

学術的基礎研究の意義とその先端技術開発における役割

松尾研究会報

Vol. 1 1991

財団法人 松尾学術振興財団

目 次

はじめに	1
I 研究の目的とそれによる分類	1
II 基礎研究の性格	2
〔1〕 目的基礎研究	2
〔2〕 学術的研究	3
〔3〕 我が国の研究開発の特徴	3
III 革新的技術誕生と発展の実例（学術的研究との関連）	4
〔1〕 原子核エネルギーの有効利用	4
〔2〕 トランジスター	5
〔3〕 レーザー技術	6
〔4〕 超微細構造研究から生まれた応用技術	7
〔5〕 遺伝子導入ベクター	9
〔6〕 コンピュータートモグラフィ	10
IV 我が国における画期的な研究の振興と大学の体制の整備	11
あとがき	13

学術的基礎研究の意義とその先端技術開発における役割

はじめに

科学研究と技術開発は、前者が客観的な真理の追求であり、後者が合目的な最適手段の開発であって、人間の活動として、本来は性質を異にするものと考えられる。しかし今世紀に入って、いわゆる「科学技術」という言葉が示すように、両者は密接な関連をもつようになった。経験的な試行錯誤によって工夫し育て上げられる技術はおおむね開発されて、新しい科学的知見を踏まえた新技術が期待されるとともに、科学研究自体も、新しい研究手段を可能とする技術の支持によって、格段に推進される場合が多くなってきたのである。

したがって今日では、純粹の学術的研究から、個別的な商品の開発研究にわたって、極めて広汎な研究活動が行われており、全体の調和を保ちつつそれぞれを最も適切なやり方で振興することが強く望まれる。この小冊子は、大学の研究の立場にたってこれらの研究活動を展望し、学術的研究の意義とその先端技術開発における役割を明らかにしようとするものである。

I. 研究の目的とそれによる分類

今日行われている多種多様な研究活動は、その目的によって、開発研究、目的基礎研究、及び学術的研究の三つのカテゴリーに分類することができる。すなわち、

①開発研究

具体的な装置あるいは道具の開発・改良、新技術の具体的目的への応用など、具体的な実用目的を持つ研究であって、私企業の行う研究活動のほとんどはこのカテゴリーに属する。開発研究は企業の新製品導入に不可欠なものであるが、その目的が的確に設定されていることが重要なので、マーケットリサーチなどによって常にユーザーのニーズの把握に努力している私企業の研究機関は、開発研究を行うのに最も適切な場でもある。

②目的基礎研究

先端的な応用技術を具体化するためには、それを行うのに十分な基盤が必要で、目的基礎研究は、それを構築する作業である。このカテゴリーに属する研究は、ニーズに基づいて具体的な開発研究を行うために不足している知識を求めて行われるものから、最も先端的な応用分野でまだニーズが具体化していない未到技術の開拓まで、極

めて多様である。しかし、いずれの場合も応用の目的は明確に設定されている。この段階の研究はリスクが大きいのが特徴で、特に未到技術の場合には、理論的には可能であっても、いざ研究に着手してみるといろいろな技術的障壁に遭遇して実現が予想外に手間取ったり、技術的には成功してもニーズが予測ほど速やかに伸びなかったりして、研究投資の結果が事業として直ちには成功し難い場合も十分あり得る。

研究の内容としては、理論的に示された可能性を実証するために試作を行うもの、ある具体的場合を例にとって新技术を適用して見せることなどの他に、新しい技術をいろいろな場合に適用するために必要なデータベースの構築も重要な目的基礎研究の一形態である。これらの研究を行うのに適切な場としては、その内容が広汎多岐にわたることから、開発研究との距離に応じて、私企業の研究機関から大学の研究室に至る多様な機関が関与すべきものと考えられる。

③学術的研究

人類の共通の知識基盤の確立と向上という意義を持つ学術研究は、社会に対する直接的なインパクトは必ずしも大きくはないが、欧米、特にルネッサンス期以後のヨーロッパでは、人類の存在の根本を知性の緻密さと感性の豊かさに求める風土の上に、学問と芸術は人類の存在に最も重要な意義を持つ共通の財産と考えられてきた。なおこのカテゴリーには、自然の仕組みを理解することを目的とする純粋科学分野の研究はもとより、技術体系のより高度な完成、あるいは新領域の技術の開拓を目的とし、具体的な応用を直接には求めない工学の基礎となる学問分野の研究も含まれよう。

II. 基礎研究の性格

〔1〕 目的基礎研究

応用を目的として行われるものであっても、その成果が人類共通の財産として広く有効に使われることが望ましいので、目的基礎研究といえども、原則として大学・国立研究所など、公共的性格を持つ研究機関において行われるのが適当である。一方、応用に近いもの、あるいは特定の会社が、その得意とする領域で他社に対する優位性を保持するために目的基礎研究を行うことが必要な場合も十分に考えられるが、この場合の研究課題はかなり具体的な応用に深く係わったものとなるのが普通であって、その活用も必ずしも公共的にはなり難い面があろう。これに対し、公共的研究機関では、具体的な商品設計の基盤として必要なデータベースを構築するなど、成果を広く公表して一般の役に立てうるような課題について研究活動が行われることが望ましい。このような実際に役立つ目的基礎研究の成果の公開について、諸外国が性急に求めているのも事実である。

この分野での我が国の研究水準は、各社が私的な財産として蓄積する、応用に近い部分では非常に高く、一方で公共的研究機関の貢献度はおおむねこれに及ばないのが

現状と見られる。また公共的研究機関での研究課題の選び方が、総合的なデータベースを構築し、工学あるいは技術体系として完成に導く地道な努力よりは、従来の記録を更新することをめざすなど、成果を求めての一発勝負に終わることが多い。本来このようなデモンストレーションは、その基盤となるものの妥当性を示すことに本来の意味があるにもかかわらず、結果のみを尊重し、何ゆえに記録が更新されたか、またその結果としてどのような新しい知識が得られたかについてはあまり深刻に問わない傾向が欧米の研究態度と大きく異なっており、国際会議などで物議をかもし場面もしばしば見られる。特に大学などでは、この点についての研究者の自覚が強く望まれる。これらを配慮した上で、我が国の公共的研究機関における目的基礎研究を大いに振興する必要がある。

〔2〕 学術的研究

応用には直接関係のない、純粋な学問の研究は、まさに大学などの担うべき領域である。欧米では、学術は、芸術と共に人類文化の一大特色であって、いわば人類の存在の基盤として最も重要なものと考えられてきた。また、最近では、後に示すいくつかの例のように、学術的研究は、新技術の大きな流れの源泉としても重要であることが分かってきた。このように学問が新しい技術の大きな流れを引き出すきっかけとなる場合、そのインパクトは目的基礎研究よりはるかに根源的であり、また強烈なものとなることが多い。

最近、我が国でも基礎研究振興が叫ばれているが、宇宙、高エネルギーなど、人目をひく大型プロジェクトに限られがちである。もちろん、これらの研究は学問として最も重要なものに含まれ、大学などで大いに進展させるべきものである。しかし、新しい技術の源泉となる可能性の大きな基礎学問領域は、より多様であり、大学などの豊富な人材を活用して初めて可能であるが、我が国では、そのような研究に必ずしも十分な手当が行われていない。研究者が特定の分野に群がる傾向が強く、ともすれば大型計画が中心になることも問題で、広い領域で個性的・独創的な研究が多様に行われることを妨げている。

〔3〕 我が国の研究開発の特徴

我が国の研究活動は、明治維新以来、欧米先進国から学び、その水準に追い付き、最近ではさらに追越すことをめざして勤勉に行われてきたということができよう。したがって、元来欧米諸国が築きあげた学術的基盤を有効に活用し、我が国に繁栄をもたらすことを目的とした研究が主流となり、新たな学問的基盤の構築に対する貢献は微々たるものであった。先進諸国に並ぶ、あるいはそれをも凌駕する経済的地位を獲得した現在でも、この風潮は残されており、我が国の学術的貢献度は、残念ながら総

合的には欧米の先進諸国に比べ、まだまだ少ないのが事実である。

学術的基盤はまた応用の立場からも重要なものであって、過去の歴史にその例を拾うのに暇がないほどである。すなわち、後に示すいくつかの例からも分かるように、画期的な新技術は純粋な学術的研究に端を発する場合が多く、その点からもまた基礎学問は人類共通の財産である。我が国が大きく貢献した基礎研究に端を発する新しい応用分野がいくつも開拓され、世界各国の企業がその恩恵に浴するようになって、はじめて我が国は世界第一の産業国となる資格を得るのである。

III. 革新的技術誕生と発展の実例（学術的研究との関連）

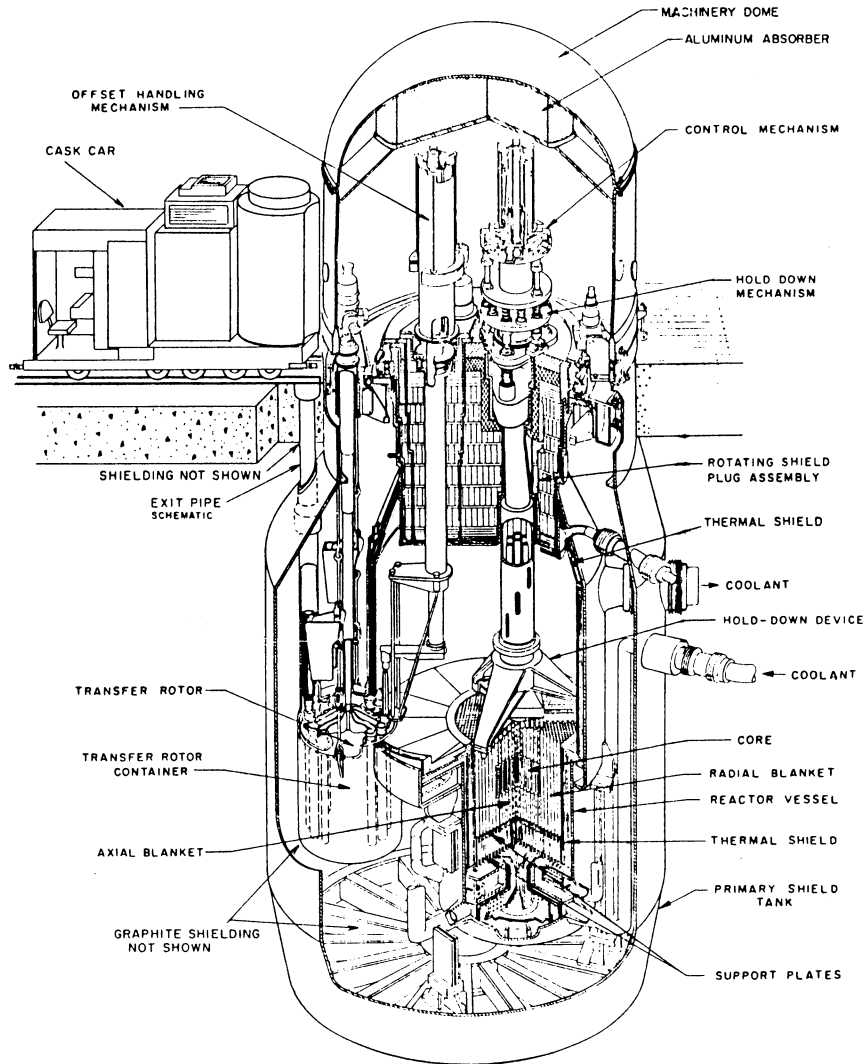
〔1〕 原子核エネルギーの有効利用

核分裂を利用する現在の原子力発電は、安全性や使用済み核燃料の処理など様々な問題を抱えて現時点では伸び悩みの傾向にあるが、核融合や増殖炉などの新技術を含めた原子核エネルギーの有効利用技術は、化石エネルギーが使い果たされた後に、太陽熱や地熱の利用ではとうてい賄い切れない膨大なエネルギー需要に応じることのできる現時点では唯一の可能性と考えられる。

このように、人類の将来にとり不可欠と考えられる原子力エネルギーの利用技術は、学術的基礎研究によって生まれた基幹技術の最も典型的なものの一つである。20世紀初頭の物理学者達は、長い間不可分な物質の最小構成単位であると信じられてきた原子が構造を持ち、さらにその中心にあって元素の性質を決めている原子核が変化し得ることを見だして、足場を根底からゆるがされるほどのショックを受けた。この大きなショックが、20世紀初頭に見られる、学術史上にも希な、基礎物理学の劇的発展の原動力であったということができよう。

なかでもウランの中性子による分裂現象は、核がほぼ真っ二つに割れて膨大なエネルギーが放出される点でユニークであった。この現象の研究は、まず学術的興味で始められたことはいうまでもない。この場合、核にぶつかる中性子の速さ、分裂に際して放射される中性子の数やその速度分布などの測定が、核分裂の物理を解明する上で重要な研究であった。これらに関するデータを見たフェルミは、この現象が新しいエネルギー源となり得ることを洞察し、シカゴ大学の研究室で連鎖反応の素過程の定量的な研究を組織的に行った結果、原子炉が原理的に可能であることを理論的に確認し、直ちに原子炉の実験を準備した。人類初の原子炉実験は、臨界点に至るまでフェルミの理論的解析の通りに作動し、原子力エネルギー有効利用の第一歩が踏み出されることとなった。フェルミが純粋な学術的研究をリードした最も重要な人物の一人であったこと、また原子炉が学術研究の帰結であることに注目すべきである。

このような20世紀における劇的発展をふりかえるならば、物質の根源である素粒子や原子核に係る研究が、物の性質の解明のみならず、その制御に道を開き、未知の



フェルミ型原子炉のパス

エネルギー源の開拓をもたらすことも予見される。

〔2〕 トランジスター

固体素子を用いた近代的なエレクトロニクスの一歩は、ベル研究所におけるトランジスターの発明によって踏み出された。半導体表面に針状の金属ワイアを接触させた点接触型整流器は、第二次大戦中にマイクロ波や高周波の検出器として開発されていたが、その原理は明らかでなかった。1948年、ショックレー、バーディン、ブラッテンたちは、この機構を解明するには、半導体表面の状態を詳しく調べる必要があることに思い至り、第二の針状電極をプローブとして接点近くを立て、半導体

表面の電位の分布を測定しようとした。ところが、意外にもこの第二の電極の電位の変化が、整流器を流れる電流を大きく変えることを発見したのである。これはとりも直さず増幅作用であり、点接触型のトランジスタはこのようにして発明された。

この場合、物理学者である上記の3人は、整流の機構に関する物理の究明を目的としたから第二の電極を置いたのであって、トランジスタ作用の発見は、いわば基礎研究の過程での偶然的発見であり、純粋な基礎研究から生まれた重要な技術の一例ということが出来よう。点接触型トランジスタの原理は、上記の研究者を中心とする基礎研究によって間もなく明らかにされ、接合型のトランジスタの開発を促したのである。学術的研究が新規な応用を偶然的に生み出すだけでなく、応用研究を効率良く進めるための基盤としても有効であることを示す好例ということができよう。

[3] レーザー技術

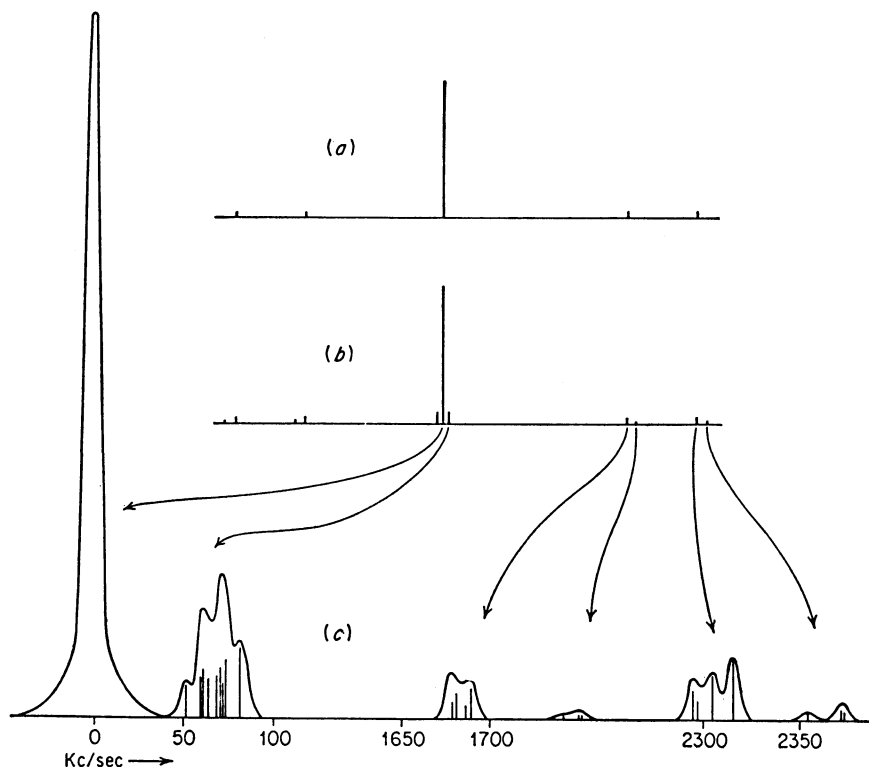
二十世紀最大の発明といわれるレーザーは、「光の時代」と言われる二十一世紀に向けて発展する新技術の中心としてますます期待されているが、純粋に学問的な研究の所産であるメーザーを、マイクロ波からより短波長の光へ発展させたものである。

第2次大戦時に飛躍的発展を遂げたマイクロ波技術を駆使して、1940年代後半から、通常の光源と分光器を使う従来の分光法の代わりに、周波数を自由に換えられるマイクロ波発振器を使うマイクロ波分光学が発展し、原子や分子のエネルギー状態の微細な構造が研究されるようになった。このような新しい分光法では、発振器の発生するマイクロ波の周波数純度は非常に高いので、測定装置は十分な分解能を持つこととなり、試料が本来持っているスペクトル線の中まで立入って測定することが可能となった。

そこで、スペクトル線の幅を鋭くしスペクトル線に現れる原子核の影響（後述の超微細構造）を調べようとする欲求が高まった。そのために真空中に分子や原子のビームを作り、ビームとマイクロ波の進行方向が直角になるような条件でマイクロ波の吸収を測定する方法が試みられた。しかし、ビームにした場合、マイクロ波と相互作用する原子や分子の数は非常に少なく、吸収の測定は困難であった。

当時、コロンビア大学準教授であったタウンズは、アンモニア分子線を特殊な静電電極に通すことによって励起状態の分子だけを集めてマイクロ波の増幅を行い感度を高める方法を考案し、メーザーと命名した（1954年）。ほとんど同時に、ソ連のバーゾフとブロコーロフが、独立にまったく同じようなアンモニアメーザーを考案している。この3人は、後に、レーザーの基礎を築いた功績で揃ってノーベル賞を授賞された。

このような物質によるマイクロ波増幅法をふまえ、光の増幅器であるレーザーが開発されたのである。



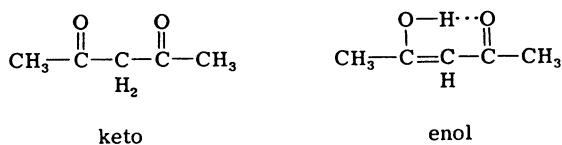
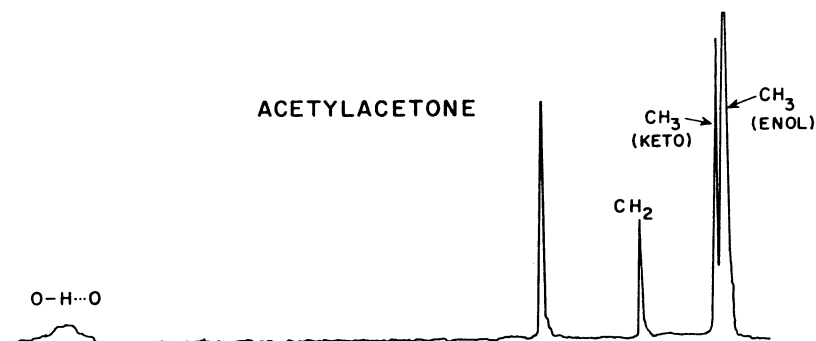
アンモニアレーザーで初めて測定されたマイクロ波スペクトルの超微細構造

〔4〕 超微細構造研究から生まれた応用技術

超微細構造とは、物質を特徴づけるいろいろなスペクトルに原子核の影響（最も顕著なものは、原子核の持つ磁気モーメントの作る磁場の影響）で現れる複雑なマイクロ構造である。分光学の分解能の向上によって測定可能となったこのような新しい性質は、学術的興味から第1線の研究者の興味の対象となった。既に述べたように、レーザーの基本的概念（レーザー）も超微細構造をもっと感度良く測定したいという願望を満たす方法として生まれたものである。超微細構造の研究は純粋に学術的興味から行われたものであるが、その研究を通じて、レーザー以外にも次に述べるように、予期されなかった重要な応用技術がいくつも生まれたのである。

a) 核磁気共鳴 (NMR)

多くの原子核はマイクロの磁石であって、その強さ、すなわち磁気モーメントは、原子核を特徴づける重要な物理量である。原子核の磁気モーメントの精密な測定は真空中に原子核のビームを作り、磁場の中での電磁波の共鳴を測定することによって行われる。ところが1950年頃、物質をそのまま磁場の中に置いて電波と原子核の持つ磁気との共鳴を調べるだけで、物質を構成する原子の磁気モーメントを測定できる「核磁気共鳴法 (NMR)」が考案され、原子核の磁気モーメントの測定は簡便化され、また



アセチルアセトンの高分解能 NMR スペクトル

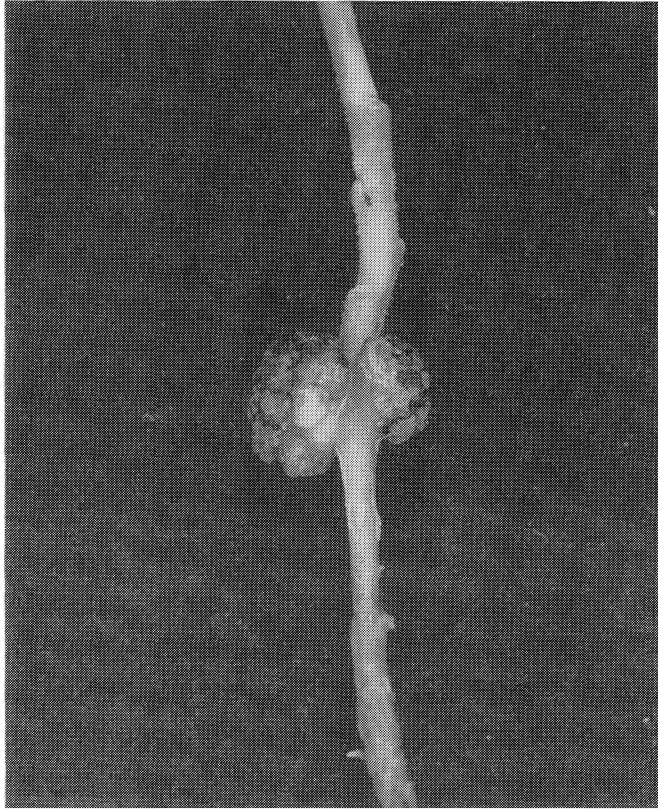
広い範囲の核に適用出来ることになった。しかもこのようにして測定される信号は、原子核周囲の電子の分布状態を的確に反映することから、物質中で原子のおかれている状態を的確に分析でき、したがって物質の構造を判定することができることが分かった。

その結果、純粋な学術的興味から生まれた NMR は、物質の構造解析や分析などに広く応用されることとなり、物理学、化学、生物学などの研究はもとより、広範囲の実用面でも活躍することになった。最近では、人体に悪影響を及ぼすことなく立体的に体内の状態（悪性肉腫の存在など）を精密に測定できる新しい診断装置として、欠くことのできないものとなっている。

b) メスバウアー効果

原子の中の電子のエネルギー状態は、可視や紫外の光の共鳴吸収によって測定される。これに対して、原子核のエネルギー状態は波長の短い γ 線の共鳴吸収によって測定できる。メスバウアーはそのような目的で原子核による γ 線の共鳴吸収を測定する過程で、低温で予想に反して吸収が著しく強くなることを発見した。彼はその原因を究明して、 γ 線の放射の反跳を結晶全体で受け止めるためであることを見だし、「無反跳共鳴吸収法」を確立した。

この方法は、超微細構造を通して多種多様な原子核の鋭い吸収スペクトルを得る方法として、物理学の基礎原理の検証、結晶の構造や動的な振るまいの測定、工業的試験など多方面で広く用いられるようになった。



アグロバクテリウムの感染による瘤状組織

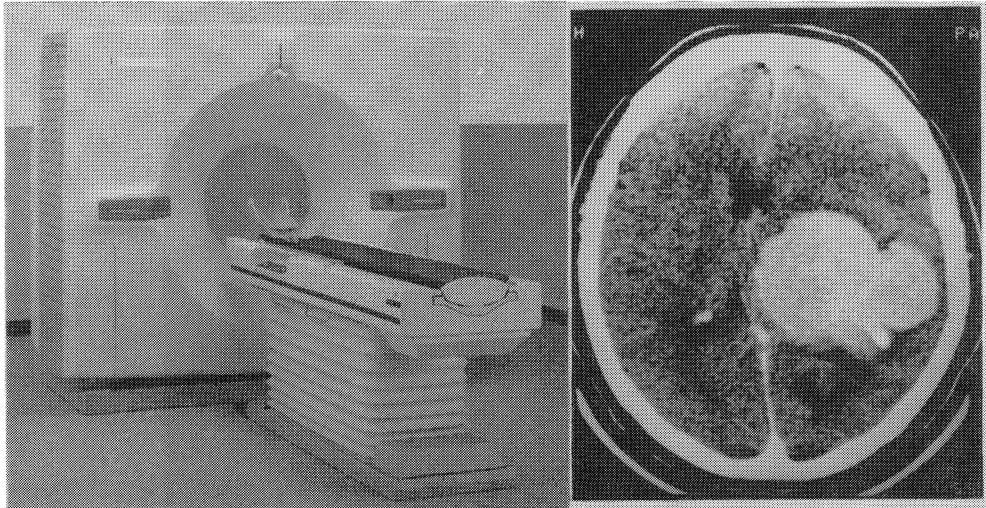
c) ミュオンスピン共鳴 (μ SR)

ミュオンは1936年宇宙線の中に偶然発見された粒子で、現在では加速器によって人工的に作られるようになった。生成・崩壊の過程でパリティ保存則が完全に破られていることが、その最も顕著な性質として知られている。このことは1956年リーとヤングによって予言され、翌年実験的に確かめられ、素粒子物理学への多大の貢献がなされた。この全く学術的な興味の対象でしかなかった性質は、その後ミュオン磁子をプローブとして、 μ SRの名で物質の研究に利用されるようになった。最近では、高温超伝導体の機構解明に広く使われている。

[5] 遺伝子導入ベクター

遺伝子工学における最も重要なプロセスは、有用な遺伝子を目的の細胞に導入することである。植物分野で現在、最も広く利用されている遺伝子導入法は、植物腫瘍の基礎研究から生まれたものである。

バラやサトウダイコンなど多くの植物の茎の根際などにできる瘤状の組織は、土壤



X線CT装置及び脳の病変部断層写真

細菌の一種、アグロバクテリウムが感染してできるものであることはよく知られていたが、この瘤状の組織を培養する場合、植物ホルモンを加えなくてもよく増殖するという特性を持っている。その機構を解明する過程で、最近、アグロバクテリウムの驚くべき種族保存の戦略が明らかとなった。すなわち、この細菌は大きなプラスミド（染色体DNAとは別の環状DNA）を持っているが、植物に感染すると、植物側の反応を巧みに利用して、自分のプラスミドの一部（T-DNAと呼ばれる）を植物の染色体DNAに送り込んでしまう。その際、送り込むT-DNA断片上に、植物細胞の増殖に必要なホルモンと自分の栄養源となるアミノ酸を合成する遺伝子を乗せているのである。

T-DNAの両端をそのままにして、T-DNAの中間部に有用遺伝子を組み込めば、アグロバクテリウムの能力を利用して、品種改良に重要なあるいは有用な物質を作り出す遺伝子を植物の染色体に組み込むことができる。このようにして、自然の巧妙な仕組みを明らかにするという最も学術的な研究から、有用な遺伝子工学の基礎技術が生まれたのである。今後、この技術を利用して、たとえば寒さや乾燥に強い植物や、人畜には無害ながら殺虫能力を持つ植物の開発が行われるものと期待される。

〔6〕 コンピュータートモグラフィー

以上〔1〕～〔5〕の実例は、いずれも純粋な学術研究から偶然に重要な応用の種が発見された例であるが、単なる夢にすぎなかった画期的な応用を実現するのに学術的研究が大きな役割を果たした例も少なくない。その一例として、コンピュータートモグラフィーが挙げられる。

医学上の診断に必要なのは、3次元の情報であるが、X線写真で実際に観測されるのは、2次元に射影された情報に限られる。ケープタウンの病院に勤務していたマッコマックは、原理的にはいろいろな方向から測定された1次元情報の組合せを数学的処理によって2次元ないし3次元情報に変換し得ることに気付き、数学的な形式化に成功した。このようにして、理論的にトモグラフィーの手法が確立されたが、1962年に発表された論文には、X線透過法のみでなく、陽子線透過法、陽電子消滅 γ 線検出法も提案されており、驚くべき先見性が示されている。約10年の後、コンピューター及び放射線検出器の開発を待ってこの技術は実用化され、現在医療において不可欠な重要性を持つに至った。

IV. 我が国における画期的な研究の振興と大学の体制の整備

以上の事例を通していえることは、第1に学術的研究の成果が画期的な知見をもたらし、広汎な影響力をもつ新技術開発の基礎となっていること、第2に学術的研究の手段に多くの場合革新的手法がみられること、第3に学術的研究の成果を踏まえ、研究のかなり早い段階からこれを新技術として確立しようとする狙いをもって意図的、かつ粘り強い努力が重ねられていることなどであろう。そしてこれを可能にするのは、しばしば強烈な知的好奇心にモチベートされた若い卓越した研究者である。我が国が今後このような分野で成果をあげるためには、なによりも大学の教育研究体制を改善し、格段に整備充実する必要がある。

我が国の大学は従来、教育と研究の場として位置付けられてきた。大学を教育のみでなく研究を行う機関として重視する傾向は、欧米において培われた伝統的な教育制度とともに我が国に受け入れられたものである。しかし一方では、個性（アイデンティティ）を重視し、個々の特長を伸ばす欧米の教育の基本的思想に対し、我が国の教育は画一的、あるいは教育の品質の均一化をめざす傾向が強い。したがって教育の質は平均値として高度な水準に達してはいるが、優れた個性を大きく伸ばすという点では問題が残されている。このような傾向での大学教育の結果として、産業界で高品質の生産を効率的に行うのに適した人材は多数育成されるが、学術的な研究で頭角を現すような個性の人材の育成は行われ難いのが現実の姿と見受けられる。また、我が国の学界における研究評価の傾向として、ややもすれば新しい研究領域、研究手段をひらくことよりも、既存の分野や既成の方法による研究成果の綿密さや正確さ、論文のまとまりの良さなどが重視されすぎる点は問題であり、それが画期的な研究の芽をつむぐことにならないよう十分配慮しなければならない。

また、画期的学術研究推進の中核となるべき若手研究者については近年次のような憂慮すべき事態が指摘されている。

①民間企業の研究水準が向上し、また経済的活性が高まるにつれ、若手研究者が、

民間企業において魅力的な研究課題を恵まれた環境で遂行する可能性が増え、大学が必ずしも研究の場として最も魅力的とは言えなくなってきたこと。

②企業における人材不足は早期に優れた人材を競って獲得する風潮を生み、授業料を払ってまで大学院博士課程に進学しようとする学生が激減していること。

③博士研究員（ポスドク）の制度はあっても、企業に就職するのに比べると収入が低く、また決定に時間がかかるので大学に引止めるのにこの制度はあまり役立たないこと。また他省庁の博士研究員計画が若手研究員に対する破格の厚遇を可能としていることも、大学をはじめ文部省下の諸機関の深刻な問題の原因となっていること。

このような事態にかんがみるならば、大学や学界において教育研究に携わるものが画期的研究の推進のためますます努力することはもとより、優秀な若手研究者の確保のために学術行政関係者の最大限の理解と協力を得ることが緊急の課題と考えられる。

あ と が き

本冊子は、基礎学問領域の第一線で優れた研究業績を挙げて来られた山崎敏光氏（東京大学教授・原子核研究所長）と原田 宏氏（筑波大学教授・植物生理学）をお招きして、1年間、ほぼ1か月に1回の割合で定期的に行なった研究会の成果をまとめたものである。研究会では、具体的な大学における研究活動の改善策まで討議の対象となったが、それらについては引続き検討を行なうこととし、とりあえず学術研究の社会的意義についての基本的な理念だけを取りまとめる事とした。この間、文部省の学術行政担当官各位にも随時資料の提供など有益なご協力をいただいたことも申し添えたい。

平成3年3月

松尾学術振興財団
理事長 宅間 宏