



1998年(第14回)

日本国際賞 記念講演会

1998(14th)

JAPAN PRIZE Commemorative Lectures

財団法人 国際科学技術財団

THE SCIENCE AND TECHNOLOGY FOUNDATION OF JAPAN

1998年(第14回)

日本国際賞 記念講演会

1998(14th)

JAPAN PRIZE Commemorative Lectures

平成10年4月24日(金)17:00~19:20
銀座ガスホール

17:00~19:20, April 24th(Fri.), 1998
Ginza Gas Hall

ごあいさつ

人類の平和と繁栄は、すべての人にとって共通の願いです。そのために科学技術の果たす役割は極めて大きなものがあります。

当財団は、科学技術の進歩をめざし、日本国際賞による顕彰を行うとともに、科学技術に関する知識及び思想の総合的な普及啓発の事業を行っており、その一つとして、毎年日本国際賞週間中に、日本国際賞受賞者による記念講演会を開催しております。

日本国際賞は、科学技術の研究で独創的・飛躍的な成果を挙げ、科学技術の進歩に大きく寄与し、人類の平和と繁栄に著しく貢献したと認められる人に贈られる賞で、1985年にその第1回の授賞が行われました。

第14回を迎えた本年は、

「新材料の設計・創製と機能発現分野」では、

江崎 玲於奈 博士(日本)
前筑波大学学長

「農業生産のバイオテクノロジー分野」では、

ジョゼフ・S・シェル博士(ベルギー王国)

マックスプランク研究所・植物育種遺伝学研究部長

マルク・C・E・ファン モンタギュー博士(ベルギー王国)

ゲント大学教授(理学部遺伝学研究室主任)

の3博士が受賞されます。

今回の受賞記念講演会には、この3博士をお招きして講演を行っていただきます。「日本国際賞記念講演会」は、科学技術に関心をもつ一般の方々に受賞者が直接語りかけるパブリックスピーチの場として設定したもので、この講演会を通じて、多くの方、とくに次代の科学技術を担っていくであろう方々が多くの示唆をつかんでいただければ幸いに存じます。

1998年4月

財団法人 国際科学技術財団
理事長 近藤次郎

Message

Peace and prosperity are fundamental human aspirations, and the role that can be played by science and technology towards these ends is vast.

For the development of science and technology, The Science and Technology Foundation of Japan presents Japan Prize to promote the comprehensive spread and development of science and technology. Commemorative Lectures by the Prize Laureates are held annually during the Japan Prize Week.

The Japan Prize honors those who are seen to have made original and outstanding achievements in science and technology, and thus to the peace and prosperity of mankind.

The first Japan Prize was presented in 1985.

This year, 1998, the 14th Japan Prize will be presented to the following three laureates :

Category: Generation and Design of New Materials Creating Novel Functions

Laureate: Dr. Leo Esaki (Japan)
Former President of University of Tsukuba

Category: Biotechnology in Agricultural Sciences

Laureate: Prof. Dr. Jozef S. Schell (Belgium)
Director, Department of Genetic Principles of Plant Breeding, Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung

Laureate: Dr. Marc C. E. Van Montagu (Belgium)
Professor, Faculty of Sciences, Laboratory of Genetics, University of Ghent

The three laureates have been invited to deliver Commemorative Lectures to the general public.

We sincerely hope that these Lectures provide inspirations and encouragement to those who will be leaders in science and technology in future generations.

Prof. Jiro Kondo
Chairman
The Science and Technology Foundation of Japan

講演会プログラム

4月24日(金)、銀座ガスホール

PROGRAM April 24 (Fri.), Ginza Gas Hall

開会 主催者挨拶 近藤 次郎 国際科学技術財団理事長	17:00	Opening Remarks Prof. Jiro Kondo Chairman The Science and Technology Foundation of Japan
受賞者紹介 井村 徹 愛知工業大学教授	17:10	Introduction of the Laureate Dr. Toru Imura Professor Aichi Institute of Technology
記念講演Ⅰ部 江崎 玲於奈博士 「半導体超格子の誕生とその発展」	17:20	Lecture I Dr. Leo Esaki "The Evolution of Semiconductor Superlattices"
休憩(20分)	17:50	Break(20 min.)
受賞者紹介 竹内 郁夫 (財)チバ・ガイギー科学振興財団 常務理事	18:10	Introduction of the Laureate Dr. Ikuo Takeuchi Managing Trustee Chiba-Geigy Foundation(Japan) for the Promotion of Science
記念講演Ⅱ部 ジョゼフ・S・シェル博士 「人類とその環境のための植物科学」 マルク・C・E・ファン モンタギュー博士 「熱帯農業のための新しい植物 —いかに、誰がこうした新しい植物の 開発をなしとげうるのか?」	18:20	Lecture II Prof. Dr. Jozef S. Schell "Plant Biology in the Service of Mankind and his Environment" Dr. Marc C.E. Van Montagu "Novel Plants for Tropical Agriculture : How will we achieve this and who will do it ?"
閉会	19:20	Closing

1998 (第14回) 日本国際賞受賞者

1998(14th) Japan Prize Laureate



江崎 玲於奈博士 (日本)

前筑波大学学長
1925年生まれ

Dr. Leo Esaki (Japan)

Former President, University of Tsukuba, Japan.
Born in 1925.

「新材料の設計・創製と機能発現」分野

授賞対象業績：人工超格子結晶概念の創出と実現による新機能材料の発展への貢献

江崎玲於奈博士は1969年、1次元の周期的な構造変化を有する人工単結晶、「半導体超格子」の概念を提案した。同博士は、半導体超格子においては、逆格子空間において状態密度が単周期の変調を受ける結果、微分負性抵抗効果など特異な現象が出現すると予言した。また、半導体超格子の実現方法として、薄膜結晶成長の過程において、結晶の合金的組成または不純物濃度を変調させることを提案した。同博士は分子線エピタキシーによる超格子構造の実現に努力し、1972年にGaAlAs系超格子において予言通り微分負性抵抗効果を発見した。同博士はさらに、超格子のポテンシャル井戸に生じる離散的エネルギー準位から、隣接する井戸のエネルギー準位への共鳴トンネル現象を予測し、1973年に実験的に確認した。

超格子に関する同博士の研究が他の研究者に与えた刺激は大きい。第一に、超格子研究の過程で同博士は、変調ドーピング（バンドギャップの大きな領域にドーブした不純物に起因する伝導電子または正孔が、バンドギャップの狭い隣接領域にあふれ出す現象）を提案した。この概念を利用して、高速電界効果トランジスタ、HEMTが1980年に実現され、優れた高周波特性を活かし無線通信などに実用されるに至った。

第二に、超格子構造（多重量子井戸構造と呼ばれることも多い）を利用したエネルギー状態密度の変化を利用した半導体レーザや、半導体受光デバイスが1980年代に実現され、光通信になくはならない素子となった。第三に、1980年代後半、強磁性金属と非磁性金属からなる超格子構造において、巨大磁気抵抗効果が発見され、その後これを磁気記録の読み出しセンサとして用いる試みが盛んになされている。

このように、江崎玲於奈博士による超格子の概念の提案は、半導体から金属にいたる広範な固体結晶材料にわたり、未知の電気的、光学的、磁気的性質の発見、人類の役に立つ応用につながったものであり、今回の賞の対象である「新材料の設計・創製と機能発現」に誠にふさわしい業績である。

なお、同博士は1973年に、半導体PN接合のトンネル効果の発見により、ノーベル物理学賞を受賞しているが、超格子は同博士のなしとげたもう一つの偉大な業績である。

Category of Generation and Design of New Materials Creating Novel Functions

Reasons for Award: For the creation and realization of the concept of man-made superlattice crystals which lead to generation of new materials with useful applications

Dr. Leo Esaki proposed in 1969 the concept of semiconductor "superlattice," man-made single-crystal with a periodic one-dimensional structural modification. He predicted that a superlattice would exhibit peculiar properties such as negative differential conductivity because the density of states has a short-period modulation in the k-space. He proposed to realize a superlattice by modulating either alloy composition or impurity density during thin-film crystal growth. His efforts on molecular-beam epitaxy paid off in 1972 when he discovered a negative differential conductivity in a GaAlAs superlattice. He also predicted a resonant tunneling phenomenon between adjacent potential wells in a superlattice, and confirmed it experimentally in 1973.

Dr. Esaki's work on superlattice had a tremendous influence on other scientists. Firstly, he suggested the concept of modulation doping (overflow of conduction electrons or holes that originate from impurities in a wide-bandgap region into a narrow-bandgap region). The HEMT, a high-speed field effect transistor, was developed in 1980 based on this concept, and is now widely used in wireless telecommunications. Secondly, semiconductor lasers and photo-detectors with superlattice (or multiple-quantum-well as it is often called) structures were invented during the 1980's and are now very important components in optical communications. Thirdly, GMR (Giant Magneto-Resistance) was discovered in the late 1980's in a superlattice structure consisting of magnetic and non-magnetic metals and are being pursued as sensors for

magnetic recording.

Dr. Esaki's conception of superlattice has thus led to the discovery of many interesting new properties — electrical, optical, and magnetic — and their useful applications, which makes him well deserve the 1998 Japan Prize in the category of "Generation and Design of New Materials Creating Novel Functions." Dr. Leo Esaki was awarded a Nobel Prize in Physics in 1973 for his discovery of tunneling in semiconductor p-n junctions. Superlattice is another great accomplishment he has made.

半導体超格子の誕生とその発展

江崎 玲於奈

1969年、われわれ（江崎とR.Tsu）は半導体超格子の構想を提案したが、研究者の夢とでもいえる“思い通りに新物質を設計して人工的にそれを作成する”というプロジェクトはこのときに始まったと言えるであろう。超格子とはある1つの方向に対して周期的ポテンシャルを持つ量子構造で、その周期は、例えば10ナノメートル（nm）程度であるから、通常の半導体結晶の周期、例えば0.2nmに比べると極めて長い。しかし、量子構造としての条件を満たすためには、周期は電子の平均自由行程あるいは位相コヒーレント距離よりも充分短く選定する必要があることは言うまでもない。

さて、この提案は、多分、新しい半導体物質を量子力学の原理に基づいて設計し、それを最先端技術を駆使して製作するという事に関しては最初のものであったと思われる。われわれは2つのタイプの超格子を提案した。何れも高度の結晶成長技術を駆使せねばならないが、1つは、p-n-p-nのような不純物ドーピング変調タイプであり、他はGaAs-AlAs-GaAs-AlAsのような組成変調タイプである。考えてみれば、この提案では、月並み（common）の半導体を特別（super）のものに変換（transform）しようと言うのであるから、現代の錬金術（alchemy）と言えるかもしれない。とも角、このプロジェクトにおいては思考実験（gedanken-experiment）を現実のものにしようという試みなど、研究者には今までにない新しい自由度を与えたため、多くの独創的な研究を喚起する結果になった。

超格子の概念に到達する前に、われわれは薄膜結果成長技術による二重障壁（double barriers）作成の可能性を検討していた。この二重障壁構造においては、中央の量子井戸における束縛電子と同じエネルギーを持つ入射電子に関しては、何ら減衰することなく2つの障壁を透過するという、いわゆる共鳴トンネル効果

を期待することが出来る。これは、光学におけるファブリーペロー共振器（Fabry-Perot resonator）と同じように、入射と反射のドゥ・ブローイ（deBroglie）電子波の相互干渉に由来するものである。ところで超格子は、第1図に示すように、2重、3重、……N重と障壁構造を延長した処に生まれたものである。図では、単一の障壁を持つエサキトンネルダイオードから出発し、次に二重障壁の共鳴トンネルダイオード、最後は超格子に到達する模様を図式的に示した。

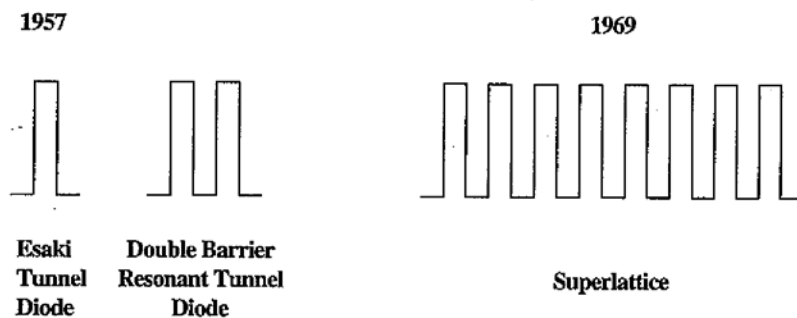
本提案とそれに続く江崎グループによる先駆的な実験では負性抵抗、共鳴トンネル効果、光電流など、注目に値するさまざまな興味ある結果を報告した。この成果は多くの研究者を刺激し、実験と理論、多方面における研究活動を喚起することになり、半導体研究の重要な新分野を開拓することになったのである。超格子の周期や量子井戸の巾はナノメートルスケールであるから、これらは、現在盛んに研究されている量子ワイヤー、量子ドット、シングル電子デバイスなどのナノ構造に対して、先駆的役割を演じたことは確かであろう。実際、分子線エピタキシー（MBE）、有機金属気相成長（MOCVD）などの超薄膜結晶成長技術によって生まれた新しい人工構造半導体は自然の結晶には決して見られないさまざまな電気伝導、光学特性を示した。例えば異常に高い電子易動度、大きな結合エネルギーを持つ励起子（exciton）、電流-電圧特性における負性抵抗、電場を加えたときに見られるルミネッセンスの大きなシュタルクシフト（Stark shift）、明確に測定できるワニエ-シュタルク階段（Wannier-Stark ladder）、観測可能なブロッホ（Bloch）発振などである。

本研究領域は低次元半導体物理学、電子デバイス、結晶成長の3つの分野の緊密な協力によって発展して来た。このフロンティアにおける半導体物理学の活発な研究活動は新しい電子デ

バイスの開発に大きな刺激を与え、画期的な半導体デバイスの誕生を促すことになった。例えば高速度、低雑音のHEMT (high electron-mobility transistor) や量子井戸を備えた高性能半導体レーザなどがそれである。

本分野の発展の状況はこれに関連する研究論文数の増加によって推定することができる。2年おきに半導体物理学の国際会議が開催されるが、そこで発表された超格子、量子井戸、ナノデバイスなどヘテロ構造に関する論文数は1970年代終り頃から指数関数的に増大し、1990年代になると増加の度合いが弱まるが、約50%に到達する。従って、現在、約半数の半導体物理学者がこの分野の研究に携わっているといえるであろう。

この研究をはじめた私のグループには、R.Tsu、L.L.Chang、E.E.Mendez、榊裕之(現東大教授)をはじめ世界の多くの若い研究者が参加し、それらの人びとの多大の貢献によってこのプロジェクトが発展して来たことを付言しなければならない。



第1図 左：エサキダイオード、中央：共鳴トンネルダイオード、右：超格子

The Evolution of Semiconductor Superlattices

Leo Esaki

In 1969, research on artificially structured materials was initiated when Esaki and Tsu proposed the concept of an engineered semiconductor superlattice with a one-dimensional periodic potential, where the period of the order of 10 nanometers is substantially longer than the lattice constant of the host crystal but shorter than the electron mean free path or the electron phase-coherent length. This was, perhaps, the first proposal which advocated the engineering of a new semiconductor material by applying the principles of quantum theory in conjunction with the most advanced techniques of crystal growth. This could be considered to be modern alchemy for it is intended to transform "common" semiconductors into "super" semiconductors. Since this proposal offered a new degree of freedom in research, rather like making a "gedanken-experiment" a reality, many ingenious studies were inspired, resulting in the observation of intriguing phenomena.

Before arriving at the superlattice concept, we had explored the feasibility of double-barrier formation by thin-film epitaxy, which could exhibit resonant electron tunneling. Such resonant tunneling arises from the interaction of the de Broglie waves with two potential barriers analogous to the Fabry-Perot resonator in optics. The idea of the superlattice occurred to us as a natural extension of double-and multi-barrier

structures. Fig. 1 illustrates schematically the evolutionary path, starting with the Esaki diode of a single potential barrier, then moving to the double-barrier resonant tunnel diode and finally reaching the superlattice.

The proposal and the subsequent pioneering experiments triggered a wide spectrum of experimental and theoretical investigations, opening up a new field in semiconductor research of great scientific and technical importance. The superlattices and quantum wells on the nanometer-scale served as the precursor of a variety of new nanostructures, such as quantum wires, quantum dots and single electron devices. Many different engineered structures now exist that exhibit extraordinary transport and optical properties that cannot be found in any natural crystals, including extremely high electron mobilities, large excitonic binding energies, differential negative resistance, appreciable Stark shifts, distinct Wannier-Stark ladders and Bloch oscillations. Activity at the new frontiers of semiconductor physics has in turn given immeasurable stimulus to the engineering of novel semiconductor devices. Thus, a new class of transport and optoelectronic devices has emerged, for example, a high electron-mobility transistor (HEMT) and a high-performance injection laser incorporating quantum wells.

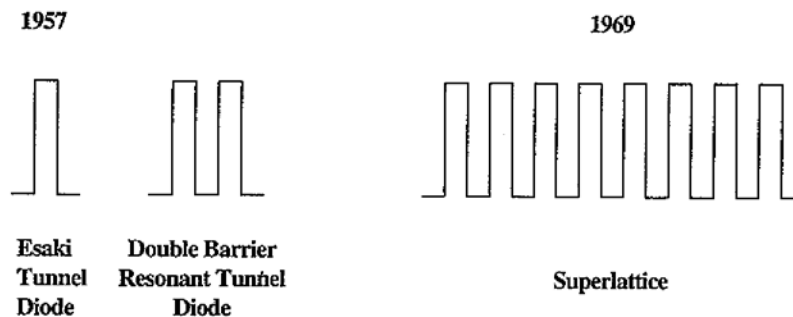


Fig.1 From left to right, the Esaki diode, the resonant tunnel diode and the superlattice.

1998 (第14回) 日本国際賞受賞者

1998(14th) Japan Prize Laureates



ジョセフ・S・シエル博士 (ベルギー王国)

ドイツ・マックスプランク研究所・植物育種遺伝学部長
1935年生まれ

Prof. Dr. Jozef S. Schell (Belgium)

Director, Department of Genetic Principles of Plant Breeding,
Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung, Germany
Born in 1935.



マルク・C・E・ファン・モンタギュー博士 (ベルギー王国)

ゲント大学教授 (理学部遺伝学研究室主任)
1933年生まれ

Dr. Marc C. E. Van Montagu (Belgium)

Professor, Faculty of Sciences, Laboratory of Genetics,
University of Ghent, Belgium
Born in 1933.

「農業生産のバイオテクノロジー」分野

授賞対象業績: 遺伝子組換え植物作出の理論と方法の確立

シエル、ファン・モンタギュー両博士は協力して、土壌細菌アグロバクテリウム的一种である *Agrobacterium tumefaciens* による双子葉植物でのクラウンゴール形成の分子機構を解析し、この腫瘍化がこの細菌のもつプラスミド (Tiプラスミド) 中の特定のDNA領域 (T-DNA) が宿主植物のゲノム中に組み込まれるために起こることを明らかにし、この系を利用して、外来遺伝子の植物ゲノムへの効率よい組み込み方法を確立した。すなわち、このTiプラスミドが腫瘍化を引き起こす要因であること、TiプラスミドのT-DNAと名づけた領域が宿主植物細胞に転入し、その細胞の核ゲノム中に組み込まれることを見だし、このT-DNA上の植物ホルモンの合成にあずかる酵素の遺伝子群の作用によって腫

瘍が形成されることを明らかにした。ついで、T-DNAの植物ゲノムへの組み込みの分子機構を研究し、植物ホルモン形成関連遺伝子などを除いたT-DNA断片でも植物ゲノムに組み込まれること、T-DNAの両端にある25塩基対の繰り返し配列が組み込みにとって極めて重要であることなど、その分子機構の詳細を明らかにした。そして、このT-DNAの宿主植物のゲノムへの組み込みを、遺伝子組換え植物の作出に応用するために、まず双子葉植物の傷害組織やプロトプラストにアグロバクテリウムを感染させる方法を確立した。ついで、TiプラスミドのT-DNA部分に外来遺伝子を挿入し、これをアグロバクテリウムに入れると、その感染によってこの外来遺伝子が宿主植物のゲノム中に組み込まれること

を明らかにした。その後、両博士は独立に研究を進め、実際に、外来遺伝子の導入によって害虫抵抗性植物や除草剤抵抗性植物の試作に成功した。

今日では、双子葉植物のみならず単子葉植物でもアグロバクテリウムによる遺伝子導入が可能となっており、両博士の業績は遺伝子組換え

植物作出分野の発展の源となった。また、この遺伝子導入法は、両博士を含む多くの植物分子生物学者によって植物遺伝子の機能解析や発現調節機構の解析などの研究にも広範囲に利用されており、農業生産に直接的のみならず間接的にも大きな貢献を果たしてきた。

Category of Biotechnology in Agricultural Sciences

Reasons for Award: Establishment of the theory and method of the production of transgenic plants

Drs. Schell and Van Montagu together studied the molecular mechanisms of crown-gall formation in dicotyledonous plants infected with soil bacteria, *Agrobacterium tumefaciens*. They presented abundant evidence to show that the tumor is formed due to insertion of a specific DNA region (T-DNA) of a plasmid (Ti plasmid) contained in the bacteria into the genome of the host plant. Taking advantage of this fact, they developed an efficient method for the transfer of a foreign gene into a plant genome.

They showed that the tumor is formed through the action of genes located on T-DNA; the genes encode enzymes involved in the synthesis of plant hormones and thus regulate the growth of infected cells. Then, they clarified the molecular mechanisms of the insertion of T-DNA into plant genomes; for example, they showed that even when the genes for plant hormones are deleted from T-DNA the modified T-DNA can still be inserted into plant genomes, but that 25-base-pair repeated sequences at both ends of T-DNA play essential roles in the insertion. In order to put the insertion system into practical use for production of transgenic plants, they first

developed the method of infecting wounded tissues and protoplasts of dicotyledons with *Agrobacterium*. They then showed that when a foreign gene is inserted into the T-DNA part of a Ti plasmid, the infection of a plant with *Agrobacterium* carrying such a plasmid results in the introduction of the gene into the host genome. Thereafter, they separately conducted much work with transgenic plants and succeeded in trial production of transgenic plants with insect- or herbicide-resistance.

By now the introduction of foreign genes into plant genomes with *Agrobacterium* can be made not only with the dicotyledons but also monocotyledons. Recent development of the production of various transgenic plants has thus been based upon the work of Drs. Schell and Van Montagu. The method of gene transfer with *Agrobacterium* has also been widely used for basic studies on the functions and control mechanisms of plant genes by many plant molecular biologists, including Drs. Schell and Van Montagu. They have thus greatly contributed towards enhancing agricultural production, both directly and indirectly.

人類とその環境のための植物科学

ジョセフ・S・シェル

責任をまっとうする社会というものは、現在の人々の幸福だけでなく、将来の世代をも気づかうものであって、植物バイオテクノロジーの進歩を無視したり妨げることは許されないことです。

それどころか逆に、社会は、その新しい進歩を奨励しなければなりません。将来、それも近い時期においてさえ、農業は、地球的にみても地域的にみても、集約農業か粗放農業かを問わず、また企業的であろうと家内工業的であろうと、新しい科学知識のかなりの助力がなければ、また最善で最も効率的な技術を確実に活用できなければ、もうこれ以上最適に生産的なものにはならなくなるでしょう。

農業科学のバイオテクノロジー分野の1998年日本国際賞を受賞するにあたって、私は、現在の植物バイオテクノロジーの基礎となっているいくつかの科学的発見について、簡単にふれることでスピーチをはじめたいと思います。ついで、植物バイオテクノロジーがいかに現在および将来の諸問題の解決に助力となるポテンシャルを持っているかについてお話ししたいと思います。そして、基礎および応用研究が社会にもたらす価値について云われている一般的な論議を評価することで、結論にしたいと思います。

植物の遺伝子工学は2つの科学的躍進が基礎になっています。第一は、組換えDNA技術の飛躍的發展で、これによってどの生物からも個々の遺伝子を単離することが可能になりました。第二は、土壌には*Agrobacterium tumefaciens*というバクテリアが存在していて、これが遺伝子を植物内へ転移させるという発見です。これは、自然界で遺伝子操作が行われているという事例の最初の証明です。

*Agrobacterium tumefaciens*というバクテリアは、植物細胞のゲノムに新しく特異な遺伝子要素を導入することによって、寄生植物細胞の性質を自己に有利なように変化させます。この研究は、植物に新奇な、改良された遺伝子を導入させ発現させるためのベクターと方法を開発する基礎をつくったものであり、植物分子育種への道を切り開いたものであります。このようなベクターや方法は、

これまで、植物細胞の成長や植物ホルモンの役割を明らかにする上でも、重要なものとなってきていたし、また、植物生理学や植物生化学において、さらには分類学や植物生態学においてすら、いろいろな面を再検討し、さらに一層発展させていくために活用できるでしょう。

植物バイオテクノロジーの将来性を評価するためには、次のことを念頭におくことが肝要です。

1. 農業は、現在実際に行われているやり方のままでは、環境汚染の最も大きな原因の1つです。このままつづけていけば、環境破壊が急速に進み、おそらくもとにもどすことができないような状態にさせて、農業を持続させるかどうかという問題を引き起こすにいたりします。
2. 農業は、採算がとれ、しかも社会的にも環境的にも受け入れられるように、生産性を高めさせなければなりません。農業が魅力的な職業でありつづけるためには、経済的な見かえりが必要です。環境に対する農業の悪い影響を減少させようと望むならば、生産性を適切なものにしなければなりません。例えば、投入する資本や労力を減少させ、しかも同時に品質と収量を維持し、向上さえすることができるようになるように、ある限られた資本・労力の投入のもとで、品質と収量を最大にすべきです。
3. 植物育種は、環境を悪化させることなく、農業の生産性を向上させる数少ない、しかも最も効率的な方法の1つです。このことは先進国は勿論、おそらく発展途上諸国においてもあてはまり、しかも集約農業、粗放農業の両方にあてはまることです。
4. 植物育種が、これから先数十年の間に我々が直面せざるをえない大きな問題を解決することに貢献するはずだとすれば、遺伝子工学を含む最善の技術が使われなければなりません。そして、作出した植物の人類の健康や環境に対する影響を既存の作物と比較検討すべきです。

特に遺伝子工学に関しては、次のことを思い浮かべるべきでしょう。

理解がゆきわたることではないでしょうか。

1. 遺伝子組換え植物や微生物は、集約農業の環境への悪影響を減少させるのに役立つことができる。
2. この分野では世界中で数え切れないほど試験研究が行われ、予測のつかない危険または結果は全く認められていない。
3. 遺伝子の転移は自然界で起こっている (*Agrobacterium tumefaciens* の場合のように)。

植物への遺伝子転移と標識を利用した植物育種は、植物バイオテクノロジーにおける次の4つの最終目標の達成に貢献することができます。

1. 植物生産物の特質の向上
2. 害虫、病原菌や生命に危険をおよぼすようなストレスに対する植物の抵抗力の強化
3. 収穫量の増大
4. 薬剤、ワクチンなどのユニークな代謝産物の生産

新しい科学や技術は注意深く、且つ実際に不安の念をもって評価されるものです。このことはヨーロッパで特に著しいものがあります。不幸なことに、正確には環境保全と最適社会条件づくりに支持の基礎を置いている組織や政党が植物バイオテクノロジーを最も強く拒否してきています。この新しい技術の環境保護に対する将来性が大幅に無視されてきました。一方、原子力の利用でえられた経験、例えばチェルノブイリ事故、や化学物質の利用に由来する環境汚染は、新しい技術が新しい予期できぬ危険をもたらしかねないということを示しています。

従って、ある種の規制が必要です。しかしながら、それは妥当なものでなくてはならず、確かな事実とさまざまな考慮に基づいたものであるべきです。それ以上に大切なことは、教育やマスコミによる客観的な報道を通じて、一般の人々に情報

Plant Biology in The Service of Mankind and His Environment

Jozef S. Schell

A responsible society, which concerns itself not only with the wellbeing of its present population but also with future generations, must not ignore or hinder progress in plant biotechnology. On the contrary, society must encourage new advances. Even in the near future, agriculture, whether global or regional, whether intensive or extensive, whether industrial or familial, will no longer be optimally productive without an important contribution of new scientific knowledge and without responsible application of the best and most effective technologies.

In this talk on the occasion of the 1998 Japan Prize in the field of Biotechnology in Agricultural Sciences I shall begin by giving a brief review of the scientific discoveries which underlie present day plant biotechnology. I shall then discuss the potential of plant biotechnology to contribute to the solution of current and future problems. I will conclude with an evaluation of the public debate regarding the value to society of research, both fundamental and applied.

Two scientific breakthroughs underlie genetic engineering in plants. First was the development of recombinant DNA technology which made it possible to isolate individual genes from any organism. The second was the discovery that there are bacteria in the soil, *Agrobacterium tumefaciens*, which transfer genes into plants. This was the first documented instance of genetic engineering in nature. *Agrobacterium tumefaciens* bacteria modify the properties of the host plant cells to their own advantage by introducing new and specific genetic elements into the genome of the plant cells. This work provided the basis for the development of vectors and methods for the introduction and expression of novel and modified genes in plants and opened the way for molecular plant breeding. Such vectors and methods have thus far also been important in the elucidation of plant cell development and the role of plant hormones and

could be used to revisit and further develop many aspects of Plant physiology, -biochemistry, and even -taxonomy and -ecology.

To evaluate the possibilities of plant biotechnology one should keep in mind the following:

1. Agriculture, as it is practised currently, is one of the biggest sources of environmental pollution. Continuation of these practices can lead to rapid and possibly irreversible deterioration of the environment, thus putting the sustainability of agriculture in question.
2. Agriculture must be productive in order to be commercially viable, and socially and environmentally acceptable. If agriculture is to remain an attractive occupation, it must be economically rewarding. If one wants to diminish the negative impact of agriculture on the environment, one should optimize productivity, i.e. maximum quality and yield for a given input, such that one can reduce input and at the same time conserve or even improve quality and yield.
3. Plant breeding is one of the few, and one of the most effective methods, to improve agricultural productivity without simultaneously destroying the environment. This is true for the industrialized world, perhaps even more true for the developing world and holds for both intensive and extensive agriculture.
4. If plant breeding is to contribute to the solution of the enormous problems which we must face in the next decades, then the best techniques must be used including genetic engineering. The resulting plants must then be compared to already available crops for their effect on health and on the environment.

In relation to gene technology in particular one must remember:

1. Transgenic plants and microorganisms can help to diminish the negative environmental

effects of intensive agriculture.

2. Several thousand tests in the field have already been carried out around the world and have given no indication of real dangers or consequences which had not been predicted.
3. Transfer of genes occurs in nature (as in the case of *Agrobacterium tumefaciens*).

Gene transfer into plants and marker assisted breeding can contribute to four overall goals in plant biotechnology.

1. change the characteristics of plant products
2. improve plant resistance to pests, pathogens and abiotic stresses
3. increase output
4. produce unique metabolites e.g. pharmaceuticals, vaccines

New science and technology are viewed with caution and indeed fear. This is particularly pronounced in Europe. Unfortunately, precisely the organizations and political parties whose support is based on environmental protection and on providing optimal social conditions, have been most active in rejecting plant biotechnology. The potential of this new technology to protect the environment has been largely ignored. On the other hand, experience gained from the use of nuclear power, e.g. Chernobyl, as well as the pollution resulting from the use of chemicals make clear that new technologies can bring new and unexpected dangers. Regulations, therefore, are necessary but should be rational, based on solid facts and considerations. Even more important is the development of informed public opinion through education and objective reporting by the media.

熱帯農業のための新しい植物： いかに、誰がこうした新しい植物の開発をなしとげうるのか？

マルク・C・E・ファン モンタギュー

世界の人口が急速に増加したのは、この50年間のことだとわかっている人の数は多くありません。第2次世界大戦が終った時点では地球の人口は20億でしたが、今や60億に近づき、出生率の低下を計算に入れても、来世紀前半のうちには100億から120億に達するものと考えられています。この人口増加の80%は熱帯地域でおこるものと予測され、このことがまさしく食糧生産、環境や医学にとって大変な問題となっているのです。

農産物の収穫量を増やすためには2つの方法しかありません。

生産性を高めるかそれとも耕作地域を拡大するかです。後者は現在残っている限られた生物の生息地域を失っていくという犠牲をはらって、はじめて可能となる方法です。人間の英知が、新しい栽培品種の作出と農業実践系の改善によって、生産量の実質的増大を達成させたということを、緑の革命が示しています。このようにして作り出された新しい品種は、肥料および除草剤・殺虫剤のような環境にやさしくない化学薬品を大量に必要とします。また、これら新しい品種は、狭い遺伝学的背景に基礎をおいています。ということは、これらの植物が自然のままではもっていた抵抗力を失っているため、ある種の悪性な病気が現われるかも知れないという恐れが常にあることを意味します。さらに、このような集約農業的なやり方は、主に先進国で栽培されている、限られた作物用としてのみ発達してきたもので、熱帯農業地域の最低の生活をしている農家が用いている植物用として発展されてきたものではありません。

現在の段階で、集約農業はすでにかんがりの公害をもたらしていると考えられています。いくつかの産業での公害をもたらす程度は、不幸なことにもっと深刻であります。それでいて私どもは、貧しく人口過剰な熱帯地域が産業化を進めることができるならば、地球全体の平和と安定をえるだろうとのみ希望しているわけで

す。このような事態にありますから、私どもが、努力のかぎりをつくして、新しく環境的に受け入れられる産業を創設していく責任を負っていることは明らかであります。

人口過剰の世界で考えられる医学上の諸問題の中で特に重大なことは、あらたな感染性の病気が出てくるということでありましょう。貧しい地域を助けるためには、コストの安い予防接種、薬品や抗体を開発するよう全ての医学システムを再方向づけしなければなりません。この分野でもまた、従来より、より多くより良質の二次代謝産物やタンパク質を生産する植物を生物工学的に作り出すことは、特色ある将来性をもっているのです。このように見てくると、植物のバイオテクノロジーの研究と開発を一層強力に押し進めることによって、上で述べた3つの問題すべてに取り組むことが可能になると確信しております。

アグロバクテリウムが植物の遺伝子工学を仲介していることがわかったおかげで、植物の生長・発育の分子レベルでの研究に道が開かれるやいなや、バイオテックR&D社は、いち早く、植物の改良操作に努力しました。初期の試みで、バクテリアからの改変遺伝子を植物に転移させるとよいレベルで発現するということがわかり、この方法は大きい有効な、研究法であると確信しました。その後徐々に、いくつかの大手の農業会社が、このような新しい努力にむけて投資を開始したのであります。

以上のような方向の研究・開発からえられた主要な成果として、下記のようなものがあります。

ある殺虫作用のあるタンパク質を合成することによって、ある種の害虫に対して自分で防御することができる植物を作出。

新しい環境的に受け入れられる除草薬を分解する主要な作物品種を作出。このことは将来非農耕地型の農業の可能性に道を開くものである。

雑種強勢、これは、1930年代半ばから、トウモロコシの収穫量を大巾に増やす目的で用いられてきましたが、雄性不稔を植物に工学的に導入することによって安価でえられるようになりました。

この方法は、ゲント市に本拠をおく植物遺伝システム社によってセイヨウアブラナ(Canola)に適用され、収穫量が25%増加する品種が開発されました。そして雑種強勢の概念を多くの新しい植物に拡大適用して開発が進められました。他の成功例としては、果物の熟成を遅らせて保管や運送に有利なものとしたこと、種子のオイル含量を変えたこと、もっと最近では、抗体や酵素のような医学的に重要なタンパク質を植物内に作らせたことがあげられ、すべて遺伝子組換え植物の経済的重要性が増大していることを示しています。ヒトゲノム研究計画と同様に、植物ゲノム研究計画は、重要な特質に影響を与えるような遺伝子を私どもに提供しつつあり、また作物や産業的に利用可能な新しい植物を改良するためには植物にどのような変化を工学的にほどこすことができるかを暗示しています。

私どもはまた、交雑の結果の分析を早めることが期待でき、また今まで栽培されたことのない植物種の遺伝分析を可能にするような新しいDNAフィンガープリント法を使える状態になっています。この方法は、まだ無傷な生物生息地に存在している非常に多様な植物種が経済的および商業的に価値があることを確認し、それを活用するために確保するための道を開いているものであります。このことが次のようなことの助けになることが望まれます。すなわち、多くの国々がそれぞれ所有している生物の多様性の重要性・価値を確信し、またかけがえのない生物生息地が破壊されてそのすみかが急速且つ元に戻せないように消滅してしまうことをくい止めるということです。

この数年の間に、ノバティス、デュボン、モ

ンサントのような大手の農薬企業や他のいくつかのやや小規模な企業は、次の世紀こそ生命科学の世紀であると確信していることを表明しています。今やこれら企業は、激しい企業合併や買収をへて、植物バイオテクノロジー分野における特許と独占情報の所有者であり、あとはいつ、どこで新しい植物を商業ベースにのせるか決定だけすればよいという地位についています。

それでは、以上述べてきたすべてのことは熱帯農業にとって何を意味することになるのでしょうか？進歩できるかどうかは、その地域の諸国の農業研究所の質と地元の種苗会社の企業精神のいかに依存しています。国際的には、世界銀行をスポンサーとする国際農業研究諮問グループ(CGIAR)を通じて、より豊かな国々の多くからの援助がえられます。この機関は、25年以上にわたって、大部分の熱帯地域に展開しているCGIARの16の研究所における指定農作物の研究に資金を提供してきました。しかしながら、人口爆発のため、残り時間はそんなにありません。熱帯農業に必要な改良植物をこの残りの時間内に作り出すためには、植物バイオテクノロジーの研究結果が急速且つ効率よく実地に応用されなければなりません。

このことは技術的に可能でしょうか？技術を適用していく自由度はあるでしょうか？実際には経済協力開発機構(OECD)が、すべての国々に知的所有権に関する国際法に署名することを求めるとすれば、熱帯植物の工学的操作に当っては、大手の多国籍企業が所有している現存の特許にほとんどすべて左右されることになるのは明らかです。ですから、熱帯農業は、大企業の認可のもとに作り出された操作種子を使用できるような、そういう選ばれた農家だけの特権となってしまう可能性がないでしょうか？特許侵害という事態があるにもかかわらず最低生活をしいられている農家が使用している膨大な数の栽培品種を改善することは可能でしょう

か？

私は、高度の水準に達している研究所の科学者と熱帯農業の専門家の方々が協力することによって、分子植物生理学の分野での新しい主要な発見が生み出されるものと信じております。この新しい知識は、現在のリーダー的多国籍企業を含めて、すべての人々が必要としている技術の創意ある方向と新しい手段を発展させることになるでしょう。

さらに、たとえ特許によって充分保護されているとしても、この科学者と専門家の協力を通じて得られる発見は特許使用の相互交換をもたらし、それによって熱帯農業に必要な実施・適用の自由裁量権がもたらされるようになるでしょう。私の考えでは、進んだ研究所にはすでに知識の積みかさねがあり、権限が付与される技術がかなり存在しており、今後もっと開発されていくでしょう。それにつけても、時間が限られており、直ちに行動を開始することが必要であります。

Novel Plants for Tropical Agriculture: How will we achieve this and who will do it?

Marc C. E. Van Montagu

Few amongst us realise that the sharp increase in world population is an event of the last fifty years. At the end of the second World War, the planetary population numbered two billion people, yet today we are nearly six billion, and even accounting for the decline in the birth-rate, it is expected that this figure will climb to ten or twelve billion in the first half of the next century. Eighty percent of this growth is expected to take place in tropical areas and it is just this that represents the major challenge to food production, the environment and to medicine.

There are only two ways in which we can increase agricultural output ; either by enhancing productivity, or by increasing the area cultivated. In the latter case, this can only occur at the expense of the limited natural habitats still remaining. The green revolution has shown that human ingenuity can achieve substantial yield improvements by creating new cultivars and by improving agricultural practices. Such new varieties demand a high input of fertilisers and other environmentally-unfriendly chemicals such as herbicides and pesticides. These new cultivars are also based on a narrow genetic background, which means that there is a permanent threat that a virulent disease could develop for which these plants have lost their natural resistance. Furthermore, this intensive agricultural approach has only been developed for a limited number of crops which are cultivated mostly by the industrialised world and not for the plants used by the subsistence farmer in tropical agriculture.

If today, intensive agriculture is already considered quite polluting, then this is unfortunately even more the case with our industries. Yet we can only hope to obtain global peace and equilibrium if the poor and overpopulated tropical regions can also industrialise. Hence it becomes clear that we have a responsibility to concentrate all our efforts on

creating new, environmentally-acceptable industries.

Primary amongst the medical problems that we can expect in an overpopulated world, will be the appearance of new infectious diseases. To help the poor areas will require a reorientation of the entire medical system towards the development of inexpensive vaccination systems, drugs and antibodies. Here again, the bio-engineering of plants to produce more and better secondary metabolites and proteins has unique potential. Hence I firmly believe that all three of these problems can be tackled by intensifying the research and development of plant biotechnology.

As soon as the *Agrobacterium* mediated gene engineering of plants opened the molecular studies into plant growth and development, biotech R&D companies tried to engineer improved plants. Early attempts, involving the transfer of altered genes from bacteria showed good expression levels, and created confidence that this was indeed a valid approach. Slowly, the major agrochemical companies have started to invest in this new endeavour.

Some of the major results resulting from this direction are ; the production of plants that are able to defend themselves against a given insect pest by synthesising an insecticidal protein ; the engineering of major crop species to degrade new, environmentally-acceptable herbicides, leading to the possibility of a non tillage agriculture. Hybrid vigour, which since the mid-thirties has been used to substantially improve yields in corn, has been obtained at reduced cost through engineering male sterility into plants. This approach has lead to the development by the Ghent-based company Plant Genetic Systems, of rapeseed (*Canola*) with a 25% increase in yields and to the extension of the hybrid vigour concept to many new plants. Other successes, which include delayed fruit ripening, an aid to storage

and transport, alteration of the seed oil content, and more recently, the production in plants of such medically important proteins as antibodies and enzymes, all indicate the growing economic importance of transgenic plants. The plant genome project, just as the human genome project, is providing us those genes that might influence important traits, and suggesting what alterations can be engineered into the plant to lead to improved crops and novel industrial plants.

We also have available new DNA fingerprint techniques that are helping to accelerate the analysis of the outcome of crosses and making it possible to start genetic analyses on plant species never even previously cultivated. This opens the door to the identification and capture of the commercial and scientific value contained in the huge diversity of plant species still present in untouched habitats. Hopefully, this will help to convince many countries of the importance/value of the biodiversity they possess and to cease the rapidly, irreversible extinction that results from the destruction of these irreplaceable habitats.

In recent years major agrochemical industries such as Novartis, Dupont and Monsanto along with several smaller companies, have shown that they are convinced that next century will be the century of the life sciences. Through their intense mergers and acquisitions they have manoeuvred themselves into a position, where, as owners of patents and of proprietary knowledge in the field of plant biotechnology, they merely have to decide when and where a new plant will be commercialised.

So what does all this mean for tropical agriculture? Improvement depends on the quality of the country's agricultural research stations and on the initiatives of the local seed companies. Internationally, there is help from many of the

richer countries through the World Bank-sponsored Consultative Group of International Agriculture Research, the CGIAR. For more than 25 years this has funded research on mandate crops in sixteen CGIAR institutes spread over most of the tropics. However, due to the population explosion time is running out, and the results of plant biotechnology R&D will have to be rapidly and efficiently implemented in order to create in due time the improved plants needed by tropical agriculture. Can this be achieved technically? Will there be the freedom to operate? Indeed, if the OECD asks all countries to sign the international legislation on intellectual property rights, it is clear that tropical plant engineering will come to depend almost entirely on the existing patents, owned by the major multinational companies. Is it then possible that tropical agriculture will become the privilege of the elite farmers who use the engineered seeds produced under license of these major companies? Can the enormous variety of cultivars used by the subsistence farmers be improved notwithstanding possible patent infringements? I believe that co-operation between the scientists of advanced institutes and the specialists in tropical agriculture can bring about major new discoveries in molecular plant physiology. This new knowledge will in turn lead to inventive steps and new tools in a technology that is needed by all, including the leading multinationals of today. Further, if well protected by patents, the inventions obtained through this co-operation can allow an exchange of licenses, thus bringing the necessary operating freedom to tropical agriculture. I consider that the knowledge and much of the enabling technology exist already in the advanced institutes, and that more will be developed. But time is short that we need to act immediately.