訳者序文

原著は，現在，ナノテクノロジーやIT分野で勃興しつつあるインドの科学者によって書かれ，原著者の科学や社会全般に対する姿勢には将来への希望が満ちあふれており，現今の社会情勢のもとで日本や欧米諸国の本とは異なった趣をもっている．しかし，それでも我々を取り巻く環境や共同体への目配りが感じられるのが，本書を類書と差別化している点である．原著者はアメリカでの研究生活で西欧文明のすぐれている点と欠点とを経験しており，また，インドの伝統文化にも誇りをもっている．日本での滞在経験もあり，日本の伝統的農業にも造詣が深い．“序文” にもあるように，本書はナノを専攻する大学院生，研究者だけでなく，ナノテクノロジー，ナノサイエンスを一般の理系の学生，さらには，ナノを評価し，その知識を得ようとする社会人にも受け入れられるように，数式を排除し，多くの図と写真で理解できるよう工夫されている．また，業界用語・専門用語もできるだけ日常語で表現する，化学式を用いずに化合物名で表わすなど，そこかしこに細かい工夫がみられる．

“序文” や第1章の導入部，また第16章において，インドでの現状にふれているところがあり，一部，日本を含めた先進国の現状と違和感を覚えるところがあるが，ナノサイエンスとナノテクノロジーにかける原著者の意気込みが感じられる部分でもある．それを反映してか，第2章の実験技術の記述は初歩的なところからはじめて，この分野に出てくる必要な実験技法を網羅しており，本書一冊で一応完結する記述となっている．また，巻末には非常にくわしいナノ関連の用語集がついており，ナノ関連のハンドブックとしても有用である．

原著者が第4次産業革命と位置付ける，ナノに基盤をおく科学，技術が（先進国，開発途上国を問わず）社会へ浸透しつつある現状が，南北格差を縮める最後のチャンスととらえられているのは，インドが世界の政治，経済に位置する現状を強く反映しているのだろう．ナノサイエンス，ナノテクノロジーは，日本ではとかくハイテクと同義にとらえられているが，これがアメリカ的な見方であることが本書を読むとわかる．そもそも生物体がナノの塊であって，

“現在のハイテクは自然界で普通に営まれている仕組みや機能に遠くおよばない，自然こそが我々が学ぶべき対象である” という視点は，原著者がインド人であるからだろうか？　このようなものの見方は日本人の伝統的な自然観とも通じるところがあり，日本人も忘れてはならないと思う．

原著にはインドに特化して記述してある箇所がいくつかあるが，日本の読者には不要と思われるところは著者の了解の下に削除や改変した．それでも，特に第 16 章のナノと社会とのかかわりのように，問題設定上，開発途上国の現状を記述してあるところは，原著の意にそって訳してある．また，原著の印刷時に修正されなかった誤植や式の誤りは原著者に確認し，可能な限り翻訳時に修正した．

できるだけ読みやすい日本語になるよう，場合によっては思い切った意訳をしたが，訳者の力不足でなお生硬なところがあるかもしれない．不備な点はご指摘いただければ幸甚である．最後に，本書の出版にご尽力いただいた共立出版株式会社編集部の方々に心からお礼申し上げる．

2011 年 6 月

訳者代表　木村啓作

序　文

材料科学の世界では，今，微小スケール物質の探索という大変革が進行している．20 世紀の前半から，原子サイズより小さな粒子が科学の世界を魅了してきた．高エネルギー加速器は原子サイズ以下の粒子の構成要素を明らかにしており，現在もなおその探索は続いている．ナノサイズの構成要素からなる目新しい性質をもった材料の要素の探索も行われている．これまでバルク材料とその複合体が担ってきた役割をナノ材料で行うと，過去においては想像もできないような多くのことを達成することができる．バクテリアの 1/1000 以下の小さな動き回るデバイスを想像しなさい．ウイルスくらい小さく複雑な機械を想像しなさい．実際，ウイルス自体は自然が作り上げた小さく複雑な機械なのだから．

寸法を縮小し，それにともなう性質の変化を探求することには限りがない．これは何度も繰り返されたファインマンの有名な言葉 “微小な世界には大きな余地がある” に凝縮されている．複雑な機械の機能を達成するために，分子を配置することから出発してみよう．分子ナノテクノロジーによって作製されたこの種の制御された分子集合体は，将来，あらゆるものを変革するだろう．この新しく獲得されたパワーによって，食料事情からものの考え方までが変わるだろう．

原子や典型的な分子の大きさは数オングストロームである．すなわち，10^{-10}m または 1m の 100 億分の 1 である．この種の数字は日常では使用することがないため，実感することがむずかしい．この長さは，1mm と東京-鹿児島間の距離の比にほぼ等しい．10^{-10} を理解するには，天文学的な数，10^{10} を想像するのがよい．10^{10}m とは千万キロメートルで，地球と月の距離の 26 倍である．宇宙飛行士以外にそのような距離を旅行したものは誰もいない．日々の生活において，我々は 1m や 1cm の距離を経験し，器具の助けを借りずに見えるのは，小さいものについては 0.1mm で，ちょうど木綿繊維くらいの太さ（10^{-4}m）である．10^{-10}m というのは，これのさらに 100 万分の 1 の大き

さで，もし木綿繊維の太さを 100m の高速道路幅に引き延ばすと 1mm にあたる．我々はこのように非常に小さなものを議論しているのであり，それらを見るにはそれなりの道具が必要である．

ナノメートル（10^{-9}m）の対象物に機能をもたせるには，構成原子や分子をタンパク質のような巨大単一分子に組み立てることが必要である．ナノメートルスケールを対象とする科学がナノサイエンスであり，これに対応する技術がナノテクノロジーである．ナノテクノロジーは原子を 1 個ずつ望みの形に組み立てるような操作も含意している．このスケールでは，物質の構成物はバルク材料とも，成分とも異なる機能を呈するようになる．分子的な性質がこの境界で物質の機能差の仲立ちをしているが，このサイズ領域についての我々の理解はまだ不十分である．それゆえ，一層の研究が必要なのである．この領域の研究には科学者を魅了するような驚きが満ち溢れている．

この分野の進歩が新奇な技術をもたらす．2015 年におけるナノサイエンスとナノテクノロジーの市場は 3500 億ドルになると推定されている．これは必然的に人的資源の開発に新たな投資を要請する．必要な人材は，化学，物理学，数学，生物学，ならびに，電気，機械，化学工学分野のかなりの基礎教育のうえに立って，ナノサイエンスとナノテクノロジーの背景知識をもたねばならない．基礎科学と工学の学位は絶対に必要であるが，さらにナノに関連した分野での日常的な訓練が世の中の需要に応えるためには必要だろう．学部学生のカリキュラムにいくつか新たなコースを付け加えるだけでは，要求されている人材とのギャップを埋めるのは不可能である．大学院教育課程は，ナノサイエンスとナノテクノロジーのことを考慮に入れなければならないだろう．

その教育課程は，必要な理論的素養とともに，実験手法に関する十分な情報を提供しなければならない．少なくともインドでは，学部学生のカリキュラムで現代的な実験装置を経験させるような入門の講義は行っていない．また，このレベルでは，講義時間の制約と学問分野の進歩を考慮すると，学部学生の講義に期待するのは不可能である．それゆえ，ナノサイエンスとナノテクノロジーにむけたプログラムは修士課程か博士課程でなさねばならない．博士課程での集中講義は有用かもしれないが，関連するすべての分野の実際と実験技法にふれさせなければならない．これは，インドのような国においては，必要な設備が乏しい大学に大きな投資を必要とする．まず，必要なインフラを備え，人的にも恵まれた少数の研究者がそれをはじめなければならない．修士課程での講義も有効だろうが，比較的少数のものが講義をとることを考えると，教育課程中に実験研究を含めないとナノの分野の全体像はつかめないだろう．

本書は，最も基本的なことからはじめて，この領域全体の理解が得られるように書かれている．各主題は理学部と工学部の学生ならば容易に理解できるだろう．意識的に省いた細かな点もあるが，特定の領域の詳細を理解する必要のある学生や教師には十分な方向性は与えてある．本書の末尾にはより一層の探求に資するため，原著論文を含めた発見の歴史の要約を掲げた．これは将来どの領域を専攻したらよいか決めかねている修士課程の学生に有用だろう．また，ナノ関連の略語もまとめた．

全体は 36 講義時間の半期のコースとなるように構成されている．教室によっては，特定の課題に対してより多くの内容の講義を行ってよい．それは，自己組織化単分子膜（単分子膜の構造），金属ナノ粒子（電子吸収スペクトル）と量子ドット（サイズ効果）である．これらはいくつかの方法で行うことができる．一例として，学生自身による最新の研究紹介や論文発表を含む 20〜25 の講義時間でもよい．そのために関連する分野の発見の歴史を取り上げてもよいだろう．本書の特定の主題にそってより掘り下げた講義を行うことも可能である．

本書で取り上げたおもな題材は急展開している．したがって，この種のどんな書籍も定期的に版を改めねばならないだろう．ナノ-バイオ-機械-電気の境界分野の科学は新しい学問領域を開きつつある．最前線の技術は測定装置を急速に変えており，それはまた，新規な “事物” の探求を可能にしている．課題設定も観測手段も変わりつつある．これらすべてのことが，伝統的な分野よりも頻度の高い改版を必要としている．

本書はまた，この時代の特別の要求に応じて書かれた．ナノこそが時代の来し方であるとの実感がある．これは，メディアの広報活動によって，教育担当者，政府の計画立案者や行政担当者のマインドとなっている．この結果，複数の高等教育機関ではこの領域のコースやプログラムの設置を計画している．本書はそのようなコースでの道しるべとなるだろう．本書とそのなかで示した参考書とは，選択科目として取り上げても適当である．本書でカバーしていないナノテクノロジーのような題材を含むよりくわしい教科書がナノに特化した大学院教育プログラムには必要だろう．

T. Pradeep

謝　辞

本書は多くの方々の不断の支援によって上梓することができた．まず，インド工科大学マドラス校の卒研生，そして，修士課程，博士課程の学生の諸君には，本書を執筆するのに必要な細々としたことを整理し，尽力してくれたことに対して感謝したい．過去数年間のマドラス校における学部および大学院での講義科目，CY305-分子構造と機能，CY653-電子分光，CY722-新規材料，が本書の内容を充実させるのに役立った．大学院生が執筆に協力してくれ，実際に何章かは彼らに依っている．下記の学生には特に感謝したい．D. M. David Jeba Singh（気相クラスター），V. R. Rajeev Kumar（自己組織化単分子膜，単分子膜保護金属ナノ粒子），A. Sreekumaran Nair（コアシェル型ナノ粒子），M. J. Rosemary（ナノシェル），Renjis T. Tom（ナノ生物学），C. Subramaniam （ナノセンサー）．また，3 名の学部生も協力してくれた．Anshup（ナノ医療），Sahil Shni，Richie Khandelwal（ナノトライボロジー）．彼らは実際にこれらの章の内容に貢献してくれたが，誤りがあるとすればそれは私の責任である．私の研究室に数カ月間滞在した Birgit Buergi 博士とともに “ナノサイエンスとナノテクノロジーの社会的意味” に関する論文を書いたが，その内容を本書に引用することを快諾してくれた．この論文は，もともと *Current Science* 誌に発表したものである．同様に，同誌に発表したフラーレンに関する私の論文も，一部改変のうえ，本書に取り入れてある．C. Subramaniam と V. Sajini には，ナノの歴史と索引の作成に協力してもらった．K. A. Arun と K. R. Antony には原稿準備の段階でいろいろと世話になった．

本書の主題に関して，私の理解を深めるのに貢献してくれた学生たちに感謝したい．

著作の複製を許諾してくれた出版社と著者に感謝する．また，ウェブサイトから図を引用しているが，これにも感謝したい．書籍，モノグラフ，総説，そして，ウェブサイトからも各種の情報を引用した．これら知的財産に適切に謝

意がなされていることを望む．努力の甲斐なく，なにかしら適切にまたはふさわしく言及されていないところがあれば，読者にはそのような過誤を指摘していただきたい．可能な限り早い機会に修正したいと思う．

マグロウヒル・エデュケーション（インド）のすばらしいチームに支えられて本書を皆さんへお届けすることができた．彼ら１人１人に感謝したい．

インド工科大学マドラス校の励ましに感謝する．成人教育センターのカリキュラム開発セルからの資金援助を得た．

最後に，妻と子供たちの忍耐に感謝する．

T. Pradeep