索されているが、現在のシリコンデバイスとは全く異なる単一有機分子をデバイスとして用いることも真剣に検討されている。このような極限的な高密度化・高速化を実現するためには、単にデバイス寸法を小さくすれば良いのではない。ナノスケールで現れる量子論的物性をうまく取り込んだアーキテクチャー、例えば量子コンピューティングやセルラオートマトンなどが必要となるので、理論や計算科学との連携が欠かせない。

第二の方向は、生体組織にならった自己組織化現象の利用である。生命体は驚くべき精密さでナノスケール構造を作り出している。その顕著な例として、光合成システムをあげることができる。ここでは、ポルフィリンと呼ばれる色素分子がナノスケールのリング状に配置され、アンテナ機能により光エネルギーを電子励起状態に変換する。この励起エネルギーは、そのままではすぐに電子とホルルの再結合により失活してしまうので、励起電子はピコ秒の速さで、近くの第二のリングに移り、さらに隣接する第三のリングまで移ったあと、化学反応に利用される。この電子移動過程は量子論的なコヒーレンスまで考慮して、見事に設計されている。この精緻なナノスケール構造は、たんぱく質と色素の自己組織化という物理現象にDNAという情報が加わってはじめて達成される。さらに注目すべきは、自己組織化に情報を組み合わせると、非常に複雑な構造や機能をもつ系を大量かつ迅速に生成することができる点で

ある。実際、光合成が生命の基本であることを考えると、ポルフィリン分子間におけるナノスケールの微妙な配置により、全ての生態系や地球大気のパランスが保たれていると言っても良い。即ち、情報をともなった自己組織化を利用したナノテクノロジーはマスマプロダクションやエネルギー問題にも直結している。

第三は、超微小分子マシンをつくらうという方向である。古い映画に「ミクロの決死圏」というのがあった。マイクロメートルの大きさの宇宙船のような乗り物に乗って人体に入り、問題を解決するというストーリーであった。超微小分子マシンができれば、この映画のように体内の必要などところまで薬剤を運んで、必要な部位にだけ投与することができるので、副作用を抑えた薬物治療が可能になる。既にマイクロメートルオーダーのベアリングやモーターは微細加工技術を用いて実現している。さらに化学修飾したフラーレンやカーボンナノチューブといった部品が揃ってきたので、ナノレベルの分子機械も夢ではない。実はこのような分子機械のお手本も、生体に見ることができる。ATP合成酵素は化学的なエネルギーを分子モーターで運動に変換している。また、生体系ではブラウン運動のような無秩序な運動エネルギーも積極的に利用されていることが明らかになっている。ナノメカニクスでは、このような生体に倣った機構を取り入れた新しい駆動方式が考案されよう。

### 3. ナノサイエンス・テクノロジーの位置付けと国内外の研究状況

ナノサイエンス・テクノロジーの舞台である原子・分子の世界では「もの」と「情報」は密接不可分である。DNAや分子メモリでは、原子・分子といった「もの」の存在、配列、状態そのものが「情報」を担い、また逆に「情報」を受けて「もの」が変化する。このことは、ナノサイエンス・テクノロジーの及ぼす影響は極めて根源的であることを意味している。ナノサイエンス・テクノロジーは情報技術や生命工学を直接支えるだけでなく、エネルギー、環境、高齢化問題など、現在、直面している深刻な課題を解決する鍵であり、現代および未来の科学・技術を支える基本概念といえる（図2参照）。

以上のように、ナノサイエンス・テクノロジーは極めて重要であるので、その国家的取り組みは、国の将来を左右する。諸外国の例を見ると、アメリカ合衆国の“National Nanotechnology Initiative”の内容は極めて広範で、電子デバイス、構造材料、エネルギー、環境、生命工学、医療、教育、

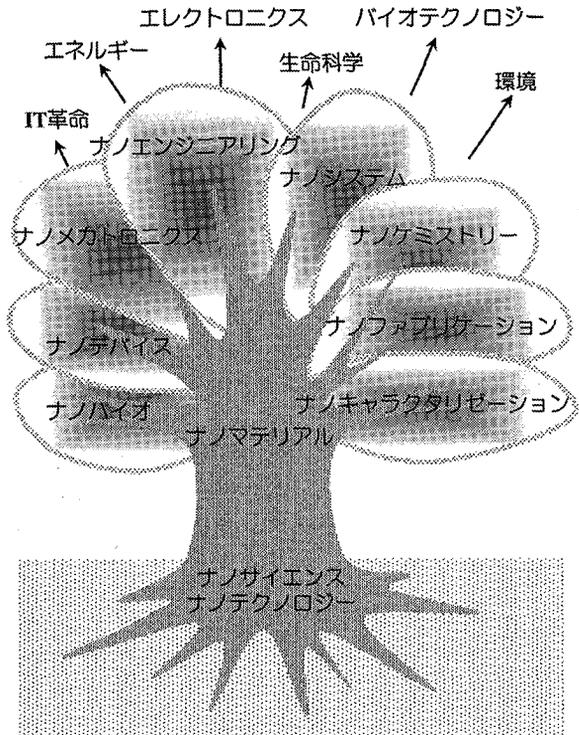


図2

貿易、安全保障などを網羅している。これとは対照的に、ヨーロッパにおけるプロジェクトは、量子電子デバイスや生命・分子工学に集中している。このような中で、日本がとるべき戦略はどのようなものであろうか？ アメリカと物量で競ってもかなわないであろう。また、ナノサイエンス・テクノロジーは基本的に物質・材料の科学であることを考えると、探索的な研究が重要であり、あまり分野を絞り過ぎるのも良くない。結局のところ、アメリカとヨーロッパのプロジェクトの中間的なやり方で、原子・分子をきちんと制御していくような研究を基本としつつ、材料、デバイス、生命工学など既に日本が強い分野に力を入れていくのがよいと考えている。

幸い、大阪大学にはナノサイエンス・テクノロジーの分野で優れた業績と蓄積がある。大阪大学から世界をリードする研究が続々と生まれることを期待しつつ筆をおくことにする。