

## - 4 . 創造科学技術推進事業(ERATO)から生まれた新しい潮流

科学技術振興事業団(JST)が1981年から開始した最初の基礎研究プログラムである創造科学技術推進事業(ERATO)は、これまで53プロジェクトが終了(2003年4月現在)している。本事業の目的の根幹は、「科学技術のシーズ創出と新しい潮流の形成」である。これに基づき、個人の創造力を活かした学際的チームを作り、研究を推進し、世界に先駆けて新しい科学技術の潮流を創り、ひいてはいつそう多様化しつつある将来の社会的要請に寄与することが、ERATOに課せられた役割と言えよう。

ここでは、当初期待したような新しい科学技術の潮流ができているか、あるいは、今後そのような潮流に育つ十分な可能性があるか、という視点から、これらの53プロジェクトを調べたところ、これまでの追跡調査<sup>1</sup>や有識者からのヒアリング等から判断すると、少なくとも19例について「科学技術の新しい潮流の形成」の点で成功を収めている。次に、この点を定量的に検証するために、その中の幾つかのプロジェクトを選び、当該分野に関わる論文総数の推移を解析した<sup>2</sup>。併せて、そのような科学技術や概念に対して期待される産業的效果を推定した<sup>3</sup>。ここでとりあげた科学技術の成果が、産業的価値を有する具体的物質の発明であった場合には、その物質だけでなく、その物質を不可欠な要素として利用した製品群に対しても、同じように産業規模の調査を実施した。また、その科学技術の成果が、具体的物質の発明というよりも、その後の産業を支える重要な基盤技術であったり概念であったりした場合には、産業規模の調査を、その科学技術の成果がもたらす可能性が高い波及効果として、期待される種々の産業について実施した。

なお、これらの成果やその後の発展は、ERATOの期間だけでなく、それ以前の研究者の有するポテンシャルと、研究期間終了後の研究者の努力や支援を得て成し遂げられていると考える。

---

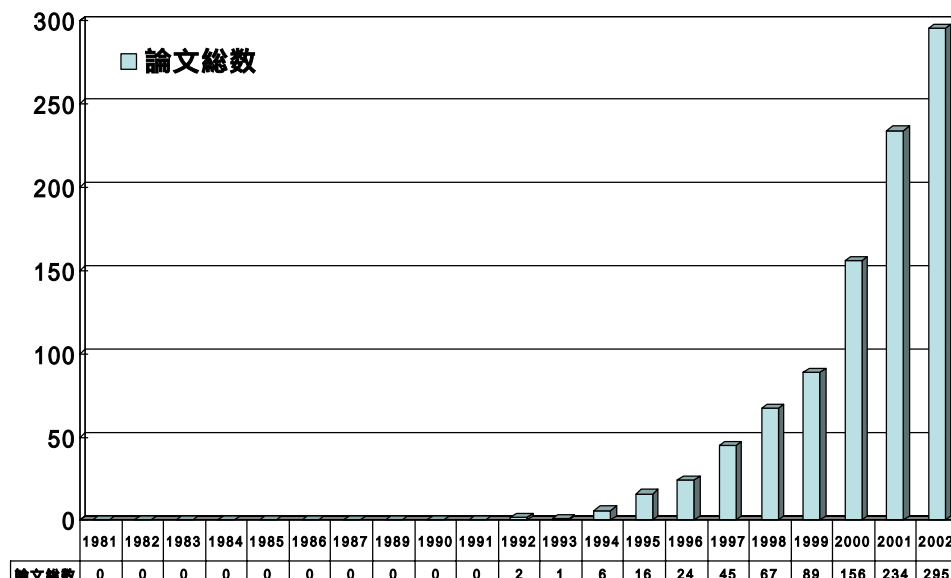
<sup>1</sup> ERATOの歴代33プロジェクト(1997年終了プロジェクトまで)について、2003年3月時点で、その追跡調査を完了している。

<sup>2</sup> それらのプロジェクトが生み出した新しい科学技術や概念に相当する専門用語(キーワード)とJOIS Databaseを使って相当する論文数を調査した。本調査の特異性を高めるために、キーワードを精選しなければならなかったが、その結果、得られる論文数が実際の数値を下回る傾向が認められた。また、適切なキーワードがない場合には本調査を省略した。

<sup>3</sup> 創造科学技術推進事業：追跡調査特別報告書「創造科学技術推進事業から生まれた科学技術や基盤技術の産業波及効果の調査報告書」(東レ経営研究所、2003年5月)より。

## 林超微粒子プロジェクトに端を発したカーボンナノチューブ

カーボンナノチューブに関する論文数の推移



\*\*Data source from JICST

carbon nanotube

カーボンナノチューブは、原子レベルで構造が定義できる数少ない材料であることと、らせん構造のまき方によって、金属、半導体、その中間の性質をとりうることの双方の点で、かつて存在しなかった材料と言える。カーボンナノチューブの仲間には、単層カーボンナノチューブ、多層カーボンナノチューブ、カーボンナノホーンなどを含めた多彩な構造が知られており、それぞれが特徴ある性質を有することなどから、様々な産業分野への応用が期待されている<sup>4</sup>。これらの構造物のうちで、単層カーボンナノチューブは、林超微粒子プロジェクト（1981-1986）の飯島澄男のグループ研究の中で生まれており、そのことは、1993年になり飯島自身によって再発見されている。すなわち、カーボンナノチューブ研究は林超微粒子プロジェクトに端を発したものであった。図に示した発表論文の推移は、カーボンナノチューブの研究分野が、1990年代の後半から急速に成長したことを表している。本分野の研究は、近年になって民間企業においても急速に盛んになっているので、携わる研究者の増加傾向は、このグラフが示す論文の増加傾向よりもさらに著しいと思われる。

カーボンナノチューブの将来の産業規模は、単体素材としてと、装置としての両面からの推定

<sup>4</sup> 「ナノ制御の複合材料の技術動向 - ナノテク応用材料の全容が見える」(東レリサーチセンター、中山克郎・武山高之著、2002年4月)

値が、すでに報告されている。単体としてのカーボンナノチューブは、2005年には~150億円、2010年には~300億円と予想されている<sup>5</sup>。カーボンナノチューブの装置への応用は、カーボンナノホーンの固体高分子型燃料電池（PEFC）への早期実用化が期待されており<sup>6</sup>、その産業規模は2005年に国内市場が~60億円（世界市場は~350億円）に、2010年には国内市場が~3,800億円（世界市場は~6兆5,000億円）に上る見込みである。加えて、カーボンナノチューブは、原子レベルで構造が定義できる金属/半導体なので、マイクロマシン、薄型ディスプレイ、センサーなどの欠かせない材料としても注目されている。こうした分野も含めた全体の産業規模は、国内だけで、2005年には1~3兆円<sup>7</sup>、2010年には~10兆円<sup>8</sup>にも達すると予測されている。このように、カーボンナノチューブには、それを利用したハイテク（ナノテクノロジー）産業の成長を支えるという意味で、極めて大きな期待が寄せられている。

---

<sup>5</sup> 「ナノテクノロジー関連市場の全貌」（富士経済 2002）；「ナノテクノロジー市場規模予測」（三菱総合研究所・日本経済新聞社 2001年2月）。

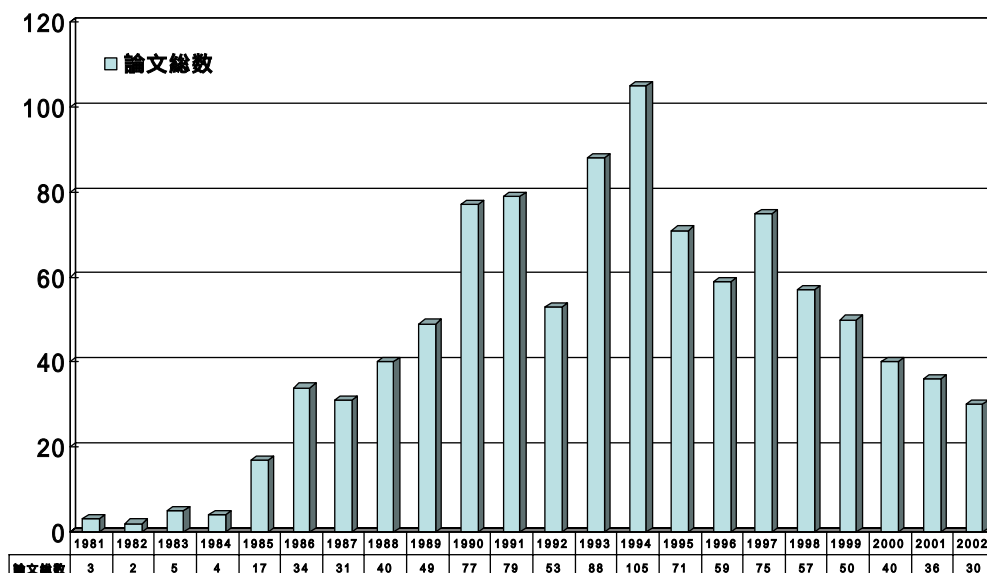
<sup>6</sup> 日経ナノテク年鑑 2003。

<sup>7</sup> 「ナノテクマーケット」（矢野経済研究所、2002）；「大予測 21世紀の技術と産業」（三菱総合研究所・日本経済新聞社、1999年5月）；「ナノテクノロジーの現状と求められる戦略的支援策について」（みずほ産業調査、2003年2月）。

<sup>8</sup> 「大予測 21世紀の技術と産業」（三菱総合研究所・日本経済新聞社、1999年5月）；「ナノテクノロジーの現状と求められる戦略的支援策について」（みずほ産業調査、2003年2月）。

## 西澤完全結晶プロジェクトから生まれた超高精度半導体結晶

化合物半導体を超精度で作るための基盤技術に関する論文数の推移



\*\*Data source from JICST

stoichiometric epitaxy; molecular layer epitaxy; atomic layer epitaxy;  
photo-excited molecular layer epitaxy

西澤完全結晶プロジェクト(1981-1986)は、III-V族の半導体化合物であるGaAsを具体的な研究対象としながら、化合物半導体結晶を超高精度で作るための基盤技術(化学量論的エピタキシ法、1分子層エピタキシ法、1原子層エピタキシ法、光励起1分子層エピタキシ法)を発明した。それ以来、これらの技術を利用して実施された研究の論文数は、1994年まで急速に増加している。その後、論文数は低下傾向を示しているが、これらの技術は、このところ急速に発展しつつあるGaNなどの結晶作りも含めて、超高精度での結晶作りの普遍的基盤技術となっている。従って、1994年以降の論文数の減少は、関連研究者の減少を意味するものではなく、当該技術があまりにも一般化して論文に引用されないものが増加した点と、多くが企業で利用されていると見られ、それらは論文数に反映されにくい点、の双方にあると分析することができる。

GaAsは、電子デバイスとして、各種増幅器、発光ダイオード(可視光、赤外LED)、半導体レーザーなどの分野で、すでに幅広く実用化されており、その素子としての産業規模は、2000年の国内市場が~280億円であり、その後は景気の低迷の影響から規模が縮小したものの、2005年には国内市場が~240~750億円に回復するものと予測されている<sup>9</sup>。また、素子を応用した製品で

<sup>9</sup> 「2002光産業予測便覧」(富士キメラ、2002年8月);「半導体材料ケミカルスの市場展望と海外戦略2001」(富

は、光記録や光通信レーザープリンタなどに使われる半導体レーザーの規模が大きく、その2000年の国内市場は~3,900億円であり、2005年にも同程度の市場が見込まれている<sup>10</sup>。

このように、西澤完全結晶プロジェクトから生まれたGaAsの産業規模は、それ自体が際立って大きいものとは言えないが、本プロジェクトの科学技術への貢献は、GaAs完全結晶の作成だけでなく、GaP、InP、GaNなどのIII-V族の化合物半導体や、さらにはII-VI族の化合物半導体の多層超薄膜（超格子）を、精度よく作成する技術を先駆的に開発した点にあり、その視点から波及効果が極めて大きいと言える。例えば、GaPとInPの多層超薄膜素子は、GaAsと同じく主としてLEDの産業分野で広く利用されており、2000年の国内市場はそれぞれ~160億円と~70億円であり、2005年の国内市場はそれぞれ~180億円と~160億円と推測されている<sup>11</sup>。また、同じくIII-V族の化合物半導体であるGaNの結晶は、その高機能性と環境面の双方の理由から、電子デバイス、光デバイス、電子・光デバイスの基盤素材として、今後はGaAs、GaP、InPを大きく上回る成長が見込まれている<sup>12</sup>。なお、GaNの代表的な応用例である青色レーザーの産業規模は、2000年時点で国内、海外を含めて~140億円だが、2005年には、~400億円、そして2010年には1,200億円と推定されている<sup>13</sup>。また、II-VI族化合物半導体のなかでも、近年p型が開発されたZnOなどは、従来の研究の蓄積や安定性などの理由から、電子デバイス、光デバイス、電子・光デバイスの基盤素材として、最近になって再び注目を集め出している。さらに近年になって、本基盤技術が、酸素と銅などの積層構造からなる超伝導体やスピントロニクスのための薄膜の作成<sup>14</sup>、あるいはコンビナトリアル法において組成の異なる物質を短時間で作成するための手法としても活用されるようになってきている<sup>15</sup>。これらの材料は、将来急速に伸びる可能性を秘めているが、その産業的動向の将来予測は、現時点では時期尚早である。

---

士経済、2001年3月）。

<sup>10</sup> 「2002光産業予測便覧」(富士キメラ、2002年8月)

<sup>11</sup> 「半導体材料ケミカルの市場展望と海外戦略2001」(富士経済、2001年3月)。

<sup>12</sup> 「窒化ガリウム」(化学工業日報、2001年1月)。

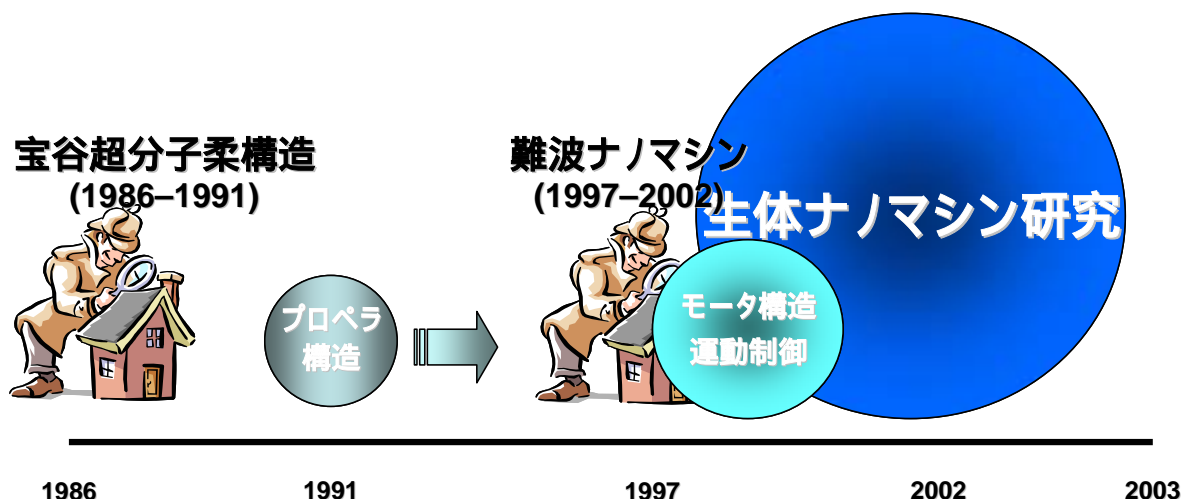
<sup>13</sup> 「大予測 21世紀の技術と産業」(三菱総合研究所・日本経済新聞社1999年5月)。

<sup>14</sup> for example: J. Shen, et al., "The effect of spatial confinement on magnetism: films, stripes and dots of Fe on Cu(111)" J. Phys. Condensed Matt. 15 (2003) R1-R30.

<sup>15</sup> 例: 鯉沼、特許第3018000号(特開平10-258967号)。

## 宝谷超分子柔構造プロジェクトと難波プロトニックナノマシンプロジェクトから生まれた生体ナノマシン

### 生体ナノマシン研究の規範



生体ナノマシンの例として、細菌の運動装置であるべん毛（すなわち、プロペラとナノサイズのモータ）が、宝谷超分子柔構造（1986-1991）と難波プロトニックナノマシン（1997-2002）の2つのプロジェクトで調べられた。その結果、オングストロームの精度で、プロペラとナノモータの立体構造が解明され、さらに、細菌が方向転換するための制御の仕組みや、プロペラとナノモータがそれぞれ各部品から自動的に組み上がる（自己構築）仕組みも解明された。とりわけ、これらの研究を通してはじめて目に見える形で精度よく示されたナノモータの構造と、日常我々が使用しているモータの構造との間に見出される驚くほどの類似性は、ナノモータをモデルとする医療用マイクロマシンなどの人工ナノマシンの開発が、もはや空想物語ではなく現実味を帯びた研究課題として、世の中の注目を集めるきっかけになっている<sup>16</sup>。生体ナノマシンの分野の研究者は、現在のところは世界的にも少なく、論文数の推移を調査するための適切なキーワードがないので、分野別研究者数の推移をこの手法で知ることができなかった。しかし、最近になって、欧米の大学や各種研究機関が、この研究領域のための研究施設の新設と指導的研究者の募集を、政府資金や財団の支援をうけて大変な勢いで進めており、日本で育った優秀な人材の頭脳流出が

<sup>16</sup> e.g., American Institute of Physics: <http://www.aip.org/mgr/png/2002/174.htm>

始まっていることは分かっている。このような生体ナノマシン研究の世界的流れを創り出す上で、ERATO のこの 2 つのプロジェクトの貢献が極めて大きい。

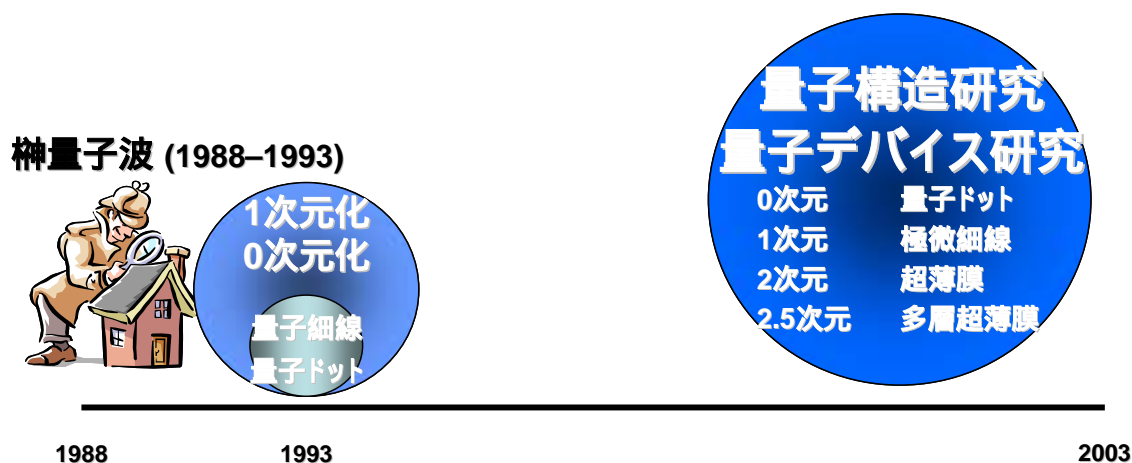
ヒトの身体にも無数のナノマシンがあり、生命のあらゆる仕組みを支えていることが知られている。したがって、ヒト(あるいはヒトに近い生物)のナノマシンを研究することによって、様々な疾病の特異的な治療戦略を創ることや、局所的な外科的処置など、これまでにないまったく新しい医療分野が拓かれることが期待されている。細菌のべん毛モータの研究成果は、これから始まるこうしたヒトのナノマシンの研究の到達目標として高い評価を獲得している。

このように、べん毛モータの研究成果は、そのまま産業に繋がるようなものでないが、今後のヒトのナノマシンの研究を盛んにすることによって、将来の医療分野に大きな波及効果を及ぼすことが予測できる。また、生体ナノマシンの仕組みを理解することから、大量生産が容易な理想的人工ナノマシンの設計指針が得られる可能性も指摘されている。べん毛モータの研究成果が、医療分野を含めた産業に及ぼすであろう将来の波及効果と、その産業規模を正確に予測することは、現在のところ不可能であるが、大きな貢献が期待されている具体例として、医療用マイクロマシンをあげるとすると、その産業規模は 2010 年の時点で 1,200 億円と予想されている<sup>17</sup>。

---

<sup>17</sup> 「ナノテクノロジー市場規模予測」(三菱総合研究所・日本経済新聞社 2001 年 2 月)。

## 榊量子波プロジェクトから展開した量子構造による電子制御とデバイス応用の基本概念



1975-1976年に発表した「量子細線やドットを面上に並べて結合させた新しい電子スイッチ素子の提案と解析の論文」(1975-1976)の中で、榊裕之は、半導体ナノ構造の中で1個あるいは2個という少数の決まった数の電子の運動を制御し、従来にない機能を持つ素子として利用するという、まったく新しい電子デバイスの概念を提案した。榊らは、さらに1980年に、「量子細線FETの論文」を発表し、1982年には荒川の協力を得て「細線とドットレーザーの応用論文」を発表し、半導体の細線とドットを使ったデバイスの可能性を世界に先駆けて示し、バルク結晶(3次元)と江崎らによって提案された多層超薄膜または超格子(2.5次元)および超薄膜(2次元)に加えて、極微細線(1次元)、量子箱または量子ドット(0次元)というように、半導体内の電子の量子性を、構造の次元で体系的に捉えて、素子応用に展開する新しい展望を打ち出した。それ以前に、「金属」の極微化に伴う表面効果の顕在化に着目して金属超微粒子の研究の端緒を拓いた上田良治や林主税らの実験的研究や、金属超微粒子や金属細線の量子性に着目した久保亮五や朝永振一郎らの理論的研究もあったが、それらは多数の電子を含む金属材料に関するものであり、電子素子応用を目指した極限的半導体構造(量子構造)の研究の端緒は、榊らが世界で最初に切り拓いたものと言える。榊量子波プロジェクトは、榊裕之を中心として1988年に発足し、それまでに榊らが行ってきた先駆的な提言と理論解析の研究を基盤として、これらの人工構造素材<sup>18</sup>の実現のための技術開発とデバイス応用のための研究を行った。

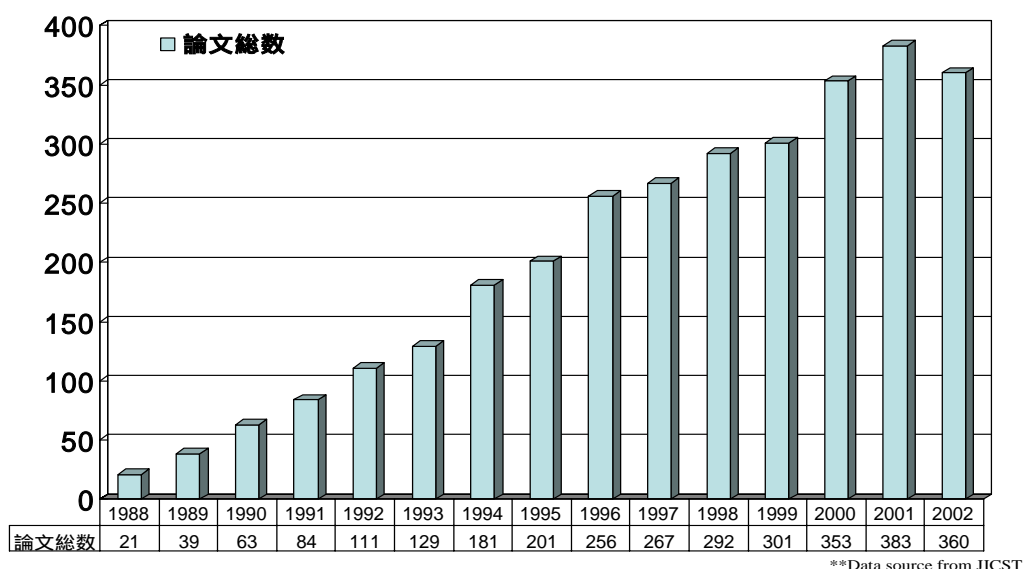
先に述べた榊らによる量子細線、量子ドットのデバイス応用の一連の先駆的論文は、当初はさ

<sup>18</sup> ここでは、自然界にある高分子、多層薄膜、小分子などは、人工的な制御の手を加えて素子として活用することを目的としていないし、そのような目的に適してもいないので、それぞれ細線、超格子、量子箱などの仲間と看做さない。



ほど注目されなかったが、本プロジェクト開始の1980年代後半から、世界的に関心が高まって<sup>19</sup>きており、毎年発表される量子細線と量子箱(ドット)に関する論文数は、1980年の後半から著しく増加して、年間350程度に達している<sup>20</sup>。このように、榊らが提案し、プロジェクトから生まれた細線やドットデバイスの研究の潮流が、半導体量子構造の開発と素子応用の基本的指針として定着し、現在のナノ構造物質や量子デバイス研究の思想的基盤となっている。なお、半導体カーボンナノチューブは量子細線の種類であり、量子情報処理に用いる単一光子源や単一光子検出器の開発には量子ドットが活用されるなど、本プロジェクトの成果が及ぼすその後の科学技術分野への波及効果も極めて大きい。

量子細線、量子箱(量子ドット)の素子応用に関する論文数の推移



quantum wire, quantum box, quantum dot

本研究成果が産業に及ぼす波及効果は、量子デバイス全般にわたっている。超薄膜を用いた量子デバイスは、レーザーや赤外検出器などとして実用化が進んでいる。量子細線や量子ドットを用いたデバイスは、レーザー、光検出器、メモリ素子、医療用蛍光マーカーなどとして研究・開発の分野では既に実現されているが、これらの素子が本格的に活用されるのは2005年以降と見られており、その産業規模は国内だけで2005年には~300億円、2010年には~1,500億円と予測されている<sup>21</sup>。一方、量子情報通信や量子計算分野で必要となる超高機能の量子素子が、どのよ

<sup>19</sup> 榊らの1975-1976の論文は130回の、1980の論文は600回の、そして1982の論文は1,000回を越す引用を受けている。

<sup>20</sup> 量子細線や量子ドットの物理に関する論文も含めると、関連論文数はさらに多くなる。

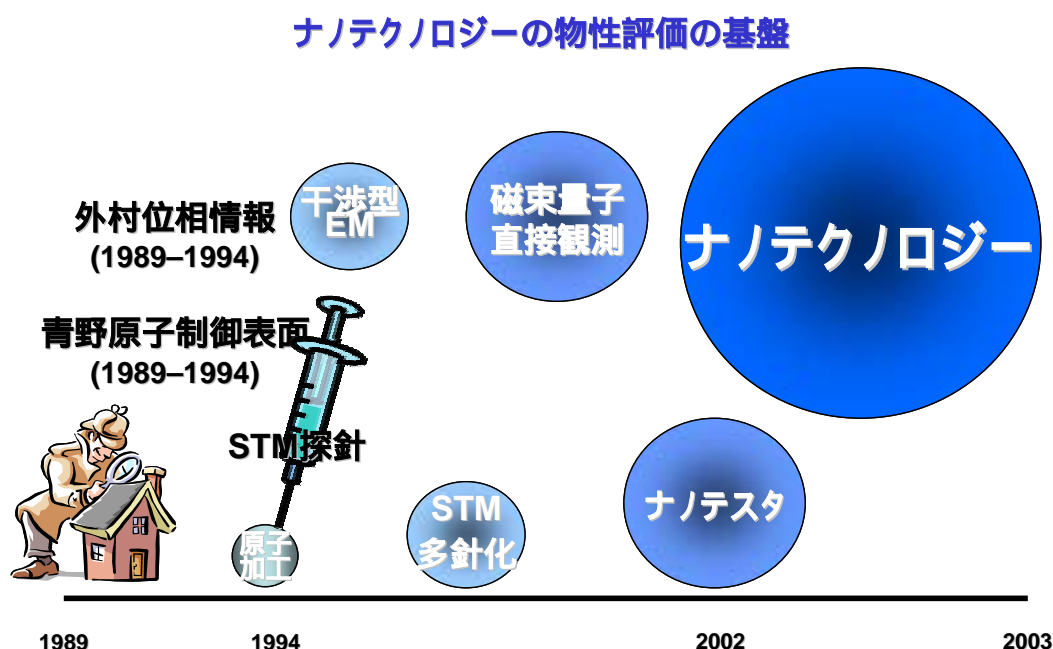
<sup>21</sup> 「ナノテクノロジー市場規模予測」(三菱総合研究所・日本経済新聞社2001年2月)

うな形で発展するかについては、依然として不明な点が多い。現在のところ、IT・エレクトロニクス全体の国内産業規模は、2005年で~9,000億円に、2010年には~15兆円にも達するという予測もなされている<sup>22</sup>ので、その中での量子デバイスの産業的貢献も決して小さくないと予想される。

---

<sup>22</sup> 「ナノテクが創る未来社会[n-Plan21] (日本経団連、2001年3月)。

## 外村プロジェクトと青野プロジェクトから生まれたナノテクノロジーを支えるその場・実時間物性評価の基盤技術



外村位相情報プロジェクト（1989-1994）は、電子波長による分解能の限界に縛られない超高分解能の電子顕微鏡（干渉型電子顕微鏡）とそれを使った解析技術を開発し、最近では最新装置の1 MV型を用いて格子分解能0.498 Åを達成している。本技術は、原理的に分解能の限界がないために、今後も電子波の均一性と周辺技術の改良に伴い到達できる分解能はさらに向上する。しかし、本測定法が優れている点はそれだけでなく、例えば、高温超伝導体中を動く磁束量子を「その場・実時間」観測するなどの、原理的にあらゆる電子（磁場）状態の局所的摂動現象を「その場・実時間」観測することができる点にもある。このように、本技術の観測対象は極めて幅広く、本技術に匹敵するそのような技術は他に存在しない。

青野原子制御表面プロジェクト（1989-1994）は、STM探針で物質表面の任意の原子を室温で操作する技術を開発し、その後には、その技術をナノサイズの距離の物性（例：電気抵抗）を直接的に「その場・実時間」実測できる独自のナノテスト技術として発展させた。ナノテスト技術は、ナノテクノロジーの基盤であるナノ配線を実現するために欠かせない基盤技術として期待されている。

現在までに種々のナノテクノロジーが提案されているが、厳密な意味でのナノ領域での物性評

価法の開発は現在まで殆ど進んでいない<sup>23</sup>。干渉型電子顕微鏡やナノテスタ技術は、このような物性評価を「その場・実時間」で行うことができるので、我が国のナノテクノロジーの発展の鍵を握るものと見られる。なお、これらの研究は日本初の独創的な研究であり、国内はもとより世界的にも類似の研究は存在しないので、論文数の推移の調査を実施しなかった。

干渉型電子顕微鏡の市場規模は、現在の透過型電子顕微鏡の規模である 80 億円<sup>24</sup>の一部と見られる。このように、干渉型電子顕微鏡は、それ自体の産業規模は大きいとは言えない。しかし、干渉型電子顕微鏡には、むしろ他の産業が実現する上での貢献が期待されており、例えば、大容量用の高温超伝導体の物性評価においては、本技術がすでに活用されている。高温超伝導体は、エネルギーの大貯蔵システムとしての利用が見込まれるが、その他にも、超伝導地球電力ネットワークや大陸間リニアモーターカー（MAGLEV）などの超大型応用への期待も高まっている<sup>25</sup>。高温超伝導体貯蔵システムの産業規模は、2010 年には国内市場で~150 億円で、世界市場では~550 億円に達する見込みである。また、全体的な産業規模は、超大型応用が実現するか否かによって幅があるが、2010 年の時点で国内市場では 1 兆円以上に、世界市場では 5 兆円以上に上ると推定されている<sup>26</sup>。

一方、ナノテスタがナノ配線の実現などを通して支えることが期待されているナノ計測とマイクロマシンは、2010 年の時点でのそれぞれの国内産業規模が、~2 兆円<sup>27</sup>と~7,700 億円<sup>28</sup>と推定されている。

---

<sup>23</sup> 「ナノ制御の複合材料の技術動向 - ナノテク応用材料の全容が見える」(東レリサーチセンター、中山克郎・武山高之著、2002 年 4 月)。

<sup>24</sup> 「科学機器年鑑」((株)アールアンドディ、2002 年 8 月)。

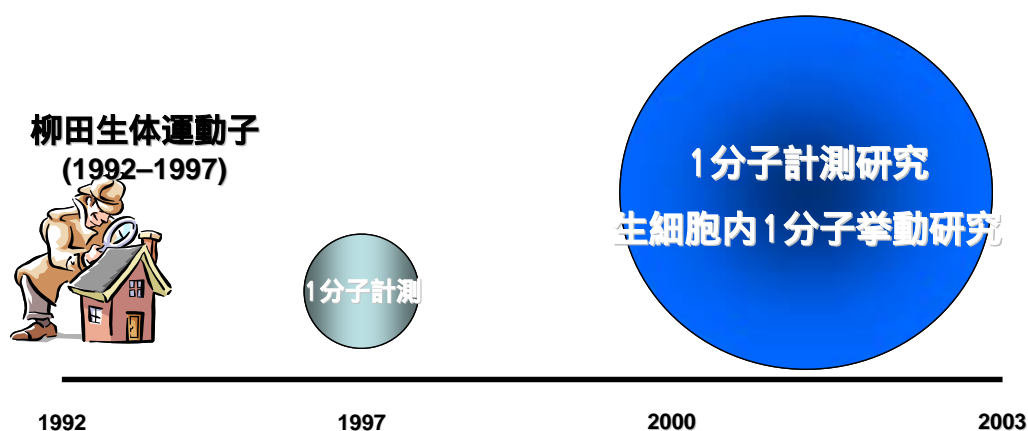
<sup>25</sup> 「科学技術者のみた日本・経済の夢」(北澤宏一、2002 年);「経済構造変革と創造のためのプログラム」(経済産業省、2002 年)。

<sup>26</sup> 「大予測 21 世紀の技術と産業」(三菱総合研究所・日本経済新聞社 1999 年 5 月)。

<sup>27</sup> 「ナノテクが創る未来社会[n-Plan21]」(日本経団連、2001 年 3 月)。

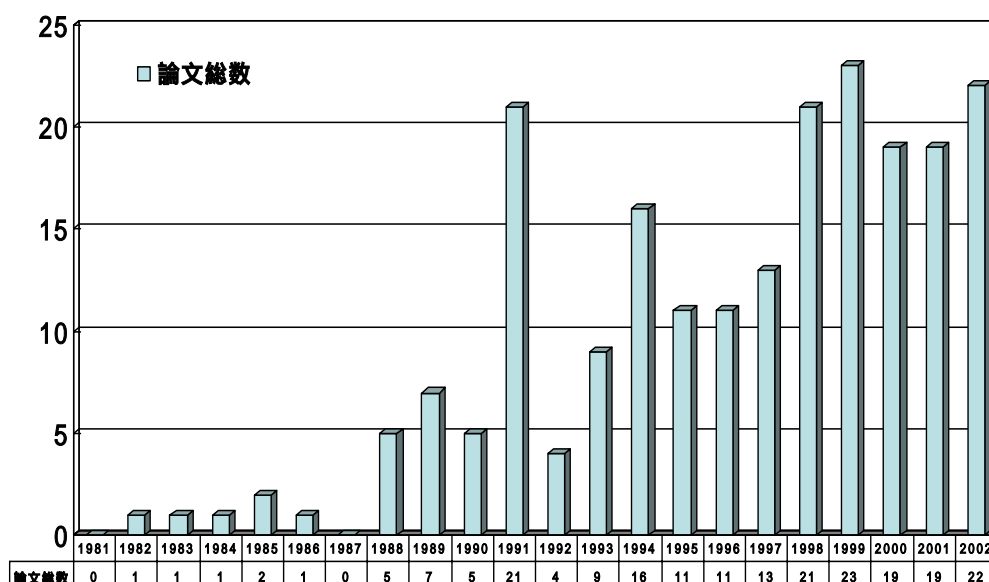
<sup>28</sup> 「ナノテクノロジーの現状と求められる戦略的支援策について」(みずほ産業調査、2003 年 2 月);「ナノテクノロジー市場規模予測」(三菱総合研究所・日本経済新聞社 2001 年 2 月);「大予測 21 世紀の技術と産業」(三菱総合研究所・日本経済新聞社 1999 年 5 月)。

## 柳田生体運動子プロジェクトから生まれた 1 分子計測技術



柳田生体運動子プロジェクト(1992-1997)は、生体分子(筋肉蛋白質)を1分子で「その場・実時間」観測し、さらに筋肉収縮の過程で発生する力学的な量と、その消費エネルギーとを同時に測定することにも成功して、筋肉運動のエネルギー効率が殆ど100%であることを世界に先駆けて実験的に証明することに成功した。

1 分子計測に関する論文数の推移



\*\*Data source from JICST

molecular machine, single molecular detection, single molecular imaging,  
molecular motor

この成果は、論文数の推移が示すように<sup>29</sup>、1分子計測研究の世界的先駆けとなっており、海外から少なからぬ数の研究者が、彼ら（彼女ら）自身の、および柳田グループの実験結果の再現性を、その目で確かめる目的で、柳田グループを訪問している。本成果の貢献は、1分子計測研究を先導したばかりでなく、最近では、生体（活きた細胞）中の生体分子を、1分子ごとに、そのまま観測する新しい研究分野の勃興をも促している点にある。このような研究が盛んになることによって、生体内で「本当に」起こっている反応を「定量的」に観測できるので、生体反応の実態を理解するための強固な基盤を提供するだけでなく、画期的な医療への道を拓くことが大いに期待されている。また、生体運動に特徴的な高いエネルギー効率の仕組みをさらに理解することは、人工的超効率マシンの設計原理を明らかにすることにも繋がる可能性がある。

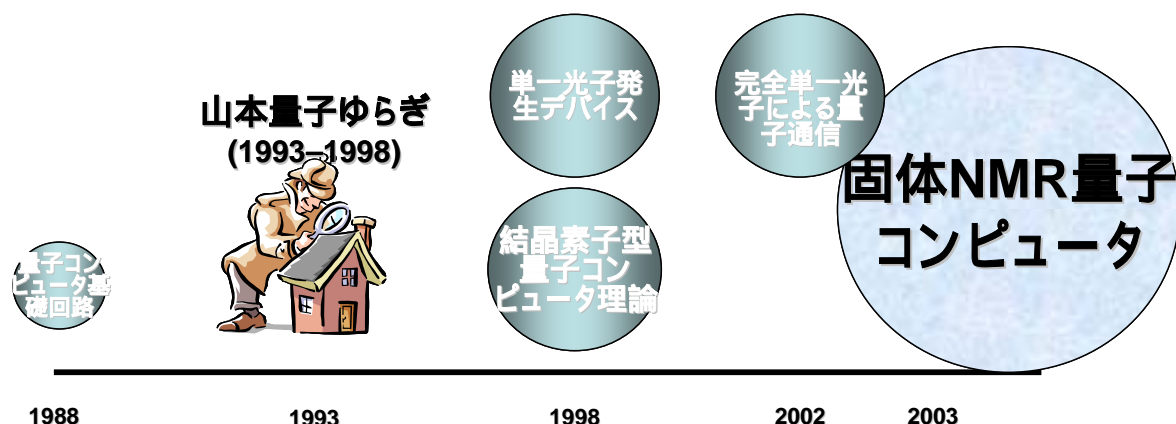
本プロジェクトがきっかけとなって生まれつつある生体内1分子観測研究が、将来の医療にどのように貢献するかを予測することは難しいが、そうした貢献は、言うまでもなく「間接的」なものである。例えば、老化が特定の生体分子の異常な挙動を引き起こすことが仮に解明されるならば、その知見は、老化に伴う疾病予防法の解明に繋がるだろう。老化社会においては、治療法の開発よりもむしろ予防法の開発とその普及によって医療費をより効率よく軽減できる。今後予測されている老人医療費が医療費全体に占める割合は、2000年時点では~31%だったが、2005年には~41%、2010年には~43%、2015年には~47%、そして、2020年には~53%に増加すると予想されている<sup>30</sup>。このことは、老人医療費の国民一人あたりの年間負担額が2020年には~270万円という膨大なものとなることを意味している。したがって、老人医療費の中の僅か「1%」が、本技術の医療への応用によって軽減されると仮定するならば、その2020年における経済効果を~4兆円と計算することができる。人工的超効率マシンの設計原理の解明が、産業的に及ぼす貢献規模に関しては予測不能である。

---

<sup>29</sup> ここで、論文総数の増加分の絶対数が際立って多くない理由は、本調査の特異性を高めるためにキーワードを厳しく制限したこと（脚注1を参照）と、1分子運動における力学的およびエネルギー量を測定することが熟練を要することの双方にある。

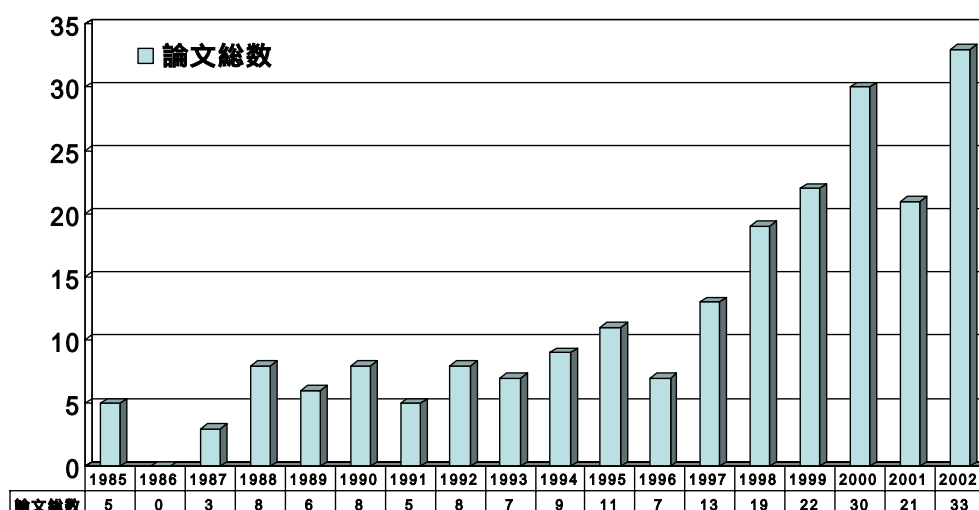
<sup>30</sup> 厚生労働省統計資料2002年。

## 山本量子ゆらぎプロジェクトから生まれた固体 NMR 量子コンピュータの概念



山本量子ゆらぎプロジェクト (1993-1998) は、1988 年に世界に先駆けて量子コンピュータ基礎回路を提言した山本喜久を中心としたプロジェクトであり、量子力学の基本原理の実証や単一光子発生素子のプロトタイプの作成など、単一光子を利用した量子情報システムの実現に必要な多数の知見と技術を確立した。1998 年には、(元)プロジェクトメンバーが、IBM において液体 NMR を用いて、世界ではじめての量子計算に成功した。同じく 1998 年に、液体 NMR 量子コンピュータよりも実用的な固体 NMR 量子コンピュータを世界に先駆けて、本プロジェクトから提案して、現在の潮流を創った。

量子コンピュータに関する論文数の増加



\*\*Data source from JICST

quantum computer

1994 年になされたショアのアルゴリズムの提案、1998 年に世界で先駆けて行われた量子計算と固体 NMR 量子コンピュータの提案等を契機として、量子コンピュータに関わる研究が世界規模で急増している<sup>31</sup>。それらの研究は、基本素子の型、信号の出入力、計算アルゴリズムなど多岐に亘るが、基本素子に関しては、山本らが提案しているシリコン結晶を使った NMR 量子コンピュータが実用の面から特に有望視されている。

量子コンピュータは、既存の汎用大型コンピュータ、超高速コンピュータ、ならびに超並列処理コンピュータのほぼ大半を置換するものと見られている。この既存のコンピュータ市場の 2002 年における実績額は~4,000 億円だった<sup>32</sup>。しかし、量子コンピュータへの期待は、気候変動予測、プレートテクトニクス、経済市場予測、航空安全システム、未来交通網、宇宙計測、防衛産業などの既存のコンピュータでは実現が難しい新しい市場の開拓にある。この新しい市場規模がどの程度かは現在のところ不明だが、将来の情報産業の発展を支える基盤技術のひとつとなる可能性があり、その規模は決して小さくないと予測される。

---

<sup>31</sup> 図の論文数は実態よりも少ないが、それは、調査の特異性を高めるためにキーワードを絞ったためである。

<sup>32</sup> 「2002 情報機器マーケティング調査総覧」(富士キメラ総研、2001 年 10 月)。



## 参考文献

- 創造科学技術推進事業：追跡調査特別報告書「創造科学技術推進事業から生まれた科学技術や基盤技術の産業波及効果の調査報告書」(東レ経営研究所、2003年5月)
- 「ナノテクノロジーの現状と求められる戦略的支援策について」(みずほ産業調査)2003年2月
- 「燃料電池市場予測について」(東京創研、2003年1月)
- 「化合物半導体と白色LED」(工業材料、2003年1月)
- 「ナノ材料世界市場」(富士経済 USA 調査)2002年9月
- 「ナノテクマーケット」(矢野経済研究所)2002年9月
- 「科学機器年鑑」((株)アールアンドディ)2002年8月
- 「2002 光産業予測便覧」(富士キメラ総研)2002年8月
- 「ナノ制御の複合材料の技術動向 - ナノテク応用材料の全容が見える」(東レリサーチセンター、中山克郎・武山高之著、2002年4月)
- 「青色発光素子としての窒化ガリウム」(日経産業新聞)2002年4月
- 「経済構造改革と創造のためのプログラム」(経済産業省)2002年
- 「ナノテクが創る未来社会 [n-Plan21]」(日本経団連)2002年3月
- 「アドバンスト有機マテリアル R&D Report」(富士経済、2002年2月)
- 「ナノテクノロジー関連市場の全貌」(富士経済)2002年1月
- 厚生労働省統計資料(2002年)
- 「科学技術者のみた日本・経済の夢」(北澤宏一著、丸善)2002年
- 「2002 年情報機器マーケティング調査総覧」(富士キメラ総研、2001年10月)
- 「半導体材料ケミカルスの市場展望と海外戦略 2001」(富士経済)2001年3月
- 「ナノテクノロジー市場規模予測」(三菱総合研究所・日本経済新聞社)2001年2月
- 「窒化ガリウム」(化学工業日報)2001年1月
- 「大予想 21 世紀の技術と産業」(三菱総合研究所・日本経済新聞社)1999年5月