

# 大阪大学ナノサイエンス・ナノテクノロジーフォーラム

— 21世紀の科学技術戦略 —



北岡良雄\*

NanoScience-NanoTechnology Forum  
—Strategy for Material Science and Technology towards New Century—

Key Words : Nano-science, Nano-technology, Nano-fabrications, Nano-devices, Nano-Material

## 1. はじめに

原子・分子一つ一つを制御して、新しいナノマテリアル(水素原子の大きさは1オングストローム=10<sup>-10</sup>メートル, 1ナノ=10オングストローム), それをナノスケールで加工する, さらに新しいナノデバイスを創製する“ナノサイエンス・ナノテクノロジー”は21世紀の物質・材料科学のもっとも大きなフロンティアであると考えられる。

ご存知のように, 昨年(1999)の1月21日にクリントン大統領によって打ち出されたアメリカのナノテクノロジーイニシアティブ計画では, 基礎的な物性科学からエネルギー変換までを含み, ナノテクノロジーというキーワードで, 物性, 化学, 材料などの科学者だけでなく, かなり分野の外れた研究者・技術者たちも協力して, このキーワードで物質科学を盛り上げようとしている。大学での基礎研究を中心として, 科学技術政策が発動されている。またヨーロッパでは, “ナノエレクトロニクス”へのロードマップが作られ研究が強力に推進されはじめています。

このような, 世界的な動きは, 日本の科学技術政策にも大きな影響を及ぼしはじめています。事実, ナノテクノロジーの分野の第1線で活躍中の研究者から構成された「ナノテクノロジーの戦略的推進に関する調査検討会」が科学技術庁および文部省(平成

13年度からは, 文部科学省)の主催で, 通産省(旧名)の協力も得つつ, 昨年10月より開催され, ナノテクノロジー研究の現状・今後の動向などの調査検討が行われている。「IT分野」と「バイオ分野」での技術展開で「後追い」型となった科学技術施策とは異なり, 「もの作り」分野で優位にある日本がイニシアティブをとる姿勢の表れと思われる。そもそも, 「IT分野」と「バイオ分野」で圧倒的な優位にあるアメリカが新世紀における「次世代の基幹科学技術」としてナノテクノロジーをターゲットに定めたことに対する危機感が日本の科学技術施策の策定を促すことになっているようである。

アメリカがこの分野で日本を強く意識していることは, 図1に示した「原子操作」で描かれた漢字の「原子」の図柄が全米科学技術会議(NSTC)から出された「ナノテクノロジーイニシアティブ計画レポート」に掲載されたことから窺える。

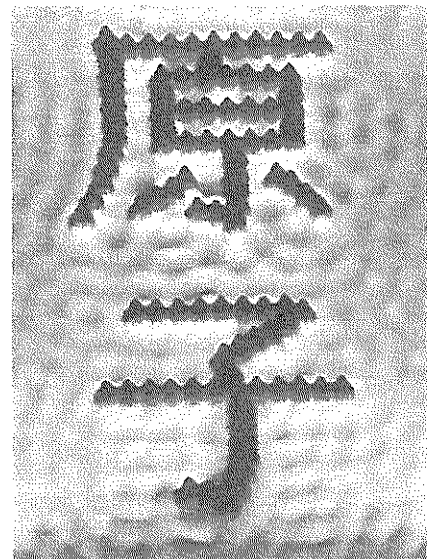
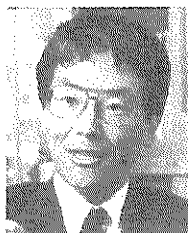


図 1

\*Yoshio KITAOKA  
1951年7月15日生  
1976年大阪大学大学院基礎工学研究科  
修士課程・物理系物性学修了  
現在, 大阪大学大学院・基礎工学研究  
科・物理系専攻, 教授, 理学博士,  
固体物理・低温物理・量子物理学・  
核磁気共鳴  
TEL 06-6850-6435  
FAX 06-6845-4632  
E-Mail kitaoka@mp.es.osaka-u.  
ac.jp



## 2. くなぜ今、ナノサイエンス・ナノテクノロジー？>

物質・材料を構成する原子・分子を直接観察し、かつ、思いどおり組み上げる科学技術に関しては、これまでも多くの努力がなされてきた。1980年代後半から、原子・分子を直接観察しながら、操る走査プローブ顕微鏡(STM, AFM)などの原子操作技術が現れ、ナノスケールの観察、操作が現実のものとなってきた。また、半導体技術が進歩し、その加工がナノメートルスケールに近づいてきたことも背景の一つである。このようなナノスケール領域においては、“人工的”に光ビームによって微細加工するだけでなく、“原子・分子の自己組織化現象”を利用することが有力な手法であることも分かってきた。実際、生体はDNAの設計図にしたがって高分子(タンパク質など)を順次自己組織化し、積み上げる方式をとっている。すなわち、ナノスケールの原子・分子制御が始めに与えられた情報によってなされ、物質が創成されている。物性・機能発現の観点からは、メソスコピックな大きさ、すなわち、数個の原子・分子が集合した“モジュール”が興味ある機能発現の最小単位となっている。このようなまさにナノスケールサイエンスとテクノロジーが現実のものとなり、それに向けての科学技術が最重要課題となっている。

さて大阪大学においても、このような大きな流れ、または方向性を打ち出し、「IT」や「バイオ」に対する基幹科学技術である物質・材料科学を発展させるためのインセンティブとすることが必要である。大阪大学での関連分野のポテンシャルの情報発信は、すでにこの「生産と技術」で取り上げられている。「研究ノート」や「夢はバラ色」のなかから、取り上げてみると、51巻、4号(1999)では、「ナノ構造による磁気熱量効果の飛躍的増進は可能か？」山本孝夫氏(工学研究科)著では、「超常磁性ナノコンポジットでナノ構造による磁気熱変換効果の増進が検証された」と報告されている。また続いて「機能性有機分子の表面二次元自己組織化構造の観察とその制御」桑原裕司、斎藤彰、青野正和各氏(工学研究科)著では、「究極の人工ナノ構造の構築においては、原子操作の確率をあげるための様々なテクニックの困難さがあるとした上で、以下のような構築技術が模索されている。すなわち、もともと単体として様々な特性の可能性を秘めた機能性有機分子に注目し、さ

らにそれらの自己組織化、分子認識、局所化学反応等を制御することによる新しい人工ナノ構造の創製を試するというものである。」さらに、「夢はバラ色」では、「単一微粒子の光科学—光操作による光機能と反応の制御—」増原宏氏著(工学研究科)では、「従来の理学、工学とか、物理、化学、生物といった枠組みを超えて、技術が、概念が、発想が融合し、新しい学問体系を目指して進展している」との認識を示し、そのような典型的な系として光を用いた単一微粒子の研究例が紹介されている。「ナノメートルスケールの限られた空間をもつ微粒子は、電子、電子エネルギーを閉じ込めてその状態を変化させる。表面・界面が微粒子の物理的、化学的性質を決めることが多く、その結果全く新しい構造・物性をもつことが期待される。したがって、気体、液体、固体に次ぐ第4の物質状態で自然界、日常生活に広く見られる、その光機能と反応の制御を自在に行うこと」が企図されている。またこのような取り組みは、一つの学問、技術で可能になるものではなく、分野横断的、境界領域的アプローチが必要不可欠と提言されている。このように大阪大学では、クリントン大統領の演説を待つまでもなく、ナノテクノロジーへの取り組みは既成の方向性として始まっていた。

このような状況の中で、大阪大学の物質・材料科学研究者が分野横断的な研究ネットワークあるいは、情報交換を推進できないかと、既存の横断的な組織である大阪大学物質・材料科学研究推進機構(代表世話人・冷水佐壽教授(現基礎工学研究科長)で議論され、その結果、大阪大学での関連分野の研究ポテンシャルの情報発信をするための具体的な活動として、企画されたのが「大阪大学ナノサイエンス・ナノテクノロジーフォーラム」である。この企画は、他大学や他の組織の研究コミュニティに、大阪大学の物質・材料科学研究の成果や潜在能力を知って頂けることも動機となっている。

実行委員会のメンバーは、冷水佐壽(基礎工)、邑瀬和生(理)、柳田祥三(工)、大中逸雄(工)、大貫惇陸(理)、北岡良雄(基礎工)、川合知二(産研)、事務局メンバーは、原田明(理)、吉田博(産研)各先生方である。平成12年度、第1回フォーラムは10月24日(火曜日)、第2回フォーラム、平成13年2月27日(火曜日)に銀杏会館で開かれた。事務局の予想を大きく上回る参加者で、この分野の関心の大きさを示した。図2には、フォーラムに参加された所属部

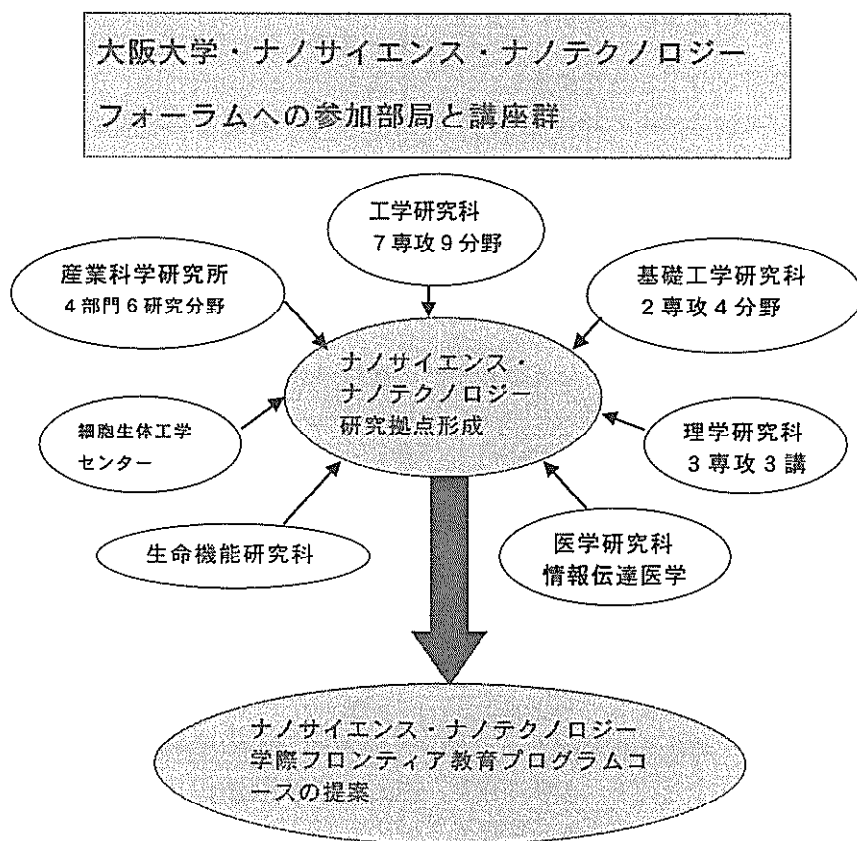


図 2

局と講座名を示した。ご覧のように、大阪大学の関連研究分野のひろがりや質の高さが分かる。参考のために、講演題名と講演者のリストを図3に示す。如何に「ナノ」をキーワードした研究展開が分野横断的な学際研究であるかが分かる。

次に筆者の所属する基礎工学研究科物性物理科学分野と合成化学分野でのナノサイエンス・ナノテクノロジーの研究動向を具体例として取り上げる。

1. 「強磁性ナノコンタクトの創製と物性」：那須 三郎教授，小野輝男講師(物性物理科学分野)  
 達成目標：数原子で構成される安定な強磁性ナノコンタクトの創製  
 波及効果：究極までダウンサイジングが進んだ磁気メモリ，磁気記録媒体の読み取りヘッド等への応用。
2. 「ナノ構造物質(巨大分子，超微粒子，超格子)と光との相互作用を用いた複合ナノ構造物質の創成と光物性・機能の制御」：伊藤正教授，張紀久夫教授(物性物理科学分野)，岡田正教

- 授，戸部義人教授，中戸教授(合成化学分野)  
 達成目標：ナノ構造物質(半導体・金属超格子，超微粒子，微粒子配列，巨大分子，超分子，生体複合分子等)に関して，光(電磁場)との相互作用を通じて，ナノ構造・空間を「作り」，「見て」，「操る」オプトナノサイエンスの物理・化学の新展開。  
 波及効果：ナノサイエンスの物理と化学の融合によってメゾスコピック系の光科学の学際分野の確立。生体分子複合体の構造とエネルギー移動機構の解明。ナノ光エレクトロニクスデバイスとフェムト秒制御技術の開拓。
3. 「半導体ナノ細線を用いたオプトエレクトロニクス」：冷水佐壽教授，下村哲助教授  
 達成目標：高均一・高密度・高品質半導体量子ナノ構造の面発光レーザーへの応用。面受光型の新しいテラヘルツ領域の二次元アレイデバイス  
 波及効果：超高速並列通信の実現，未使用波長領域を用いたセンサー

「大阪大学第1回ナノサイエンス・ナノテクノロジー・フォーラム—21世紀の科学技術戦略—」

主催：大阪大学物質・材料科学研究推進機構主催

日時：平成12年10月24日（火曜日）10:00-17:45

会場：銀杏会館（阪急・三和ホール）

セッション[1]-ナノマテリアル (Nano-Material)

(座長：森田清三)

- (1) 「人工生体情報材料創製へのナノサイエンス」  
川合知二 (産研)
- (2) 「ナノマテリアルのデザイン」 吉田博 (産研)
- (3) 「ナノマテリアルの創製」  
大中逸雄 (工、知能・機能創成)
- (4) 「分子デバイス創製」 原田明 (理、高分子)
- (5) 「ナノスケールパイ電子系の創製」  
戸部義人 (基礎工、化学系)

セッション[2]-ナノキャラクターゼーション

(Nano-Characterization) (座長：川合知二)

- (6) 「ナノスケールフォトリクス」  
河田聡・井上康志 (工、応用物理)
- (7) 「ナノプローブによるキャラクターゼーション」  
森田清三 (工、電子)

セッション[3]-ナノバイオサイエンス

(Nano-Bio Science) (座長：原田明)

- (8) 「ナノ形態形成研究」 近藤壽人 (細胞工学センター)
- (9) 「1分子バイオサイエンス」 柳田敏雄 (医)

セッション[4]-ナノデバイス (Nano-Devices)

(座長：増原宏)

- (10) 「ナノ量子デバイスプロセス」 岩崎裕 (産研)
- (11) 「半導体ナノ格子構造による量子デバイス」  
冷水佐壽、下村哲 (基礎工、物性)
- (12) 「ナノ構造によるオプトエレクトロニクス」  
伊藤正 (基礎工、物性)
- (13) 「量子コンピュータ」  
北川勝浩 (基礎工、エレクトロニクス)

セッション[5]-ナノファブリケーション

(Nano-Fabrication) (座長：大中逸雄)

- (14) 「ナノリソグラフィープロセスの開発と量子ビーム  
によるナノワイヤーの形成」 田川篤一 (産研)
- (15) 「ナノ光化学」 増原宏 (工、応用物理)

「大阪大学第2回ナノサイエンス・ナノテクノロジー・フォーラム—21世紀の科学技術戦略—」

主催：大阪大学物質・材料科学研究推進機構主催

日時：平成13年2月27日（火曜日）10:00-17:30

会場：銀杏会館（阪急・三和ホール）

懇親会会場：銀杏会館（3階大会議室）18:00-20:00

挨拶：大阪大学ナノサイエンス・テクノロジー検討

ワーキング座長 城野政弘 (副学長、工、機械システム工学)

「ナノテクノロジーの戦略的推進に関する調査検討会」報告

川合知二 (産研)

セッション[1]-ナノマテリアル (Nano-Material)

(座長：川合知二)

- (1) 「自己組織化、微細加工、水素化、歪み導入による  
ナノ磁性体の創製、構造、磁気特性」 山本雅彦 (工)
- (2) 「構造が明確なナノサイズマテリアルの分子設計」  
杉浦健一、坂田祥光 (産研)
- (3) 「ナノマグネトニクス」 小野輝男 (基礎工、物性)
- (4) 「ナノコンポジットマテリアル」 新原皓一 (産研)
- (5) 「ナノ粒子の光物理と光化学」  
和田雄二 (工、物質・生命)

セッション[2]-ナノファブリケーション

(Nano-Fabrication) (座長：北岡良雄)

- (6) 「刺激/ストレス応答型マルチスケール・  
バイオプロセス/マテリアル」  
久保井亮一、馬越大 (基礎工、化学系)
- (7) 「電子線による半導体ナノ構造の創製」  
竹田清治 (理、物理)
- (8) 「有機分子によるナノ空間の創製」  
宮田 幹二 (工、物質・生命工学)
- (9) 「分子自己組織化能による自発的ナノ構造体の形成」  
中戸義隆 (基礎工、化学系)

- (10) 「液液界面ナノ反応場」 渡會 仁 (理、化学)

セッション[3]-ナノバイオサイエンス

(Nano-Bio Science) (座長：原田明)

- (11) 「ナノゲノム解析」 福井希一 (工、応用生物工学)

セッション[4]-ナノデバイス (Nano-Devices)

(座長：原田明)

- (12) 「単電子デバイス」 蒲生健次、若家富士男  
(基礎工、エレクトロニクス)
- (13) 「ナノ量子デバイスの創製と量子物性」 青野正和  
(工、精密科学専攻、理化学研究所表面界面工学)
- (14) 「半導体量子物生」 邑瀬 和生 (理、物理)
- (15) 「半導体量子ドットのテラヘルツ分光」  
藤井研一 (理、物理)

4. 「単電子デバイス」：蒲生健次教授，若家富士男助手(電子光科学分野)

達成目標：フラーレンやカーボンナノチューブなどの新材料を用いたリソグラフィの限界を超えたサイズの単電子デバイスの創製。  
波及効果：室温で動作する単電子デバイスの実現。

他にも化学系では、「分子系の自己組織化能によるナノ構造形成の開発」「ナノテクノロジーを用いた無機粘土化合物触媒の高機能化」，「ナノアーキテクチャーデザインによるデンドリマー触媒の開発」「巨大金属ナノクラスター触媒の創製」，「ナノ粒子調整と材料化プロセッシングテクノロジー」などの研究が展開されている。また他の理学系，工学系で展開されている研究に関しては，計2回行われたフォーラム研究調査シートとしてまとめられている。さらに詳しく知りたい場合は事務局の原田明教授(理学研究科：harada@chem.sci.osaka-u.ac.jp)に照会されたい。

3. おわりに

ここにきて世界は，急速にナノメートル科学技術へと走りだしている。このような状況のもとで成熟期を迎えたバルクの物質の構造，物性，反応，機能の研究と，単一原子，単一分子のアプローチとの間をどう橋渡しするかが，重要な研究課題となっていることは言を待たない。筆者は，固体物理の研究フロンティアである強く相互作用する電子系(強相関電子系)で発現する磁気や超伝導現象等の物性発現機構をミクロな研究手段である原子核磁気共鳴法(NMR)を用いて研究を行っている。直接的に，ナノサイエンス・ナノテクノロジー分野の研究を専門にしている訳ではないが，ナノメータスケールの電子状態がバルクの性質さえも支配している例を多

く見てきた。NMRはご存知の方も多いと思うが，現代科学の広範な分野で不可欠の研究手段となっている。固体物理も例外ではなく，最近注目されている高温超伝導研究でも威力を発揮している。我々のグループでは，科学技術振興事業団の戦略的基礎研究プロジェクト「最高性能高温超伝導材料の創製」(研究代表者・伊原英雄)に参画して，サブナノスケールでの材料の特性研究(ナノキャラクターリゼーション)を行っている。そこでは，多層型材料(超伝導の発現を担う銅と酸素の二次元正方格子を三層以上含む系)では，ドーピングされているキャリア数にサブナノスケールで著しい差が生じる結果，材料特性のネックとなっている臨界電流の異方性が著しく改善していることが分かった。このようにバルクの構造と物性の発現は，ナノスケールでの操作によってより効率的に人工的に制御できることを示唆している。さまざま物質系をナノスケールで作製し，観察し，測定し，解析し，評価し，操ることが必要となってきている。この分野では，日本は実績もあり，さらなる潜在能力をもち「先導的な研究展開」が可能である。今まで得られなかった有用な物質・材料を生み出し，新しい超高速，超高集積，極微デバイス・システムを作り上げるための“基礎科学”として重要なだけでなく，人類の生活を直接より豊かにする新技術としても極めて実り多い研究領域である。今後，機動的な研究ネットワークを構築し，有機的なナノサイエンス・ナノテクノロジーに関する研究を競合的に，かつまた協調的に展開することが，大学に求められている。このような先端物質科学での基盤的科学技術の持続的な発展は，有為な人材の輩出なしには，到底望めない。この点からも，大学での教育・研究体制の整備，あるいは再構築は必至であると考えられる。

