

日本国際賞

1987 記念講演会



財団法人 国際科学技術財団

ごあいさつ

1987年度の「日本国際賞」(JAPAN PRIZE) は、熱帯地域の多収穫稲、IR8、IR36を開発し、発展途上国の民生の安定に大きく貢献した

ヘンリー M. ビーチェル、グルデブ S. クッシュの両博士と、

世界で初めてレーザー発振を実現した

セオドア H. メイマン博士が、
厳正なる審査を重ねた結果選ばれました。

人類の平和と繁栄は、時代を超え
すべての人々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。

この科学技術の分野において独創的・
飛躍的な成果を挙げ、科学技術の進歩に大きく
寄与し、人類の繁栄と平和に著しく貢献したと
認められる者に贈られるのが「日本国際賞」です。

「日本国際賞記念講演会」は、受賞者が
その研究生活の中でつかんだ信念や哲学を、
科学技術に関心を寄せる一般の人々に
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す。

この講演会を通して、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。

1987年4月

財団法人 国際科学技術財団 理事長
横田喜三郎

講演会プログラム

東京—4月16日[木]

有楽町マリオン「朝日ホール」

13:30 開場

14:00 開会

14:05 主催者あいさつ

14:10 受賞者紹介

14:15 講演

ヘンリー M. ピーチェル博士
グルデブ S. クッシュ博士

15:00 休憩(10分)

15:10 受賞者紹介

15:15 講演

セオドア H. メイマン博士

16:00 閉会

京都—4月17日[金]

宝池「国立京都国際会館」

13:30 開場

14:00 開会

14:05 主催者あいさつ

14:10 受賞者紹介

14:15 講演

ヘンリー M. ピーチェル博士
グルデブ S. クッシュ博士

15:00 休憩(10分)

15:10 受賞者紹介

15:15 講演

セオドア H. メイマン博士

16:00 閉会

ヘンリー M. ビーチェル博士 Henry M. Beachell

フィリピンにある国際稲研究所 (IRRI) の前稲育種部長。1963年から国際稲研究所の稲の品種改良事業に参加し、熱帯・亜熱帯における稲の育種戦略の基礎を確立した。

1966年、「緑の革命」の基礎となる画期的な多収獲品種 IR8 を育成した。

1906年生まれ。



●主要論文

Beachell, H.M.: The Development of Rice Varietal Types for the Tropics. *Indian J. Genet.* 24A: 200-205, 1966.

Beachell, H.M. and G.S. Khush: Objectives of the IRRI Rice Breeding Program, *SABRAO Newslett.* 1: 69-80, 1969.

Beachell, H.M., G.S. Khush and R.L. Aquino: IRRI's International Breeding Program, in "Rice Breeding" pp 419-429, International Rice Research Institute, Philippines, 1972.

グルデブ S. クッシュ博士 Gurdev S. Khush

国際稲研究所 (IRRI) の稲育種部長。

1967年から国際稲研究所に参加し、ビーチェル博士とともに、熱帯・亜熱帯における多収獲稲の研究を行ない、1976年には、耐病性、耐虫性、各種の不良土壌に対する適応性に優れた IR36 を育成した。

1935年インドのパンジャブ州生まれ。



●主要論文

Khush, G.S. and H.M. Beachell: Breeding for Disease and Insect Resistance at IRRI, in "Rice Breeding" pp 301-322, International Rice Research Institute, Philippines, 1972.

Khush, G.S. and K.C. Ling: Inheritance of Resistance to Grassy Stunt Virus and Its Vector in Rice, *Jour. Hered.* 65: 135-137, 1974

Khush, G.S.: IRRI Breeding Program and Its Worldwide Impact on Increasing Rice Production, in J.P. Gustafson ed. "Gene Manipulation in Plant Improvement" pp 61-94, Plenum Press, U.S.A., 1984.

緑の革命

GREEN REVOLUTION

ヘンリー M. ビーチェル

HENRY M. BEACHELL

私は、国際稲研究所 (IRRI) の品種改良研究チームの一員になる機会を得ましたことを、非常に幸運なことと思っています。このチームの研究が、IR 8, IR 5をはじめとする品種を生み出し、全世界での米の増産を可能にしました。

1930年代後半、場所によってはそれよりも早い時期に、米などの穀物の深刻な不足が生じた経緯を簡単にふりかえてみましょう。

1850年から1930年までの80年間に世界の人口は10億人から20億人に倍増しました。そして、1930年から1975年までのわずか45年間に、20億から40億へと倍増したのです。2010年には、世界の人口は80億人になるものと予測されています。ということは、2010年までに米の生産も1975年の水準の2倍にしなければならないことを意味します。

世界の食用穀物生産の集約化は人口の急増した1800年代の終わり頃に始まりました。人口増加で需要が増大したからです。

私が、稲の育種家としての仕事をテキサス州ボーモントの近くにあるテキサス A&M 試験場で始めたのは1931年のことでしたが、当時、米の集約栽培をしていたのは日本くらいのものでした。

1945年には、熱帯アジア地域を中心に深刻な米不足が発生しました。これらの地域では、都市部の人口が爆発的に増え、米不足に拍車をかけたのです。

熱帯アジア地域の農民は、自分たちの家族や隣近所の人が必要とする量の米は生産しましたが、急増する都市部の人口の食糧需要をまかなうには不十分でした。

米不足は、南アジアや東南アジアで、同時

に起こりましたから、熱帯アジア諸国の中には、生産余剰国からの輸入に頼るところも出てきました。1950年代の半ばになると、熱帯アジア諸国の国内生産を増やすために、なんとか手を打たなければならない、という認識が強まりました。

こうして1960年、フォード、ロックフェラーの両財団が動き、1962年に国際稲研究所がフィリピンに設立されたのです。至上命令は、「熱帯アジアにおける米の収量は、なぜ低いのか、また、その改良にはどうしたらよいのか」を探ることでした。

気候の温暖な地域から高収量品種が取り寄せられましたが、これらの品種は、熱帯の厳しい環境——洪水、かんばつ、雑草、病虫害、ネズミ、土壌の問題——に耐えることができませんでした。

熱帯アジア全域で栽培されていたインド型の稲品種は、かんばつ、洪水などの環境上の難題には耐えることができたものの、収穫量は非常に少なく、農民が自分たちで必要とする以上の収量をあげることは難しかったのです。

窒素肥料は、温帯地域での稲栽培には非常に効果がありますが、晩生で丈が高く、無効分けつの多い熱帯インド型品種の収量を増やすことはできませんでした。なぜなら、この種の稲は背が高すぎたからです。窒素肥料を施すと、稲が風などで倒れやすくなり、収量がかえって減ってしまいました。

単純な遺伝をする半わい性遺伝子をもつ稲が中国大陸と台湾で発見された結果、育種家は熱帯インド型品種の背丈を低くする方法を

手にすることができました。この種の半わい性遺伝子は、コウリヤンでは1920年代以降、また小麦では1940年代以降、それぞれの育種家が利用しています。

IRRIで8番目に行なわれた交配(ペタ/ディー・ジェオ・ウー・ジェン)でIR 8が生まれたことは、同研究所の育種家にとって非常に幸運なことでした。IR 8は、熱帯アジアで要求される稲の基本的な特性を数多くもっていたからです。これらの特性とは次のようなものです。

- ・背が低い
- ・茎が丈夫である
- ・分けつ能が高い
- ・葉がまっすぐに立つ習性がある
- ・窒素反応性が大きい(窒素肥料を施すと著しく収量が上がる)
- ・収量が高い

1964年にIR 8が選り出されて1年もたないうちに、農学者たちは、1ヘクタール当たり12トン近い収量をあげています。当時、熱帯アジアの多くの国では、1ヘクタール当たり2トン以下の収量しかあげていませんでした。

IR 8の熱帯インド型の親は、インドネシア産のペタという品種です。これは背が高く、分けつ能も高く、晩生ながら葉はまっすぐに立っています。

一方、半わい性の親、ディー・ジェオ・ウー・ジェンは、台湾から取り寄せられた早生で、単純な遺伝をするわい性遺伝子をもった茎の丈夫な品種です。

この2品種の交配によって作られたIR 8は、両方の親の望ましい特性をすべて兼ね備

えていたのです。

IR 8の種子は、高収量をあげるための栽培方法の説明書とともに、全アジア諸国に送られました。その結果、各国で自分の環境にあった似たような品種を開発しようという関心が、いっきよに高まり、また深まりました。アジアだけでなく、世界の稲作国すべてが関心を示しました。

ある国では、IR 8よりも少し背の高い品種の方がうまくいきました。この問題に応えたのがIR 5です。これは、ペタと、ある程度背の高いマレーシアの品種タンカイ・ロタンとの交配でできたものです。IR 8、IR 5、そしてIRRIで使われた育種方法は、アジア全域の育種計画に劇的な変化をもたらしました。

IR 8、IR 5は、熱帯アジアの水田で高い収量をあげることが可能であることを証明したのです。上で述べたような特性が、熱帯アジアの厳しい自然環境に耐えて元気に生育する熱帯インド型品種の利用を可能にしたのです。

世界の食用作物需要は、20世紀中は満たすことができるでしょう。しかし、それには、幅広い分野の科学者が緊密に協力し、互いに啓発しあうこと、そして政府による強力な支援がなくてはならない要素なのです。

I was extremely fortunate to have had the opportunity to be a member of the International Rice Research Institute (IRRI) team of scientists assigned to the varietal improvement project that led to the development of IR 8, IR 5 and other rice varieties, the building blocks to increased rice production throughout the World.

Let us review briefly the events that brought about drastic shortages of rice and other food grains beginning in the late 1930's and in some areas even earlier.

During the 80 year period, 1850 to 1930, World population doubled from one billion to 2 billion. This was followed by another doubling of population in only 35 years, (1930 to 1975), to 4 billion people. By the year 2010 World population is projected at about 8 billion. This means that 1975 rice production must be double by 2010.

Agricultural production of our food grains started to intensify as population expanded in the late 1800's meeting the demand for food grains for the expanding population.

When I began my career as a rice breeder in 1931 at the Texas A & M Experiment Station near Beaumont, Texas, there had been little intensified production of rice except in Japan.

By 1945 there were some critical shortages of rice, particularly in tropical Asia. Urban populations were exploding, which intensified rice shortages.

Tropical Asian farmers produced rice for their families and neighbors but not a sufficient amount for the rapidly expanding urban populations.

Due to the extremely critical shortages of rice occurring in South and Southeast Asia some tropical Asian countries were importing large amounts of rice from surplus producing nations. By the mid 1950's it was obvious that something had to be done within the tropical Asian countries to increase domestic rice production.

In 1960 steps were taken by the Ford and Rockefeller Foundations that led to the founding of the International Rice Research Institute in the Philippines in 1962 with the mandate "why are rice yields so low in tropical Asia and what can be done to improve them?"

High yielding varieties from temperate regions had been brought to tropical Asia but they were unable to withstand the rigors of the adverse tropical environment-floods, drought, weeds, diseases, insects, rats and soil problems.

The tropical indica rice varieties grown throughout tropical Asia could withstand the droughts, floods and the other environmental adversities most of the time but yields were very low with farmers producing little more than immediate area requirements.

Nitrogen fertilizers, so effective in increasing yields in temperate regions, did not increase grain yields of the late maturing, tall, profuse tillering tropical indica varieties because of their excessive plant height. Applied nitrogen fertilizer increased lodging and actually reduced grain yields.

When the simply inherited semi-dwarf genes were found in China and Taiwan, a method of reducing plant height of tropical indica varieties was available to plant breeders. Such genes had been available to sorghum breeders since the late 1920's and to wheat breeders since the 1940's.

IRRI breeders were fortunate in that the eighth cross (Peta/Dee-Geo-Woo-Gen) made at the Institute produced IR 8 which possessed a number of the essential traits that were required in tropical Asia. These traits were:

- Short plant height
- Sturdy stems
- High tillering ability
- Erect leaf habit
- Nitrogen responsiveness (produced very high grain yields when nitrogen fertilizer was applied)

○ High grain yield

Within one year from the time IR 8 was selected in 1964, agronomists were producing yields approaching 12 t/ha. This was at a time when farm yields in tropical Asia were below 2 t/ha in many countries.

The tropical indica parent of IR 8 was Peta from Indonesia. It was tall, high tillering and late maturing but had erect leaves.

Dee-Geo-Woo-Gen the semi dwarf parent from Taiwan possessed early maturity, the simply inherited dwarf gene and sturdy stems.

IR 8 selected from this cross combined all of the desirable traits of both parents.

Seeds of IR 8 were sent to all Asian countries along with suggested farming practices for producing high yields. Overnight there was a wide spread interest in developing similar varieties adapted to each interested country which included most Asian rice growing countries as well as other World countries.

In some countries, varieties slightly taller than IR 8 were better adapted. This gap was filled by IR 5 selected from a cross between the Peta variety and a moderately tall variety, Tankai Rotan from Malaysia. IR 8 and IR 5 and the breeding methods used at IRRI revolutionized rice breeding programs throughout Asia.

IR 8 and IR 5 varieties proved that it was possible to produce high grain yields in tropical Asian rice fields. The characteristics previously described made it possible to utilize the vigorous growing tropical indica varieties which could withstand the adverse environment of tropical Asia.

The food crops needs of the World can be met through the 20th Century, but it will require close cooperation and interaction between scientists from many disciplines as well as strong government support.

イネの改良とバイオテクノロジー

RICE BREEDING: PAST, PRESENT AND FUTURE

ゲルデブ S. クッシュ

GURDEV S. KHUSH

稲が最初に栽培されたのは、おそらく中国の南部とインド北東部で、約8000年前のことでした。人々は、優れた性質を伸ばすために絶え間なく選抜を行なってきました。その結果、野生の祖先種からいろいろな栽培稲が生まれました。しかし、その変わりようが大きかったために、もはや野生の状態では生育できなくなってしまっていました。たとえば刈り取りと種まきという単純な作業は、選抜を行なうことでもあるのです。古代の人々はそうとは気がつかなかったのですが、稲作を始めた時点で、彼らは稲の最初の育種プログラムを実行し始めたのでした。彼らは植物に対して鋭い目と感受性をもっていました。農夫はこの直感力と感受性をもって、数千年にわたってよりよい品種の選抜を行なってきたのです。

選抜は最初、変化しやすく、またいろいろな種類がある野生の集団や半野生の集団で行なわれました。こうした選抜は、必然的に遺伝的変異をせばめてしまいましたが、原始の農業にみられる別の地域からの品種の導入や、自然交雑により、選抜に必要な変異性は豊かなものとなりました。栽培稲と雑草との自然交雑は、変異をもたらす第2の源でした。第3の源は、栽培稲の品種混合です。古代の農業従事者は、病気が広がらないように、品種を混ぜ合わせた栽培もしていたのです。混ぜ合わせた品種間ではときどき交雑が起こり、これも変異性を増やすのに役立ちました。こうして、人間による意図した、また意図しない選抜によって、世界中で15万を超える品種が生まれたのです。

現代の植物育種の基礎は1700年から1900年

の間に作られました。1694年の植物の性の発見と、1719年の交雑の開始によって、変異を人工的に作り出す道が開かれたのです。この間、科学者たちは「細胞説」を提案し、核と染色体、そして配偶子を作って受精するための減数分裂を発見しました。不稔という現象は、種間交雑で気がつかれ、いろいろな特性の遺伝が研究されました。自然淘汰の考えを使って種の起源に迫ったダーウィンの書物、植物界にみられる他家受精と自家受精の効果は、植物育種への興味をかりたてたのでした。

植物育種の科学的基礎は、今世紀に入って、猛烈な勢いで強化・増大してきています。新しい大躍進は、2つの面つまり進化の面（変異の創造）と評価の面（優秀な組み合わせの選抜）で、植物育種が改善されたことでした。

1960年に国際稲研究所 (IRRI) が設立され、科学を農業に応用して米の増産をめざす努力が始まりました。米は、世界の1/3の人々の食糧の半分以上をまかなっているからです。1962年、IRRIの科学者は、ディー・ジェオ・ウー・ジェンに、インドネシアの生長力の高いベタを交配しました。1966年には、この交配から IR8 が生まれました。この品種は倒伏抵抗性が強く窒素反応性が大きいため、従来の品種よりも2～3倍の収量をもたらしました。生育期間も、従来の品種の160～180日から135日に短縮されました。

1960年代の終わり頃には、IR 8 はアジアの国々で広く栽培されるようになりました。しかし、IR8はいくつかの欠点をもっていました。病虫害にかかりやすく、粒の品質もあまりよくありませんでした。ツングロウイルス

や白葉枯病やトビイロウンカの被害を受けてしまったのです。しかし幸いなことに、IRRIはIR8育成後直ちに、病虫害に強く、粒の品質がよく、生長期間が短く、やせた土壌でも生育する性質を、一連の高収量品種に取り入れる仕事に着手しました。IR8の最初の改良品種として1969年にIR20が、また1973年にIR26ができました。その後さらに22の品種が相次いで生まれ、現在、これらの品種は、アジア、アフリカ、ラテンアメリカの熱帯・亜熱帯地方で広く栽培されています。

1982年には、IR36は、1000万 ha 以上と世界のあらゆる穀物の中で最も広く栽培されている品種となりました。IR36は10種以上の病虫害に対して遺伝的な抵抗性を持ち、高収量で、粒の品質がよく、乾燥地帯ややせた土地でも生育するからです。その上わずか110日で成熟するため、稲栽培の前後に、別の作物を育てることも可能です。

今日、IRRIで開発された何千もの育種系統が、各国の稲改良計画に貢献しています。IRRIと協力国が開発した改良品種は、いまや第三世界の米生産地の55%で栽培され、その増産分は10億人の2/3を養っているのです。世界の米生産量は、1965年の2億5700万トンから、1985年の4億6800万トンへと増大しました。20年間で82%も増えたのです。大部分の米生産国は自給を達成し、生産過剰になり別の作物に一部転作する国さえ出てきました。

しかし、私たちは満足している暇はありません。50億という現在の世界の人口は、西暦2000年には60億、2020年には80億になります。この増加は大部分がアジアで起こると考えられ、このアジアで米の90%以上が生産・消費

されているからです。稲の育種家が現在直面している最大の課題は、より高収量で、より安定的に米を生産する品種を作ることです。

革新的な育種法と最近のバイオテクノロジーが、こうした目的を達成するために使われ始めています。現在の改良品種より15~20%も収量が高いハイブリッド稲は、中国で実現されています。野生種から遺伝子を取り込むことは、昔よりはるかに簡単にできるようになりました。組織培養は育種のサイクルを短縮してくれています。組み換えDNA技術はまもなく利用できるようになり、有用な遺伝子をあらゆる生物から取り出して、稲に組み込めるようになるでしょう。これまで培ってきた育種法とこうした新しい技術が補い合えば、稲の品種改良の最終目標を達成する強力な手段となるでしょう。

今日の稲育種は、世界の科学者による国際的協同作業なのです。IRRIは、CGIAR(国際農業研究顧問グループ)と呼ぶ34の基金提供機関の非公式組織によって支えられています。日本政府は、CGIARで3番目に多くの資金を提供している機関です。たくさんの日本人科学者が、これまで、稲の科学と改良の分野で、注目すべき貢献をしてきました。稲の科学に関する文献の半分以上が、毎年日本で出版されています。

1987年度の日本国際賞がIRRIの仕事の重要性を認識された事実は、発展途上国で行なわれている稲の品種改良事業にとって、さらに大きな支援となることでしょう。このことは、国際科学技術財団が標榜する「人類の繁栄と平和」という高い目標に向かって、必ずや大きな力となることでしょう。

Rice was first domesticated in southern China and northeastern India—probably independently—about 8,000 years ago. Constant human selection for improved traits has modified domesticated rice varieties from their wild progenitors so much that domesticated rices can no longer survive in the wild state. The simple acts of reaping and sowing for example are selective. Primitive humans may not have known it, but they started the first rice breeding programs when they began to grow rice plants for their own use. Most primitive farmers have a keen eye and a sensitive feeling for plants. Millions of rice farmers have applied this keen insight and sensitivity for thousands of years to select better varieties.

Selection was first practiced on the variable and heterogeneous wild and semi-wild populations, which must have narrowed genetic variability. However, several mechanisms in primitive agriculture, such as the introduction of varieties from one region to another and occasional natural crosses enhanced variability for further selection. Natural crosses between the domesticated crop and the weed complexes were another source of variability. The third source of variability were the varietal mixtures that primitive agriculturists grew as a protection against disease epidemics. Occasional intercrosses between component varieties gave still more variability. This conscious and unconscious selection by humans led to the development of over 150,000 varieties grown around the world.

The foundations of modern plant breeding were laid between 1700 and 1900. The 1694 discovery of sex in plants and hybridization beginning in 1719 paved the way for the artificial creation of variability. During this period, scientists proposed the "cell theory" and discovered the existence of nucleus, chromosomes and reduction division to produce gametes and fertilization. The phenomenon of sterility was noted in interspecific crosses and

the inheritance of characters was studied. Darwin's books on *The Origin of Species* by means of natural selection and the effects of cross and self fertilization in the vegetable kingdom enhanced interest in plant breeding.

The scientific basis of plant breeding has been enhanced tremendously during the 20th century. New breakthroughs have resulted in the refinements of two phases of plant breeding: The evolutionary phase (creation of variability) and the evaluatory phase (selection of superior combinations).

The International Rice Research Institute (IRRI) was established in 1960 to apply science to agriculture to increase the production of rice, which provides more than half of the total food of one of three persons on earth. In 1962, IRRI scientists crossed Dee-Geo-Woo-Gen, the same Chinese variety that had given TN1 its semidwarf plant stature, with Peta, a vigorous variety from Indonesia. In late 1966, IRRI released the variety IR8 from that cross. Because of its lodging resistance and response to nitrogen, IR8 could yield to two three times more than traditional varieties. IR8 matured in 135 days vs. 160 70 180 days for traditional varieties.

By the late 1960s, IR8 was planted widely in several countries of Asia. But IR8 had several faults. It was susceptible to diseases and insects, and its grain quality was generally considered poor. It was attacked by Tungro virus and bacterial blight diseases, and by the brown planthopper. Fortunately, IRRI launched efforts immediately after the release of IR8 to incorporate disease and insect resistance, good grain quality, shorter growth duration and tolerance to poor soils into a series of high yielding varieties. The first improvements on IR8 were IR20 released in 1969 and IR26 in 1973. Twenty two others were developed in succession. These varieties are widely grown in tropical and subtropical countries of Asia, Africa and Latin America.

IR36 became the most widely planted vari-

ety of any food crop in the world by 1982, when it was planted on more than 10 million hectares of rice land. The widescale popularity of IR36 is due to its genetic resistance to a dozen diseases and insects, in addition to its high yield potential and grain quality. IR36 also performs well under adverse condition such as drought and poor soils. It matures in only 110 days. Farmers who plant IR36 can grow another crop of rice or an upland crop either before or after rice.

Today, Thousand of breeding lines developed at IRRI are shared with national rice improvement programs in other countries. Improved varieties developed by IRRI and cooperating countries are now planted on 55 percent of the third world's rice land, and their increased production feeds two-thirds of a billion people. World rice production increased from 257 million tons in 1965 to 468 million tons in 1985 —92 percent in 20 years. Most rice-producing countries have become self sufficient, some are diverting rice lands to other crops because of over-production.

However, we cannot afford to be complacent. Today's world population of 5 billion will reach 6 billion by the year 2000 and 8 billion by 2020. Most of this increase will occur in Asia, where more than 90 percent of the world's rice is grown and consumed. Therefore the major challenge rice breeders now face is to breed varieties that yield higher, with greater yield stability.

Innovative breeding methods and emerging techniques of biotechnology are being used to achieve these objectives. Hybrid rice with 15-20 percent yield advantage over the current range of improved varieties has become a reality in China. Genes from wild species are being moved with greater ease than before. Tissue culture expedites the breeding cycle. Recombinant DNA technique will soon be available that will permit movement of useful genes from any living organism to rice. The conventional breeding methods when sup-

plemented with the emerging techniques will help achieve the rice improvement goals.

Rice breeding today is an international effort, involving scientists worldwide. IRRI is supported by an informal organization of 34 donor agencies called the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). The government of Japan is third largest donor to the CGIAR. Numerous Japanese scientists have made notable contributions to rice science and improvement. Half of the world's yearly scientific literature on rice science is published in Japan.

The recognition of IRRI's work by the awarding of the 1987 Japan Prize will vastly help generate additional support for rice improvement in the developing nations. This will help achieve the noble goals of "peace and prosperity for all", set by the Japan Science and Technology Foundation.

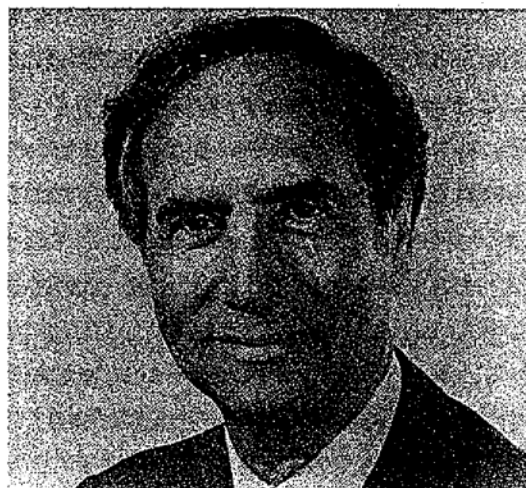
エレクトロオプティックス分野 受賞

セオドア H. メイマン博士

Theodore H. Maiman

メイマン・アソシエーツ社長。

1960年、ヒューズ研究所において人類初のレーザー発振に成功した。レーザーは、エレクトロオプティックス、量子エレクトロニクス等の新しい学問分野を生み出すとともに、自然科学はもちろん、医学、計測、通信、情報処理などの工業技術の諸分野でも、きわめて重要な役割を果たしている。1927年生まれ。



●主要論文

Maiman, T.H.: Optical and Microwave-Optical Experiments in Ruby. Phys. Rev. Lett., Vol. 4 : 564-566, June 1960.

Maiman, T.H.: Stimulated Optical Radiation in Ruby. Nature, Vol. 187 : 493-494, 1960.

Maiman, T.H.: Optical Maser Action in Ruby. Advances in Quantum Electronics, J.R. Singer, ed., Columbia University Press, New York, 1961.

レーザーと未来社会

THE LASER: ITS ORIGIN, APPLICATIONS AND FUTURE

セオドア H. メイマン

THEODOR H. MAIMAN

レーザーという言葉は、「誘導放出による光増幅」という英語の頭文字をとって作られました。レーザーは、コヒーレント光という非常に特殊な光を出します。普通の光はたくさんの異なった周波数の（別の言い方をすればいろいろな波長の）光から構成されているので、それらが互いに干渉し合って、光が進んでいくうちに広がってしまいます。これに対して、レーザービームのコヒーレントな光は、ただ1つの周波数の（つまり唯一の色の）光からできていて、何億 km でも広がることなく進んでいくのです。

レーザーでもたらされるコヒーレント光には、2つの重要な長所があります。第1は、たとえば1億分の1cm²というような非常に小さな点に絞り込めることです。この性質から、レーザーは、エネルギーを効率よく伝送したり、針を通すような正確さで光を伝える場合に、多くのメリットをもっているのです。レーザーメスや生産ラインで使われているレーザー加工機はこの性質を利用したものです。

レーザーの第2の特長は、その周波数が高くて高いことで、これは大量の情報を伝送するのに使われます。レーザーはいわば「情報の高速道路」とも言えるわけで、これに比べれば、たとえばテレビやラジオの信号を伝える電磁波は、単なる田舎道にしかすぎないこととなります。

レーザーの種類は、現在では本当にたくさんありますが、大部分の応用は、ほんの一握りのレーザーが担っているのです。たとえば、固体レーザーは、私が世界で初めてコヒーレントな光を作り出したときに使った、人工ルビーのような「結晶材料」を使っています。

現在、固体レーザーの多くは、YAG（イットリウム・アルミニウム・ガーネット）という人工結晶を使っていますが、このレーザーは、いろいろな種類の材料の、切断、ドリル、接着、溶接などに、幅広く使われています。また、医療用機器としても使われています。

一般的なもう1つのレーザーは炭酸ガスを利用したもので、これは、赤外領域の強力なビームを出します。こうしたビームは、人間の目には見えず、非常に強い熱の形でエネルギーを解放します。そのため、炭酸ガスレーザーは、加工や医療用レーザーとして多く使われています。

また、クリプトンやアルゴンなどのように、イオン化したガスを用いたレーザーもあります。こうしたレーザーは、赤、黄色、緑、紫、紫外線…といったように、いろいろな色を出します。この生き生きとした光を使ったレーザーショーが、テレビやステージの世界で登場しています。こうしたレーザーは、医学、写真技術、さらにはコンパクトディスクなどでも重要な役割を果たしています。

ヘリウム・ネオンレーザーは、低い出力の赤い光を出します。そこで、注意して使えば、学校の授業や、光学系の調整、あるいは道路やトンネルの視準器などに使えます。

一般的なレーザーとしては、あと、小さなトランジスタのような半導体レーザーがあります。このレーザーを使って、電話、コンピュータのデータ、テレビ信号などを、髪の毛ほどの光ファイバーを通して伝えることができます。いまやレーザーは、皆さんの家庭の中にも1個や2個は入り込んでいるでしょう。CDの心臓部は半導体レーザーです。

今日、レーザーがさまざまな分野で幅広く応用されていることに対して、私は、驚きとともに、たいへんうれしく思います。個人的に言いますと、一番うれしいのは、医学の分野でレーザーが応用されていることです。

レーザーが医療に応用された最初の例は、ルビーレーザーを使った網膜剝離の治療でした。現在、眼科の世界では肉腫や白内障の手術などに、レーザーが幅広く使われています。また、小児科、婦人科、脳外科、消化器科などでもレーザーが使われています。昨年1年間をみますと、世界中で約100万人の人々が何らかのレーザー治療を受けているのです。

レーザーは、どのようにして、また、なぜ生まれたのでしょうか。28年前（1958年頃）、多くの科学者がコヒーレントな光を作ることを考え始めました。彼らは、もしそれが実現されたら、すでに存在しているすべての電磁波よりも、1万倍以上の情報が送れるようになることを知っていました。また、ビームを極限まで絞り込めるので、大量のエネルギーをきわめて正確に送ることができ、それを利用して、溶接から外科手術まで、さまざまな応用が開けてくるだろうと予測していました。

しかし、当時の科学者がすべてコヒーレントな光を作りだせると信じていたわけではありません。そのため、この分野の研究者は、同僚から懐疑の目を向けられたのでした。

でも多くの科学者は、コヒーレント光の実現というテーマに好奇心をそそられていましたし、それを最初に達成したいという強い願いをもっていました。こうした興味と研究活動はまもなく世界中に広がり、一番乗りをめざした開発競争が始まったのです。競争に加

わったのは、多くの企業や大学の研究室です。

1958年12月の「フィジカル・レビュー」誌に、とくに注目される論文が掲載されました。この論文では、レーザーを実現するいくつかのアプローチについて述べ、また特別な提案もしていました。かなりの研究者がこれに刺激されて、競争はより激しいものになりました…しかし、不幸にもそれはうまくかなかったのです。

この間、私はメーザーというマイクロ波増幅器の研究を続けてきていました。私の研究していたメーザーは、人工ルビー結晶を使ったもので、コヒーレントなマイクロ波を発振しました。

当時の科学者と同じように、私もコヒーレント光を発生させる可能性に興味をもつようになりました。でもこの材料を調べてまず失望しました。というのは、公表されていたデータによると、ルビーにはある特別な性質があって、コヒーレント光を発生させる材料としては致命的であることになるからです。そこで私は、他の材料をたくさん試してみました。すると、そうした材料にも、すべて問題があることがわかったのです。

こうして、私の研究対象は再びルビーに戻ったのです。ある視点からみると、この材料は有益なものでしたので、私は、この困難な問題を詳しく調べ、それが克服できるものなのかどうかを、見極める決心をしました。そして、一連の測定を注意深く行なったところ、驚くべき事実気がついたのです。公表データがまちがっていたのです（70分の1も違っていました！）。こうして私は、「ルビーは、“レーザーする”にはなお理論的に困難な材料

ではあるけれども、基本的には実現可能である」という結論に達したのです。

まさにちょうどこの頃、1958年のフィジカル・レビュー論文の著者の1人が、専門家の会議の席上で「ルビーはレーザーとはなりえない」と公表したのです。当時働いていた会社の研究所では、私のプロジェクトは人気がなく、ほんのわずかな援助しか受けていませんでした。ですから、このコメントによって、プロジェクトを進めるのがほとんど不可能になってしまったのです。この分野の指導的地位にある専門家は、公然と「メイマンのアプローチは技術的失敗に終わるであろう」と述べたのです。

しかし私は、当時自分のやっていたことに対して、信念にも近いものをもっていましたので、研究所の管理者やこの部門の専門家からの批判が大きくなってきてもかかわらず、強引にプロジェクトを進めてしまいました。

こうして、1960年5月6日、私は、この世で最初のコヒーレント光を実現することができたのです。それは、小さなルビー結晶からの暗赤色の光のバーストでした。

この私の経験は、最先端の研究を進めていく人々にとって、貴重な教訓になると思います。もしもあなたが正しいと確信するなら、あなたのまわりの人たちがたとえ批判しようとも、徹底的にやるべきなのです。そうして初めて、あなたは、かつて誰もなしえなかった“何か”を達成できるのです。

レーザーは、未来社会の中でどんな可能性をもっているのでしょうか。レーザーはすでに、さまざまな応用分野でその多様な才能をみせています。あざを取り除く医療の分野から、

ガン治療、兵器のガイド、スーパーマーケットのレジのバーコード読み取り装置、CDプレーヤーまで…。

将来、コンピュータ内部、またコンピュータとコンピュータの間の通信は、光ファイバー・ネットワークによるものとなるでしょう。さらに、現在研究所で開発が進められている未来のコンピュータは、レーザーで駆動するものとなるでしょう。それは、最高性能のデジタル・コンピュータより、何十倍も優れたものになるでしょう。

また、大西洋横断海底ケーブルも、レーザー光線が走る光ファイバー・ケーブルに置き換わるでしょう。光ファイバー・ケーブルは、さらに太平洋にもはりめぐらされることになるでしょう。

すでに医学の分野で進行中のレーザー革命は、ドラマチックな展開を見せることになるでしょう。基本的に、すべての医師の診察室に、少なくとも1台のレーザーが入ってくるでしょう。この理由は単純です。従来の外科手術に比べて、レーザー手術は、出血が少なく、苦痛が少なく、麻酔が少なくすみ、あまり複雑でなく、火傷も少なく、治癒が早いからです。

こうしたことが、私の予見できる未来のレーザー応用です。しかし、私より優れた人々が、この多芸多才な装置のために、さらに多くの使い方を発明してくれることを、期待したいと思います。そして、レーザーが単なる発明物としての役割を超えて、未来の人類にとって、真に価値ある奴隷になっていくことを希望します。

The word LASER is an acronym for Light Amplification through the Stimulated Emission of Radiation.

Lasers generate a very special kind of light called coherent light. Ordinary light is made up of many different frequencies or wave lengths. They interfere with one another and cause the light to spread out as it travels. By way of contrast, the coherent light of laser beams consists of a single frequency (or color) which can travel billions of kilometers without spreading out enough to be undetectable.

The coherent light produced by lasers has two additional properties that are significant. First, it can be focussed into very small spots—about a hundred millionths of a square centimeter, for example. This makes lasers of great interest for efficiently transporting energy and delivering it accurately to a pinpoint location. It is this aspect of lasers that makes them of use as scalpels in surgery or welding devices on production lines.

The second interesting property of lasers is that their high frequency beams can be used to convey massive amounts of information. The electromagnetic signals which bring us radio or television programs, for example, are like small country lanes when compared to the informational freeways provided by the laser.

Today there are hundreds of different kinds of lasers, but a few of them dominate most applications. For example, solid state lasers use crystalline materials such as the synthetic ruby with which I produced the first coherent light. Today many solid state lasers use a synthetic crystal called YAG (an acronym for Yttrium Aluminum Garnet). These lasers are used extensively for cutting, drilling, soldering and welding a wide range of materials. They are also employed in many medical procedures.

Another popular laser uses carbon dioxide gas to generate powerful beams in the infrared portion of the spectrum. Such beams are invisible to the human eye and deliver their

energy in the form of very intense heat. For this reason, carbon dioxide lasers are frequently used in materials processing and medicine.

Some lasers use ionized forms of gases such as krypton and argon. They emit colorful beams of light—red, yellow, blue, green, blue violet or ultra-violet. Because of their vivid colors, these lasers are used in the dazzling light shows associated with the world of entertainment. However, they are also useful in medicine, photography and the manufacture of compact audio discs.

The helium-neon laser emits a beam of red light of very low power. Used with care, it is thus safe enough for such things as classroom demonstrations, aligning optical systems or establishing straight lines for road and tunnel construction.

The last class of laser in general use is a tiny, transistor-like semiconductor device. It is used to send information in the form of telephone conversations, computer data, or television signals through glass fibers about the size of a human hair. You may already have a laser or two of this kind in your home, for they constitute the heart of compact disc players.

Probably no one is more pleased and surprised than I about the diversity and extent of laser applications today. However, the one which gives me the greatest personal pleasure and satisfaction is the field of medicine.

One of the first practical applications of the laser used a ruby laser to repair detached retinas. Today doctors use lasers extensively in ophthalmology to treat sarcoma and as an aid in cataract operations. The laser is used in pediatrics, gynecology, brain surgery and gastroenterology.

Last year nearly one million people throughout the world received some form of laser medical treatment.

How and why did the laser come about? Some 28 years ago (around 1958) a number of scientists started to think about making coherent light. They knew that if coherent light

could be achieved they could use it to convey 10,000 times more information than with any existing electromagnetic signal such as microwaves. They knew also that because of its focussing properties such a beam could deliver immense amounts of energy with great accuracy, a characteristic which would lend itself to applications from welding to surgery.

Not all the scientists of the time were convinced that coherent light could be produced, so that those working in the field faced skepticism from their colleagues.

However, many scientists were intrigued by the possibility of making coherent light and highly motivated to be the first to produce it. Interest and activity quickly built up to the point that an intense international race began, one involving many of the major industrial and university laboratories throughout the world.

A particularly notable paper was published in the December 1958 issue of the *Physical Review*. This paper discussed several possible approaches to making a laser and made a specific proposal. The proposal stimulated several scientists and thus increased the heat of competition—but unfortunately it didn't work.

In the meantime, I had been working on another device known as a maser. The maser I worked on produced coherent microwaves by means of a synthetic ruby crystal.

Like many other scientists at the time, I became intrigued with the possibility of generating coherent light. When I looked into the matter, I was at first discouraged for I found some published data which said that certain properties of rubies made them very unfavorable candidates to produce coherent light. I thus turned my attention to a number of other materials, but found problems with all of them.

I then returned my attention to the ruby. Since certain aspects of this material were beneficial, I decided to study the difficulties in detail to see if I could overcome them. When I

made a series of careful measurements, I discovered to my surprise that the published data was incorrect (by a factor of 70!). I concluded that while ruby was still theoretically a difficult material to "Lase", it was in principle workable.

At this very moment, one of the authors of the 1958 *Physical Review* article announced at a professional meeting that ruby would never work. At the industrial laboratory where I was employed, my project was not popular and I received little support. But now as a result of these comments it was even more difficult for me to proceed. A leading expert in the field had publicly stated that my approach would lead to a technical dead end.

Nevertheless, I was so highly motivated by what I was doing I insisted on proceeding with my project, despite growing criticism from the administrators of the laboratory in which I worked and admired experts in the field.

On May 16, 1960 I was able to generate the first coherent light in the form of a burst of deep red light from a small ruby crystal.

I think my experience may hold a valuable lesson for those pursuing advanced research: if you are convinced you are right, persist in your work despite the skepticism of those around you, and you may succeed in accomplishing something that no one has ever done before.

What does the laser hold for the future? The laser has already shown its versatility in many diverse applications—from a diagnostic research tool to removing birthmark, from the treatment of cancer to the guidance of weapons, from price code readers at supermarket checkout counters to the new compact disc players.

In the future, I expect that computers will communicate within themselves and with each other by means of fiber optic networks. In addition, the optical computers of the future (now under development in laboratories) will be laser-driven and many times more powerful

than today's most advanced digital models.

I also see the Atlantic transoceanic wire cable being replaced by laser-driven optical fibers, and similar fiber cables spanning the entire Pacific ocean.

The laser revolution already underway in medicine will expand dramatically. Essentially, every doctor's office will have at least one laser, and almost all surgery will be performed by laser. The reason is simple : compared to conventional surgery, laser surgery means less bleeding, less pain, less anesthetic, fewer complications, less scarring and faster healing.

These are a few of the future applications of the laser that I can foresee. However, I hope that minds better than my own will invent many more uses for this versatile device, and that the laser will outstrip its origins as a simple invention and become a valuable servant for the future of mankind.